

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECEPCION, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AMONIACO IMPORTADO DESDE EL TERMINAL MARITIMO HASTA LA PLANTA DE NITRATOS”

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

GABINO AUXIBIO SUAREZ ROMERO

PROMOCION 85 - II

LIMA-P RU

2012

DEDICATORIA

A DIOS que siempre me ha dado la salud y me ha guiado siempre en mi vida, es mi poder superior.

A mis padres Julio y Flamediana, como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi existencia y formación profesional.

A mis hermanas y hermanos por ser un soporte y un estímulo continuo lleno de sabiduría, comprensión, amor y optimismo.

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento al Ingeniero Manuel Villavicencio, por brindarnos sus atinados comentarios y consejos para mejorar la calidad del Proyecto.

A todos los colaboradores de la Gerencia de Ingeniería y Desarrollo, Operaciones y Control de Procesos de la Empresa Nitratos, por su apoyo en el proceso de elaboración del Informe.

A los Docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, que nos brindaron la oportunidad de formarnos, adquiriendo los mejores conocimientos, valores éticos y morales.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CONTENIDO	iii
PROLOGO	1
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Objetivo.....	5
1.3 Alcance.....	6
1.4 Limitaciones.....	7
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2.1 Tecnológico.....	8
2.2 Diseño.....	8
2.3 Materia prima.....	9
2.4 Mantenimiento.....	10
2.5 Mercado.....	11
CAPITULO III: CONCEPTOS GENERALES	13
3.1 Naturaleza del amoniaco.....	15
3.2 Terminales de amoniaco.....	15
3.3 Almacenamiento de amoniaco.....	17
3.4 Tubería de transporte.....	20
3.5 Aislamiento térmico.....	22
3.6 Equipo de licuación.....	22
3.7 Bombas para amoniaco.....	23
3.8 Dispositivos de seguridad.....	23
CAPITULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	24
4.1 Alternativas de almacenamiento de amoniaco.....	24
4.2 Tipos de tanques de almacenamiento.....	25
4.3 Selección del tipo de tanque.....	28
4.3.1 Tanque tipo II.....	28
4.3.2 Tanque tipo IV.....	29
4.3.3 Tanque tipo V.....	30
4.3.4 Tanque tipo VI.....	30
4.3.5 Tanque tipo VII.....	31

4.4	Parámetros para el dimensionamiento del tanque.....	32
4.4.1	Requerimiento de amoniaco.....	33
4.4.2	Capacidad de los buques tanques.....	34
4.4.3	Evaluación de la capacidad del tanque.....	34
4.5	Calculo del volumen del tanque.....	36
4.5.1	Calculo de la relación (H/D).....	37
4.6	Condiciones de operación del tanque.....	40
4.7	Condiciones de diseño del tanque.....	40
4.8	Selección de materiales del tanque.....	41
4.9	Diseño del tanque de almacenamiento.....	42
4.9.1	Diseño del casco.....	42
4.9.1.1	Consideraciones.....	42
4.9.1.2	Calculo de espesores por el método de un pie.....	43
4.9.1.3	Diseño del primer anillo.....	44
4.9.1.4	Diseño de los anillos superiores.....	47
4.9.1.5	Conformado del casco.....	47
4.9.2	Diseño del fondo.....	50
4.9.2.1	Consideraciones.....	50
4.9.2.2	Determinación del espesor de fondo.....	50
4.9.3	Selección del anillo de refuerzo.....	51
4.9.4	Soldaduras.....	52
4.9.4.1	Juntas verticales del casco.....	52
4.9.4.2	Juntas horizontales.....	52
4.9.4.3	Soldadura del fondo.....	53
4.9.4.4	Calificación de soldaduras y soldadores.....	54
4.9.5	Diseño del techo.....	54
4.9.5.1	Consideraciones.....	54
4.9.5.2	Disposición de estructuras.....	55
4.9.5.3	Diseño de viguetas exteriores.....	58
4.9.5.4	Diseño de las viguetas intermedias.....	62
4.9.5.5	Diseño de las viguetas interiores.....	63
4.9.5.6	Diseño del anillo exterior (octogonal).....	64
4.9.5.7	Diseño del anillo interior (cuadrado).....	66
4.9.5.8	Diseño de la columna exterior.....	68
4.9.5.9	Diseño de la columna intermedia.....	71
4.9.5.10	Diseño de la columna central.....	72
4.9.5.11	Selección de planchas de techo.....	73
4.9.6	Diseño y/o selección de accesorios del tanque.....	73
4.9.7	Estimación de pesos del tanque.....	77
4.10	Análisis de las cargas térmicas.....	78
4.10.1	Consideraciones.....	78
4.10.2	Tipos de aislamientos.....	78
4.10.3	Cálculo del "Boil-Off" en el tanque.....	81
4.10.4	Calculo de espesores de aislamientos.....	83
4.10.4.1	Consideraciones.....	83
4.10.4.2	Cálculo de espesor de aislamiento del casco.....	85
4.10.4.3	Cálculo de espesor de aislamiento del techo.....	86
4.10.4.4	Cálculo de espesor de aislamiento del piso.....	87
4.10.5	Cálculo de la carga térmica total.....	90
4.10.6	Estimación de pesos de aislamientos térmicos.....	90

CAPITULO V: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE	91
5.1 Consideraciones.....	91
5.2 Alternativas de transporte mediante tubería.....	92
5.3 Trayectoria de la tubería de transporte.....	95
5.4 Selección del material de la tubería.....	96
5.5 Dimensionamiento de la tubería.....	97
5.5.1 Cálculo del diámetro de la tubería.....	97
5.5.2 Cálculo del espesor de pared de la tubería.....	98
5.5.3 Soldaduras.....	99
5.6 Cálculo de espesor óptimo de aislamiento térmico.....	100
5.6.1 Consideraciones.....	100
5.6.2 Cálculo del espesor óptimo del aislamiento.....	100
5.6.3 Cálculo del calor absorbido por la tubería.....	101
5.6.4 Cálculo de flujo de vapor de amoniaco.....	103
5.7 Selección del "surge drum".....	104
5.7.1 Consideraciones.....	104
5.7.2 Dimensionamiento del surge drum.....	104
5.8 Selección y/o diseño de las juntas de expansión.....	105
5.8.1 Consideraciones.....	105
5.8.2 Selección de las juntas de expansión axial.....	105
5.8.3 Selección de las juntas de expansión "loop".....	107
5.9 Cálculo de luz entre soportes.....	111
5.9.1 Consideraciones.....	111
5.9.2 Estimación de las cargas en la tubería.....	111
5.9.3 Cálculo de la luz entre apoyos.....	112
5.10 Cálculo de pérdidas en la tubería de transporte.....	113
5.10.1 Cálculo de las pérdidas lineales.....	113
5.10.2 Cálculo de las pérdidas singulares.....	115
5.11 Planta de re licuefacción de gas amoniaco.....	116
5.11.1 Consideraciones.....	118
5.11.2 Ciclo de re licuefacción.....	118
5.11.3 Selección de los compresores de servicio.....	121
5.11.3.1 Consideraciones.....	121
5.11.3.2 Calculo de la capacidad del compresor.....	123
5.11.4 Cálculo de la potencia del motor eléctrico.....	127
5.11.5 Cálculo de la transmisión mecánica.....	129
5.11.6 Selección del condensador de amoniaco.....	130
5.11.7 Selección del tanque atemperador intermedio.....	134
5.11.8 Selección de los recipientes separadores G-L.....	135
 CAPITULO VI: DISEÑO DEL SISTEMA DE RECEPCION	 137
6.1 Consideraciones.....	137
6.2 Selección del brazo de descarga de amoniaco.....	138
6.2.1 Cálculo de pérdidas lineales.....	139
6.2.2 Cálculo de pérdidas singulares.....	140
6.3 Selección de las bombas del buque tanque.....	140
6.4 Sistema de seguridad "flare".....	142
6.4.1 Consideraciones.....	143

6.4.2	Cálculo del calor liberado en el "flare".....	144
6.4.3	Cálculo del diámetro de la antorcha.....	145
6.4.4	Cálculo de la altura de la antorcha.....	146
6.4.5	Determinación del diámetro del quemador.....	148
6.4.6	Especificaciones técnicas de la antorcha.....	149
CAPITULO VII: DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS.....		150
7.1	Consideraciones.....	150
7.2	Características del suelo.....	151
7.3	Cimentación del tanque de almacenamiento.....	151
7.3.1	Consideraciones.....	151
7.3.2	Tipos de cimentación.....	152
7.3.3	Diseño básico del anillo base de concreto.....	153
7.3.3.1	Calculo de las dimensiones del anillo base.....	153
7.4	Soportes de la tubería de transferencia.....	158
7.4.1	Tipos de soportes metálicos.....	159
7.5	Distribución de equipos "layout".....	161
7.6	Instalaciones complementarias.....	161
7.6.1	Generador de vapor.....	162
7.6.2	Instalaciones eléctricas.....	164
CAPITULO VIII: ANALISIS DE COSTOS.....		167
8.1	Costos de inversiones en activos fijos.....	167
8.2	Costos de inversiones en activos intangibles.....	167
8.3	Costos en capital de trabajo.....	169
8.4	Costo total del proyecto.....	169
8.5	Cronograma de ejecución.....	169
8.6	Rentabilidad económica del proyecto.....	170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		173
BIBLIOGRAFÍA.....		176
PLANOS		
APENDICES		

PROLOGO

Con el presente informe de ingeniería, se presenta una propuesta técnica para el suministro y puesta en obra de los equipos para la realización de la instalación de almacenamiento de amoniaco, contribuyendo al sector minero y agricultura del país, con el abastecimiento productos nitrogenados y químicos conexos que se lograría importando amoniaco vía marítima, y transportarlo mediante una tubería desde el extremo sur muelle N° 7 del terminal marítimo del Callao hasta la planta petroquímica de Nitratos.

El informe ha sido realizado en la empresa Nitratos, ya que dentro del su plan estratégico de desarrollo a corto y mediano plazo contemplaba la construcción de un terminal de desembarque y almacenamiento de amoniaco debido a la capacidad reducida de producción de amoniaco frente a la demanda actual, el incremento de costos de mantenimiento de la maquinaria por la antigüedad, dando como resultado el elevado costo de producción del amoniaco, si se compara con el costo del amoniaco que se consigue en el mercado internacional.

En el Capítulo II, se describe la problemática actual que atraviesa la empresa, en el aspecto tecnológico, materia prima, mantenimiento y mercado.

En el Capítulo III, se define los conceptos generales del comercio mundial del amoniaco, descripción de los equipos que conforman los terminales de amoniaco así como los costos de almacenamiento y transporte.

En el Capítulo IV, se expone el diseño o selección del tanque de almacenamiento para almacenar el amoníaco, alternativas de almacenaje, selección y dimensionamiento e igualmente el aislamiento térmico.

En el Capítulo V, se expone el diseño o selección de la tubería de transferencia, se selecciona el material, el diámetro óptimo, el espesor de aislamiento y se calcula las pérdidas en la tubería y asimismo se seleccionan los equipos de la unidad de licuación como el compresor, condensador, intercambiadores, separadores de gotas líquido gas.

En el Capítulo VI, se expone el sistema de recepción o descarga de amoníaco de los barcos en el cabezo de muelle, selección de los brazos de descarga, cálculo de pérdidas, comprobación de la capacidad de las bombas de los buques tanques, asimismo el dimensionamiento de una antorcha y quemador de amoníaco.

En el capítulo VII, se describe las consideraciones en la distribución de los equipos diseñados o seleccionados en el capítulo V, VI, VII, es decir el "layout" general, excepto la trayectoria de la tubería de transferencia.

En el Capítulo VIII, se incluye el análisis de costos de todo el proyecto que está dividido en inversión fija e intangible, capital de trabajo y el cálculo de la tasa de interés de retorno económico (TIRE).

Por razones de metodología de cálculo y descripción del informe primero se ha desarrollado el contenido del capítulo VI y luego el capítulo IV.

Asimismo, se incluyen los planos del tanque de almacenamiento, tubería, aislamientos, disposición de equipos y el flare de seguridad.

Finalmente, se acompaña también una sección de apéndice donde se detallan brindando información que ha sido utilizada para la elaboración del presente informe y que no han sido descritas en los capítulos anteriores.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

El complejo petroquímico de Nitratos se compone básicamente de dos plantas; una que convierte el petróleo residual N° 6 en amoníaco y la otra que transforma el amoníaco en productos nitrogenados principalmente el nitrato de amonio en solución, grado técnico, y agrícola, tal como se muestra el diagrama de operativo de bloques figura 1.1.

El presente estudio enfocado en la cadena de valor de la empresa, propone opere con la segunda planta y se abastezca de amoníaco importado, considerando que el mismo en otros países utilizan el “shale gas” o gas natural resultando más barato que aquellos que usan los petróleos residuales o naftas.

Dentro del plan estratégico de la empresa a mediano y largo plazo planteo la necesidad de construir una nueva planta ampliada en la zona de Oquendo, para cuyo efecto se elaboro un estudio de pre factibilidad denominado Proyecto de Desarrollo, el referido informe contemplaba dos etapas:

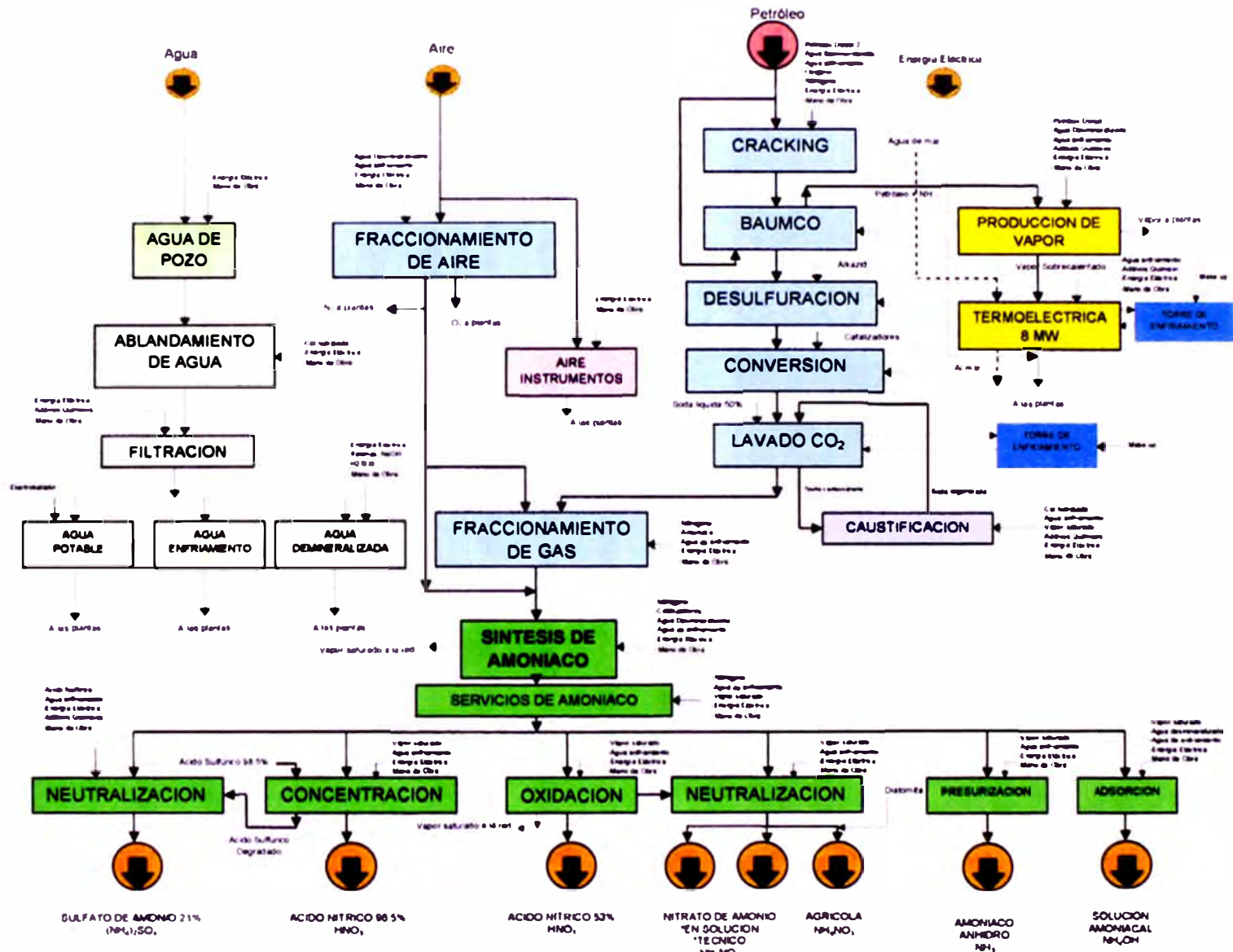


FIGURA 1.1 DIAGRAMA OPERATIVO Y DE PROCESOS DE NITRATOS

1^{era} Etapa: La construcción de un terminal, compuesto por un muelle de 1450 m. de longitud, una tubería de descarga de 12 pulgadas de diámetro y almacenamiento de amoniaco importado en 2 tanques de 10.000 TM.

2^{da} Etapa: La construcción e instalación de una nueva y ampliada planta de ácido nítrico de 650 TM/día, y nitrato de amonio en solución de 600 TM/día.

El costo total de la inversión estimada de ambas etapas es del orden de 50 a 60 millones de dólares, por razones de restricciones financieras la empresa aprueba implementar la primera en el corto plazo, después de un estudio técnico-económico y de ubicación del punto de desembarque resulto más ventajoso la utilización del terminal marítimo muelle N° 7, lugar de descarga de hidrocarburos y productos químicos ubicado en la zona portuaria del callao, ver el área de influencia del proyecto en la figura 1.2

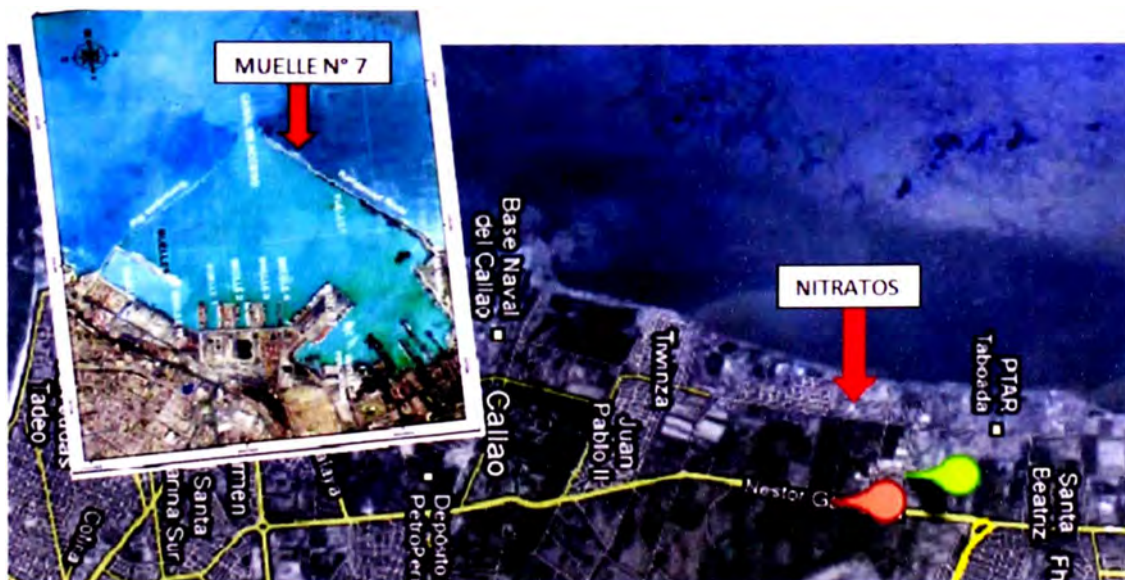


FIGURA 1.2 AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

1.2 OBJETIVO

El objetivo es diseñar un sistema de recepción, transporte y almacenamiento de amoniaco importado.

1.3 ALCANCE

El alcance de este informe ofrece información respecto del diseño básico, y/o selección de maquinarias, equipos, materiales utilizados en el sistema de recepción, transporte y tanque de almacenamiento de amoniaco, con aplicación de los códigos y las normas técnicas;

- ASTM "American Society of Testing Materials"
- ASME "American Society of Mechanical Engineers"
- API "American Petroleum Institute 620 - Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks", API 650
- AWS "American Welding Society"
- DIN "Deutsches Institut für Normung"
- ANSI B 31.3/B 31.4 "American National Standards Institute"
- MSS "Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry"
- NFPA "National Fire Protection Association"
- SSPC "Steel Structure Painting Council"
- ASHO "American Standard State Highway Officials"
- TEMA "Tubular Exchanger Manufacturers Association"
- ASA "American Standard Association"
- BSI "British Standards Institution"
- EJMA "Expansion Joint Manufacturers Association"
- NEMA "National Electrical Manufacturers Association"
- IEC International Electrotechnical Commission"
- ISO "International Organization for Standardization"
- Normas relacionadas con oleoductos; AWS A5.2-88, AWS D3.6M, ANSI 31.4 Aplicable al diseño, selección de materiales, construcción,

inspección, mantenimiento y prueba de sistemas de transporte de hidrocarburos líquidos, API 5L, API 610, API SP-6D, API 618, etc.

Documentos de referencia; manual de operaciones unitarias de la planta de síntesis de amoniaco, las especificaciones técnicas del amoniaco anhidro, dibujos de la topografía y el perfil longitudinal de la tubería, estudio de mecánica de suelos en el lugar definido para la erección del tanque de almacenamiento, y los soportes de concreto reforzado que soportara la tubería de transferencia.

1.4 LIMITACIONES

En el desarrollo del presente informe no se incluye el diseño de los sistemas o subsistemas tales como;

- Estación de aire para la instrumentación del tanque, tubería y equipos complementarios.

- Línea eléctrica o neumática de alimentación de suministros para los equipos ubicados en el muelle.

- Energía eléctrica y de agua para la red de contraincendios, enfriamiento, alumbrado, torre de enfriamiento tuberías hasta el límite de batería.

- Cimentación de soporte de concreto reforzado de la tubería, estructuras en puentes y vías de comunicación, cimentación del tanque y soleras de equipos complementarios.

- Red de distribución del de los gases licuados de petróleo (GLP) y nitrógeno.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El principal problema de la planta petroquímica, es el elevado costo de producción del amoníaco, siendo este la materia prima esencial para el proceso de las plantas de productos nitrogenados finales, los aspectos y/o factores que inciden directamente en la estructura de costos de producción del amoníaco y los productos conexos lo describiremos a continuación;

2.1 TECNOLÓGICO

La capacidad instalada de la planta de producción de amoníaco es de 75 TM/día, mediante la síntesis del gas nitrógeno (Fraccionamiento del aire) y el gas hidrógeno (Cracking del petróleo residual 6), con tecnología de la década de los años 60, resulta pequeña comparada con las plantas modernas de amoníaco, que usan gas natural con capacidad de producción que superan las 1.500 TM/día, cuyos costos de producción varían entre 125 -130 \$/TM.

2.2 DISEÑO

El reactor de síntesis de amoníaco diseño "Fausser Montedison", ver figura 2.1, equipo estático crítico que opera entre 250-300 atmósferas de presión y a una temperatura de 400-600 °C, utilizan como catalizador α -Fe (Fe_2O_3), el acero con el cual ha sido diseñado el reactor es permeable al

hidrogeno, es capaz de eliminar al carbono con formación de hidrocarburos, perdiendo resistencia y después fisurarse generando problemas operativos como fugas de gas de mezcla y la reposición de componentes del reactor.

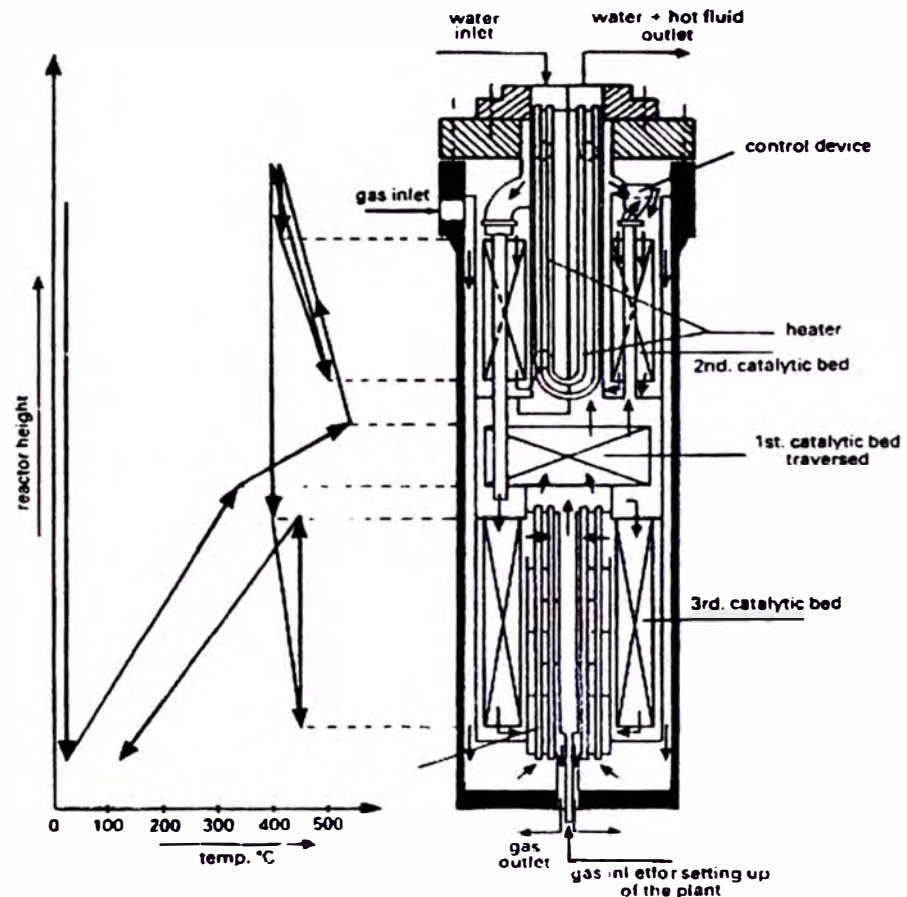


FIGURA 2 1 REACTOR DE SINTESIS "FAUSER MONTEDISON"

2.3 MATERIA PRIMA

La planta de amoniaco emplea el hidrogeno del petróleo residual 6 gasificado en un reactor vertical a la presión de 15 atm. y una temperatura regulada de 1290°C y se consume 1'200.000 galones mensuales de petróleo residual 6; el 50% se utiliza para el lavado del gas crackeado y es evacuado a la central termoeléctrica de 8 Mw; este producto por políticas de gobierno es afectado por un impuesto (ISC); de igual manera los precios del petróleo a nivel internacional sufren variaciones periódicas llegando a situarse a niveles críticos como 147 US\$/barril en el 2008, cuando por más de 20 años se

mantuvo por debajo de 25 US\$/barril, ver figura 2.2, precio del petróleo que incide directamente en los costos de producción del amoniaco situándose por encima de 600 \$/TM, afectando la rentabilidad de la organización, tal como se muestra en la tabla 2.1 y figura 2.6 que se anexa en el apéndice 2.1

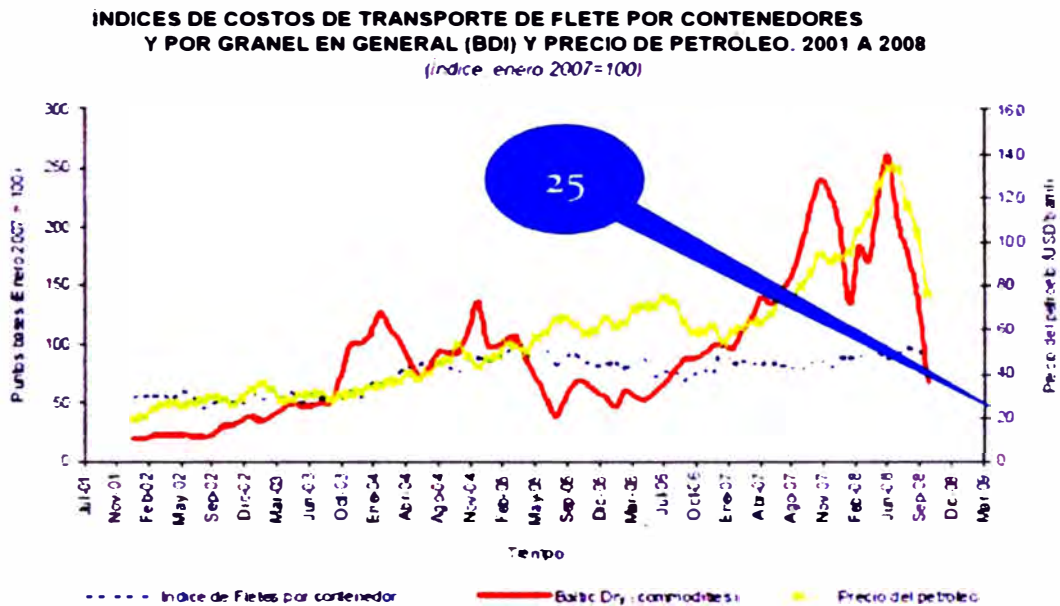


FIGURA 2.2 VARIACION DE PRECIOS DEL PETROLEO USD/BARRIL

2.4 MANTENIMIENTO

Los equipos, maquinarias como rotativos y estáticos de la planta de amoniaco, considerados como críticos, con una operación continua entre 120.000 a 300.000 horas de funcionamiento, han generado una disminución en la producción de amoniaco por debajo de 60TM/día, la menor disponibilidad por la reducción del tiempo promedio entre fallas (MTBF), y el aumento del tiempo medio de reparación (MTTRr). Los overhauls de los últimos años registró un incrementado en la costos de mantenimiento alcanzando los \$ 900.000 por paradas imprevistas, ver figura 2.3; el grado de obsolescencia de equipos de planta, no garantiza una operación futura de 10 años, lo cual se requiere programar una inversión de reposición que superan los \$ 7'000.000, tal como se muestran en las tablas 2.2, 2.3 del apéndice 2.2

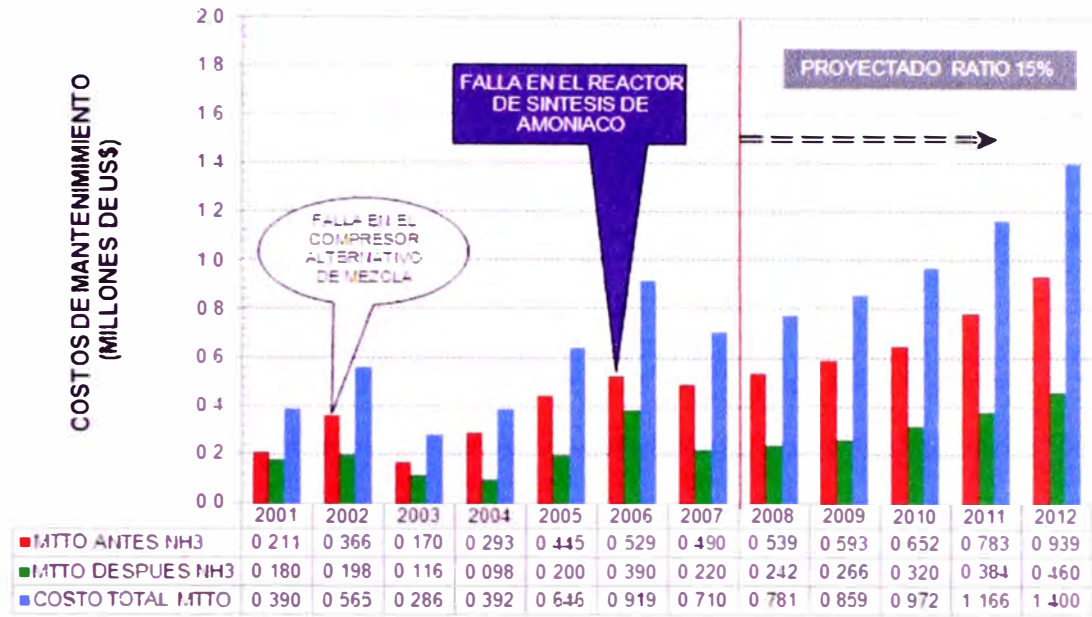


FIGURA 2 3 COSTOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS DE PLANTA PETROQUIMICA

2.5 MERCADO

En relación al mercado, el consumo de nitrato de amonio (equivalente en amoniaco) en sus diversas calidades utilizados en la minería e industria, y el grado fertilizante de uso en la agricultura, durante el periodo 2000 al 2004 se importo el 80% del consumo total, y solamente el 20% de este producto fue cubierto por la producción nacional, tal como se muestra en la figura 2.4

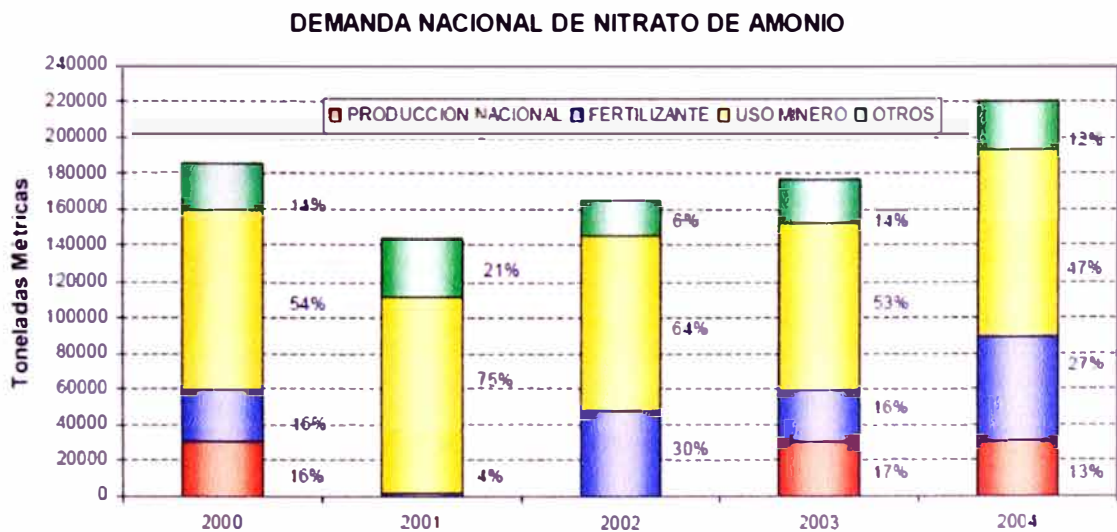


FIGURA 2 4 IMPORTACION Y PRODUCCION DE NITRATO DE AMONIO PERU

Actualmente existen dos plantas productoras de amoniaco y nitrato de amonio; La planta de Nitratos que utiliza el H₂ del petróleo residual 6 mediante el fraccionamiento y la planta de Cachimayo que utiliza el H₂ del agua mediante electrolizadores; las capacidades de diseño de producción de amoniaco de ambas son de 75 TM/día y 100 TM/día respectivamente.

En el estudio de mercado nacional demanda total de nitrógeno en el Perú, se ha tomado en cuenta el desarrollo de la agricultura por las exportaciones agropecuarias, y la minería como el sector de mayor crecimiento y consumidor de nitrato de amonio grado ANFO y solución acuosa, ver tablas 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 que se anexa en el apéndice 2.3

En un mercado globalizado altamente competitivo, y buscando el valor agregado como estrategia de comercialización y diversificación de los productos nitrogenados, la empresa requiere abastecerse de amoniaco importado a granel, debido a que la oferta de este insumo se mantuvo invariable, con una creciente demanda insatisfecha en el mercado, déficit que debe ser cubierto por las importaciones, ó la instalación de una planta de NH₃ a partir del gas natural de una capacidad de 1.000TM/día, ver figura 2.5

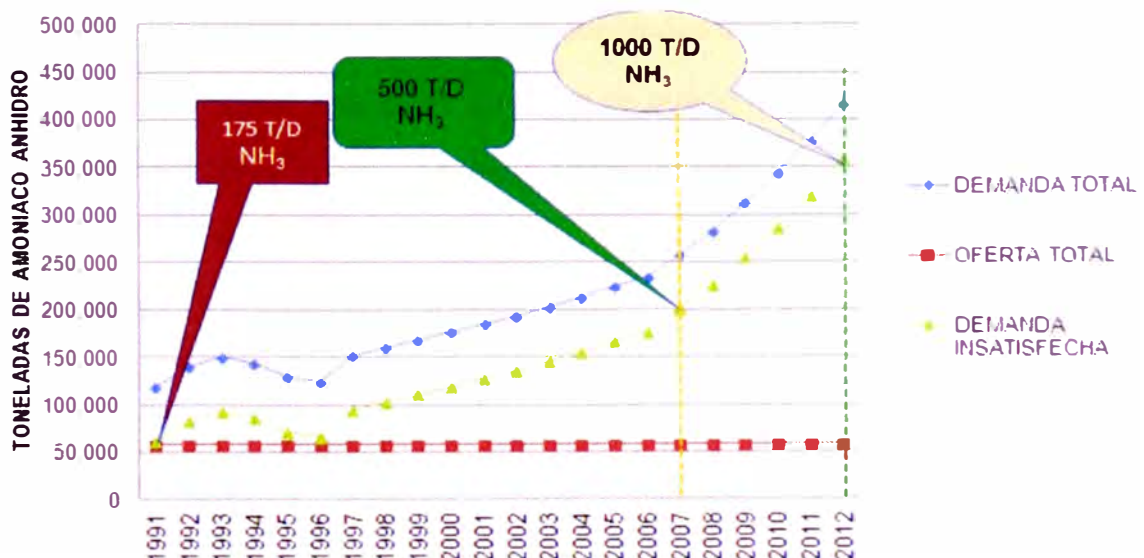


FIGURA 2.5 DEMANDA INSATISFECHA NACIONAL DE AMONIACO

CAPITULO III

CONCEPTOS GENERALES

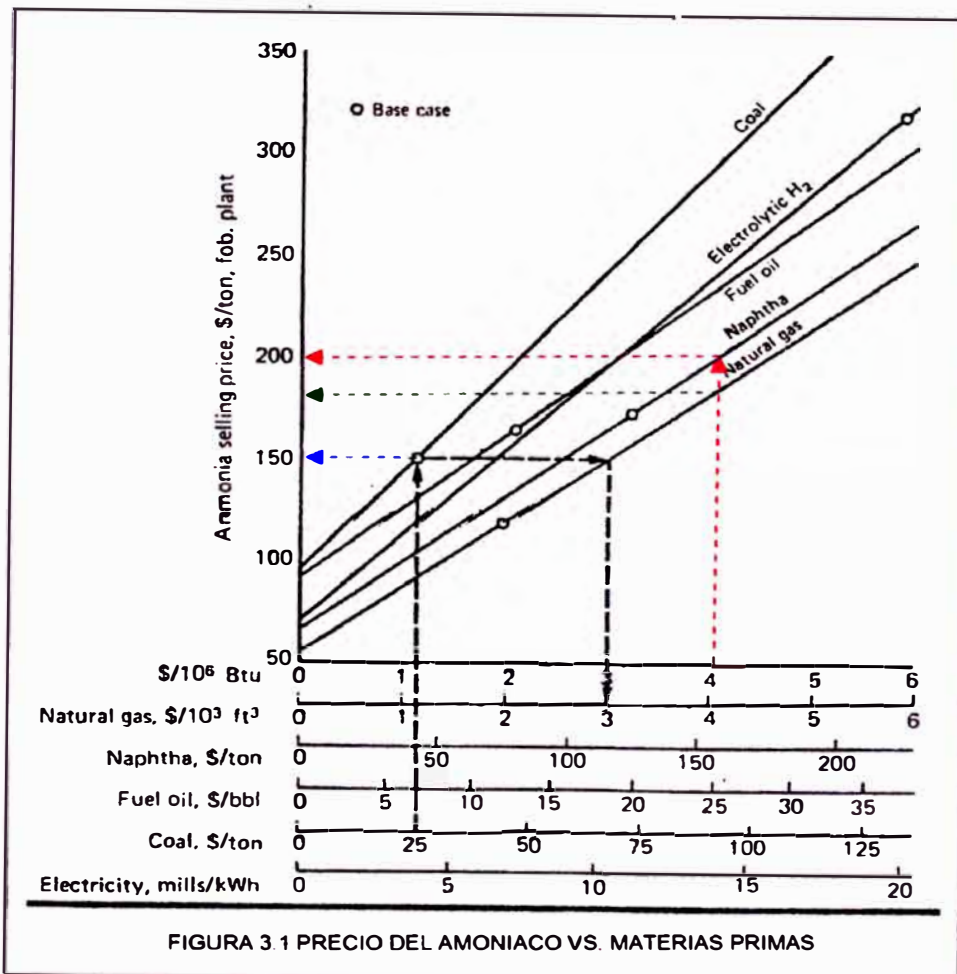
La rápida expansión de la industria del amoníaco en la década del 80, trajo consigo importantes cambios tecnológicos que hicieron posible la construcción de plantas de producción de amoníaco de elevada capacidad y el transporte refrigerado a las plantas donde se utilizan en otras ubicaciones para el procesamiento ulterior en productos nitrogenados.

La magnitud del transporte marítimo de amoníaco en un informe reciente que muestra la revista ISMA-1998 "World Maritime Anhydrous Ammonia Terminal", señala que 153 terminales marítimas de amoníaco en todo el mundo, incluyendo 18 que estaban en construcción, la capacidad de almacenamiento total fue 3'734.000 toneladas, y las capacidades individuales variaron desde unos pocos cientos de toneladas a 621.000 toneladas. La lista no incluía terminales pequeños que sólo se puede llegar por barcazas en vías navegables interiores, por tuberías, o por ferrocarril.

El comercio mundial creció rápidamente en los últimos 20 años, la exportación de amoníaco la lidero los Países Bajos, Austria, Bélgica, Francia, URSS, Hungría, Estados Unidos, Canadá, Trinidad, Venezuela y Kuwait. En otro informe de la revista ISMA-2000, indica que 192 de buques tanques que transportan amoníaco refrigerado, 33 de ellas de una capacidad mayor a 10.000 toneladas, y el resto llega a 46.500 toneladas de capacidad.

Estos buques también llevan gases licuados como el transporte de GLP, y/o el amoníaco anhidro a temperatura por debajo de -33°C , existen instalaciones y equipos (camiones, vagones cisterna, barcasas y buques) a menudo se utilizan indistintamente para el transporte de los dos productos.

En la actualidad las plantas productoras de amoníaco en todo el mundo y la creciente oferta mundial de este producto a bajos precios, viene utilizando otros tipos de materia prima distintos al petróleo residual ó electrolisis como es el gas natural, y la hulla como nueva alternativa en la fabricación del amoníaco tal como se observa en la figura 3.1, obligando a replantear los procesos de producción, enfocándolo hacia una revisión de la cadena de valor del proceso, tal como ocurre en los países industrializados.



3.1 NATURALEZA DEL AMONIACO

El amoniaco, es un compuesto de nitrógeno e hidrogeno, es un gas toxico e incoloro y más ligero que el aire, tiene olor penetrante y sabor caustico. Es soluble en disolventes orgánicos y sobre todo en agua.

El amoniaco se envasa como gas licuado en cilindros de alta presión y también en estado liquido a la temperatura de $-33.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es la temperatura a la que se almacenan en grandes volúmenes.

El amoniaco es casi invariablemente transportado en estado liquido, por lo que o bien debe ser comprimido o licuado o alguna combinación ambos, tomando en cuenta las propiedades físico químicas del amoniaco contenidas en la tabla 3.1 apéndice 3.1

3.2 TERMINALES DE AMONIACO

Los terminales de amoniaco, por definición son instalaciones adecuadas para recibir, transportar, almacenar y despachar amoniaco anhidro al estado liquido, tal como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.2

El amoniaco se transporta de las plantas de licuefacción a las plantas de almacenamiento cercanas a los centros de transformación o consumo, mediante buques especializados llamados "barcos quimiqueros".

Al descargarse de los buques tanques el amoniaco por sus características, implica contar con una infraestructura para el transporte y/o almacenamiento, es por ello se debe seleccionar un sistema de descarga seguro y adecuado con son los terminales de desembarque marítimos.

El desembarque marítimo a través de un muelle, se realiza mediante dos formas típicas de descarga mediante:

a) Una tubería soportada por una estructura liviana por encima del nivel del agua, llegando hasta un dolphin o estructura de atraque ubicado en el mar, al cual acoderarían los barcos.

b) Una tubería submarina de descarga, colocada en el fondo del mar desde un dolphin de atraque hasta el sistema de almacenaje en tierra.

Tomando en consideración las dos alternativas se han realizado las evaluaciones técnicas quedando demostrado que la tubería instalada por encima del nivel del mar, sea sobre el muelle ó una pasarela liviana, resulta una solución más satisfactoria que una tubería submarina.

El desembarque a través de un muelle permite recibir numerosas líneas de tuberías de diámetros entre 4" y 16" y el tránsito de vehículos medianos hasta el cabezo de acoderamiento de las naves, lo que sería apropiado de poder conjugar intereses de varias empresas para la utilización en común del muelle, optimizando el proceso de carga ó descarga de varios productos derivados del petróleo como químicos líquidos o gases licuados.

Cuando los barcos cisternas llegan a los terminales, una vez atracado en el muelle, se inicia la descarga para conducir el amoniaco a los tanques de almacenamiento; la descarga se realiza a través de brazos articulados que permiten seguir los desplazamientos de las mareas y de los barcos.

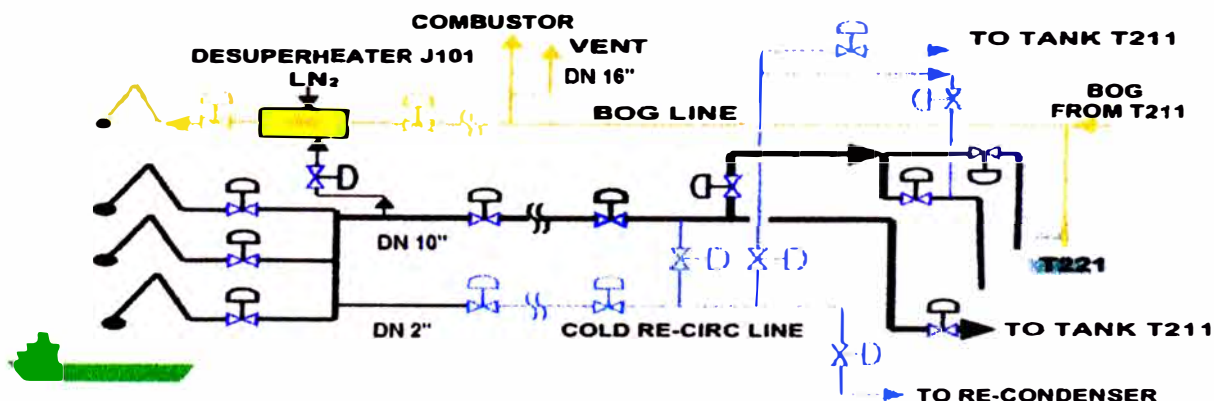


FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE RECEPCIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AMONÍACO

Generalmente en cada terminal de carga y/o descarga de amoniaco ó GNL suele instalarse 4 brazos por muelle (3 para líquido y 1 para vapor) que disponen de sistemas de desconexión de emergencia. En caso de emergencia en el barco o en tierra, el sistema se acciona y las válvulas se cierran inmediatamente, permitiendo el mecanismo activador de las bridas su apertura, quedando una parte del brazo acoplada al barco y el resto al muelle, permitiendo la maniobra de desatraque con mayor rapidez.

La plataforma puede estar tendida sobre el muelle ó de no disponerse de este, puede ser submarina. Es preferible y más segura la instalación sobre muelle porque es mucho más fácil y rápido detectar fugas y reparar las averías que siempre pueden presentarse en estas instalaciones. Así mismo, el costo de inversión y de reparación de una tubería sobre muelle resulta apreciablemente menor que el de una submarina.

3.3 ALMACENAMIENTO DE AMONIACO

El amoniaco puede licuarse reduciendo su temperatura a **-33 °C** o moderando el aumento de su presión. Estas propiedades permiten que se pueda almacenar como líquido en diversos tipos de recipientes. En la actualidad se utilizan tres métodos de almacenamiento, y la elección depende principalmente de la cantidad que se ha de almacenar.

- Recipientes esferoidales a la presión de 20 bar, y temperatura de 50 °C, almacena 500 TM, en algunos casos, hasta 1700 TM.
- Recipientes esféricos semirefrigerados a media presión de 2.6 bar, y temperatura de -5 °C, almacena hasta 3.000 TM.
- Recipientes cilíndricos refrigerados a presión atmosférica de 35 mbar, y temperatura de -33,3 °C, almacena desde 10.000 TM hasta 50.000 TM.

Los recipientes a presión media y atmosférica requieren de equipos adicionales para mantener la presión del gas de amoníaco dentro de los límites del diseño, estos contenedores en los que el amoníaco está a temperatura más baja que la ambiente, deben ser aislados térmicamente.

Debido a las limitaciones de los espesores de pared a valores técnicamente manejables, el volumen de los tanques de media presión para este estado es limitado a 3.000 TM, cuyo diámetro del tanque esférico de almacenamiento es aproximadamente de 21,4m; en estos tanques puede presentarse corrosión por tensofisuración, pero el peligro es menor en el caso anterior, por tanto en este tipo la corrosión depende en gran medida de la temperatura y es menor a menor temperatura.

El almacenamiento a temperatura ambiente es el indicado en el que el amoníaco llega a la presión correspondiente y es alimentado al proceso con esa misma temperatura, debido a que en tales condiciones de almacenamiento es particularmente grande el peligro de corrosión por tensofisuración, el material de los tanques de almacenamiento debe ser recocido después de fabricado el tanque.

El peligro de corrosión por tensofisuración puede aminorarse colocando los tanques esféricos de tal manera que los soportes de las fuerzas sean transmitidas a la pared del tanque en forma pareja, lo que puede lograrse haciendo descansar el tanque sobre las superficies de los polos o en membranas, esta exigencia y la limitación del espesor de pared a un valor técnicamente manejable, permiten esta forma de almacenamiento solamente en tanques de un volumen hasta aproximadamente 1.500 TM. A 1.700 TM

La forma de almacenaje para volúmenes de amoníaco entre 3.000 y mayor a 20.000 m³, es a presión atmosférica, lo que corresponde a una

temperatura de -33°C , estos tanques de almacenamiento son del tipo con base plana, tal como se observa en la figura 3.2, tanques de 20.000 TM de capacidad de almacenamiento cada una. Los tanques y las tuberías deben dotarse de aislamiento e instalarse una planta refrigeradora que compense el calor que penetra de todas maneras a través del aislamiento. Para una operación económicamente eficiente de un almacén para amoníaco en este estado, es menester que el amoníaco llegue al tanque a una temperatura entre $-32,5^{\circ}\text{C}$ y $-33,3^{\circ}\text{C}$.



FIGURA 3.3 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AMONÍACO DE 20.000 TM

Por medidas de seguridad los tanques de almacenamiento están protegidos por un dique de contenimiento, de una altura máxima de llenado de 2m. de altura y el piso debe tener una terminación tal que impida la penetración del amoníaco en el piso, además debe tenerse presente que en el caso de falla del tanque, aproximadamente un 23% del volumen almacenado se evaporaría espontáneamente, lo que en el peor de los casos generaría unos $400,000\text{ m}^3$ de amoníaco gaseoso.

Se debe cuidar que el suelo debajo del recipiente no se congele, debe emplearse calentamiento mediante resistencia eléctrica o alternatively, construir la losa de soporte dejando una separación del suelo.

Los costos de inversión y funcionamiento de un terminal de amoniaco tienden a variar ampliamente, en general son mayores que las de una instalación de almacenamiento en la planta, ver la figura 3.4

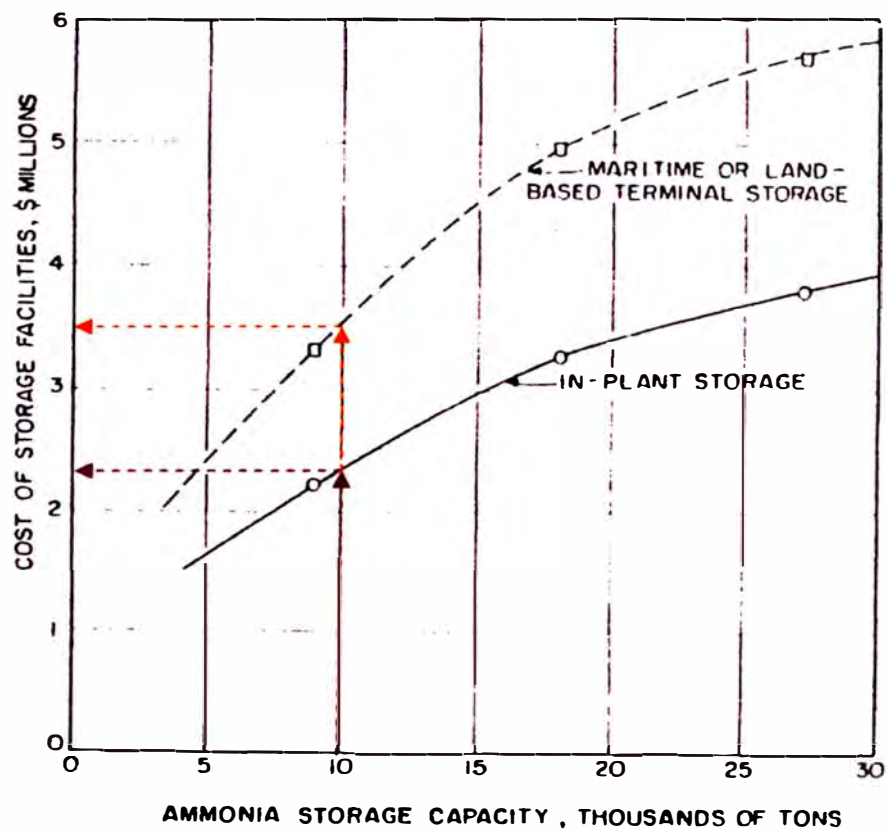


FIGURA 3.4 COSTO ESTIMADO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO

3.4 TUBERIA DE TRANSPORTE

El transporte de amoniaco anhidro por tuberías de acero denominados “amoniaductos” se ha desarrollado en los últimos años; en los EE.UU., llegando a longitudes de tubería de hasta 50Km, en México llega hasta 240 Km de tuberías que conducen amoniaco; las secciones típicas de las tuberías son de 6, 8 y 10 pulg, el transporte de amoniaco mediante tuberías de

transferencia aisladas térmicamente es sustancialmente más barato comparado con los otros medios de transporte.

Es importante que todos los empalmes y conexión de tuberías mantengan uniformidad de diámetro interno y no presenten obstáculo al paso de los medios que se emplee en el caso de efectuar limpieza mecánica del interior de la tubería durante el mantenimiento, por esta razón se debe utilizar válvulas de paso directo y libre.

Existen otros medios de transporte del amoníaco, como el ferroviario, camiones cisternas y barcazas que son relativamente más caros comparados con el transporte por tubería, tal como se muestra en la figura 3.5

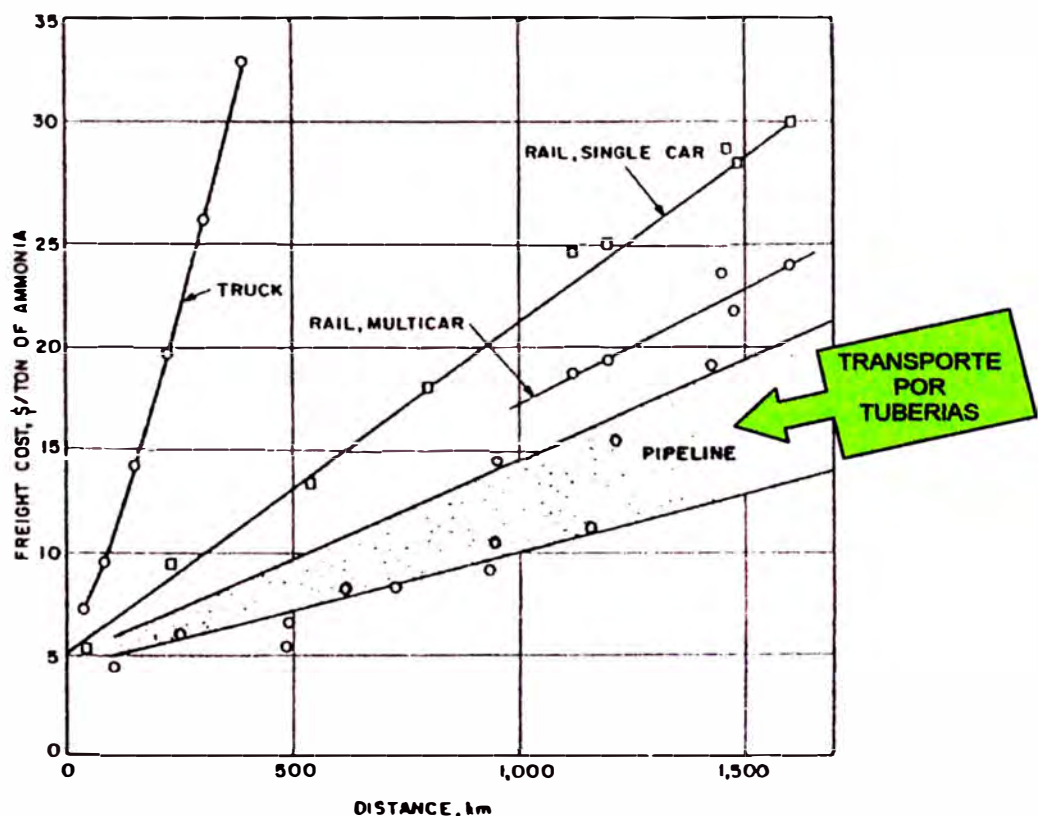


FIGURA 3.5 COMPARACION COSTOS DE MEDIOS DE TRANSPORTE NH3

Para absorber las contracciones y dilataciones de la tubería, por efectos de los cambios de temperatura producidos durante la carga ó

descarga del amoniaco que pase por la misma, se debe instalar juntas ó curvas de dilatación espaciadas.

Es de mayor importancia prescribir que se radiografía las soldaduras, es usual se efectuó radiografías sobre un 15% de las soldaduras en los tramos normales, mientras que en los tramos críticos se exige el 100%. Finalmente debe hacerse prueba de presión hidráulica de la tubería, en conjunto, antes de ponerla en servicio el amoniaducto.

3.5 AISLAMIENTO TERMICO

Los tanques de almacenamiento para productos refrigerados tanto las paredes, y techo lo más usual es emplear como aislamiento el poliuretano espumado, ya sea en planchas prefabricadas que se fijan mediante adhesivos y bandas metálicas o expandiéndolo directamente sobre las superficies.

En los recipientes que llevan techo suspendido, este se aísla empleando lana de vidrio; para el aislamiento del fondo del recipiente se emplea bloques de vidrio espumado.

Es importante una buena ejecución del aislamiento térmico y sellado de las juntas, a fin de impedir absolutamente la penetración de humedad que, en breve tiempo, deterioraría el aislamiento térmico de los tanques y tuberías.

3.6 EQUIPO DE LICUACION

Las unidades de licuación constan de compresores; alternativos o rotativos de 2 etapas, se prefieren los rotativos para evitar la contaminación por aceite. Los condensadores pueden emplearse aire o agua como medio de enfriamiento, resulta más conveniente emplear agua cuando está disponible la cantidad y calidad adecuada.

Normalmente se instala un equipo de licuación para regular la presión del amoniaco almacenado y otro equipo de mayor capacidad para regular la presión durante la operación de carguío hacia los recipientes.

3.7 BOMBAS PARA AMONIACO

Para el servicio de ramales de cierta longitud, se utiliza bombas centrífugas ó tipo turbina de una o más etapas, conforme a la presión que se deba alcanzar. Es usual también para tal objeto instalar bombas en serie, ya sea una continuación de la otra, o espaciadas a lo largo del ramal, según la longitud de este. Igualmente cuando se necesita desplazar caudales apreciables de amoniaco se recurre a instalar bombas en paralelo.

Para proteger a las bombas en operación, se instala controles automáticos que comandan el cierre de las válvulas de descarga y de aspiración, además de actuar sobre el interruptor de corriente que detiene el motor eléctrico.

3.8 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Los principales dispositivos de seguridad para controlar los terminales de desembarque de amoniaco amoniaco los más usuales son:

- Válvulas de alivio para ventear el amoniaco si hay sobrepresión o enviar a la antorcha.
- Rompedores de vacío en los tanques de presión atmosférica.
- Indicadores de nivel, con alarma de nivel máximo.
- Controlador de presión, para arrancar y parar automáticamente el compresor alternativo de licuación de gases de amoniaco.

CAPITULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento para amoniaco tiene varios componentes principales: a) Tanque criogénico, sujeto a frio intenso, b) Una estructura exterior que contiene aislamiento para el tanque criogénico interior, c) Sistemas de piso y techo, d) Sistema protectivo pasivo o dique, e) Dispositivos y sistemas de protección activos.

4.1 ALTERNATIVAS DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO

El amoniaco "anhidro" al 99.5% puede licuarse reduciendo su temperatura a $-33,3^{\circ}\text{C}$, o moderando el aumento de su presión, estas propiedades permiten que se pueda almacenar como liquido en diversos tipos de recipientes, de almacenamiento, tal como se explico en capítulo III.

El amoniaco puede almacenarse a la presión atmosférica reduciendo la temperatura a $-33,3^{\circ}\text{C}$. En este estado se puede acumular en tanques cilíndricos de fondo plano, dado que la presión que el tanque debe soportar sólo la impuesta por la parte superior del líquido, en la práctica se mantiene una ligera presión positiva para simplificar el funcionamiento del sistema de licuación de los vapores que se producen en el tanque.

Este método de almacenamiento se considera en general el más económico cuando las cantidades superan las 5.000 toneladas.

4.2 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los de tanques cilíndricos que se diseñan ó proyectan para grandes volúmenes de almacenamiento de amoniaco deben de considerarse los parámetros como; La calidad y calidad del producto a hacer almacenado, el rate de llenado, temperatura y la presión de flujo entrante, condiciones de envió del producto, la composición del producto, medio de enfriamiento disponible (aire, agua, etc.), vapores de licuefacción desplazados por los líquidos, efectos de la radiación solar, inversión y disponibilidad, entre los tipos de tanques pasamos a describirlos resumidamente:

- Tanque tipo (I): de pared sencilla con aislamiento sobre la superficie exterior del mismo, figura (a).

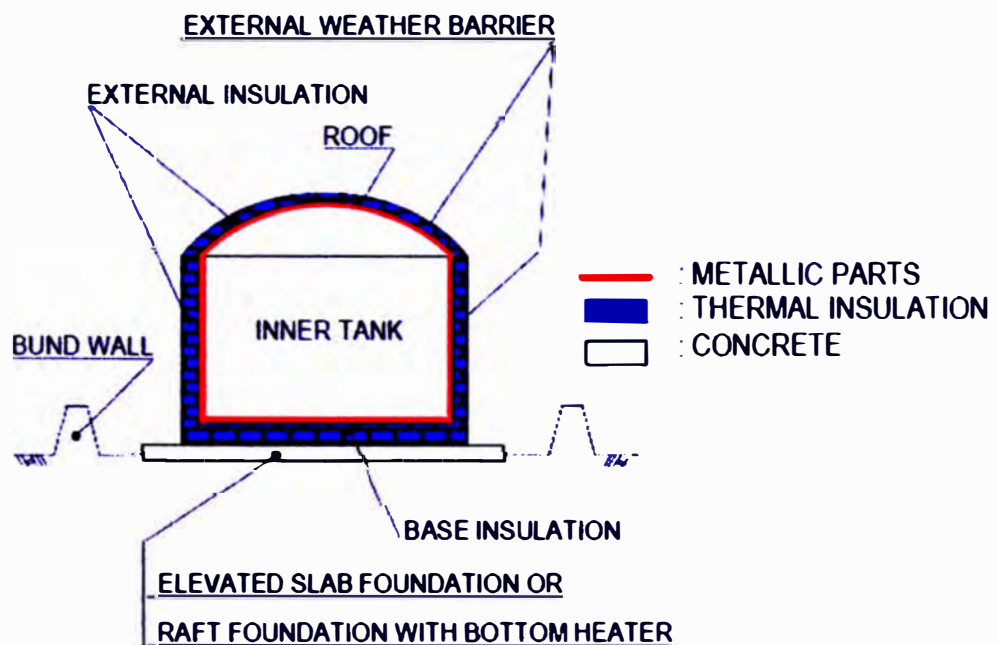


FIGURA (a) TANQUE DE PARED SENCILLA Y MURO DE SEGURIDAD

- Tanque tipo (II): de pared sencilla con aislamiento sobre la camisa por el lado exterior y techo aislado suspendido, figura (b).

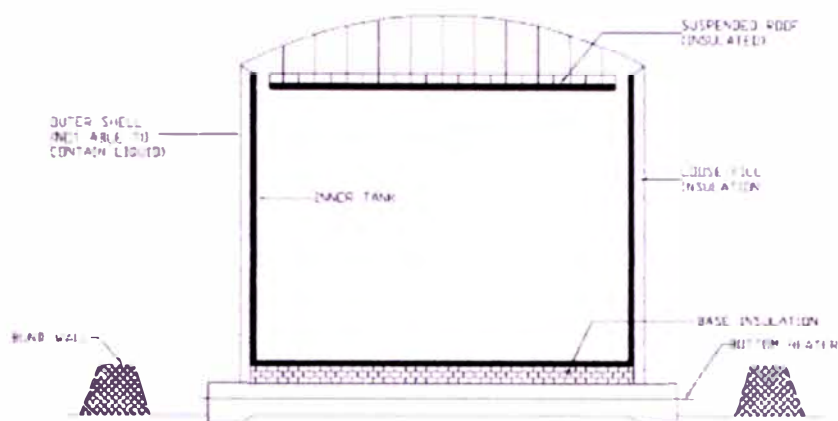


FIGURA (b) TANQUE DE PARED SENCILLA TECHO SUSPENDIDO

- Tanque tipo (III): “double integrity” (cup in tank) con aislamiento sobre la superficie exterior del mismo, figura (c).

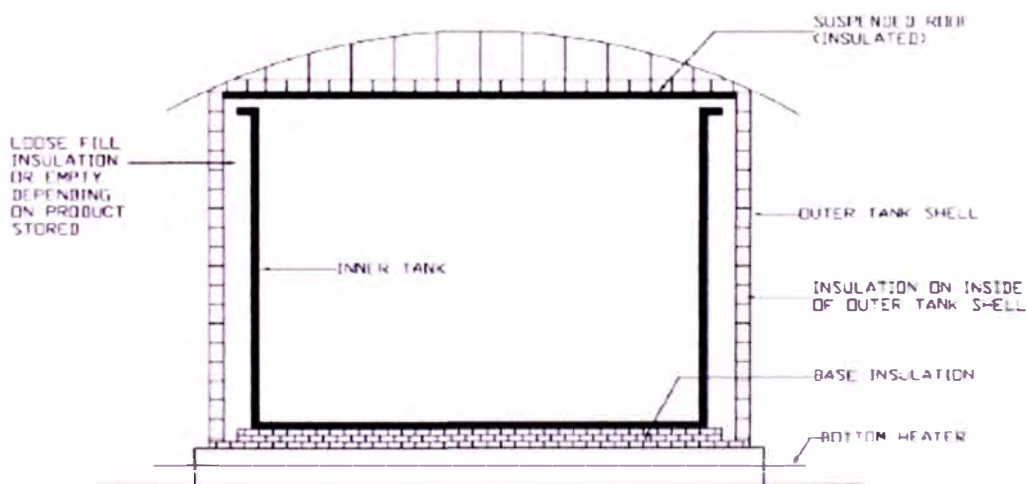
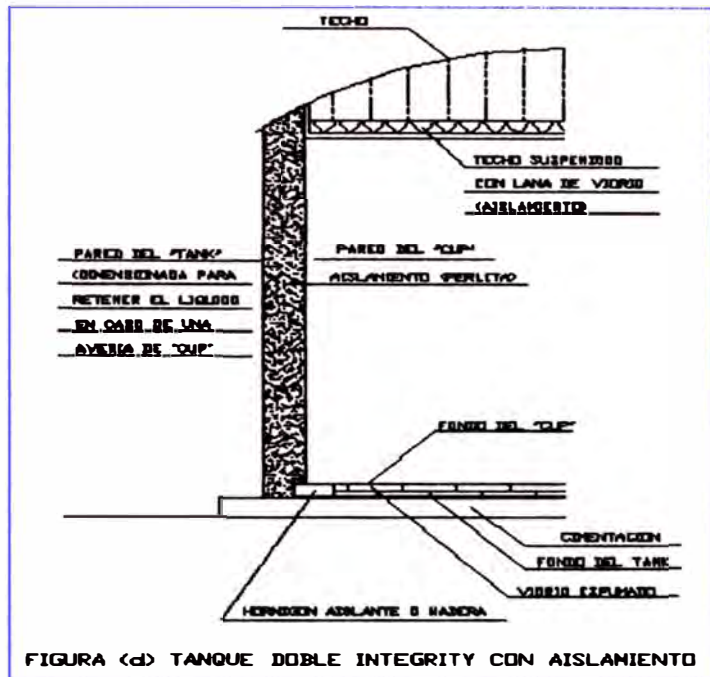


FIGURA (c) TANQUE DOUBLE INTEGRITY (CUP IN TANK)

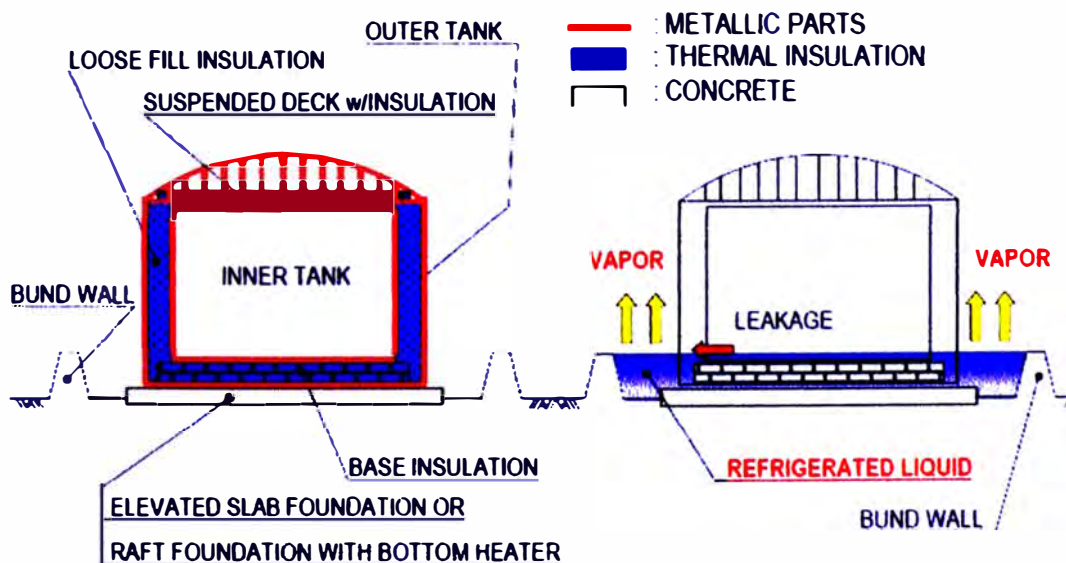
- Tanque tipo (IV): “double integrity” (cup in tank) con aislamiento sobre la camisa en forma de llenado de perlite en el espacio anular entre el dique y tanque con el techo aislado suspendido, figura (d).
- Tanque tipo (V): “double integrity” (cup in tank) con aislamiento en la pared del tanque por el lado exterior y techo aislado suspendido, figura (e).

- Tanque tipo (VI): de pared sencilla con aislamiento en la camisa por el lado exterior y por el techo aislado cónico o suspendido.

El tanque tiene una camisa adicional de hormigón como segundo recipiente, figura (f).



- Tanque tipo (VII): de pared doble (cup in tank) con aislamiento de la camisa, llenado de perlita en el espacio anular entre dique y tanque, con techo aislado suspendido, la pared exterior del tanque, no está calculada para recibir el líquido, figura (g).



Los tipos de tanque (I) y (III) están siendo desplazados cada vez más por los tipos (II) y (IV), por cuanto el aislamiento de techo colocado

exteriormente es dañado muy fácilmente, por ejemplo por desprendimiento de las chapas de aislamiento, debido al viento así como la pérdida de permeabilidad del aislamiento alrededor de las tubuladuras.

Los tanques cilíndricos de fondo plano descritos en el párrafo anterior se omitirán en la selección del tanque refrigerado ya que el objetivo es lograr que cumpla con las características que se adecue a las necesidades operativas, como las condiciones de diseño de la cimentación.

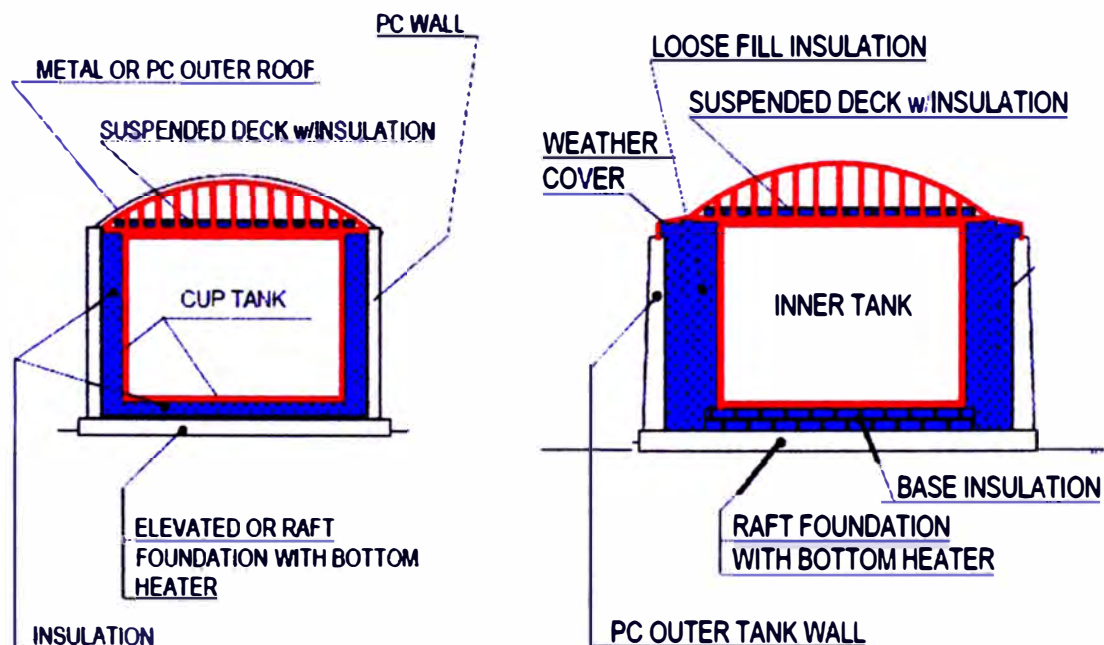


FIGURA (f) TANQUE DE PARED SIMPLE + TK HORMIGÓN FIGURA (g) TANQUE PARED SIMPLE TK HORMIGÓN AISLADO

4.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE TANQUE

La selección óptima del tanque de almacenamiento se determinará comparando las ventajas (V) y desventajas (D) de cada tipo, en relación al diseño, seguridad, inversión inicial, y costos de operación:

4.3.1 TANQUE TIPO (II): de pared sencilla con techo aislado suspendido, aislamiento de la camisa de poliuretano por el lado exterior cubierto por una envuelta de chapa que sirve a la vez de baffle.

(D) El aislamiento de la camisa puede sufrir daños por la intemperie y por ataques mecánicos, si no ha sido instalado correctamente y si se descuida el mantenimiento.

(D) El tanque debe ubicarse en un receptáculo, este receptáculo tendrá una altura de llenado de 2 metros, se requiere de una superficie de base de 0.5 m^2 por cada m^3 .

(D) En caso de avería del tanque se genera gas de amoníaco por el contacto con el suelo tibio, este gas es descargado al ambiente.

4.3.2 TANQUE TIPO (IV): "double integrity" (cup in tank) con techo aislado suspendido, aislamiento de camisa en forma de llenado con perlita en el espacio anular entre paredes de tanque.

(V) El tanque consiste de dos recipientes plenamente utilizables.

(V) Las superficies exteriores del tanque son homogéneas y de acero.

(D) El aislamiento de la camisa tiene mayor espesor que lo necesario por razones de diseño.

(V) El material aislante se encuentra totalmente protegido contra la intemperie y los ataques mecánicos.

(D) En este caso de avería de "cup", el amoníaco penetra al espacio entre las paredes lleno de perlita, con lo que la superficie exterior es enfriada intempestivamente, la perlita es empujada hacia arriba por el líquido entrante y el vapor que se genera en el cielo suspendido y debajo el techo del tanque se produce una situación indefinida.

(D) A través de las válvulas de seguridad se descarga amoníaco a la atmósfera.

4.3.3 TANQUE TIPO (V): “double integrity” (cup in tank) con techo aislado cónico o suspendido, aislamiento de poliuretano en la camisa por el lado exterior del tanque, cubierto por una envuelta de chapa que sirve de baffle.

(V) El tanque consiste de dos recipientes plenamente utilizables.

(V) Todas las partes del acero del tanque que entran en contacto con el amoníaco tienen una temperatura de aproximadamente -33°C , no se produce enfriamiento intempestivo.

(D) El aislamiento puede sufrir daños por efectos de la intemperie y por ataques mecánicos, si no han sido instalado correctamente y si se descuida el mantenimiento.

(V) En caso de avería del recipiente interior, el amoníaco genera al espacio intermedio vacío y frío; no se asegura vapor ó muy poco. Las válvulas de seguridad no responden, y no se descarga amoníaco.

4.3.4 TANQUE TIPO (VI): de pared sencilla con techo aislado cónico o suspendido, ubicado dentro de una camisa adicional de hormigón, aislamiento colocado por el lado exterior de la camisa del tanque, cubierta por una envuelta de chapa, que sirve a la vez de baffle.

(V) Dos recipientes plenamente utilizables para la fase líquida del amoníaco.

(V) El aislamiento de la camisa protegido contra la intemperie.

(V) La camisa de hormigón reforzado protege contra los ataques mecánicos masivos desde afuera (onda de presión, sabotaje).

(D) La camisa de hormigón tiene temperatura ambiente.

(D) Es posible la formación de agua de condensación en el espacio anular entre la camisa de hormigón y el tanque.

(D) En caso de avería del tanque, el amoníaco que escapa choca contra la camisa de concreto de pared tibia, que es enfriada intempestivamente; peligro de agrietaduras.

(D) Como el espacio anular entre el tanque y el muro de hormigón no es impermeable a los gases, en caso de avería del tanque se descargaría gas de amoníaco al medio ambiente.

4.3.5 TANQUE TIPO (VII): de pared doble (cup in tank) con techo aislado y suspendido, diseñado únicamente para presión de trabajo (del gas). Aislamiento de la camisa en forma de llenado de la perlita en el espacio anular entre copa y tanque. El aislamiento de techo en forma de techo suspendido.

(D) El tanque no puede utilizarse como un segundo recipiente por cuanto no está calculado para la carga estática del llenado.

(D) Se requiere de receptáculo colector como en el caso del tanque de pared sencilla.

(V) Las superficies exteriores del tanque son homogéneas y de acero.

(D) El aislamiento de la camisa es de un espesor mayor que el necesario por razones de diseño.

(V) Material aislante enteramente protegido contra la intemperie.

(V) Buena protección contra los ataques mecánicos normales.

(D) En caso de avería de la taza "cup", el amoníaco que escapa penetra en el espacio intermedio lleno de perlita y se produce una

situación indefinida, a saber, enfriamiento intempestivo de la pared del tanque, evaporación de amoníaco, desplazamiento de la perlita hacia arriba, rotura de la pared del tanque y escape de amoníaco líquido y gaseoso al ambiente.

Los factores comparativos de mayor relevancia que determinan la selección más adecuada del tipo de tanque son las siguientes:

- El tipo de tanque descrito en el ítem 4.3.3, de doble pared el costo es de 1,8 a 2,0 veces el valor del tanque tipo descrito en el ítem 4.3.4, de pared simple, su diseño y construcción es menos complejo.
- El peso estimado del acero del tanque de pared simple es de 280 toneladas, mientras que para el tanque de pared doble es de 520 toneladas, materiales en aceros de importación.
- El recipiente exterior de concreto reforzado del tanque tipo del ítem 4.3.4, se construirá íntegramente con materiales nacionales, por lo tanto contribuirá a disminuir el monto de moneda extranjera.

En conclusión, después de un análisis comparativo y con la opinión de los expertos se opta por diseñar un tanque de pared simple con techo cónico aislado, protegido por un recipiente adicional de hormigón, por ser una alternativa más segura y a la vez económica.

4.4 PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE

Los parámetros para dimensionar el tanque de almacenamiento de amoníaco se ha considerado, la cantidad de amoníaco que requiere las plantas que quedan en servicio y la capacidad del transporte de los buques tanques "Quimiqueros" de gases licuados derivados del gas y petróleo.

4.4.1 REQUERIMIENTO DE AMONIACO

La cantidad requerida de amoniaco para abastecer a las plantas consumidoras que tendrá como mínimo 320 días de operación al año, y para cumplir con el programa de producción en función de la capacidad de las plantas consumidoras, se estiman en 24.000 TM anuales de amoniaco importado, con un stock mínimo para 20 días con 1.500 TM, haciendo un total de 25.500 TM de amoniaco, adicionando un 20% en promedio de disponibilidad de la capacidad instalada de las unidades consumidoras de amoniaco, la cantidad de amoniaco equivalente requerida para cumplir con el pronóstico de ventas anuales futuras será de 30.600 TM, tal como se muestra la producción típica anual en la tabla 4.1

**TABLA 4.1 CALCULO DE PRODUCCION ANUAL
AMONIACO TOTAL: 75 TM/d x 320d = 24000 TM**

ITEM	PRODUCTOS	Und.	Acido Nítrico 53%	Venta	Consumos Especificos	Equivalente NH3
1	Gas de Síntesis (x 1000)	Nm ³	-	5700	0.431	2459
2	Solución Amoniacal	m ³	-	540	0.300	162
3	Amoniaco Anhidro	TM	-	200	1.000	200
4	Acido Nítrico 98.5%	TM	-	850	0.295	251
5	Equivalente (4) en Nítrico al 53%	TM	1700	-	-	-
6	Acido Nítrico 53%	TM	-	900	0.156	140
7	(5) + (6)	TM	2600	-	-	-
8	Producción Mínima Sulfato	TM	-	4000	0.260	1040
9	Total NH ₃ empleado	TM	-	-	-	4252
10	NH ₃ Disponible	TM	-	-	-	19748
11	Nitrato Gr. Equivalente (10)	TM	-	42196	0.468	
12	Nitrato de Amonio Técnico	TM	-	6400	0.225	1440
13	Nitrato de Amonio Agrícola	TM	-	37700	0.215	8106
14	Acido Nítrico 53% Equiv (11)	TM	65446	-	0.156	10210
15	Acido Nítrico 53% Total	TM	68046	-	-	-
AMONIACO TOTAL						24000

Fuente: Producción y Control de Procesos Nitratos

4.4.2 CAPACIDAD DE LOS BUQUES TANQUE

Los buques tanques que transportan una gran gama de productos petroquímicos, tales como el amoniaco por tratarse de un producto toxico, según La Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido de riesgo medio por lo que su diseño es “altamente especializado”, dependiendo del trafico y requerimientos de transporte de los productos, sus capacidades habituales de buques tanques oscilan entre los 3.000 m³ y los 25.000 m³ para su transporte.

Estos tipos de buques utilizan tanques a presión o instalaciones total o parcialmente refrigeradas de flexibilidad operativa de carga y descarga. El acceso de las embarcaciones al muelle N° 7 del terminal marítimo del Callao, cuenta con dos amarraderos siendo su capacidad de recepción de 25.000 DWT por cada uno.

4.4.3 EVALUACIÓN ECONOMICA DE CAPACIDAD DEL TANQUE

Para efectos de la evaluación económica de la capacidad del tanque de almacenamiento, se ha comparado un tanque de 6.000 TM y 10.000 TM de capacidad respectivamente, para lo cual se ha solicitado información de costos a los fabricantes.

- La inversión inicial estimada del tanque de almacenamiento, tal como se muestra en la tabla 4.2

TABLA 4.2 INVERSION INICIAL DE LOS TANQUES

CAPACIDAD TANQUE (TM)		INVERSION (\$)
NOMINAL	REAL	
6.000	5.400	1'194.750
10.000	9.000	1'632.560

Fuente: Elaboración propia.

- Los costos de operación durante el período de evaluación, costo del amoniaco y flete correspondiente, tomando en cuenta los periodos existentes entre cada embarque de amoniaco. Ver tabla 4.3
- Crédito tributario que se obtiene, a través de la depreciación del bien.

Estos datos se traducirán en un flujo de egresos (costos) durante un periodo determinado, el costo (FOB) Callao de amoniaco: 85-90 \$/TM, los mismos que servirán para la evaluación.

TABLA 4.3 COSTO DEL TRANSPORTE \$/TM

ORIGEN - DESTINO	TAMAÑO DEL LOTE (TM)	
	5.400	9.000
US GULF - CALLAO	93	69
PAJARITOS - CALLAO	94	70
EL TABLAZO - CALLAO	98	72
TRINIDAD - CALLAO	106	78

Fuente: Elaboración propia

Las alternativas se evalúan con los supuestos que detallamos son:

A) Instalación de un tanque de 6.000 TM de capacidad de almacenamiento de amoniaco con el cual se operaria de la siguiente manera:

- Primer pedido : 5.400 TM
- Sucesivos pedidos : 3.900 TM
- Periodo entre pedidos : 50 días

B) Instalación de un tanque de 10.000 TM de capacidad de almacenamiento con el cual se operaria de la siguiente manera:

- Primer pedido : 9.000 TM

- Sucesivos pedidos : 7.500 TM
- Periodo entre pedidos : 100 días

El periodo de evaluación económica 10 años; costo del capital 12%; el stock mínimo de 1.500 TM; no existe diferencia técnica entre las alternativas de construcción, costos de operación y mantenimiento de ambas alternativas son los mismos.

La evaluación económica, como se trata de egresos considerara la más conveniente aquella alternativa de menor Valor Actual Neto (VAN), el resultado del análisis efectuado en Excel, ver anexos 4.1 y grafico 4.1 del apéndice 4.1 y se puede concluir que la alternativa de instalación de un tanque de 10.000 TM de capacidad, comparada con la de 6.000 TM, es la más conveniente por tener un menor costo de inversión y operación, y las ventajas inherentes a costos por flete por tonelada de importación de amoniaco de los buques tanques desde los puertos de despacho hasta el muelle N° 7 del terminal marítimo del Callao.

4.5 CALCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE

La capacidad de almacenamiento de amoniaco será de 10.000 TM, el volumen se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{G}{\rho} \quad (4.1)$$

Donde:

V = Volumen del tanque de almacenamiento, [m³]

G = Capacidad de almacenamiento del tanque, [TM]

ρ = Densidad del amoníaco líquido, [TM/m³]

Para los valores: $G = 10.000$; $\rho = 0,68157$ a la temperatura de $-33,3^{\circ}\text{C}$ y 1 atmosfera (presión absoluta), reemplazando en la ecuación 4.1 se tiene:

$$V = \frac{10.000}{0,68157} = 14.672 \text{ m}^3$$

La capacidad máxima de llenado del tanque se determinará de forma que el amoníaco líquido no ocupe más del 95% del volumen total, tras dilatarse al incrementar su temperatura hasta la máxima que pueda alcanzar en servicio, obteniéndose el volumen máximo $V_m = 15.444 \text{ m}^3$

4.5.1 CALCULO DE LA RELACIÓN ALTURA/DIAMETRO (H/D)

Las dimensiones principales del tanque se determinaran considerando proporcionalidad de costos según análisis estadísticos de proyectos similares, tanques grandes a baja presión ya realizados.

El costo total del tanque viene dado por la ecuación siguiente:

$$C_t = A_c * C_1 + A(C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (4.2)$$

Donde:

C_t = Costo total del tanque

D = Diámetro del tanque

H = Altura del tanque

C_1 = Costo del casco

C_2 = Costo del fondo

C_3 = Costo del techo

C_4 = Costo de la cimentación

C_5 = Costo del terreno

$$V = \text{Volumen de almacenamiento} \quad V = \frac{\pi * D^2 * H}{4} \quad (4.3)$$

$$A = \text{Área fondo} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4.4) \quad A_c = \text{Área casco} = \pi \cdot D \cdot H \quad (4.5)$$

Sustituyendo las expresiones de 4.4, 4.5 en la expresión 4.2 tenemos:

$$C_t = \pi \cdot D \cdot H \cdot C_1 + \frac{\pi \cdot D^2}{4} (C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (4.6)$$

Simplificando y sustituyendo el valor en función del volumen "V" y el diámetro "D" en la ecuación 4.6 se obtiene:

$$C_t = \frac{4 \cdot V \cdot C_1}{D} + \frac{\pi \cdot D^2}{4} (C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (4.7)$$

De esta ecuación determinaremos la óptima proporción del diámetro y la altura "H" del tanque, de tal manera que el costo sea el mínimo; considerando que el espesor del casco depende de las medidas del diámetro y altura en el caso de tanques de grandes dimensiones.

El costo por unidad de área C_1 , es función de D y H y podemos asumir que es directamente proporcional al espesor del casco como lo define E. Brownell.

$$C_1 = C_6 (H-1) \cdot D \quad (4.8)$$

$$C_6 = C_1 / (H-1) \cdot D \quad (4.9)$$

Siendo C_6 una constante de proporcionalidad, sustituyendo 4.8 en 4.9 tenemos:

$$C_t = 4 \cdot V \left[\frac{C_6 \cdot (H-1) \cdot D}{D} + \frac{\pi \cdot D^2}{4} (C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \right] \quad (4.10)$$

Reemplazando H en función del volumen V en la ecuación 4.10 tenemos:

$$C_t = 4 \cdot V \cdot C_6 \left(\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \right) - 4 \cdot V \cdot C_6 + \frac{\pi \cdot D^2}{4} (C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (4.11)$$

Diferenciando la expresión el costo total respecto al diámetro e igualando a cero la ecuación 4.11 obtendremos el costo mínimo:

$$\frac{dC_1}{dV} = -32 * C_6 \left(\frac{V^2}{\pi * D^3} \right) - 0 + \frac{\pi * D}{2} (C_2 + C_3 + C_4 + C_5) = 0 \quad (4.12)$$

Sustituyendo el valor de C_6 y el valor del volumen "V" y considerando que en tanques grandes el valor de (H-1) es aproximadamente a H en la ecuación 4.12 y simplificando tenemos:

$$D = 4 * H \left(\frac{C_1}{C_2 + C_3 + C_4 + C_5} \right) \quad (4.13)$$

Esta relación será la más óptima proporción del tanque que usaremos para optimizar el costo total.

Estimaciones de la relación de costos para estos tipos de tanques:

$$C_1 = 2C_2 = C_3; C_4 = C_1; C_5 = 0 \quad (4.14)$$

Reemplazando 4.14 en la expresión 4.13 tenemos:

$$D = 4 * H \left(\frac{C_1}{0,5 * C_1 + C_1 + C_1 + 0} \right) \quad (4.15)$$

$$D = 1,6 * H \quad (4.16)$$

Reemplazando la relación 4.16 en la expresión 4.3, se obtiene el diámetro interior del tanque de almacenamiento mediante la expresión:

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,6 * 4 * V_m}{\pi}} \quad (4.17)$$

Reemplazando el valor de V_m en la fórmula 4.17, las dimensiones optimizadas del tanque de almacenamiento resultan $D = 31.569$ m y $H = 19.730$ m respectivamente.

Tomando en cuenta las dimensiones de las planchas a emplearse en la construcción del casco (2.500x6.020 mm), y la luz para la unión vertical de 3 a 4 mm, se tiene que redimensionar el diámetro como la altura del tanque de almacenamiento, para ello se calcula el número de planchas (n) cuyo valor tiene que ser un valor entero $n = \pi * D / 6.024$;

$n = 3.1416 \times 31.569 / 6.024 = 16,46$ planchas, se opta por considerar $n = 16$ planchas y recalculando el diámetro interior $D_i = 30.679,90$ m, $H = 20.892,59$ m respectivamente.

Para efectos de diseño el tanque cilíndrico de eje vertical, quedara definido por las dimensiones principales: $D_i = 30.680$ m (100,656 pies), y $H = 21,000$ m (68,897 pies).

4.6 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TANQUE

Los parámetros de operación del tanque de almacenamiento metálico proporcionadas por la Gerencia de Operaciones son las siguientes:

- Fluido : NH_3 líquido
- Servicio : Almacenamiento
- Presión de proyecto : Atmosférica
- Presión de ejercicio : 120 mm columna H_2O (fase gaseosa)
- Temperatura del fluido : $-33,3^\circ\text{C}$
- Diámetro interior : 30,680 m (100,656 pies)
- Altura parte cilíndrica : 21,000 m (68,897 pies)
- Capacidad almacenamiento : 10.000 Toneladas
- Volumen geométrico : 15.444 m^3

4.7 CONDICIONES DE DISEÑO DEL TANQUE

Los parámetros de diseño del tanque metálico cilíndrico revestido con aislamiento térmico se han definido en el área de Ingeniería y Desarrollo:

- Presión interna de diseño : 6,3 Pulg. Columna H_2O a 20°C
- Presión externa de diseño : 1,5 Pulg. Columna H_2O a 20°C

- Detalles constructivos : Códigos de diseño mecánico de tanques de almacenamiento API-620 Apéndice "R", y API 650.
- Tipo : Cilíndrico de eje vertical, de fondo plano, con techo cónico soportado sobre columnas.
- Presión del viento : Norma ASA A58.1
- Carga sobre el techo : 25 lb/pie² carga viva + 5 lb/pie² carga de aislamiento térmico
- Temperatura de diseño : - 45° F (-42,78°C)
- Máxima carga en el tanque : 30 lb/pulg²
- Tolerancia por corrosión : 1/16 Pulg.
- Eficiencia de juntas soldadas: 85%
- Esfuerzos : La base para la determinación de esfuerzos permitidos para los materiales empleados según los códigos o normas estandarizadas; API 620, y API 650.

4.8 SELECCIÓN DE MATERIALES DEL TANQUE

Los materiales a emplearse en la construcción de los componentes del tanque de almacenamiento a baja presión para productos refrigerados, como es el amoniaco líquido a -33.3°C (-28°F), según lo indica la norma API 620, tablas R.2.1, R.2.2, R.2.3 y R.2.4. y las especificadas por la norma ASTM y normas equivalentes homologadas, ver hojas "mill sheet" apéndice 4.2

- Casco o pared cilíndrica : ASTM A537 C1 ó ASTM A516 CL 70
- Fondo : ASTM A537 C1 ó ASTM A516 CL 70
- Techo soportado : ASTM A537 C1 ó ASTM A516 CL 70
- Cúpula : ASTM A273 Gr. C

- Refuerzos de la cúpula. : ASTM A36 modificado, con Manganeso (0,85 a 1,20), Silicio killed de grano fino.
- Anillos de refuerzo y column. : ASTM A516 CL 70 ó ASTM A300 CL1
- Bridas : ASTM A350 Gr LF2 ó ASTM A201 GrB
- Tubuladuras : ASTM A333 Gr.6
- Refuerzo de las tuberías : ASTM A537
- Pernos : ASTM A320 L7; ó ASTM A193 Gr. B8
- Tuercas : ASTM A194 Gr. 4, ó ASTM A194 Gr. 8
- Empaquetaduras : Amiantita comprimido de 1/16" espesor
- Pernos de cimentación : ASTM A320 L7
- Escaleras, pasarelas intern. : ASTM A-36 modificado
- Escaleras, pasarelas extem. : ASTM A-36 modificado, galvanizado.

4.9 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

4.9.1 DISEÑO DEL CASCO

4.9.1.1 Consideraciones

- El tanque será diseñado como un tanque atmosférico por estar sometidas a presiones internas cercanas a la presión atmosférica.
- Las planchas a emplearse como medidas efectivas mínimas tendrán un ancho de 2500 mm y 6020 mm de longitud. El fabricante produce y provee con medidas ligeramente mayores con tolerancias de acuerdo a normas para poder escuadrarlos.
- Luz entre planchas promedio 1/8 pulg. (3 a 4 mm).
- Las juntas soldadas serán a tope con bisel simple en y hacia el interior del tanque.

- La disposición y detalles se muestran en los esquemas y planos respectivos desarrollados por el software Autocad.
- La unión vertical de planchas del casco se ejecutara con el lado interior totalmente liso.

De acuerdo a los códigos API 650, API 620, ANSI, y AWWA que se muestra en la tabla 4.4, para un diámetro de 30,680 m, el espesor nominal mínimo de casco será de ¼" (6,35 mm).

TABLA 4.4 ESPESOR MINIMO PLANCHA DEL CASCO

PARAMETROS	API 650	API 620	ANSI	AWWA
	Apéndice F	Apéndice R	B96.1	
Presión Interna Máxima	0,17 Kg/cm ²	1 Kg/cm ²	1 Atm	1 Atm
Temperatura Mínima	-28,8°C	-54,4°C	-28,8°C	-48,8°C
Temperatura Máxima	NS	-40°C	204°C	Ambiente
Espesor Máximo Casco	44,4 mm	NS	NS	50,8 mm
Espesor Mínimo Casco				
D < 15,2 m	4,76 mm	4,76 mm	4,76 mm	4,76 mm
15,2 m. < D > 36,5 m.	6,35 mm	6,35 mm	6,35 mm	6,35 mm
36,5 m. < D > 60,9 m.	7,93 mm	7,93 mm	7,93 mm	7,93 mm
D > 60,9 m.	9,52 mm	9,52 mm	NS	9,52 mm

NS= Sin Especificación

4.9.1.2 Calculo de espesores por el método de un pie

Con este método se calcula el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a 304.8 mm (1 pie) por encima de la unión de cada anillo.

Este método solo es aplicable en tanques con un diámetro igual o menor a 60.960 mm (200 pies), como es el presente caso.

El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsecuentes.

El esfuerzo máximo permisible de diseño (S_d) y de prueba hidrostática (S_t), se muestra en la tabla 4.5 recomendado por el estándar API 650, así como lo indicado en la norma API 620, tabla 3.05 Máximos valores de esfuerzos permisibles para tensión simple en el diseño y construcción de grandes tanques soldados para almacenaje a baja presión.

TABLA 4.5 MATERIALES MÁS COMUNES Y ESFUERZOS PERMISIBLES (Kg/cm^2)

ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	ABCS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH36	2560	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2560	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C.D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

4.9.1.3 Diseño del primer anillo

Los máximos esfuerzos de diseño (S_d) y de la prueba hidrostática (S_t), incluyendo el factor de eficiencia de junta, se detalla en la tabla 4.6, tal como recomienda el API 650 apéndice G, tabla G.1 (a), (b), el espesor total de la plancha incluyendo la tolerancia por

corrosión, será empleada en los cálculos, de los cuales se tomará el menor de los valores.

TABLA 4.6 ESFUERZOS PERMISIBLES DE DISEÑO E HIDROSTÁTICA

ANILLOS	S_d (Esfuerzo de Diseño)	S_t (Esfuerzo de Prueba Hidrostática)
Primer Anillo	$2/3 S_y$ o $3/8 S_u$	$3/4 S_y$ o $2/5 S_u$
Anillos Superiores	$2/3 S_y$ o $2/5 S_u$	$3/4 S_y$ o $3/7 S_u$

Siendo: S_y = Esfuerzo de Fluencia; S_u = Esfuerzo de Rotura

Las planchas del casco del tanque para el primer anillo y los superiores, el material seleccionado según las normas ASTM es el A537 Grado A (Tabla 3.05 Norma API 620), cuyos valores de S_u : 70.000 lb/pulg², S_y : 50.000 lb/pulg², obteniéndose los valores permisibles según se indica en la tabla 4.7

TABLA 4.7 VALORES PERMISIBLES ASTM A537 GRADO A(lb/pulg²)

ANILLOS	S_d (Esfuerzo de Diseño)	S_t (Esfuerzo de Prueba Hidrostática)
Primer Anillo	33.333 o 26.250	37.500 o 28.000
Anillos Superiores	33.333 o 28.000	37.500 o 30.000

El esfuerzo de diseño se calculará con el tanque lleno de amoníaco líquido. El espesor de prueba hidrostática se calculará con el tanque lleno de agua, el espesor mínimo será el mayor de ambos. El mínimo espesor requerido para las planchas del casco será el mayor de los valores calculados por las siguientes formulas:

$$t_d = \frac{2,6 * D * (H - 1) * G}{S_d * E} + C \quad (4.18)$$

$$t_t = \frac{2,6 * D(H - 1)}{S_t * E} \quad (4.19)$$

Donde:

t_d = Espesor de diseño, [pulg.]

t_t = Espesor de prueba hidrostática, [pulg.]

D = Diámetro nominal del tanque, [pies]

E = Eficiencia de soldadura, [0,85]

G = Gravedad específica de diseño del líquido

C = Tolerancia (sobre espesor) por corrosión, en [pulg.]

S_d = Esfuerzo de diseño, [lb/pulg²]

S_t = Esfuerzo de prueba hidrostática, [lb/pulg²]

H = Altura, [pies]; medido desde la base del anillo bajo consideración hasta el borde superior del ángulo superior o la altura de llenado limitado por sobre el flujo del tanque, adicionado la presión interna de diseño de 160 mm agua 20°C. (0,235 m de columna de amoníaco líquido).

Reemplazando los valores: D= 30,680 m (100,656 pies), H= 21,00 m (68,897 pies), C= 1/16 pulg, E= 26.250 lb/pulg², en la ecuación 4.18 tenemos:

$$t_d = \frac{2,6 * 100,656(68,897 - 1) * 0,68157}{26.250 * 0,85} + 0,063 = 0,606 \text{ pulg}$$

$$t_d = 0,606 \text{ pulg (15.387 mm)}$$

Para el caso de prueba hidrostática se calculará con el tanque lleno de agua ($\rho=1,0$), reemplazando valores en la ecuación 4.19 tenemos:

$$t_t = \frac{2,6 * 100,656 (68,897 - 1)}{28.000 * 0,85} = 0,747 \text{ pulg}$$

$$t_t = 0,747 \text{ pulg (18,964 mm)}$$

Por lo tanto el espesor recomendado (t_r) de la plancha en el primer anillo será el mayor de ambos por lo que el anillo será de 19,05 mm.

4.9.1.4 Diseño de los anillos superiores

Para diseñar los espesores de los anillos superiores del casco, utilizamos la misma metodología se realiza los cálculos utilizando las ecuaciones 4.18 y 4.19, sustituyendo los valores de S_d y S_t recomendados en la tabla 4.7, los valores de espesores de los anillos 2 al 9 calculados mediante Excel se muestra en la tabla 4.8

TABLA 4.8 ESPESOR DE LOS ANILLOS O VIROLAS DEL TANQUE (mm)

ANILLO	H (mm)	H (Pies)	W (mm)	W(Pies)	t_d (Pulg)	t_d (mm)	t_t (Pulg)	t_t (mm)	t_r (mm)
1	21000	68.898	2504	8.215	0.606	15.387	0.747	18.964	19.05
2	18496	60.682	2504	8.215	0.510	12.961	0.613	15.558	15.87
3	15992	52.467	2503	8.212	0.449	11.398	0.528	13.416	14.28
4	13489	44.255	2503	8.212	0.387	9.834	0.444	11.276	12.70
5	10986	36.043	2503	8.212	0.326	8.271	0.360	9.135	9.52
6	8483	27.831	2503	8.212	0.264	6.708	0.275	6.994	7.93
7	5980	19.619	2503	8.212	0.203	5.145	0.191	4.854	6.35
8	3477	11.407	2503	8.212	0.141	3.581	0.107	2.713	6.35
9	974	3.196	974	3.196	0.079	2.018	0.023	0.572	6.35

Altura total del casco: 21000 68.898

HG =Altura geométrica; HL= Altura nivel liquido; W= Altura plancha; t_r = Espesor recomendado

4.9.1.5 Conformado del casco

Para el diámetro interior de 30.680 mm (100.656 pies) y los espesores respectivos, API 650 recomienda el siguiente conformado:

- Anillo (1) de espesor 19,05 mm, (3/4 pulg), rolado
- Anillo (2) de espesor 15,87 mm, (5/8 pulg), rolado
- Anillo (3) de espesor 14,28 mm (9/16 pulg), rolado

- Anillo (4) de espesor 12,70 mm (1/2 pulg), rolado
- Anillo (5) de espesor 9,52 mm (3/8 pulg), rolado
- Anillo (6) de espesor 7,93 mm (5/16 pulg), rolado
- Anillo (7) de espesor 6,35 mm (1/4 pulg), rolado
- Anillo (8) de espesor 6,35 mm (1/4 pulg), rolado
- Anillo (9) de espesor 6,35 mm (1/4 pulg) rolado

Según las recomendaciones de rolado por API 650 y la sección vertical de las planchas del casco se muestra en la figura 4.1

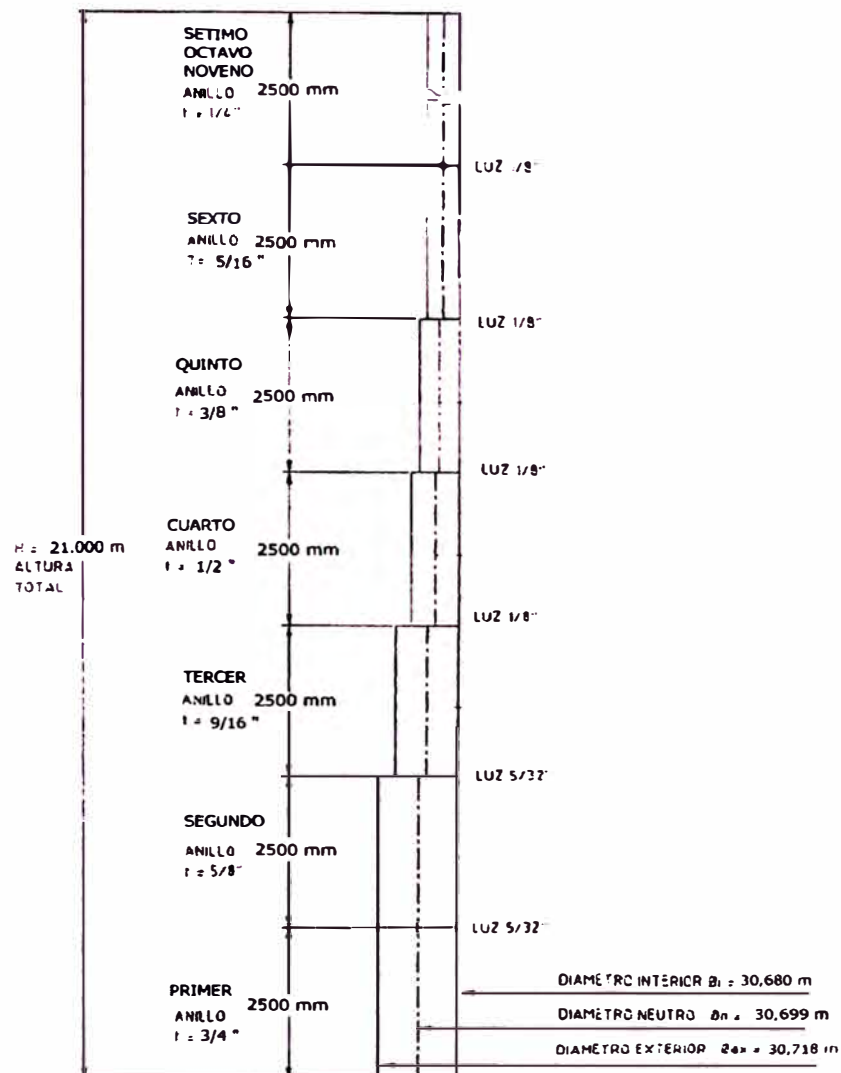


FIGURA 4.1 DISPOSICION VERTICAL DE PLANCHAS DEL CASCO

Disposición y metrado de materiales se muestra en el plano N° TA-002

A) Primer anillo

- Para el diámetro interior $D_i = 30.680$ mm, la longitud de planchas será:

$$L_t = \pi \times 30.679,90 \text{ mm} = 96.383,97 \text{ mm}$$

- Considerando $n = 16$ planchas por anillo y la luz para la unión vertical de 3 mm tendremos $16 \times 3 = 48$ mm, que descontar a la longitud total de planchas: $96383,97 - 48 = 96335,97$ mm

- La longitud de cada plancha será: $96335,97 / 16 = 6020$ mm

- Se usaran 16 planchas de $16 \times 2500 \times 6020$ mm, totalmente a escuadra dentro de las tolerancias permitidas.

B) Anillos superiores

Para los siguientes anillos se utiliza la misma metodología de disposición y metrado de la sección anterior para efectos de cálculo se tomara como referencia el diámetro interior del tanque, ver tabla 4.9

TABLA 4.9 CANTIDAD DE PLANCHAS DEL CASCO POR ANILLO

ANILLO	DI (mm)	t(mm)	DN(mm)	DE(mm)	LT(mm)	N	n
1	30679.90	19.05	30698.95	30718.00	96383.97	16.00	16
2	30679.90	15.87	30695.77	30711.64	96483.69	16.02	16
3	30679.90	14.28	30694.18	30708.46	96473.70	16.02	16
4	30679.90	12.70	30692.60	30705.30	96463.77	16.02	16
5	30679.90	9.52	30689.42	30698.94	96443.79	16.01	16
6	30679.90	7.93	30687.83	30695.76	96433.80	16.01	16
7	30679.90	6.35	30686.25	30692.60	96423.87	16.01	16
8	30679.90	6.35	30686.25	30692.60	96423.87	16.01	16
9	30679.90	6.35	30686.25	30692.60	96423.87	16.01	16

N= Numero de planchas calculado, n= Numero de planchas a usarse

DN= Diámetro nominal, DE=Diámetro exterior, DI=Diámetro interior

4.9.2 DISEÑO DEL FONDO

4.9.2.1 Consideraciones

- La unión de las planchas será con un traslape mínimo de 1¼" (31.75 mm).
- La soldadura será continua de filete completo.
- Las planchas debajo del casco (placa anular), deberán tener un conformado de tal forma que la plancha del casco tenga un apoyo suave, ver configuración en el apéndice 4.3
- La cimentación o fundación tendrá un anillo de concreto armado para soportar el peso del casco y el fondo será soportado por una base afirmada compuesto de arena y asfalto.
- Los traslapes de 3 planchas no deberán estar a menos de 12" una de otra.
- La plancha de fondo deberá extenderse por lo menos 51 mm (2") después del borde exterior del casco, más el ancho del filete de soldadura de unión entre el casco y el fondo.
- Se usaran planchas de 2500x6020 mm, totalmente a escuadra dispuestos convenientemente de tal manera no tener mucho desperdicio.

4.9.2.2 Determinación del espesor de fondo

De acuerdo API 650 el mínimo de espesor del fondo recomendado es ¼"(6.35 mm) y un desgaste por corrosión de 1/16".

El espesor del fondo se selecciona de acuerdo al espesor de la plancha del primer anillo del casco calculada en la expresión (4.23) y el esfuerzo de prueba hidrostática de $(30.00 \text{ lb/pulg}^2) 2.109 \text{ kg/cm}^2$, obteniendo el valor de 7,14 mm, ver tabla 4.10. Los espesores especificados en la tabla son los indicados y están basados en una cimentación que proporcione un soporte uniforme debajo de la pared cilíndrica del tanque.

El espesor de fondo resulta 7,14 mm considerando un sobre espesor por corrosión de $1/16'' (1.587 \text{ mm}) = 8,73 \text{ mm}$, determinándose el espesor de fondo en 9.52 mm ($3/8''$), con placa anular de $1/2''$.

TABLA 4.10 ESPESOR MINIMO DEL FONDO DE TANQUE (mm)

Espesor Mínimo (mm) del Primer Anillo del casco	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo (Kg/cm^2)			
	<1989	<2109	<2320	<2530
$t < 19.05$	6.35	6.35	7.14	8.73
$19.05 < t < 25.40$	6.35	7.14	9.52	11.11
$25.40 < t < 31.75$	6.35	8.73	11.91	14.28
$31.75 < t < 38.10$	7.93	11.11	14.28	17.46
$38.10 < t < 44.45$	8.73	12.70	15.87	19.05

El diámetro exterior de la plancha del fondo $D_{\text{ext}} = 30.718,00 + 2 \times 51$
 $D_{\text{ext}} = 30.820,00 \text{ mm}$.

La disposición de estas planchas se muestra en el Plano N° TA-003

4.9.3 SELECCIÓN DEL ANILLO DE REFUERZO

Según requerimiento de la norma API 650 (3.3.4) los ángulos superiores del casco para diámetros mayor de 60 pies, serán no menores a $3/8'' \times 3'' \times 3''$, cuando el techo del tanque es soportado por

columnas por consiguiente usaremos ángulos de 3/8"x4"x4", estos ángulos como refuerzo al casco y soporte del techo ubicado hacia el interior del tanque en traslape en la plancha del casco:

$$\text{Longitud} = [\pi \times (30679,90) - 16 \times 3] / 16 = 6020 \text{ mm}$$

Idénticamente se usaran ángulos de 3/8"x4"x4" que soportaran las viguetas exteriores del techo. Se usaran 16 ángulos de 3/8"x4"x4"x6020 mm de acero estructural A283 Gr C o A-36 modificado, dispuesto según se anexa en el plano N° TA-002.

4.9.4 SOLDADURAS

4.9.4.1 Juntas verticales del casco

Las juntas verticales deberán ser de penetración y fusión completa, lo cual se podrá lograr con soldadura doble, de tal forma que se obtenga la misma calidad del metal depositado en el interior y el exterior de las partes soldadas para cumplir con los requerimientos del procedimiento de soldaduras.

Las juntas verticales no deberán ser colineales, pero deben ser paralelos entre sí en una distancia mínima de (5t), donde "t" es el espesor de plancha del cordón más grueso del punto de desplazamiento, ver apéndice 4.4

4.9.4.2 Juntas horizontales

Las juntas horizontales, deberán ser de penetración y fusión completa, excepto la que se realiza entre el ángulo de coronamiento y

el cuerpo, la cual puede ser unida por doble soldadura a traslape, cumplimiento con el procedimiento de soldadura. A menos que otra cosa sea especificada, la junta a tope con o sin bisel entre las placas del cuerpo, deberán tener una línea de centros o fibra media común.

4.9.4.3 Soldadura del fondo

- **Soldadura a traslape:** Las placas del fondo deberán ser rectangulares y estar escuadradas. El traslape tendrá un ancho de, por lo menos, 32 mm. (1-1/4 pulg.) para todas las juntas: las uniones de dos o tres placas, como máximo que estén soldadas, guardarán una distancia mínima de 305 mm. (1 pie) con respecto a cualquier otra junta y/o a la pared del tanque. Cuando se use placa anular, la distancia mínima a cualquier cordón de soldadura del interior del tanque o del fondo, será de 610 mm. (2 pie).

Las placas del fondo serán soldadas con un filete continuo a lo largo de toda la unión. A menos que se use un anillo anular, las placas del fondo llevarán bayonetas para un mejor asiente de la placa del cuerpo que son apoyadas sobre el fondo, ver apéndice 4.5.

- **Soldadura a tope:** Las placas del fondo deberán tener sus cantos preparados para recibir el cordón de soldadura, ya sea escuadrando éstas o con biseles en "V". Si se utilizan biseles en "V", la raíz de la abertura no deberá ser mayor a 6.3 mm. (1/4 pulg). Las placas del fondo deberán tener punteada una placa de respaldo de 3.2 mm. (1/8 pulg) de espesor o mayor que la abertura entre placas, pudiéndose usar un separador para conservar el espacio entre las placas.

Cuando se realicen juntas entre tres placas en el fondo del tanque, éstas deberán conservar una distancia mínima de 305 mm. (1 pie) entre sí y/o con respecto a la pared del tanque.

4.9.4.4 Calificación de soldaduras y soldadores

Todos los procedimientos de soldadura y soldadores, serán calificados de acuerdo con el ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECTION IX, los soldadores serán calificados con las pruebas de impacto, especificadas en el mismo código sección VIII, parágrafo UG-84. Los especímenes para las pruebas de impacto serán de dimensión estándar (10mmx10mm). La temperatura de la prueba será de -31°F, ver apéndice 4.6

Las inspecciones se efectuarán según los requerimientos de la norma API 620, las paredes y el fondo serán inspeccionados en un 100% por el método de las partículas magnéticas, la calidad de la soldadura será controlada por exposición radiográfica.

El relevamiento de esfuerzos en las planchas donde se hayan instalado boquillas deberá recibir tratamiento térmico.

Las soldaduras que se encuentran sobre el nivel del agua se probarán por el sistema de vacío según API 620, también se puede probar aplicando el probador agua-aire de 7,5" columna de agua.

4.9.5 DISEÑO DEL TECHO

4.9.5.1 Consideraciones

- El tipo de estructura será de tipo cónico soportado por viguetas, vigas y columnas.

- Seleccionaremos el espesor mínimo recomendado por API, 3/16" (7.65 lb/pie²).
- El diseño debe soportar una carga viva uniforme de 25 lb/pie² de su área proyectada.
- Las planchas no serán fijadas a las viguetas, Las planchas del techo pueden hacerse rígidas por medio de secciones soldadas en su cara inferior.
- Las planchas se fijaran al ángulo superior del tanque mediante soldadura continua de filete en el borde superior únicamente.
- La inclinación del techo será de ¾" en 12 pies.
- La unión de las planchas será con traslape de 1¼".
- Se emplearan planchas ASTM A 516 Gr 70 de 1800x6020mm.
- Por el tipo de estructura, el material a emplear API-620 recomienda usar un esfuerzo de diseño a tensión de 18.000 lb/pulg².
- La estructura y disposición será la recomendada por API 650, para tanques con techo cónico entre 95'-0" a 110'-0" según figura 4.2.

4.9.5.2 Disposición de estructuras

A) Materiales

Los aceros aprobados por API-650, para miembros estructurales serán conforme las siguientes especificaciones: ASTM A-36 modificado ó ASTM A-131 acero estructural para barcos, ó en caso de tubos ASTM A333 Gr 1.

B) Esfuerzos permisibles

Los valores de máximos esfuerzos permisibles para miembros estructurales serán diseñados, sin exceder los siguientes valores:

B.1) Tensión

- Acero rolado, en el área neta; 20.000 lb/pulg²
- Soldadura a tope, en la menor área; 18.000 lb/pulg²
- Pernos y elementos roscados, en el área min; 18.000 lb/pulg²

B.2) Compresión

- Para columnas estructurales, arriostres y miembros estructurales, y columnas tubulares cuando está restringido al desplazamiento lateral; 20.000 lb/pulg²
- Soldadura a tope, en la menor área y atiesadores de alma llena en la sección total; 18.000 lb/pulg²

B.3) Corte:

- Almas de vigas y vigas de alma llena adecuadamente rigidizada en la sección total; 18.000 lb/pulg²
- Soldadura de filete con carga perpendicular; 12.600 lb/pulg²
- Soldadura de filete con carga paralela; 9.000 lb/pulg²
- Soldadura a tope, área mínima de sección; 24.000 lb/pulg²

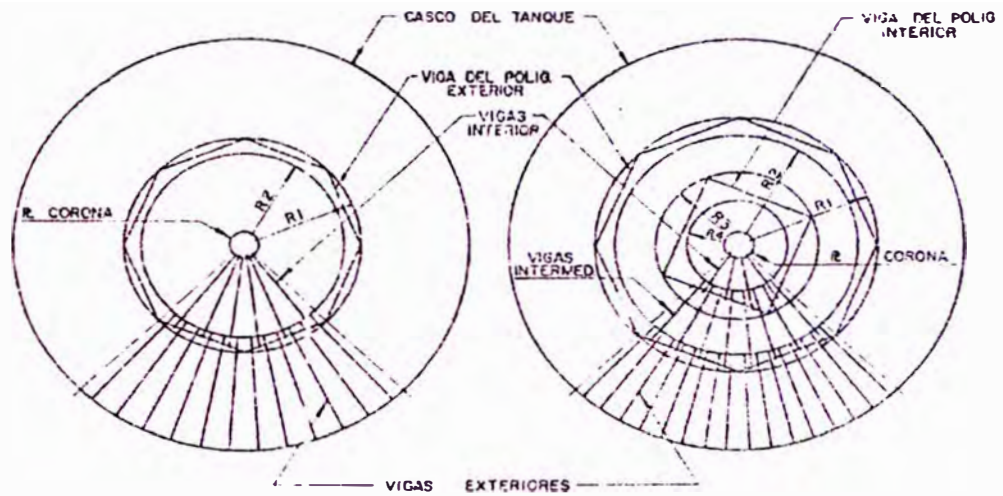
B.4) Aplastamiento:

- Pines y pernos torneados en huecos escariados carga aplicada en un lado del elemento conectado; 24.000 lb/pulg²
- Perno sin tornear carga distribuida uniforme a través del espesor del miembro conectado; 20.000 lb/pulg²

B.5) Esbeltez:

- Para miembros principales en compresión; $(L/r) \leq 180$
- Para miembros secundarios y arriostros; $(L/r) \leq 200$

Donde: "L" longitud sin apoyo de la columna y "r" menor radio de giro de la columna mínimo.



ESTRUCTURA PARA TANQUE
85'-0" A 90'-0" Ø

ESTRUCTURA PARA TANQUE DE
95'-0" A 110'-0" Ø

Ø TANQUE	VIGAS EXTERIORES	VIGAS INTERMEDIAS	VIGAS INTERIORES	VIGA POLIG. EXTERIOR	VIGA POLIG. INTERIOR	R1	R2	R3	R4
85'-0"	(48) 7C x 9.8 #	-	(24) 6C x 8.2 #	(6) 12C x 20.7 #	-	23'-10"	21'-0"	-	-
90'-0"	(48) 7C x 9.8 #	-	(24) 7C x 9.0 #	(6) 15C x 33.9 #	-	25'-6"	21'-0"	-	-
95'-0"	(48) 6C x 8.2 #	(32) 6C x 8.2 #	(16) 5C x 6.7 #	(5) 15C x 33.9 #	(4) 12C x 20.7 #	33'-0"	28'-0"	19'-6"	13'-3"
100'-0"	(56) 7C x 9.8 #	(32) 6C x 8.2 #	(16) 5C x 6.7 #	(6) 15C x 33.9 #	(4) 12C x 20.7 #	33'-0"	28'-0"	19'-6"	13'-3"
105'-0"	(56) 7C x 9.8 #	(32) 6C x 8.2 #	(16) 5C x 6.7 #	(6) 15C x 33.9 #	(4) 12C x 20.7 #	34'-9"	28'-0"	19'-6"	13'-3"
110'-0"	(56) 8C x 11.5 #	(32) 6C x 8.2 #	(16) 5C x 6.7 #	(6) 15C x 33.9 #	(4) 12C x 20.7 #	34'-9"	28'-0"	19'-6"	13'-3"

- INSTALAR COLUMNAS DEBAJO DE LA R CORONA Y LA INTERSECCION DE LAS VIGAS DEL POLIGONO.
- PARA DETALLES DE COLUMNAS Y R CORONA VER DIBUJO N° AV-38.

FIGURA 4.2 ESTRUCTURAS DE TECHO CONICO TANQUE D=100,656 PIES

La disposición estructural según API 650, para tanques cuyos diámetros están comprendidos entre 95'-0" a 110'-0", en nuestro caso 30,680 m(100,65') tendrá la siguiente configuración:

- Anillo interior: Cuadrado; Anillo exterior: Octógono
- Número de viguetas: Exteriores 56, Intermedias 32, Interiores 16
- R1= 33'- 0"; R2= 28'- 0", R3= 19'- 6", R4= 13'- 3"

La disposición de estructuras de acero del techo se muestra en la figura 4.3

4.9.5.3 Diseño de viguetas exteriores

- Las 56 viguetas están distribuidas en el perímetro del tanque y el octógono; se tendrá 7 viguetas por cada lado del octógono abarcando $360^\circ/56=6,428^\circ$ entre cada una.

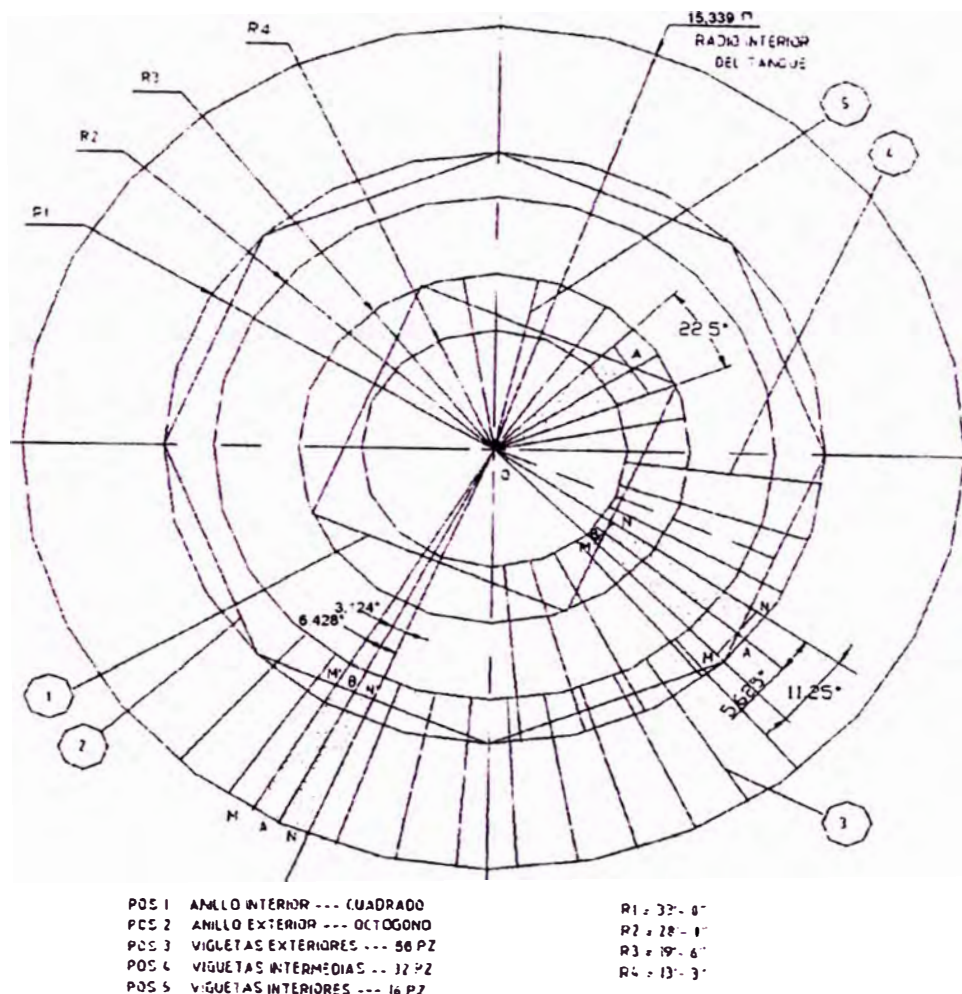


FIGURA 4.3 DISTRIBUCION DE VIGUETAS, ANILLOS DE TECHO CONICO

- Para el cálculo y selección del perfil adecuado se toma el más desfavorable o sea de mayor longitud.
- Determinación de la luz máxima permisible entre viguetas según el espesor de plancha, considerando que la plancha actúa como una viga continua con carga uniforme a emplearse mediante la fórmula siguiente:

$$L = t \sqrt{\frac{2 * f}{P}} \quad (4.20)$$

Donde:

t = Espesor de la plancha del techo, [pulg]

f = Esfuerzo admisible, [lb/pulg²]

P = Carga viva + carga muerta, [lb/pie²]

L = Luz máxima permisible entre viguetas, [pulg]

t = 3/16 Pulg.

f = 18.000 lb/pulg²

P = 25 lb/pie² + 7,65 lb/pie² = 32,65 lb/pie² = 0,227 lb/pulg²

Reemplazando los valores en la ecuación 4.20 tenemos:

$$L = 3/16 \sqrt{\frac{2 * 18.000}{0,227}} = 74.669 \text{ pulg}$$

$$L = 6,222 \text{ pies}$$

- Comprobación de la luz con las 56 viguetas relacionadas

$$L = \pi \times D / 56 = 3,1416 \times 100,656 / 56 = 5,646 \text{ pies} < 6,222 \text{ pies.}$$

Por lo tanto la luz y el numero de de viguetas es **CONFORME**.

- Cálculo de la carga unitaria sobre la vigueta de la figura 4.3, observamos que la vigueta más desfavorable es la AB.

- Área del sector MON de la figura 4.3

$$AREA = \frac{\pi * 6.428^\circ (100,656)^2}{360^\circ \times 4} = 142,083 \text{ pies}^2$$

- Área del triangulo M'ON' recto en N':

- Apotema del octógono = 33' cos (360°/2x8) = 30,48 pies

- M'N' = apotema x tangente (6,428°) = 30,48 x 0,11267 = 3,434 pies

- M'N' = 3,434 pies

- Área del triángulo $M'ON'$ = $30,48 \times 3,434/2 = 52,334 \text{ pies}^2$
- Área sobre la viga AB = $142,083 - 52,334 = 89,749 \text{ pies}^2$
- Longitud AB = $50,328 - 30,48/\cos(3.214^\circ) = 19,799 \text{ pies}$
- La carga uniforme unitaria sobre la vigueta será:

$$W = 89,749 \times 32,65 / 19,799 = 148,00 \text{ lb/pie}$$

- Diseño del perfil de la vigueta AB sometido a flexión simplemente apoyado como se muestra en la siguiente figura 4.4

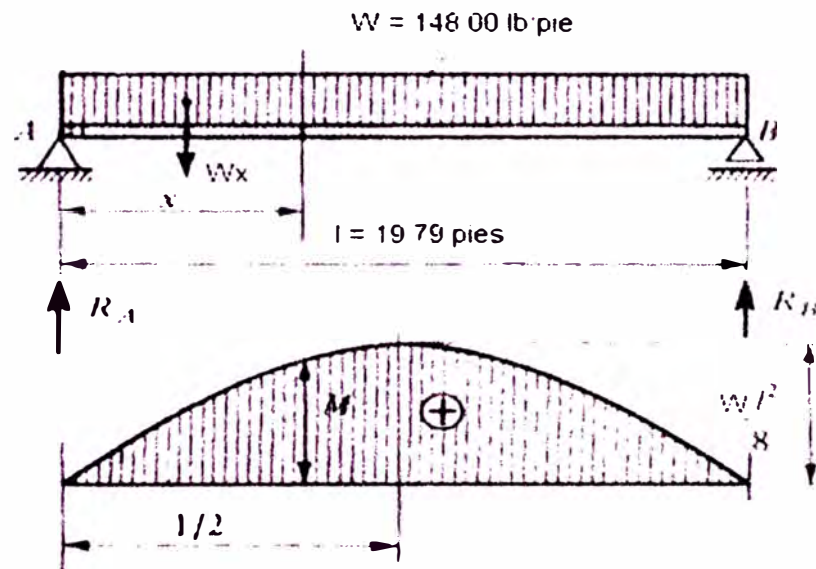


FIGURA 4.4 DIAGRAMA DE CARGA Y MOMENTO FLECTOR

El momento máximo viene expresado mediante la siguiente ecuación:

$$M = \frac{W * l^2}{8} \quad (4.21)$$

Donde:

M = momento máximo, [lb-pie]

W = carga uniforme unitaria, [lb/pie]

l = longitud de la viga, [pies]

$W = 148,00$ [lb/pie]; $l = 19,799$ [pies]

Reemplazando los valores en la ecuación 4.21, tenemos:

$$M = \frac{148,00 * 19,799^2}{8} = 7.252,00 \text{ lb-pie}$$

$$M = 7.252,00 \text{ lb-pie (87.024 lb-pulg)}$$

Calculo del modulo de sección del perfil:

$$S = \frac{M}{f} \quad (4.22)$$

Reemplazando valores de $f = 18.000 \text{ lb/pulg}^2$ en 4.22 encontramos:

$$S = \frac{87.024}{18.000} = 4,835 \text{ pulg}^3$$

- SELECCIÓN DEL PERFIL:

Para este tipo de estructura y según el manual de AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC) escogemos el canal C7x9.8# el cual tiene el modulo de sección de $6,0 \text{ pulg}^3$ y un área de sección de $2,85 \text{ pulg}^2$ la longitud según figura 4.3 y por facilidad de construcción es $50,328' - 28' = 22,328'$

Usaremos entonces; 56 perfiles C7x9.8#x22,328' según figura 4.5

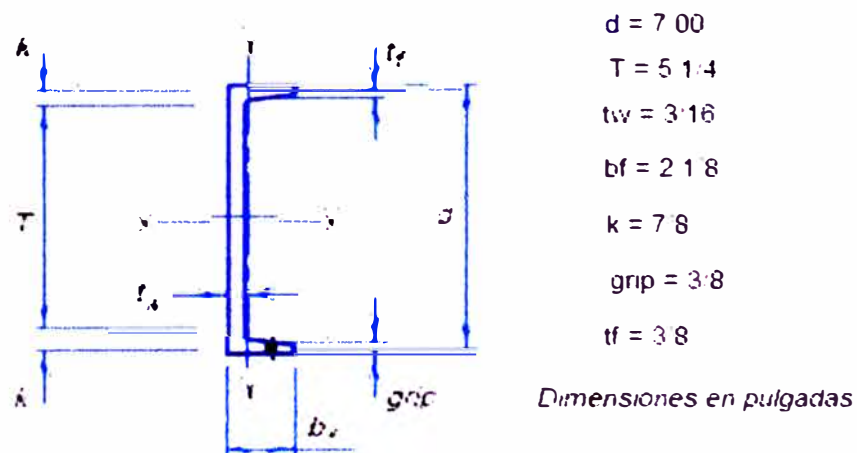


FIGURA 4.5 DIMENSIONES PRINCIPALES DEL PERFIL C7X9.8#

Verificación por corte: esfuerzo admisible: 14.000 lb/pulg² área requerida = $148,00 \times 19,799 / (2 \times 14.000) = 0,10$ pulg² es menor que 2,85 pulg², entonces es conforme.

4.9.5.4 Diseño de las viguetas intermedias

- Las 32 viguetas dispuestos según la figura 4.3 barren un ángulo entre sí de $360^\circ / 32 = 11,25^\circ$.
- Cálculo de la carga unitaria:
- El área de acción sobre AB se considera la diferencia de áreas de los sectores de $11,25^\circ$ con radios OA y OB.
- OA = apotema octógono / coseno $(11,25 + 11,25 / 2) = 31,85$ pies
- OB = apotema cuadrado / coseno $(16,87) = 13,79' / 0,96 = 14,4'$
- El área sombreada: $A = 11,25^\circ / 360^\circ \times \pi \times (31,85^2 - 14,40^2) = 79,23$ pies²
- La luz de la vigueta $L = 31,85 - 14,40 = 17,45$ pies
- La carga unitaria $W = 79,23 \times 32,65 / 17,45 = 148,24$ lb/pie
- Diseño del perfil de la vigueta intermedia, según la figura 4.6

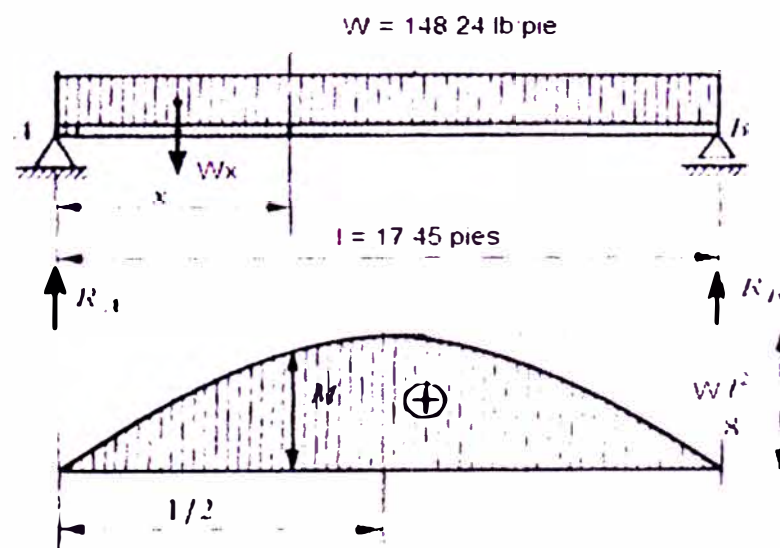


FIGURA 4.6 DIAGRAMA DE CARGA Y MOMENTO FLECTOR

- $M = 148,24 \times 17,45^2 / 8 = 5.642,43 \text{ lb-pie} = 67.709,16 \text{ lb-pulg.}$

- $S = 67709,16 / 18000 = 3,76 \text{ pulg}^3$

Considerando el perfil C6x8.2# el cual tienen $S = 4,3 \text{ pulg}^3$ y un área de sección de $2,39 \text{ pulg}^2$, longitud de $[(33'-0') - (13'-3'')] = 19'-9''$, por lo que usaremos entonces 32 perfiles C6x8.2#x19'-9"

4.9.5.5 Diseño de las viguetas interiores

- Las 16 viguetas dispuestos según esquema barren un ángulo entre si de $360^\circ / 16 = 22,5^\circ$, según figura 4.3

- Cálculo de la carga unitaria:

- $OA = \text{apotema cuadrado} / \cos(22,5 + 22,5/2) = 13,79' / \cos(33,75^\circ) = 16,58'$

- $\text{Área} = 22,5 / 360 \times \pi \times 16,58^2 = 53,98 \text{ pies}^2$

- Luz de la vigueta = 16,58 pies

- Carga unitaria $W = 53,98 \times 32,65 / 16,58 = 106,30 \text{ lb/pie}$

- Diseño del perfil de la vigueta interior, según figura 4.7:

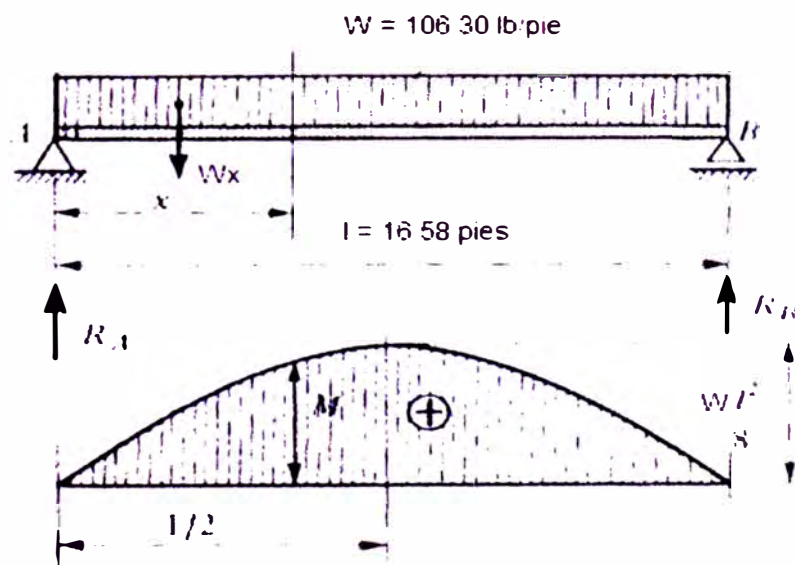


FIGURA 4.7 DIAGRAMA DE CARGA Y MOMENTO FLECTOR

- Momento flector $M = \frac{wl^2}{8} = 106,3 \times 16,58^2 / 8 = 43.832,23 \text{ lb-pulg}$
- Modulo de sección: $S = 43.636 / 18.000 = 2,43 \text{ pulg}^3$

Usaremos; 16 C5x6.7#, de longitudes útiles de 16,58' y 14,0'

4.9.5.6 Diseño del anillo exterior (octogonal)

- Sobre cada viga el anillo se apoyan 11 viguetas; 7 exteriores y 4 intermedias de diferentes longitudes entre apoyos radiales.
- Consideramos que cada vigueta aporta la mitad de su carga al anillo.
- Considerando como carga la mayor carga unitaria lineal que soportan las viguetas o sea 148,24 lb/pie, mas el peso propio de la vigueta C7x9.8# tenemos $W = 148,24 \text{ lb/pie} + 9,8 \text{ lb/pie} = 158,04 \text{ lb/pie}$.
- Longitud promedio de viguetas desde el radio interior del tanque hasta el radio de apoyo, en el anillo interior, o sea:
 $l = 50,328' - 19,5' = 30,83 \text{ pies}$ la longitud promedio de cada vigueta será de 15.30 pies
- La longitud de la viga del anillo será: $L = 2R_1 \text{sen}(360^\circ / 2 \times 8)$, $L = 2 \times 31' \times \text{sen}(22.5^\circ)$, $L = 25.25 \text{ pies} = 303,06 \text{ pulg}$.
- La carga unitaria sobre la viga del anillo:

$$W = 158,04 \times 30,83 / 25,25 = 192,97 \text{ lb/pie}$$

- Diseño del perfil de la viga simplemente apoyada, según figura 4.8

A) Primero: sin considerar peso propio

$$M = \frac{wl^2}{8} = 192,97 \times 25,25^2 / 8 = 15.378,80 \text{ lb-pie} (184.545,65)$$

- Modulo de sección $S = M/f$

- La longitud máxima de arriostre es $M'N' = 3,43$ pies = apotema $\times \tan(7.5^\circ)$
- El esfuerzo admisible (f) considerando una viga arriostrada cada 3.43 pies y un ancho (b) de tal forma que se cumpla $3.43'/b < 13$.
- Tomaremos como (f) según el manual AISC, $f = 0.6 F_y = 36.000$ lb/pulg² = 21.600 lb/pulg²

Pero consideramos lo requerido por API 650 donde nos pide tomar como $f = 20.000$ lb/pulg² y determinaremos el perfil de la viga.

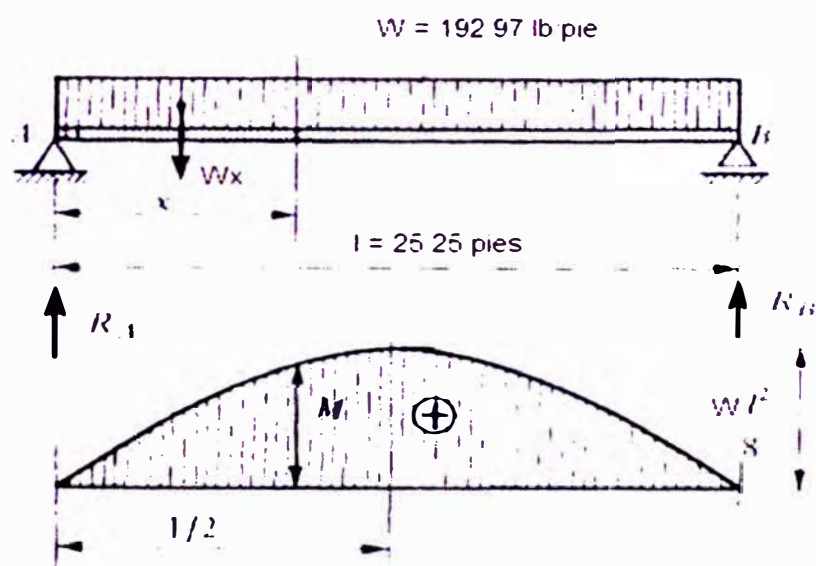


FIGURA 4.8 DIAGRAMA DE CARGA Y MOMENTO FLECTOR

El modulo de sección $S = M/f$

$$S = 184.545,65 / 20.000 = 9,22 \text{ pulg}^3$$

Tenemos el perfil a tantear C15x33.9# Ancho del ala 3 3/8"

$A = 9.90$ pulg² espesor del alma 1/2" $S = 41.7$ pulg³ $r = 5.62$ pulg $I = 312.6$ pulg⁴

B) Segundo: considerando el peso del perfil

$$M = (192,97 + 33.9) \times 25.25^2 / 8 = 18.031,86 \text{ lb-pie} \quad (216.382,34 \text{ lb-pulg})$$

$$S = 216.382,34 / 20.000 = 10,82 \text{ pulg}^3 < 41.7 \text{ pulg}^3 \text{ OK}$$

Chequeo de la flecha máxima admisible de acuerdo a la norma AISC, se calcula mediante según la ecuación:

$$\Delta m = \frac{5 * W * l^4}{384 * E * I} \quad (4.23)$$

Donde:

Δm = máxima deflexión, [pulg]

W = carga longitudinal unitaria, [lb/pie]

E = módulo de elasticidad, [lb/pulg²]

I = momento de inercia, [pulg⁴]

W = 226,87 [lb/pie]

E = 29'000.000 [lb/pulg²]

I = 312,60 [pulg⁴]

- Reemplazando valores en la ecuación 4.23, tenemos:

$$\Delta m = \frac{5 * 226,87(25,25)^4}{384 * 29000.000 * 312,6} = 0,02 \text{ pulg}$$

- Flecha admisible para pisos o techos:

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{360} = 25,25 * 12/360 = 0,84 \text{ pulg}$$

Quiere decir que nuestro perfil es el correcto por tener una flecha menor de lo permisible $0,02" < 0,84"$, OK

Por lo tanto emplearemos 8 perfiles C15x33.9#x 25'-2"

4.9.5.7 Diseño del anillo interior (cuadrado)

- El anillo cuadrado soporta 16 viguetas interiores y 32 viguetas intermedias.
- Cada viga del anillo soporta la mitad de carga de 4 viguetas interiores de 16,58 pies y de 8 viguetas intermedias de 19,90 pies.

- Longitud de la viga: $L = R_3 \sqrt{2} = 19,5\sqrt{2} = 27,58$ pies
- Cálculo de las cargas sobre la viga consideramos el peso de las viguetas.

$$= 4x(106,30+6,70)x16,58/2 + 8(148,24+8,20)x19,90/2 = 16.199,70 \text{ lb}$$

- La carga unitaria será $w = 16.199,70 \text{ lb}/27,58 \text{ pies} = 587,37 \text{ lb/pie}$, según figura 4.9

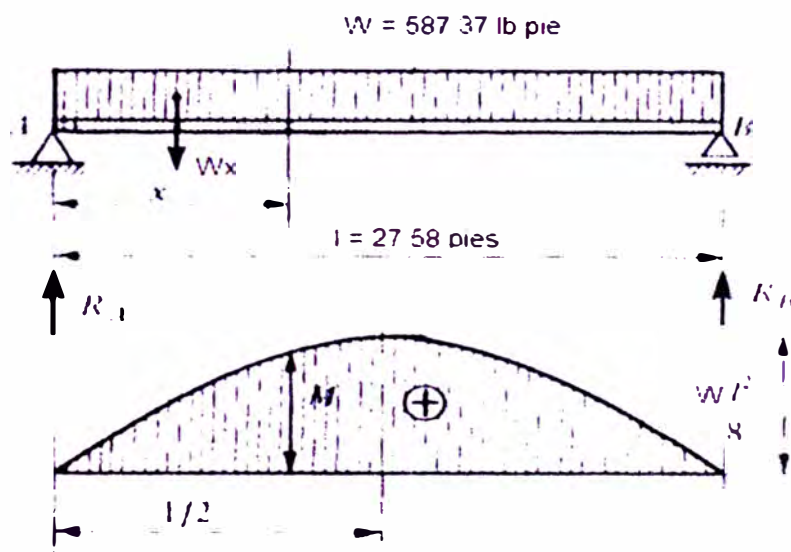


FIGURA 4.9 DIAGRAMA DE CARGA Y MOMENTO FLECTOR

- Diseño del perfil; asumiendo el perfil C12x20.7# $A = 6.03 \text{ pulg}^2$ espesor del alma $3/8"$ $S = 21.4 \text{ pulg}^3$ $r = 4.61 \text{ pulg}$ $I = 128.1 \text{ pulg}^4$
- El momento flector de la figura 4.9, considerando el peso de la viga $M = 608,07x27,58^2/8 = 57.816,54 \text{ lb-pie}$ ($693.798,51 \text{ lb-pulg}$)
- Tomando el esfuerzo máximo permisible $f = 20.000 \text{ lb/pulg}^2$, considerando una viga arriostrada y simplemente apoyada, según el standard API 650.

$$S = M/f = 693.798,51/20.000 = 34,69 \text{ pulg}^3;$$

$$34,69 \text{ pulg}^3 > 21,4 \text{ pulg}^3 \text{ NO CONFORME.}$$

- Por lo que optamos en usar perfiles C15x33.9# ala $3 \text{ } 3/8"$, $A = 9,90 \text{ pulg}^2$ espesor del alma $1/2"$ $S = 41,7 \text{ pulg}^3$ $r = 5,62 \text{ pulg}$ $I = 312,6 \text{ pulg}^4$

- Verificación por corte: carga ($Wl/2$) = $621,27 \times 27,58/2 = 8.567,31$ lb
- Esfuerzo admisible según API 650, 12.000 lb/pulg²
- Calculando el esfuerzo = $8.567,31/9,90 = 865,38$ lb/pulg² < 12.000 lb/pulg², entonces es **CONFORME**.
- Verificación de la flecha: La flecha máxima admisible es: $1/360 \times 27,58 \times 12 = 0,91$ pulg. La flecha máxima en el centro de la viga es:

$$\Delta m = \frac{5(587,37 + 33,9) \cdot (27,58)^4}{384 \cdot 29000.000 \cdot 312,6} = 0.074 \text{ pulg} < 0.91 \text{ pulg}$$

- Es conforme, entonces usaremos 4 perfiles C15x33.9# x 27' - 6"

4.9.5.8 Diseño de la columna exterior

- Se tiene 8 columnas que soporta la carga de cada viga del anillo exterior de geometría octogonal.
- Se asume que cada columna soporta la carga de cada viga más su propio peso.
- Carga total: $(192,97 \text{ lb/pie} + 33,9 \text{ lb/pie}) \times 25.25 \text{ pies} = 5.728,47$ lbs
- Esta columna en su parte interior es anclada por pernos por consiguiente es restringido su desplazamiento lateral; en su base la columna es articulada porque no está anclado ni soldado al fondo, por las condiciones de borde, el factor de longitud $K = 0,7$ caso c, tal como se muestra en la figura 4.10
- Cálculo de la longitud efectiva de la columna la longitud del casco es $H = 21,00$ m a $R = 50,328'$ por la ubicación de $R_1 = 33'$ y considerando la pendiente del techo $\frac{3}{4}$ en 12".

Tenemos: $21,00 \text{ m} = 826,77$ pulg.

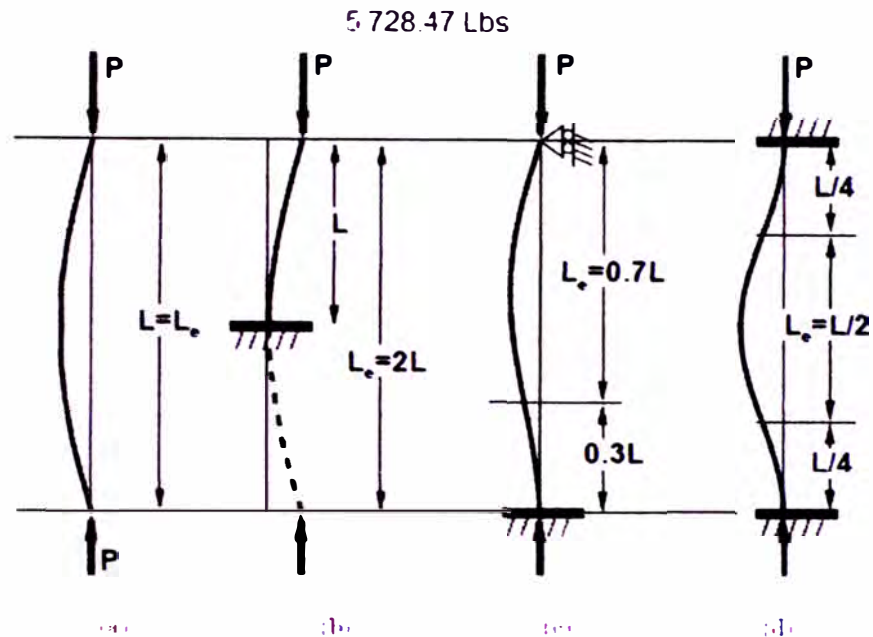


FIGURA 4 10 LONGITUD EFECTIVA DE COLUMNAS CON RESTRICCIONES

$$L = \frac{3/4 (50,328 - 33) * 12}{12} + 826,77 = 839,77 \text{ pulg}$$

Descontando 7" del peralte de la vigueta radial y 15" de la vigueta del octógono y 1/2" del espesor de la plancha soporte de las vigas tenemos:

$$L = 839,77" - 7" - 15" - 0.5" = 817,27"$$

- Calculo el radio de giro mínimo "r", para este tipo de columnas API y AISC recomiendan que la relación de esbeltez deber ser \leq que 180 entonces:

$$KI/r \leq 180 \quad I/r = 180 \rightarrow r = 0,7 \times 817,27 / 180 = 3,18 \text{ pulg.}$$

- Consideramos la sección conformada por dos canales que son las más usadas y económicas para este tipo de columnas, estando tabulado sus propiedades.
- Seleccionado según el radio de giro más cercano y perfiles más comerciales: $r_x = 3,83 \text{ pulg}$ $r_y = 3,52 \text{ pulg}$

- Para canal vertical de 10"x15,3# y horizontal de 12"x20,7#, Área total = 10,50 pulg²; peso 36,0 lb/pie; momento de inercia I = 154,30 pulg⁴; modulo de sección: S_{x1}= 18,70 S_{x2}=33, 0 S_{y1}=21,70
- Determinación del esfuerzo admisible de la columna en esas condiciones:

$$f = \frac{18.000}{1 + \frac{839,77^2}{18.000 * 3,52^2}} = 4.324,84 \text{ lb / pulg}^2$$

- Determinación del esfuerzo de trabajo de la columna:

$$f = P/A = 5.728,47 \text{ lb}/10,50 \text{ pulg}^2 = 545,57 \text{ lb/pulg}^2$$

- La combinación seleccionada es satisfactoria y el radio de giro está controlado, según figura 4.11

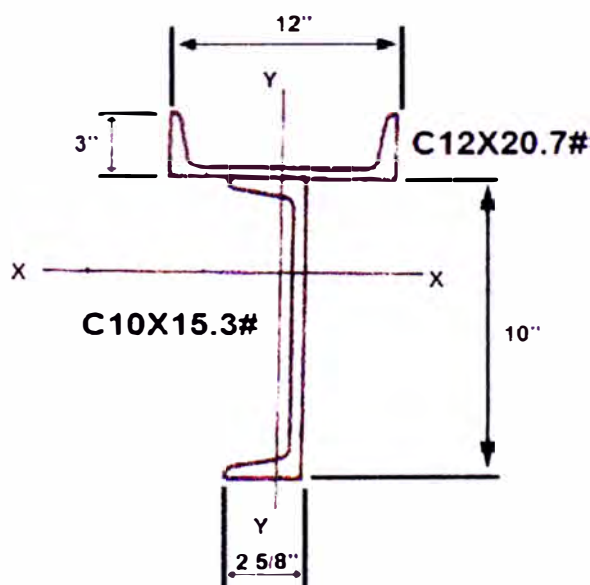


FIGURA 4.11 COMBINACION SECCION PERFILES

- Usaremos 8 perfiles tipo C10"x15.3#x68'-2", y 8 perfiles tipo 8C12"x20.7#x68'-2"
- La base estará conformada por C10x15.3#; 3 piezas, 3'-0"; 2 placas de hacer de 2'-6"x2'-6" espesor 1/2 pulg, y cartelas respectivas.

- Las disposiciones de la estructura del techo del tanque y las vigas y viguetas de los anillos se muestra en el Plano N° TA-004.

4.9.5.9 Diseño de la columna intermedia

- Se tiene 4 cuatro columnas que soportan a las cuatro vigas del anillo interior de geometría cuadrada.
- Determinación de la longitud efectiva de la columna en $R_3 = 19' - 6''$

$$L = \frac{3/4(50,328 - 19,5) \times 12}{12} + 826,77 = 849,89 \text{ pulg}$$

Descontando $6'' + 15''$ y $\frac{1}{2}''$.

$$L = 849,89'' - 21,5'' = 828,39 \text{ pulg.}$$

- Cálculo del radio de giro mínimo = $0,7 \times 828,39 / 180 = 3,22 \text{ pulg.}$
- Seleccionamos la misma combinación de la columna exterior
- Determinación del esfuerzo admisible:
- La carga sobre la columna será: $(587,37 + 20,7) \times 27,58' = 16.770,57 \text{ lb}$

$$f = \frac{18.000}{1 + \frac{828,39^2}{18.000 \times 3,52^2}} = 415,13 \text{ Lbs/pulg}^2$$

- Cálculo del esfuerzo de trabajo de la columna:

$$f = P/A = 16.770,57 / 10,5 = 1.597,20 \text{ lb/pulg}^2$$

- Por lo que la fuerza admisible calculada es menor que el de trabajo;
- La combinación seleccionada cumple con tener un radio de giro que $3,83''$ y su esfuerzo de trabajo $1.597,20 \text{ lb/pulg}^2$ es menor que el esfuerzo máximo admisible 7.000 lb/pulg^2 . Es conforme.
- En conclusión emplearemos en el diseño: 4 perfiles C10x15.3#9x69'-0"; 4 perfiles C12x20.7#x69'-0"

4.9.5.10 Diseño de la columna central

- La columna central soporta la mitad de carga de 16 viguetas radiales con carga de 113,00 lb/pie cada uno y 16,58' de longitud.

$$\text{carga} = \frac{16 \times 113,00 \times 16,58}{2} = 14.988,32 \text{ Lbs}$$

- Determinación de la longitud efectiva de la columna:

$$L = \frac{3/4(50,328) \times 12}{12} + 826,77 = 864,52 \text{ pulg}$$

Descontando 6" + 1/2"; obtenemos $L = 864,52" - 6" - 0,5" = 858,02"$

- Cálculo del radio de giro mínimo: $r = kL/180$

$$r = 0,7 \times 858,02 / 180 = 3,33"$$

- Seleccionamos la misma combinación de las columnas anteriores por tener $r = 3,52" > 3,33"$ y por facilidades en la fabricación con menores desperdicios de material.
- Determinación del esfuerzo admisible:

$$f = \frac{18.000}{1 + \frac{858,02^2}{18.000 \times 3,52^2}} = 4.85,14 \text{ Lbs/pulg}^2$$

- Cálculo del esfuerzo de trabajo de la columna:

$$f = P/A = 14.988,32 \text{ lb} / 10,5 \text{ pulg}^2 = 1.427,46 \text{ lb/pulg}^2$$

- Esto nos indica que la combinación cumplen con el radio de giro y el esfuerzo admisible, ver apéndice 4.7
- Usaremos: 1 perfil C10x15.3#9x71-6", y 1 perfil C12x20.7#x71-6".
- La disposición de las estructuras vigas, viguetas, anillos y columnas exteriores, intermedias y central se muestran en el plano N° TA-004.

4.9.5.11 Selección de las planchas del techo

De acuerdo a las normas API650, el espesor de la plancha para el techo del tanque tendrá un espesor mínimo de 3/16" y las consideraciones siguientes:

- Las planchas no serán fijadas a las viguetas, Las planchas del techo pueden hacerse rígidas por medio de secciones soldadas en su cara inferior, ver apéndice 4.8
- Las planchas se fijaran al ángulo superior del tanque mediante soldadura continua de filete en el borde superior únicamente.
- La inclinación del techo será de ¾" en 12 pies.
- La unión de las planchas será con traslape de 1 ¼".
- Las uniones de la estructura deben estar debidamente ensambladas mediante tornillos, remaches o soldadura, para evitar que las uniones puedan tener movimientos no deseados.
- Se emplearan planchas de acero ASTM A516 Grado 70 de 1800x6020 mm, espesor ¼ pulg.
- La disposición de planchas de techo se indica en el plano N° TA-005

4.9.6 DISEÑO Y/O SELECCIÓN DE ACCESORIOS

A) Consideraciones:

- Estos accesorios son diseñados o seleccionados según los estándares recomendados por API 650 y 620 en referencia a la capacidad o diámetro del tanque.
- La instrumentación PID del tanque de alimentación, de la planta de licuación, compresores alternativos, las bombas de amoniaco, el "flare" y otros equipos de la red, se muestra en el plano N° TA-013.

- Los accesorios geométricos serán diseñados y dispuestos según geometría y facilidades de operación del tanque, como escaleras externas, barandillas, drenajes, etc. Ver plano N° TA - 001
- Otros accesorios que ya se encuentran fabricados en el momento serán seleccionados y dispuestos según facilidades de operación y recomendaciones del API 650.
- Las planchas de refuerzo compuestas por varias partes tendrán un agujero de $\frac{1}{4}$ ", ubicado en un eje horizontal de la abertura y abierto a la atmósfera, el cual servirá para verificar la hermeticidad de las soldaduras internas.
- El marco de las entradas de hombre puede ser prensado o de fabricación compuesto por soldadura de sus partes. La dimensión que se da en las tablas corresponde a ambos tipos de fabricación. Las dimensiones están basadas en el espesor mínimo para la fabricación compuesta y toma en cuenta el adelgazamiento que sufren los marcos formados en el proceso de prensado.
- El máximo diámetro del corte en el cilindro será igual a la suma del diámetro interior del marco más 4 veces el espesor del cuello, más una pulgada.
- Las aberturas en el casco del tanque, mayores de 2" deben reforzarse, el refuerzo efectivo estará ubicado a un diámetro por encima y por debajo del eje horizontal de la abertura.
- Las planchas de refuerzo compuestas de varias partes, tendrán un agujero de 1/4 pulg en el eje horizontal y abierto a la atmósfera.

- Los detalles y dimensiones dados, corresponden a las boquillas instaladas Perpendicularmente al cilindro del tanque.
- En caso que la boquilla se instale oblicuamente en plano horizontal, la dimensión se incrementará en la mayor dimensión necesaria de la abertura para acomodar la tubería. Ver apéndice 4.9

B) Manhole de techo

El manhole de techo se ejecutara en conformidad a lo indicado en la figura 3-14, tabla 3-14 del código STD API 650, a fin de fijar su configuración y sus medidas básicas mínimas respectivas de acuerdo al STD tabla 3-14: se ha seleccionado dos manholes de un DN 24"Ø
Información de medidas se anexa en el apéndice 4.10

C) Manhole de casco

El manhole se ejecutara de acuerdo al párrafo 3.6.3 figura 6.3, tabla 3-4 y tabla 3-1 de API 650, puesto que la altura del tanque es: 68,987 pies, tenemos la presión equivalente 32,5 lbs/pul², seleccionamos dos manholes de DN 30"Ø y DN 24"Ø respectivamente, ver apéndice 4.11

- El espesor mínimo de la tapa 13/16"
- Espesor mínimo de la pestaña para conexión empernada: 11/16"
- De la tabla 3-4: Las dimensiones para manhole de casco de 30"Ø, escogemos las dimensiones básicas; de acuerdo al espesor de la plancha del anillo donde se instalara el manhole.
- Puesto que el manhole se prevé instalar en el primer anillo $t = \frac{3}{4}$ " y el refuerzo $T = \frac{3}{4}$ ", luego:

- Radio aproximado: $\frac{3}{4}$ "
- Longitud de la plancha de refuerzo : 64-1/2"
- Diámetro interior del bastidor : 30"Ø
- Similarmente se selecciona el manhole DN 24" Ø.

D) Conexiones de carga y descarga

La selección de las conexiones o boquillas para carga y descarga del amoníaco al tanque de almacenamiento, se efectuó previamente calculando las condiciones operativas de flujos máscicos y/o volumétricos del sistema de abastecimiento de amoníaco a las plantas consumidoras de amoníaco; planta de ácido nítrico, nitrato de amonio, sulfato de amonio, solución amoniacal, y despacho a terceros.

Conexión de carga: ingreso de amoníaco líquido DN 10"Ø, SCH-20
bridas PN:150 lbs.

Conexión de descarga: salida de amoníaco líquido DN 4"Ø, SCH-40
bridas PN:300 lbs.

La clase de bridas a utilizar será conforme al STD ANSI B16.5, brida 150 lbs, tipo welding neck o de cuello soldado por ser mas practico para el montaje, a la vez que provee una mayor resistencia mecánica.

De acuerdo a la tabla 3-6, 3-7, figura 3-7 API 650 (Ver apéndice 4.12): "Dimensiones para boquillas embridadas al casco"; tenemos que para un tamaño de boquilla de DN 6"Ø las dimensiones y características básicas, se encuentra definidas en el plano N° TA-006

E) Conexiones de nivel y flotador

- Dos tubos de DN 1-1/4"Ø-SCH-40, PN: 150 lbs, de 200 mm de longitud, material ASTM A-333-Gr 6.
- Bridas WNRF de DN 1-1/4"Ø-SCH-40, PN: 150 lbs, material ASTM A-350 Gr LF2.

F) Conexión de seguridad hacia la antorcha (flare):

- Un tubo de DN 10"Ø-SCH-40, PN: 300 lbs, de 200 mm de longitud, material ASTM A-333-Gr 6, ó norma homologada.
- Bridas WNRF de DN 10"Ø-SCH-40, PN: 300, material ASTM A-350 Gr LF2, ó norma equivalente.

G) Conexión red de gas amoníaco DN 10"Ø-SCH-40 PN: 300 lbs,

H) Conexión para enfriar el tanque DN 6"Ø-SCH-40 PN: 300 lbs.

I) Conexión fondo salida de amoníaco DN 4"Ø-SCH-40 PN: 300 lbs.

La disposición de conexiones principales al tanque se muestra en el plano N° TA-006, asimismo la disposición de la escalera tipo espiral, barandas y plataformas de acceso se indican en el plano N° TA-007.

4.9.7 ESTIMACION DEL PESO DEL TANQUE

El peso total estimado del tanque almacenamiento se estiman en función de las dimensiones obtenidas de cada componente: Fondo: 55.745,00 Kg; Casco: 180.337,00 Kg; Techo: 44.335,00 Kg; Accesorios: 6.850,00 Kg; resultando el peso del tanque: 287.267 Kg.

4.10 ANALISIS DE LAS CARGAS TERMICAS

4.10.1 CONSIDERACIONES

- Las condiciones meteorológicas predominantes en la zona donde se instalara el tanque, y de acuerdo a la información recibida de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina son:
 - Temperatura máxima: 33°C
 - Temperatura mínima: 10°C
 - Velocidad del viento: máxima 22,0 Km/hr (suroeste/noreste)
 - Humedad del aire: máxima 95%/mínima 70%
- El tanque de almacenamiento será de pared metálica única, termo aislado, y será de construcción cilíndrica con techo cónico soportado, las dimensiones principales son: diámetro interior 33.680 mm (100,656 pies); altura cilíndrica 21.000 mm (68,897 pies); espesor de pared metálica $t = 19,05$ mm; altura del techo $h = 956,00$ mm (3,145 pies) espesor de pared de techo $t = 4,80$ mm.
- El tanque seleccionado lleva adicionalmente un tanque de concreto pretensado de 16,00 m de altura y espesor 0,25 m; la pared de protección está a 1,30 m de la pared del tanque metálico, y no forma parte del presente informe.
- Como el tanque metálico tiene una altura de 21 m, entonces está expuesta solamente el 80% de la superficie cilíndrica vertical a una transferencia de calor por convección, ya que la altura del tanque de concreto de 17,00 m protege esta superficie.

4.10.2 TIPOS DE AISLAMIENTOS TERMICOS

A) Perlita

Es un cristal de origen vulcanizado de características pulverulentas, en forma de bolas de vidrio natural. Se trata de un silicato de alúmina, de sosa, de potasa y de cal, que encierra aproximadamente el 3% de agua y de gas ocluido.

Este mineral tiene la propiedad de expandirse en forma considerable al ser sometido a altas temperaturas, resultando de este fenómeno físico unos granos blanquecinos compuestos de innumerables células vacías cuyo volumen es 20 veces el inicial.(Ver especificaciones técnicas en el apéndice 4.13)

Las características dependen de la densidad y, en función de ella, se indican a continuación valores de la conductividad térmica "k" a la temperatura de 20°C:

- 50 a 60 kg/m³, k = (0.030-0.033) kcal/m-h°C
- 90 a 100 kg/m³, k = (0.035-0.038) kcal/m-h°C
- 110 a 120 kg/m³, k = (0.039-0.041) kcal/m-h°C
- 120 a 130 kg/m³, k = (0.041-0.044) kcal/m-h°C

B) Lana mineral

Su origen es de rocas silíceas, basálticos y de escorias de hornos altos entre otros. Estas materias primas se funden a unos 1,500°C y el producto líquido obtenido es tratado por centrifugación. Según el destino que vayan a tener, este "enzimado" puede estar constituido bien por ligantes amiláceos, ó bien por resinas dolimerizadas termoendurecedoras.

Estas lanas minerales son de similares características y de tipos, si bien las diferencias ciertos poderes químicos de corrosión, en función de contenido de azufre y otros.

Se presentación en formas de mantas, paneles semirígidos, rígidos, y losetas, coquillas, borra, burletes, etc. Se pueden inyectar y proyectar, sus características técnicas principales son:

- Densidad: (8 a 300) kg/m³.
- Coeficiente de conductividad: 0.032 kcal/m-h-°C a 20°C
- Resistencia mecánica: buena.
- Resistencia al fuego: incombustible.
- Químicamente neutros, hidrófobos e imputrescibles.

C) Poliuretanos expandidos

Se obtienen por la acción de un polisocianato sobre un poliéster saturado. Por vaporización del freón ó por descomposición de un exceso de isocianato por el agua con desprendimiento de ácido carbónico. Se presentan en forma de bloques de donde se pueden contar en placas o coquillas ó por medio de inyección "in situ", sus características son:

- Densidad de 30 a 150 kg/m³.
- Coeficiente de Conductividad: ver apéndice 4.14
Para 40 kg/m³, k = 0.0245 kcal/m-h°C a 20°C para espumas con CO₂ y con freón;
Para 30 kg/m³, k = 0.018 kcal/m-h°C a 20°C
- Temperatura de utilización: entre -200°C y +130°C
- Resistencia a la presión: 190 kp/cm²
- Resistencia a la flexión: 195 kp/cm²

D) Vidrio expandido

Es una espuma de vidrio obtenido por emulsión, el vidrio, con adición de carbono puro se calienta a una temperatura tal que se

reblandece y al carbono al gasificarse produce en la masa vidriosa pequeñas células, enteramente cerradas, en las que existe un ligero vacío. Se presenta en forma de bloque resistente y ligero con estructura celular de manera que los mismos se pueden mecanizar y obtener coquillas o casquetes y paneles, sus características son:

- Densidad: 0.145 unidades
- Coeficiente de conductividad: 0.049 kcal/m-h^oc a 20 °C
- Límite de temperatura de empleo: 500 °C
- Resistencia a la compresión: 7,5 bar
- Incombustible, inalterable, resistente a los ácidos y vapores.

Los proveedores deberán cumplir con suministrar los aislamientos térmicos que cumplan con las propiedades físicas y mecánicas de acuerdo a las normas técnicas de fabricación y/o pruebas que se muestra en la tabla 4.11

TABLA 4.11 PROPIEDADES DE LOS AISLAMIENTOS TERMICOS

CARACTERISTICAS	NORMA TECNICA
Fuerza de Compresión Paralelo	ASTM D-1621
Fuerza de Compresión Perpendicular	ASTM D-1621
Modulo de Compresión Paralelo	ASTM D-1621
Modulo de Compresión Perpendicular	ASTM D-1621
Fuerza de Tensión Paralelo	ASTM D-1623
Fuerza de Tensión Perpendicular	ASTM D-1623
Fuerza de Rotura	ASTM C-273
Factor de Conductividad (k)	ASTM C-177
Densidad	ASTM D-1622
Contenido de Celdas cerradas >90%	ASTM D-1940
Otras Propiedades Auto extingüibles	ASTM D-3014

4.10.3 CÁLCULO DEL “BOIL- OFF” EN EL TANQUE

El tanque metálico llevara aislamiento térmico para mantener el amoniaco líquido a la temperatura de -33°C, tal como se observa en la

figura 4.12, a pesar de ello habrá transferencia de calor del medio ambiente hacia el producto semirrefrigerado, este calor combinado con el calor de vaporización del amoniaco que se forman por el llenado de amoniaco al tanque y el de evaporación debido al calor obtenido de la ambiente, se forma vapor de amoniaco y un incremento en la temperatura del amoniaco liquido almacenado.

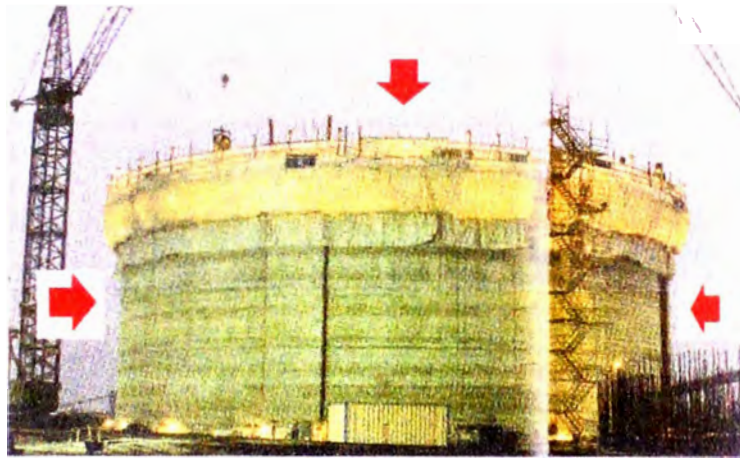


FIGURA 4.12 TANQUE CON AISLAMIENTO TERMICO

El espesor del aislamiento térmico debe ser diseñado para mantener una evaporación “**BOIL-OFF**” menor al 0,04% en peso del contenido del tanque, y es calculada mediante la fórmula 4.24

$$\text{Boil-Off}(\%) = \frac{\text{Vapores generados en 24 horas (Kg)}}{\text{Capacidad del tanque de almacenamiento (Kg)}} \times 100 \quad (4.24)$$

Inicialmente amoniaco a -33°C de temperatura se requiere el sistema de aislamiento mantenga el amoniaco a una temperatura final de -28°C , luego de 24 horas de intercambio de calor con el medio ambiente, para lo cual se ha elaborado un perfil de temperaturas del amoniaco a diferentes niveles y durante 24 horas, tal como se muestra en la figura 4.13

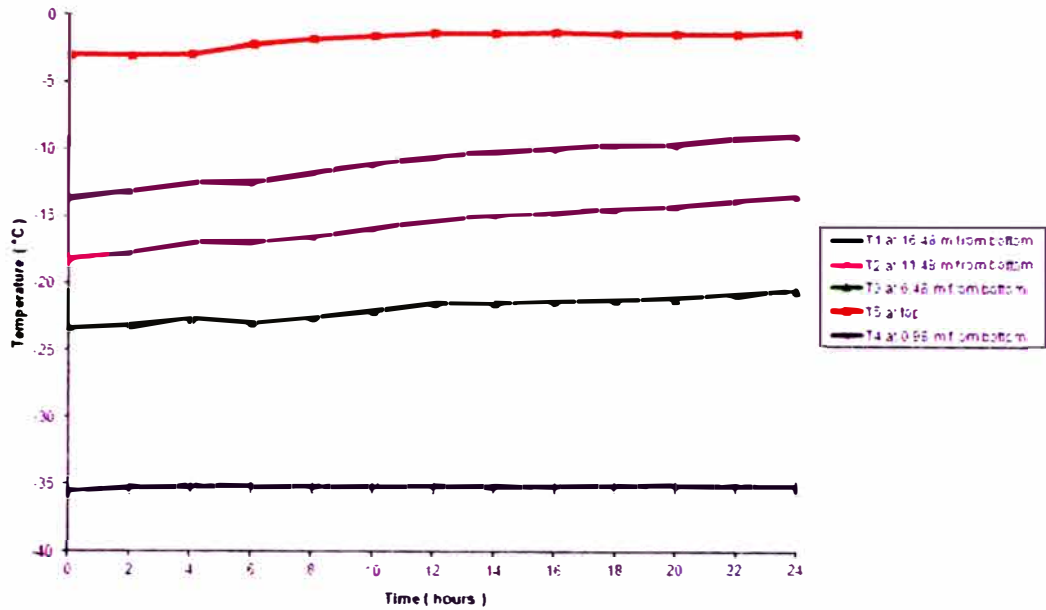


FIGURA 4.13 PERFIL DE TEMPERATURAS DEL AMONIACO

La cantidad de calor absorbido del medio ambiente por el amoniaco bifásico durante las 24 horas, es de 1'054.033,07 Kcal,

$$Q_t = \frac{1'054.033,07}{24} = 43.918,04 \text{ Kcal/hr}$$

El cálculo del Boil-Off se realizó en Excel, ver apéndice 4.15, reemplazando valores en la expresión 4.24 se tiene:

$$\text{Boil-Off}(\%) = \frac{3.219,40 \text{ Kg}}{10'000.000,00 \text{ Kg}} \times 100 = 0,032\%$$

El Boil-Off obtenido es de 0,032% < 0,040% por lo que es conforme.

4.10.4 CALCULO DE ESPESORES DE AISLAMIENTOS

4.10.4.1 Consideraciones

El espesor de aislante depende directamente de la cantidad de calor que se debe transmitir para cumplir con las exigencias operativas, por ello debemos analizar la transferencia de calor que se produce en el casco, techo y piso del tanque de almacenamiento.

El casco y el techo del tanque estar expuesta a la misma temperatura ambiente, mientras que la temperatura del suelo será de 10°C. El calor total transferido al amoniaco almacenado en el tanque, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4.25)$$

Donde:

Q_1 = Calor transferido a través de la pared

Q_2 = Calor transferido a través del techo

Q_3 = Calor transferido a través del piso

$$Q_t = U_1 * \pi * D_1 * H_1 (Te - Ti) + U_2 * \frac{\pi}{4} * D_2^2 (Te - Ti) + U_3 * \frac{\pi}{4} * D_3^2 (Ts - Ti) \quad (4.26)$$

Despreciando el coeficiente de transferencia superficial externo en 4.26, y simplificando se obtiene la expresión:

$$Q_t = \frac{k}{e} * \pi \left[D_1 * H_1 (Te - Ti) + \frac{1}{4} * D_2^2 (Te - Ti) + \frac{1}{4} * D_3^2 (Ts - Ti) \right] \quad (4.27)$$

Donde:

Q_t = Calor total transferido al fluido, [Kcal/hr]

Te = Temperatura del medio ambiente, [°C]

Ti = Temperatura del fluido, [°C]

Ts = Temperatura del suelo, [°C]

D_1 = Diámetro de pared con aislamiento, [m]

D_2 = Diámetro de techo con aislamiento, [m]

D_3 = Diámetro de piso con aislamiento, [m]

H_1 = Altura de pared con aislamiento, [m]

K = Conductividad del aislamiento térmico, [Kcal/m-hr-°C]

e = espesor del aislamiento térmico, [m]

Para los datos conocidos: $Q_t = 43.918,04$ Kcal/hr; $T_e = 33$ °C; $T_i = -33$ °C; $T_s = 10$ °C; $D_1 = 30,718 + 2e$ m; $D_2 = 30,718$ m; $D_3 = 30,718$ m; $H_1 = 21,00$ m; $K = 0,024$ Kcal/m-hr-°C, y realizando iteraciones mediante el excel se obtiene el el valor del espesor mínimo de poliuretano $e = 11,90$ cm

Para calcular el espesor referencial en todo el sistema, hemos consideramos el poliuretano de 40 Kg/m^3 , ver figura 4.14

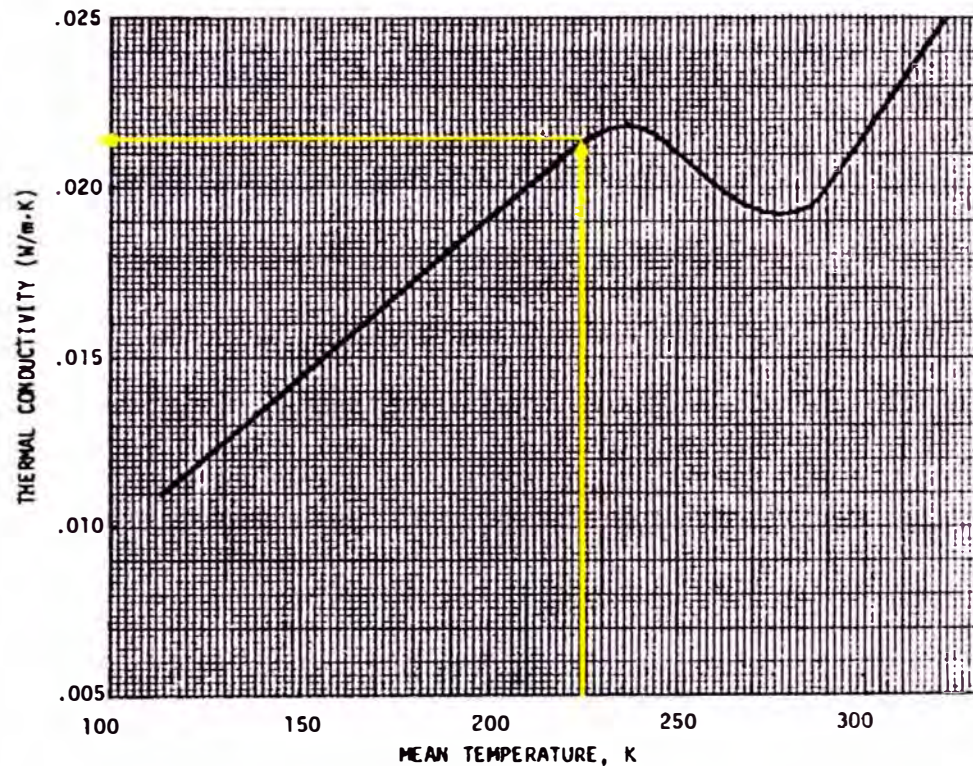


FIGURA 4.14 CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL POLIURETANO A BAJA TEMP.

4.10.4.2 Cálculo de espesor de aislamiento del casco

El espesor de aislante del casco obtenido $e_1 = 11,90$ cm y la carga térmica o el calor ganado del medio ambiente a través de la pared cilíndrica, se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$Q_1 = \frac{k_1}{e_1} * \pi * D_1 * H_1 (t_e - t_i) \quad (4.28)$$

Donde:

Q_1 = Calor transferido por la pared, [Kcal/hr]

t_o = Temperatura del medio ambiente, [°C]

t_i = Temperatura de producto almacenado, [°C]

K_1 = Conductividad térmica del poliuretano, [Kcal/m-hr-°C]

e_1 = Espesor del aislamiento de poliuretano, [m]

D_1 = Diámetro del tanque con aislamiento, [m]

H_1 = Altura del tanque con aislamiento, [m]

Reemplazando valores de $K_1 = 0,024$ kcal/hr; $e_1 = 11,90$ cm; $D_1 = 30,956$ m; $H_1 = 21,00$ m y reemplazando en 4.28 tenemos:

$$Q_1 = \frac{0,024}{0,119} * \pi * 30,956 * 21,00(33 - (-33)) = 27.184,62 \text{ Kcal / hr}$$

La disposición del aislamiento en la pared cilíndrica se optará en colocar dos capas sobrepuestas de poliuretano en planchas de 60 mm de espesor, densidad 40 kg/m³ con pantalla antivapor y revestimiento externo en chapa de aluminio remachado, previo chorreado de arena y con imprimación de barniz.

4.10.4.3 Cálculo de espesor de aislamiento del techo

Previamente se calculara el calor transferido a través del techo del tanque para lo cual emplearemos la expresión:

$$Q_2 = \frac{k_2}{e_2} * \frac{\pi}{4} * D_2^2(t_o - t_i) \quad (4.29)$$

Donde:

Q_2 = Calor transferido por la pared, [Kcal/hr]

t_o = Temperatura del medio ambiente, [°C]

t_i = Temperatura de producto almacenado, [°C]

K_1 = Conductividad térmica del poliuretano, [Kcal/m-hr-°C]

e_1 = Espesor del aislamiento de poliuretano, [m]

D_2 = Diámetro del techo con aislamiento, [m]

Reemplazando valores: $K_1= 0,024$ Kcal/hr; $e_2= 0,119$ m; $D_2= 30,718$ m, en la expresión 4.29 obtenemos:

$$Q_2 = \frac{0,024}{0,119} * \frac{\pi}{4} * 30,718^2 (33 - (-33)) = 9.864,73 \text{ Kcal / hr}$$

Por razones de peso y costo del material aislante, el techo llevara lana de vidrio de densidad 13 kg/m^3 El espesor equivalente para este material se calculara mediante la expresión:

$$e_v = \frac{e_p * k_v}{k_p} \quad (4.30)$$

Donde:

k_p = Conductividad térmica del poliuretano, [Kcal/m-hr-°C]

k_v = Conductividad térmica de lana de vidrio, [Kcal/m-hr-°C]

e_p = Espesor de poliuretano, [Kcal/m-hr-°C]

e_v = Espesor de lana de vidrio, [Kcal/m-hr-°C]

Reemplazando datos: $k_p= 0,024$ Kcal/m-hr-°C; $k_v= 0,040$ Kcal/m-hr-°C; $e_p= 0,119$ m, en la ecuación 4.30 encontramos que:

$$e_v = \frac{0,119 * 0,040}{0,024} = 0,198 \text{ m}$$

La disposición del aislamiento térmico del techo se instalará dos capas sobrepuestas de lana de vidrio de 100 mm de densidad $45-80 \text{ kg/m}^3$; la capa superior llevará una cobertura de aluminio de 120 gr/m^2 .

4.10.4.4 Cálculo de espesor de aislamiento del piso

El aislamiento del piso debe soportar cargas pesadas, por lo que el material aislante debe tener una elevada resistencia a la

compresión, El calor transferido por el fondo del tanque desde el suelo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_3 = \frac{k_3}{e_3} * \frac{\pi}{4} * D_3^2 (t_s - t_i) \quad (4.31)$$

Donde:

Q_3 = Calor transferido por el piso, [Kcal/hr]

t_s = Temperatura del medio ambiente, [°C]

t_i = Temperatura de producto almacenado, [°C]

K_3 = Conductividad térmica del poliuretano, [Kcal/m-hr-°C]

e_3 = Espesor del aislamiento de poliuretano, [m]

D_3 = Diámetro del piso con aislamiento, [m]

Reemplazando valores en 4.31 tenemos: $K_3= 0,024$ Kcal/hr; $e_3 = 0,119$ m; $D_3= 30,956$ m.

$$Q_3 = \frac{0,024}{0,119} * \frac{\pi}{4} * 30,718^2 (10 - (-33)) = 6.427,02 \text{ Kcal / hr}$$

Calculo del espesor equivalente del aislamiento en vidrio celular mediante la ecuación:

$$e_c = \frac{e_p * k_c}{k_p} \quad (4.32)$$

Donde:

k_p = Conductividad térmica del poliuretano, [Kcal/m-hr-°C]

k_c = Conductividad térmica vidrio celular, [Kcal/m-hr-°C]

e_p = Espesor de poliuretano, [m]

e_c = Espesor de vidrio celular, [m]

Reemplazando valores conocidos: $k_p= 0,024$ Kcal/m-hr-°C; $k_c=0,035$ Kcal/m-hr-°C; $e_p= 0, 119$ m; en la ecuación 4.32 obtenemos:

$$e_c = \frac{0,119 * 0,035}{0,024} = 0,174m$$

Por lo que se optará en colocar 3 capas de vidrio celular de 50 mm de espesor cada uno, densidad de 120 kg/m³, poniéndose entre una y otra capa de asfalto en caliente 25 mm de espesor. la disposición típica se observa en la figura 4.15

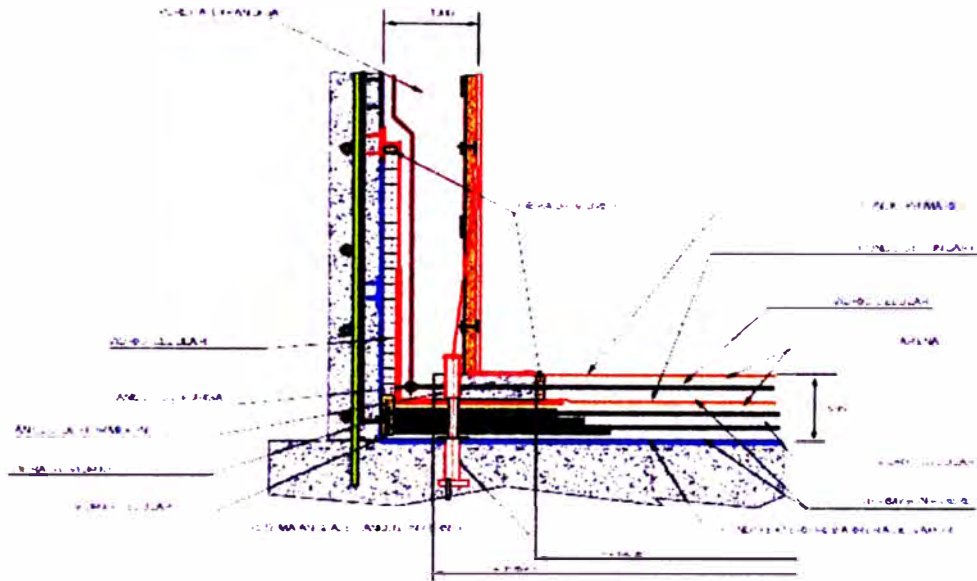


FIGURA 4.15 INSTALACION TÍPICA DEL VIDRIO CELULAR EN EL PISO

Todo irá recubierto por una capa de arena fina sobre la que descansara el tanque; espesor 50 mm densidad 1.600 Kg/m³

La cimentación del tanque seleccionado es el tipo de anillo, será protegido térmicamente de hormigón con mezcla de perlita cuya densidad es de 460 kg/m³ aproximadamente, para evitar que se congele el piso, ya que el hormigón a temperaturas inferiores a 0 °C puede sufrir un riesgo de quebradura por choque térmico.

En la solera de soporte del fondo del tanque será sumergida una red de cable eléctrico de calefacción provista de sistema de regulación de la temperatura, para evitar la congelación del terreno.

- Distancia entre líneas : 1 m
- Longitud total : 800 m aprox.
- Potencia eléctrica total : 14 Kw
- Número de termo resistencias : 3

La disposición del aislamiento térmico del tanque se muestra en el plano N° TA-008.

4.10.5 CÁLCULO DE LA CARGA TERMICA TOTAL

La carga térmica total del tanque de almacenamiento que absorbe el tanque de almacenamiento totalmente aislado es de 43.918,24 Kcal/hr, durante 4 horas será de 175.672,96 Kcal, carga térmica que deberá ser eliminado en la unidad de condensación de la planta de licuación de gases que funcionará entre 5 a 6 veces por día.

4.10.6 ESTIMACION DE PESOS DE AISLAMIENTOS TERMICOS

La estimación de los pesos de los materiales que se han seleccionado para el aislamiento térmico del tanque de almacenamiento de amoniaco, se da con un margen adicional de 10%, debido a las perdidas por manipuleo durante su instalación:

+Poliuretano: 9.800 Kg	+Lana de vidrio: 2.000 Kg
+Vidrio expandido: 13.500 Kg	+Perlita: 1.500 Kg
+Pérdidas: 2.680 Kg	+Peso total: 29.480 Kg

La disposición típica de los aislamientos en la pared y el techo del tanque de almacenamiento se anexa en el apéndice 4.16

CAPITULO V

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

5.1 CONSIDERACIONES

El sistema de transporte mediante tubería, es un factor técnico y económico esencial en el proceso de descarga de amoniaco.

El cálculo hidráulico y dimensionado del sistema de tuberías es uno de los problemas que se dan con mayor frecuencia, en gasoductos, oleoductos y amoniaductos, por lo mismo que representa el 30% del costo de material, entre el (30 a 40)% el trabajo de montaje; el (40 a 50)% de horas hombre de Ingeniería y el 60% del volumen de material.

El diámetro nominal deberá fijarse de tal modo que el amoniaco, a la presión que suministran las bombas del buque, pueda descargarse dentro del tiempo normalmente disponible para la faena de descarga, el aislamiento de la tubería debe calcularse de modo que se logre una relación económicamente razonable con la planta de relicuefacción de vapores de amoniaco.

Otros dos aspectos de importancia para el diseño de tuberías de transferencia son el destino del gas de amoniaco desplazado por el líquido de

alimentación al tanque (devolverlo al buque, licuarlo o quemarlo) y el sistema de enfriamiento de la tubería criogénica antes de la faena de descarga.

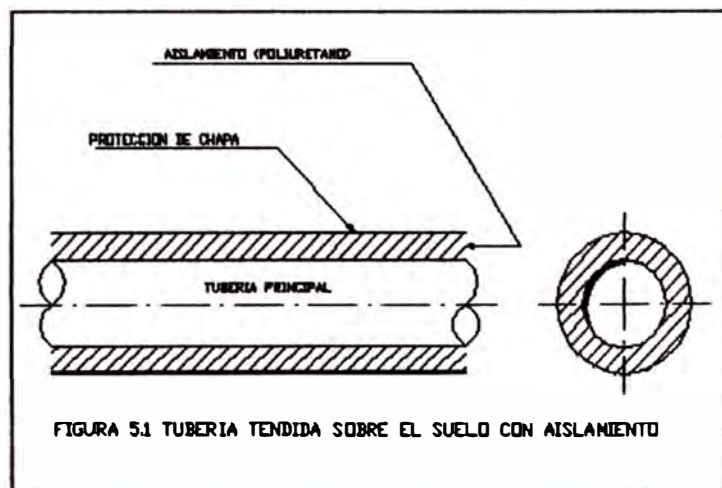
La ruta y el tendido de la tubería de transferencia de amoniaco líquido son determinados por las condiciones locales dadas, y que puede ser tendida sobre el suelo o subterránea.

5.2 ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE MEDIANTE TUBERIA

Las alternativas de transporte de amoniaco más usuales detallamos:

A) Tubería de acero tendida sobre el suelo con revestimiento aislante de poliuretano y una envuelta de chapa que sirve a la vez de baffle: figura 5.1

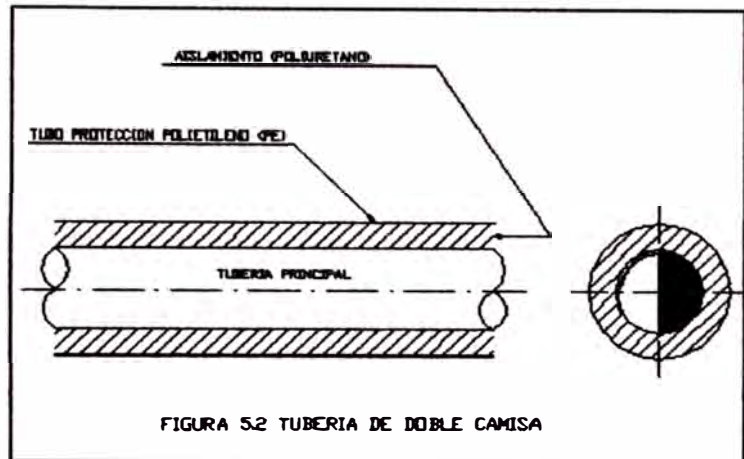
- La tubería puede entorpecer el tránsito.
- La tubería está al alcance directo de extraños, sino se proveen barreras especialmente.
- El aislamiento puede sufrir daños por la intemperie, si no ha sido montado correctamente, o si se descuida el mantenimiento.
- La tubería puede ser inspeccionada en cualquier momento, para efectuar el mantenimiento.



B) El tendido subterráneo ofrece las siguientes alternativas:

B.1) Tubería de doble camisa que consiste de un tubo principal de acero resistente a las bajas temperaturas, un revestimiento aislante de poliuretano y una camisa exterior de polietileno: figura 5.2

- Buen aislamiento.
- Dificultad en localizar fugas de amoniaco.
- Descomposición del poliuretano en caso de fuga de amoniaco.
- Escasa protección

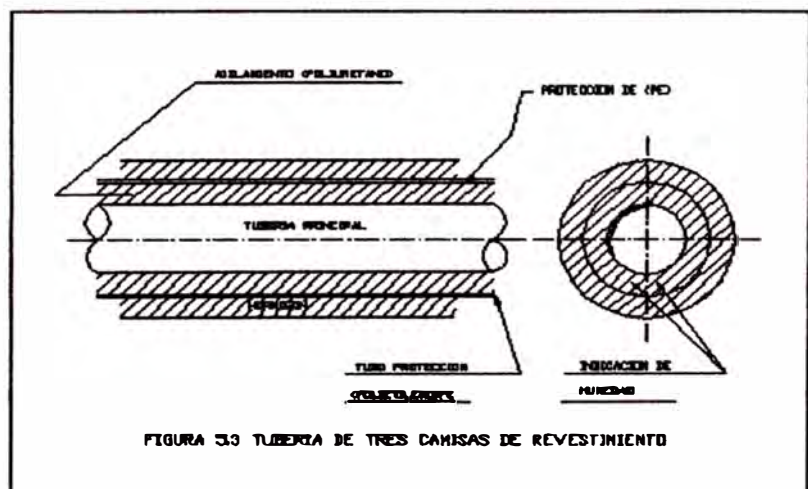


contra ataques mecánicos desde afuera.

- Baja sustentación hidráulica.
- Facilidad para la detección de penetración de humedad, en caso de daños en la camisa de PVC; con ello es posible disminuir el peligro de ataques corrosivos a la tubería desde afuera.

B.2) Línea como la descrita anteriormente, pero dotada de una camisa adicional de hormigón: figura 5.3

- Buenas cualidades aislantes.
- Dificultad para detectar fugas de amoniaco.
- Descomposición del poliuretano en



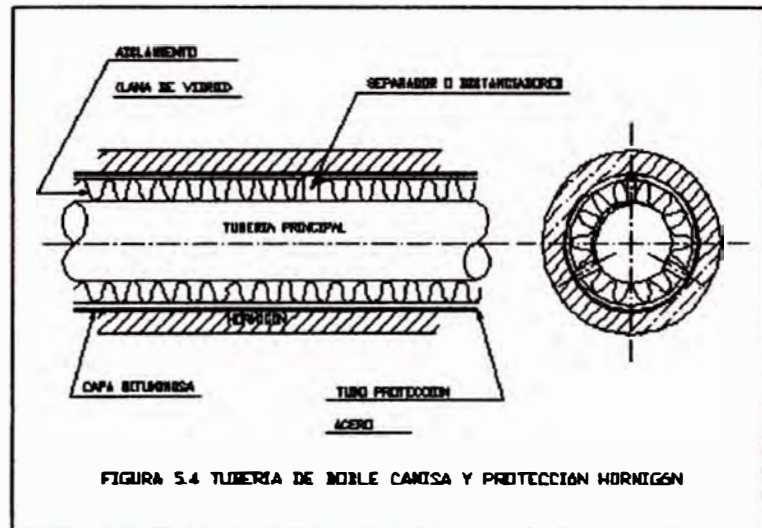
caso de fuga de amoniaco.

- Buena protección contra ataques mecánicos desde afuera.
- Alta sustentación hidráulica.
- Uso de equipos detectores de humedad, posibilidad de vigilancia muy eficaz frente a ataques corrosivos.

B.3) Tubería de doble camisa consistente de un tubo principal de acero resistente a las bajas temperaturas, una capa aislante de lana de vidrio, un tubo de acero exterior provisto de revestimiento de protección contra la corrosión y una camisa de hormigón: figura 5.4

- Buenas cualidades aislantes.
- Facilidad para la detección de fugas de amoniaco (aumento de presión en el espacio intermedio).

- Lana de vidrio resistente al amoniaco.
- Buena protección contra ataques mecánicos de afuera.
- Alta sustentación hidráulica.



- Dos espacios de tuberías plenamente utilizables.
- Movimientos claramente definidos del tubo interior.
- Alta inversión comparada con las anteriores alternativas.

Por razones de inversión, facilidades de montaje, inspección, mantenimiento y seguridad se decide por el tendido de la tubería sobre el

suelo con revestimiento aislante de poliuretano y una envuelta de chapa de aluminio.

5.3 TRAYECTORIA DE LA TUBERÍA

La trayectoria de la tubería de transferencia se ha definido después de analizar las alternativas de recorrido, previamente se efectuaron los trabajos de campo de levantamiento topográfico, en toda el área de influencia.

La trayectoria de la tubería se inicia en el (Km 0+000) punto de recepción del amoniaco en el terminal Marítimo del Callao, recorrerá a lo largo del muelle N° 7, después atravesará la Base Naval del Callao, siguiendo por la ribera de la playa llegará hasta la planta actual, la tubería aérea será soportada sobre postes de concreto reforzado. (Ver plano N° TU-009).

TRAMO KM 0+000 A KM 0+680

Este tramo inicia en la plataforma de descarga del muelle N°7 para productos de petróleo y petroquímicos, que cuenta con una área de 1.114,96 m², el eje de la tubería estaría a 2.80 m de la estructura existente, actualmente están ocupados por una batería de tuberías de Perupetro.

TRAMO KM 0+680 A KM 1+430

Existe un túnel de concreto reforzado; en el interior lleva una variedad de tuberías que pertenecen a Perupetro, sobre unos muros existentes en el interior del túnel se ha inspeccionado que existe espacio suficiente y condiciones mínimas para el montaje de la tubería.

TRAMO KM 1+430 A KM 1+820

Este tramo irá soportado sobre un muro típico de concreto reforzado a una altura de 5,50 m, y que no forma parte del presente informe.

TRAMO KM 1+820 A KM 1+1920

La tubería cruza la desembocadura del Río Rímac; inicialmente se ha previsto cruzar aéreamente, pero por razones de seguridad y dándole una curva elástica, lo cual proporciona una mayor flexibilidad que garantiza la mayor seguridad mecánica de la tubería, será subterránea y estará cimentada en la cota -2,00 m. esta solución facilita la construcción y ubicación de la válvula de bloqueo antes del cruce del río Rímac.

TRAMO KM 1+920 A KM 2+520

En este tramo, la tubería recorre paralela al Río Rímac; será enterrada por ser una zona de tiro de la Marina de Guerra; se construirá un terraplén con una cota de 4,5 m para proteger de impactos de bala que pudiera ocurrir.

TRAMO KM 2+520 A KM 5+760

Saliendo de la base naval a partir del km 3+300 se seguirá el recorrido previsto por la firma especializada, el tendido aéreo sobre postes es lo más conveniente, ya que el terreno es malo por estar surcado por cursos del agua, de modo que el eje de la tubería debe tener una cota de 5,50 metros.

Después del km 5+760 llegará al pulmón de amortiguación de 10 m³ y de allí será transferido al tanque de almacenamiento de amoniaco. La tubería de transferencia tendrá una longitud total de 5,8 km.

5.4 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA TUBERIA

De acuerdo a las normas API-620; apéndice R, tabla R-2-1 materiales para componentes primarios para una temperatura de trabajo entre (- 60 °F a - 20 °F) el material recomendado para tubos sin costura es el ASTM A333, Grado 6 o norma equivalente. Las propiedades de la tubería de acero según la norma ASTM A 333 - Grado 6 se incluyen en el apéndice 5.1

5.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA

La tubería de transferencia se dimensionara de manera optima evitando la excesiva pérdidas de carga, los golpes de ariete, costos innecesarios, con una velocidad recomendada para transportar amoniaco líquido en tuberías es de 6 pies/seg (1,823 m/seg).

5.5.1 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

Para calcular el diámetro de la tubería se ha tomado en cuenta los parámetros de diseño de las bombas de descarga de los buques tanques cuyas condiciones operativas son las siguientes: caudal máximo de 350 m³/hr, y una presión máxima de 18,00 Kg/cm².

El diámetro óptimo de la tubería se calculara mediante la siguiente fórmula:

$$D_{i-opt} = 2 \left(\frac{Q}{\pi * V} \right)^{1/2} \quad (5.1)$$

Donde:

Q = Caudal máximo del fluido, [m³/hr]

V = Velocidad del fluido, [m/hr]

D_{i-opt} = Diámetro interior de la tubería, [m]

Para los valores de Q= 350 m³/hr; v= 1,823 m/seg; y reemplazando en la ecuación 5.1 se obtiene:

$$d_{i-opt} = 2 \left(\frac{350}{\pi * 6.562,8} \right)^{1/2} = 0,260m \text{ (10,25pulg)}$$

Por lo tanto el diámetro interior de la tubería seleccionada será de 10,25 pulg.

5.5.2 CALCULO DEL ESPESOR DE PARED DE LA TUBERIA

El cálculo de espesor de la tubería sometida a presión interna se calculara aplicando la norma ANSI B31.4 mediante la expresión:

$$t_m = \left(\frac{PD}{2S} \right) * \frac{1}{F} * \frac{1}{E} + C \quad (5.2)$$

Donde:

t_m = Espesor mínimo requerido de la tubería [pulg.]

P = Presión interna máxima del diseño [lbs/pulg²]

D = Diámetro exterior de la tubería [pulg.]

S = Esfuerzo a la tensión del material [lbs/pulg²]

F = Factor de diseño por tolerancia de fabricación.

E = Factor de junta soldada.

C = Espesor por corrosión [pulg]

Para los datos de: P=395,50; D=10,75; S=0,60x(S_t=35.000 lbs/pulg²)=21.000 lbs/pulg²; F= 0,72 ; E=0,85 ; C= 1/16 pulg, reemplazando valores en 5.2 se obtiene:

$$t_m = \left(\frac{395,50 * 10,75}{2 * 21.000} \right) * \frac{1}{0,72} * \frac{1}{0,85} + 0,0625 = 0,2279 \text{ pulg}$$

El espesor de diseño t_m , adicionado las tolerancias debidas a requerimientos de seguridad pública de líneas que atraviesan áreas pobladas, y tolerancias de fabricación, se recomienda un espesor de 0,250 pulg. SCH-20

En conclusión: la tubería de transferencia tendrá las dimensiones principales: DE=10,75 pulg; DI=10,25 pulg; Espesor=0,25 pulg. El fabricante proveerá sin costura, extremos lisos de 6.20 m ó mayor.

5.5.3 SOLDADURAS

Las tuberías de 10" sin costura, de diámetro uniforme, sometidas a presión, se unirán mediante las juntas o uniones soldadas circunferenciales; las válvulas de proceso, juntas de expansión, y las conexiones de instrumentación se unirán mediante juntas bridadas.

Las tuberías y bridas requiere la aplicación mínima de las normas contenidos en los códigos de construcción; ASME B31.4, B31.8, B31.11, API 1104, ASME IX:2001 (parte C), API 5L:2000, AWS D3.6. Los tipos de soldaduras empleados en el montaje abarcan las soldaduras a tope, de Socket Weld, de Filete, de Sellos, tal como se muestra en el apéndice de información técnica.

La norma API 1104 cubre la soldadura con gas y por arco de soldadura a tope, en filete y porta tubos. La soldadura puede realizarse mediante el proceso de arco metálico protegido, arco sumergido, TIG, arco metálico a gas, por arco con núcleo de Flux, soldadura oxiacetilénica o la soldadura a tope por chispa ó mediante una combinación de estos procesos.

Una vez culminada el proceso de aprobación de la soldadura, de las uniones mediante rayos "X" ó gamma, reveladores de tintes penetrantes, la calidad de la soldadura debe ser determinada por ensayos destructivos y no destructivos según la norma AWS 3.0

La tubería antes de la puesta en servicio, los agentes calificados efectuará la prueba de presión hidrostática a 1,5 veces la presión de operación, ó la prueba neumática con la tubería, válvulas y accesorios cerrados, manteniendo durante 24 horas como mínimo la tubería a la presión de 24 Kg/cm², a la temperatura ambiente.

5.6 CÁLCULO DE ESPESOR ÓPTIMO DE AISLAMIENTO TERMICO

5.6.1 CONSIDERACIONES

El cálculo del espesor del aislamiento en la tubería dependerá principalmente de la cantidad de calor que absorberá el amoniaco durante el proceso de recepción y transporte, temperatura del fluido, espesor y la conductividad térmica del aislante; y secundariamente del diámetro, la temperatura del aire, la viscosidad, la velocidad del viento, y la emisividad relativa de la cobertura externa.

El calor absorbido por el amoniaco contenido en el ducto desde el medio ambiente que se encuentra a 26°C, lo que genera vapores de amoniaco.

El enfriamiento del ducto será completado solo cuando todo el líquido contenido, su temperatura sea menor o igual a la temperatura operativa del tanque de almacenamiento -33,0 °C, y luego se podrá alcanzar el máximo caudal de 350 m³/hr, para completar la descarga de amoniaco de las 7.500 TM desde los buques tanques.

5.6.2 CALCULO DEL ESPESOR OPTIMO DEL AISLAMIENTO

El espesor óptimo económico para el aislamiento se procederá a calcular mediante la expresión siguiente:

$$e_{opt} = \sqrt{\frac{E * k * Z * (T_i - T_a)}{I_0 * \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]}} - \frac{k}{h_e} \quad (5.3)$$

Donde:

e_{opt} = Espesor económico [pulg]

E = Costo de la energía [\$/TON] ó [\$/288.000 BTU]

k = Conductividad del aislamiento [BTU-Pulg/hr-pie²-°F]

$Z = N^\circ$ de horas de funcionamiento al año [hr/año]

$T_i =$ Temperatura del fluido [°F]

$T_a =$ Temperatura más caliente medio ambiente [°F]

$l_0 =$ Inversión del aislamiento [\$/pie²-pulg-año]

$i =$ Tasa de interés del dinero [%]

$n =$ Vida esperada de la inversión [años]

$h_o =$ Coeficientes superficial externo (h_c+h_r) [BTU/hr-pie²-°F]

Para los datos: $E = 4,20$ \$/288000 BTU = $1,458 \times 10^{-5}$ \$/BTU (Valor promedio planta licuación); $k = 0,16$ BTU-Pulg/hr-pie²-°F (Poliuretano inyectado); $Z = 65 \times 4 = 260$ hr/año; $T_i = -28^\circ\text{F}$ (-33°C); $T_a = +79^\circ\text{F}$ (26°C); $l_0 = 0,15$ \$/pie²-pulg-año; $i = 6,00\%$; $n = 15$ años; $h_o = 4,48$ BTU/hr-pie²-°F, de tablas ver apéndice 5.2, 5.2A, 5.2B, reemplazando valores en 5.3 se obtiene:

$$e_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{1,458 \times 10^{-5} * 0,16 * 260 * (107)}{0,15 * \left[\frac{0,06(1,06)^{15}}{(1,06)^{15} - 1} \right]}} - \frac{0,16}{4,48} = 2,014 \text{ pulg}$$

Por lo tanto el espesor del poliuretano será de 2,5 pulg, llevara una barrera de vapor de alquitrán con cubierta de plástico y una chapa externa de protección en aluminio de 1,8 mm (1/16") de espesor.

5.6.3 CALCULO DEL CALOR ABSORBIDO POR LA TUBERIA

Para el cálculo de calor que absorbe el amoniaco durante el proceso de transporte, se empleara la configuración de la tubería aislada con poliuretano que se esquematiza en la figura 5.5:

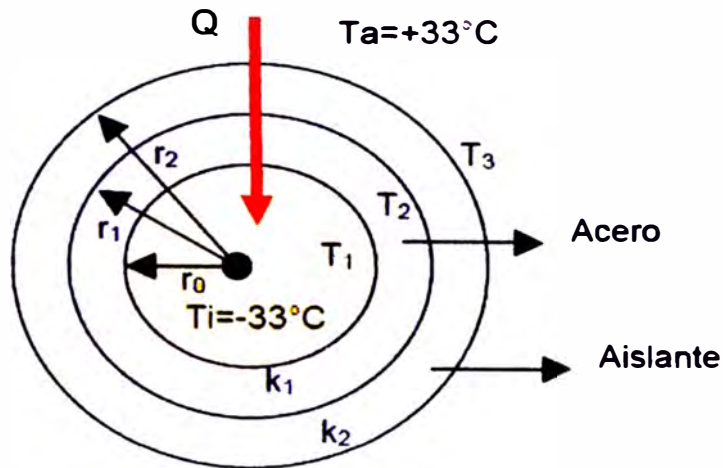


FIGURA 5.5 SECCION TRANSVERSAL DE LA TUBERIA

El calor absorbido por el amoniaco a través de toda la longitud de la tubería de transporte se aplicará la siguiente fórmula:

$$Q_1 = \frac{2\pi * L * (T_i - T_e)}{\frac{\ln(r_1 / r_0)}{k_1} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{k_2} + \frac{1}{r_2 * h_e}} \quad (5.4)$$

Siendo:

Q_1 = Calor absorbido por el fluido [BTU/hr]

L = Longitud del ducto [pies]

r_0, r_1, r_2 = Radios del ducto y el aislante [pies]

k_1 = Conductividad del acero [BTU/hr-pie-°F]

k_2 = Conductividad del poliuretano [BTU/hr-pie-°F]

Con los datos del párrafo anterior: $L=18.897,6$ pies(5.760 m); $r_0=0,427$ pies; $r_1=0,448$ pies; $r_2=0,656$ pies; $k_1 = 31,0$ BTU/hr-pie-°F; $k_2 = 0,0133$ BTU/hr-pie-°F, reemplazando en la ecuación 5.4 se obtiene:

$$Q_1 = \frac{2 * 3,1416 * 18.897,6 * (-107)}{\frac{\ln(0,448 / 0,427)}{31} + \frac{\ln(0,656 / 0,448)}{0,0133} + \frac{1}{0,656 * 4,48}}$$

$$= - 437.857,52 \text{ Btu/hr}$$

La cantidad de calor absorbido por el amoníaco desde el medio ambiente $Q_1 = 437.857,52$ BTU/hr ó $110.410,15$ Kcal/hr, que será eliminada en el condensador de la planta de re licuefacción.

5.6.4 CALCULO DE FLUJO DE VAPOR DE AMONIACO

La cantidad de calor que se requiere eliminar $2'200.000$ Kcal, durante 3 horas que demora la etapa de enfriamiento de la tubería de transporte de amoníaco es; $Q_2 = 733.333,33$ Kcal/hr; por lo que el calor total absorbido será $Q_t = Q_1 + Q_2 = 843.743,48$ Kcal/hr.

Para calcular el flujo de vapor de amoníaco se usara la fórmula siguiente:

$$\dot{m} = \frac{Q_t}{(h_1 - h_2)} \quad (5.5)$$

Donde:

m = Flujo másico de vapor de amoníaco, [Kg/hr]

Q_t = Calor absorbido por el fluido, [Kcal/hr]

h_1 = Entalpia específica, [Kcal/Kg]

h_2 = Entalpia específica, [Kcal/Kg]

Las entalpias específicas h_1 , h_2 , se obtienen de tablas de propiedades termodinámicas para el NH_3 , a la presión y temperatura de descarga

Punto (1):

$P_1 = 9$ bar(abs); $T_1 = +26$ °C; $h_1 = 1489,35$ KJ/Kg (338,76 Kcal/hr)

Punto (2):

$P_2 = 9$ bar(abs); $T_2 = -33$ °C; $h_2 = 50,48$ KJ/Kg (12,05 Kcal/hr)

Reemplazando valores en 5.5, se obtiene el flujo másico:

$$m = \frac{843.743,48}{(338,76 - 12,05)} = 2.582,54 \text{ Kg / hr}$$

Es decir 2.244,60 Kg/hr de amoniaco que se vaporiza en la etapa de enfriamiento y 337,95 Kg/hr durante la etapa de descarga normal, vapores que se desplazarán por el interior de la tubería descargando en el tanque de compensación y luego alimentado a la red de tuberías de las plantas consumidoras y/o planta de licuación.

5.7 SELECCIÓN DEL “SURGE DRUM”

5.7.1 CONSIDERACIONES

- El “Surge Drum” o tanque pulmón de compensación se instalara al final del ducto para que cumpla las siguientes funciones:
 - Permita la reducción del oleaje del vapor o gas arrastrados por el líquido antes de la descarga en el tanque de almacenamiento.
 - Proporcionar el tiempo de retención requerido para la fase líquida.
 - Permita el amortiguamiento de las variaciones de presión, o golpes de ariete durante el bombeo en la línea.
 - Separar el líquido del vapor del amoniaco durante las operaciones de enfriamiento y la faena de descarga normal.

5.7.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SURGE DRUM

El dimensionamiento del “Surge Drum”, horizontal se adjunta los cálculos en el apéndice 5.3, con las especificaciones técnicas principales:

Diámetro interno= 1,80 m; Longitud cilíndrica L= 4,0 m;
Longitud total = 4,55 m; Volumen geométrico= 12 m³; Material:
ASTM A516 Gr 60; Aislamiento total del surge drum con
poliuretano de espesor 2,5 pulg.

5.8 SELECCIÓN Y/O DISEÑO DE LAS JUNTAS DE EXPANSION

5.8.1 CONSIDERACIONES

Las juntas de expansión, se instalan a lo largo de la tubería con el objeto de reducir los esfuerzos debido a la carga de deformación térmica, como las expansiones cuando la tubería se enfría, y contracciones cuando la tubería se calienta debido a los cambios de las temperaturas del producto y el medio ambiente.

Para seleccionar y/o diseñar de estos accesorios, se tomara los parámetros: presión de diseño 18 Kg/cm², temperatura máxima 26°C; temperatura mínima -33°C; temperatura de instalación 21°C.

Los cambios de dirección de la tubería a lo largo del recorrido del amoniaducto, mejora la flexibilidad del sistema y para absorber los desplazamientos térmicos se utilizaran codos, curvas, loops, las juntas de expansión axial.

5.8.2 SELECCIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSION AXIAL

En el tramo Km 0+000 a Km 1+820, se instalaran juntas de expansión de tipo axial, ya que el tendido es prácticamente en línea recta debido al reducido espacio y el rack de tuberías de diferentes diámetros que se encuentran instaladas.

La contracción y/o expansión térmica del tubo se determina mediante la siguiente expresión:
$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T \quad (5.6)$$

Donde:

ΔL = Contracción y/o expansión lineal del tubo, [mm]

L = Longitud inicial de la tubería, [m]

α = Coeficiente de expansión térmica, [mm/m $^{\circ}$ C]

ΔT = Variación de temperatura, [$^{\circ}$ C]

Para los datos: $\alpha = 12,00 \times 10^{-3}$ mm/m- $^{\circ}$ C; $L = 100$ m; $\Delta T = (-33$ $^{\circ}$ C – 21° C) = $-54,00$ $^{\circ}$ C ; reemplazando los valores en 5.6 se obtiene:

$$\Delta L = 12,00 \cdot 100 \cdot 10^{-3} (-54,00) = -64,8 \text{ mm} ;$$

De igual modo con $\Delta t = (26^{\circ}$ C– 21° C) = $5,00$ $^{\circ}$ C, tenemos:

$$\Delta L = 12,00 \cdot 100 \cdot 10^{-3} (5,00) = +6,0 \text{ mm}$$

Por tanto en este tramo de análisis se ha seleccionado montar 18 juntas de expansión axial distanciados cada 100m, que absorban los movimientos axiales de la tubería la contracción de 64,80mm y con una expansión mínima de 6,00mm.

De acuerdo a las normas técnicas de la EJMA, ASME B16.5, B31.3 se ha seleccionado juntas de expansión; DN 10 pulg, tipo MWA extremos soldables material manguito ASTM A-333 Gr-6 y fuelle AISI 316L, PN 300 lbs, según dimensiones, ver apéndice 5.4-5.4A y su instalación se realizará según el detalle tal como se muestra en la figura 5.6.

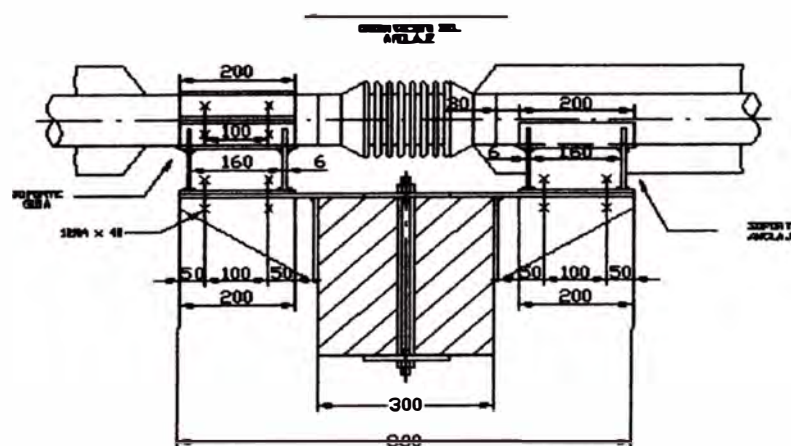


FIGURA 5.6 JUNTA EXPANSION AXIAL

En el tramo Km 1+820 a Km 1+920, cruce del río Rímac la tubería no llevara juntas de expansión ya que en su configuración llevan codos de radio largo y sumado a los cambios de dirección, esta absorberá la contracción y/o expansión térmica (auto compensación).

5.8.3 SELECCION DE LAS JUNTAS DE EXPANSION "LOOP"

En el tramo de Km 1+920 a Km 5+760, según el trazo del eje vista horizontal y vertical de la tubería se observa varios cambios de dirección en su recorrido, factor que mejora la flexibilidad del tubo y para la compensación de la contracciones y dilataciones térmicas se usarán bucles de expansión tipo "loop", dispuestas en un plano horizontal, para evitar perturbaciones en el flujo del amoniaco líquido.

A) Cálculo del esfuerzo permisible

Para calcular el esfuerzo permisible del "loop" de expansión de tipo rectangular se tomara en cuenta el diámetro de la tubería y una geometría de las proporciones indicadas en la figura 5.7

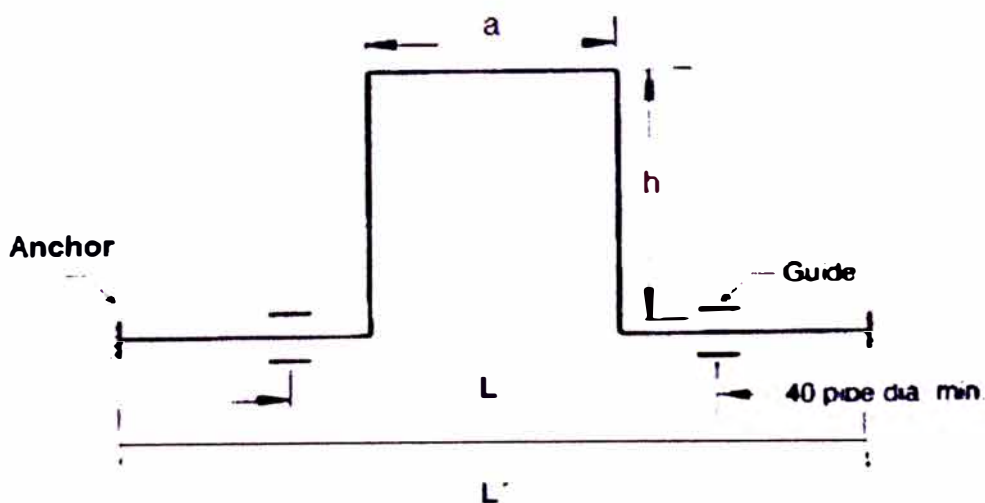


FIGURA 5.7 CONFIGURACION DE UN LOOP

La ecuación para calcular el esfuerzo permisible es la siguiente:

$$S_b = K_b * C * \left(\frac{D}{L}\right) * \left(\frac{L'}{L}\right) \quad (5.7)$$

Donde:

S_b = Esfuerzo a la flexión, [lb/pulg²]

K_b = Factor geométrico

C = Factor de expansión

D = Diámetro exterior del tubo, [pulg]

L = Distancia entre guías, [pies]

L' = Distancia entre anclajes, [pies]

Como primer tanteo asumamos $h=16'$; $a= 16'$; $L=32'$; $L'= 360'$, tendremos por tanto $L/a = 2$ y $L/h = 2$, para aceros < de 0, 3% de carbono, el factor de expansión $C= 119,0$ por interpolación de tablas y $K_b= 18,00$ ver apéndice 5.5, 5.6 con estos valores reemplazando en la ecuación 5.7 el esfuerzo a la flexión resultante será:

$$S_b = 18 * 119 * \left(\frac{10,75}{32}\right) * \left(\frac{360}{32}\right) = 8.095,25 \text{ lb / pulg}^2$$

Si se conformará esta junta de expansión tipo "bends", empleando codos de radio largo, el factor de intensificación de esfuerzos ($i = 1,52$) tal como se muestra en el apéndice 5.7

$$S_b' = 1,52 \times 8.095,25 \text{ lb/pulg}^2 = 12.304,78 \text{ lb/pulg}^2$$

$$S_b' = 12.304,78 \text{ lb/pulg}^2 \leq 22.500 \text{ lb/pulg}^2$$

Por lo que ésta junta estará capacitada para absorber los esfuerzos entre los apoyos de la tubería, lo cual nos permite aumentar la distancia entre anclajes a: $L'= 658$ pies y $S_b'= 22,500$ lb/pulg² (Esfuerzo permisible de flexión).

B) Cálculo de la fuerza en los anclajes

El cálculo de la fuerza de reacción queda determinado por la ecuación:

$$F_x = K_x * C * \left(\frac{I_p}{L^2} \right) * \left(\frac{L'}{L} \right) \quad (5.8)$$

Donde:

F_x = Fuerza de reacción en el anclaje, [Lbs]

K_x = Coeficiente de esfuerzo.

I_p = Momento de inercia del tubo, [Pulg⁴]

L' = Distancia entre anclajes, [Pies]

De tablas incluida en el apéndice 5.6; $K_x = 12$; $I_p = 113,7 \text{ pulg}^2$; $C = 119$; y el valor de $L' = 658$ pies reemplazamos en 5.8 se obtiene:

$$F_x = 12 * 119 * \left(\frac{113,7}{32^2} \right) * \left(\frac{658}{32} \right) = 3.260,35 \text{ lbs}$$

Para el cálculo de la fuerza real sobre el anclaje se empleara la expresión:

$$F_{x(\text{real})} = F_{x(\text{tabla})} * \frac{\psi_r}{\psi_t} * \frac{E_o}{E_t} \quad (5.9)$$

Siendo:

$F_{x(\text{real})}$ = Fuerza real en el anclaje, [lbs]

$F_{x(\text{tabla})}$ = Fuerza de tablas, [lbs]

ψ_r = Deflexión real, [pulg]

ψ_t = Deflexión tabulada, [pulg]

E_o = Modulo de elasticidad, [lb/pulg²]

E_t = Modulo de elasticidad trabajo, [lb/pulg²]

Según tablas ver apéndice 5.8, la expansión térmica = 0,99pulg/100 pies, es decir, en el tramo de 658 pies la expansión resultante será de 6,51"; valor que determina una deflexión tabulada de:

$$6,51 \times (10.000/22.500) = 2,89 \text{ pulg.}$$

Con este valor se podrá entrar a tablas ver apéndice 5.8, para seleccionar aquellas juntas que proporcionen una deflexión tabulada mayor o igual que 2,89 pulg.

De los tipos de juntas de expansión tipo "bends", procedemos a seleccionar aquella cuyo radio de curvatura es $R=5D_n$; deflexión tabulada= 3,00"; $F_{x(\text{tabulada})} = 2.553,00 \text{ lbs}$, tomando los valores del párrafo anterior y reemplazando en ecuación 5.9 se tiene que:

$$F_{x(\text{real})} = 2.553 * \frac{6,51}{3,00} * \frac{26 \times 10^6}{29 \times 10^6} = 4.966,90 \text{ lbs}$$

La fuerza real resulta 4.966,90 lbs (2.266,54 Kg), carga axial producida por la expansión y/o contracción térmica, este valor se tomara en cuenta en el diseño de las sillas metálicas de anclajes de la tubería.

Por lo tanto; se seleccionan la expansión tipo; "U" Bend Tangents=2R que se muestra en la figura 5.8, que irán instalados en los tramos rectos a una distancia máxima de 200m entre anclajes y las guías soporte cada 10 m. La fabricación se realizara por deformación en caliente, tubo sin costura, material calidad ASTM-333 Gr-6.

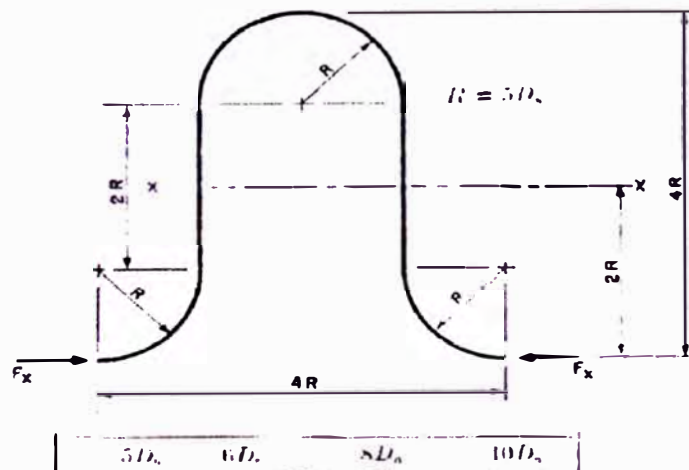


FIGURA 5.8 EXPANSION U BEND TANGENTS = 2R

5.9 CÁLCULO DE LUZ ENTRE SOPORTES

5.9.1 CONSIDERACIONES

El espaciamiento o la luz entre los soportes han ido aumentando con la calidad del material y el diseño apropiado.

Para determinar la luz entre soportes del ducto asegurando la flexibilidad o que la flexión no exceda el límite permisible, es fundamental tomar en consideración las cargas estáticas y dinámicas.

Como cargas estáticas tenemos las cargas vivas el peso del fluido; cargas muertas el peso de tubo, aislamientos, accesorios; cargas dinámicas como vientos, vibración y golpeteos, terremotos; así como cargas debido a la expansión y o contracción térmica.

La velocidad máxima del viento en la zona de influencia que alcanza los 22 km/hr, tiene una dirección de norte a sur que coincide con el eje de la tubería casi en la totalidad de su recorrido, por lo que este parámetro no se tomara en cuenta.

5.9.2 ESTIMACION DE CARGAS EN LA TUBERIA

Las cargas vivas y muertas a la que se encuentra sometidas la tubería de transporte tomadas en cuenta son las siguientes:

- Peso del amoniaco liquido (q_l): 36,28 Kg/m.
- Peso propio de la tubería 10"-SCH-20 (q_m): 41,75 Kg/m.
- Peso del poliuretano inyectado (q_p): 2,68 Kg/m.
- Peso de la cubierta del aluminio, (q_a): 6,10 Kg/m.
- La carga (viva +muerta) total (q_t): 86,81Kg/m,
- Cargas accesorios varios 18% (q_n): 15,62 Kg/m.
- Carga total vertical en la tubería (q_t): 102,43 kg/m

5.9.3 CALCULO DE LA LUZ ENTRE APOYOS

Para analizar la luz entre apoyos de la tubería analizaremos como una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida tal como se muestra en la figura 5.9

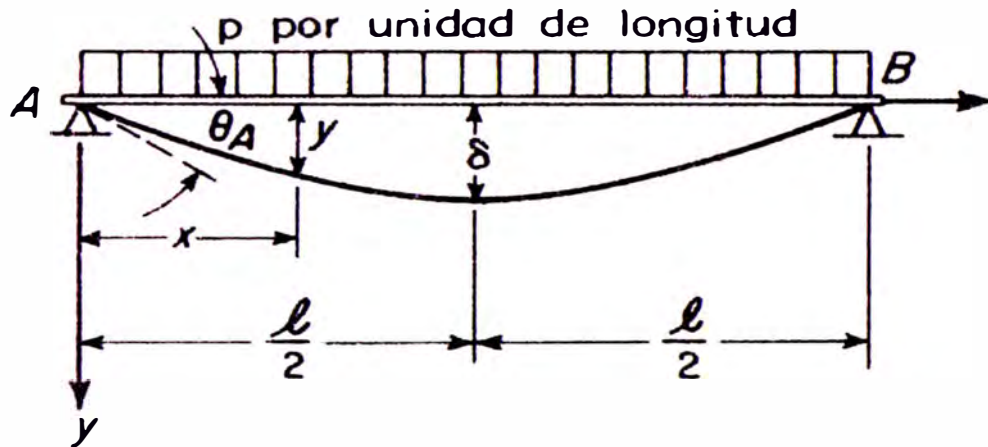


FIGURA 5.9 VIGA CON CARGA UNIFORME DISTRIBUIDA Y FLECHA

La flecha máxima de la tubería no debe exceder los límites permisibles, y que deberán cumplir las dos condiciones siguientes:

$$\delta_{\max} \leq \frac{L}{360} \quad (5.10)$$

$$\delta_{\max} = \frac{5}{384} \left(\frac{q * L^4}{E * I} \right) \quad (5.11)$$

Reemplazando la ecuación 5.10 en la expresión 5.11 tenemos:

$$L = \sqrt[3]{\frac{0,21 * E * I}{q}} \quad (5.12)$$

Donde:

δ_{\max} = Flecha admisible en el centro, [pulg]

q = Carga unitaria uniformemente distribuida, [lb/pulg]

L = Longitud entre apoyos, [pulg]

E = Módulo de elasticidad, [lbs/pulg²]

I = Momento de inercia, [pulg⁴]

Para los datos: q= 5,72 lb/pulg; E= 29 x 10⁶ lbs/pulg²; I= 114 pulg⁴

Reemplazando valores en 5.12 se obtiene:

$$L = \sqrt[3]{\frac{0,21 * 29 * 10^6 * 114}{5,72}} = 495,12 \text{ pulg } (41,26 \text{ pies})$$

La luz máxima resulta 35,65 pies (12,57m), con $\delta_{\text{máx}} = 1,35$ pulg; por lo tanto distancia máxima entre soportes será $L = 12$ m (41,24pies), por razones de diseño se tomara como distancia $L = 10$ m.

5.10 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA DE TRANSPORTE

Las pérdidas de carga en la tubería de transferencia están relacionadas con otras variables fluidodinámicas según sea el tipo de flujo laminar o turbulento, además de las pérdidas de carga lineales (a lo largo del conducto), también se producen perdidas de carga singular en puntos concretos como codos, válvulas, juntas de expansión y accesorio en general.

5.10.1 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS LINEALES

Para calcular las pérdidas de carga lineales por fricción en la tubería, previamente calcularemos el número de Reynolds para determinar el tipo de flujo mediante la expresión conocida:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad (5.13)$$

Siendo:

ρ = Densidad del fluido, [Kg/m³]

V = Velocidad media, [m/seg]

D = Diámetro interior de la tubería, [m]

μ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido, centipoises [Cp]

Reemplazando valores en (5.13): $\rho = 681,57 \text{ kg/m}^3$; $V = 1,826 \text{ m/seg}$; $D = 0,260 \text{ m}$; $\mu = 25 \times 10^{-5} \text{ Pa-seg}$ (0,25 Centipoises) a $T = -33^\circ\text{C}$ de Nomograma "Perry, Chemical Engineers' Handbook", apéndice 5.9

Se obtiene el numero de $Re = 1,29 \times 10^6 > 4.000$ lo cual el flujo se encuentra en la zona de transición, el régimen en esta zona el coeficiente de fricción (f), depende además de Re , de la rugosidad relativa de la tubería de acero $\varepsilon_r = \varepsilon/D = 0,0002$ ver apéndice 5.10, este parámetro lo obtendremos del diagrama de Moody $f = 0,015$ (apéndice 5.11) y la ecuación de la pérdida de presión, conocida como la formula de Darcy-Weisbach que se expresa en unidades de longitud:

$$h_{pl} = f_d * \frac{L}{D} * \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (5.14)$$

Siendo:

h_{pl} = Perdida de carga lineal, [m]

f_d = Factor de fricción de Darcy,

L = Longitud de la tubería, [m]

D = Diámetro interior de la tubería, [m]

V = Velocidad del fluido, [m/seg]

$g = 9,81 \text{ [m/seg}^2\text{]}$

Para los datos: $f_d = 0,015$; $L = 5.768 \text{ m}$; $D = 0,26 \text{ m}$; $V = 1,826 \text{ m/seg}$, y reemplazando valores en (5.14) se obtiene:

$$h_{pl} = 0,015 * \frac{5.760}{0,260} * \left(\frac{1,826^2}{2 * 9,81} \right) = 56,47 \text{ m}$$

5.10.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS SINGULARES

Las pérdidas singulares, toma en cuenta los accesorios que llevará la tubería de transferencia, como válvulas, codos, juntas de dilatación, para su cálculo se empleara la siguiente expresión:

$$h_{ps} = \sum \xi_i * \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (5.15)$$

Donde:

h_{ps} = Pérdida de carga singular, [m]

ξ_i = Coeficiente de pérdida singular de cada accesorio

V = Velocidad del fluido, [m/seg]

$g = 9,81$ [m/seg²]

Los accesorios que llevará instalada la tubería de transporte a lo largo de su recorrido, incluyendo el tramo de ingreso al tanque de almacenamiento se detalla en la tabla 5.1

TABLA 5.1 RELACION DE ACCESORIOS PARA LA TUBERIA DN 10"

UBICACIÓN -TRAMO	DESCRIPCION DE LOS ACCESORIOS					
	Codo > 45° (rl)	Codo = 90° (rc)	Válvula	Junta de dilatación (Axial)	Junta de dilatación (Loop)	Surge Drum Horizontal
Km (0+000 a 0+680)	2	0	1	7	0	0
Km (0+680 a 1+820)	3	0	1	11	0	0
Km (1+820 a 1+920)	4	0	2	0	0	0
Km (1+920 a 2+520)	2	0	1	0	1	0
Km (2+520 a 5+760)	6	0	4	0	3	0
Surge Drum Horizontal.	0	4	6	0	0	1
TOTAL	17	4	15	18	4	1

Por otro lado, los coeficientes de los todos los accesorios que llevara la tubería de transferencia se muestran en la tabla 5.2, reemplazamos estos valores en la ecuación 5.15 se obtiene:

$$h_{ps} = 21,91 * \left(\frac{1,826^2}{2 * 9,81} \right) = 3,72 \text{ m}$$

TABLA 5.2 COEFICIENTES DE LOS ACCESORIOS TUBERIA DN 10"

DESCRIPCION	ξ_i	CANTIDAD DE ACCESORIOS							Σ
		17	4	14	1	18	4	1	
Codo > 45° (rl)	ξ_1	0.45							
Codo = 90° (rc)	ξ_2		0.75						
Válvula compuerta (abierta)	ξ_3			0.25					
Válvula de control (abierta)	ξ_4				3.00				
Junta de dilatación (Axial)	ξ_5					0.10			
Junta de dilatación (Loop)	ξ_6						0.50		
Surge Drum Horizontal	ξ_7							0.96	
TOTAL	Σ	7.65	3.00	3.50	3.00	1.80	2.00	0.96	21.91

Por lo tanto; la pérdida total en el sistema de transporte $h_t = h_{pl} + h_{ps} = 60,20\text{m}$ si adicionamos la altura de la tubería de ingreso de amoniaco al tanque de almacenamiento de 29,00m la perdida mínima del sistema es de 89,20m es equivalente a una presión de 6 bar(g).

5.11 PLANTA DE RE LICUEFACCION DE GAS AMONIACO

En el presente subcapítulo seleccionaremos los equipos de la planta de re licuefacción conformado básicamente por el separador de gotas, compresor recíprocante o alternativo de dos etapas, tanque intermedio, condensador y válvula de expansión, que tendrán como finalidad la de licuar los vapores de amoníaco proveniente de la tubería de transferencia y el tanque de almacenamiento.

En el ciclo de compresión simple, la compresión y la expansión se producen en un solo salto, en máquinas domésticas e industriales; en estas máquinas las presiones y temperaturas (de condensación y evaporación) no difieren excesivamente.

Cuando la diferencia de presiones entre la aspiración y escape (salida) del compresor es muy grande, o lo que es lo mismo, la diferencia entre la temperatura del cambio de estado en el condensador y la reinante en el evaporador, se producen los siguientes fenómenos:

- Un aumento importante en la temperatura de escape del compresor puede originar la posible descomposición del aceite lubricante con el consiguiente acortamiento de la vida media de la máquina.
- Un aumento de la relación de compresión implica que el rendimiento volumétrico propio del compresor simple disminuye, lo que da origen a una disminución de la capacidad frigorífica al bombear menor cantidad de fluido frigorígeno.
- A medida que nos adentramos en la zona de vapor recalentado se produce una inclinación cada vez mayor de las líneas de entropía constante, hecho que se origina al aumentar la relación de compresión, lo que implica un incremento de la potencia requerida por el compresor, tal como se muestra en la figura 5.10

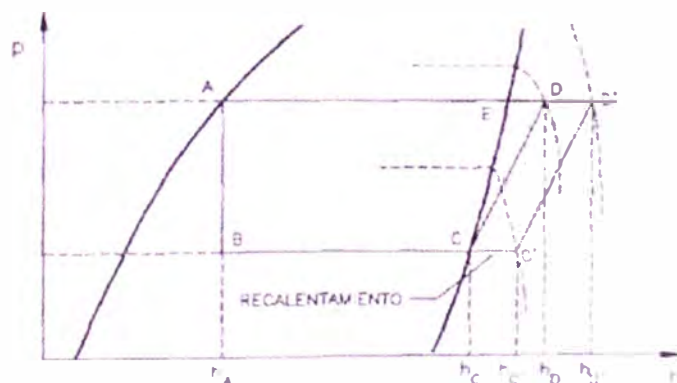


FIGURA 5.10 DIAGRAMA (Ph) ZONA RECALENTAMIENTO

Por todo esto, a partir de ciertos límites puede resultar más económico utilizar un ciclo de compresión múltiple, distinguiendo dos grandes tipos de instalaciones, La compresión múltiple directa y indirecta o en cascada.

5.11.1 PARAMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño a considerar son la temperatura de evaporización del amoníaco: -33°C (-28°F), $P_e = 14,71$ Psia, y la temperatura de condensación: $+40^{\circ}\text{C}$ (104°F), $P_c = 225,40$ Psia.

La cantidad de calor total a ser evacuado en la planta de relicuefacción es de 154.328,19 Kcal/hr, considerando un margen adicional por razones operativas se optara por 165.000 Kcal/hr.

5.11.2 CICLO DE RELICUEFACCION

El ciclo de relicuefacción seleccionado es el sistema de doble compresión y expansión con enfriador intermedio cerrado y separador de líquido, que se esquematiza en la figura 5.10

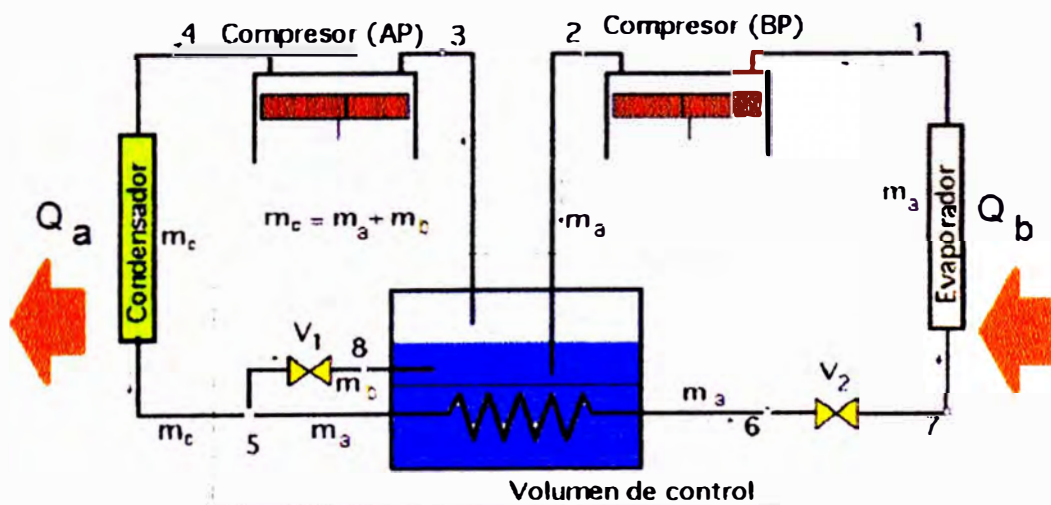


FIGURA 5.11 SISTEMA DE COMPRESION DE 2 ETAPAS E INTERENFRIADOR

Calculo de la relación de presiones $r = P_d/P_e = 225,40/14,71 = 15,32$, por lo que se optara por un sistema de compresión de dos etapas.

Calculo de la presión intermedia óptima:

$$P_i = (P_e \times P_d)^{1/2}, P_i = 57,56 \text{ Psia.}$$

La caída de presión en el punto 8 por la válvula V1 y el cambio de sección en el tanque interenfriador mostrado será $\Delta p = 1,0 \text{ psi}$ siendo la presión de 58,56 Psia, y su temperatura de saturación $T_i = 29^\circ\text{F}$.

El ciclo representado en el diagrama (P-h) del sistema seleccionado en el párrafo anterior, se muestra en la figura 5.11, así como en el diagrama de Mollier R-717 ver apéndice 5.12.

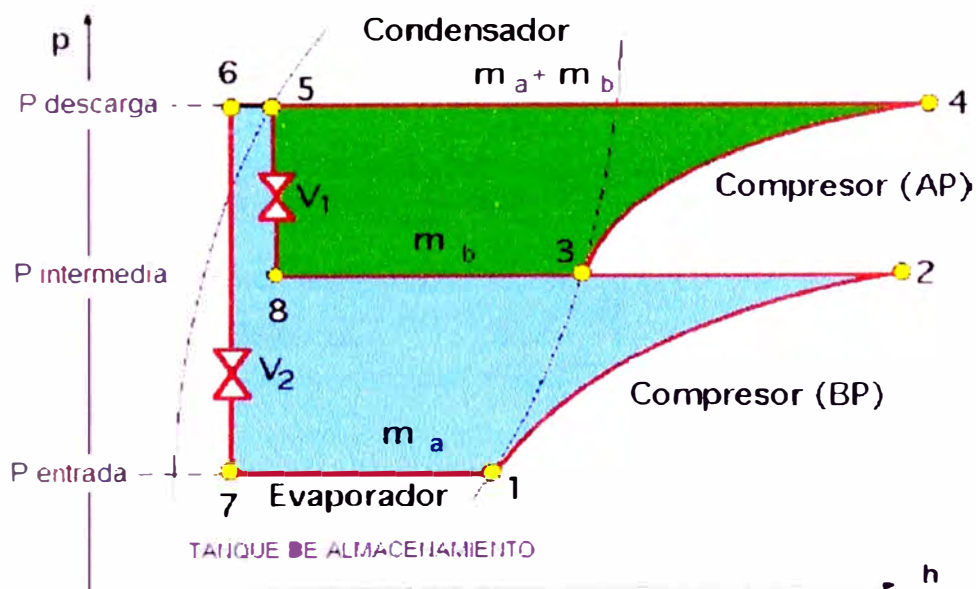


FIGURA 5.12 DIAGRAMA DEL CICLO (P-h) 2 ETAPAS + INTERENFRIADOR

Con la información de las propiedades termodinámicas del NH_3 se elabora información básica del sistema en evaluación, ver tabla 5.3

TABLA 5.3 PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL NH₃

Propiedad Termod.	Punto							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P (Psia)	14,71	58,50	58,50	225,40	225,40	225,40	14,71	58,60
T (°F)	-28	140	29	212	104		-28	29
h (Btu/lb)	602,10	686,70	620,20	707,80	159,90	74,60	74,60	159,90
v (Pies ³ /lb)	18,00		4,922					

Si Aplicamos la 1^{era} ley de la termodinámica, en el proceso de estado estable y flujo estable (FEES) en el volumen de control de la figura 5.11, para las masas que no varían m_a y m_b , estas se calcularán mediante las expresiones conocidas:

$$m_a * h_2 + m_b * h_8 + m_a * h_5 = (m_a + m_b) * h_3 + m_a * h_6 \quad (5.16)$$

$$\frac{m_a}{m_b} = \frac{h_3 - h_8}{h_2 - h_3 + h_5 - h_6} \quad (5.17)$$

Reemplazando datos de tabla 5.3 en 5.17 se obtiene:

$$\frac{m_a}{m_b} = \frac{620,2 - 159,9}{686,70 - 620,20 + 159,90 - 74,60} = 3,03$$

Calculo del flujo másico m_a :

$$m_a = \frac{Q_b}{h_2 - h_7} \quad (5.18)$$

Para los datos $Q_b = 655.050$ Btu/hr y entalpías en los punto 1 y 7 reemplazando en la expresión 5.18 obtenemos: m_a y m_b

$$m_a = \frac{655.050}{686,7 - 74,6} = 1.070,2 \text{ lb/hr}$$

Por lo tanto el flujo másico $m_a = m_1 = 1.070,2$ lb/hr; el flujo másico $m_a + m_b = 1,33 m_a = m_3 = 1.423,40$ lb/hr

5.11.3 SELECCIÓN DE LOS COMPRESORES DE SERVICIO

5.11.3.1 Consideraciones

En una instalación frigorífica se da el nombre de compresor a la máquina que sirve para producir en el evaporador una presión suficientemente baja para que se vaporice el fluido refrigerante a la temperatura deseada y en el condensador una presión suficientemente alta para que el fluido condense a la temperatura de las fuentes naturales (aire, agua).

Actualmente, los equipos frigoríficos que desarrollan la compresión del vapor, los compresores, han de responder a las exigencias esenciales siguientes:

- Bajo consumo energético.
- Dimensiones reducidas.
- Gran confiabilidad y durabilidad.
- Nivel adecuado de seguridad.
- Emisiones permisibles de nivel ruidos.
- Costes de fabricación y mantenimiento poco elevados.

Es difícil establecer una clasificación completa y a la vez didáctica, pero quizás la mejor y la más racional es aquella que agrupa a los compresores en razón de su principio de funcionamiento, la cual permite distinguir entre (1) compresores de desplazamiento positivo, o volumétricos y (2) de desplazamiento cinético, o dinámicos. Figura 5.13

Los compresores de desplazamiento positivo de tipo alternativo o reciprocante es el más usado, siendo utilizado en todos los campos de refrigeración, se adapta muy en especial para usarse con

refrigerantes que requieren desplazamientos relativamente pequeños y para presiones condensantes relativamente altas. Entre los refrigerantes más usados con los compresores alternativos ordinarios están el R-12, 22, 502 y el R717. Como regla general por lo limitado del área de las válvulas los compresores alternativos no deben usarse en forma económica con refrigerantes de presión baja los cuales requieren de desplazamiento volumétrico grande por capacidad unitaria, los compresores alternativos han sido usados con mucho éxito en instalaciones de temperatura baja.

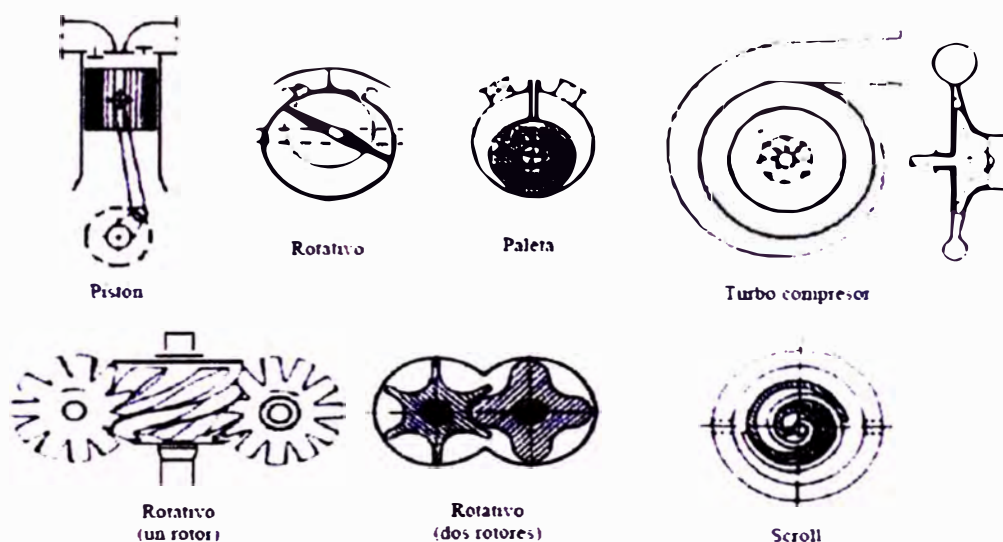


FIGURA 5.13 TIPO DE COMPRESORES

Otro factor limitante en el dimensionamiento industrial de plantas compresoras es la relación de compresión, al incrementarse el valor (P_d/P_s) ó sea la relación de compresión, la temperatura del gas en la descarga se incrementará y esta temperatura tiene un límite máximo industrialmente aceptado de 300 °F. Esto se debe a que los lubricantes empleados por la industria tienen un punto de ebullición entre 400 y 440 °F, pero su viscosidad SSU generalmente está dada

para la temperatura de 300 °F, si supera este valor cambia la viscosidad, condición indeseable para un buen diseño.

El tipo de compresor seleccionado a instalar deberá reunir las características operativas; alternativo o recíprocante de flujo continuo, dos cilindros, vertical en "V", y cárter cerrado, del tipo no lubricado, con el sistema de regulación de la capacidad ver figura 5.14.

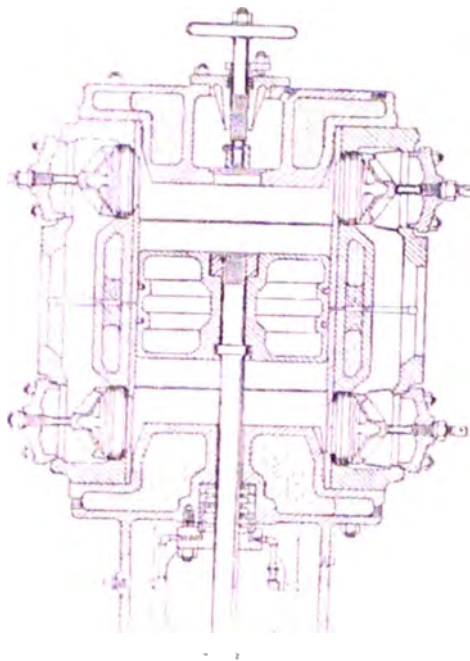


FIGURA 5 14 SECCION TRANSVERSAL DE UN COMPRESOR RECIPROCANTE VERTICAL NH3

5.11.3.2 Cálculo de la capacidad del compresor

La operación del compresor a relaciones de compresión por arriba o por debajo del punto de diseño resulta en pérdidas de compresión y en aumento de las necesidades de potencia. La práctica limita la relación de compresión a un máximo de 7 a 1.

La eficiencia volumétrica de los compresores es relativamente alta, siendo alrededor de 65% y el 80%, dependiendo del diseño y condiciones de operación en particular, tal como se muestra en la figura 5.15

Los vapores del amoníaco antes de entrar al compresor sufren un recalentamiento en el tanque, la capacidad de compresión debe regularse al elevar la presión del vapor de manera que pueda ser condensado y pueda pasar al estado líquido, controlado por la válvula de expansión electro neumático.

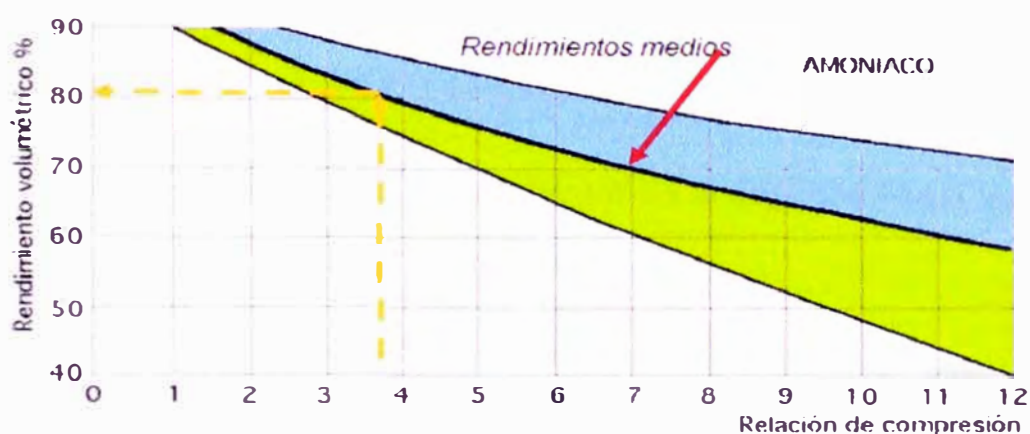


FIGURA 5.15 RENDIMIENTOS VOLUMETRICOS REALES DE UN COMPRESOR

Las ventajas del régimen sobrecalentado, frente al régimen húmedo son; el aumento del rendimiento en un 10-12 %, y se evita el peligro de golpes de líquido en el compresor.

Cálculo del volumen de vapor aspirado de amoníaco por el compresor de primera etapa o baja presión, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_1 = m_1 * v_1 \quad (5.19)$$

Con los datos del ítem 5.11.2. y reemplazando en la ecuación 5.19 se

obtiene: $V_1 = 1.070,2 * 18 = 19.263,6 \text{ pies}^3 / \text{hr}$

Cálculo del trabajo isoentrópico del compresor de primera etapa o baja presión se obtiene con la expresión:

$$W_{CBP} = m_1 * (h_2 - h_1) \quad (5.20)$$

Para los datos del párrafo anterior y reemplazando en 5.20 se obtiene:

$$W_{CBP} = 1070,2 * (686,7 - 602,1) = 90.538,92 \text{ Btu/hr (26,52Kw)}$$

El volumen de vapor de amoniaco aspirado por el compresor de segunda etapa o alta presión, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_3 = m_3 * v_3 \quad (5.21)$$

Con los datos del ítem 5.11.2, y reemplazando en la ecuación 5.21 se tiene que:

$$V_3 = 1.423,4 * 4,922 = 7.005,97 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

De igual manera el trabajo del compresor de la segunda etapa o alta presión se evalúa con la formula:

$$W_{CAP} = m_3 * (h_4 - h_3) \quad (5.22)$$

Para los datos del párrafo anterior y reemplazando en 5.22 se obtiene:

$$W_{CAP} = 1.423,4 * (707,8 - 620,2) = 124.689,84 \text{ Btu/hr (36,53Kw)}$$

El trabajo total desarrollado por el compresor:

$$W_{total} = W_{cbp} + W_{cap} = 63,05 \text{ Kw}$$

La potencia efectiva en el compresor reciprocante está relacionada con el rendimiento volumétrico ver figura 5.15 y el rendimiento mecánico valores experimentales de tabla 5.4

TABLA 5.4 VALORES APROXIMADOS DE RENDIMIENTOS

p_1/p_2	$\eta_{vol} \%$	$\eta_i \%$	$\eta_{mec} \%$	$\eta_{elec} \%$
2	88	90	85 a 93	85 a 90
4	83	82	85 a 93	85 a 90
6	78	74	85 a 93	85 a 90

La potencia efectiva se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N_{ef} = \frac{W_i}{\eta_v * \eta_m} \quad (5.23)$$

Donde:

N_{ef} = Potencia efectiva en el eje del compresor, [Kw]

W_i = Potencia isoentrópica del compresor, [Kw]

η_v = Rendimiento volumétrico

η_m = Rendimiento mecánico

Para los datos: $W_i = 63,05$ Kw; y valores de tabla 5.4, $\eta_v = 0,83$; $\eta_m = 0,85$ y reemplazando en 5.23 se obtiene:

$$N_{ef} = \frac{63,05}{0,83 * 0,85} = 89,36 \text{ Kw}$$

Es muy común tener velocidades angulares entre 500 y 1,750 RPM.

La velocidad angular máxima permitida en el pistón, es de 40m/seg; siendo el factor limitante el área disponible en la válvula, si la velocidad del pistón se aumenta a más de 40m/seg, genera disminución por la eficiencia volumétrica del compresor aumentándose también la potencia requerida en el compresor.

La velocidad angular máxima se calcula mediante las formulas :

$$V_1 = \left(\frac{\pi * D^2 * L * n}{4} \right) RPM * 60 \quad (5.24)$$

$$c = \frac{L * n}{30} \leq 12,467 \text{ pies / seg} \quad (5.25)$$

Donde:

V_1 = Volumen de aspiración, [pies³/hr]

D = Diámetro del pistón, [pies]

L = Carrera del cilindro, [pies]

n = Numero de cilindros

RPM = [Revoluciones x min]

c = Velocidad lineal del pistón ó vástago [pies/seg]

Para los datos: $V_1 = 19.263,6$ pies³/hr; $n = 2$; $LxRPM = 374,01$; reemplazando en la ecuación 5.25 se obtiene: $D = 0,74$ pies; asimismo para compresores de amoniaco $L/D = 1$ cilindro cuadrado, y la velocidad del eje para el compresor reciprocante en "V" es de $RPM = 500$.

En conclusión, los dos compresores alternativos seleccionados deberán de las especificaciones técnicas básicas que se muestra en la tabla 5.5, las normas API 614, API 617, API 618, API 670, y API 686.

La configuración de los compresores se anexa en el apéndice 5.13

TABLA 5.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL COMPRESOR

DESCRIPCION	1 ^{ra} ETAPA	2 ^{da} ETAPA
Presión de aspiración (Psia)	14,71	58,50
Temperatura de aspiración (°F)	-28	29
Presión de descarga (Psia)	58,50	225,40
Temperatura de descarga (°F)	140	194
Flujo másico (Lb/hr)	535,10	711,70
Volumen de aspiración (Pies ³ /hr)	9.631,80	3.502,98
Velocidad de giro en el eje (RPM)	500	
Potencia total absorbida en el eje (Kw)	89,36	

5.11.4 CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

La red eléctrica disponible en el lugar, es de tensión trifásica en 220V/380V/440V-frecuencia 60 Hz, los motores eléctricos trifásicos a seleccionarse se regirá por las normas NEMA y los demás parámetros como carga, tensión, amperaje, velocidad, par de arranque y las condiciones de servicio de los compresores alternativos de amoniaco.

La potencia del motor eléctrico se calcula mediante la expresión:

$$N_{el} = \frac{N_{ef}}{\eta_t * \eta_{el}} \quad (5.26)$$

Siendo:

N_{el} = Potencia del motor eléctrico, [Kw]

N_{ef} = Potencia efectiva del compresor, [Kw]

η_t = Rendimiento transmisión motor-compresor.

η_{el} = Rendimiento eléctrico.

Para los datos: $N_{ef} = 89.36$ Kw; $\eta_t = 0.85$ $\eta_{el} = 0.90$ de figura 5.16, reemplazando en 5.26 se obtiene:

$$N_{el} = \frac{89,36}{0,85 * 0,90} = 116,81 \text{ Kw (156,67HP)}$$

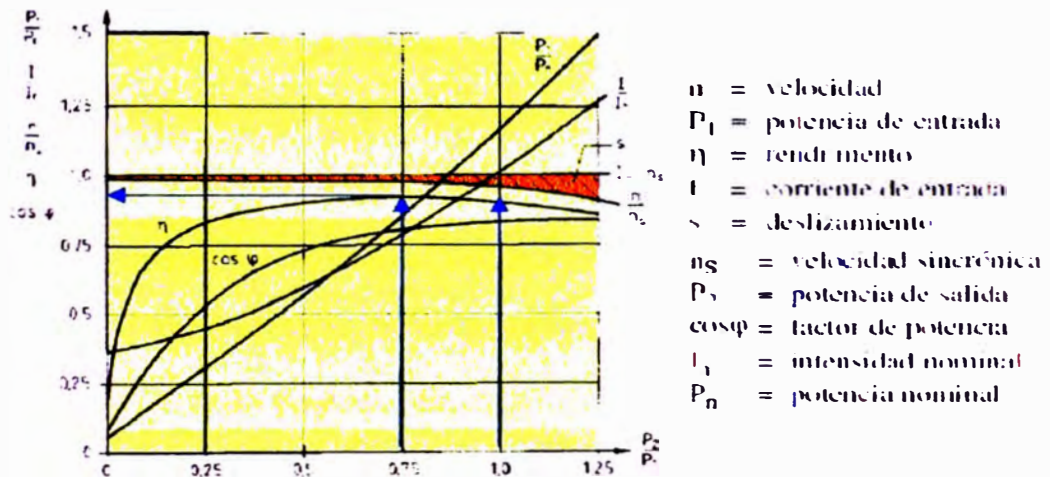


FIGURA 5.16 CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE INDUCCION - C

Dado que el rendimiento " η " y el factor de potencia ($\cos \varphi$) pueden tener un efecto importante sobre la eficacia económica de un motor, es muy importante saber cuáles son los valores de la carga parcial. Ambos valores determinan el rendimiento económico del funcionamiento.

En el régimen de carga parcial, los dos valores disminuyen. Además, el factor de potencia ($\cos \varphi$) de los motores de velocidad baja es inferior al de los motores de velocidad elevada. Por consiguiente, los motores de velocidad alta y dimensionamiento

preciso no sólo resultan más baratos al comprarlos, sino también al utilizarlos.

En resumen las especificaciones técnicas de los dos motores eléctricos trifásicos se detallan en la tabla 5.5

TABLA 5.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL MOTOR ELECTRICO

TENSION (Voltios)	POTENCIA (kW)	FREC.(Hz)	VELOCIDAD (RPM)	NIVEL DE PROTECCION	AISLAMIENTO
440	116,81	60	1200	IP55(IEC-34)	Clase F(IEC-34.1)

5.11.5 CALCULO DE LA TRANSMISION MECANICA

La transmisión más adecuada por la velocidad de los compresores alternativos se evaluarán mediante el sistema de poleas y fajas trapezoidales, para lo cual usaremos como libro de consulta el Manual de Diseño de Elementos de Maquinas por el Ing. Juan Hori.

Calculo de la potencia de diseño: $P_{dis} = P_{motor} \times f.s. = 156,67 \times 1,3 = 203,67$ HP; en el diagrama ver apéndice 5.14, con RPM=1160 y $P_{dis} = 203,67$ HP, utilizaremos fajas de sección 5V.

Calculo de la relación de transmisión: $r_t = 1160/500 = 2.32$; eligiendo el d_{minimo} de la polea $d = 16,0$ "; entonces $D = 37,2$ ", de tablas se elige el diámetro estándar $D = 37,5$ "; el diámetro de paso $D_p = 37,5 - 0,1 = 37,4$ "; cálculo del $d = 37,4/2,32 = 16,12$; de tablas el diámetro de polea estándar $16,$ "; por lo que el $d_p = 16 - 0,1 = 15,9$ "; recalcu de la nueva relación de transmisión $r = 37,40/15,90 = 2,352$

Calculo de la velocidad de la faja $v = \pi d x n / 12 = \pi \times 16 \times 1160 / 12 = 4.859$ ppm < 6500, por lo tanto se cumple.

Elección de la distancia entre centros $c=46"$; la longitud aproximada de la faja $L_a=2c+1,65x (D+d)= 180,275"$; de tablas elegimos $L_r= 180"$; $K_l= 1,06$, recalculando la distancia entre centros: $c= 46,74"$ es la verdadera longitud de centro a centro. El factor de corrección por ángulo de contacto: $\alpha = 151^\circ$ $K_\alpha = 0,93$ el detalle de la faja se anexa en el apéndice 5.15

La sección de potencia que puede transmitir $HP/faja= 34,80$; y $HP_{adicional}=0,1084 \times 1160/100= 1,26$; luego la potencia que puede transmitir la faja: $36,06$ HP; la potencia real $HP_r= 36,06 \times 0,93 \times 1,06= 35,55$ HP; El numero de fajas para la transmisión: $203,67/35,55= 5,73$

En conclusión, usar 6 fajas 5V1800 con poleas de diámetros mayor y menor de $16"$ y $37.5"$ respectivamente, y se efectuara el montaje tal como de visualiza en la figura 5.17

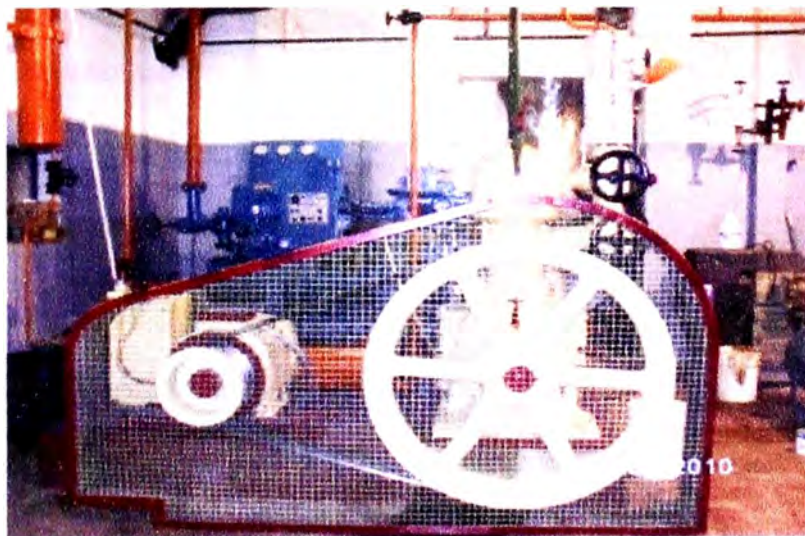


FIGURA 5.17 SISTEMA DE TRANSMISION MOTOR-COMPRESOR

5.11.6 CALCULO Y SELECCIÓN DEL CONDENSADOR NH₃

La misión del condensador es la de licuar los vapores de amoniaco, a alta presión, procedentes del compresor alternativo. Esto

se realizará poniendo en contacto el vapor con agua fría, la cesión de calor se realiza en tres fases:

- a) Primera fase de transferencia de calor sensible: Enfriamiento de los vapores desde la temperatura del vapor sobrecalentado hasta la temperatura de condensación. Esta fase es muy rápida debido a la gran diferencia de temperatura que existe y se efectúa generalmente en la primera cuarta parte del condensador.
- b) Fase de transferencia de calor latente: Esta cesión de calor se produce a temperatura constante, es muy lenta y necesita de las dos cuartas partes siguientes del condensador. Para que este intercambio de calor se realice es necesario un salto de temperaturas importantes, entre el fluido y el medio de condensación.
- c) Segunda fase de transferencia de calor sensible: Enfriamiento del líquido desde su temperatura de condensación hasta la temperatura deseada. Este enfriamiento se realiza en la última cuarta parte del condensador.

El calor total a eliminar será la suma de la carga térmica evacuada del tanque de almacenamiento se calcula mediante la expresión:

$$Q_a = m_3(h_4 - h_5) \quad (5.27)$$

Reemplazando valores de tabla 5.3 en la ecuación 5.27 obtenemos:

$$Q_a = 711,7 * (707,9 - 159,9) = 389.940,43 \text{ Btu / hr}$$

La diferencia media logarítmica de temperatura puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (5.28)$$

Donde:

LMTD = Diferencia media logarítmica de temperatura, [°F]

T_1 = Temperatura de entrada al condensador, [°F]

T_2 = Temperatura de salida del condensador, [°F]

t_1 = Temperatura del agua a la entrada del condensador, [°F]

t_2 = Temperatura del agua a la salida del condensador, [°F]

Para los datos: $T_1 = 212^\circ\text{F}$; $T_2 = 104^\circ\text{F}$; $t_1 = 84,2^\circ\text{F}$; $t_2 = 95^\circ\text{F}$ y sustituyendo valores en 5.28 obtenemos:

$$LMTD = \frac{(212 - 95) - (104 - 84,2)}{\ln\left(\frac{212 - 95}{104 - 84,2}\right)} = 54,71^\circ\text{F}$$

De tablas ver apéndice; con $P = 0,084$ y $R = 10$; $F_c = 0,80$, por lo que la diferencia media logarítmica de temperatura $LMTD_c = 43,76^\circ\text{F}$

La sección de la tubería en este caso utilizaremos: DE=3/4"-BWG13.

El gasto o consumo de agua de enfriamiento que pasa a través del condensador que circulara por la carcasa se usa la formula:

$$m_a = Q_a / c_p (t_2 - t_1) \quad (5.29)$$

Siendo:

m_a = Flujo másico de agua, [lb/hr]

Q_a = Calor que debe ser eliminado en el condensador, [Btu/hr]

c_p = Calor específico a presión constante del agua, [Btu/lb-°F]

Para los datos: $Q_a=389.940,43$ Btu/hr ; $c_p=1,0$ Btu/lb-°F ; $t_2-t_1=10,8^\circ\text{F}$ y

reemplazando en 5.29, obtenemos: $m_a = 36.105,59$ lb/h

Para este tipo de condensador el coeficiente global de transferencia de calor U_G toma valores entre: (140-165) Btu/hr-pie²-°F.

El valor que usaremos $U_G=140$ Btu/hr-pie²-°F; considerando un factor de obstrucción para intercambiadores =0,001, de la figura 5.18; el coeficiente global de transferencia de calor corregido $U_{GC}=100$ Btu/hr-pie²-°F. Teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q_a}{U_{GC} * LMTD_c} \quad (5.30)$$

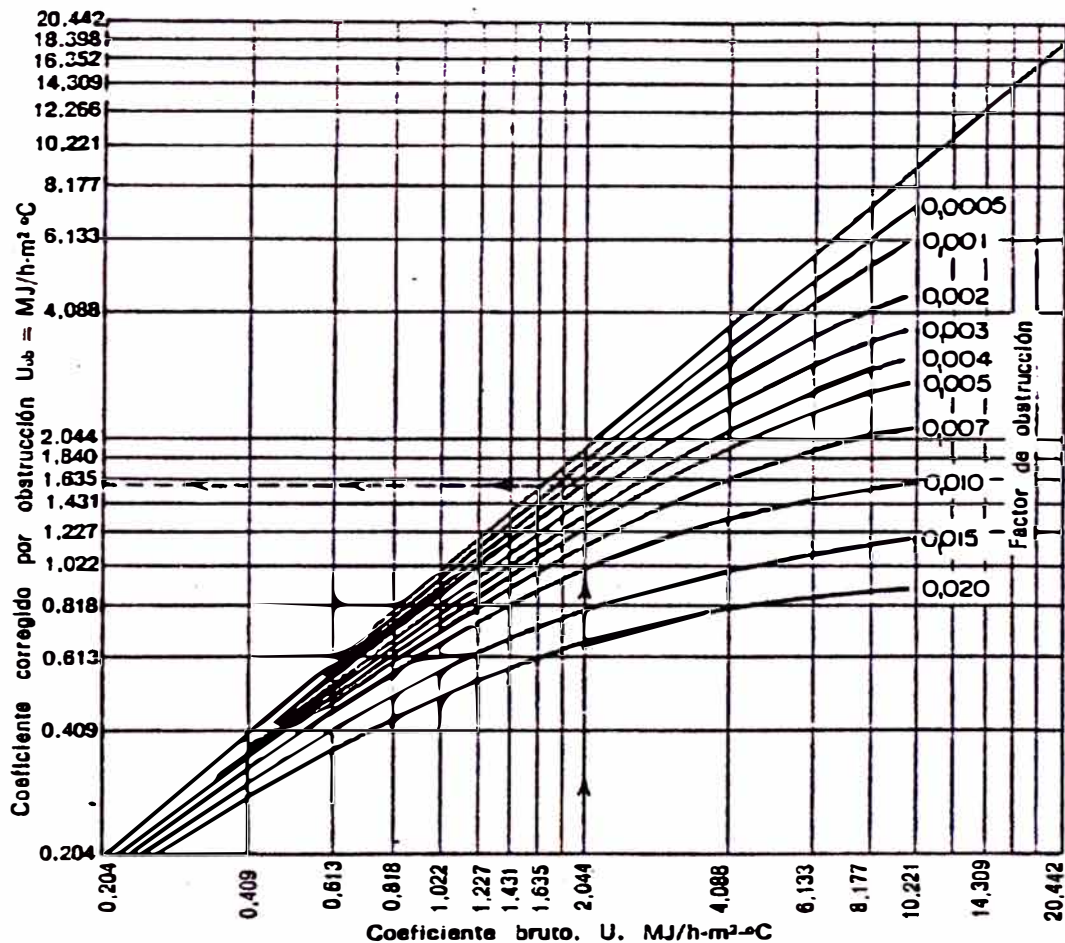


FIGURA 5.18 EFECTO DE LA OBSTRUCCION SOBRE EL COEFICIENTE GLOBAL

Para los datos del párrafo anterior y reemplazando valores en 5.30 tenemos un área $A = 89,11 \text{ pies}^2$. El número de tuberías de $\frac{3}{4}$ " DE, de 8 pies la longitud en arreglo triangular; este intercambiador tiene: $n = 89,11 \times 12 / 3.1416 \times 0,75 \times 8 = 56,73$ tubos; aplicando un margen del 10%, por lo tanto el número de tubos quedara definido en 62 tubos.

En conclusión, los condensadores serán fabricados según los códigos; TEMA y ASME, e instalados horizontalmente y conectados en paralelo, enfriado por agua dulce, ver figura 5.19, y las características técnicas principales de los condensadores se detallan a continuación:

- Diámetro exterior del tubo : 0,75 pulg.
- Diámetro interior del tubo : 0,56 pulg.
- Longitud entre placas : 8 pies
- Separación entre centros (pitch) : 0,94 pulg
- Número total de tubos : 62
- Diámetro del haz tubular : 10 pulg.
- Diámetro interior de coraza : 24 pulg.
- Material de los tubos : ASTM A179
- Material de coraza : ASTM A515-Gr 60
- Temperatura de diseño : 300°F
- Presión de diseño coraza : 265 lb/pulg²

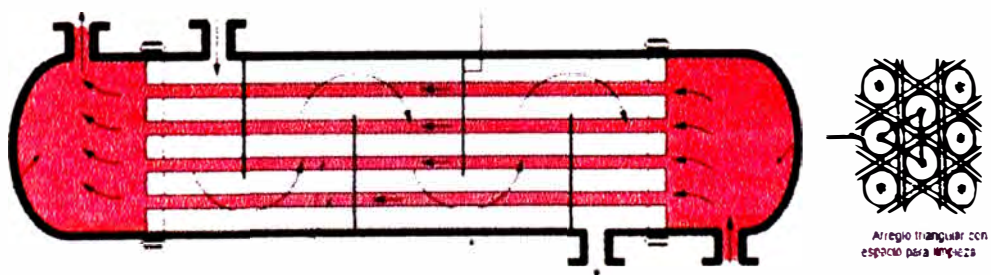


FIGURA 5.19 CONDENSADOR DE CORAZA-TUBOS DE VARIOS PASOS: ARREGLO DE TUBOS

5.11.7 SELECCIÓN DEL TANQUE ATEMPERADOR INTERMEDIO

En cada tanque atemperador intermedio llevara un serpentín preenfriador vertical intercalado entre la 1^{ra} y 2^{da} etapa de compresión. El gas de impulsión de 1^{ra} etapa se pre enfría mientras que el condensador se subenfria a través de un serpentín colocado en el interior del tanque. El tanque atemperador intermedio se selecciona tomando como parámetros; la capacidad de licuación de 32 TON, temperatura de almacenamiento del amoniaco -28°F y 2 etapas como número de etapas del compresor. Para los valores indicados seleccionamos los tanques estándar diseñados de acuerdo al código ASME y de tablas apéndice 5.16; D= 1pie-4pulg y H= 5pies-6pulg. Las especificaciones de los tanques atemperadores intermedios son:

- Diámetro : 1 pies-4 pulg.
- Altura : 5 pies-6 pulg.
- Material : ASTM A516 Gr60
- Presión de diseño : 250 Psia
- Temperatura de diseño : -30°F/240°F
- Instalación : Vertical

5.11.8 SELECCIÓN DE LOS RECIPIENTES SEPARADORES G-L

Los separadores de gas-líquido de amoniaco, son cámaras que van instaladas en la aspiración de los compresores de la primera etapa. Estos separadores deberán estar diseñados con un área igual a 1,7 veces el diámetro crítico como mínimo; el diámetro se calcula mediante las ecuaciones:

$$v = 0,14 \sqrt{\frac{\delta_l}{\rho_g} - 1} \quad (5.31)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * V_a}{\pi * v}} \quad (5.32)$$

Donde

v = Velocidad del gas, [pies/seg]

δ_l = Densidad del liquido, [lb/pie³]

δ_g = Densidad del gas, [lb/pie³]

V_a = Volumen de gas succión, [pies³/seg]

D_c = Diámetro crítico del separador, [pies]

Para los datos: $\delta_l = 42,54 \text{ lb/pie}^3$; $\delta_g = 0.2032 \text{ lb/pie}^3$; V_a = 0,97 pies³/seg;
reemplazando en 5.31 y 5.32 obtenemos el diámetro:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * 0,97}{3,1416 * 2,02}} = 0,78 \text{ pies}$$

Por lo que el diámetro mínimo del separador resulta 0,78x1,7= 1,33 pies; optándose como diámetro final de D= 1,5 pies, H=3,0 pies, material ASTM A516 Gr60; Presión de diseño= 150 Psia, Temperatura de diseño= -

30°F/122°F,

Instalación

posición: vertical.

En conclusión, el separador de succión de cada compresor

provista de

sistema de

inyección de líquido e inyección de gases calientes, ver figura 5.20.

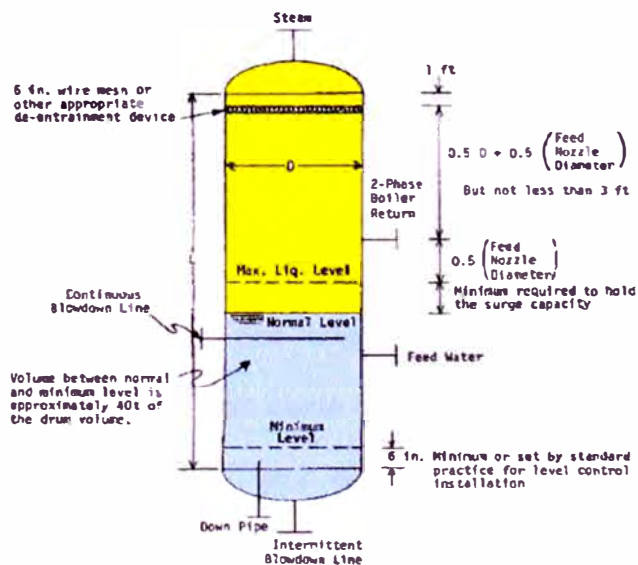


FIGURA 5.20 TANQUE SEPARADOR DE SUCCION BIFASICO

CAPITULO VI

DISEÑO DEL SISTEMA DE RECEPCION

El diseño del sistema de recepción, consiste en diseñar y/o seleccionar los equipos y maquinarias que conforman los subsistemas tales como; el bombeo del amoniaco liquido desde los buques tanques, los brazos articulados de descarga marítima, la conexión rápida al ducto de transferencia de 10" en el cabezo del muelle N° 7, y la seguridad (flare).

Según la OMI (Organización marítima Internacional), las operaciones de atraque y amarre es proporcionar a los buques unas condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias para las actividades de carga, descarga de mercancías que permitan su transferencia entre buques o entre éstos y tierra u otros medios de transporte.

6.1 CONSIDERACIONES

El muelle N° 7 es de tipo espigón y consta de una plataforma de concreto armado apoyada sobre pilotes del mismo material que se encuentran hincados sobre el fondo marino y en parte labrada.

Actualmente es el de mayor tamaño, por el lado oeste tiene una longitud de 391,12 m y un ancho de 183,25 m lo que representa un área de 70.995,32 m². Este muelle cuenta con cinco amarraderos, siendo su

capacidad de recepción 25.000 DWT por cada uno, disponiendo de un calado de 35 pies (10,67 m).

La cantidad de amoniaco líquido importado a recepcionar anualmente en el terminal marítimo es de 30.600 TM, los pedidos de 7.500 TM se efectuarán trimestralmente, transportados y almacenados en el tanque.

Los servicios de bombeo de la carga de los buques tanques disponen de manifolds con conexiones de salida cuyos diámetros varían de 4" a 10".

6.2. SELECCIÓN DEL BRAZO DE DESCARGA DE AMONIACO

Los brazos de descarga marinos para la descarga de amoniaco líquido, son elementos que absorben los movimientos del barco, los cambios de las mareas, las corrientes, el viento, las válvulas de cierre rápido instaladas en el extremo de los brazos que son cerradas por bloqueo de fin de carrera con acoplamientos de acción instantánea que se desconectan cuando la nave se aleja del radio de acción del brazo, ver figura 6.1 y apéndice 6.1

Un brazo de carga y/o descarga marino proporciona una mejora significativa en comparación con una manguera flexible en el transvase de líquidos entre el buque tanque y el muelle. Este permite una operación más fácil y más ergonómica, ofrece una vida útil más prolongada y permite desconexiones de emergencia sin pérdida de producto y sin contaminación.

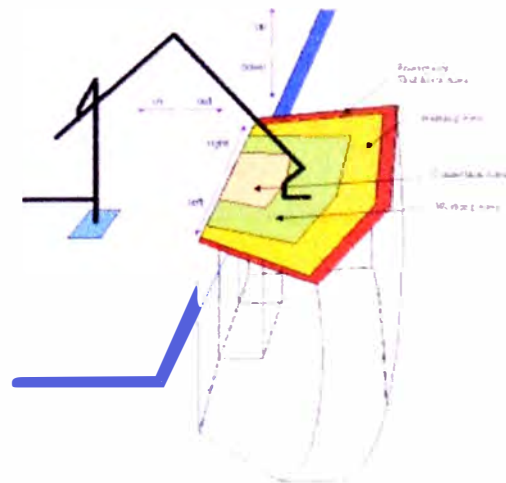


FIGURA 6.1 AREAS DE OPERACIONES DE UN BRAZO DE DESCARGA DE AMONIACO

Estos sistemas de carga son fabricados con los últimos requerimientos de OCIMF (Oil Company International Marine Forum) y de las mayores compañías de petróleo. El sistema de balance de contrapeso sencillo, facilita la maniobra de los brazos tanto manualmente como hidráulicamente de forma segura y fácil, ahorrando tiempo y mano de obra.

Sin embargo, el brazo de carga y fittings que existe en el mercado se ofertan con diámetros desde 4" a 16", tal como se observa en la figura 6.2

Los dos brazos de descarga seleccionados, cuyas dimensiones principales; se adjunta en el apéndice 6.1, trabajara a la temperatura de -33°C será de 10" de diámetro, longitud total del brazo 30 m y el flujo máximo de amoniaco liquido

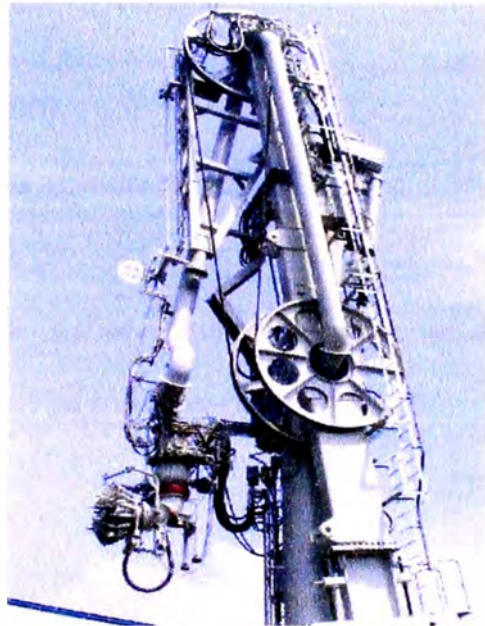


FIGURA 6.2 BRAZO DE DESCARGA

para el brazo de descarga $1.700 \text{ m}^3/\text{hr}$, presión máxima de diseño 40 Kg/cm^2 .

6.2.1 CALCULO DE PÉRDIDAS LINEALES

El cálculo de la pérdida lineal de carga en el brazo marino de descarga se empleará mediante la ecuación:

$$h_{pl} = f_d * \frac{L}{D} * \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad 6.1$$

Siendo:

h_{pl} = Pérdida de carga lineal, [m]

$f_d = 0,015$; $L = 30 \text{ m}$; $D = 0,260 \text{ m}$; $V = 1,823 \text{ m/seg}$; $g = 9,81 \text{ m/seg}^2$, reemplazando valores en la ecuación 6.1 obtenemos:

$$h_{p_i} = 0,015 * \frac{30}{0,26} * \left(\frac{1,823^2}{2 * 9,81} \right) = 0,29m$$

6.2.2 CALCULO DE PÉRDIDAS SINGULARES

El brazo de carga marino simétrico seleccionado, tal como se observa en la figura 6.2, está conformado con los siguientes accesorios:

- (8) Codos de radio corto 90° ($\xi_1=0,90$)
- (1) Válvula de compuerta totalmente abierta ($\xi_2=0,20$)
- (1) Conexión rápida ($\xi_3= 0,15$)

La ecuación conocida para calcular las pérdidas singulares en el brazo marino, en las condiciones operativas más desfavorables es:

$$h_{ps} = \sum \xi_i * \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad 6.2$$

Siendo:

h_{ps} = Perdida de carga singular [m]

$\sum \xi_i = 7,2+0,20+0,15 = 7,55$; $v= 1,823$ m/seg; $g= 9,81$ m/seg²

Reemplazando valores en 6.2 obtenemos la perdida singular $h_{ps} = 1,18$ m, la pérdida total de presión en el brazo de descarga seleccionado equivalente en columna de producto es de $0.29m + 1,18m = 1,47m$.

6.3 SELECCIÓN DE LAS BOMBAS DEL BUQUE TANQUE

Las bombas del buque tanque, deben ser capaces de impulsar a través de la tubería de transferencia, el amoniaco liquido desde el muelle N°7 hasta el tanque de almacenamiento ubicado en la planta de Nitratos, lo que en realidad estamos haciendo en esta sección, es comprobar que las bombas

Por lo tanto se puede concluir que no habrá problemas en las bombas del buque será capaz de impulsar el amoniaco liquido a 50, 100, 150 y 350 m³/hr mediante la tubería de transporte a la presión optima de 9,00 Kg/cm².

6.4 SISTEMA DE SEGURIDAD "FLARE"

El sistema de seguridad en los terminales de amoniaco es muy importante tener en cuenta en situaciones de emergencia, como un fallo energético en la planta que puede generar un desastre, para ello debe contarse por lo menos con una la antorcha o flare, evitando la interrupción del proceso de recepción, transporte y almacenamiento de amoniaco.

El flare, en principio, está diseñada para funcionar las 24 horas del día, y estará siempre disponible para quemar los gases de alivio de la instalación industrial, en una parada u operación normal. Por razones de seguridad, se utiliza una chimenea para elevar el flare y debe ser localizada de tal manera que no presente riesgos para las instalaciones circundantes ni al personal.

En la Figura 6.4 se muestran ejemplos de éstos tres tipos constructivos de flare elevadas para chimeneas; auto-sostenidas, sostenidas por torres y sostenidas por retenidas, respectivamente.

Las antorchas auto-sostenidas son generalmente utilizadas para torres de antorcha de baja altura (30-100 pies), pero pueden ser

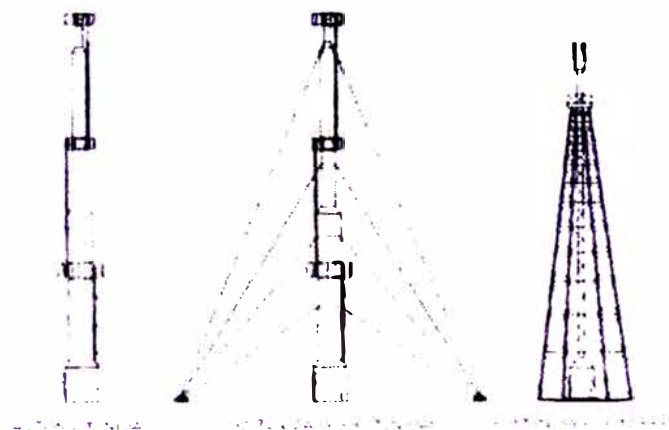


FIGURA 6.4 TIPOS DE ANTORCHAS ELEVADAS

diseñadas hasta para 250 pies, las sostenidas por retenidas son diseñadas

para alturas mayores a 300 pies, mientras que las de torres son diseñadas para alturas mayores a 200 pies.

El sistema de recepción de amoniaco debe contar un sistema de seguridad mínimos, para evitar riesgos de contaminación ambiental durante el proceso de descarga, por lo que se optara en diseñar una antorcha elevada sostenida por retenidas.

6.4.1 CONSIDERACIONES

Las antorchas endotérmicas (asistidas con gas combustible) requieren un aporte energético en forma de calor cuando están quemando flujos de residuos con bajo poder calorífico como es el amoniaco. La antorcha estaría en condiciones de quemar todo el gas de amoniaco en los siguientes casos:

Durante la descarga normal del buque, el gas generado por radiación del calor en la tubería de transporte es de 337,85 kg/hr; el gas del tanque de almacenamiento es de 134,14 kg/hr, y el flujo máximo es de 2.716,68 kg/hr, situación crítica en la que será posible efectuar la descarga del buque aún en caso de falla de las energías.

En caso de falla del suministro de energía eléctrica y/o de agua refrigerante, lo que causaría una paralización de la planta de licuación, el gas de amoniaco excedente proveniente del tanque deberá ser quemado en la antorcha.

La antorcha colecciona gas de amoniaco de todas las válvulas de seguridad de los equipos, este gas es conducido por la tubería hasta el pulmón, que actúa como separador de gotas, el flare contará en la parte superior con 2 quemadores, que alimentan gas propano,

este gas combustible, servirá para el proceso de ignición e inicio de la combustión, que será controlado desde el tablero de control, el flare es encendida a mano cuando se presenta una falla en el automático, por cuanto siempre queda un tiempo suficiente, ver figura 6.5

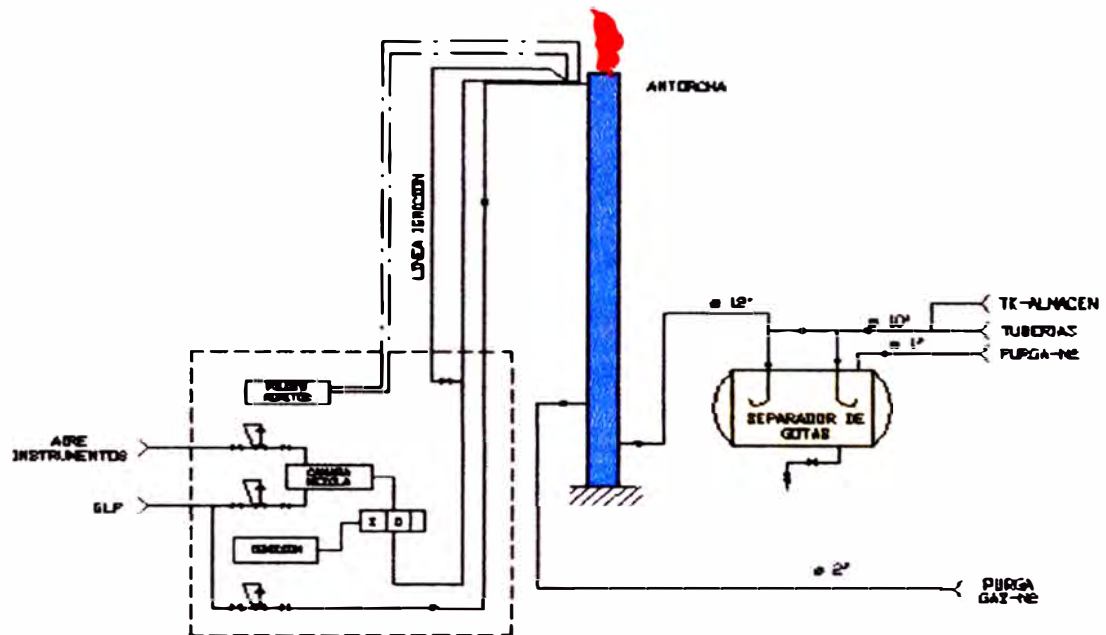
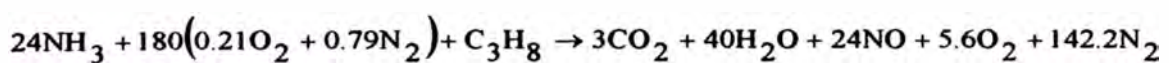


FIGURA 6.5 ANTORCHA PILOTO/PANEL DE GENERACION DE IGNICION

La capacidad de diseño del flare de gas de amoniaco a la antorcha será de 3.000 kg/hr, a la presión 100kPa.

6.4.2 CÁLCULO DEL CALOR LIBERADO EN EL "FLARE"

Para la combustión o el quemado de los gases de amoniaco se empleara como combustible auxiliar el propano (C_3H_8), asistido por aire o vapor, la combustión del amoniaco se puede describir resumidamente por la siguiente serie de ecuaciones de reacción:



En la reacción balanceada; 408 gr de NH_3 , requiere 44 gr de C_3H_8 , por lo que para quemar 1.000 Kg/hr de NH_3 ; 107,8 Kg/hr de C_3H_8 , y 5.191,2 Kg/hr de aire, ver nomograma apéndice 6.3.

Para calcular el calor liberado en el flare se usara la expresión:

$$Q_{lib} = m * PCI \quad 6.3$$

Siendo:

Q_{lib} = Calor liberado en la combustion, [Kcal]

m = Flujo másico de gases, [Kg/hr]

PCI = Poder calorífico inferior del combustible, [Kcal/Kg]

Para $m=18.897$ Kg/hr; $PCI=11.082$ Kcal/kg, y reemplazando datos en la ecuación 6.3 se tiene :

$$Q_{lib} = 18.897 * 11.082 = 209,42 \times 10^6 \text{ Kcal / hr}$$

6.4.3 CÁLCULO DEL DIAMETRO DE LA ANTORCHA

Según la norma API RP 521, que cubre el diseño de antorchas subsónicas, el diámetro del flare se basa en un criterio de velocidades versus perdida de carga. Es admisible una velocidad de hasta 0,5 Mach, para caso pico o transitorio, y 0,2 Mach para operación normal y frecuente, esta limitación en la velocidad del gas en la descarga del flare, es con el fin de garantizar el funcionamiento estable evitando generar ruidos y vibraciones que puedan originar el fallo del equipo.

Para determinar el diámetro de la antorcha se empleara la expresión:

$$d = \sqrt{\frac{3,23 \times 10^{-5}}{N^{\circ} Mach} * \left(\frac{m}{P}\right) * \left(\frac{z * T}{\gamma * M_w}\right)} \quad 6.4$$

Donde:

d = Diámetro de la antorcha, [m]

N° Mach = Numero de Mach, [Adimensional]

m = Flujo másico de gases, [Kg/hr]

P = Presión de alimentación de gas a antorcha, [kPa]

z = Factor de compresibilidad

T = Temperatura del gas de antorcha, [°K]

γ = Coeficiente isentropico ($C_p/C_v = 1,4$)

M_w = Peso molecular del gas, [g/mol]

Para un N° de Mach=0,2; $m=18.897$ Kg/hr; $P=100$ kPa; $z=1$; $T=293^\circ\text{K}$; $M_w=44$ y reemplazando en la ecuación 6.4 se obtiene el diámetro:

$$d = \sqrt{\frac{3,23 \times 10^{-5}}{0,2} * \left(\frac{18.897}{100}\right) * \left(\frac{1 * 293}{1,4 * 44}\right)} = 0,38m(15")$$

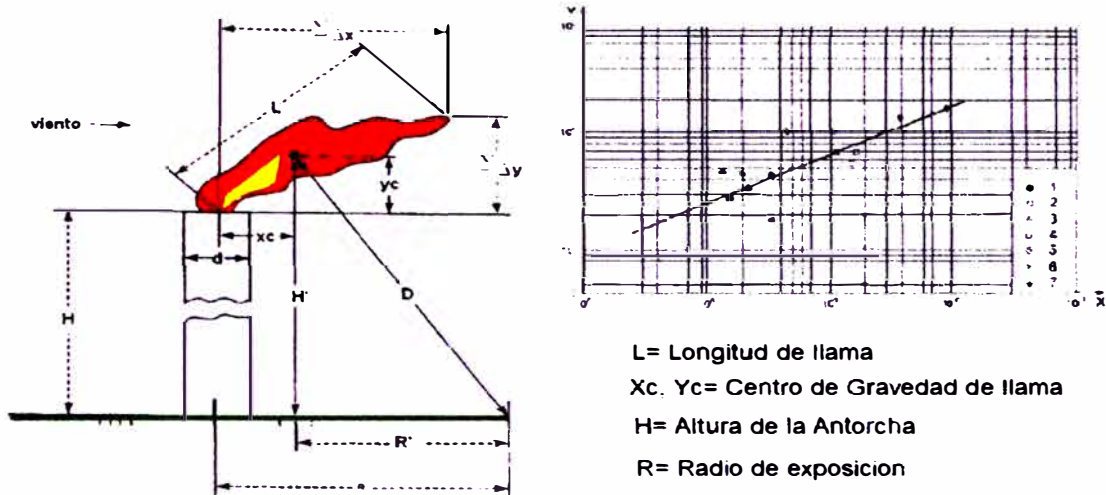
Por lo que el fuste de la antorcha se diseñara con un diámetro nominal de 16 pulg, por razones de carga en el sistema de gases.

La antorcha se localizará en las proximidades del tanque de almacenamiento; el área cubierta dentro de 20 metros de radio por la chimenea estará señalizado con lámparas luminosas, constituyéndose en un área restringida, por la alta radiación hacia los equipos y el personal de operaciones.

6.4.4 CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA ANTORCHA

Para calcular la altura de la antorcha, se considera el área afectada por la llamarada se limita a una superficie de 230 a 460 m² (API Std 521 Ed 2007 Secc 7.1.2). A éste nivel de intensidad de calor, los trabajadores pueden permanecer en el área de la antorcha solamente por un tiempo de exposición de 8 a 10 segundos.

Las referencias geométricas para el dimensionamiento de la antorcha se muestran en la figura 6.6



$$D = \sqrt{\frac{1 * 0,20 * 209,42 * 10^6}{4 * 3,1416 * 1.491,88}} = 47,27 m$$

En la figura 6.6, el triangulo formado por $R'=20$ m ; $D=47,27$ m, la altura H' se obtiene mediante el calculo: $H' = (47,27^2 - 20^2)^{1/2} = 42,83$ m, la longitud mínima de la llama $L_{\min} = 8$ m.

En conclusión, por razones de seguridad y la longitud mínima de la llama, la antorcha tendrá una altura total de $H = 50$ m. (164 pies).

6.4.5 CALCULO DEL DIÁMETRO DEL QUEMADOR

Los diámetros de los quemadores en antorchas elevadas se diseñan normalmente para proporcionar velocidades a rendimiento máximo de aproximadamente 50% de la velocidad sónica del gas.

Para determinar el diámetro del quemador se empleara la ecuación 6.4 del acápite 6.3.3 para un flujo másico de propano $m = 323,40$ Kg/hr; N° de Mach = 0,5; $p = 150$ kPa y reemplazando valores se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{3,23 * 10^{-5}}{0,5} * \left(\frac{323,40}{150}\right) * \left(\frac{1 * 293}{1,4 * 44}\right)} = 0,025 m (1,0 \text{ pulg})$$

Se considerara en el diseño el diámetro del quemador de 1,0 pulg. Ver figura 6.7 boquillas con orificios de salida diversos.

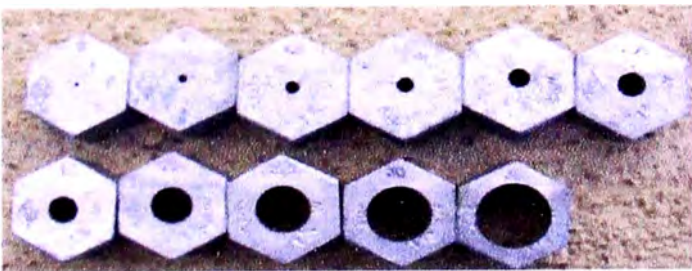
	Diámetro del orificio (mm)	Diámetro del orificio (mm)
	2	15
	4	20
	6.5	25.5
	8	30
	10	35
	12.75	

FIGURA 6.7 BOQUILLAS CON ORIFICIOS DE SALIDA DE DIAMETROS DIVERSOS

Los quemadores pilotos son encendidos por un sistema de fuente de encendido, estos sistemas automáticos son generalmente activados por un dispositivo de detección de flama utilizando un termopar, un sensor infrarrojo.

El número de pilotos requerido depende del número de quemadores requeridos para asegurar una ignición positiva del gas a quemar, del diseño de los pilotos y del modo de operación. En conclusión el número quemadores y pilotos a considerar $n=2$.

6.4.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ANTORCHA

La antorcha o el flare según los cálculos efectuados en los párrafos anteriores, quedaran definidas las especificaciones técnicas principales que se detallan a continuación:

- Capacidad de la antorcha : 3.000 kg/hr (NH_3)
- Altura de la antorcha : 50 m (164 pies)
- Diámetro de la antorcha : 0,40m (16 pulg.)
- Combustible : Propano
- Consumo en servicio : 323,40 kg/hr
- Presión de alimentación de C_3H_8 : 1,5 kg/cm²
- Diámetro del quemador : 1,0 pulg
- Número de quemadores : 2
- Número de pilotos : 2

Los planos de diseño de la antorcha y el quemador de amoniaco, asistido con gas propano se encuentra dispuestos en los planos N° FL-011 y N° QU-012 respectivamente.

CAPITULO VII

DISPOSICION DE LOS EQUIPOS

7.1 CONSIDERACIONES

La mejor disposición de los equipos y maquinarias a implementarse mediante el proyecto es buscar conseguir ahorros de inversión, de operación y de mantenimiento, así como en obras civiles y en equipos de transporte.

El diseño físico de distribución ó la ordenación física de los elementos industriales debe ser adoptada teniendo en cuenta los problemas especiales como las características del terreno, las cimentaciones de los diferentes equipos y maquinarias, una mala cimentación pueden ocasionar asentamientos en los equipos y problemas graves, de igual manera las distancias típicas entre las distintas unidades como los tanques de almacenamiento, compresores, bombas, condensadores, intercambiadores de calor, motores eléctricos, flare, la sala de control, los servicios de energía y electricidad, así como las conexiones a la red de amoniaco gaseoso.

La localización de los equipos tiene una influencia vital en la eficiencia de las plantas petroquímicas, por esta razones se ha seleccionado la zona noroeste de la planta actual, desde el punto de vista geográfico existe áreas de trabajo para las futuras expansiones y se encuentra adyacentes a las plantas de producción de; solución amoniacal, acido nítrico diluido, concentrado, nitrato y sulfato de amonio, la planta de agua de enfriamiento.

7.2 CARACTERISTICAS DEL SUELO

El suelo del lugar permanecen en condición de sumergidos, ya que el nivel de la napa freática se encuentra ubicada a escasos 2 msnm, siendo su relieve sensiblemente horizontal con suave pendiente hacia la línea de la playa, las demás características del suelo se encuentra contenidos en los informes técnicos efectuado por los expertos.

Para el dimensionamiento de los elementos de cimentación se podrá asignar al terreno **“una presión admisible” de 2,00 Kg/cm².**

7.3 CIMENTACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

7.3.1 CONSIDERACIONES

El cimientto del tanque de almacenamiento de amoniaco va a estar sometido a esfuerzos estáticos y dinámicos más o menos considerables, estos esfuerzos a los que está sometido el tanque pueden originar rajaduras peligrosas en los cimientos corrientes, pero se evita usando un refuerzo apropiado.

Si el cimientto soporta solamente esfuerzos estáticos se puede construir de concreto simple, el tanque se asegura al cimientto por medio de pernos de anclaje que serán tanto más resistentes cuanto más necesaria sea la unión entre la base del tanque y del cimientto.

En los últimos tiempos las dimensiones de los tanques de almacenamiento se ha ido incrementando, estos tanques se han venido montando sobre terrenos de características desiguales, lo cual ha originado asentamientos desiguales como: el asentamiento uniforme, el asentamiento gradual de centro a borde, y asentamiento desigual a lo largo de la periferia.

7.3.2 TIPOS DE CIMENTACIÓN

En el diseño de la cimentación de los tanques de almacenamiento existen tres tipos; a) anillo de concreto, b) cimentación de pilotes, y c) cimentación de pedestales.

El lugar en donde se ubicará el tanque, el suelo presenta una baja resistencia o capacidad portante, se optará por el diseño de cimentación tipo anillo de concreto, según el código STD API 650 y cuya configuración se muestra en la figura 7.1

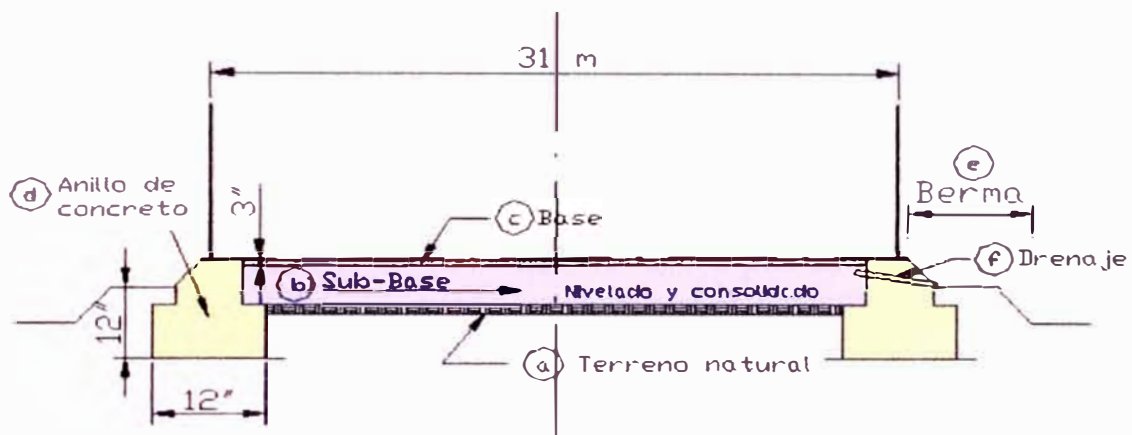


FIGURA 7.1 CIMENTACION DE TANQUE TIPO ANILLO DE CONCRETO REFORZADO

- a. Terreno natural, excavado a la cota que sea capaz de soportar la presión de contacto debido al peso del tanque y su contenido, sin sufrir asentamientos, nivelado y consolidado superficialmente.
- b. Sub-base, relleno de material seleccionado y compactado.
- c. Base, arena fina, piedra partida o agregado fino.
- d. Anillo de concreto armado.
- e. Berma, alrededor del anillo de concreto conformado con piedra partida y agregados gruesos.

- f. Drenes en el anillo de concreto, para mantener seca la base y sub-base.

7.3.3 DISEÑO BASICO DEL ANILLO BASE DE CONCRETO

El anillo de concreto reforzado con varillas de acero corrugado, será construido cuidando la horizontalidad de su base y coronación se aceptara como mínimo una diferencia de nivel de 3 mm entre dos puntos 9 m, con un máximo de 6 mm entre los dos puntos con mayor desnivel. El anillo y la base compactada interior deben soportar con seguridad el peso del tanque y su contenido lleno de agua hasta el máximo nivel, teniendo en cuenta la resistencia del suelo donde está ubicado el tanque de almacenamiento.

7.3.3.1 CALCULO DE LAS DIMENSIONES ANILLO BASE

a) ANCHO DEL ANILLO:

El anillo de concreto debe tener un ancho tal, que la presión debajo del tanque sea igual a la del fondo, tal como se indica en la figura 7.2

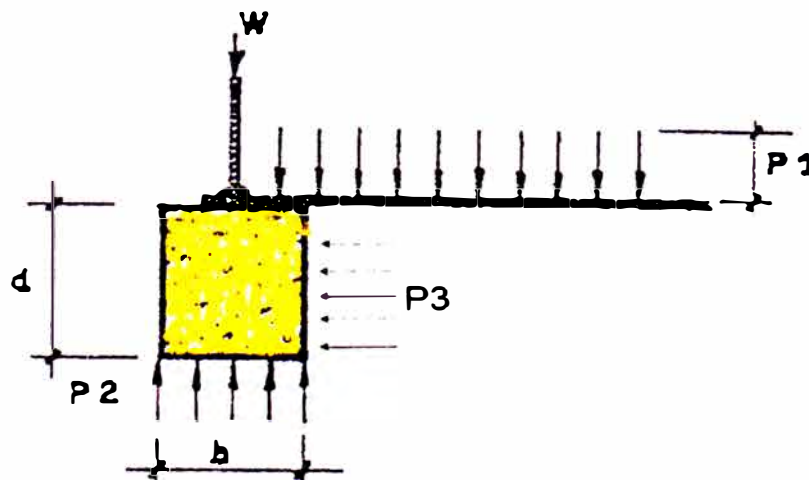


FIGURA 7.2 CARGAS EJERCIDAS SOBRE EL ANILLO

Para calcular la presión debajo del anillo de concreto se empleara la siguiente expresión:

$$p_2 = \frac{(W + p_1 * b / 2 + b * d * \gamma_c)}{b} \quad (7.1)$$

Donde:

P_2 = Presión debajo del anillo de concreto, [Kg/m²]

P_1 = Presión debido al fluido almacenando, [Kg/m²]

W = Carga circunferencial lineal, [Kg/m]

b = Ancho del anillo de concreto, [m]

d = Altura del anillo de concreto, [m]

γ_c = Densidad del concreto, [Kg/m³]

La presión debajo del tanque a la cota del fondo del anillo se empleara la ecuación siguiente:

$$p_2 = p_1 + b * \gamma_s \quad P_1 = \gamma_1 * H \quad (7.2)$$

Donde:

H = Altura de fluido almacenado, [m]

γ_s = Densidad del suelo, [Kg/m³]

γ_1 = Densidad del fluido almacenado, [Kg/m³]

Igualando las expresiones 7.1, 7.2 el valor de la altura en función del ancho del anillo de concreto se obtiene la siguiente expresión:

$$d = \frac{1}{(\gamma_c - \gamma_s)} \left[\frac{\gamma_1 * H}{2} + \frac{W}{b} \right] \quad (7.3)$$

En el capítulo V, se calculado el peso del tanque vacío, cuyo valor es 298.973,48 Kg. Entonces es valor de la carga circunferencial resulta:

$$W = \frac{298.973,48 \text{ Kg}}{\pi * 30.698 \text{ m}} = 3.099,98 \text{ Kg/m}$$

Calculo de la presión ejercida por el amoniaco líquido:

$$P_1 = \gamma_1 H = 681,57 \text{ Kg/m}^3 \times 21,0 \text{ m}$$

$$P_1 = 14.312,97 \text{ Kg/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.400,00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_s = 2.300,00 \text{ Kg/m}^3$$

Considerando el ancho del anillo de concreto como $b_{\min} = 12''$ (0.31 m).

Reemplazando los valores en 7.3 realizando iteraciones en excel se tiene el valor de la altura del anillo d:

$$d = \frac{1}{(2.400,00 - 2.300,00)} \left[\frac{14.312,97}{2} + \frac{3.099,98}{0,520} \right] = 0,900 \text{ m}$$

Las dimensiones de la cimentación del anillo de concreto reforzado tendrá las siguientes dimensiones:

$$b = 0,520 \text{ m}$$

$$d = 0,900 \text{ m}$$

Reemplazando valores en la ecuación 7.2 hallamos el valor de:

$$P_2 = 14.312,97 + 0,90 \times 2.300,00 = 16.382,97 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow P_2 = 1,64 \text{ Kg/cm}^2$$

Se cumple que la presión debajo del suelo es $1,64 \text{ Kg/cm}^2 \leq 2,00 \text{ Kg/cm}^2$, por lo tanto es CONFORME.

B) CÁLCULO DEL REFUERZO LONGITUDINAL DEL ANILLO

El refuerzo del anillo de cimentación se deberá desarrollar en forma continua a lo largo de toda circunferencia para resistir la presión horizontal será; $P_3 = c \cdot P_1$, donde "c" es el coeficiente de presión activa, y despreciando el coeficiente de presión pasiva, empuje lateral debido al terreno de la base y sub-base.

Esta presión interna creará una tensión circunferencial en el anillo, se calculara con las formulas siguientes:

$$T = c * P_1 * \frac{D}{2} * d \quad (7.4) \quad c = \text{tg}^2(45^\circ - f / 2) \quad (7.5)$$

Donde:

T = Tensión circunferencial en el anillo, [Kg]

c = Coeficiente de presión activa, adimensional

f = Angulo de reposo de la arena, [°]

P₁ = Presión ejercida por el fluido almacenado, [Kg/m²]

D = Diámetro interno del tanque, [m]

d = Altura del anillo, [m]

Calculo del coeficiente de presión activa (empuje):

Reemplazando valores en la expresión 7.5, f=29°, ángulo de reposo de la arena tenemos: $c = \text{tg}^2(45^\circ - 29^\circ / 2) = 0,35$

Para los datos conocidos de: c=0,35; D=30,699 m; d=0.90 m, y reemplazando en 7.4 hallamos el valor de la tensión circunferencial:

$$T = 0,34 * 14.312,97 * \frac{30,698}{2} * 0,900 = 76.225,07Kg$$

C) CALCULO DE LOS FIERROS DE LA CIMENTACION

Según las consideraciones indicadas por el API 650, requiere que se respeten ciertas consideraciones del código ACI 318, para lo cual la cantidad de fierros de calculara mediante la expresión:

$$A_s = \frac{T}{F_s} \quad (7.6)$$

Donde:

T = Fuerza circunferencial en el anillo, [Kg]

A_s = Área del acero sección de fierros según ACI, [cm²]

F_s = Esf. Máximo permisible del fierro corrugado, [Kg/cm²]

Reemplazando $F_s = 1.700 \text{ Kg/cm}^2$ en 7.6, encontramos el área seccional de los fierros corrugados:

$$A_s = \frac{76.225,07}{1.700,00} = 39,54 \text{ cm}^2$$

Usando como material fierros corrugados de $\varnothing 3/4"$ para concreto según la norma de ASTM 615 Gr 60, $A_s = 2,85 \text{ cm}^2$, el número de fierros a emplearse será:

$$n = \frac{39,54 \text{ cm}^2}{2,85 \text{ cm}^2} = 13,86 \text{ fierros} \quad n = 14 \varnothing 3/4"$$

Longitud total de fierros = $14\pi \times D = 14 \times 3.146 \times 30,698 = 1.350,17 \text{ m}$

Longitud standard disponible de fierros corrugados = 9,00 m

Cantidad de fierros a usar: 150 fierros corrugados de $\varnothing 3/4" \times 9,00 \text{ m}$ y demás fierros que requiere la armadura. Ver figura 7.3

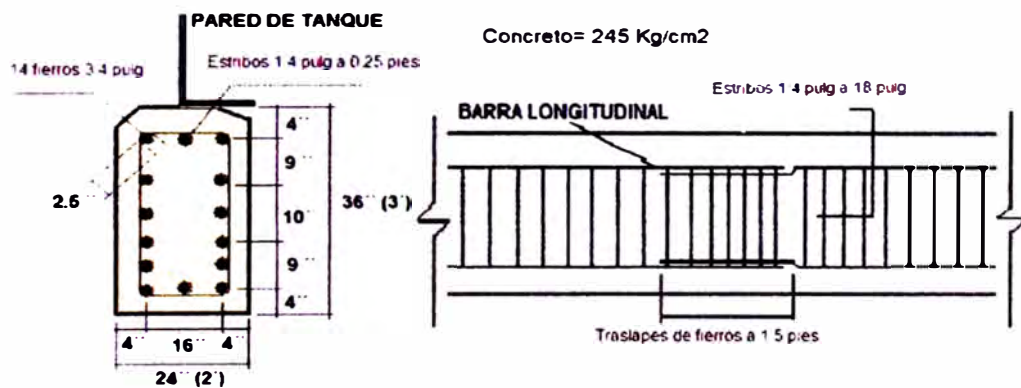


FIGURA 7.3 DISPOSICION DE FIERROS EN EL ANILLO DE CIMENTACION

Los anclajes de un tanque consisten en varillas de acero fijadas al suelo o cimiento ver figura 7.4, las cuales se fijan en silletas, que a su vez, se encuentran unidas a la pared del tanque.

Un tanque tiene que ser anclado si no cumple con ciertas características de estabilidad, pero no es imperativo que sea anclado, según el estándar API 650, si las cumple con márgenes de seguridad satisfactorios. Los anclajes tienen la finalidad de resistir las

cargas que tienden a levantar el tanque, para mantener la estabilidad, las fuerzas que pudieran tratar de deslizar el tanque lateralmente por efectos de aceleraciones sísmicas, por la presión del viento siendo ejercida sobre la proyección de la pared y el techo, por riesgo de inundación es decir el tanque llegue a flotar, y los requerimientos propios del propietario del tanque en la implementación de anclajes.

Los materiales de los pernos de anclaje cumplirán las normas ASTM A193, Grado B8M, las tuercas la norma ASTM A 194, Grado 8M, las arandelas se adquirirán como mínimo 3.2 mm (1/8") de espesor, del mismo material que el de las tuercas.

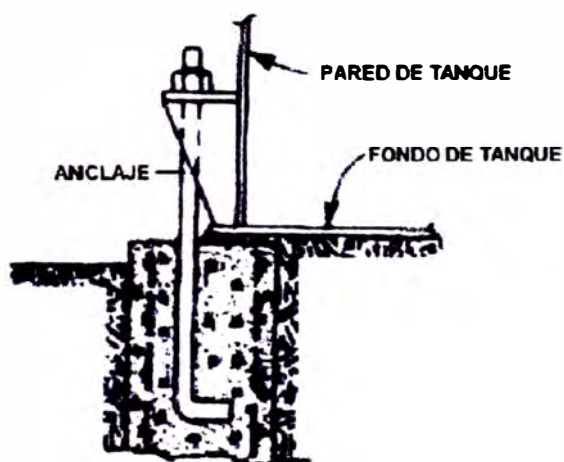


FIGURA 7.4 ANCLAJE DE ANILLO DE CIMENTACION Y TANQUE

7.4 SOPORTES DE LA TUBERÍA DE TRANSFERENCIA

Los soportes de la tubería de transferencia debe tener una base resistente y rígida apoyada adecuadamente para mantener la alineación en todo momento, los soportes deben colocarse cerca de los cambios de dirección y las juntas de expansión o dilatación, ver figura 7.5

Es esencial que los movimientos de la tubería estén dirigidos y controlados de una manera tal que todas las secciones de la tubería sean

estables. En el capítulo V ítem 5.3 se ha descrito los soportes típicos en todo el recorrido del ducto.

Los parámetros de diseño de las cimentaciones de concreto reforzado que soportaran la tubería de transporte de amoniaco, serán definidos por los expertos de acuerdo al estudio de mecánica de suelos (geotécnica), y que no forma parte del presente informe.

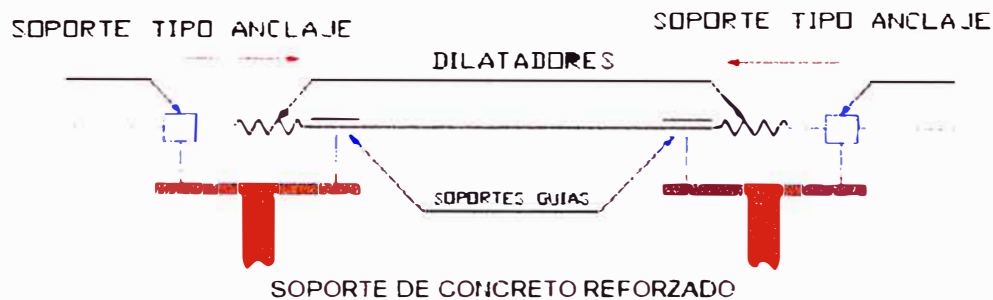


FIGURA 7.5 SISTEMA TÍPICO DE INSTALACION DE LAS SILLAS METALICAS

7.4.1 TIPOS DE SOPORTES METALICOS

La tubería de transporte en toda su trayectoria ira soportada sobre tres tipos de apoyos metálicos típicos y estos sobre concreto:

- Típico apoyo libre
- Típico apoyo guía (deslizante)
- Típico apoyo fijo (anclaje)

En el capítulo V ítem 5.8.2 se ha estimado las cargas deben soportar las sillas metálicas y para su diseño se deberá tomar en cuenta las combinaciones de cargas en los ejes principales a la que está sometida la tubería de transferencia de DN 10".

- a) **Soporte tipo anclaje:** Carga viva: 362,80kg; carga muerta: 505,30 kg; sobrecarga: 156,30kg; carga axial: 2.266,54kg; y la carga debido al viento: 200kg, tal como se muestra en figura 7.6

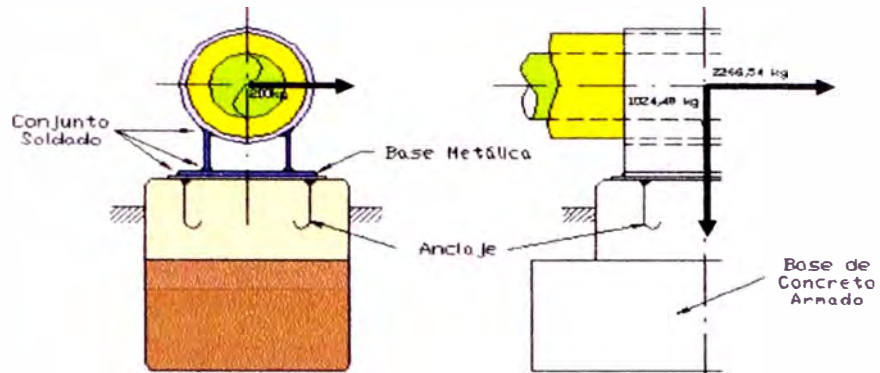


FIGURA 7.6 TIPICO SOPORTE FIJO (ANCLAJE)

b) **Soporte tipo guía:** soporta una carga vertical de 1024,40kg y la carga horizontal del viento 200kg, tal como se muestra en la figura 7.7

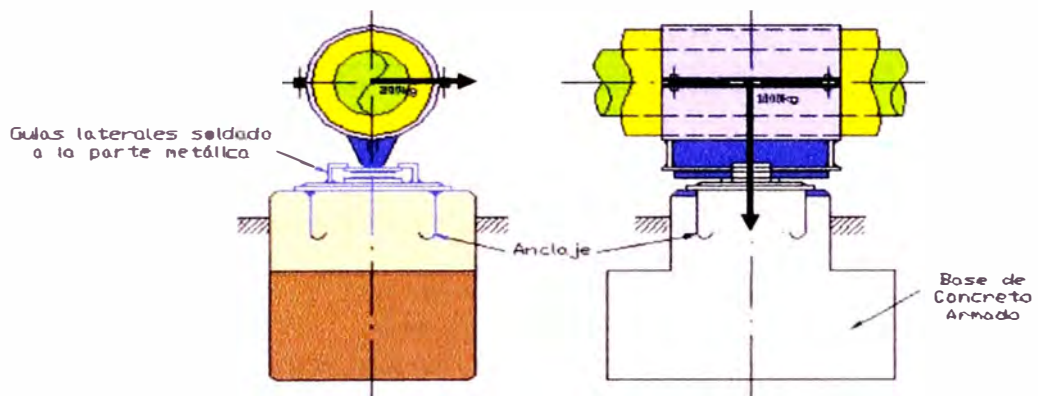


FIGURA 7.7 TIPICO SOPORTE GUIA

c) **Soporte tipo libre:** soporta una carga vertical de 1024,40 kg, y la carga horizontal del viento 200 kg, ver la figura 7.6

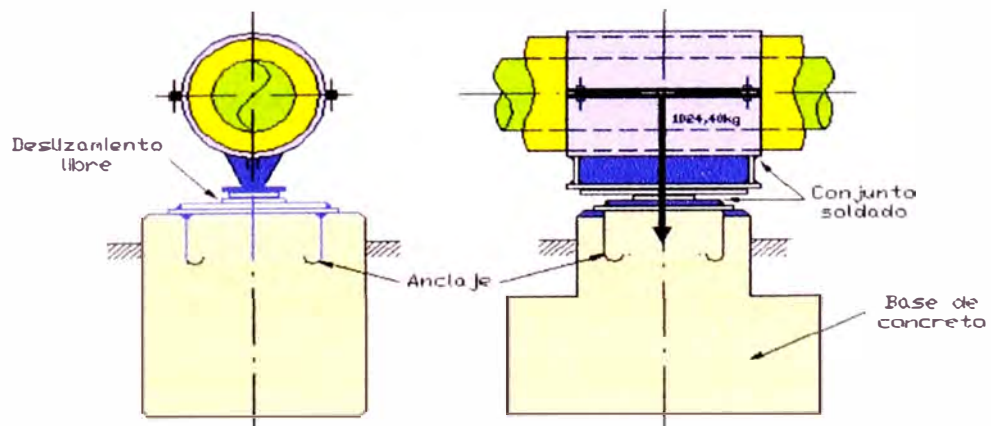


FIGURA 7.8 TIPICO SOPORTE LIBRE

Las sillas metálicas del rack de tuberías serán diseñadas con material en acero galvanizado ASTM A515 Gr 60, o equivalente.

La cimentación de los equipos estáticos y rotativos pesados, que forman parte del presente proyecto, se diseñaran con una capacidad portante del suelo no mayor a 2 Kg/cm², siguiendo el procedimiento según sea el caso y se excluye en el presente informe.

7.5 DISTRIBUCION DE EQUIPOS "LAYOUT"

Los materiales, la maquinaria, los métodos de distribución y aun los salarios, han llegado a ser más y más estandarizados, los equipos y maquinarias diseñados y/o seleccionados se distribuirán dentro de un área disponible de 20.000 m² de un total de 180.000 m² tomando en cuenta las recomendaciones de distancias típicas entre distintas unidades, cumpliendo las normas de seguridad y buscando obtener costos de mantenimiento mínimo, según normas que se muestra en el apéndice 7.1

El Layout del tanque del almacenamiento de amoníaco, tanque acumulador (drum), bombas de trasiego, intercambiadores de calor, tanques separadores, enfriadores, evaporadores, compresores reciprocantes, antorcha, motores eléctricos, tableros de control, calderos, transformadores, cobertizo de protección de las unidades de licuación en estructura metálica sin arriostramientos laterales, se visualiza en el plano N° DI-010.

7.6 INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

Las instalaciones complementarias del nuevo sistema de recepción, transporte y almacenamiento de amoníaco líquido, es necesaria de los servicios generales ya que son "las venas, las arterias y los nervios" del

“cuerpo” de la planta. Las fuentes de energía son la electricidad y el aire comprimido, el agua y los sistemas de comunicación, se diseñaran la distribución de los equipos y maquinarias de acuerdo con los siguientes principios; de flexibilidad, de la mínima distancia recorrida, de la circulación o flujo de materiales, del espacio cubico, y seguridad.

7.6.1 GENERADOR DE VAPOR

La caldera acuotubular automático de combustión presurizada, provisto de equipos auxiliares integrado por los siguientes equipos:

- Chimenea.
- Válvulas, accesorios e instrumentación.
- Instalación de sopladores de hollín.
- Precalentador del aire de combustión.
- Instalación de combustión presurizada para petróleo residual.
- Estación de bombeo y precalentamiento de petróleo residual.
- Electroventilador del aire de combustión.
- Instalaciones de control de llama y programación.
- Sistema de regulación automática de nivel.
- Cuadro eléctrico de control.

Para la instalación está provisto utilizar la planta existente, por lo que no se incluyen en el suministro lo relacionada a los circuitos de agua de alimentación desmineralizada, vapor, electricidad y combustible.

Las principales características técnicas del generador de vapor son:

A) Producción de vapor

- Carga máxima continua : 10.000 kg/hr
- Carga máxima de pico : 11.000 kg/hr

- Carga económica : 7.000 kg/hr
- Carga mínima : 2.000 kg/hr
- Presión de vapor : 21 kg/cm²
- Temperatura de vapor : saturado
- Temperatura de agua alimentación : 110°C

B) Combustible

- Petróleo residual : N° 5 ó 6
- Viscosidad : 50° E (a 50°C)
- Capacidad Calorífica inferior : 9.700 kCal/kg.

C) Agua de alimentación al generador de vapor (valores límites)

- Aspecto : Limpio e incoloro
- pH : 9 a 9.3
- Dureza total (mg/l-CaCO₃) : < 0.5
- Oxígeno (mg/l-O₂) : < 0.01
- Anhídrido carbónico libre (mg/l-CO₂) : < 20
- Hierro total (mg/l-Fe) : < 0.1
- Cobre (mg/l-Cu) : < 0.01
- Sustancias Orgánicas (mg/l-O²) : < 3

D) Agua del generador de vapor (valores Límites)

- Aspecto : Clara, sin espuma
- pH : 9 a 10.8
- Dureza total (Us/cm) : < 6.000
- STD (mg/l) : < 2.500
- Silicio (mg/l-SiO₂) : < 50 – 35
- Alcalinidad (mg/l-CaCO₃) : < 300
- Fosfatos (mg/l-PO₄) : < 10

7.6.2 INSTALACIONES ELECTRICAS

Las instalaciones eléctricas y sus respectivas líneas de alimentación eléctrica instalados en la planta y que se encuentran expuestas a zonas de peligro por la presencia de amoniaco, según las normas I.E.C. serán de tipo antideflagrantes o a seguridad intrínseca, excepto los cuadros de mando y control descritos a continuación:

A) Cuadro eléctrico de regulación y control de las dos unidades

Construido en chapa galvanizada y barnizada apta para instalación en interiores, con grado de protección IP23, asimismo en el frente irán montados los pulsadores de marcha, el sistema automático/manual de los compresores y la secuencia de alarmas según ISA 4A.

La lógica de las seguridades se realizara con relevadores electromagnéticos, la lógica de alarma será de tipo electrónico realizada con un único PLC.

B) Cuadro de Fuerza Motriz Eléctrica

Para la distribución de la potencia a equipos y para el mando de los motores eléctricos, serán construidos en chapa galvanizada con grado de protección IP23, incluye los aparatos principales conectados eléctricamente:

- Un interruptor automático de tipo termo magnético.
- Dos arrancadores para los motores de los compresores.
- Cuatro arrancadores para los motores de las bombas de NH₃.
- Tres arrancadores para las resistencias de calefacción del terreno por debajo del tanque de almacenamiento.

- Un arrancador para las resistencias de calefacción del agua.
- Un conjunto de amperímetros y voltímetros.
- Fusibles, lámparas testigos, selectores, placas de identificación

C) Potencia Instalada de equipos eléctricos

La demanda de potencia en la planta requiere de tres tipos de cargas: de motores y equipos, de iluminación, cargas asociadas a tomas, para los equipos y maquinarias del proyecto y plantas consumidoras de amoniaco, ver tabla 7.1 y apéndice 7.2

TABLA 7.1 POTENCIA INSTALADA DE EQUIPOS ELECTRICOS

MOTORES ELECTRICOS (60 Hz)	CANT.	VOLTAJE	POTENCIA KW)
COMPRESORES	2	440	300
BOMBAS TRASIEGO	2	440	30
BOMBAS DE AGUA DE POZO	3	440	90
BOMBAS AGUA DE ENFRIAMIENTO	3	440	90
EQUIPO AIRE INSTRUMENTACION	1	440	30
			540
PLANTAS CONSUMIDORAS			
EQUIPOS ROTATIVOS CRITICOS	3	5000	200
EQUIPOS ROTATIVOS	5	440	710
ALUMBRADO (30 W/m ²)		220	120
TOTAL			1570

La estimación de la demanda de potencia requerida es de 1.570 kW.

Calculo de la potencia aparente del transformador trifásico:

$$\cos \varphi = \frac{P(KW)}{S(KVA)} \quad (7.7)$$

Siendo:

Cos φ = Factor de potencia

P = Potencia activa, [Kw]

S = Potencia aparente, [Kva]

Reemplazando valores en 7.7 P= 1570Kw, factor de potencia 0,85 se tiene la potencia aparente:

$$S = \frac{1.570}{0,85} = 1.847,10$$

Si consideramos una reserva en el orden del 8 a 10% de reserva el transformador trifásico seleccionado será de 2.000 kVA

D) Transformador trifásico

La potencia de la red pública es de 10 kV, por lo que seleccionaremos un transformador trifásico de tensión alterna de 60 Hz, en baño de aceite, con arrollamientos de cobre y núcleo de hierro laminado en frío, montaje interior o exterior, enfriamiento natural, previsto para las siguientes condiciones de servicio:

- Normas de ejecución : IEC
- Potencia nominal continua : 2000 KVA
- Frecuencia : 60 Hz
- Altitud al servicio : 10 m.s.n.m.
- Relación transformación en vacío : (10kV/5kV) ± 2.5%
- Esquema lado alta tensión : Triangulo con cuatro tomas suplementarias conmutables en vacío
- Esquema lado baja tensión : Estrella
- Sobre temperatura con carga continua
 - Aceite : 60 °C
 - Arrollamientos : 65 °C

Los accesorios del transformador:

- Tanque con indicador visual de nivel de aceite y grifo de vaciado.
- Conmutador de tomas suplementarias, con mando sobre la tapa.
- Válvula de seguridad y termómetro bimetálico.
- Relé Buchholz con contactos de alarma y desconexión.

CAPITULO VIII

ANALISIS DE COSTOS

En este capítulo analizaremos los costos de todo el proyecto, las partidas o los rubros s estimaron en base a los; presupuestos, cotizaciones y proformas del mercado en moneda extranjera y nacional, información que hemos recibido de las diversas compañías extranjeras especialistas en el diseño, montaje, mantenimiento e inspección de terminales de amoniaco.

8.1 COSTOS DE INVERSIONES EN ACTIVOS FIJOS

Los costos de inversión en activos fijos comprenden el rubro; de maquinarias y equipos, materiales ferrosos y obras civiles del tanque de almacenamiento, tubería de transferencia, aislamientos térmicos, recepción, equipos de licuación, equipos complementarios y modificación de las instalaciones internas que forma parte del presente informe, ver tabla 8.1

8.2 COSTOS DE INVERSIONES EN ACTIVOS INTANGIBLES

Estos costos comprende los estudios básicos de ingeniería, mecánica de suelos, para la cimentación de los soportes de concreto reforzado de la tubería, licencias y/o autorizaciones, estudios definitivos de ingeniería, inspección, supervisión para el montaje del tanque y la tubería, inspección de las obras, y la gestión total del proyecto, tal como se muestra en la tabla 8.2

TABLA 8.1 ESTRUCTURA DE LA INVERSION FIJA (\$)

ITEM	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	TANQUE DE ALMACENAMIENTO 10000 TM		1815500
1.20	MATERIALES FERROSOS	520500	
1.30	ACCESORIOS DEL TANQUE	150000	
1.40	CONSTRUCCION MECANICA Y MONTAJE	825000	
1.50	REVESTIMIENTO TERMICO	320000	
2.00	TUBERIA DE TRANSFERENCIA		1658950
2.10	TUBO 10 PULG X 5.76 KM	330000	
2.20	COMPENSADORES DE DILATACION	76950	
2.30	ACCESORIOS DE LA TUBERIA	162000	
2.40	MONTAJE DE LA TUBERIA	820000	
2.50	REVESTIMIENTO TERMICO	270000	
3.00	EQUIPO DE LICUACION		550500
3.10	EQUIPOS DE LICUACION	450000	
3.20	ACCESORIOS DEL EQUIPO DE LICUACION	60000	
3.30	MONTAJE DE LOS EQUIPOS	40500	
4.00	SISTEMA DE SEGURIDAD		79000
4.10	ANTORCHA	25000	
4.20	ACCESORIOS DE LA ANTORCHA	10000	
4.30	BRAZO DE DESCARGA	44000	
5.00	EQUIPOS COMPLEMENTARIOS		470800
5.10	BOMBAS DE TRASIEGO DE AMONIACO	35000	
5.20	GENERADOR DE VAPOR	245000	
5.30	TRANSFORMADOR ELECTRICO	26800	
5.40	INSTALACIONES ELECTRICAS	80000	
5.50	MODIFICACION INTERNA A LA RED	84000	
6.00	OBRAS CIVILES		1775000
6.10	CIMENTACION DEL TANQUE	158500	
6.20	PROTECCION DE CONCRETO	191500	
6.30	SOPORTES Y PROTECCION DE TUBERIA	1200000	
6.40	CIMENTACION EQUIPOS AUXILIARES	225000	
7.00	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES		1269950
7.10	GG Y UTIL (20%)	1269950	
8.00	IMPUESTOS		1371546
8.10	IGV (18%)	1371546	
TOTAL DE LA INVERSION FIJA			8991246

TABLA 8.2 ESTRUCTURA DE LA INVERSION INTANGIBLE (\$)

ITEM	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	ESTUDIOS BASICOS	22100	
1.10	PRECALIFICACION, BASES Y LICITACION	15000	
1.20	ESTUDIOS DEFINITIVOS MECANICA SUELOS	38500	
1.30	LICENCIAS	60200	
1.40	ESTUDIOS DE INGENIERIA	389500	
1.50	SUPERVISION TECNICA	360000	
1.60	INSPECCION DE OBRAS	83700	
1.70	GESTION DEL PROYECTO	12000	
TOTAL DE LA INVERSION INTANGIBLE			981000

8.3 COSTOS EN CAPITAL DE TRABAJO

Los costos en capital de trabajo, que requiere el sistema de recepción, transporte y almacenamiento de amoniaco importado, para la puesta en marcha e inicio de la producción está constituido por los rubros de mayor relevancia, incluye los intereses pre operativos, ver la tabla 8.3

TABLA 8.3 ESTRUCTURA DE CAPITAL DE TRABAJO (\$)

ITEM	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	AMONIACO IMPORTADO	337500	
1.10	PETROLEO RESIDUAL N° 6	82500	
1.20	MANO DE OBRA CALIFICADA, NO CALIFICADA	105400	
1.30	REPUESTOS DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	84000	
1.40	CATALIZADORES DE PLATINO Y RODIO	20000	
1.50	REACTIVOS QUIMICOS DE LABORATORIO	25000	
1.60	PRODUCTOS QUIMICOS VARIOS	83700	
1.70	INTERESES PREOPERATIVOS ESTIMADO	95000	
TOTAL DE LA INVERSION INTANGIBLE			833100

8.4 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total del proyecto asciende a la suma de \$ 11'254.908, conformado por los rubros en; ingeniera, maquinaria y equipo, obras civiles, instalación, montaje, e imprevistos, así como el capital de trabajo e intereses pre operativos, tal como se muestra en la tabla 8.4

TABLA 8.4 RESUMEN COSTO TOTAL DEL PROYECTO (\$)

ITEM	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	COSTOS DE LA INVERSION FIJA	8991246	
2.00	COSTOS DE LA INVERSION INTANGIBLE	981000	
3.00	COSTO DEL CAPITAL DE TRABAJO	833100	
4.00	IMPREVISTOS DE LA INVERSION FIJA (5%)	449562	
COSTO TOTAL DEL PROYECTO			11254908

8.5 CRONOGRAMA DE EJECUCION

El cronograma de ejecución del proyecto tendrá una duración máxima de 24 meses, dadas las características del proyecto y las limitaciones de la empresa para asumir con recursos propios toda la inversión fija, resulta imperativo obtener líneas de crédito para el financiamiento externo para cubrir

el 60% y el financiamiento interno con el 40% del costo total del proyecto, tanto en moneda nacional y extranjera.

La creación del cronograma del proyecto requiere que el equipo defina las condiciones que conllevaran al desarrollo del cronograma. La primera información necesaria para este paso viene de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) que tiene todas las actividades identificadas para el proyecto.

La calidad y cumplimiento de la Estructura de Desglose del trabajo determinará la calidad del cronograma, y este es un buen momento para que el equipo del proyecto revise si todas las actividades del proyecto están definidas, ver detalles del diagrama GANTT que se anexa en el apéndice 8.1

La meta de definir el cronograma es que el equipo del proyecto tenga total comprensión de todo el trabajo que necesita ser cumplido, mediante la definición del cronograma el proyecto desarrolla también el entendimiento de las restricciones, dependencias y secuencia de actividades, para lo cual se aplicara la guía del PMBOK durante el ciclo vital del proyecto, 5 grupos de gestión de proceso y 9 áreas de conocimiento de la tarea de administración y dirección de proyectos así como las técnicas y herramientas de cada proceso.

8.6 RENTABILIDAD ECONOMICA DEL PROYECTO

La presente sección tiene por finalidad de evaluar la rentabilidad económica del proyecto de construcción del sistema de recepción, transporte y almacenamiento de amoniaco importado, frente a la situación actual de la planta; el proyecto ha sido analizado desde el punto de vista del país, a efectos de determinar su conveniencia para la economía nacional, y desde el punto de vista empresarial buscando la mejor opción para la empresa.

Para el análisis de los beneficios y/o costos operativos del proyecto se ha estimado utilizar un modelo de cálculo bajo las siguientes premisas:

- El nivel de precios en (\$) en términos reales al tipo de cambio.
- Los ingresos y egresos a precios para la economía peruana.
- Se excluye cargas por impuestos, por ser transferencia interna de recursos.
- Se efectúa en términos marginales; es decir se determinan los mayores o menores ingresos y costos de "SIN PROYECTO", comparado a la situación "CON PROYECTO" de terminal de amoniaco.
- La inversión fija para el desarrollo de amoniaco ha sido estimada con una precisión $\pm 15\%$, para el caso de la planta actual se asume que al cabo de 5 años, se tendrá que intervenir en la reposición de equipos por un monto de US\$ 7.5 millones en los años quinto y sexto de operación.
- El capital de trabajo marginal por un lado se tiene la disminución del stock de petróleo y de repuestos, pero por otro, la necesidad de mantener un stock de amoniaco.
- Se estima la vida útil de 10 años para la planta actual y de 20 años para el sistema de recepción, transporte y almacenamiento de amoniaco.
- Los ingresos han sido valuados a los precios de venta al tipo de cambio en el mercado nacional.
- Los costos de operación han sido estimados como base los consumos y rendimientos específicos de los procesos, obtenidos en el 2006.
- El análisis se considera que se dará de baja todo el proceso productivo hasta la obtención del amoniaco.
- El precio del petróleo residual se considera un precio base de 25\$xbarril.

- El precio del amoniaco FOB de \$130xTM y un valor de \$ 200xTM puesto en planta de Nitratos.
- Los gastos de mantenimiento de la planta actual se asume un incremento del 10% por año, hasta el 5to año, fecha en que se realizará la reposición de equipos en obsolescencia.
- Los gastos en mano de obra del personal de operaciones se reducirán a la mitad, los gastos de administración y ventas permanecerán al mismo nivel.

La evaluación económica del proyecto se muestra en Excel, tablas del 8.5 al 8.17 que se anexan en el apéndice 8.2, el cálculo de la tasa interna de retorno económico (TIRE) resulta 27,7% y el TRC es de 4 años, ver figura 8.1

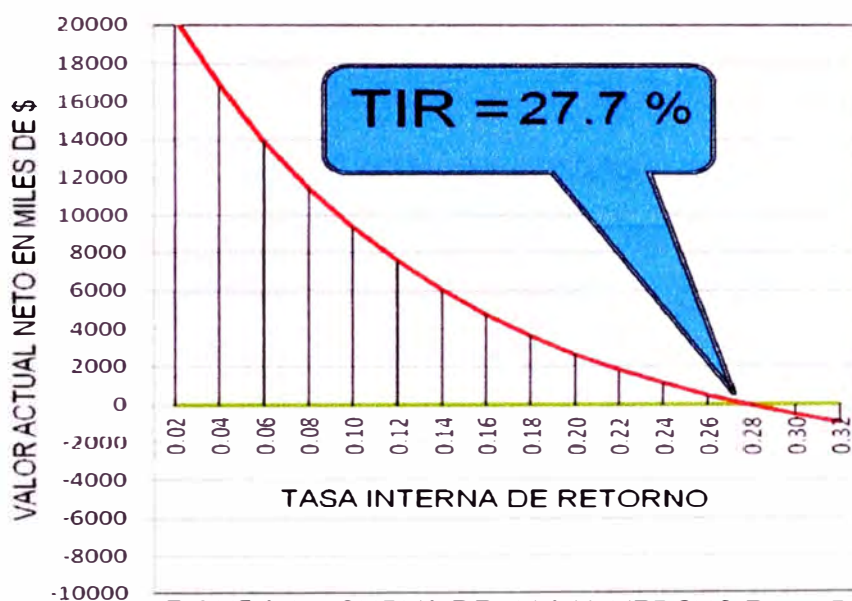


FIGURA 8.1 CURVA DEL V.A.N. VERSUS EL T.I.R.

Para el análisis de sensibilidad del proyecto, tanto del VAN, la TIR se ha simulado en el computador los escenarios factibles variando las variables, como el precio internacional del petróleo y del amoniaco, dejando las demás variables constantes. Una vez hecho esto se puede extraer su VAN medio, su TIR media, además de la simulación se puede extraer el valor de la desviación típica del VAN que nos indicará la medida del riesgo del proyecto, análisis que nos permitirá mantener monitoreado la rentabilidad del "Py".

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La interpretación y aplicación adecuada del estándar API 620 y 650 conduce a buenos diseños, seguros y confiables.
2. El diseño mecánico del tanque de almacenamiento instalado sobre tierra fabricados de acero al carbono soldado, por sus condiciones de operación se ha considerado como "TANQUE ATMOSFERICO", a una presión menor a 15 Psig. Código (API 12C), y el código API 620 Apéndice R.
3. El tanque de almacenamiento de amoniaco cilíndrico de eje vertical, se ha optimizado su geometría en función del costo total del tanque cuya relación $D/H=1,6$; $D_i=30.680m$; $H_c=21.000m$, son factibles tanto técnica y económicamente su erección por las empresas especializadas.
5. Según la demanda real de amoniaco a nivel nacional debido al crecimiento de los sectores de la minería y agricultura en el 2007, se debió instalar el segundo tanque de almacenamiento de amoniaco de 10.000 TM.
6. El diseño del sistema de transporte de amoniaco liquido mediante tubería, el diámetro óptimo resulto de 10 pulgadas, con una longitud total de tendido es de 5.760 metros, flujo máximo $350 m^3/hr$ y presión máxima de $18 Kg/cm^2$, se incluye un "flare" para mitigar riesgos de seguridad de manipuleo y uso del amoniaco durante la operaciones de recepción.
7. La implementación del sistema de recepción, transporte y almacenamiento de amoniaco, resulta más económico que la rehabilitación de los equipos críticos de la planta de producción de amoniaco, por avanzado estado de

desgaste y obsolescencia que hacen peligrar la continuidad de la producción de productos nitrogenados.

8. Con la implementación del "Py" se reducirá los costos de mantenimiento de maquinarias, equipos e instrumentos, ya que las unidades de producción de amoníaco quedaran fuera de servicio, por los altos costos de mantenimiento por ser equipos de tipos esenciales y críticos en el proceso de producción.
10. Con la operación y marcha del "Py" se incrementara la capacidad instalada 80% al 100% de las unidades de producción que quedan en servicio, como las subunidades de; amoníaco, ácido nítrico 53%, ácido nítrico 98.5 %, sulfato de amonio 21%, nitrato de amonio en solución y granulado.
11. Con la mayor disponibilidad de amoníaco, para las unidades de fabricación de productos nitrogenados para el sector minero y agricultura, confiriéndole a la organización una gran competitividad en el mercado nacional y suministrar con amoníaco importado a granel a las diversas industrias del país que utilizan como insumo principal en sus procesos productivos.
12. El consumo de energía eléctrica de los equipos y maquinarias para operar las unidades que continuaran en servicio, representa el 22% del consumo total actual, esta potencia contratada será tomada a través del transformador trifásico de 10kV/5kV de la red de las Empresas Eléctricas.
13. La rentabilidad de la empresa mejorara al dejar de usar el petróleo como materia, que incide directamente en la estructura de costos de producción del amoníaco, cuya variación incierta de costos supera los 600\$/TM y al ser sustituido por amoníaco importado a precio puesto en fábrica a 300\$/TM, con los consiguientes menores costos de depreciación, mano de obra directa, gastos generales, cuya TIR del proyecto "Py" es de 27%.

RECOMENDACIONES

1. Dada la necesidad de asegurar la continuidad de la producción de Nitratos y reducir los actuales niveles de costos de producción del amoniaco, es indispensable ejecutar en el más corto plazo el sistema de recepción, transporte y almacenamiento de amoniaco importado.
2. Debido a las características del proyecto que incluye la recepción, transporte y almacenamiento de un gas licuado como el amoniaco, que lleva latente el peligro de explosión y contaminación, se debe realizar un estudio de impacto ambiental (EIA) detallado, tomando el máximo cuidado y seguridad en su buena ejecución protegiendo el medio ambiente.
3. En la ejecución del proyecto, el suministro de equipos y maquinarias constituyen la ruta crítica, mientras que el equipo eléctrico y las obras civiles son de menor envergadura; la responsabilidad de la ejecución total del proyecto hasta la puesta en marcha, sea asumida por una sola persona natural o jurídica experta bajo la modalidad de "llave en mano".
4. Para tener éxito de la modalidad antes señalada implica optimizar los recursos en la ejecución, control y monitoreo del proyecto, aplicando la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK®).
5. Por el monto de inversión del proyecto es más viable su financiamiento, adicionalmente la actitud del acreedor es más positiva cuando se trata de construir una unidad o sección nueva de un proyecto que reponer o rehabilitar unidades usadas, como es el presente caso.
6. En nuestro país es necesario el desarrollo urgente de la petroquímica usando el gas de gas natural de camisea, cuya capacidad de producción mínima de la planta sería de 1.000 TM/día, asimismo quedaría la infraestructura como el amoniaducto lista para utilizar amoniaco nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] STANDARD API-620, Diseño y Construcción de Grandes Tanques de Acero soldado para Almacenaje a Baja Presión, Año 1998, adennda 2004.
- [2] STANDARD API-650 Tanques de Acero Soldado para Almacenaje de Petróleo, Año 1998.
- [3] CARLO ANTONIO VANCINI, La Sintesi Dell' Ammoniaca, Editorial Ulrico Hepli Milano, Edición Primera, Año 1960.
- [4] A.V,SLACK AND G. RUSSELL JAMES, Ammonia Vol II, Editorial Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, ISBN 0-8247-6188-K, 3era Edición, Año 1977.
- [5] MARIO SPELUZZI y MARIO TESSAROTTO, Disegno di Machine, Editorial Ulrico Hepli Milano, 5ta Edición, Año 1963
- [6] MANUAL DE STEEL CONSTRUCTION AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Inc 6ta Edicion, Año 1978.
- [7] ING° JUAN J. HORI, Diseño de Elementos de Maquinas, Quinta Edición UNI, Año 1987.
- [8] HUTTE, MANUAL DEL INGENIERO, Tomo I, II, Editorial Gustavo Gili S.A. 2da Edición, Año 1968.

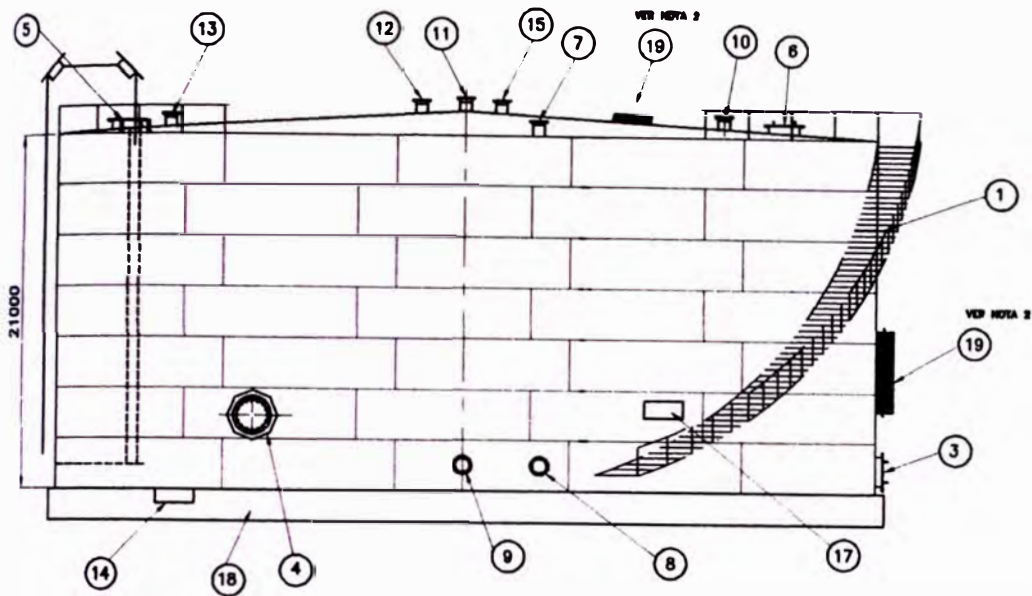
- [9] ERNEST E. LUDWIG, Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volumen III, Segunda Edition, Año 1965.
- [10] STANDARD HANDBOOK OF ENGINEERING CALCULATIONS, Editorial, McGraw-Hill Book Company, 1era Editions, Año 1972.
- [11] NORMA (AWWS) AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATED, Editorial Bamard R.E. 2da Edition, Año 1961.
- [12] STANDARD API 1104, La Soldadura en Oleoductos e Instalaciones relacionados, 7etima Edición, Setiembre 1988.
- [13] EUGENE F. MEGYESY, Manual de Recipientes a Presión, Editorial Limusa S.A. 2da Edición 1992, ISBN 968-18-1985-3.
- [14] ASME CODE FOR PRESURRE PIPING B31 AND AMERICAN NATIONAL STANDARD, 2da Edición, Año 1980.
- [15] MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico,
- [16] MANTELL, Engineering Materials Handbook,
- [17] CONSIDINI, Process Instruments And controls Handbook,
- [18] JHON H. PERRY, Chemicals Engineer's Handbook,
- [19] DONALD Q. KERN, Process Heat Transfer, Editorial Mc Graw Hill Book Company Inc, Año 1972.
- [20] MANUALES ASTM STANDARDS, 32 Tomos, Año 1999
- [21] LLOYD E. BROWNELL AND EDWIN H. YOUNG, Equipment Design Tomo I, II, III, Editorial John Wiley&Sons, Inc, Año 1983.

- [22] ASME, BOLIER AND PRESSURE VESSEL CODE, AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS PRESSURE VESSEL CODE, 186 Edition, July 1986, New York.
- [23] NORMA TECNICA AWS, American Welding Society,
- [24] ING° JUAN HORI ASANO, Esfuerzos y Deformaciones, 6ta Edición, Universidad Nacional de Ingeniería, Año 1992.
- [25] JHON J. CLOSNER AND ROBERT O. PARKER, "Que Diseños de Tanques de GNL Ofrecen Mayor Seguridad", *Petróleo Internacional*, 71-72; 79-80 (Junio 1980).
- [26] HECTOR REGOLI, "Aspectos de Seguridad en Oleoductos", *Petróleo Internacional*, 49-51-52-54-55, (Abril 1982).
- [27] Ing. FERNANDO E. RODRIGUEZ-MIAJA, "Recuperación de Vapores en Terminales de LPG", *Petróleo Internacional*, 9-10-12-14-16 (Marzo-Abril 1988).
- [28] GERMAN BUITRAGO, "Atmosferas Inertes: el Nitrógeno como Agente de Protección en la Industria Química y Afines", *Ingeniería Química*, 101-106 (Marzo 1986).
- [29] J. WEBER, "Protección contra la corrosión en la Construcción de Maquinas y Aparatos", *Revista Técnica Sulzer*, 34-38 (Año 1986).
- [30] PETER WHITBREAD, "Como preparación Licitaciones para reducir Costos de Construcción", *Petróleo Internacional*, 33-35 (Junio 1981).
- [31] PASCUAL RIVERA RECIO Y FRANCISCO VALL GARRICA, "Calculo de Esferas Refrigeradas", *Ingeniería Química*, 59-63 (Agosto 1975).

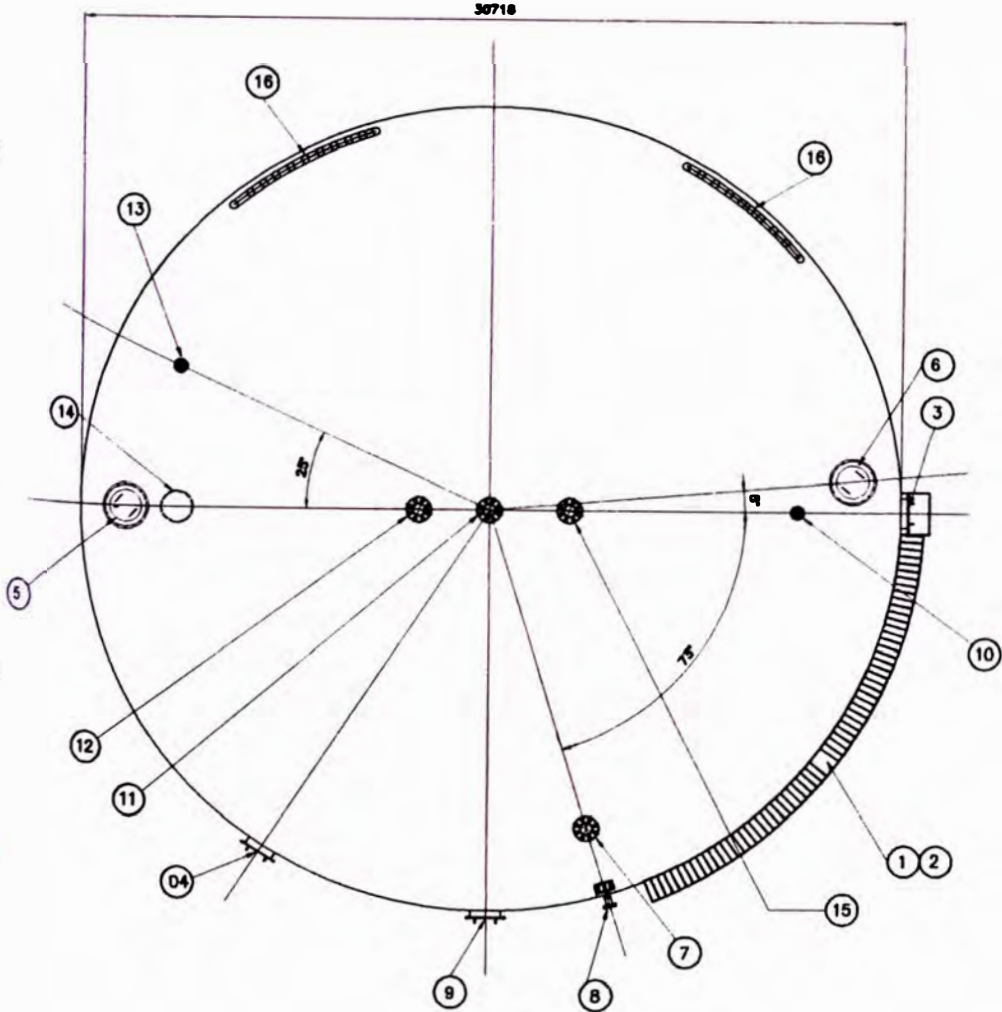
- [32] <http://www.inglesa.com.mx/books/DYCTA.pdf> "Diseño y Calculo de Tanques de Almacenamiento", consultado en noviembre del 2011.
- [33] LNG Industry/ A Supplement to Hydrocarbon Engineering, ISSN 1468-9340, Editorial Palladian Publications Ltd – Summer 2007.
- [34] LNG Industry/ A Supplement to Hydrocarbon Engineering, ISSN 1468-9340, Editorial Palladian Publications Ltd – Spring 2008.
- [35] HYDROCARBON PROCESSING – A Special Report Energy Management –ISSN 0018-8190 – July 1981 –Pag 156-160.
- [36] STEPHAN KONZ, Diseño de Instalaciones Industriales, Editorial Limusa S.A. 3^{era} Edición, Año 1997.
- [37] RITA MULCAHY'S "Preparación para el Examen PMP", editorial RMC Publications, Inc. ISBN 978-1-932735-34-5, 6^{ta} Edición, Año 2010.
- [38] "GUÍA DE LOS FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS" (PMBOK), ISBN 978-1-933890-72-2, Editorial PMI, Inc. 4^{ta} Edición, Año 2008.
- [39] LUIS GUERRA PEÑA, ADRIANO CORONEL GRANADO, "Gestión Integral de Proyectos", ISBN 84-95428-48-2, Editorial Fundación Confemetal, 3^{era} Edición, Año 2002.
- [40] GEORGE A. TAYLOR, Ingeniería Económica, Editorial Limusa-Wiley S.A. México, 2^{da} Edición, Año 1972.
- [41] ZORRILLA A., M. y TORRES S., M. 1992. Guía para elaborar la tesis. México, McGraw-Hill. 108p.
- [42] VICTOR L. STREETER-E. BENJAMIN WYLIE, Mecánica de Fluidos, Mc Graw Hill, Novena Edición, Año 1999.

RELACION DE PLANOS

N° TA-001	Plano disposición general del tanque de almacenamiento
N° TA-002	Plano disposición del casco del tanque
N° TA-003	Plano disposición del fondo del tanque
N° TA-004	Plano de estructuras del techo del tanque
N° TA-005	Plano de disposición del techo de tanque
N° TA-006	Plano de detalle y accesorios casco y techo de tanque
N° TA-007	Plano de escalera, barandas y plataformas
N° TA-008	Plano de disposición de aislamiento térmico de tanque
N° TU-009	Plano de recorrido de la tubería de transporte.
N° DI-010	Plano de distribución de equipos de planta.
N° FL-011	Plano de detalle de la antorcha o flare
N° QU-012	Plano de diseño del quemador de amoniaco
N° TA-013	Plano de instrumentación PID del tanque y equipos



VISTA ELEVACIÓN
ESCALA: 1/200



VISTA DEL PLANO
ESCALA: 1/200

ITEM	DESCRIPCIÓN	DIA.
19	ACABAMIENTO TANGENTE	
18	CONEXIÓN DE LA BASE DEL TANGENTE	
17	PLACA DE CONEXIÓN DEL TANGENTE	
16	BOVEDILLA DE TEBHO STD.	
15	CONEXIÓN AL QUEMADERO	10"
14	MANHOLE STA 800" CON PASADIZO	24"
13	BOVEDILLA DE RECEPCION	10"
12	CONEXIÓN A LA RED ABRAZADA	10"
11	ENTRADA DE ANCHOS	10"
10	CONEXIÓN TANGENTE	4"
9	SALIDA DE ANCHOS LOZINGO	10"
8	BOVEDILLA TOMA DE MUESTRA	1 1/4"
7	BOVEDILLA NIVELADOR DE NIVEL	1 1/4"
6	BOVEDILLA ANTORONA	12"
5	MANHOLE DE TEBHO STD	24"
4	MANHOLE DE CASCO STD	24"
3	MANHOLE DE CASCO STD	20"
2	PLATAFORMA DE DESCARGO Y PASADIZOS	
1	ESCALERA GRADIENTACION ASTM A-36	

NOTAS:
1.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS EXCEPTO LAS MENCIONADAS.
2.- VER EL DETALLE DE INSTALACIÓN DE ACABAMIENTO TANGENTE EN EL PLANO D08.

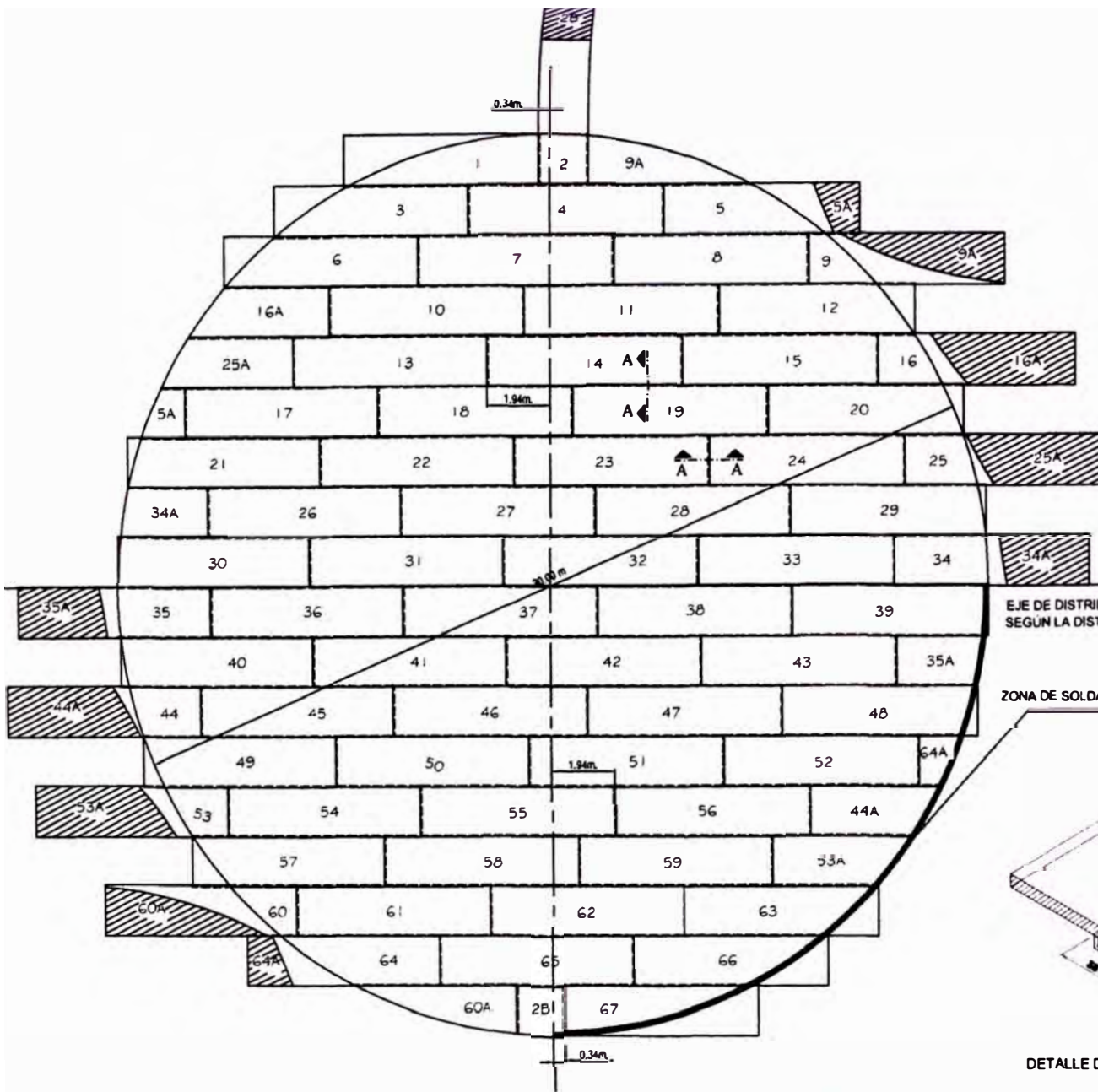
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INFORME DE SUFFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE: INGENIERIA MECÁNICA

PROYECTO: TANQUE 10000 TM Ø30678 X H=21000.

TÍTULO: DISPOSICIÓN GENERAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

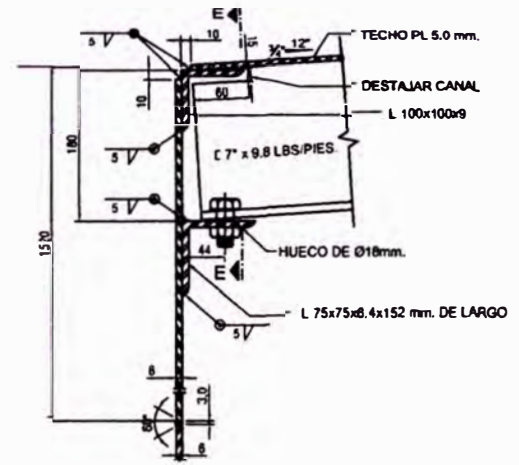
CATEGORÍA: MECÁNICO	DESEÑADO: G.S.R	REVISADO:
ÁREA: INGENIERÍA	DEBILADO: G.S.R	APROBADO:
FECHA: OCTUBRE 2012	LÁMINA: 01	FORMATO: A-2
PROYECTISTA: INGENIERIA	DIRECCIÓN: LIMA	ESCALA: 1/200
		REVISIÓN: A
		N° DE PLANO: TA-001

PLANO No.	TÍTULO	No.	FECHA	DEBILADO	REVISADO	DESCRIPCIÓN
	REFERENCIAS					REVISIONES/ MODIFICACIONES



DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS DEL TECHO

ESC.: 1/100



DETALLE DE ÁNGULO DE RIGIDEZ

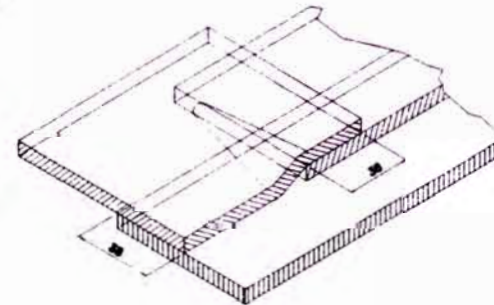
ESC.: 5E



**CORTE A-A
TRASLAPE MÍNIMO**

ESC.: 5E

ZONA DE SOLDADURA SUAVE*



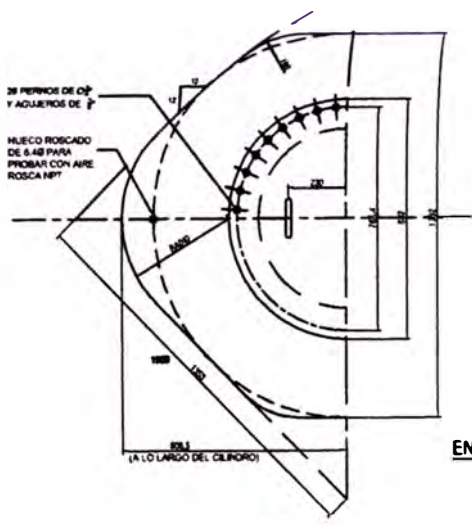
DETALLE Z

DETALLE DE TRASLAPE DE PLANCHAS DE TECHO

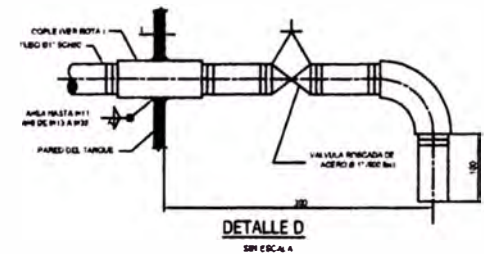
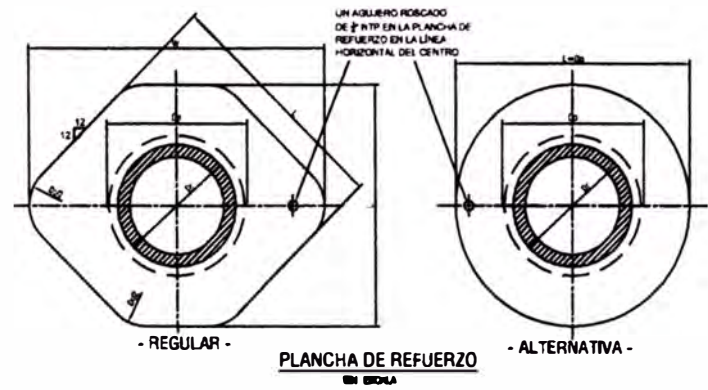
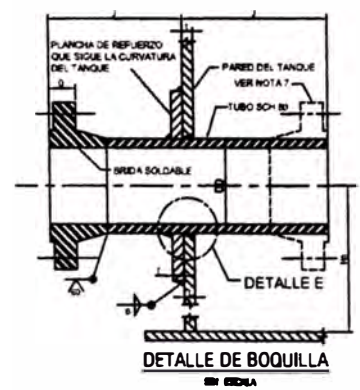
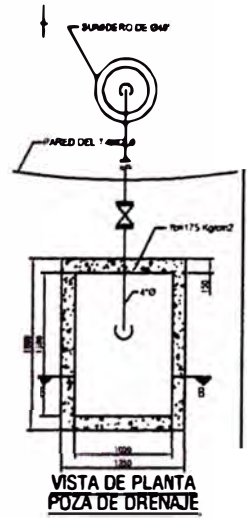
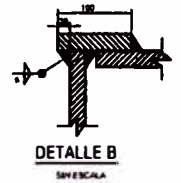
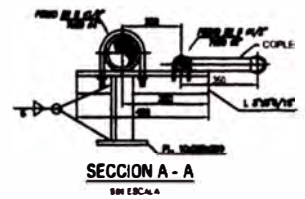
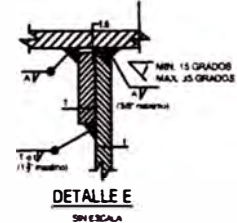
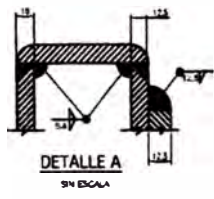
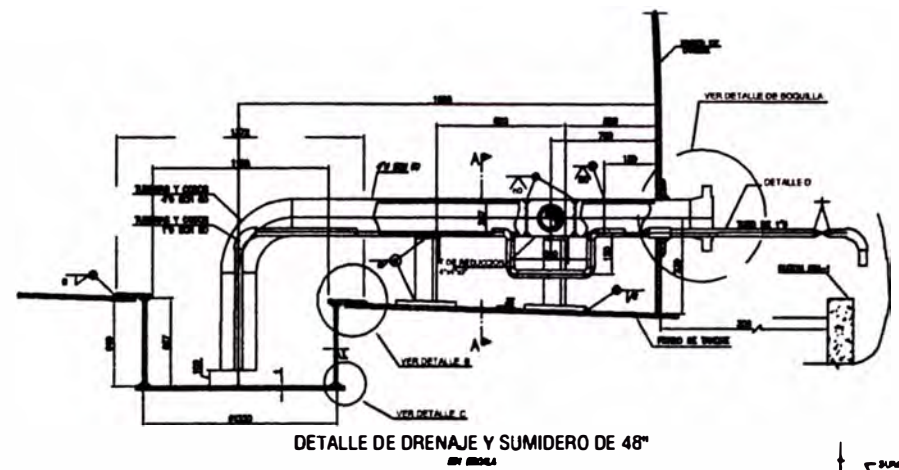
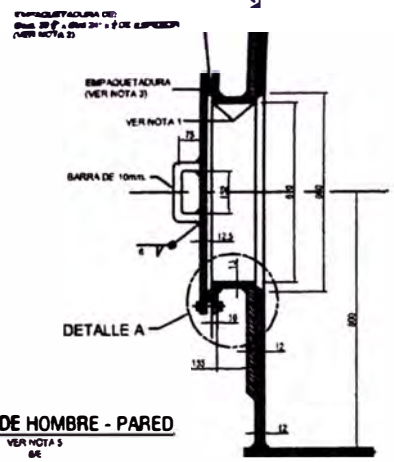
ESC.: 5E

NOTAS			
1 - TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS EXCEPTO LAS INDICADAS			
2 - LAS JUNTAS DE SOLDADURA DE FILETE DE LAS PLANCHAS DEL TECHO DEL TANQUE SE EMPLEARA ELECTRODO DE ALTA PENETRACION.			
LISTA DE MATERIALES PARA EL ANGULO DE RIGIDEZ			
UBICACION	MATERIAL	CANTIDAD	
CILINDRO	ASTM A-36	16 UNO ANGULO 3"x3"x5/16"x6m	
LISTA DE MATERIALES PARA PLANCHAS DEL TECHO			
UBICACION	MATERIAL	CANT. PLANCHAS	DIMENSION (mm)
CILINDRO	ASTM A-537 C1	67 UNO	3/16" 1500 x 6020
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECANICO			
PROYECTO:	TANQUE 10000 TM Ø30679 X H=21000.		
TITULO:	DISPOSICIÓN DE PLANCHAS DEL TECHO DEL TANQUE		
CATEGORIA:	GENERAL	DISEÑADO: G.S.R.	REVISADO:
AREA:	INGENIERIA	DIBUJADO: G.S.R.	APROBADO:
FECHA:	OCTUBRE 2012	LAMINA: 05	FORMATO: A-2
FACULTAD:	MECANICA	DIRECCION: LIMA	REVISION: IND. A
			N° DE PLANO: TA-005

PLANO No.	TITULO	No.	FECHA	DIBUJO	REVISO	DESCRIPCION
REFERENCIAS REVISIONES/MODIFICACIONES						



ENTRADA DE HOMBRE - PARED
VER NOTA 3
6E



- NOTAS**
- 1- RECONOCER LA ESCALA A R11
 - 2- LA SUPERFICIE PARA EMPAQUETADURA DEBE SER BASTANTE PARA PERMITIR UN BUENO APORTE DE LA EMPAQUETADURA DE 30 cm DE ANCHO EL MATERIAL DE LA EMPAQUETADURA DEBE SER DE PLASTICO CLASICO Y LIBRE DE ASBESTO Y RESULTANTE A HERRIZAJES, JUNTA DE COPPER
 - 3- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS
 - 4- PARA REFORZAR VER EL PLANO DE UBICACION DE REFORZOS
 - 5- LAS CONEXIONES BRIDAS Y RECORRIDOS DE 80" Y HERRAJES NO USAR PLANCHAS DE REFUERZO
 - 6- PARA LA BOQUILLA DE DESCARGA SE SOLDARA UNA BRIDA EN EL TUBO DE 80" EN ESTO DONDE FIN DE CONECTAR UN TUBO VERTICAL COMO SE MUESTRA EN EL DETALLE D DE LA TOMA A 1/2"
 - 7- LAS CONEXIONES BRIDAS Y RECORRIDOS DE 80" Y HERRAJES NO USAR PLANCHAS DE REFUERZO

DIMENSIONES PARA BOQUILLAS

	2	3	4	5	6	7
1	33	38	43	48	53	58
2	33	38	43	48	53	58
3	33	38	43	48	53	58
4	33	38	43	48	53	58
5	33	38	43	48	53	58
6	33	38	43	48	53	58
7	33	38	43	48	53	58

SE DEBE USAR UN AGUJERO DE 1/2" EN LA PARED DEL TANQUE EN LA LINEA HORIZONTAL DEL CENTRO

DIMENSIONES DE BOQUILLAS: TUBO, PLANCHA Y SOLDADURAS (mm.)

TUBO	PLANCHA	SOLDADURA	SOLDADURA
12.5	12.5	12.5	12.5
15.0	15.0	15.0	15.0
17.5	17.5	17.5	17.5
20.0	20.0	20.0	20.0

1- AGUJERO EN LINEA A 1/2"

2- LA SUPERFICIE PARA EMPAQUETADURA DEBE SER BASTANTE PARA PERMITIR UN BUENO APORTE DE LA EMPAQUETADURA DE 30 cm DE ANCHO

3- EL MATERIAL DE LA EMPAQUETADURA DEBE SER DE PLASTICO CLASICO Y LIBRE DE ASBESTO Y RESULTANTE A HERRIZAJES, JUNTA DE COPPER

4- PARA REFORZAR VER EL PLANO DE UBICACION DE REFORZOS

5- LAS CONEXIONES BRIDAS Y RECORRIDOS DE 80" Y HERRAJES NO USAR PLANCHAS DE REFUERZO

6- PARA LA BOQUILLA DE DESCARGA SE SOLDARA UNA BRIDA EN EL TUBO DE 80" EN ESTO DONDE FIN DE CONECTAR UN TUBO VERTICAL COMO SE MUESTRA EN EL DETALLE D DE LA TOMA A 1/2"

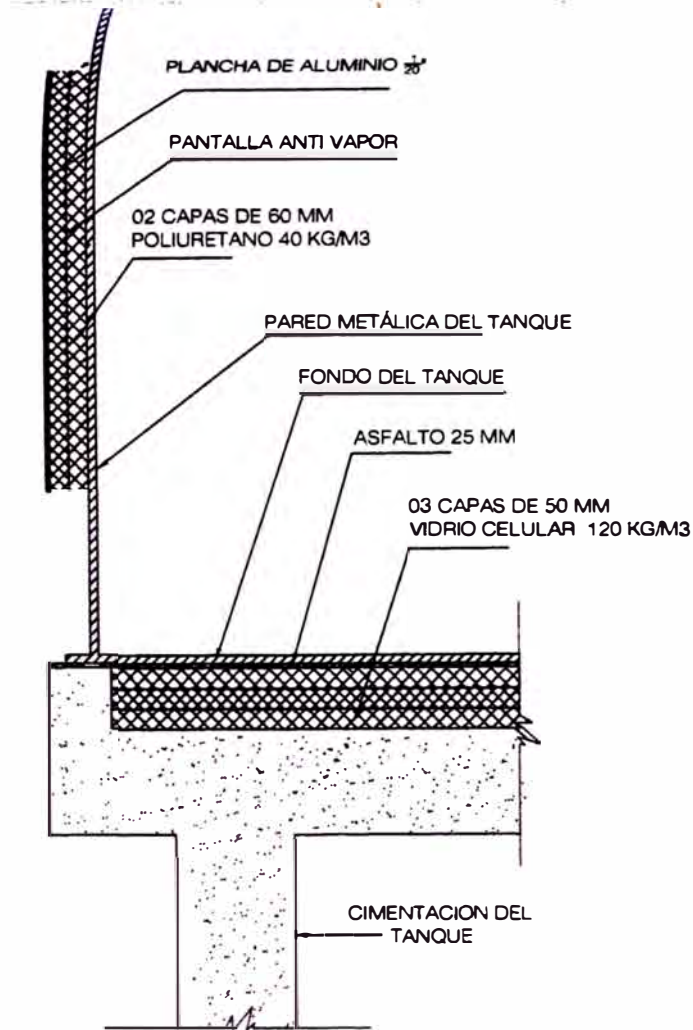
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
PROYECTO DE INGENIERIA PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO

PROYECTO: TANQUE DE 10000 LITROS X 10000 LITROS

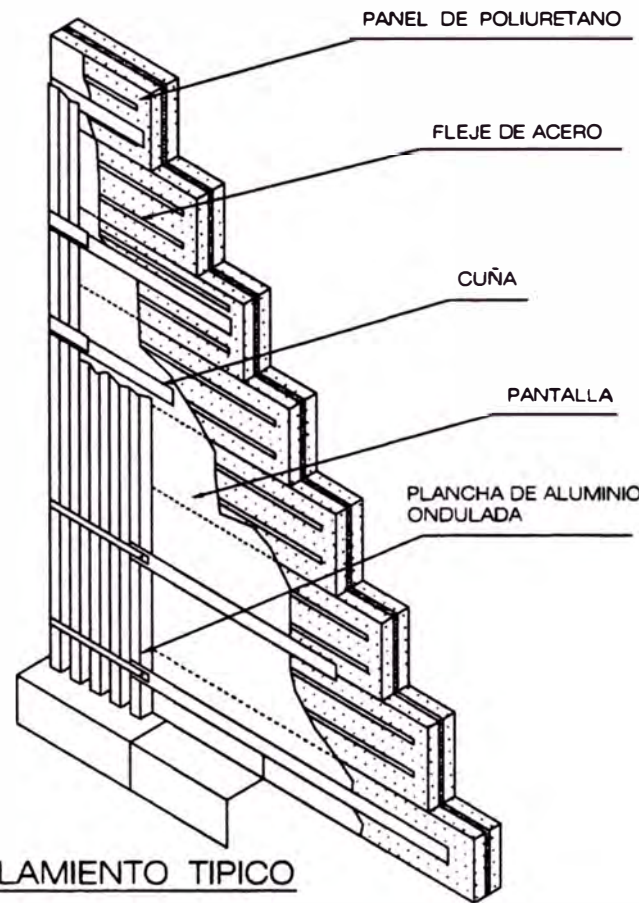
TITULO: DETALLE DE ACCESORIOS DEL CASCO Y TECHO

CATEGORIA	DESIGNADO	ELABORADO	REVISADO
AREA	DESIGNADO	ELABORADO	REVISADO
FECHA:	LABORADO	FORMADO	ESCALA
OCURRIER	80	80	80
FACULTAD:	DIAGNOSTIC	LIBA	Nº DE PLANO:
			1A-008

PLANO No.	TITULO	FECHA	ELABORADO	REVISADO	REVISADO



AISLAMIENTO DEL FONDO
ESCALA 1 / 12.5



AISLAMIENTO TIPICO
ESCALA 1 / 12.5

ESPECIFICACION TÉCNICA DEL AISLAMIENTO TÉRMICO

CASCO

- 2 CAPAS DE 60 MM DE ESPESOR C/U. MATERIAL POLIURETANO
- PANTALLA ANTI VAPOR
- REVESTIMIENTO EXTERNO CHAPAM DE ALUMINIO ESPESOR 1/20 PULG

TECHO

- 2 CAPAS DE 100 MM C/U MATERIAL LANA DE VIDRIO
- 1 CUBIERTA EXTERNA DE ALUMINIO ESPESOR 1/20 PULG

PISO

- 3 CAPAS DE 50 MM C/U MATERIAL VIDRIO CELULAR
- 1 CAPA DE ASFALTO DE 25 MM DE ESPESOR

NOTAS

TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS EXCEPTO LAS INDICADAS
 ANTES DE COLOCAR LOS PANELES LAS SUPERFICIES SERA ARENADAS Y PINTADAS CON UN IMPRIMANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TITULO
PROFESIONAL DE: INGENIERO MECANICO

PROYECTO:

TANQUE DE 10000 TM Ø30679mm H: 21000mm

TITULO:

DETALLE DEL AISLAMIENTO TÉRMICO

CATEGORÍA:

MECÁNICO

DISEÑADO:

G.S.R.

REV SADO:

ÁREA:

INGENIERÍA

DIBUJADO:

G.S.R.

APROBADO:

FECHA:

OCTUBRE 2012

LÁMINA:

08

FORMATO:

A-3

ESCALA:

IND.

REVISIÓN:

A

FACULTAD:

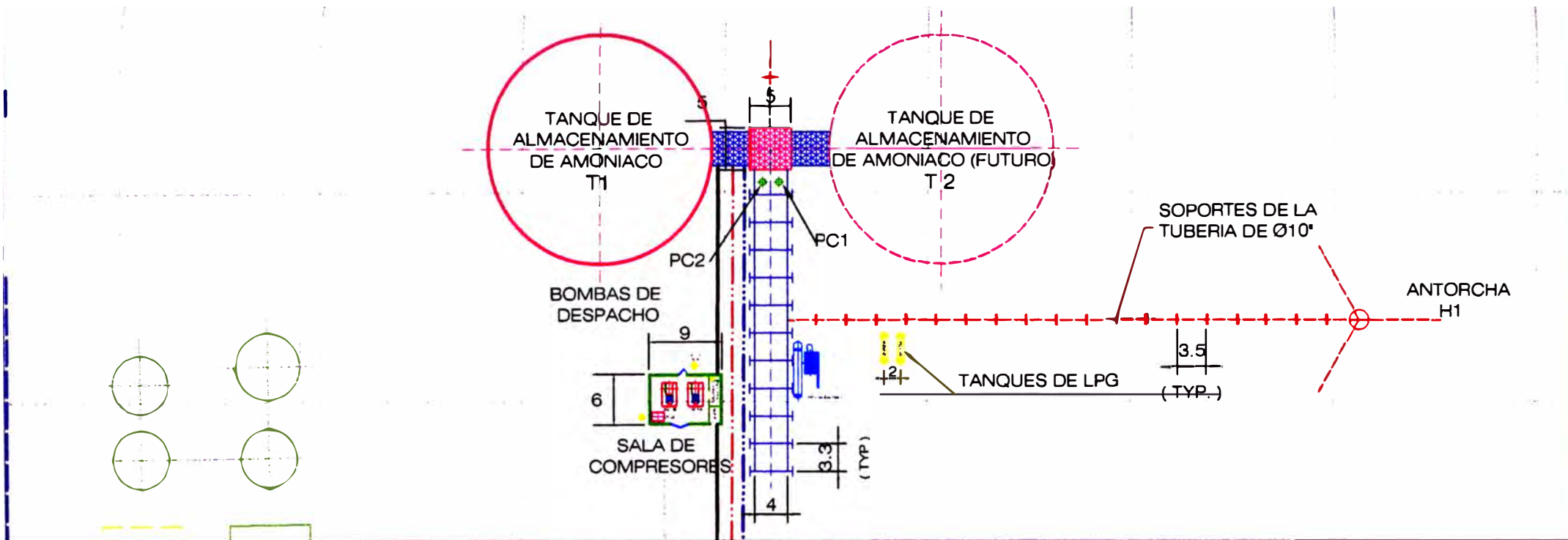
MECÁNICA A

DIRECCIÓN:

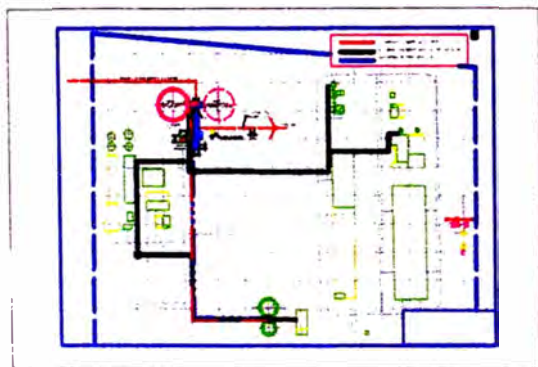
Nº DE PLANO:

TA-008

PLANO No .	TITULO	No .	FECHA	DIBUJO	REVISO	DESCRIPCION
	REFERENCIAS	REVISIONES / MODIFICACIONES				



LAY OUT DEL TANQUE DE AMONIACO



PLANO LLAVE

LEYENDA DE LÍNEAS

	TUBERIA DE AMONIACO LIQUIDO Ø 2"
	TUBERIA DE AMONIACO GASEOSO Ø 10" - 1.2 Kg. /cm ²
	RED GAOMETRICA Ø 10" 25cm H ₂ O

NOTAS

1.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS EXCEPTO LAS INDICADAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TITULO
PROFESIONAL DE: INGENIERO MECANICO**

PROYECTO:

TANQUE DE 10 000TM Ø30679xH21000

TITULO:

DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS DE PLANTA

CATEGORIA:

GENERAL

DISEÑADO:

G.S.R.

REVISADO:

ÁREA:

INGENIERIA

DIBUJADO:

G.S.R.

APROBADO:

FECHA:

OCTUBRE 2012

LÁMINA:

10

FORMATO:

A-2

ESCALA:

IND.

REVISIÓN:

A

FACULTAD:

MECÁNICA

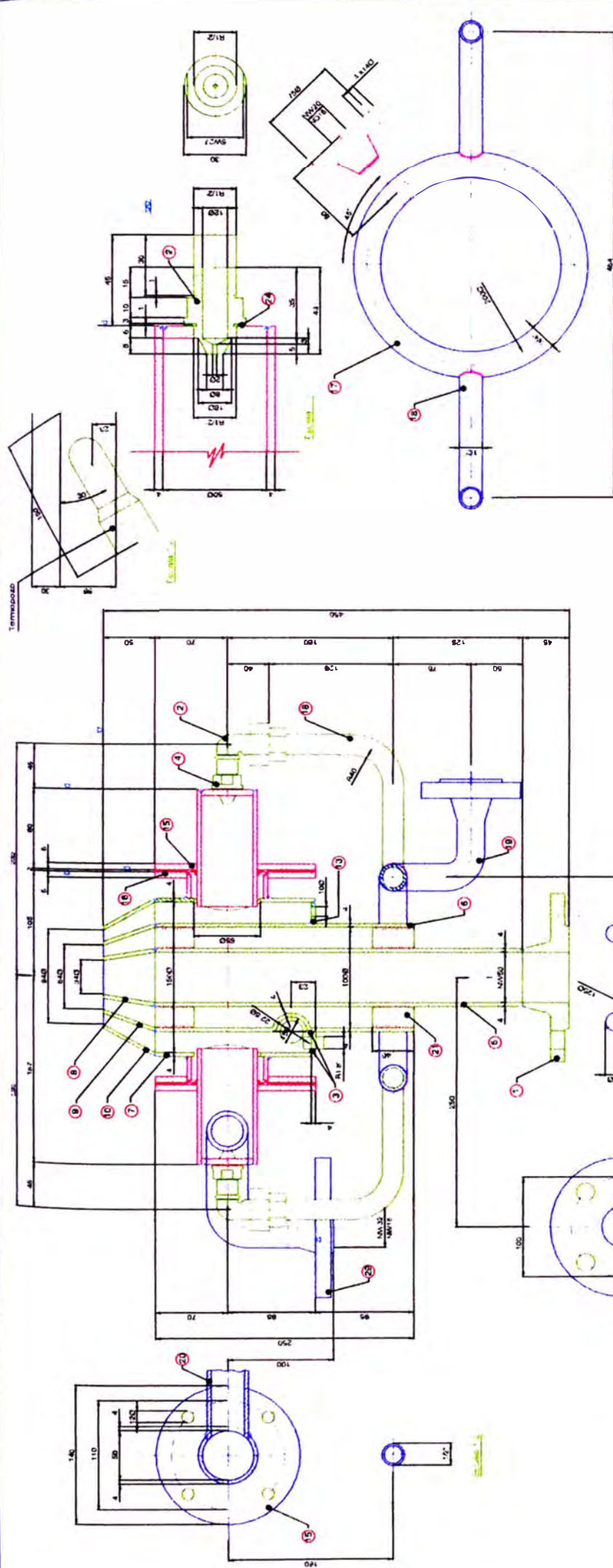
DIRECCIÓN:

LIMA

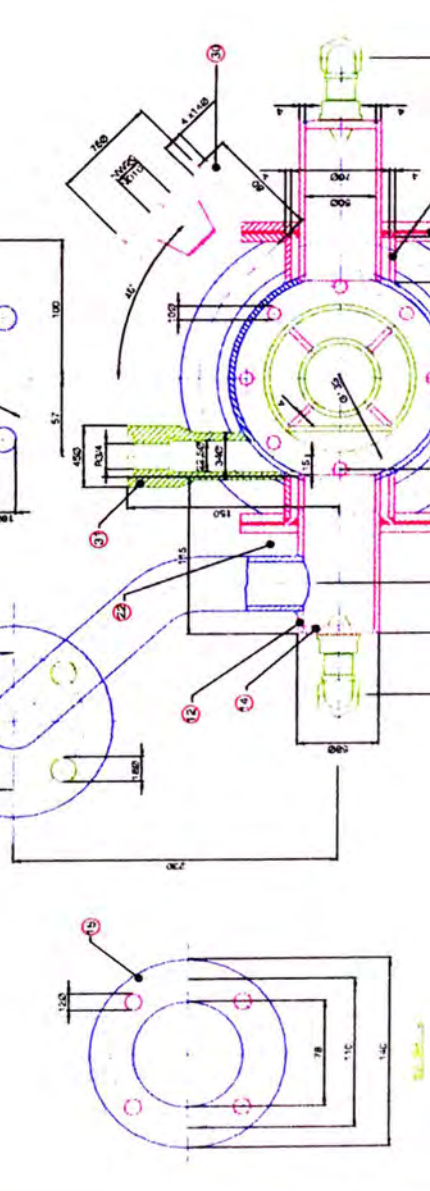
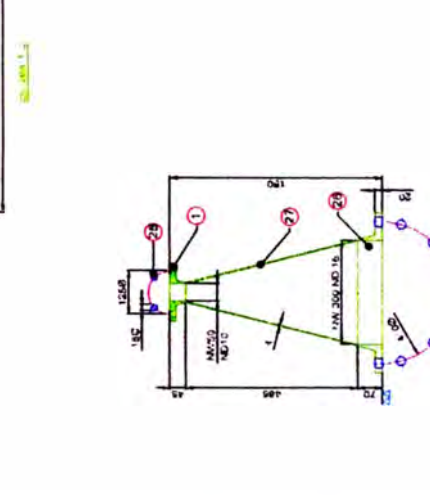
N° DE PLANO:

TA-010

PLANO No.	TITULO	No.	FECHA	DIBUJO	REVISO	DESCRIPCIÓN
	REFERENCIAS	REVISIONES / MODIFICACIONES				



ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR
1	TERAPISTAS	150	M			
2	BRIDA	10	DN 250			
3	BRIDA	10	DN 150			
4	CONO	10	DN 150			
5	BRIDA	10	DN 150			
6	BRIDA	10	DN 150			
7	BRIDA	10	DN 150			
8	BRIDA	10	DN 150			
9	BRIDA	10	DN 150			
10	BRIDA	10	DN 150			
11	BRIDA	10	DN 150			
12	BRIDA	10	DN 150			
13	BRIDA	10	DN 150			
14	BRIDA	10	DN 150			
15	BRIDA	10	DN 150			
16	BRIDA	10	DN 150			
17	BRIDA	10	DN 150			
18	BRIDA	10	DN 150			
19	BRIDA	10	DN 150			
20	BRIDA	10	DN 150			
21	BRIDA	10	DN 150			
22	BRIDA	10	DN 150			
23	BRIDA	10	DN 150			
24	BRIDA	10	DN 150			
25	BRIDA	10	DN 150			
26	BRIDA	10	DN 150			
27	BRIDA	10	DN 150			
28	BRIDA	10	DN 150			
29	BRIDA	10	DN 150			
30	BRIDA	10	DN 150			
31	BRIDA	10	DN 150			



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FIM
 PROYECTO TANQUE DE 10 000 M³ O 30678 X H2 1000

DETALLE DEL QUEMADOR NW 50

FECHA: 10/08/2011
 ESCALA: 1:1
 Nº DI - 012

APENDICE II

Apéndice 2.1

Apéndice 2.2

Apéndice 2.2 A

Apéndice 2.3

TABLA 2.1 ESTRUCTURA DE COSTOS UNITARIOS DE PRODUCCION DE AMONIACO ANHIDRO (\$/Ton)

CONCEPTOS	PRECIO PETROLEO	ISC	PRECIO PETROLEO	ISC	PRECIO PETROLEO	ISC	PRECIO PETROLEO	ISC
	0.29 \$/Gln	0%	0.60 \$/Gln	16%	1.68 \$/Gln	50%	1.68 \$/Gln	134%
MATERIAS PRIMAS								
Petroleo Residual 6	29.82		62.12		172.56		172.56	
Impuesto Selectivo al Consumo (ISC)	0.00		9.94		86.28		231.23	
Acido Sulfurico diluido	0.12		0.25		0.71		0.71	
Catalizadores	1.28		1.28		1.28		1.28	
MANO DE OBRA								
Sueldos y Beneficios Sociales	24.37		24.37		24.37		24.37	
Salarios y Beneficios Sociales	36.90		36.90		36.90		36.90	
GASTOS GENERALES DE FABRICACION								
Combustibles	0.25		0.25		0.25		0.25	
Energia Electrica Contratada	0.26		0.53		1.48		1.48	
Agua	1.48		1.48		1.48		1.48	
Fletes	3.37		3.37		3.37		3.37	
Otros gastos de fabricacion	14.32		16.89		19.10		19.10	
Parada Programada de Mantenimiento	58.20		68.45		72.14		72.14	
Depreciacion	5.04		5.04		5.04		5.04	
Parada Imprevista	19.95		19.95		19.95		19.95	
Seguros y Gastos generales	18.74		18.74		18.74		18.74	
TOTAL COSTO DE PRODUCCION	214.10		269.57		463.65		608.60	
Precio del Amoniaco Importado (FOB) Venezuela	135.00							
Flete Transporte Maritimo Venezuela - Callao:	30.00							
Seguro 5% (C&F)	8.00							
Precio (CIF) Puerto del Callao	173.00							
Arancel Pacto Andino 12%	20.76							
Manejo Portuario 10%	17.30							
Documentacion de Desaduanaje 2%	3.46							
Precio del Amoniaco Callao US\$/Tonelada	214.52							

FUENTE: Elaborado por el Area de Comercializacion Nitratos

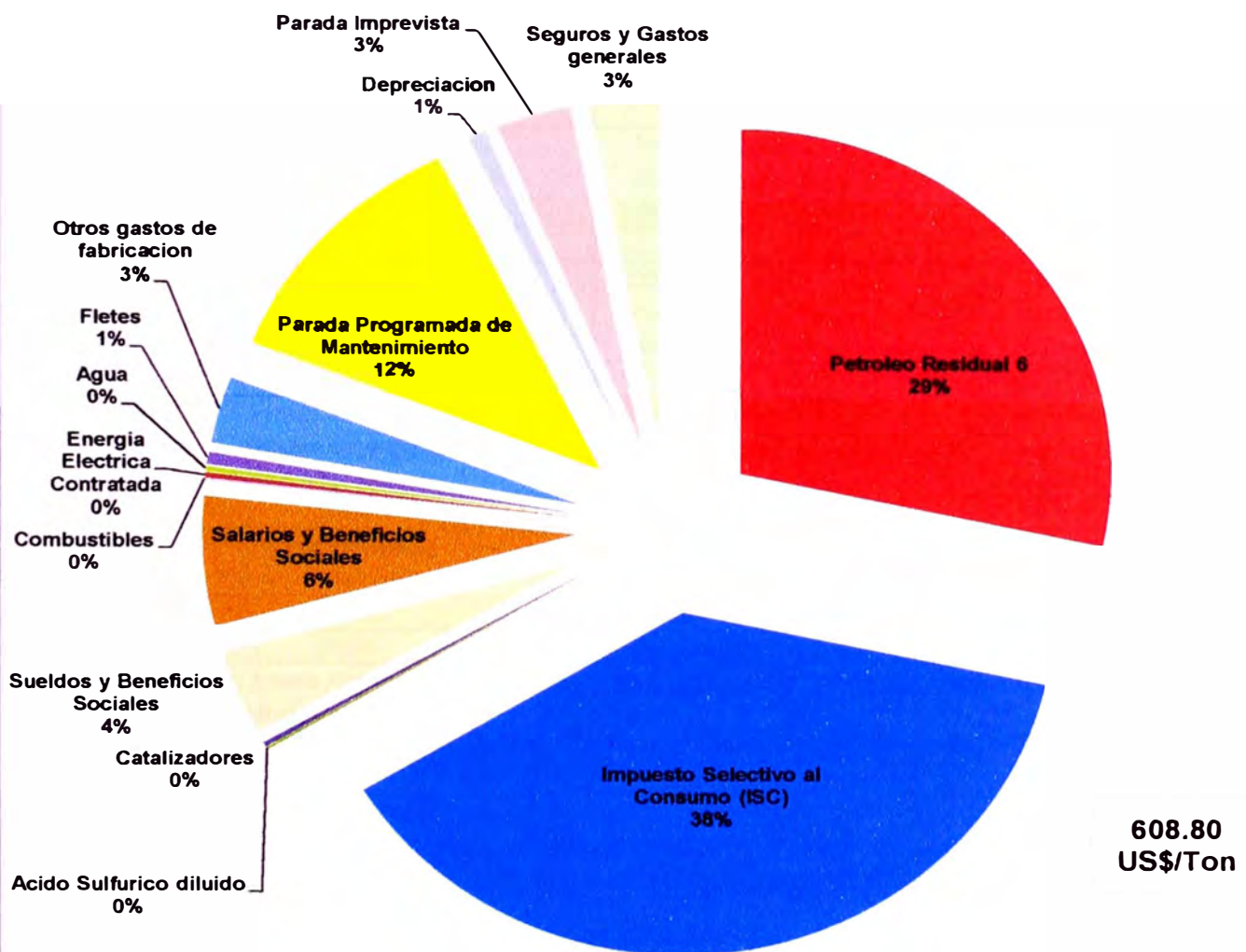


FIGURA 2.6 ESTRUCTURA DE COSTOS DE PRODUCCION DE AMONIACO

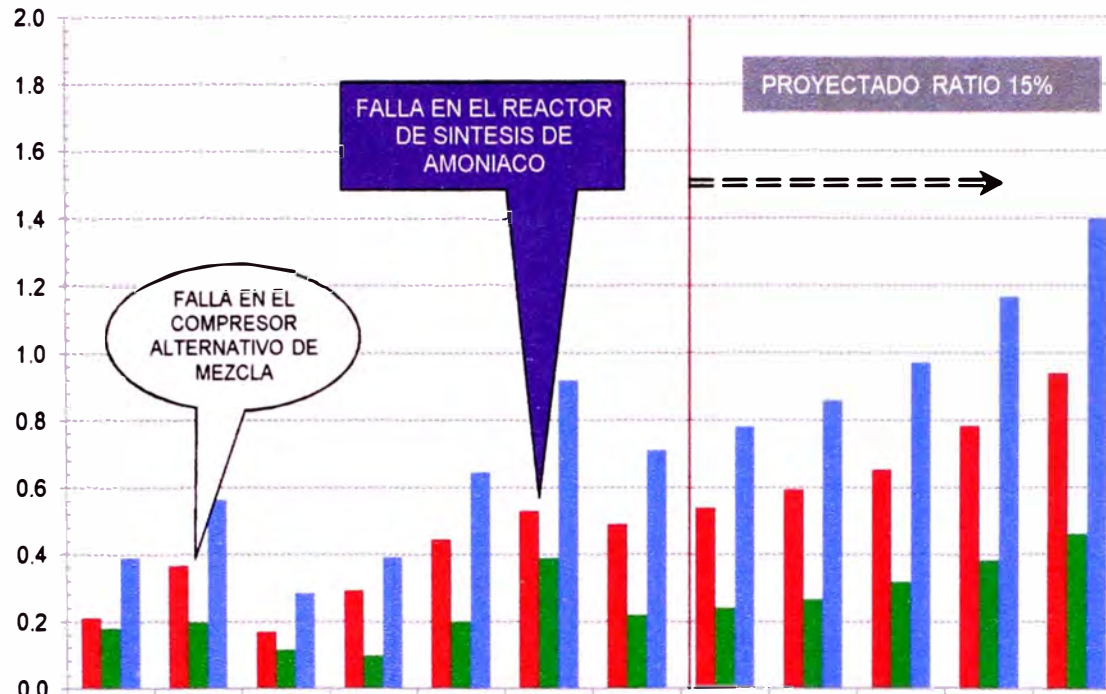
TABLA 2.2 GASTOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS (US\$)

AÑOS/PROCESOS	I TRIM	II TRIM	III TRIM	IV TRIM	TOTAL
2001					
Hasta Amoniaco	94,561	30,345	10,840	74,829	210,574
Despues de amoniaco	58,351	17,255	7,700	96,474	179,779
TOTAL	152,912	47,600	18,540	171,302	390,354
2002					
Hasta Amoniaco	38,571	4,655	50,208	272,811	366,245
Despues de amoniaco	23,801	2,647	35,662	136,203	198,313
TOTAL	62,373	7,301	85,870	409,015	564,558
2003					
Hasta Amoniaco	136,182	8,680	12,004	13,085	169,950
Despues de amoniaco	84,035	4,935	8,526	18,779	116,275
TOTAL	220,217	13,615	20,529	31,864	286,225
2004					
Hasta Amoniaco	79,264	45,463	12,045	156,522	293,294
Despues de amoniaco	22,441	25,852	8,556	41,523	98,372
TOTAL	128,176	71,315	20,601	194,516	414,607
2005					
Hasta Amoniaco	150,280	49,117	12,203	233,849	445,449
Despues de amoniaco	46,258	27,929	8,668	117,330	200,185
TOTAL	196,538	77,046	20,870	351,179	645,634
2006					
Hasta Amoniaco	165,893	49,117	12,203	301,974	529,187
Despues de amoniaco	62,340	27,929	8,668	290,853	389,790
TOTAL	228,233	77,046	20,870	592,827	918,977
2007					
Hasta Amoniaco	165,308	54,029	13,423	257,234	489,994
Despues de amoniaco	50,884	30,722	9,534	129,063	220,203
TOTAL	216,192	84,751	22,958	386,297	710,197
2008					
Hasta Amoniaco	181,839	59,431	14,766	282,958	538,994
Despues de amoniaco	55,972	33,794	10,488	141,969	242,223
TOTAL	237,811	93,226	25,253	424,927	781,217
2009					
Hasta Amoniaco	200,023	65,375	16,242	311,253	592,893
Despues de amoniaco	61,569	37,174	11,536	156,166	266,446
TOTAL	261,592	102,548	27,779	467,419	859,339
2010					
Hasta Amoniaco	220,025	71,912	17,866	342,379	652,182
Despues de amoniaco	73,883	44,609	13,844	187,399	319,735
TOTAL	293,908	116,521	31,710	529,778	971,917
2011					
Hasta Amoniaco	264,030	86,295	21,440	410,855	782,619
Despues de amoniaco	88,660	53,530	16,613	224,879	383,682
TOTAL	352,690	139,825	38,052	635,734	1,166,300
2012					
Hasta Amoniaco	316,836	103,553	25,728	493,026	939,142
Despues de amoniaco	106,392	64,236	19,935	269,855	460,418
TOTAL	423,228	167,790	45,663	762,880	1,399,561

Incluyen gastos por paradas imprevistas, mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, repuestos

FUENTE : Subgerencia de Contabilidad y Costos Nitratos

**COSTOS DE MANTENIMIENTO
(MILLONES DE US\$)**



	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
■ MTTO ANTES NH3	0.211	0.366	0.170	0.293	0.445	0.529	0.490	0.539	0.593	0.652	0.783	0.939
■ MTTO DESPUES NH3	0.180	0.198	0.116	0.098	0.200	0.390	0.220	0.242	0.266	0.320	0.384	0.460
■ COSTO TOTAL MTTO	0.390	0.565	0.286	0.392	0.646	0.919	0.710	0.781	0.859	0.972	1.166	1.400

TABLA 2.2A INVERSIONES DE LA PLANTA DE AMONIACO PARA ASEGURAR UNA CONTINUIDAD OPERATIVA 10 AÑOS
(MILES DE US\$)

PLANTA/PROCESO	EQUIPO	INVERSIÓN	MONTO	TOTAL
Tratamiento de Agua	Pozos de agua dulce	Perforación nuevos pozos	100	
Tratamiento de Agua	Torre de Enfriamiento agua reciclo	Cambio de estructuras madera	120	220
Central Termoelectrica	G1 Alternador excitatriz 8000 Kw	Rebobinado	60	
Central Termoelectrica	F3 Condensador de turbina	Cambio de tubos inox. (2)	380	
Central Termoelectrica	H1 Caldera de vapro Breda	Lavado Qulmico (1)	160	
Central Termoelectrica	H2 Caldera de vapro Combustión	Cambio sobrecalentador	300	
Central Termoelectrica	T1 Turbina Vapor	Nuevo rotor (2)	648	1,548
Cracking de Petroleo	Gasógenos H1-2	Reparación Refractario (1)	180	
Cracking de Petroleo	Columna C2	Cambio nueva (1)	52	232
Desulfuración	Columna C1	Cambio platos inoxidable	45	
Desulfuración	Bombas PC1-2	Reemplazo	40	85
Conversión	Bomba PC2	Reemplazo (1)	6	
Conversión	Intercambiador de calor F1-2-3-4	Cambio de tubos (1)	175	
Conversión	H1 Convertidor	Reemplazo de equipo	125	306
Lavado de gas con CO ₂	C1 Columna de lavado de CO ₂	Cambio de platos Aluminio	150	
Lavado de gas con CO ₂	C4 Torre de enfriamiento y degasación	Cambio general madera esp.	95	
Lavado de gas con CO ₂	Grupo Motor Electrico - Bomba - Turbina	Reemplazo de turbina.	94	339
Fraccionamiento de Aire	A1-Aparato Linde	Reemplazo turbina de expansion	140	
Fraccionamiento de Aire	A1-Aparato Linde	Reemplazo Interna TR181 (2)	350	
Fraccionamiento de Aire	G1-G2 Gasómetros para Nitrog y Oxig	Mantenimiento general	95	
Fraccionamiento de Aire	CR1-Turbo Compresor de aire	Reparación rotor (1)	120	705
Fraccionamiento de Gas	A1 Aparato Linde H391	Reparacion y repuestos	980	
Fraccionamiento de Gas	Intercambiador de calor N° 26	Reemplazo	105	
Fraccionamiento de Gas	Compresores alternativos CA1-CA2	Mant con cambio repuestos	155	1,240
Sintesis de Amoniac	A1-Columna reaccion de Sintesis	Reemplazo cesto portacataliz(1)	620	
Sintesis de Amoniac	CA1-Compresor para gas mezcla	Cambio cilindro 1 etapa(2)	210	
Sintesis de Amoniac	CA3-Comp. de circulación de gas mezcla	Reemplazo de equipo	236	1,066
Servicios de Amoniac	G1-Gasómetro NH ₃	Mantenimiento general	62	
Servicios de Amoniac	CA1-Compresor alternativo NH ₃	Mantenimiento general	20	82
Servicios Electricos	Transformadores 1000 KVA	Mantenimiento y reparacion(1)	22	
Servicios Electricos	Motores eléctricos/170/171/180/171/ 5KV	Reposición	280	
Servicios Electricos	Calentadores electricos de proceso	Reemplazo	140	
Servicios Electricos	Cables electricos de energia subterranos	Reemplazo	180	622
Instrumentación planta	Instrumentos para todas las unidades NH ₃	Reemplazo(1)	650	650
Laboratorio Qulmico	Cromatografo gases	Nueva Adquisición(1)	65	65
Servicios generales	Tuberias aereas y subterranas	Reemplazo(1)	450	450
TOTAL GENERAL				7,610

(1): Rubro considerado en el programa de inversión periodo 2005-2015

(2): Montos estimados en base al valor de reposición del equipamiento total

FUENTE: Gerencia de Mantenimiento y Planeamiento

TABLA 2.4 PRODUCCIÓN TOTAL DE AMONIACO EN EL PERÚ (TM)
AÑO BASE= 1991

USO AGRÍCOLA	UNIDAD	PRODUCTO	TM	EQUIV (NH ₃)
	Nitratos		Nitrato Amonio Agrícola	30,900.00	11,680.00
		Sulfato Amonio Agrícola	12,689.00	2,944.00
Cachimayo		Nitrato Amonio Agrícola	19,000.00	7,182.00
SUB TOTAL AGRÍCOLA:				21,806.00
USO INDUSTRIAL	Nitratos	Nitrato Amonio Técnico	9,600.00	3,744.00
		Ácido Nítrico, 53%	600.00	115.00
		Ácido Nítrico Concentrado 99%	1,500.00	537.00
		Amoniacó Anhidro	800.00	800.00
		Amoniaco Solución	180.00	180.00
		Gas de Síntesis	3 x 10 ⁶ m ³	1,500.00
	Cachimayo	Nitrato de Amonio Técnico		780.00
SUB TOTAL INDUSTRIAL:				7,656.00
TOTAL GENERAL:				29,462.00

FUENTE: Nitratos, Industrial Cachimayo, Gerencia de Operaciones

TABLA 2.5 OFERTA TOTAL DE AMONIACO EN EL PERÚ (TM)
(NITRATOS Y CAHIMAYO)

AÑO	CAPACIDADES DE PLANTAS	TM
1991	75x320+100x320	56,000
1992	75x320+100x320	56,000
1993	75x320+100x320	56,000
1994	75x320+100x320	56,000
1995	75x320+100x320	56,000
1996	75x320+100x320	56,000
1997	75x320+100x320	56,000
1998	75x320+100x320	56,000
1999	75x320+100x320	56,000
2000	75x320+100x320	56,000
2001	75x320+100x320	56,000
2002	75x320+100x320	56,000
2003	75x320+100x320	56,000
2004	75x320+100x320	56,000
2005	75x320+100x320	56,000
2007	75x320+100x320	56,000
2008	75x320+100x320	56,000
2009	75x320+100x320	56,000
2010	75x320+100x320	56,000
2011	75x320+100x320	56,000
2012	75x320+100x320	56,000

FUENTE: Nitratos, Industrial Cachimayo, Gerencia de Ingeniería

TABLA 2.6 DEMANDA TOTAL DE AMONIACO PARA LA AGRICULTURA, MINERIA, Y USO INDUSTRIAL

AÑO	Nitrogeno uso Agrícola		Nitrato de Amonio Anfo Exsa		Nitrato de Amonio Tecnico Minería		Amoniaci Anhidro	Acido Nítrico 53%		Acido Nítrico 98.5%		Solución de Amoniaci		Total Demanda Amoniaci TM
			Mercado Nacional					TM (c)	TM NH ₃	TM (d)	TM NH ₃	Litros (e)	TM NH ₃	
	TM (a) N ₂	TM NH ₃	TM (b) Nitrato	TM NH ₃	TM (f) NH ₃	TM (g) Acido	TM (h) Acido								TM (i) NH_{3}
1991	83,781	101,800	19,820	8,919	8,423	3,790	756	615	96	1,235	364	168,779	46	115,771
1992	101,147	122,900	24,780	11,151	8,273	3,723	666	666	104	1,274	376	178,215	48	138,968
1993	109,294	132,800	26,580	11,961	6,561	2,952	729	532	83	1,248	368	260,999	70	148,964
1994	104,356	126,800	28,780	12,951	6,490	2,920	749	602	94	1,218	359	327,645	88	143,962
1995	91,271	110,900	29,100	13,095	9,040	4,068	661	620	97	1,284	379	344,027	93	129,292
1996	85,921	104,400	30,000	13,500	11,120	5,004	809	652	102	1,384	408	386,016	104	124,327
1997	107,895	131,100	32,000	14,400	11,430	5,143	800	660	103	1,648	486	421,850	114	152,146
1998	113,327	137,700	34,000	15,300	12,550	5,648	815	680	106	1,806	533	456,238	123	160,225
1999	119,006	144,600	36,000	16,200	13,430	6,044	830	695	108	1,962	579	491,857	133	168,494
2000	124,931	151,800	38,000	17,100	12,135	5,461	850	710	111	2,170	640	526,930	142	176,104
2001	131,186	159,400	40,000	18,000	12,164	5,474	865	730	114	2,378	702	561,472	152	184,706
2002	137,688	167,300	42,000	18,900	12,218	5,498	840	745	116	2,608	769	596,876	161	193,585
2003	144,601	175,700	44,000	19,800	12,800	5,760	870	765	119	2,859	843	631,210	170	203,263
2004	151,926	184,600	46,000	20,700	13,388	6,025	910	780	122	3,135	925	666,854	180	213,462
2005	159,497	193,800	48,000	21,600	14,007	6,303	860	795	124	3,437	1,014	701,256	189	223,890
2007	167,398	203,400	50,000	22,500	14,656	6,595	890	815	127	3,770	1,112	736,895	199	234,823
2008	184,138	223,740	57,500	25,875	16,854	7,584	910	925	144	3,850	1,136	745,000	201	259,591
2009	202,552	246,114	66,125	29,756	19,383	8,722	915	940	147	3,912	1,154	765,000	207	287,015
2010	222,807	270,725	76,044	34,220	22,290	10,030	945	980	153	3,945	1,164	778,900	210	317,448
2011	245,088	297,798	87,450	39,353	25,633	11,535	890	870	136	3,960	1,168	785,960	212	351,092
2012	269,596	327,578	104,940	47,223	29,478	13,265	978	910	142	3,987	1,176	896,543	242	390,604

(a) Índice estequiométrico = 0.823 Coeficiente de Conversión de Amoniaci a Nitrogeno Equivalente

(b) Coeficiente 0.450 Ton NH₃/Ton NAT.

(c) Coeficiente 0.156 Ton NH₃/Ton Ácido Nítrico al 53%

(d) Coeficiente 0.295 Ton NH₃/Ton Acido Nítrico al 98%

(e) Coeficiente 0.270 Ton NH₃/1000 litros de solución

(f) Incluye la importaciones

Crecimiento anual 6% Nitrogeno Fertilizante y 15% Nitrato en Minería

FUENTE: Estudio de Mercado Gerencia de Comercialización y elaboración propia

**TABLA 2.7 DEMANDA INSATISFECHA TOTAL DE AMONIACO
MERCADO NACIONAL**

AÑO	DEMANDA TOTAL DE AMONIACO		OFERTA TOTAL DE AMONIACO		DEMANDA INSATISFECHA	
	TM N ₂	TM NH ₃	TM N ₂	TM NH ₃	TM N ₂	TM NH ₃
1991	95,279	115,771	46,088	56,000	49,191	59,771
1992	114,371	138,968	46,088	56,000	68,283	82,968
1993	122,597	148,964	46,088	56,000	76,509	92,964
1994	118,480	143,962	46,088	56,000	72,392	87,962
1995	106,408	129,292	46,088	56,000	60,320	73,292
1996	102,321	124,327	46,088	56,000	56,233	68,327
1997	125,216	152,146	46,088	56,000	79,128	96,146
1998	131,865	160,225	46,088	56,000	85,777	104,225
1999	138,671	168,494	46,088	56,000	92,583	112,494
2000	144,934	176,104	46,088	56,000	98,846	120,104
2001	152,013	184,706	46,088	56,000	105,925	128,706
2002	159,320	193,585	46,088	56,000	113,232	137,585
2003	167,286	203,263	46,088	56,000	121,198	147,263
2004	175,679	213,462	46,088	56,000	129,591	157,462
2005	184,262	223,890	46,088	56,000	138,174	167,890
2007	193,260	234,823	46,088	56,000	147,172	178,823
2008	213,643	259,591	46,088	56,000	167,555	203,591
2009	236,213	287,015	46,088	56,000	190,125	231,015
2010	261,259	317,448	46,088	56,000	215,171	261,448
2011	288,949	351,092	46,088	56,000	242,861	295,092
2012	321,467	390,604	46,088	56,000	275,379	334,604

CAPACIDAD DE PLANTA DE AMONIACO 500 T/D

CAPACIDAD DE PLANTA DE AMONIACO 1000 T/D

558.8

1045.6

FUENTE: Estudio de Mercado-Gerencia de Comercializacion

APENDICE III

Apéndice 3.1

TABLA 3.1 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL MAONIACO

Peso Molecular

Peso Molecular: 17.03 g/mol
Símbolo Molecular: NH₃

Fase Sólida

Punto de fusión: -78 °C
Calor latente de fusión (1,013 bar, en el punto triple): 331.37 kJ/kg

Fase Líquida

Densidad del líquido (1.013 bar en el punto de ebullición): 682 kg/m³
Equivalente Líquido/Gas (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 947 vol/vol
Punto de ebullición (1.013 bar): -33.5 °C
Calor latente de vaporización (1.013 bar en el punto de ebullición): 1371.2 kJ/kg
Presión de vapor (a 21 °C o 70 °F): 8.88 bar

Punto Crítico

Temperatura Crítica: 132.4 °C
Presión Crítica: 112.8 bar

Fase gaseosa

Densidad del gas (1.013 bar en el punto de ebullición): 0.86 kg/m³
Densidad del Gas (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 0.73 kg/m³
Factor de Compresibilidad (Z) (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 0.9929
Gravedad específica (aire = 1) (1.013 bar y 21 °C (70 °F)): 0.597
Volumen Específico (1.013 bar y 21 °C (70 °F)): 1.411 m³/kg
Capacidad calorífica a P. constante (Cp) (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 0.037 kJ/(mol.K)
Capacidad calorífica a V. constante (Cv) (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 0.028 kJ/(mol.K)
Razón de calores específicos (Gama:Cp/Cv) (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 1.309623
Viscosidad (1.013 bar y 0 °C (32 °F)): 0.000098 Poise
Conductividad Térmica (1.013 bar y 0 °C (32 °F)): 22.19 mW/(m.K)

Misceláneos

Solubilidad en agua (1.013 bar y 0 °C (32 °F)) : 862 vol/vol
Temperatura de Autoignición : 630 °C

APENDICE IV

Apéndice 4.1+Grafico 4.1

Apéndice 4.2

Apéndice 4.3

Apéndice 4.4

Apéndice 4.5

Apéndice 4.6

Apéndice 4.7

Apéndice 4.8

Apéndice 4.9

Apéndice 4.10

Apéndice 4.11

Apéndice 4.12

Apéndice 4.13

Apéndice 4.14

Apéndice 4.15

Apéndice 4.16

ANEXO 4.1 CUADRO COMPARATIVO

PRIMERA ALTERNATIVA:

Tamaño del tanque (TON)	6000	Requerimiento (TM/dia)	75
Inversion Inicial \$	1194750	Stock de seguridad	1500
Depreciacion/año \$	119475	Primer pedido	5400
Capacidad real max TM	5400	Demas pedidos	3900
Valor de rescate	0	Duracion stock (dias)	50
Credito Tributario:		Costo de Amoniaco \$/TM	90
Impuesto a la renta	35%		
V.A.N. Credito Tributario	236577		

V.A.N. (Miles de \$)		
FLETE \$	COSTOS DE OPERACIÓN	Inversion (*)
40	-20346	-21304
50	-21911	-22869
60	-23476	-24434
70	-25041	-25999
80	-26606	-27564
90	-28171	-29130
100	-29736	-30695
110	-31302	-32260
120	-32867	-33825
130	-34432	-35390

V.A.N. (*) = Inv. Inicial + VAN cred. Tributario + VAN Costos de Operación

SEGUNDA ALTERNATIVA:

Tamaño del tanque (TON)	10000	Requerimiento (TM/dia)	75
Inversion Inicial \$	1632560	Stock de seguridad	1500
Depreciacion/año \$	163256	Primer pedido	9000
Capacidad real max TM	9000	Demas pedidos	7500
Valor de rescate	0	Duracion stock (dias)	100
Credito Tributario:		Costo de Amoniaco \$/TM	90
Impuesto a la renta	35%		
V.A.N. Credito Tributario	323270		

V.A.N. (Miles de \$)		
FLETE \$	COSTOS DE OPERACIÓN	Inversion (*)
40	-20099	-21408
50	-21645	-22954
60	-23191	-24500
70	-24737	-26047
80	-26283	-27593
90	-27829	-29139
100	-29375	-30685
110	-30922	-32231
120	-32468	-33777
130	-34014	-35323

V.A.N.(*) = Inv. Inicial + VAN cred. Tributario + VAN Costos de Operación

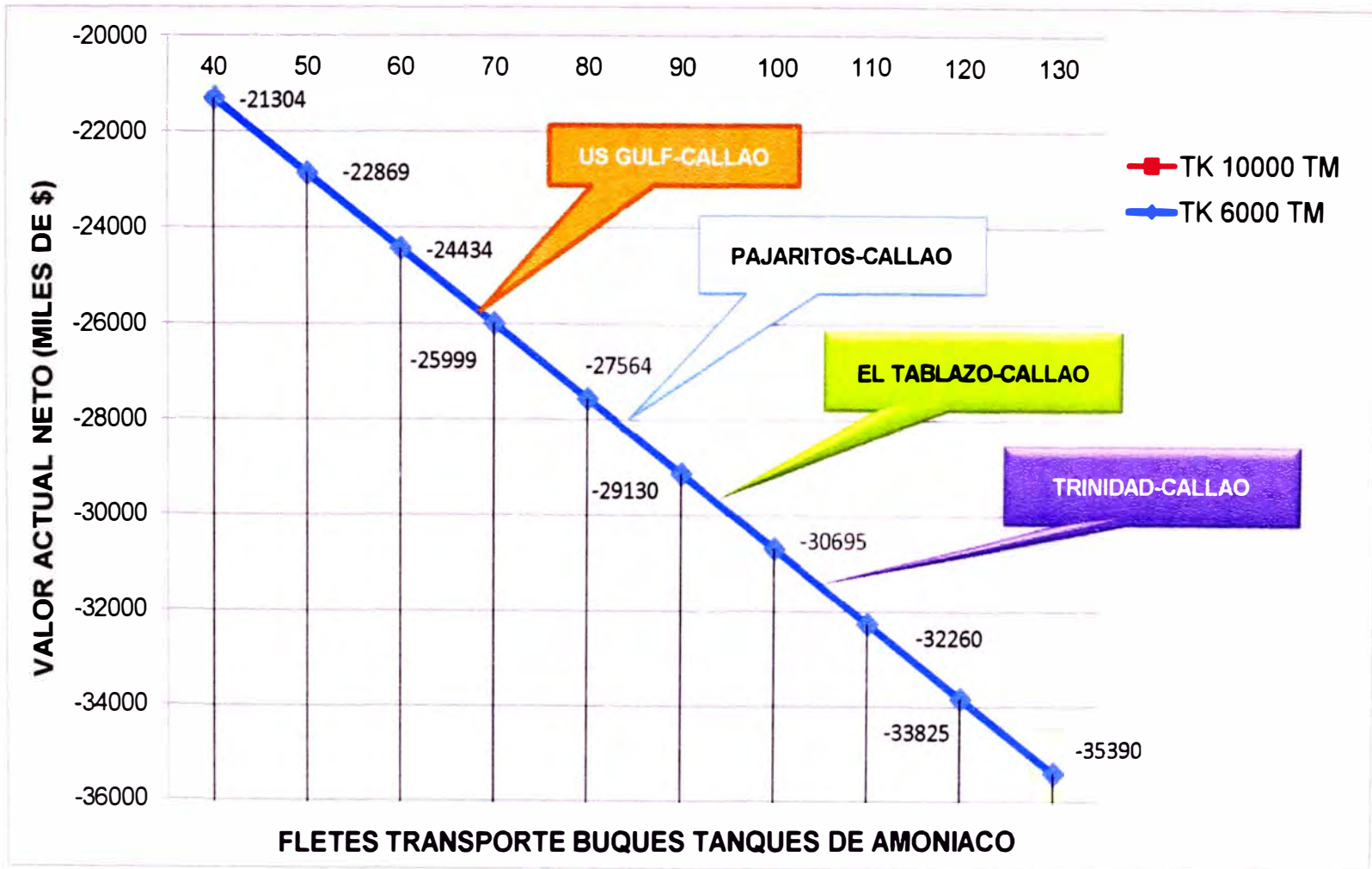


GRAFICO 4.1 VALOR ACTUAL NETO VS. FLETES



Designation: A 36/A 36M – 05

Standard Specification for Carbon Structural Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification² covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.5 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.6 For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved March 1, 2005. Published March 2005. Originally approved in 1960. Last previous edition approved in 2004 as A 36/A 36M – 04.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling
- A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application
- A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength
- A 325 Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength
- A 325M Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated 830 MPa Minimum Tensile Strength [Metric]
- A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes
- A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing
- A 502 Specification for Rivets, Steel, Structural
- A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts
- A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]
- A 1011/A 1011M Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural High Strength Low Alloy, and High Strength Low Alloy with Improved Formability
- A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use
- F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners

3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

4. General Requirements for Delivery

4.1 Structural products furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the specific structural product ordered, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

TABLE 1 Appurtenant Material Specifications

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

Material	ASTM Designation
Steel rivets	A 502, Grade 1
Bolts	A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6
High-strength bolts	A 325 or A 325M
Steel nuts	A 563 or A 563M
Cast steel	A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]
Forgings (carbon steel)	A 668, Class D
Hot-rolled sheets and strip	A 1011/A 1011M, SS Grade 36[250] Type 1 or Type 2 or A 1018/A 1018M SS Grade 36[250]
Cold-formed tubing	A 500, Grade B
Hot-formed tubing	A 501
Anchor bolts	F 1554

4.2 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into a finished structural product. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of a coil into a finished structural product. Such operations include decoiling, leveling or straightening, hot-forming or cold-forming (if applicable), cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 1—For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, two test results are to be reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding structural products produced from coil are described in Specification A 6/A 6M.

5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1½ in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over ½ in. [12.5 mm] in thickness and shapes with flange or leg thicknesses over 1 in. [25 mm] shall be semi-killed or killed.

7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.² [645 mm²] in cross section and bars, other than flats, less than ½ in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^a	Plates ^a					Bars ^a			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^aManganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].

^bFor each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes,^B and Bars:	
Tensile strength, ksi (MPa)	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi (MPa)	36 [250] ^C
Plates and Bars^{D,E}:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^ASee the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^BFor wide flange shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^CYield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^DElongation not required to be determined for floor plate.

^EFor plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Alternate Core Location

S32. Single Heat Bundles

S32.1 Bundles containing shapes or bars shall be from a single heat of steel.

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03a that may impact the use of this standard. (Approved March 1, 2005.)

(1) Paragraph 6.1 was revised.

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03a that may impact the use of this standard. (Approved April 1, 2004.)

(1) Table 2 has been revised to make Footnote B also apply to bars.

(2) Supplementary Requirement S32 was added.

 **A 36/A 36M – 05**

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Designation: A 193/A 193M – 05

Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting Materials for High-Temperature Service¹

This standard is issued under the fixed designation A 193/A 193M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification² covers alloy and stainless steel bolting material for pressure vessels, valves, flanges, and fittings for high-temperature service. The term *bolting material* as used in this specification covers bars, bolts, screws, studs, stud bolts, and wire. Bars and wire shall be hot-wrought. The material may be further processed by centerless grinding or by cold drawing. Austenitic stainless steel may be carbide solution treated or carbide solution treated and strain-hardened. When strain hardened austenitic steel is ordered, the purchaser should take special care to ensure that **Appendix XI** is thoroughly understood.

1.2 Several grades are covered, including ferritic steels and austenitic stainless steels designated B5, B8, and so forth. Selection will depend upon design, service conditions, mechanical properties, and high-temperature characteristics.

NOTE 1—The committee formulating this specification has included fifteen steel types that have been rather extensively used for the present purpose. Other compositions will be considered for inclusion by the committee from time to time as the need becomes apparent.

NOTE 2—For grades of alloy-steel bolting material suitable for use at the lower range of high-temperature applications, reference should be made to Specification **A 354**.

NOTE 3—For grades of alloy-steel bolting material suitable for use in low-temperature applications, reference should be made to Specification **A 320/A 320M**.

1.3 Nuts for use with this bolting material are covered in Section **13**.

1.4 Supplementary Requirements S1 through S10 are provided for use when additional tests or inspection are desired. These shall apply only when specified in the purchase order.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.22 on Steel Forgings and Wrought Fittings for Piping Applications and Bolting Materials for Piping and Special Purpose Applications.

Current edition approved June 1, 2005. Published June 2005. Originally approved in 1936. Last previous edition approved in 2004 as A 193/A 193M-04c.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications, see related Specification SA-193 in Section II of that Code.

1.5 This specification is expressed in both inch-pound units and in SI units. However, unless the order specifies the applicable *M* specification designation (SI units), the material shall be furnished to inch-pound units.

1.6 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

A 153/A 153M Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware

A 194/A 194M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High-Pressure or High-Temperature Service, or Both

A 320/A 320M Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting Materials for Low-Temperature Service

A 354 Specification for Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners

A 788 Specification for Steel Forgings, General Requirements

A 962/A 962M Specification for Common Requirements for Steel Fasteners or Fastener Materials, or Both, Intended for Use at Any Temperature from Cryogenic to the Creep Range

B 633 Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc on Iron and Steel

B 695 Specification for Coatings of Zinc Mechanically Deposited on Iron and Steel

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

- B 696** Specification for Coatings of Cadmium Mechanically Deposited
- B 766** Specification for Electrodeposited Coatings of Cadmium
- E 18** Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
- E 21** Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials
- E 112** Test Methods for Determining Average Grain Size
- E 139** Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials
- E 150** Practice for Conducting Creep and Creep-Rupture Tension Tests of Metallic Materials Under Conditions of Rapid Heating and Short Times⁴
- E 151** Practice for Tension Tests of Metallic Materials at Elevated Temperatures with Rapid Heating and Conventional or Rapid Strain Rates⁴
- E 292** Test Methods for Conducting Time-for-Rupture Notch Tension Tests of Materials
- E 328** Test Methods for Stress-Relaxation Tests for Materials and Structures
- E 381** Method of Macroetch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, and Forgings
- E 566** Practice for Electromagnetic (Eddy-Current) Sorting of Ferrous Metals
- E 709** Guide for Magnetic Particle Examination
- F 606** Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, and Rivets
- 2.2** *ANSI Standards:*⁵
 - B1.1** Screw Threads
 - B18.2.1** Square and Hex Bolts and Screws
 - B18.2.3.1M** Metric Hex Cap Screws
 - B18.3** Hexagon Socket and Spline Socket Screws
 - B18.3.1M** Metric Socket Head Cap Screws
- 2.3** *AIAG Standard:*⁶
 - AIAG B-5** 02.00 Primary Metals Identification Tag Application Standard

3. General Requirements and Ordering Information

3.1 Material supplied to this material specification shall conform to Specification **A 962/A 962M**. These requirements outline the testing and retesting methods and procedures, permissible variations in dimensions, and mass, quality and repair of defects, etc.

3.2 It is the purchaser's responsibility to specify in the purchase order all ordering information necessary to purchase the needed material. Examples of such information include, but are not limited to, the ordering information in Specification **A 962/A 962M** and the following:

3.2.1 Heat-treated condition (that is, normalized and tempered, or quenched and tempered, for the ferritic materials, and

carbide solution treated (Class 1), carbide solution treated after finishing (Class 1A), and carbide solution treated and strain-hardened (Classes 2, 2B and 2C), for the austenitic stainless steels; Classes 1B and 1C apply to the carbide solution-treated nitrogen-bearing stainless steels; Class 1D applies to material carbide solution treated by cooling rapidly from the rolling temperature),

3.2.2 Description of items required (that is, bars, bolts, screws, or studs),

3.2.3 Nuts, if required by purchaser, in accordance with **13.1**,

3.2.4 Supplementary requirements, if any, and

3.2.5 Special requirements, in accordance with **6.3**, **6.5.1**, **10.2**, **14.1**, and **15.1**.

3.3 *Coatings*—Coatings are prohibited unless specified by the purchaser (See Supplementary Requirement S13). When coated fasteners are ordered the purchaser should take special care to ensure that **Appendix X2** is thoroughly understood.

3.4 If the requirements of this specification are in conflict with the requirements of Specification **A 962/A 962M** the requirements of this specification shall prevail.

4. Manufacture (Process)

4.1 The steel shall be produced by any of the following processes: open-hearth, basic-oxygen, electric-furnace, or vacuum-induction melting (VIM). The molten steel may be vacuum-treated prior to or during pouring of the ingot or strand casting.

4.2 *Quality*—See Specification **A 962/A 962M** for requirements.

5. Discard

5.1 A sufficient discard shall be made to secure freedom from injurious piping and undue segregation.

6. Heat Treatment

6.1 Ferritic steels shall be properly heat treated as best suits the high-temperature characteristics of each grade. Immediately after rolling or forging, the bolting material shall be allowed to cool to a temperature below the cooling transformation range. The materials which are to be furnished in the liquid-quenched condition shall then be uniformly reheated to the proper temperature to refine the grain (a group thus reheated being known as a *quenching charge*) and quenched in a liquid medium under substantially uniform conditions for each quenching charge. Use of water quenching is prohibited for any ferritic grade when heat treatment is part of the fastener manufacturing process. This prohibition does not apply to heat treated bar or to fasteners machined therefrom. The materials that are to be furnished in the normalized or air-quenched condition shall be reheated to the proper temperature to refine the grain and cooled uniformly in air to a temperature below the transformation temperature range. The material, whether liquid-quenched or normalized, shall then be uniformly reheated for tempering. The minimum tempering temperature shall be as specified in **Table 2** and **Table 3**.

⁴ Withdrawn.

⁵ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

⁶ Available from Automotive Industry Action Group, 26200 Lahser, Suite 200, Southfield, MI 48034.

ASME A 193/A 193M – 05

TABLE 1 Chemical Requirements (Composition, percent)^A

Type	Ferritic Steels							
Grade	B5				B6 and B6X			
UNS Designation	5% Chromium				12 % Chromium			
	S 41000 (410)							
	Range		Product Variation, Over or Under ^B		Range		Product Variation, Over or Under ^B	
Carbon	0.10 min		0.01 under		0.08–0.15		0.01 over	
Manganese, max	1.00		0.03 over		1.00		0.03 over	
Phosphorus, max	0.040		0.005 over		0.040		0.005 over	
Sulfur, max	0.030		0.005 over		0.030		0.005 over	
Silicon	1.00 max		0.05 over		1.00 max		0.05 over	
Chromium	4.0–6.0		0.10		11.5–13.5		0.15	
Molybdenum	0.40–0.65		0.05		...		...

Type	Ferritic Steels							
Grade	B7, B7M				B16			
Description	Chromium-Molybdenum ^C				Chromium-Molybdenum-Vanadium			
	Range		Product Variation, Over or Under ^B		Range		Product Variation, Over or Under ^B	
Carbon	0.37–0.49 ^D		0.02		0.36–0.47		0.02	
Manganese	0.65–1.10		0.04		0.45–0.70		0.03	
Phosphorus, max	0.035		0.005 over		0.035		0.005 over	
Sulfur, max	0.040		0.005 over		0.040		0.005 over	
Silicon	0.15–0.35		0.02		0.15–0.35		0.02	
Chromium	0.75–1.20		0.05		0.80–1.15		0.05	
Molybdenum	0.15–0.25		0.02		0.50–0.65		0.03	
Vanadium	...		...		0.25–0.35		0.03	
Aluminum, max % ^E	...		...		0.015		...	

Type	Austenitic Steels, ^F Classes 1, 1A, 1D, and 2							
Grade . .	B8, B8A		B8C, B8CA		B8M, B8MA, B8M2, B8M3		B8P, B8PA	
UNS Designation	S 30400 (304)		S 34700 (347)		S 31600 (316)		S 30500	
	Range	Product Variation, Over or Under ^B	Range	Product Variation, Over or Under ^B	Range	Product Variation, Over or Under ^B	Range	Product Variation, Over or Under ^B
Carbon, max	0.08	0.01 over	0.08	0.01 over	0.08	0.01 over	0.12	0.01 over
Manganese, max	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over
Phosphorus, max	0.045	0.010 over	0.045	0.010 over	0.045	0.010 over	0.045	0.010 over
Sulfur, max	0.030	0.005 over	0.030	0.005 over	0.030	0.005 over	0.030	0.005 over
Silicon, max	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over
Chromium	18.0–20.0	0.20	17.0–19.0	0.20	16.0–18.0	0.20	17.0–19.0	0.20
Nickel	8.0–11.0	0.15	9.0–12.0	0.15	10.0–14.0	0.15	11.0–13.0	0.15
Molybdenum	...	...	...	...	2.00–3.00	0.10	...	...
Columbium + Tantalum	...	...	10 x carbon content, min; 1.10 max	0.05 under	...	...	...	...

A 193/A 193M - 05

TABLE 1 Continued

Type	Austenitic Steels, ^F Classes 1A, 1B, 1D, and 2				
Grade	B8N, B8NA		B8MN, B8MNA		B8MLCuN, B8MLCuNA
UNS Designation	S 30451 (304N)		S 31651 (316N)		S 31254
	Range	Product Variation, Over or Under ^B	Range	Product Variation, Over or Under ^B	Range
Carbon, max	0.08	0.01 over	0.08	0.01 over	0.020
Manganese, max	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over	1.00
Phosphorus, max	0.045	0.010 over	0.045	0.010 over	0.030
Sulfur, max	0.030	0.005 over	0.030	0.005 over	0.010
Silicon, max	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over	0.80
Chromium	18.0–20.0	0.20	16.0–18.0	0.20	19.5–20.5
Nickel	8.0–11.0	0.15	10.0–13.0	0.15	17.5–18.5
Molybdenum	...	...	2.00–3.00	0.10	6.0–6.5
Nitrogen	0.10–0.16	0.01	0.10–0.16	0.01	0.18–0.22
Copper	...	...	...	...	0.50–1.00

Type	Austenitic Steels ^F , Classes 1, 1A, and 2		
Grade	B8T, B8TA		
UNS Designation	S 32100 (321)		
	Range	Product Variation, Over or Under ^B	
Carbon, max	0.08	0.01 over	
Manganese, max	2.00	0.04 over	
Phosphorus, max	0.045	0.010 over	
Sulfur, max	0.030	0.005 over	
Silicon, max	1.00	0.05 over	
Nickel	9.0–12.0	0.15	
Chromium	17.0–19.0	0.20	
Titanium	5 x (C + N) min, 0.70 max	0.05 under	

Type	Austenitic Steels ^F , Classes 1C and 1D				
Grade	B8R, B8RA		B8S, B8SA		
UNS Designation	S 20910		S 21800		
	Range	Product Variation, Over or Under ^B	Range	Product Variation, Over or Under ^B	
Carbon, max	0.06	0.01 over	0.10	0.01 over	
Manganese	4.0–6.0	0.05	7.0–9.0	0.06	
Phosphorus, max	0.045	0.005 over	0.060	0.005 over	
Sulfur, max	0.030	0.005 over	0.030	0.005 over	
Silicon	1.00 max	0.05 over	3.5–4.5	0.15	
Chromium	20.5–23.5	0.25	16.0–18.0	0.20	
Nickel	11.5–13.5	0.15	8.0–9.0	0.10	
Molybdenum	1.50–3.00	0.10	...	...
Nitrogen	0.20–0.40	0.02	0.08–0.18	0.01	
Columbium + tantalum	0.10–0.30	0.05	...	...
Vanadium	0.10–0.30	0.02	...	...

Type	Austenitic Steels ^F , Classes 1, 1A and 1D				
Grade	B8LN, B8LNA		B8MLN, B8MLNA		
UNS Designation	S 30453		S 31653		
	Range	Product Variation, Over or Under ^B	Range	Product Variation, Over or Under ^B	
Carbon, max	0.030	0.005 over	0.030	0.005 over	
Manganese	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over	
Phosphorus, max	0.045	0.010 over	0.045	0.010 over	
Sulfur, max	0.030	0.005 over	0.030	0.005 over	
Silicon	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over	
Chromium	18.0–20.0	0.20	16.0–18.0	0.20	
Nickel	8.0–11.0	0.15	10.0–13.0	0.15	
Molybdenum	...	...	2.00–3.00	0.10	
Nitrogen	0.10–0.16	0.01	0.10–0.16	0.01	

^A The intentional addition of Bi, Se, Te, and Pb is not permitted.

^B Product analysis—Individual determinations sometimes vary from the specified limits on ranges as shown in the tables. The several determinations of any individual element in a heat may not vary both above and below the specified range.

^C Typical steel compositions used for this grade include 4140, 4142, 4145, 4140H, 4142H, and 4145H.

^D For bar sizes over 3 1/2 in. [90 mm], inclusive, the carbon content may be 0.50 % max. For the B7M grade, a minimum carbon content of 0.28 % is permitted, provided that the required tensile properties are met in the section sizes involved; the use of AISI 4130 or 4130H is allowed.

^E Total of soluble and insoluble.



A 193/A 193M – 05

^F Classes 1 and 1D are solution treated. Classes 1, 1B, and some 1C (B8R and B8S) products are made from solution treated material. Class 1A (B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8TA, B8LNA, B8MLNA, B8NA, and B8MNA) and some Class 1C (B9RA and B8SA) products are solution treated in the finished condition. Class 2 products are solution treated and strain hardened.

TABLE 2 Mechanical Requirements — Inch Products

Grade	Diameter, in.	Minimum Tempering Temperature, °F	Tensile Strength, min, ksi	Yield Strength, min, 0.2 % offset, ksi	Elongation in 4D, min, %	Reduction of Area, min, %	Hardness, max
Ferritic Steels							
B5 4 to 6 % chromium	up to 4, incl	1100	100	80	16	50	...
B6 13 % chromium	up to 4, incl	1100	110	85	15	50	...
B6X 13 % chromium	up to 4, incl	1100	90	70	16	50	26 HRC
B7 Chromium-molybdenum	2½ and under	1100	125	105	16	50	321 HB or 35 HRC
	over 2½ to 4	1100	115	95	16	50	321 HB or 35 HRC
	over 4 to 7	1100	100	75	18	50	321 HB or 35 HRC
B7M ^A Chromium-molybdenum	4 and under	1150	100	80	18	50	235 HB or 99 HRB
	over 4 to 7	1150	100	75	18	50	235 BHN or 99 HRB
B16 Chromium-molybdenum-vanadium	2½ and under	1200	125	105	18	50	321 HB or 35 HRC
	over 2½ to 4	1200	110	95	17	45	321 HB or 35 HRC
	over 4 to 8	1200	100	85	16	45	321 HB or 35 HRC

Grade, Diameter, in.	Heat Treatment ^B	Tensile Strength, min, ksi	Yield Strength, min, 0.2 % offset, ksi	Elongation in 4 D, min %	Reduction of Area, min %	Hardness, max
Austenitic Steels						
Classes 1 and 1D: B8, B8M, B8P, B8LN, B8MLN, all diameters	carbide solution treated	75	30	30	50	223 HB ^C or 96 HRB
Class 1: B8C, B8T, all diameters	carbide solution treated	75	30	30	50	223 HB ^C or 96HRB
Class 1A: B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8TA, B8LNA, B8MLNA, B8NA, B8MNA, B8MLCuNA, all diameters	carbide solution treated in the finished condition	75	30	30	50	192 HB or 90 HRB
Classes 1B and 1D: B8N, B8MN, and B8MLCuN, all diameters	carbide solution treated	80	35	30	40	223 HB ^C or 96 HRB
Classes 1C and 1D: B8R, all diameters	carbide solution treated	100	55	35	55	271 HB or 28 HRC
Class 1C: B8RA, all diameters	carbide solution treated in the finished condition	100	55	35	55	271 HB or 28 HRC
Classes 1C and 1D: B8S, all diameters	carbide solution treated	95	50	35	55	271 HB or 28 HRC
Classes 1C: B8SA, all diameters	carbide solution treated in the finished condition	95	50	35	55	271 HB or 28 HRC
Class 2: B8, B8C, B8P, B8T, and B8N, ^D ¾ and under	carbide solution treated and strain hardened	125	100	12	35	321 HB or 35 HRC
over ¾ to 1, incl		115	80	15	35	321 HB or 35 HRC
over 1 to 1¼, incl		105	65	20	35	321 HB or 35 HRC
over 1¼ to 1½, incl		100	50	28	45	321 HB or 35 HRC
Class 2: B8M, B8MN, B8MLCuN ^D ¾ and under	carbide solution treated and strain hardened	110	95	15	45	321 HB or 35 HRC
over ¾ to 1 incl		100	80	20	45	321 HB or 35 HRC

TABLE 2 Continued

Grade, Diameter, in.	Heat Treatment ^a	Tensile Strength, min, ksi	Yield Strength, min, 0.2 % offset, ksi	Elongation in 4 D, min %	Reduction of Area, min %	Hardness, max
Austenitic Steels						
Over 1 to 1 1/4, incl		95	65	25	45	321 HB or 35 HRC
over 1 1/4 to 1 1/2, incl		90	50	30	45	321 HB or 35 HRC
Class 2B: B8, B8M2 ^d	carbide solution treated and strain hardened	95	75	25	40	321 HB or 35 HRC
2 and under						
over 2 to 2 1/2 incl		90	65	30	40	321 HB or 35 HRC
over 2 1/2 to 3 incl		80	55	30	40	321 HB or 35 HRC
Class 2C: B8M3 ^d	carbide solution treated and strain hardened	85	65	30	60	321 HB or 35 HRC
2 and under						
over 2		85	60	30	60	321 HB or 35 HRC

^a To meet the tensile requirements, the Brinell hardness shall be over 200 HB (93 HRB).

^b Class 1 is solution treated. Class 1A is solution treated in the finished condition for corrosion resistance; heat treatment is critical due to physical property requirement. Class 2 is solution treated and strain hardened. Austenitic steels in the strain-hardened condition may not show uniform properties throughout the section particularly in sizes over 3/4 in. in diameter.

^c For sizes 3/4 in. in diameter and smaller, a maximum hardness of 241 HB (100 HRB) is permitted.

^d For diameters 1 1/2 and over, center (core) properties may be lower than indicated by test reports which are based on values determined at 1/2 radius.

TABLE 3 Mechanical Requirements —Metric Products

SS	Diameter, [mm]	Minimum Tempering Temperature, °C	Tensile Strength, min, MPa	Yield Strength, min, 0.2 % offset, MPa	Elongation in 4D, min, %	Reduction of Area, min, %	Hardness, max
Ferritic Steels							
B5							
4 to 6 % chromium	up to M100, incl	593	690	550	16	50	...
B6							
13 % chromium	up to M100, incl	593	760	585	15	50	...
B6X							
13 % chromium	up to M100, incl	593	620	485	16	50	26 HRC
B7							
Chromium-molybdenum	M64 and under	593	860	720	16	50	321 HB or 35 HRC
	over M64 to M100	593	795	655	16	50	321 HB or 35 HRC
	over M100 to M180	593	690	515	18	50	321 HB or 35 HRC
B7M Chromium-molybdenum	M100 and under	620	690	550	18	50	235 HB or 99 HRB
	over M100 to M180	620	690	515	18	50	235 BHN or 99 HRB
B16							
Chromium-molybdenum-vanadium	M64 and under	650	860	725	18	50	321 HB or 35 HRC
	over M64 to M100	650	760	655	17	45	321 HB or 35 HRC
	over M100 to M180	650	690	586	16	45	321 HB or 35 HRC

Class Diameter, mm	Heat Treatment ^a	Tensile Strength, min, MPa	Yield Strength, min, 0.2 % offset, MPa	Elongation in 4 D, min %	Reduction of Area, min %	Hardness, max
Austenitic Steels						
Classes 1 and 1D: B8, B8M, B8P, B8LN, carbide solution treated		515	205	30	50	223 HB ^c or 96 HRB
B8MLN, all diameters						
Class 1: B8C, B8T, all diameters	carbide solution treated	515	205	30	50	223 HB ^c or 96 HRB
Class 1A: B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8TA, B8LNA, B8MLNA, B8NA, B8MNA	carbide solution treated in the finished condition	515	205	30	50	192 HB or 90 HRB
B8MLCuNA, all diameters						
Classes 1B and 1D: B8N, B8MN, and B8MLCuN, all diameters	carbide solution treated	550	240	30	40	223 HB ^c or 96 HRB
Classes 1C and 1D: B8R, all diameters	carbide solution treated	690	380	35	55	271 HB or 28 HRC



TABLE 3 Continued

Class Diameter, mm	Heat Treatment ^a	Tensile Strength, min, MPa	Yield Strength, min, 0.2 % offset, MPa	Elongation in 4 D, min %	Reduction of Area, min %	Hardness, max
Austenitic Steels						
Class 1C: B8RA, all diameters	carbide solution treated in the finished condition	690	380	35	55	271 HB or 28 HRC
Classes 1C and 1D: B8S, all diameters	carbide solution treated	655	345	35	55	271 HB or 28 HRC
Classes 1C: B8SA, all diameters	carbide solution treated in the finished condition	655	345	35	55	271 HB or 28 HRC
Class 2: B8, B8C, B8P, B8T, and B8N, ^d M20 and under	carbide solution treated and strain hardened	860	690	12	35	321 HB or 35 HRC
over M20 to M24, incl		795	550	15	35	321 HB or 35 HRC
over M24 to M30, incl		725	450	20	35	321 HB or 35 HRC
over M30 to M36, incl		690	345	28	45	321 HB or 35 HRC
Class 2: B8M, B8MN, B8MLCuN, ^d M20 and under	carbide solution treated and strain hardened	760	655	15	45	321 HB or 35 HRC
over M20 to M24, incl		690	550	20	45	321 HB or 35 HRC
over M24 to M30, incl		655	450	25	45	321 HB or 35 HRC
over M30 to M36, incl		620	345	30	45	321 HB or 35 HRC
Class 2B: B8, B8M2, ^d M48 and under	carbide solution treated and strain hardened	655	515	25	40	321 HB or 35 HRC
over M48 to M64, incl		620	450	30	40	321 HB or 35 HRC
over M64 to M72, incl		550	380	30	40	321 HB or 35 HRC
Class 2C: B8M3, ^d M48 and under	carbide solution treated and strain hardened	585	450	30	60	321 HB or 35 HRC
over M48		585	415	30	60	321 HB or 35 HRC

^a To meet the tensile requirements, the Brinell hardness shall be over 200 HB (93 HRB).

^b Class 1 is solution treated. Class 1A is solution treated in the finished condition for corrosion resistance; heat treatment is critical due to physical property requirement. Class 2 is solution treated and strain hardened. Austenitic steels in the strain-hardened condition may not show uniform properties throughout the section particularly in sizes over M20 mm in diameter.

^c For sizes M20 mm in diameter and smaller, a maximum hardness of 241 HB (100 HRB) is permitted.

^d For diameters M36 and over, center (core) properties may be lower than indicated by test reports which are based on values determined at 1/2 radius.

6.1.1 Quenched and tempered or normalized and tempered ferritic material that is subsequently cold drawn for dimensional control shall be stress-relieved after cold drawing. The minimum stress-relief temperature shall be 100 °F [55 °C] below the tempering temperature. Tests for mechanical properties shall be performed after stress relieving.

6.2 Both B6 and B6X materials shall be held, at the tempering temperature for a minimum time of 1 h. Identification Symbol B 6X material may be furnished in the as-rolled-and-tempered condition. Cold working is permitted with the hardness limitation (26 HRC maximum) of Table 2 for the B 6X grade.

6.3 All austenitic stainless steels shall receive a carbide solution treatment (see 6.3.1-6.3.4 for specific requirements for each class). Classes 1, 1B, 1C (Grades B8R and B8S only), 2, 2B, and 2C can apply to bar, wire, and finished fasteners. Class 1A (all grades) and Class 1C (grades B8RA and B8SA only) can apply to finished fasteners. Class 1D applies only to bar and wire and finished fasteners that are machined directly from Class 1D bar or wire without any subsequent hot or cold working.

6.3.1 Classes 1 and 1B, and Class 1C Grades B8R and B8S—After rolling of the bar, forging, or heading, whether done hot or cold, the material shall be heated from ambient temperature and held a sufficient time at a temperature at which the chromium carbide will go into solution and then shall be cooled at a rate sufficient to prevent the precipitation of the carbide.

6.3.2 Class 1D—Rolled or forged Grades B8, B8M, B8P, B8LN, B8MLN, B8N, B8MN, B8R, and B8S bar shall be cooled rapidly immediately following hot working while the temperature is above 1750 °F [955 °C] so that grain boundary carbides are in solution. Class 1D shall be restricted to applications at temperatures less than 850 °F [455 °C].

6.3.3 Class 1A and Class 1C Grades B8RA and B8SA—Finished fasteners shall be carbide solution treated after all rolling, forging, heading, and threading operations are complete. This designation does not apply to starting material such as bar. Fasteners shall be heated from ambient temperature and held a sufficient time at a temperature at which the chromium carbide will go into solution and then shall be cooled at a rate sufficient to prevent the precipitation of the carbide.

6.3.4 Classes 2, 2B, and 2C—Material shall be carbide solution treated by heating from ambient temperature and holding a sufficient time at a temperature at which the chromium carbide will go into solution and then cooling at a rate sufficient to prevent the precipitation of the carbide. Following this treatment the material shall then be strain hardened to achieve the required properties.

NOTE 4—Heat treatment following operations performed on a limited portion of the product, such as heading, may result in non-uniform grain size and mechanical properties through the section affected.

6.4 If scale-free bright finish is required, this shall be specified in the purchase order.

6.5 B7 and B7M bolting material shall be heat treated by quenching in a liquid medium and tempering. For B7M

bolting, the final heat treatment, which may be the tempering operation if conducted at 1150 °F [620 °C] minimum, shall be done after all machining and forming operations, including thread rolling and any type of cutting. Surface preparation for hardness testing, nondestructive evaluation, or ultrasonic bolt tensioning is permitted.

6.5.1 Unless otherwise specified, material for Grade B7 may be heat treated by the Furnace, the Induction or the Electrical Resistance method.

NOTE 5—It should be taken into consideration that stress-relaxation properties may vary from heat lot to heat lot or these properties may vary from one heat treating method to another. The purchaser may specify Supplementary Requirement S8, if stress-relaxation testing is desired.

6.6 Material Grade B16 shall be heated to a temperature range from 1700 to 1750 °F [925 to 955 °C] and oil quenched. The minimum tempering temperature shall be as specified in Table 2.

7. Chemical Composition

7.1 Each alloy shall conform to the chemical composition requirements prescribed in Table 1.

7.2 The steel shall not contain an unspecified element for the ordered grade to the extent that the steel conforms to the requirements of another grade for which that element is a specified element. Furthermore, elements present in concentrations greater than 0.75 weight/% shall be reported.

8. Heat Analysis

8.1 An analysis of each heat of steel shall be made by the manufacturer to determine the percentages of the elements specified in Section 7. The chemical composition thus determined shall be reported to the purchaser or the purchaser's representative, and shall conform to the requirements specified in Section 7. Should the purchaser deem it necessary to have the transition zone of two heats sequentially cast discarded, the purchaser shall invoke Supplementary Requirement S3 of Specification A 788.

9. Mechanical Properties

9.1 Tensile Properties:

9.1.1 *Requirements*—The material as represented by the tension specimens shall conform to the requirements prescribed in Table 2 at room temperature after heat treatment. Alternatively, stainless strain hardened headed fasteners (Class 2, 2B, and 2C) shall be tested full size after strain hardening to determine tensile strength and yield strength and shall conform to the requirements prescribed in Table 2. Should the results of full size tests conflict with results of tension specimen tests, full size test results shall prevail.

9.1.2 *Full Size Fasteners, Wedge Tensile Testing*—When applicable, see 12.1.3, headed fasteners shall be wedge tested full size and shall conform to the tensile strength shown in Table 2. The minimum full size breaking strength (lbf) for individual sizes shall be as follows:

$$T_s = UTS \times A_s \quad (1)$$

where:

T_s = wedge tensile strength,

UTS = tensile strength specified in Table 2, and

A_s = stress area, square inches, as shown in ANSI B1.1 or calculated as follows:

$$A_s = 0.785 (D - (0.974/n))^2 \quad (2)$$

where:

D = nominal thread size, and

n = the number of threads per inch.

9.2 Hardness Requirements:

9.2.1 The hardness shall conform to the requirements prescribed in Table 2. Hardness testing shall be performed in accordance with either Specification A 962/A 962M or with Test Methods F 606.

9.2.2 *Grade B7M*—The maximum hardness of the grade shall be 235 HB or 99 HRB. The minimum hardness shall not be less than 200 HB or 93 HRB. Conformance to this hardness shall be ensured by testing the hardness of each stud or bolt by Brinell or Rockwell B methods in accordance with 9.2.1. The use of 100 % electromagnetic testing for hardness as an alternative to 100 % indentation hardness testing is permissible when qualified by sampling using indentation hardness testing. Each lot tested for hardness electromagnetically shall be 100 % examined in accordance with Practice F 566. Following electromagnetic testing for hardness a random sample of a minimum of 100 pieces of each heat of steel in each lot (as defined in 12.1.1) shall be tested by indentation hardness methods. All samples must meet hardness requirements to permit acceptance of the lot. If any one sample is outside of the specified maximum or minimum hardness, the lot shall be rejected and either reprocessed and resampled or tested 100 % by indentation hardness methods. Product that has been 100 % tested and found acceptable shall have a line under the grade symbol.

9.2.2.1 Surface preparation for indentation hardness testing shall be in accordance with Test Methods F 18. Hardness tests shall be performed on the end of the bolt or stud. When this is impractical, the hardness test shall be performed elsewhere.

10. Workmanship, Finish, and Appearance

10.1 Bolts, screws, studs, and stud bolts shall be pointed and shall have a workmanlike finish. Points shall be flat and chamfered or rounded at option of the manufacturer. Length of point on studs and stud bolts shall be not less than one nor more than two complete threads as measured from the extreme end parallel to the axis. Length of studs and stud bolts shall be measured from first thread to first thread.

10.2 Bolt heads shall be in accordance with the dimensions of ANSI B18.2.1 or ANSI B18.2.3.1M. Unless otherwise specified in the purchase order, the Heavy Hex Screws Series should be used, except the maximum body diameter and radius of fillet may be the same as for the Heavy Hex Bolt Series. The body diameter and head fillet radius for sizes of Heavy Hex Cap Screws and Bolts that are not shown in their respective tables in ANSI B18.2.1 or ANSI B18.2.3.1M may be that shown in the corresponding Hex Cap Screw and Bolt Tables respectively. Socket head fasteners shall be in accordance with ANSI B18.3 or ANSI B18.3.1M.

11. Retests

11.1 If the results of the mechanical tests of any test lot do not conform to the requirements specified, the manufacturer may retreat such lot not more than twice, in which case two additional tension tests shall be made from such lot, all of which shall conform to the requirements specified.

12. Test Specimens

12.1 *Number of Tests*—For heat-treated bars, one tension test shall be made for each diameter of each heat represented in each tempering charge. When heat treated without interruption in continuous furnaces, the material in a lot shall be the same heat, same prior condition, same size, and subjected to the same heat treatment. Not fewer than two tension tests are required for each lot containing 20 000 lb [9000 kg] or less. Every additional 10 000 lb [4500 kg] or fraction thereof requires one additional test.

12.1.1 For studs, bolts, screws, and so forth, one tension test shall be made for each diameter of each heat involved in the lot. Each lot shall consist of the following:

Diameter, in. [mm]	Lot Size
1½ [30] and under	1500 lb [780 kg] or fraction thereof
Over 1½ [30] to 1¾ [42], incl	4500 lb [2000 kg] or fraction thereof
Over 1¾ [42] to 2½ [64], incl	6000 lb [2700 kg] or fraction thereof
Over 2½ [64]	100 pieces or fraction thereof

12.1.2 Tension tests are not required to be made on bolts, screws, studs, or stud bolts that are fabricated from heat-treated bars furnished in accordance with the requirements of this specification and tested in accordance with 12.1, provided they are not given a subsequent heat treatment.

12.1.3 *Full Size Specimens, Headed Fasteners*—Headed fasteners 1½ in. in body diameter and smaller, with body length three times the diameter or longer, and that are produced by upsetting or forging (hot or cold) shall be subjected to full size testing in accordance with 9.1.2. This testing shall be in addition to tensile testing as specified in 9.1.1. The lot size shall be as shown in 12.1.1. Failure shall occur in the body or threaded section with no failure, or indications of failure, such as cracks, at the junction of the head and shank.

13. Nuts

13.1 Bolts, studs, and stud bolts shall be furnished with nuts, when specified in the purchase order. Nuts shall conform to Specification A 194/A 194M.

14. Rejection and Rehearing

14.1 Unless otherwise specified in the basis of purchase, any rejection based on product analysis shall be reported to the manufacturer within 30 days from the receipt of samples by the purchaser.

14.2 Material that shows defects subsequent to its acceptance at the place of manufacture shall be rejected, and the manufacturer shall be notified.

14.3 *Product Analysis*—Samples that represent rejected material shall be preserved for two weeks from the date of the test report. In the case of dissatisfaction with the results of the test, the manufacturer may make claim for a rehearing within that time.

15. Certification

15.1 The producer of the raw material or finished fasteners shall furnish a certification to the purchaser or his representative showing the results of the chemical analysis, macroetch examination (Carbon and Alloy Steels Only), and mechanical tests, and state the method of heat treatment employed.

15.2 Certification shall also include at least the following:

15.2.1 A statement that the material or the fasteners, or both, were manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with the specification and any supplementary requirements or other requirements designated in the purchase order or contract and was found to meet those requirements.

15.2.2 The specification number, year date, and identification symbol.

16. Product Marking

16.1 The marking symbol and manufacturer's identification symbol shall be applied to one end of studs ¾ in. [10 mm] in diameter and larger and to the heads of bolts ¼ in. [6 mm] in diameter and larger. (If the available area is inadequate, the marking symbol may be placed on one end with the manufacturer's identification symbol placed on the other end.) The marking symbol shall be as shown in Table 4 and Table 5. Grade B7M, which has been 100 % evaluated in conformance with the specification, shall have a line under the marking symbol to distinguish it from B7M produced to previous specification revisions not requiring 100 % hardness testing.

16.2 For bolting materials, including threaded bars, furnished bundled and tagged or boxed, the tags and boxes shall carry the marking symbol for the material identification and the manufacturer's identification symbol or name.

16.3 For purposes of product marking, the manufacturer is considered the organization that certifies the fastener was manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with the specification and the results have been determined to meet the requirements of this specification.

16.4 *Bar Coding*—In addition to the requirements in 16.1, 16.2, and 16.3, bar coding is acceptable as a supplementary identification method. Bar coding should be consistent with AIAG Standard B-5 02.00. If used on small items, the bar code may be applied to the box or a substantially applied tag.

17. Keywords

17.1 hardness; heat treatment

TABLE 4 Marking of Ferritic Steels

Grade	Marking Symbol
B5	B5
B6	B6
B6X	B6X
B7	B7
B7M ^a	B7M
	<u>B7M</u>
B16	B16
B16 +	B16A
Supplement S12	

^a For explanations, see 9.2.2 and 16.1.

 **A 193/A 193M – 05**

TABLE 5 Marking of Austenitic Steels

Class	Grade	Marking Symbol
Class 1	B8	B8
	B8C	B8C
	B8M	B8M
	B8P	B8P
	B8T	B8T
	B8LN	B8F or B8LN
	B8MLN	B8G or B8MLN
Class 1A	B8A	B8A
	B8CA	B8B or B8CA
	B8MA	B8D or B8MA
	B8PA	B8H or B8PA
	B8TA	B8J or B8TA
	B8LNA	B8L or B8LNA
	B8MLNA	B8K or B8MLNA
	B8NA	B8V or B8MA
	B8MNA	B8W or B8MNA
	B8MLCuNA	B8Y or B8MLCuNA
Class 1B	B8N	B8N
	B8MN	B8Y or B8MN
	B8MLCuN	B8J or B8MLCuN
Class 1C	B8R	B8A or B8R
	B8RA	B8B or B8RA
	B8S	B8D or B8S
	B8SA	B8F or B8SA
Class 1D	B8	B84
	B8M	B85
	B8P	B86
	B8LN	B87
	B8MLN	B88
	B8N	B89
	B8MN	B800
	B8R	B801
	B8S	B802
	Class 2	B8	B8SH
B8C		<u>B8CSH</u>
B8P		<u>B8PSH</u>
B8T		<u>B8TSH</u>
B8N		<u>B8NSH</u>
B8M		<u>B8MSH</u>
B8MN		<u>B8YSH</u>
B8MLCuN		<u>B8QSH</u>
Class 2B	B8M2	<u>B8G or B8M2</u>
	B8	<u>B8</u>
Class 2C	B8M3	<u>B8H or B8M3</u>

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order and in the Ordering Information, in which event the specified tests shall be made before shipment of the product.

S1. High-Temperature Tests

S1.1 Tests to determine high temperature properties shall be made in accordance with Test Methods **E 21**, **E 139**, and **E 292**, and Practices **E 150** and **E 151**.

S2. Charpy Impact Tests

S2.1 Charpy impact tests based on the requirements of Specification **A 320/A 320M**, Sections 6 and 7, shall be made

as agreed between the manufacturer and the purchaser. When testing temperatures are as low as those specified in Specification **A 320/A 320M**, bolting should be ordered to that specification in preference to this specification.

S3. 100 % Hardness Testing of Grade B7M

S3.1 Each Grade B7M bolt or stud shall be tested for hardness by indentation method and shall meet the requirements specified in **Table 2**.

S4. Hardness Testing of Grade B16

S4.1 For bolts or studs 2½ in. [65 mm] or smaller, the hardness for Grade B16 shall be measured on or near the end of each bolt or stud using one of the methods prescribed in **9.2.1** for the Brinell or Rockwell C test. The hardness shall be in the range 253–319 HB or 25–34 HRC.

S5. Product Marking

S5.1 Marking and manufacturer's identification symbols shall be applied to one end of studs and to the heads of bolts of all sizes. (If the available area is inadequate, the marking symbol may be marked on one end and the manufacturer's identification symbol marked on the other end.) For bolts smaller than ¼ in. [6 mm] in diameter and studs smaller than ⅜ in. [10 mm] in diameter and for ¼ in. [6 mm] in diameter studs requiring more than a total of three symbols, the marking shall be a matter of agreement between the purchaser and the manufacturer.

S6. Stress Relieving

S6.1 A stress-relieving operation shall follow straightening after heat treatment.

S6.2 The minimum stress-relieving temperature shall be 100 °F [55 °C] below the tempering temperature. Tests for mechanical properties shall be performed after stress relieving.

S7. Magnetic Particle Inspection

S7.1 Bars shall be magnetic particle examined in accordance with Guide **E 709**. Bars with indications of cracks or seams are subject to rejection if the indications extend more than 3 % of the diameter into the bar.

S8. Stress-Relaxation Testing

S8.1 Stress-Relaxation Testing, when required, shall be done in accordance with Test Methods **F 328**. The test shall be performed at 850 °F [454 °C] for a period of 100 h. The initial stress shall be 50 M psi [345 MPa]. The residual stress at 100 h shall be 17 M psi [117 MPa] minimum.

S9. Grain Size Requirements for Non H Grade Austenitic Steels Used Above 1000 °F

S9.1 For design metal temperatures above 1000 °F [540 °C], the material shall have a grain size of No. 7 or coarser as determined in accordance with Test Methods **F 112**. The grain size so determined shall be reported on the Certificate of Test.

S10. Hardness Testing of Class 2 Bolting Materials for ASME Applications

S10.1 The maximum hardness shall be Rockwell C35 immediately under the thread roots. The hardness shall be taken on a flat area at least ¼ in. [3 mm] across, prepared by removing threads, and no more material than necessary shall be removed to prepare the flat areas. Hardness determinations shall be made at the same frequency as tensile tests.

S11. Thread Forming

S11.1 Threads shall be formed after heat treatment. Application of this supplemental requirement to grade B7M or the grades listed in **6.3.3** is prohibited.

S12. Stress Rupture Testing of Grade B16

S12.1 One test shall be made for each heat treat lot. Testing shall be conducted using a combination test bar in accordance with Test Methods **F 292**. Rupture shall occur in the smooth section of each test specimen. The test shall be conducted at 1100 °F [595 °C] and 20 ksi [140 MPa]. The test shall be continued until the sample ruptures. Rupture life shall be 25 h minimum. Testing is not required on material less than ½ in. [25 mm] thick.

S12.2 When a purchase order for fasteners invokes S12, the product marking supplied shall be "B16R."

S13. Coatings on Bolting Materials

S13.1 It is the purchaser's responsibility to specify in the purchase order all information required by the coating facility. Examples of such information may include but are not limited to the following:

S13.1.1 Reference to the appropriate coating specification and type, thickness, location, modification to dimensions, and hydrogen embrittlement relief.

S13.1.2 Reference to Specifications **B 766**, **B 696**, **A 153/A 153M**, **B 695**, **B 633**, or other specifications.

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. STRAIN HARDENING OF AUSTENITIC STEELS

X1.1 Strain hardening is the increase in strength and hardness that results from plastic deformation below the recrystallization temperature (cold work). This effect is produced in austenitic stainless steels by reducing oversized bars or wire to the desired final size by cold drawing or other process. The degree of strain hardening achievable in any alloy is limited by its strain hardening characteristics. In addition, the amount of strain hardening that can be produced is further limited by the variables of the process, such as the total amount of cross-section reduction, die angle, and bar size. In large diameter bars, for example, plastic deformation will occur principally in the outer regions of the bar so that the increased strength and hardness due to strain hardening is achieved predominantly near the surface of the bar. That is, the smaller

the bar, the greater the penetration of strain hardening.

X1.2 Thus, the mechanical properties of a given strain hardened fastener are dependent not just on the alloy, but also on the size of bar from which it is machined. The minimum bar size that can be used, however, is established by the configuration of the fastener so that the configuration can affect the strength of the fastener.

X1.3 For example, a stud of a particular alloy and size may be machined from a smaller diameter bar than a bolt of the same alloy and size because a larger diameter bar is required to accommodate the head of the bolt. The stud, therefore, is likely to be stronger than the same size bolt in a given alloy.

X2. COATINGS AND APPLICATION LIMITS

X2.1 Use of coated fasteners at temperatures above approximately one-half the melting point (Fahrenheit or Celsius) of the coating is not recommended unless consideration is given to the potential for liquid and solid metal embrittlement, or both. The melting point of elemental zinc is approximately

780 °F [415 °C]. Therefore, application of zinc-coated fasteners should be limited to temperatures less than 390 °F [210 °C]. The melting point of cadmium is approximately 600 °F [320 °C]. Therefore, application of cadmium-coated fasteners should be limited to temperatures less than 300 °F [160 °C].

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 193/A 193M – 04c, that may impact the use of this specification. (Approved June 1, 2005).

(1) Added new paragraph 3.3 and renumbered subsequent paragraphs.

(2) Added new Supplementary Requirement S13 and Appendix X2.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 193/A 193M – 04b, that may impact the use of this specification. (Approved October 1, 2004).

(1) Added Supplementary Requirement S12 and added marking to Table 4.

(2) Revised Table 5 markings for Class 2.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 193/A 193M – 04a, that may impact the use of this specification. (Approved July 1, 2004).

(1) Moved heat treatment of Grade B16 from 6.1 to new 6.6.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 193/A 193M – 04, that may impact the use of this specification. (Approved May 11, 2004).

(1) Revised 9.1.1 to permit acceptance of strain hardened fasteners base on full size testing.

(3) Changed “Grade” to “Marking” in Section 17 and Supplementary Requirement S5.

(2) Revised B6 carbon content in Table 1.

(4) Updated Table 5.

 **A 193/A 193M – 05**

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 193/A 193M – 03, that may impact the use of this specification. (Approved January 1, 2004).

(1) Corrected Yield Strength for Class 2, B8M, B8MN, B8MLCuN $\frac{3}{4}$ (M20) and under in Tables 2 and 3. (2) Deleted Appendix X2.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org)



Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure or High Temperature Service, or Both¹

This standard is issued under the fixed designation A 194/A 194M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification² covers a variety of carbon, alloy, and martensitic stainless steel nuts in the size range ¼ through 4 in. and metric M6 through M100 nominal. It also covers austenitic stainless steel nuts in the size range ¼ in. and M6 nominal and above. These nuts are intended for high-pressure or high-temperature service, or both. Grade substitutions without the purchaser's permission are not allowed.

1.2 Bars from which the nuts are made shall be hot-wrought. The material may be further processed by centerless grinding or by cold drawing. Austenitic stainless steel may be solution annealed or annealed and strain-hardened. When annealed and strain hardened austenitic stainless steel is ordered in accordance with Supplementary Requirement S1, the purchaser should take special care to ensure that 8.2.2, Supplementary Requirement S1, and Appendix XI are thoroughly understood.

1.3 Supplementary requirements (S1 through S6) of an optional nature are provided. These shall apply only when specified in the inquiry, contract, and order.

1.4 This specification is expressed in both inch-pound units and in SI units. However, unless the order specifies the applicable "M" specification designation (SI units), the material shall be furnished to inch-pound units.

1.5 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

- A 153/A 153M Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware
 - A 276 Specification for Stainless Steel Bars and Shapes
 - A 320/A 320M Specification for Alloy-Steel Bolting Materials for Low-Temperature Service
 - A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
 - A 962/A 962M Specification for Common Requirements for Steel Fasteners or Fastener Materials, or Both, Intended for Use at Any Temperature from Cryogenic to the Creep Range
 - B 633 Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc on Iron and Steel
 - B 695 Specification for Coatings of Zinc Mechanically Deposited on Iron and Steel
 - B 696 Specification for Coatings of Cadmium Mechanically Deposited
 - B 766 Specification for Electrodeposited Coatings of Cadmium
 - E 112 Test Methods for Determining Average Grain Size
- ### 2.2 American National Standards:⁴
- B 1.1 Unified Screw Threads
 - B 1.2 Gages and Gaging for Unified Inch Screw Threads
 - B 1.13M Metric Screw Threads
 - B 18.2.2 Square and Hex Nuts
 - B 18.2.4.6M Metric Heavy Hex Nuts

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

- 3.1.1 Austenitic Grades—All grades with a prefix of "8" or

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.22 on Steel Forgings and Wrought Fittings for Piping Applications and Bolting Materials for Piping and Special Purpose Applications.

Current edition approved July 1, 2005. Published August 2005. Originally approved in 1936. Last previous edition approved in 2004 as A 194/A 194M-04a.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SA-194 in Section II of that code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

⁴ Available from American National Standards Institute, 25 W 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

3.1.2 *Ferritic Grades*—Grades 1, 2, 2H, 2HM, 3, 4, 6, 6F, 7, 7M, and 16.

3.1.3 *Lot*:

3.1.3.1 Unless otherwise specified (see 3.1.3.2), a lot is the quantity of nuts of a single nominal size and grade produced by the same manufacturing process.

3.1.3.2 When Supplementary Requirement S5 is invoked on the purchase order, the following definitions of a lot shall apply:

For Grade 8 Nuts—The quantity of all the nuts of a single nominal diameter and grade made from the same heat of steel and made by the same manufacturing process.

For All Other Grade Nuts (see 8.2 and 8.1.2.1)—All the nuts of a single nominal diameter and grade made from the same heat number and heat treated in the same batch if batch-type heat treating equipment is used or heat treated in the same continuous run of not more than 8 h under the same conditions if continuous-type heat treating equipment is used.

3.1.4 *Type*

3.1.4.1 *For Grade 8 Nuts*—Variations within the grade designated by a letter and differentiated by chemistry and by manufacturing process.

3.1.4.2 *For Grade 6 Nuts*—Variations within the grade designated by the letter F as differentiated by chemical additions made for machineability.

3.1.5 *Series*—The dimensional relationship and geometry of the nuts as described in ANSI B 18.2.2 or B 18.2.4.6M.

4. Ordering Information

4.1 The inquiry and order for material under this specification shall include the following as required to describe the material adequately:

4.1.1 Specification designation, year date, and grade, issue date and revision letter,

4.1.2 Quantity, number of pieces,

4.1.3 Dimensions (see Section 9),

4.1.4 Options in accordance with 8.2.2.1, 9.1, 9.2, 10.3, and 12, and

4.1.5 Supplementary Requirements, if any.

4.2 *Coatings*—Coatings are prohibited unless specified by the purchaser. Nuts plated with cadmium or zinc shall be marked as stated in 13.2. When coated nuts are ordered, the purchaser should take special care to ensure that Appendix X2 is thoroughly understood. It is the purchaser's responsibility to specify in the purchase order all information required by the coating facility. Examples of such information may include, but are not limited to, the following:

4.2.1 Reference to the appropriate coating specification: Specifications B 766, B 696, A 153/A 153M, B 695, B 633, or other specifications as agreed upon by the purchaser and manufacturer.

4.2.2 Requirements for coating thickness and local or batch average thickness measurement, or both.

4.2.3 Requirements for selective plating or coating or modification of dimensions to accommodate coating.

4.2.4 Requirements for hydrogen embrittlement relief.

4.3 See Supplementary Requirement S3 for nuts to be used in low temperature applications (Specification A 320/A 320M).

5. Common Requirements

5.1 Material and fasteners supplied to this specification shall conform to the requirements of Specification A 962/A 962M. These requirements include test methods, finish, thread dimensions, marking, certification, optional supplementary requirements, and others. Failure to comply with the requirements of Specification A 962/A 962M constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and Specification A 962/A 962M, this specification shall prevail.

6. Manufacture (Process)

6.1 Stainless steels for all types of Grade 6 and 8 nuts shall be made by one of the following processes:

6.1.1 Electric-furnace (with separate degassing and refining optional).

6.1.2 Vacuum induction furnace, or

6.1.3 Either of the above followed by electroslag remelting, or consumable-arc remelting.

6.2 The steel producer shall exercise adequate control to eliminate excessive unhomogeneity, nonmetallics, pipe, porosity, and other defects.

6.3 Grades 1 and 2 nuts shall be hot or cold forged, or shall be machined from hot-forged, hot-rolled, or cold-drawn bars.

6.3.1 All Grade 1 and 2 nuts made by cold forging or by machining from cold-drawn bars shall be stress-relief annealed at a temperature of at least 1000 °F [538 °C].

6.3.2 Grade 1 and 2 nuts made by hot forging or by machining from hot-forged or hot-rolled bars need not be given any stress relief annealing treatment.

6.4 Grades 2H, 2HM, 3, 4, 6, 6F, 7, 7M, and 16 nuts shall be hot- or cold-forged or shall be machined from hot-forged, hot-rolled, or cold-drawn bars and shall be heat treated to meet the required mechanical properties. These grades shall be reheated above the critical range of the steel, quenched in a suitable medium, and then tempered at a temperature not less than the following:

Grade	Minimum Tempering Temperature, °F	
	[°C]	
2H	850	[455]
2HM	1150	[620]
3	1050	[565]
4	1100	[595]
6 and 6F	1100	[595]
7	1100	[595]
7M	1150	[620]
16	1200	[650]

Nuts machined from bar heat treated in accordance with this specification need not be reheat-treated. For Grade 2HM and 7M nuts, a final stress relief shall be done at or above the minimum tempering temperature after all forming, machining, and tapping operations. This final stress relief may be the tempering operation.

6.4.1 Grade 6 and 6F nuts shall be tempered for a minimum of 1 h at the temperature.

6.5 Grades 8, 8C, 8M, 8T, 8F, 8P, 8N, 8MN, 8R, 8S, 8LN, 8MLN, 8MLCuN, and 9C nuts shall be hot or cold forged, or shall be machined from hot-forged, hot-rolled or cold-drawn bars.

6.6 Grades 8A, 8CA, 8MA, 8TA, 8FA, 8PA, 8NA, 8MNA, 8RA, 8SA, 8LNA, 8MLNA, 8MLCuNA, and 9CA nuts shall be hot- or cold-forged or shall be machined from hot-forged, hot-rolled, or cold-drawn bars and the nuts shall subsequently be carbide-solution treated by heating them for a sufficient time at a temperature to dissolve chromium carbides followed by cooling at a rate sufficient to prevent reprecipitation of the carbides.

7. Chemical Composition

7.1 Each alloy shall conform to the chemical composition requirements prescribed in **Table 1**.

8. Mechanical Requirements

8.1 Hardness Test:

8.1.1 Requirements:

8.1.1.1 All nuts shall meet the hardness requirements specified in **Table 2**.

8.1.1.2 Sample nuts of Grades 1, 2, 2H, 2HM, 3, 4, 7, 7M, and 16 which have been given the treatment described in **8.1.5** shall meet the minimum hardness specified in **Table 2**.

8.1.2 **Number of Tests**— (Grades 1, 2, 2H, 3, 4, 7, and 16 and all types of Grade 6):

8.1.2.1 Tests on the number of sample nuts in accordance with the following table shall be performed by the manufacturer following all production heat treatments:

Lot Size	Samples
Up to 800	1
801 to 8000	2
8001 to 22 000	3
Over 22 000	5

8.1.2.2 In addition, a hardness test shall be performed by the manufacturer in accordance with **8.1.5** on one sample nut selected from each nominal diameter and series from each grade and heat number following completion of all production heat treatments.

8.1.3 Number of Tests, Grades 2HM and 7M:

8.1.3.1 Each nut shall be tested by Brinell or Rockwell methods to ensure product conformance.⁵

8.1.3.2 In addition, **8.1.2.2** shall be met.

8.1.4 **Number of Tests, All Types of Grade 8**—Tests on the number of sample nuts in accordance with **8.1.2.1** shall be performed by the manufacturer.

8.1.5 **Test 2**—In addition to the testing required by **8.1.2.1** the manufacturer shall also perform hardness tests on sample nuts after the following test heat treatment. After completion of all production heat treatments heat the specimen nuts to the temperatures indicated below for 24 h, then slow cool. Test at room temperature.

Grade ^A	Temperature, °F [°C]
1	850 [455]
2, 2H, 2HM	1000 [540]
3, 4, 7, 7M	1100 [590]
16	1200 [650]

^ANuts intended to be coated with zinc or cadmium (marked in accordance with the requirements of **13.3**) are not subjected to the requirements of **8.1.5** (See **Appendix X2**).

8.1.5.1 **Special Requirement, Grades 2HM and 7M**—Preparation of Grades 2HM and 7M nuts for hardness test and the hardness test itself shall be performed with consideration to (1) protect legibility of markings; (2) minimize exterior dimensional changes; and (3) maintain thread fit.

8.2 Proof Load Test:

8.2.1 **Requirements**—All nuts shall be capable of withstanding the proof loads specified in **Table 3** and **Table 4**. However, nuts manufactured to dimensions and configurations other than those covered by **ANSI B 1.1**, **ANSI B 1.13M**, **ANSI B 18.2.2**, and **B 18.2.4.6M** are not subject to the proof load test.

8.2.2 Number of Tests:

8.2.2.1 Tests on the number of sample nuts in accordance with **8.1.2.1** shall be performed by the manufacturer following all production heat treatments except that, unless proof load testing or Supplementary Requirement S1 is specified in the order, nuts which would require a proof load in excess of 120 000 lbf or 530 kN may be furnished on the basis of minimum hardness requirements. Proof load testing of nuts requiring a proof load of over 120 000 lbf or 530 kN is covered in Supplementary Requirement S4.

8.2.3 **Test Method**—The test shall be in accordance with Annex A3, Paragraph A3.5.1, of Test Methods and Definitions **A 370**.

8.3 Cone Proof Load Test:

8.3.1 **Requirements**—This test shall be performed only when visible surface discontinuities become a matter of issue between the manufacturer and the purchaser. The requirements specified in **Table 5** and **Table 6** shall be met for the size range ¼ to 1½ in. and M6 to M36. Nuts not in this size range and all types of Grade 8 nuts are not subject to this test. Also, nuts manufactured to dimensions and configurations other than those covered by **ANSI B 1.1**, **ANSI B 1.13M**, **ANSI B 18.2.2**, and **ANSI B 18.2.4.6M** are not subject to the cone proof load test.

8.3.2 **Number of Tests**—Sample nuts in accordance with **8.1.2.1** shall be tested by the manufacturer.

8.3.3 **Test Method**—The test shall consist of assembling a hardened cone (see **Fig. 1**) and the nut to be tested on a hardened steel mandrel, and applying the proof load specified in **Table 5** and **Table 6**. The mandrel shall conform to the requirements of Annex A3, Paragraph A3.5.1 of Test Methods and Definitions **A 370** except that the threads shall be in accordance with **ANSI B 1.1** of the appropriate thread series, Class 3A fit or **ANSI B 1.13M** of the appropriate thread pitch, tolerance 4H. The hardened cone shall be as described in **Fig.**

⁵ An underline as a marking requirement for grades 2HM and 7M has been removed but is permitted.

ASTM A 194/A 194M - 05

TABLE 1 Chemical Requirements^{A,B,C}

Grade Symbol	Material	UNS Number	Carbon, %	Manganese, %	Phosphorus, %	Sulfur, ^D %	Silicon, %	Chromium, %	Nickel, %	Molybdenum, %	Titanium, %	Columbium and Tantalum, %	Nitrogen, %	Other Elements, %
1	carbon		0.15 min	1.00	0.040	0.050	0.40	...	...	...	...	...	...	...
2, 2HM, and 2H	carbon		0.40 min	1.00	0.040	0.050	0.40	...	...	...	...	...	...	...
4	carbon, molybdenum		0.40-0.50	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	...	...	0.20-0.30	...	...	...	...
3	Type 501		0.10 min	1.00	0.040	0.030	1.00	4.0-6.0	...	0.40-0.65	...	...	...	...
6	Type 410	S41000	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.5-13.5	...	...	...	...	...	...
6F	Type 416	S41600	0.15	1.25	0.060	0.15 min	1.00	12.0-14.0	...	...	...	...	...	...
6F	Type 416Se	S41623	0.15	1.25	0.060	0.060	1.00	12.0-14.0	...	...	...	...	...	Selenium, 0.15 min
7, 7M	Type 4140/4142/4145, 4140H, 4142H, 4145H		0.37-0.49	0.65-1.10	0.035	0.04	0.15-0.35	0.75-1.20	...	0.15-0.25	...	...	...	...
8, 8A	Type 304	S30400	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0-20.0	8.0-11.0	...	...	...	...	...
8C, 8CA	Type 347	S34700	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	...	...	10 x carbon content, min	...	...
8M, 8MA	Type 316	S31600	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	...	...	...	...
8T, 8TA	Type 321	S32100	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	...	5 x (C+N) min - 0.70 max	...	...	...
8F, 8FA	Type 303	S30300	0.15	2.00	0.20	0.15 min	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	...	...	...	...	...
8F, 8FA	Type 303Se	S30323	0.15	2.00	0.20	0.06	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	...	...	...	...	Selenium, 0.15 min
8P, 8PA	Type 305 with restricted carbon	S30500	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.0-19.0	11.0-13.0	...	...	...	...	...
8N, 8NA	Type 304N	S30451	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0-20.0	8.0-11.0	...	...	...	0.10-0.16	...
8LN, 8LNA	Type 304LN	S30453	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.0-20.0	8.0-11.0	...	...	...	0.10-0.16	...
8MN, 8MNA	Type 316N	S31651	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0-18.0	10.0-13.0	2.00-3.00	...	...	0.10-0.16	...
8MLN, 8MLNA	Type 316LN	S31653	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0-18.0	10.0-13.0	2.00-3.00	...	...	0.10-0.16	...
8R, 8RA ^E	XM19	S20910	0.06	4.0-6.0	0.045	0.030	1.00	20.5-23.5	11.5-13.5	1.50-3.00	...	0.10-0.30	0.20-0.40	Vanadium, 0.10-0.30
8S, 8SA		S21800	0.10	7.0-9.0	0.060	0.030	3.5-4.5	16.0-18.0	8.0-9.0	...	...	...	0.08-0.18	...
8MLCuN, 8MLCuNA	S31254	S31254	0.020	1.00	0.030	0.010	0.80	19.5-20.5	17.5-18.5	6.0-6.5	...	...	0.18-0.22	Copper, 0.50-1.00
9C, 9CA	N08367	N08367	0.030	2.00	0.040	0.030	1.00	20.0-22.0	23.5-25.5	6.0-7.0	...	...	0.18-0.25	Copper, 0.75
16	Chromium Molybdenum Vanadium		0.36-0.47	0.45-0.70	0.035	0.040	0.15-0.35	0.80-1.15	...	0.50-0.65	...	...	...	Vanadium, 0.25-0.35 Aluminum ^F 0.015

^A The intentional addition of Bi, Se, Te, and Pb is not permitted except for Grades 6F, 8F, and 8FA, in which Se is specified and required.

^B Total aluminum, soluble and insoluble.

^C Maximum, unless minimum or range is indicated.

^D Because of the degree to which sulfur segregates, product analysis for sulfur over 0.060 % max is not technologically appropriate.

^E As described in Specification A 276.

TABLE 2 Hardness Requirements

Grade and Type	Completed Nuts			Sample Nut after treatment as in 8.1.5	
	Brinell Hardness	Rockwell Hardness		Brinell Hardness, min	Rockwell Hardness B Scale, min
		C Scale	B Scale		
1	121 min	---	70 min	121	70
2	159 to 352	---	84 min	159	84
2H	248 to 327	24 to 35	---	179	89
To 1½ in. or M36, incl	248 to 327	24 to 35	---	179	89
Over 1½ in. or M36	212 to 327	35 max	95 min	147	79
2HM and 7M	159 to 235	---	84 to 99	159	84
3, 4, 7, and 16	248 to 327	24 to 35	---	201	94
6 and 6F	228 to 271	20 to 28	---	---	---
8, 8C, 8M, 8T, 8F, 8P, 8N,	126 to 300	---	60 to 105	---	---
8MN, 8LN, 8MLN, 8MLCuN,	126 to 300	---	60 to 105	---	---
and 9C	---	---	---	---	---
8A, 8CA, 8MA, 8TA,	126 to 192	---	60 to 90	---	---
8FA, 8PA, 8NA, 8MNA,	126 to 192	---	60 to 90	---	---
8LNA, 8MLNA, and	126 to 192	---	60 to 90	---	---
8MLCuNA	---	---	---	---	---
8R, 8RA, 8S, and 8SA	183 to 271	B 88 to C 25	---	---	---
9C, 9CA	126 to 192	---	60 to 90	---	---

2. The lot shall be considered acceptable if the sample nut withstands application of the proof load without failure.

9. Dimensions

9.1 Nuts shall be hexagonal in shape, and in accordance with the dimensions for the hex or heavy hex series, as required, by ANSI B 18.2.2 and ANSI B 18.2.4.6M. Unless otherwise specified, the American National Standard Heavy Hex Series shall be used and nuts shall be either double chamfered or have a machined or forged washer face, at the option of the manufacturer, and, conform to the angularity requirements of ANSI B 18.2.2 and ANSI B 18.2.4.6M.

9.2 Unless otherwise specified, threads shall be in accordance with ANSI B 1.1 or ANSI B 1.13M, and shall be gaged in accordance with ANSI B 1.2 and ANSI B 1.13M as described in 9.2.1 and 9.2.2.

9.2.1 Nuts up to and including 1 in. nominal size shall be UNC Series Class 2B fit. Metric nuts up to and including M24 nominal size shall be coarse thread series tolerance 6H.

9.2.2 Nuts over 1 in. nominal size shall be either UNC Series Class 2B fit or 8 UN Series Class 2B fit. Unless otherwise specified, the 8 UN series shall be furnished. Metric nuts over M24 nominal size shall be coarse thread series tolerance 6H.

10. Workmanship, Finish, and Appearance

10.1 Nuts shall be free of defects and shall be good commercial finish.

10.2 If visible surface imperfections in size ¼ through 1½ in. and M6 through M36 and in any grade other than Grade 8 become a matter of issue between the manufacturer and the purchaser, the cone proof load test described in 8.3 shall be employed.

10.3 If a scale-free bright finish is required, this shall be specified on the purchase order.

11. Retests

11.1 Provisions for retests by the purchaser and his representative are specified in Supplementary Requirement S2.

12. Certification

12.1 The producer of nuts shall furnish a certification to the purchaser or his representative showing the results of the chemical analysis, macroetch examination (Carbon and Alloy Steels Only), mechanical tests, and the minimum tempering temperature for nuts of Grades 2H, 2HM, 3, 4, 6, 6F, 7, and 7M.

12.2 Certification shall also include at least the following:

12.2.1 A statement that the fasteners were manufactured, sampled, tested and inspected in accordance with the specification and any supplementary requirements or other requirements designated in the purchase order or contract and was found to meet those requirements.

12.2.2 The specification number, year date, and identification symbol.

13. Product Marking

13.1 All nuts shall bear the manufacturer's identification mark.

13.2 Nuts shall be legibly marked on one face to indicate the grade and process of the manufacturer, as presented in Table 7. Marking of wrench flats or bearing surfaces is not permitted unless agreed upon between manufacturer and purchaser.

13.3 Nuts coated with zinc shall have an asterisk (*) marked after the grade symbol. Nuts coated with cadmium shall have a plus sign (+) marked after the grade symbol.

13.4 For purposes of identification marking, the manufacturer is considered the organization that certifies the fastener was manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with the specification and the results have been determined to meet the requirements of this specification.

14. Keywords

14.1 bolting; chemical analysis; coated; marking on fasteners; plated



A 194/A 194M – 05

TABLE 3 Proof Load Using Threaded Mandrel — Inch Series

NOTE 1—Proof loads are not design loads.

Nominal Size, in.	Threads per Inch	Stress Area in. ²	Proof Load, lbf ^A					
			Grade 1		Grades 2, 2HM, 6, 6F, 7M		Grades 2H, 3, 4, 7, 16	
			Heavy Hex ^B	Hex ^C	Heavy Hex ^D	Hex ^E	Heavy Hex ^F	Hex ^G
1/4	20	0.0316	4 130	3 820	4 770	4 300	5 570	4 770
5/16	18	0.0524	6 810	6 290	7 860	7 070	9 170	7 860
3/8	16	0.0774	10 080	9 300	11 620	10 460	13 560	11 620
7/16	14	0.1063	13 820	12 760	15 940	14 350	18 600	15 940
1/2	13	0.1419	18 450	17 030	21 280	19 160	24 830	21 280
5/8	12	0.182	23 660	21 840	27 300	24 570	31 850	27 300
3/4	11	0.226	29 380	27 120	33 900	30 510	39 550	33 900
7/8	10	0.334	43 420	40 080	50 100	45 090	58 450	50 100
1	9	0.462	60 060	55 440	69 300	62 370	80 850	69 300
1 1/8	8	0.606	78 780	72 720	90 900	81 810	106 000	90 900
1 1/4	8	0.790	102 700	94 800	118 500	108 700	138 200	118 500
1 1/2	8	1.000	130 000	120 000	150 000	135 000	175 000	150 000
1 3/4	8	1.233	160 200	148 000	185 000	166 500	215 800	185 000
2	8	1.492	194 000	179 000	223 800	201 400	261 100	223 800

All Types of Grade 8, Grades 9C and 9CA

Nominal Size, in.	Threads per Inch	Stress Area in. ²	Proof Load, lbf ^A	
			Heavy Hex ^H	Hex ^I
1/4	20	0.0316	2 540	2 380
5/16	18	0.0524	4 190	3 930
3/8	16	0.0774	6 200	5 810
7/16	14	0.1063	8 500	7 970
1/2	13	0.1419	11 350	10 640
5/8	12	0.182	14 560	13 650
3/4	11	0.226	18 080	16 950
7/8	10	0.334	26 720	25 050
1	9	0.462	36 960	34 650
1 1/8	8	0.606	48 480	45 450
1 1/4	8	0.790	63 200	59 250
1 1/2	8	1.000	80 000	75 000
1 3/4	8	1.233	98 640	92 450
2	8	1.492	119 360	111 800

^A See limit for proof load test in 8.2.2.1. The proof load for jam nuts shall be 46 % of the tabulated load.

^B Based on proof stress of 130 000 psi.

^C Based on proof stress of 120 000 psi.

^D Based on proof stress of 150 000 psi.

^E Based on proof stress of 135 000 psi.

^F Based on proof stress of 175 000 psi.

^G Based on proof stress of 150 000 psi.

^H Based on proof stress of 80 000 psi.

^I Based on proof stress of 75 000 psi.



A 194/A 194M – 05

TABLE 4 Proof Load Using Threaded Mandrel — Metric

NOTE 1—Proof loads are not design loads.

Nominal Size, mm	Threads Pitch	Stress Area mm ²	Proof Load, kN ^A					
			Grade 1		Grades 2, 2HM, 6, 6F, 7M		Grades 2H, 3, 4, 7, 16	
			Heavy Hex ^B	Hex ^C	Heavy Hex ^D	Hex ^E	Heavy Hex ^F	Hex ^G
M6	1.0	20.1	18.0	16.6	20.8	18.7	29.2	20.8
M8	1.25	36.6	32.8	30.2	37.9	34.0	44.1	37.9
M10	1.50	58.0	51.9	47.9	60.0	53.9	69.9	60.0
M12	1.75	84.3	75.5	69.5	87.3	78.4	101.6	87.3
M14	2.0	115.0	102.9	94.9	119.0	107.0	138.6	119.0
M16	2.0	157.0	140.5	129.5	162.5	146.0	189.2	162.5
M20	2.5	245.0	219.3	202.1	253.6	227.8	295.2	253.6
M22	2.5	303.0	271.2	249.9	313.6	281.8	365.1	313.6
M24	3.0	353.0	315.9	291.2	365.4	328.3	425.4	365.4
M27	3.0	459.0	411.0	378.7	475.1	426.9	553.4	475.1
M30	3.5	561.0	502.1	462.8	580.6	521.7	676.0	580.6
M36	4.0	817.0	731.2	674.0	845.6	759.8	984.5	845.6

Nominal Size, mm	Thread Pitch	All Types of Grade 8, and Grades 9C and 9CA		
		Stress Area, mm ²	Heavy Hex ^H	Hex ^I
M6	1.0	20.1	11.1	10.4
M8	1.25	36.6	20.1	18.8
M10	1.50	58.0	31.9	29.9
M12	1.75	84.3	46.4	43.4
M14	2.0	115.0	63.3	59.2
M16	2.0	157.0	86.4	80.9
M20	2.5	245.0	134.8	126.2
M22	2.5	303.0	166.7	156.0
M24	3.0	353.0	194.2	181.8
M27	3.0	459.0	252.5	236.4
M30	3.5	561.0	308.6	288.9
M36	4.0	817.0	449.4	420.8

^A See limit for proof load test in 8.2.2.1. The proof load for jam nuts shall be 46 % of the tabulated load.

^B Based on proof stress of 895 MPa.

^C Based on proof stress of 825 MPa.

^D Based on proof stress of 1035 MPa.

^E Based on proof stress of 930 MPa.

^F Based on proof stress of 1205 MPa.

^G Based on proof stress of 1035 MPa.

^H Based on proof stress of 550 MPa.

^I Based on proof stress of 515 MPa.



A 194/A 194M – 05

TABLE 5 Proof Load Using 120° Hardened Steel Cone — Inch^A

Nominal Size, in.	Threads per Inch	Stress Area in. ²	Proof Load, lbf					
			Grade 1		Grades 2, 2HM, 6, 6F, 7M		Grades 2H, 3, 4, 7, 16	
			Heavy Hex ^B	Hex ^C	Heavy Hex ^D	Hex ^E	Heavy Hex ^F	Hex ^D
1/4	20	0.0318	3 800	3 550	4 400	4 000	5 150	4 400
3/16	18	0.0524	6 150	5 700	7 100	6 400	8 300	7 100
3/8	16	0.0774	8 950	8 250	10 300	9 300	12 000	10 300
7/16	14	0.1063	12 000	11 100	13 850	12 450	16 150	13 850
1/2	13	0.1419	15 700	14 500	18 100	16 300	21 100	18 100
9/16	12	0.182	19 650	18 150	22 700	20 400	26 500	22 700
5/8	11	0.226	23 900	22 050	27 550	24 800	32 150	27 550
3/4	10	0.334	33 650	31 050	38 850	34 950	45 300	38 850
7/8	9	0.462	44 300	40 900	51 100	46 600	59 650	51 100
1	8	0.606	55 150	50 900	63 650	57 300	74 250	63 650
1 1/4	8	0.790	68 000	62 800	78 500	70 650	91 600	78 500
1 1/2	8	1.000	81 250	75 000	93 750	84 400	109 350	93 750
1 3/4	8	1.233	94 250	86 950	108 750	97 800	126 850	108 750
1 1/2	8	1.492	106 700	98 500	123 100	110 800	143 600	123 100

^ABased upon the following equation (this equation cannot be used for extrapolating values beyond the size ranges listed in this table):

$$CPL = (1 - 0.30D) \times f \times A_s$$

where:

- CPL = cone stripping proof load lbf,
- D = nominal diameter of nut, in.,
- f = minimum proof stress of nut, psi; see footnote b, c, d, e, and f,
- A_s = tensile stress area of nut, in.² = 0.7854 [D - 0.9743/n]², and
- n = threads per inch.

- ^BBased on proof stress of 130 000 psi.
- ^CBased on proof stress of 120 000 psi.
- ^DBased on proof stress of 150 000 psi.
- ^EBased on proof stress of 135 000 psi.
- ^FBased on proof stress of 175 000 psi.

TABLE 6 Proof Load Using 120° Hardened Steel Cone — Metric^A

Nominal Size, mm	Thread Pitch	Stress Area mm ²	Proof Load, kN					
			Grade 1		Grades 2, 2HM, 6 6F, 7M		Grades 2H, 3, 4, 7, 16	
			Heavy Hex ^B	Hex ^C	Heavy Hex ^D	Hex ^E	Heavy Hex ^F	Hex ^D
M6	1.0	20.1	16.9	15.4	19.3	17.3	22.5	19.3
M8	1.25	36.6	29.6	27.3	34.2	30.8	39.9	34.2
M10	1.50	58.0	45.7	42.1	52.8	47.5	61.5	52.8
M12	1.75	84.3	64.6	59.5	74.7	67.1	86.9	74.7
M14	2.0	115.0	85.6	78.9	99.0	88.9	115.3	99.0
M16	2.0	157.0	113.5	104.7	131.2	118.0	152.9	131.2
M20	2.5	245.0	166.6	153.6	192.7	173.2	224.4	192.7
M22	2.5	303.0	199.6	183.9	230.8	207.4	268.7	230.8
M24	3.0	353.0	224.9	207.4	260.1	233.7	302.9	260.1
M27	3.0	459.0	277.7	256.0	321.1	288.6	373.9	321.1
M30	3.5	561.0	321.3	296.2	371.6	334.0	432.6	371.6
M36	4.0	817.0	415.3	382.8	480.3	431.6	559.2	480.3

^ABased upon the following equation (this equation cannot be used for extrapolating values beyond the size ranges listed in this table):

$$CPL = (1 - 0.012D) \times f \times A_s \times 0.001$$

where:

- CPL = cone stripping proof load lbf [kN],
- D = nominal diameter of nut, in. [mm],
- f = minimum proof stress of nut, psi [MPa]; see footnote b, c, d, e, and f,
- A_s = tensile stress area of nut, mm² = 0.7854 [D - 0.9382P]², and
- n = thread pitch, mm.

- ^BBased on proof stress of 895 MPa.
- ^CBased on proof stress of 825 MPa.
- ^DBased on proof stress of 1035 MPa.
- ^EBased on proof stress of 930 MPa.
- ^FBased on proof stress of 1205 MPa.

A 194/A 194M - 05

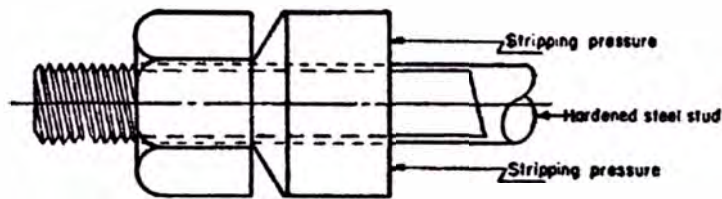


FIG. 1 Application of Hardened Steel Cone to Testing of Nuts

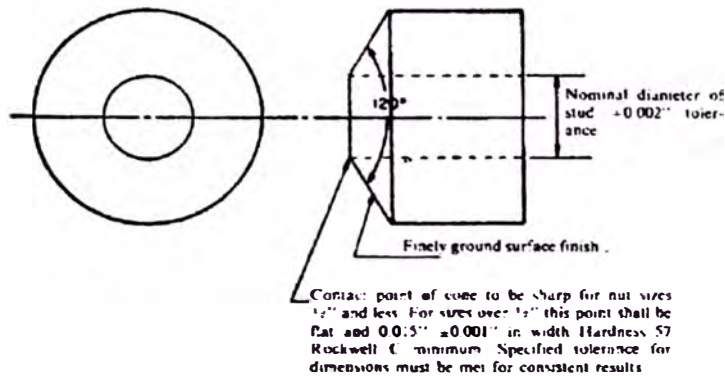


FIG. 2 Hardened Steel Cone

TABLE 7 Marking of Nuts

Grade and Type	Nuts Hot-Forged or Cold-Punched	Nuts Machined from Bar Stock	Nuts Manufactured in Accordance with 6.6
1	1	1B	...
2	2	2B	...
2H ^A	2H	2HB	...
2HM ^A	2HM	2HMB	...
3	3	3B	...
4	4	4B	...
4L ^B	4L	4BL	...
6	6	6B	...
6F	6F	6FB	...
7	7	7B	...
7L ^B	7L	7BL	...
7M ^A	7M	7MB	...
8	8	8B	8A
8C	8C	8CB	8CA
8M	8M	8MB	8MA
8T	8T	8TB	8TA
8F	8F	8FB	8FA
8P	8P	8PB	8PA
8N	8N	8NB	8NA
8MN	8MN	8MNB	8MNA
8R	8R	8RB	8RA
8S	8S	8SB	8SA
8LN	8LN	8LNB	8LNA
8MLN	8MLN	8MLNB	8MLNA
8MLCuN	8MLCuN	8MLCuNB	8MLCuNA
9C	9C	9CB	9CA
16	16	16B	...

^A The letters H and M indicate heat-treated nuts (see Section 6).

^B See Supplementary Requirement S3.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

One or more of the following supplementary requirements shall be applied only when specified by the purchaser in the inquiry, contract, or order. Details of these supplementary requirements shall be agreed upon in writing by the manufacturer and purchaser. Supplementary requirements shall in no way negate any requirement of the specification itself.

S1. Strain-Hardened Austenitic Steel Nuts

S1.1 Strain hardened Grades 8, 8C, 8T, 8M, 8F, 8P, 8N, or 8MN nuts may be specified. When Supplementary Requirement S1 is invoked in the order, nuts shall be machined from cold drawn bars or shall be cold forged to shape. No subsequent heat treatment shall be performed on the nuts. Nuts made in accordance with this requirement shall be proof load tested in accordance with 8.2.2.1 and shall withstand the proof load specified in Table 8 and Table 9. For nuts requiring proof loads over 120 000 lbf or 530 kN, Supplementary Requirement S4 is invoked. The hardness limits of Table 2 do not apply to strain hardened nuts. Nuts made in accordance with this requirement shall be marked with the Grade symbol underlined.

S2. Retests by Purchaser's Representative

S2.1 The purchaser's representative may select two nuts per keg (200-lb unit [90-kg]) for sizes 5/8 in. and M16 and smaller, one nut per keg for sizes over 5/8 in. and M16 up to and including 1 1/2 in. and M36, and one nut per every two kegs for sizes larger than 1 1/2 in. and M36, which shall be subjected to the tests specified in Section 8.

S3. Low-Temperature Requirements for Grade 4, Grade 7 or Grade 7M Nuts

S3.1 When low-temperature requirements are specified for Grade 4 or Grade 7 nuts, the Charpy test procedures and requirements as defined in Specification A 320/A 320M for

Grade L7 shall apply. When low-temperature requirements are specified for Grade 7M nuts, the Charpy test procedures and requirements as defined in Specification A 320/A 320M for Grade L7M shall apply. Depending on the size of nuts, separate test samples of the same heat may be required and shall be processed through heat treatment with the nuts for which the test is to apply. Impact testing is not required when the bar stock or nut is smaller than 3/8 in. in diameter or 16M in diameter.

S3.2 An "L" shall be added to the marking, as shown in Table 7, for nuts so tested.

S4. Proof Load Tests of Large Nuts

S4.1 Proof load testing of nuts requiring proof loads of over 120 000 lbf or 530 kN may be required. When specified, the test is to be performed in accordance with 8.2 to the loads required by Table 10 and Table 11. The maximum load will be based entirely on the equipment available.

S5. Control of Product by Heat Number

S5.1 When control of nuts by actual heat analysis is required and this supplementary requirement is specified, the manufacturer shall identify the completed nuts in each shipment by the actual heat number. When this supplementary requirement is specified, a certificate including the results of the actual production tests of each test lot together with the heat chemical analysis shall be furnished by the manufacturer.

TABLE 8 Proof Load Testing of Strain Hardened Nuts Using Threaded Mandrel — Inch Series

NOTE 1—Proof loads are not design loads.

Nominal Size, in.	Threads per in.	Stress Area, in. ²	Proof Load, lbf ^A			
			Grade 8M (strain hardened)	Grade 8M (strain hardened)	All Other Types of Grade 8 (strain hardened)	All Other Types of Grade 8 (strain hardened)
			Heavy Hex ^B	Hex ^C	Heavy Hex ^D	Hex ^B
1/4	20	0.0316	3 480	3 160	3 950	3 480
5/16	18	0.0523	5 760	5 240	6 550	5 760
3/8	16	0.0774	8 510	7 740	9 675	8 510
7/16	14	0.1063	11 690	10 630	13 290	11 690
1/2	13	0.1419	15 610	14 190	17 740	15 610
5/8	12	0.182	20 020	18 200	22 750	20 020
3/4	11	0.226	24 860	22 600	28 250	24 860
7/8	10	0.334	36 740	33 400	41 750	36 740
1	9	0.462	46 200	41 580	53 130	46 200
1 1/8	8	0.606	60 600	54 540	69 690	60 600
1 1/4	8	0.790	75 050	67 150	82 950	75 050
1 1/2	8	1.000	95 000	85 000	105 000	95 000
1 3/4	8	1.233	110 970	98 640	123 300	110 970
2	8	1.492	134 280	119 360	149 200	134 280

^A The proof load for jam nuts shall be 46 % of the tabulated value.

^B Based on proof stress of 110 000 psi up to 3/4 in.; 100 000 psi 3/4 to 1 in.; 95 000 psi 1 1/4 to 1 1/2 in.; 90 000 psi 1 1/2 to 1 3/4 in.

^C Based on proof stress of 100 000 psi up to 3/4 in.; 90 000 psi 3/4 to 1 in.; 85 000 psi 1 1/4 to 1 1/2 in.; 80 000 psi 1 1/2 to 1 3/4 in.

^D Based on proof stress of 125 000 psi up to 3/4 in.; 115 000 psi 3/4 to 1 in.; 105 000 psi 1 1/4 to 1 1/2 in.; 100 000 psi 1 1/2 to 1 3/4 in.

TABLE 9 Proof Load Testing of Strain Hardened Nuts Using Threaded Mandrel — Metric

NOTE 1—Proof loads are not design loads.

Nominal Size, mm	Thread Pitch	Stress Area, mm ²	Proof Load, kN ^A			
			Grade 8M (strain hardened)	Grade 8M (strain hardened)	All Other Types of Grade 8 (strain hardened)	All Other Types of Grade 8 (strain hardened)
			Heavy Hex ^B	Hex ^C	Heavy Hex ^D	Hex ^B
M6	1.0	20.1	15.3	13.9	17.3	15.3
M8	1.25	36.6	27.8	25.3	31.3	27.8
M10	1.50	58.0	44.1	40.0	49.9	44.1
M12	1.75	84.3	64.1	58.2	72.5	64.1
M14	2.0	115.0	87.4	79.4	98.9	87.4
M16	2.0	157.0	119.3	108.3	135.0	119.3
M20	2.5	245.0	186.2	169.0	210.9	186.2
M22	2.5	303.0	209.0	187.9	240.9	209.0
M24	3.0	353.0	243.5	218.9	280.6	243.5
M27	3.0	459.0	300.6	268.5	332.7	300.6
M30	3.5	561.0	367.5	328.2	406.7	367.5
M36	4.0	817.0	506.5	449.4	563.7	506.5

^A The proof load for jam nuts shall be 46 % of the tabulated value.

^B Based on proof stress of 760 MPa up to M20 mm; 690 MPa M22 to M24 mm; 655 MPa M27 to M30; and 620 MPa for M36.

^C Based on proof stress of 690 MPa up to M20 mm; 620 MPa M22 to M24 mm; 585 MPa M27 to M30; and 550 MPa for M36.

^D Based on proof stress of 860 MPa up to M20 mm; 795 MPa M22 to M24 mm; 725 MPa M27 to M30 mm; and 690 MPa for M36.

TABLE 10 Proof Load for Large Heavy Hex Nuts — Inch^A

Nominal Size, in.	Threads per in.	Stress Area, in. ²	Proof Load, lbf ^B		
			Grade 1 Heavy Hex	Grades 2, 6, 6F Heavy Hex	Grades 2H, 3, 4, 7, 16 Heavy Hex
1 3/8	8	1.78	231 400	267 000	311 500
1 3/4	8	2.08	270 400	312 000	364 000
1 7/8	8	2.41	313 300	361 500	421 800
2	8	2.77	360 100	415 500	484 800
2 1/4	8	3.56	462 800	534 000	623 000
2 1/2	8	4.44	577 200	666 000	777 000
2 3/4	8	5.43	705 900	814 500	950 250

^A ANSI B 18.2.2 in the size range over 1 1/2 in. provides dimensions only for heavy hex nuts. Refer to 8.3.1.

^B Proof loads for nuts of larger dimensions or other thread series may be calculated by multiplying the thread stress area times the proof stress in the notes to Table 3 or Table 8. The proof load for jam nuts shall be 46 % of the tabulated load.

TABLE 11 Proof Load for Large Heavy Hex Nuts — Metric^A

Nominal Size, mm	Thread Pitch	Stress Area, mm ²	Proof Load, kN ^B		
			Grade 1 Heavy Hex	Grades 2, 6, 6F Heavy Hex	Grades 2H, 3, 4, 7, 16 Heavy Hex
M42	4.5	1120	1002.4	1159.2	1771.4
M48	5	1470	1315.7	1521.4	1771.4
M56	5.5	2030	1816.9	2101.0	2446.2
M64	6	2680	2398.6	2773.8	3229.4
M72	6	3460	3096.7	3581.1	4169.3

^A ANSI B 18.2.4.6M in the size range over M36 provides dimensions only for heavy hex nuts. Refer to 7.3.1.

^B Proof loads for nuts of larger dimensions or other thread series may be calculated by multiplying the thread stress area times the proof stress in the notes to Table 3 or Table 8. The proof load for jam nuts shall be 46 % of the tabulated load.

S6. Grain Size Requirements for Non H Grade Austenitic Steels Used Above 1000 °F

S6.1 For design metal temperatures above 1000 °F [540 °C], the material shall have a grain size of No. 7 or coarser as

determined in accordance with Test Methods F 112. The grain size so determined shall be reported on the Certificate of Test.

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. STRAIN HARDENING OF AUSTENITIC STEELS

X1.1 Strain hardening is the increase in strength and hardness that results from plastic deformation below the recrystallization temperature (cold work). This effect is produced in austenitic stainless steels by reducing oversized bars to the desired final size by cold drawing or other process. The degree of strain hardening achievable in any alloy is limited by its strain hardening characteristics. In addition, the amount of strain hardening that can be produced is further limited by the variables of the process, such as the total amount of cross-

section reduction, die angle and bar size. In large diameter bars, for example, plastic deformation will occur principally in the outer regions of the bar, so that the increased strength and hardness due to strain hardening is achieved predominantly near the surface of the bar. That is, the smaller the bar, the greater the penetration of strain hardening. Thus, the mechanical properties of a given strain hardened fastener are dependent not just on the alloy, but also on the size of bar from which it is machined.

X2. COATINGS AND APPLICATION LIMITS

X2.1 Use of coated fasteners at temperatures above approximately one-half the melting point (Fahrenheit or Celsius) of the coating is not recommended unless consideration is given to the potential for liquid and solid metal embrittlement, or both. The melting point of elemental zinc is approximately

780 °F [415 °C]. Therefore, application of zinc coated fasteners should be limited to temperatures less than 390 °F [210 °C]. The melting point of cadmium is approximately 600 °F [320 °C]. Therefore, application of cadmium coated fasteners should be limited to temperatures less than 300 °F [160 °C].

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 194/A 194M – 04a, which may impact the use of this specification. (Approved July 1, 2005)

(1) Added Note A that excludes the zinc and cadmium coated nuts from the requirements of 8.1.5.

(2) The second part of 13.2 was moved into new paragraph 13.3 and subsequent paragraphs were renumbered.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 194/A 194M – 04, which may impact the use of this specification. (Approved July 1, 2004)

(1) Added the heading “Type” to 3.1.4.

(2) Added new Section 7, Chemical Composition.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 194/A 194M – 03b, which may impact the use of this specification. (Approved January 1, 2004)

(1) Revised 7.1.3 and Table 2 hardness and marking for Grades 2HM and 7M.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Designation: A 320/A 320M – 05a

Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting Materials for Low-Temperature Service¹

This standard is issued under the fixed designation A 320/A 320M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

Note— Paragraph 6.1.1 was revised and the year date changed on July 12, 2005.

1. Scope*

1.1 This specification² covers alloy steel bolting materials for pressure vessels, valves, flanges, and fittings for low-temperature service. The term “bolting material” as used in this specification covers rolled, forged, or strain hardened bars, bolts, screws, studs, and stud bolts. The bars shall be hot-wrought. The material may be further processed by centerless grinding or by cold drawing. Austenitic stainless steel may be solution annealed or annealed and strain-hardened. When strain hardened austenitic stainless steel is ordered, the purchaser should take special care to ensure that **Appendix X1** is thoroughly understood.

1.2 Several grades are covered, including both ferritic and austenitic steels designated L7, B8, etc. Selection will depend on design, service conditions, mechanical properties, and low-temperature characteristics. The mechanical requirements of **Table 1** indicate the diameters for which the minimum mechanical properties apply to the various grades and classes, and **Table 2** stipulates the requirements for Charpy impact energy absorption. The manufacturer should determine that the material can conform to these requirements before parts are manufactured. For example, when Grade L43 is specified to meet the **Table 2** impact energy values at -150°F [-101°C], additional restrictions (such as procuring a steel with lower P and S contents than might normally be supplied) in the chemical composition for AISI 4340 are likely to be required.

Note 1—The committee formulating this specification has included several grades of material that have been rather extensively used for the present purpose. Other compositions will be considered for inclusion by the committee from time to time as the need becomes apparent. Users should note that hardenability of some of the grades mentioned may restrict the maximum size at which the required mechanical properties are obtainable.

¹This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.22 on Steel Forgings and Wrought Fittings for Piping Applications and Bolting Materials for Piping and Special Purpose Applications.

Current edition approved July 12, 2005. Published July 2005. Originally approved in 1948. Last previous edition approved in 2005 as A 320/A 320M-05.

²For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications, see related Specification SA-320 in Section II of that Code.

1.3 Nuts for use with this bolting material are covered in Section 9 and the nut material shall be impact tested.

1.4 Supplementary Requirements (S1, S2, and S3) of an optional nature are provided. They shall apply only when specified in the inquiry, contract and order.

1.5 This specification is expressed in both inch-pound units and in SI units. However, unless the order specifies the applicable “M” specification designation (SI units), the material shall be furnished to inch-pound units.

1.6 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

A 194/A 194M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High-Pressure or High-Temperature Service, or Both

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

A 962/A 962M Specification for Common Requirements for Steel Fasteners or Fastener Materials, or Both, Intended for Use at Any Temperature from Cryogenic to the Creep Range

E 566 Practice for Electromagnetic (Eddy-Current) Sorting of Ferrous Metals

F 436 Specification for Hardened Steel Washers

F 606 Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, and Rivets

2.2 ANSI Standards:

³For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

ASTM International
Revised by IHS Under license with ASTM © ASTM Int'l (all rights reserved);
production or reproduction prohibited without license from IHS

Licensee: Loc. 25-27Venezuela/Paraguay, Puerto la Cr. San Die/5919206111, User: hem
Not for Resale, 10/06/2005 15:42:17 MDT; Mon Aug 8 12:06:12 EDT 2005

B1.1 Screw Threads⁴
B18.22.1 Plain Washers⁴

3. Ordering Information

3.1 It is the purchaser's responsibility to specify in the purchase order all information necessary to purchase the needed materials. Examples of such information include, but are not limited to, the following:

- 3.1.1 Quantity and size,
- 3.1.2 Heat-treated condition, that is, for the austenitic stainless steels, solution-treated (Class 1); solution-treated after finishing (Class 1A); and annealed and strain-hardened (Class 2),
- 3.1.3 Description of items required (bars, bolts, screws, or studs).
- 3.1.4 Nuts and washers, if required by the purchaser, in accordance with Section 9, and
- 3.1.5 Special requirements, in accordance with 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, and 11.1.

4. Common Requirements

4.1 Material and fasteners supplied to this specification shall conform to the requirements of Specification A 962/A 962M. These requirements include methods, finish, thread dimensions, marking certification, optional supplementary requirements, and others. Failure to comply with the requirements of Specification A 962/A 962M constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements in this specification and Specification A 962/A 962M, this specification shall prevail.

4.2 For L7M bolting, the final heat treatment, which may be the tempering operation if conducted at 1150 °F [620 °C] minimum, shall be done after machining and forming operations, including thread rolling and any type of cutting.

5. Materials and Manufacture

5.1 Heat Treatment:

5.1.1 The bolting material shall be allowed to cool to room temperature after rolling or forging. Grades L7, L7A, L7B, L7C, L7M, L43, L1, L70, L71, L72, and L73 shall be reheated to above the upper critical temperature and liquid quenched and tempered. Grades B8, B8C, B8M, B8T, B8F, B8P, B8LN, and B8MLN shall receive a carbide solution treatment. Products made from such material are described as Class 1. This shall consist of holding the material for a sufficient time at a temperature at which the chromium carbide will go into solution and then cooling in air or in a liquid medium at a rate sufficient to prevent reprecipitation of the carbide. Material thus treated is described as Class 1. If specified in the purchase order, material shall be solution treated in the finished condition; material so treated is described as Class 1A.

5.1.2 When increased mechanical properties are desired, the austenitic bolting materials shall be solution annealed and strain hardened if specified in the purchase order; material so treated is identified as Class 2.

5.1.3 If scale-free bright finish is required, this shall be specified in the purchase order.

5.1.4 For L7M bolting, the final heat treatment, which may be the tempering or stress-relieving operation conducted at 1150 °F [620 °C] minimum, shall be done after machining or rolling of the threads.

6. Mechanical Requirements

6.1 Tensile Properties:

6.1.1 The material as represented by the tension specimens shall conform to the requirements as to tensile properties prescribed in Table 1 at room temperature after heat treatment (see 5.1.1). Alternatively, Class 2 Strain Hardened Headed Fasteners shall be tested full size after strain hardening to determine tensile strength and yield strength and shall conform to the requirements prescribed in Table 1. Should the results of full size tests conflict with results of tension specimen tests, full size test results shall prevail.

6.1.2 Number of Tests:

6.1.2.1 For heat-treated bars, one tension test and one impact test consisting of three specimens shall be made for each diameter of each heat represented in each tempering charge. In the continuous type treatment, a charge shall be defined as 6000 lb [2700 kg].

6.1.2.2 For studs, bolts, screws, etc., one tension test and one set of three impact specimens shall be made for each diameter of each heat involved in the lot. Each lot shall consist of the following:

Diameter, in. (mm)	Lot Size, lb (kg)
1/8 [30] and under	1500 [680] or fraction thereof
Over 1/8 [30] to 1/4 [45], incl	4500 [2040] or fraction thereof
Over 1/4 [45] to 2 1/2 [65], incl	6000 [2700] or fraction thereof
Over 2 1/2 [65]	100 pieces or fraction thereof

6.1.2.3 Full Size Specimens, Headed Fasteners—Headed fasteners 1 1/2 in. in body diameter and smaller, with body length three times the diameter or longer, and which are produced by upsetting or forging (hot or cold) shall be subjected to full size testing in accordance with 6.1.3. This testing shall be in addition to tensile testing as specified in 6.1.1. The lot size shall be shown in 6.1.2.2. Failure shall occur in the body or threaded sections with no failure, or indications of failure, such as cracks, at the junction of the head and shank.

6.1.3 Full Size Fasteners, Wedge Tensile Testing—When applicable, see 6.1.2.3. Headed fasteners shall be wedge tested full size in accordance with Annex A3 of Test Methods and Definitions A 370 and shall conform to the tensile strength shown in Table 1. The minimum full size breaking strength (lbf) for individual sizes shall be as follows:

$$T_s = UTS \times A_s \quad (1)$$

where:

- T_s = Wedge tensile strength
- UTS = Tensile strength specified in Table 1, and
- A_s = Stress area, square inches, as shown in ANSI B1.1 or calculated as follows:

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

TABLE 1 Mechanical Requirements

Class and Grade, Diameter, in [mm]	Heat Treatment	Minimum Tempering Temperature °F [°C]	Tensile Strength, min, ksi [MPa]	Yield Strength, min, ksi [MPa] (0.2 % offset)	Elongation in 2 in. or 50 mm min, %	Reduction of Area, min, %	Hardness max
Ferritic Steels							
L7, L7A, L7B, L7C, L7D, L7E, L7F, L7G, L7H, L7I, L7J, L7K, L7L, L7M, L7N, L7O, L7P, L7Q, L7R, L7S, L7T, L7U, L7V, L7W, L7X, L7Y, L7Z, L7AA, L7AB, L7AC, L7AD, L7AE, L7AF, L7AG, L7AH, L7AI, L7AJ, L7AK, L7AL, L7AM, L7AN, L7AO, L7AP, L7AQ, L7AR, L7AS, L7AT, L7AU, L7AV, L7AW, L7AX, L7AY, L7AZ, L7BA, L7BB, L7BC, L7BD, L7BE, L7BF, L7BG, L7BH, L7BI, L7BJ, L7BK, L7BL, L7BM, L7BN, L7BO, L7BP, L7BQ, L7BR, L7BS, L7BT, L7BU, L7BV, L7BW, L7BX, L7BY, L7BZ, L7CA, L7CB, L7CC, L7CD, L7CE, L7CF, L7CG, L7CH, L7CI, L7CJ, L7CK, L7CL, L7CM, L7CN, L7CO, L7CP, L7CQ, L7CR, L7CS, L7CT, L7CU, L7CV, L7CW, L7CX, L7CY, L7CZ, L7DA, L7DB, L7DC, L7DD, L7DE, L7DF, L7DG, L7DH, L7DI, L7DJ, L7DK, L7DL, L7DM, L7DN, L7DO, L7DP, L7DQ, L7DR, L7DS, L7DT, L7DU, L7DV, L7DW, L7DX, L7DY, L7DZ, L7EA, L7EB, L7EC, L7ED, L7EE, L7EF, L7EG, L7EH, L7EI, L7EJ, L7EK, L7EL, L7EM, L7EN, L7EO, L7EP, L7EQ, L7ER, L7ES, L7ET, L7EU, L7EV, L7EW, L7EX, L7EY, L7EZ, L7FA, L7FB, L7FC, L7FD, L7FE, L7FF, L7FG, L7FH, L7FI, L7FJ, L7FK, L7FL, L7FM, L7FN, L7FO, L7FP, L7FQ, L7FR, L7FS, L7FT, L7FU, L7FV, L7FW, L7FX, L7FY, L7FZ, L7GA, L7GB, L7GC, L7GD, L7GE, L7GF, L7GG, L7GH, L7GI, L7GJ, L7GK, L7GL, L7GM, L7GN, L7GO, L7GP, L7GQ, L7GR, L7GS, L7GT, L7GU, L7GV, L7GW, L7GX, L7GY, L7GZ, L7HA, L7HB, L7HC, L7HD, L7HE, L7HF, L7HG, L7HH, L7HI, L7HJ, L7HK, L7HL, L7HM, L7HN, L7HO, L7HP, L7HQ, L7HR, L7HS, L7HT, L7HU, L7HV, L7HW, L7HX, L7HY, L7HZ, L7IA, L7IB, L7IC, L7ID, L7IE, L7IF, L7IG, L7IH, L7II, L7IJ, L7IK, L7IL, L7IM, L7IN, L7IO, L7IP, L7IQ, L7IR, L7IS, L7IT, L7IU, L7IV, L7IW, L7IX, L7IY, L7IZ, L7JA, L7JB, L7JC, L7JD, L7JE, L7JF, L7JG, L7JH, L7JI, L7JJ, L7JK, L7JL, L7JM, L7JN, L7JO, L7JP, L7JQ, L7JR, L7JS, L7JT, L7JU, L7JV, L7JW, L7JX, L7JY, L7JZ, L7KA, L7KB, L7KC, L7KD, L7KE, L7KF, L7KG, L7KH, L7KI, L7KJ, L7KK, L7KL, L7KM, L7KN, L7KO, L7KP, L7KQ, L7KR, L7KS, L7KT, L7KU, L7KV, L7KW, L7KX, L7KY, L7KZ, L7LA, L7LB, L7LC, L7LD, L7LE, L7LF, L7LG, L7LH, L7LI, L7LJ, L7LK, L7LL, L7LM, L7LN, L7LO, L7LP, L7LQ, L7LR, L7LS, L7LT, L7LU, L7LV, L7LW, L7LX, L7LY, L7LZ, L7MA, L7MB, L7MC, L7MD, L7ME, L7MF, L7MG, L7MH, L7MI, L7MJ, L7MK, L7ML, L7MN, L7MO, L7MP, L7MQ, L7MR, L7MS, L7MT, L7MU, L7MV, L7MW, L7MX, L7MY, L7MZ, L7NA, L7NB, L7NC, L7ND, L7NE, L7NF, L7NG, L7NH, L7NI, L7NJ, L7NK, L7NL, L7NM, L7NO, L7NP, L7NQ, L7NR, L7NS, L7NT, L7NU, L7NV, L7NW, L7NX, L7NY, L7NZ, L7OA, L7OB, L7OC, L7OD, L7OE, L7OF, L7OG, L7OH, L7OI, L7OJ, L7OK, L7OL, L7OM, L7ON, L7OO, L7OP, L7OQ, L7OR, L7OS, L7OT, L7OU, L7OV, L7OW, L7OX, L7OY, L7OZ, L7PA, L7PB, L7PC, L7PD, L7PE, L7PF, L7PG, L7PH, L7PI, L7PJ, L7PK, L7PL, L7PN, L7PO, L7PP, L7PQ, L7PR, L7PS, L7PT, L7PU, L7PV, L7PW, L7PX, L7PY, L7PZ, L7QA, L7QB, L7QC, L7QD, L7QE, L7QF, L7QG, L7QH, L7QI, L7QJ, L7QK, L7QL, L7QM, L7QN, L7QO, L7QP, L7QQ, L7QR, L7QS, L7QT, L7QU, L7QV, L7QW, L7QX, L7QY, L7QZ, L7RA, L7RB, L7RC, L7RD, L7RE, L7RF, L7RG, L7RH, L7RI, L7RJ, L7RK, L7RL, L7RM, L7RN, L7RO, L7RP, L7RQ, L7RR, L7RS, L7RT, L7RU, L7RV, L7RW, L7RX, L7RY, L7RZ, L7SA, L7SB, L7SC, L7SD, L7SE, L7SF, L7SG, L7SH, L7SI, L7SJ, L7SK, L7SL, L7SM, L7SN, L7SO, L7SP, L7SQ, L7SR, L7SS, L7ST, L7SU, L7SV, L7SW, L7SX, L7SY, L7SZ, L7TA, L7TB, L7TC, L7TD, L7TE, L7TF, L7TG, L7TH, L7TI, L7TJ, L7TK, L7TL, L7TM, L7TN, L7TO, L7TP, L7TQ, L7TR, L7TS, L7TT, L7TU, L7TV, L7TW, L7TX, L7TY, L7TZ, L7UA, L7UB, L7UC, L7UD, L7UE, L7UF, L7UG, L7UH, L7UI, L7UJ, L7UK, L7UL, L7UM, L7UN, L7UO, L7UP, L7UQ, L7UR, L7US, L7UT, L7UU, L7UV, L7UW, L7UX, L7UY, L7UZ, L7VA, L7VB, L7VC, L7VD, L7VE, L7VF, L7VG, L7VH, L7VI, L7VJ, L7VK, L7VL, L7VM, L7VN, L7VO, L7VP, L7VQ, L7VR, L7VS, L7VT, L7VU, L7VV, L7VW, L7VX, L7VY, L7VZ, L7WA, L7WB, L7WC, L7WD, L7WE, L7WF, L7WG, L7WH, L7WI, L7WJ, L7WK, L7WL, L7WM, L7WN, L7WO, L7WP, L7WQ, L7WR, L7WS, L7WT, L7WU, L7WV, L7WW, L7WX, L7WY, L7WZ, L7XA, L7XB, L7XC, L7XD, L7XE, L7XF, L7XG, L7XH, L7XI, L7XJ, L7XK, L7XL, L7XM, L7XN, L7XO, L7XP, L7XQ, L7XR, L7XS, L7XT, L7XU, L7XV, L7XW, L7XX, L7XY, L7XZ, L7YA, L7YB, L7YC, L7YD, L7YE, L7YF, L7YG, L7YH, L7YI, L7YJ, L7YK, L7YL, L7YM, L7YN, L7YO, L7YP, L7YQ, L7YR, L7YS, L7YT, L7YU, L7YV, L7YW, L7YX, L7YY, L7YZ, L7ZA, L7ZB, L7ZC, L7ZD, L7ZE, L7ZF, L7ZG, L7ZH, L7ZI, L7ZJ, L7ZK, L7ZL, L7ZM, L7ZN, L7ZO, L7ZP, L7ZQ, L7ZR, L7ZS, L7ZT, L7ZU, L7ZV, L7ZW, L7ZX, L7ZY, L7ZZ	quenched and tempered	1100 [593]	125 [860]	105 [725]	16	50	...
L43 4 [100] and under ^A	quenched and tempered	1100 [593]	125 [860]	105 [725]	16	50	...
L7M 2 1/2 [65] and under ^A	quenched and tempered	1150 [620]	100 [690]	80 [550]	18	50	235 HB ^B or 99 HRB
L1 1 [25] and under ^A	quenched and tempered		125 [860]	105 [725]	18	50	...
Austenitic Steels^C							
Class 1: B8, B8C, B8M, B8P, B8F, B8T, B8LN, B8MLN, all diameters	carbide solution treated		75 [515]	30 [205]	30	50	223 HB ^D or 96 HRB
Class 1A: B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8FA, B8TA, B8LNA, B8MLNA, all diameters	carbide solution treated in the finished condition		75 [515]	30 [205]	30	50	192 HB or 90 HRB
Class 2: B8, B8C, B8P, B8F, B8T: 3/4 [20] and under	carbide solution treated and strain hardened		125 [860]	100 [690]	12	35	321 HB or 35 HRC
over 3/4 to 1 [20 to 25], incl			115 [795]	80 [550]	15	30	321 HB or 35 HRC
over 1 to 1 1/4 [25 to 32], incl			105 [725]	65 [450]	20	35	321 HB or 35 HRC
over 1 1/4 to 1 1/2 [32 to 40], incl ^A			100 [690]	50 [345]	28	45	321 HB or 35 HRC
Class 2: B8M: 3/4 [20] and under	carbide solution treated and strain hardened		110 [760]	95 [655]	15	45	321 HB or 35 HRC
over 3/4 to 1 [20 to 25], incl			100 [690]	80 [550]	20	45	321 HB or 35 HRC
over 1 to 1 1/4 [25 to 32], incl			95 [655]	65 [450]	25	45	321 HB or 35 HRC
over 1 1/4 to 1 1/2 [32 to 40], incl ^A			90 [620]	50 [345]	30	45	321 HB or 35 HRC

^A These upper diameter limits were established on the basis that these were the largest sizes commonly available that consistently met specification property limits. They are not intended as absolute limits beyond which bolting materials could no longer be certified to the specification.

^B To meet the tensile requirements, the Brinell hardness shall not be less than 200 HB or 93 HRB.

^C Class 1 products are made from solution-treated material. Class 1A products are solution treated in the finished condition for corrosion resistance; heat treatment is critical for enhancing this physical property and meeting the mechanical property requirements. Class 2 products are made from solution-treated material that has been strain hardened. Austenitic steels in the strain-hardened condition may not show uniform properties throughout the cross section, particularly in sizes over 3/4 in. [20 mm] in diameter.

^D For sizes 3/4 in. [20 mm] in diameter and smaller, a maximum hardness of 241 HB (100 HRB) is permitted.


A 320/A 320M - 05a

All rights reserved. This document is the property of ASME. It is to be used only for the individual user and not for general distribution. For more information, contact ASME at 11 W. 42nd St., New York, NY 10018-1500.

TABLE 2 Impact Energy Absorption Requirements

Size of Specimen, mm	Minimum Impact Value Required for Average of Each Set of Three Specimens, ft-lbf [J]	Minimum Impact Value Permitted for One Specimen Only of a Set, ft-lbf [J]
All Grades Except L1^A		
10 by 10	20 [27]	15 [20]
10 by 7.5	16 [22]	12 [16]
Grade L1		
10 by 10	40 [54]	30 [41]
10 by 7.5	32 [44]	24 [32]

^A See 6.2.1.1 for permitted exemptions.

$$A_s = 0.785 (D - (0.974/n))^2 \quad (2)$$

where:

D = Nominal thread size, and

n = The number of threads per inch.

6.2 Impact Properties:

6.2.1 Requirements:

6.2.1.1 Material of Grades L7, L7A, L7B, L7C, L7M, L43, L70, L71, L72, and L73 shall show a minimum impact energy absorption of 20 ft · lbf [27 J] and of Grade L1 a minimum impact energy absorption of 40 ft · lbf [54 J] at the test temperature when tested by the procedure specified in the applicable portions of Sections 19 to 28 of Test Methods and Definitions A 370. The temperature of the coolant used for chilling the test specimens shall be controlled within ±3 °F [1.5 °C]. Impact tests are not required for carbide solution treated or strain hardened Grades B8, B8F, B8P, B8M, B8T, B8LN, and B8MLN for temperatures above -325 °F [-200 °C]; for carbide solution treated Grades B8, B8P, B8C, and B8LN above -425 °F [-255 °C]; for all ferritic and austenitic steel grades of bolting ½ in. [12.5 mm] and smaller in diameter. All other material furnished under this specification shall be tested. Test temperatures for ferritic grades are listed in Table 3. Exceptions to this requirement are permissible, and the impact tests may be made at specified temperatures different than those shown in Table 3, provided the test temperature is at least as low as the intended service temperature and the bolting is suitably marked to identify the reported test temperature. When impact testing is required for austenitic grades, test criteria shall be agreed upon between the supplier and purchaser.

6.2.1.2 The impact test requirements for standard and sub-size Charpy test specimens are prescribed in Table 2.

6.2.2 Number of Tests:

6.2.2.1 The test requirements for heat-treated bars are given in 6.1.2.1.

6.2.2.2 For test requirements on studs, bolts, screws, etc., see 6.1.2.2.

6.2.2.3 Impact tests are not required to be made on heat-treated bars, bolts, screws, studs, and stud bolts ½ in. [12.5 mm] and under in diameter.

6.2.3 Test Specimens—For sections 1 in. [25 mm] or less in diameter, test specimens shall be taken at the axis; for sections over 1 in. [25 mm] in diameter, midway between the axis and the surface.

6.3 Hardness Requirements:

6.3.1 The hardness shall conform to the requirements prescribed in Table 1. Hardness testing shall be performed in accordance with either Specification A 962/A 962M or with Test Methods F 606.

6.3.2 The maximum hardness of Grade L7M shall be 235 HB or 99 HRB (conversion in accordance with Table Number 2B of Test Methods and Definitions A 370). Minimum hardness shall not be less than 200 HB or 93 HRB. Conformance to this hardness shall be ensured by testing each bolt or stud by Brinell or Rockwell B methods in accordance with 6.3.1.

6.3.2.1 The use of 100 % electromagnetic testing for hardness as an alternative to 100 % indentation hardness testing is permissible when qualified by sampling using indentation hardness testing. Each lot tested for hardness electromagnetically shall be 100 % examined in accordance with Practice E 566. Following electromagnetic testing for hardness, a random sample of a minimum of 100 pieces in each purchase lot (as defined in 6.1.2.2) shall be tested by indentation hardness methods. All samples must meet hardness requirements to permit acceptance of the lot. If any one sample is outside of the specified maximum or minimum hardness, the lot shall be rejected and either reprocessed and resampled, or tested 100 % by indentation hardness methods.

6.3.2.2 In the event a controversy exists relative to minimum strength, tension tests shall prevail over hardness readings. Products which have been tested and found acceptable shall have a line under the grade symbol.

7. Workmanship, Finish, and Appearance

7.1 Bolts, screws, studs, and stud bolts shall be pointed and shall have a workmanlike finish.

8. Retests

8.1 If the results of the mechanical tests of any test lot do not conform to the requirements specified, the manufacturer may retreat such lot not more than twice, in which case two additional tension tests and one additional impact test consisting of three specimens shall be made from such lot, all of which shall conform to the requirements specified.

9. Nuts and Washers

9.1 Bolts, studs, and stud bolts of Grades L7, L7A, L7B, L7C, L43, L1, L70, L71, L72, and L73 shall be equipped with ferritic alloy nuts conforming to Grade 4 or Grade 7 of Specification A 194/A 194M or a grade of steel similar to the studs. Grade 7M nuts at a hardness not exceeding 235 HB (or equivalent) shall be used with Grade L7M bolts, studs, and stud bolts. All nut materials, including those which may be supplied under Specification A 194/A 194M, shall be subject to the impact requirements of this specification in the following

TABLE 3 Recommended Test Temperature for Stock Parts

Grade	Test Temperature	
	°F	°C
L7M, L70, L71, L72, L73	-100	-73
L7, L7A, L7B, L7C	-150	-101
L43	-150	-101
L1	-100	-73

A 320/A 320M – 05a

manner: impact tests shall be made on test specimens taken from the bar or plate from the heat of steel used for manufacturing the nuts, and heat treated with the nut blanks.

9.2 Bolts, studs, and stud bolts of Grades B8, B8C, B8T, B8P, B8F, B8M, B8LN, and B8MLN shall be equipped with austenitic alloy nuts conforming to Grades 8, 8C, 8T, 8F, 8M, 8LN, and 8MLN for Specification A 194/A 194M. Impact tests are not required for Grades 8F, 8M, 8T, and 8MLN for temperatures above -325 °F [-200 °C] and for Grades 8, 8P, 8C, and 8LN above -425 °F [-255 °C].

9.3 If the purchaser requires nuts with a Charpy impact energy absorption of not less than 20 ft · lbf [27 J] at temperatures below -150 °F [-100 °C], he may require that the nuts conform to Grades 8, 8C, 8M, 8P, 8T, 8F, 8LN, or 8MLN of Specification A 194/A 194M.

9.4 Washers for use with ferritic steel bolting shall conform to Specification F 436.

9.5 Washers for use with austenitic steel bolting shall be made of austenitic steel as agreed upon between the manufacturer and purchaser.

9.6 Washer dimensions shall be in accordance with requirements of ANSI B18.22.1, unless otherwise specified in the purchase order.

10. Threads

10.1 Where practical, all threads shall be formed after heat treatment. Class 1A. Grades B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8FA, B8TA, B8LNA, and B8MLNA are to be solution-treated in the finished condition.

TABLE 4 Chemical Requirements (Composition, %)^a

Type	Ferritic Steels											
	L7, L7M, L70		L7A, L71		L7B, L72		L7C, L73		L43		L1	
Grade	Chromium-Molybdenum ^b		Carbon-Molybdenum (AISI 4037)		Chromium-Molybdenum (AISI 4137)		Nickel-Chromium-Molybdenum (AISI 8740)		Nickel-Chromium-Molybdenum (AISI 4340)		Low-Carbon Boron	
	Range, %	Product Variation, % Over or Under	Range, %	Product Variation, % Over or Under	Range, %	Product Variation, % Over or Under	Range, %	Product Variation, % Over or Under	Range, %	Product Variation, % Over or Under	Range, %	Product Variation, % Over or Under
Carbon	0.38–0.48 ^c	0.02	0.35–0.40	0.02	0.35–0.40	0.02	0.38–0.43	0.02	0.38–0.43	0.02	0.17–0.24	0.01
Manganese	0.75–1.00	0.04	0.70–0.90	0.03	0.70–0.90	0.03	0.75–1.00	0.04	0.60–0.85	0.03	0.70–1.40	0.04
Phosphorus max	0.035	0.005 over	0.035	0.005 over	0.035	0.005 over	0.035	0.005 over	0.035	0.005 over	0.035	0.005 over
Sulfur, max	0.040	0.005 over	0.040	0.005 over	0.040	0.005 over	0.040	0.005 over	0.040	0.005 over	0.050	0.005 over
Silicon	0.15–0.35	0.02	0.15–0.35	0.02	0.15–0.35	0.02	0.15–0.35	0.02	0.15–0.35	0.02	0.15–0.30	0.02
Nickel	...	...	...	...	...	...	0.40–0.70	0.03	1.65–2.00	0.05	...	...
Chromium	0.80–1.10	0.05	...	...	0.80–1.10	0.05	0.40–0.60	0.03	0.70–0.90	0.03	...	...
Molybdenum	0.15–0.25	0.02	0.20–0.30	0.02	0.15–0.25	0.02	0.20–0.30	0.02	0.20–0.30	0.02	...	...
Boron	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.001–0.003	...

A 320/A 320M – 05a

TABLE 4 Continued

Type	Austenitic Steels, Classes 1, 1A, and 2 ^D									
Grade	B8, B8A					B8C, B8CA				
UNS Designation	S 30400(304)					S 34700(347)				
	Range, %		Product Variation, %		Range, %		Product Variation, %			
			Over or Under				Over or Under			
Carbon, max	0.08		0.01 over		0.08		0.01 over			
Manganese, max	2.00		0.04 over		2.00		0.04 over			
Phosphorus, max	0.045		0.010 over		0.045		0.010 over			
Sulfur, max	0.030		0.005 over		0.030		0.005 over			
Silicon, max	1.00		0.05 over		1.00		0.05 over			
Nickel	8.0–11.0		0.15		9.0–12.0		0.15			
Chromium	18.0–20.0		0.20		17.0–19.0		0.20			
Columbium + Tantalum	...		...		10 × carbon content, min. –1.10 max		0.05 under			

Type	Austenitic Steels, Classes 1, 1A, and 2 ^D									
Grade	B8T, B8TA		B8P, B8PA		B8F, B8FA		B8M, B8MA			
UNS Designation	S 32100(321)		S 30500		S 30300(303)		S 30323(303Se)		S 31600(316)	
	Range, %		Product Variation, %		Range, %		Product Variation, %		Range, %	
			Over or Under				Over or Under			
Carbon, max	0.08	0.01 over	0.08	0.01 over	0.15	0.01 over	0.15	0.01 over	0.08	0.01 over
Manganese, max	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over	2.00	0.04 over
Phosphorus, max	0.045	0.010 over	0.045	0.010 over	0.20	0.010 over	0.20	0.010 over	0.045	0.010 over
Sulfur, max	0.030, max	0.005 over	0.030, max	0.005 over	0.15, min	0.020	0.06, max	0.010 over	0.030, max	0.005 over
Silicon, max	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over	1.00	0.05 over
Nickel	9.0–12.0	0.15	10.5–13.0	0.15	8.0–10.0	0.10	8.0–10.0	0.10	10.0–14.0	0.15
Chromium	17.0–19.0	0.20	17.0–19.0	0.20	17.0–19.0	0.20	17.0–19.0	0.20	16.0–18.0	0.20
Molybdenum	...	...	...	...	...	...	...	...	2.00–3.00	0.10
Selenium	...	...	...	...	...	...	0.15–0.35	0.03 under	...	...
Titanium	5 × carbon content, min	0.05 under	...	...	...	...	...	...	...	...

Type	Austenitic Steels, Classes 1, 1A, and 2 ^D									
Grade	B8LN, B8LNA					B8MLN, B8MLNA				
UNS Designation	S 30453					S 31653				
	Range, %		Product Variation, %		Range, %		Product Variation, %			
			Over or Under				Over or Under			
Carbon, max	0.030		0.005 over		0.030		0.005 over			
Manganese, max	2.00		0.04 over		2.00		0.04 over			
Phosphorus, max	0.045		0.010 over		0.045		0.010 over			
Sulfur, max	0.030		0.005 over		0.030		0.005 over			
Silicon, max	1.00		0.05 over		1.00		0.05 over			
Nickel	8.0–10.5		0.15		10.0–14.0		0.15			
Chromium	18.0–20.0		0.20		16.0–18.0		0.20			
Molybdenum	...		...		2.00–3.00		0.10			
Nitrogen	0.10–0.16		0.01		0.10–0.16		0.01			

^A The intentional addition of Bi, Se, Te, and Pb is not permitted except for Grade B8F, in which selenium is specified and required.

^B Typical steel compositions used for this grade include 4140, 4142, 4145, 4140H, 4142H, and 4145H.

^C For the L7M grade, a minimum carbon content of 0.28 % is permitted provided that the required tensile properties are met in the section sizes involved; the use of AISI 4130 or 4130H is allowed.

^D Class 1 are made from solution-treated material. Class 1A products (B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8FA, and B8TA) are solution-treated in the finished condition. Class 2 products are solution-treated and strain-hardened.

11. Product Marking

11.1 The identification symbol shall be as shown in Table 4. In the case of Class 2, Grades B8, B8C, B8M, B8P, B8F, and B8T strain hardened as provided in Table 1, a line shall be stamped under the grade symbol in order to distinguish it from

Class 1 and Class 1A bolting which has not been strain hardened. In the case of Class 1A, the marking B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8FA, B8TA, B8LNA, and B8MLNA identifies the material as being in the solution-treated condition in the finished state. Grade L7M which has been 100 % evaluated in

A 320/A 320M – 05a

conformance with this specification shall have a line under the grade symbol to distinguish it from L7M produced to previous revisions not requiring 100 % hardness testing.

11.2 For bolting materials, including threaded bars, that are furnished bundled and tagged or boxed, the tags and boxes shall carry the grade symbol for the material identification and the manufacturer's identification mark or name.

11.3 Nuts from materials that have been impact tested shall be marked with the letter "L."

11.4 For purposes of identification marking, the manufacturer is considered the organization that certifies the fastener

was manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with the specification and the results have been determined to meet the requirements of this specification.

12. Keywords

12.1 additional elements; austenitic stainless steel; bolts—steel; chromium-molybdenum steel; fasteners—steel; markings on fittings; nickel-chromium-molybdenum alloy steel; pressure vessel service; stainless steel bolting material; starting material; steel bars—alloy; steel bolting material; steel flanges; steel valves; temperature service applications—low

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following supplementary requirements shall apply only when specified by the purchaser in the inquiry, contract, and order.

S1. Impact Properties

S1.1 When impact properties are desired for austenitic steel grades exempt from testing under 6.2.1, test shall be made as agreed between the manufacturer and the purchaser.

S2. Lateral Expansion

S2.1 When lateral expansion measurements for ferritic steels are required in addition to the energy absorption requirements of 6.2.1.1, the minimum value for each specimen of a set must be .015 in. [0.38 mm]. The test temperature shall be specified by the purchaser and agreed upon by the producer.

NOTE S2.1—Grades L7, L7A, L7B will generally have difficulty meeting the minimum value at -150°F [-101°C]. Grade L43 may be preferred.

S3. Hardness Testing of Class 2 Bolting Materials for ASME Applications

S3.1 The maximum hardness shall be Rockwell C 35 immediately under the thread roots. The hardness shall be taken on a flat area at least $\frac{1}{8}$ in. [3 mm] across, prepared by removing threads. No more material than necessary shall be removed to prepare the flat area. Hardness determinations shall be made at the same frequency as tensile tests.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. STRAIN HARDENING OF AUSTENITIC STEELS

X1.1 Strain hardening is the increase in strength and hardness that results from plastic deformation below the recrystallization temperature (cold work). This effect is produced in austenitic stainless steels by reducing oversized bars or wire to the desired final size by cold drawing or other process. The degree of strain hardening achievable in any alloy is limited by its strain hardening characteristics. In addition, the amount of strain hardening that can be produced is further limited by the variables of the process, such as the total amount of cross-section reduction, die angle, and bar size. In large diameter bars, for example, plastic deformation will occur principally in the outer regions of the bar, so that the increased strength and hardness due to strain hardening is achieved predominantly near the surface of the bar. That is, the smaller

the bar, the greater the penetration of strain hardening.

X1.2 Thus, the mechanical properties of a given strain hardened fastener are dependent not just on the alloy, but also on the size of bar from which it is machined. The minimum bar size that can be used, however, is established by the configuration of the fastener, so that the configuration can affect the strength of the fastener.

X1.3 For example, a stud of a particular alloy and size may be machined from a smaller diameter bar than a bolt of the same alloy and size because a larger diameter bar is required to accommodate the head of the bolt. The stud, therefore, is likely to be stronger than the same size bolt in a given alloy.

 **A 320/A 320M – 05a**

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 320/A 320M – 05, that may impact the use of this specification. (Approved July 7, 2005)

(1) Revised **6.1.1**.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 320/A 320M – 04, that may impact the use of this specification. (Approved May 1, 2005)

(1) Revised **6.3.1** and **6.3.2** to clarify hardness test requirements.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 320/A 320M – 03, that may impact the use of this specification. (Approved July 1, 2004)

(1) Added minimum tempering temperatures for ferritic grades in **Table 1**.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Forgings, Requiring Notch Toughness Testing for Piping Components¹

This standard is issued under the fixed designation A 350/A 350M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification² covers several grades of carbon and low-alloy steel forged or ring-rolled flanges, forged fittings and valves intended primarily for low-temperature service and requiring notch toughness testing. They are made to specified dimensions, or to dimensional standards, such as the ASME and API Specifications referenced in Section 2. Although this specification covers some piping components machined from rolled bar and seamless tubular materials (see 5.3.3), it does not cover raw material produced in these product forms.

1.2 No limitation on size is intended beyond the ability of the manufacturer to obtain the specified requirements. However, Class 3 of Grade LF787 is only available in the quenched-and-precipitation heat treated condition.

1.3 Supplementary requirements are provided for use when additional testing or inspection is desired. These shall apply only when specified by the purchaser in the order.

1.4 This specification is expressed in both inch-pound units and in SI units. However, unless the order specifies the applicable “M” specification designation (SI units), the material shall be furnished to inch-pound units.

1.5 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

NOTE 1—Refer to Test Methods and Definitions A 370 for notes on significance of notched-bar impact testing.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³
- A 788 Specification for Steel Forgings, General Requirements⁴
- A 961 Specification for Common Requirements for Steel Flanges, Forged Fittings, Valves, and Parts for Piping Applications⁵
- 2.2 *ASME Standards:*
 - B 16.5 Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings⁶
 - B 16.9 Factory-Made Wrought Steel Butt-Welding Fittings⁶
 - B 16.10 Face-to-Face and End-to-End Dimensions of Ferrous Valves⁶
 - B 16.11 Forged Steel Fittings, Socket-Welding and Threaded⁶
 - B 16.30 Unfired Pressure Vessel Flange Dimensions⁶
 - B 16.34 Valves-Flanged, Threaded, and Welding End⁶
 - B 16.47 Large Diameter Steel Flanges⁶
- 2.3 *AWS Standards:*
 - A 5.1 Mild Steel Covered Arc-Welding Electrodes⁷
 - A 5.5 Low-Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes⁷
- 2.4 *API Standards:*⁸
 - 600 Steel Gate Valves with Flanged or Butt-Welding Ends
 - 602 Compact Design Carbon Steel Gate Valves for Refinery Use
 - 605 Large Diameter Carbon Steel Flanges

3. Ordering Information

3.1 It is the purchaser’s responsibility to specify in the purchase order information necessary to purchase the needed material. In addition to the ordering information guidelines in Specification A 961, orders should include the following information:

- 3.1.1 Additional requirements (see Table 1 footnotes).

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.22 on Steel Forgings and Wrought Fittings for Piping Applications and Bolting Materials for Piping and Special Purpose Applications.

Current edition approved Dec. 10, 2000. Published March 2001. Originally published as A 350 – 52 T. Last previous edition A 350/A 350M – 00b.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SA-350 in Section II of that Code.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.05.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.01.

⁶ Available from ASME International, Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990.

⁷ Available from American Welding Society, 550 LeJeune Rd., P.O. Box 351040, Miami, FL 33135.

⁸ Available from American Petroleum Institute, 1220 L Street N.W., Washington, DC 20005.

 **A 350/A 350M**

TABLE 1 Chemical Requirements

Element	Composition, wt. %						
	Grade LF1	Grade LF2	Grade LF3	Grade LF5	Grade LF6	Grade LF9	Grade LF787
Carbon, max	0.30	0.30	0.20	0.30	0.22	0.20	0.07
Manganese	0.60–1.35	0.60–1.35	0.90 max	0.60–1.35	1.15–1.50	0.40–1.06	0.40–0.70
Phosphorus, max	0.035	0.035	0.035	0.035	0.025	0.035	0.025
Sulfur, max	0.040	0.040	0.040	0.040	0.025	0.040	0.025
Silicon ^A	0.15–0.30	0.15–0.30	0.20–0.35	0.20–0.35	0.15–0.30	---	0.40 max
Nickel	0.40 max ^B	0.40 max ^B	3.3–3.7	1.0–2.0	0.40 max ^B	1.60–2.24	0.70–1.00
Chromium	0.30 max ^{B,C}	0.30 max ^{B,C}	0.30 max ^C	0.30 max ^C	0.30 max ^{B,C}	0.30 max ^C	0.60–0.90
Molybdenum	0.12 max ^{B,C}	0.12 max ^{B,C}	0.12 max ^C	0.12 max ^C	0.12 max ^{B,C}	0.12 max ^C	0.15–0.25
Copper	0.40 max ^B	0.40 max ^B	0.40 max ^C	0.40 max ^C	0.40 max ^B	0.75–1.25	1.00–1.30
Columbium	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 min
Vanadium	0.05 max	0.05 max	0.03 max	0.03 max	0.04–0.11	0.03 max	0.03 max
Nitrogen	---	---	---	---	0.01–0.030	---	---

^A When vacuum carbon-deoxidation is required by Supplementary Requirement S11, the silicon content shall be 0.12 % maximum.

^B The sum of copper, nickel, chromium, vanadium and molybdenum shall not exceed 1.00 % on heat analysis.

^C The sum of chromium and molybdenum shall not exceed 0.32 % on heat analysis.

4. General Requirements

4.1 Product furnished to this specification shall conform to the requirements of Specification A 961, including any supplementary requirements that are indicated in the purchase order. Failure to comply with the general requirements of Specification A 961 constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and Specification A 961, this specification shall prevail.

5. Manufacture

5.1 *Melting Process*—The steel shall be produced by any of the following primary processes: open-hearth, basic oxygen, electric-furnace, or vacuum-induction melting (VIM). The primary melting may incorporate separate degassing or refining, and may be followed by secondary melting using electroslag remelting (ESR), or vacuum-arc remelting (VAR).

5.1.1 The steel shall be fully killed, fine-grain practice.

5.1.2 The molten steel may be vacuum treated prior to or during pouring of the ingot.

5.2 *Discard*—A sufficient discard shall be made to secure freedom from injurious piping and undue segregation.

5.3 *Forging Process*:

5.3.1 Material for forgings shall consist of ingots, or forged, rolled, or strandcast blooms, billets, slabs, or bars.

5.3.2 The finished product shall be a forging as defined in the Terminology section of Specification A 788.

5.3.3 Except for flanges of all types, hollow, cylindrically-shaped parts may be machined from rolled bar or seamless tubular materials provided that the axial length of the part is approximately parallel to the metal flow lines of the stock. Other parts, excluding flanges of all types, may be machined from hot-rolled or forged bar up through and including NPS4. Elbows, return bends, tees, and header tees shall not be machined directly from bar stock.

5.4 *Heat Treatment*:

5.4.1 After hot working and before reheating for heat treatment, the forging shall be allowed to cool substantially below the transformation range.

5.4.2 Forgings of grades other than Grade LF787 shall be furnished in the normalized, or in the normalized and tempered, or in the quenched and tempered condition described by the following procedures:

5.4.2.1 *Normalize*—Heat to a temperature that produces an austenitic structure, holding sufficient time to attain uniform temperature throughout. Cool uniformly in still air.

5.4.2.2 *Normalize and Temper*—Subsequent to normalize, reheat to 1100°F [590°C] minimum, holding at temperature a minimum of 30 min/in. [30 min/25 mm] of maximum thickness, but in no case less than 30 min. Cool in still air.

5.4.2.3 *Quench and Temper*—The procedure for quenching shall consist of either (1) fully austenitizing the forgings followed by quenching in a suitable liquid medium or (2) using a multiple stage procedure whereby the forging is first fully austenitized and rapidly cooled, then reheated to partially reaustenitize, followed by quenching in a suitable liquid medium. All quenched forgings shall be tempered by reheating to a temperature between 1100°F [590°C] and the lower transformation temperature, holding at temperature a minimum of 30 min/in. [30 min/25 mm] of maximum thickness but in no case less than 30 min. Cool in still air.

5.4.3 Grade LF787 forgings shall be furnished in either the normalized-and-precipitation heat treated condition or in the quenched-and-precipitation heat treated condition. The heat treatment procedures shall be as follows:

5.4.3.1 *Normalized-and-Precipitation Heat Treated*—Heat to a temperature in the range from 1600 to 1725°F [870 to 940°C], hold at the temperature for a time sufficient to attain uniform temperature throughout, soak at the temperature for not less than 1/2 h, and remove from the furnace and cool in air. Subsequently, heat to a temperature in the range from 1000 to 1200°F [540 to 650°C], soak at the temperature for not less than 1/2 h, and cool at any convenient rate.

5.4.3.2 *Quenched-and-Precipitation Heat Treated*—Heat to a temperature in the range from 1600 to 1725°F [879 to 940°C], hold at the temperature for a time sufficient to attain uniform temperature throughout, soak at the temperature for not less than 1/2 h and quench in a suitable liquid medium by immersion; reheat to a temperature in the range from 1000 to 1225°F [540 to 665°C], hold at the temperature for not less than 1/2 h, and cool at any convenient rate.

6. Chemical Composition

6.1 Heat Analysis:

 **A 350/A 350M**

6.1.1 A chemical heat analysis in accordance with Specification A 961 shall be made and conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1. Leaded steels shall not be permitted.

6.2 *Product Analysis:*

6.2.1 The purchaser may make a product analysis on products supplied to this specification in accordance with Specification A 961.

7. Mechanical Properties

7.1 *Tension Tests:*

7.1.1 *Requirements*—The material shall conform to requirements for tensile properties in Table 2.

7.1.1.1 The test specimen shall be obtained from a rough or finished forging, or prolongation thereof. For forgings under 10 000 lbs, at time of heat treatment, it may be obtained from separately forged test blanks from the same heat of steel as the production forgings. The test blank shall be reduced by forging in a manner similar to that for the products represented, and shall receive approximately the same hot working and reduction and the same heat treatment as the finished products represented. The test material shall be treated in the same furnace at the same time as the forging it represents, subject to the requirements of 7.1.2.1.

7.1.1.2 The test specimen shall represent all forgings from the same heat and heat-treatment load whose maximum thicknesses do not exceed the thickness of the test forging or blank by more than ¼ in. [6 mm].

7.1.2 *Number of Tests*—One tension test at room temperature shall be made in accordance with 7.1.1.2 from each heat in each heat-treatment load.

7.1.2.1 If heat treatment is performed in either a continuous or a batch-type furnace controlled within ±25°F [±14°C] of the required heat-treatment temperature and equipped with

recording pyrometers so that complete records of heat treatment are available and if the same heat-treating cycles are used on the forgings represented by the tension test, then one tension test from each heat shall be required, instead of one tension test from each heat in each heat treatment load in accordance with 7.1.1.2.

7.1.3 *Test Locations and Orientations*—The test specimen shall be removed from the heaviest section of the forging or test blank, at locations described in 7.1.3.1, 7.1.3.2, 7.1.3.5 or as close to these locations as practical, subject to forging size and geometry.

7.1.3.1 For forgings or test blanks having a maximum heat-treated thickness, *T*, of 2 in. [50 mm] or less, the longitudinal axis of the test specimen shall be taken at mid-thickness and its mid-length shall be at least 2 in. [50 mm] from a second heat treated surface, exclusive of the *T* dimension surfaces. (This is normally referred to as ½ *T* by 2 in. [50 mm]).

7.1.3.2 For forgings or test blanks having a maximum heat-treated thickness, *T*, greater than 2 in. [50 mm], the central axis of the test specimen shall be taken at least ¼ *T* from the nearest heat-treated surface and at least *T* or 4 in. [100 mm], whichever is less, from any second heat-treated surface. For quenched and tempered forgings, the midlength of the test specimen shall be at least *T* from any second heat-treated surface. See Fig. 1 for test specimen location in separately forged test blanks for quenched and tempered forgings.

7.1.3.3 *Metal Buffers*—The required distances from heat treated surfaces may be obtained with metal buffers instead of integral expansions. Buffer material may be carbon or low alloy steel, and shall be joined to the forging with a partial penetration weld that seals the buffered surface. Specimens shall be located at ½ in. [13 mm] minimum from the buffered surface of the forging. Buffers shall be removed and the welded

TABLE 2 Tensile Properties at Room Temperature^A

	Grades							
	LF1 and LF5 Class 1	LF2 Classes 1 and 2	LF3 and LF5 Class 2	LF6		LF9	LF787	
				Class 1	Classes 2 and 3		Class 2	Class 3
Tensile strength, ksi [MPa]	60–85 [415–585]	70–95 [485–655]	70–95 [485–655]	66–91 [455–630]	75–100 [515–690]	63–88 [435–605]	65–85 [450–585]	75–95 [515–655]
Yield strength, min, ksi [MPa] ^{B,C}	30 [205]	36 [250]	37.5 [260]	52 [360]	60 [415]	46 [315]	55 [380]	65 [450]
Elongation:								
Standard round specimen, or small proportional specimen, min % in 4D gage length	25	22	22	22	20	25	20	20
Strip specimen for wall thickness ½ in. (7.94 mm) and over and for all small sizes tested in full section; min % in 2 in. (50 mm)	28	30	30	30	28	28	28	28
Equation for calculating min elongation for strip specimens thinner than ½ in. (7.94 mm); min % in 2 in. (50 mm)	48 <i>l</i> + 13	48 <i>l</i> + 15	48 <i>l</i> + 15	48 <i>l</i> + 15	48 <i>l</i> + 13	48 <i>l</i> + 13	48 <i>l</i> + 13	48 <i>l</i> + 13
<i>l</i> = actual thickness in inches								
Reduction of area, min, %	38	30	35	40	40	38	45	45

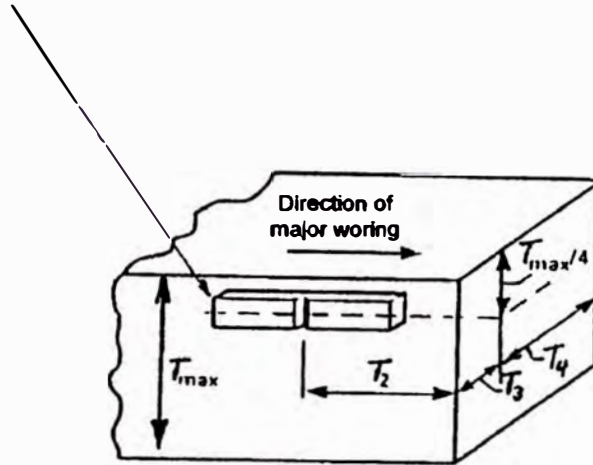
^A See 7.3 for hardness tests.

^B Determined by either the 0.2 % offset method or the 0.5 % extension under load method.

^C For round specimens only.

A 350/A 350M

Tensile or impact test specimen
(Impact test specimen shown in Fig. 1)



NOTE—For material with thickness T greater than 2 in. [50 mm],
 $T_2 = T_3 = T_4 \geq T_{max}$ T_{max} = maximum heat treated thickness
FIG. 1 Test Specimen Location for Quenched and Tempered Forgings

areas subjected to magnetic particle test to assure freedom from cracks unless the welded areas are completely removed by subsequent machining.

7.1.3.4 The test specimen shall have its longitudinal axis located parallel to the direction of major working of the forging or test blank.

7.1.3.5 With prior purchaser approval, tests may be taken at a depth (t) corresponding to the distance from the area of significant loading to the nearest heat treated surface and at least twice this distance ($2t$) from any second surface. However, the test depth shall not be nearer to one treated surface than $3/4$ in. [19 mm] and to the second treated surface than $1\frac{1}{2}$ in. [38 mm]. This method of test location would normally apply to contour-forged parts, or parts with thick cross-sectional areas where $1/4 T \times T$ testing (7.1.3.2) is not practical. Sketches showing the exact test locations shall be approved by the purchaser when this method is used.

7.1.4 *Test Method*—Testing shall be performed in accordance with Test Methods and Definitions A 370. The test specimen shall be as large as is practicable and shall be machined to the form and dimensions of Fig. 5 of Test Methods and Definitions A 370. When seamless tubular materials are used, testing shall be performed on longitudinal specimens in accordance with Annex A2, Steel Tubular Products, of Test Methods and Definitions A 370.

7.2 Impact Test:

7.2.1 *Requirements*—The material shall conform to the requirements for impact properties in Table 3 when tested at the applicable standard temperature in Table 4 within the limits of 7.2.4.2 and 7.2.4.3. When subsize specimens are used, the impact energy values obtained shall conform to Table 5 at energy values proportional to standard size. Exceptions to this requirement are permissible when supplement S1 is specified by the purchaser. Impact tests may be made at temperatures different from those in Table 4, provided that the test tempera-

TABLE 3 Charpy V-Notch Energy Requirements for Standard Size [10 by 10 mm] Specimens

Grade	Minimum Impact Energy Required for Average of Each Set of Three Specimens, ft-lb [J]	Minimum Impact Energy Permitted for One Specimen only of a Set, ft-lb [J]
LF1 and LF9	13 [18]	10 [14]
LF2, Class 1	15 [20]	12 [16]
LF3	15 [20]	12 [16]
LF5, Class 1 and 2	15 [20]	12 [16]
LF787, Classes 2 and 3	15 [20]	12 [16]
LF6, Class 1	15 [20]	12 [16]
LF2, Class 2	20 [27]	15 [20]
LF3, Class 2	20 [27]	15 [20]
LF6, Classes 2 and 3	20 [27]	15 [20]

TABLE 4 Standard Impact Test Temperature for Standard Size [10 by 10 mm] Specimens

Grade	Test Temperature, °F [°C]
LF1	-20 [-28.9]
LF2, Class 1	-50 [-45.6]
LF2, Class 2	0 [-18]
LF3	-150 [-101.1]
LF5, Classes 1 and 2	-75 [-59.4]
LF6, Classes 1 and 2	-60 [-50]
LF6, Class 3	0 [-18]
LF9	-100 [-73.3]
LF787, Class 2	-75 [-50]
LF787, Class 3	-100 [-73]

ture is at least as low as the intended service temperature, and that the forging is suitably marked to identify the reported test temperature.

7.2.1.1 The test specimens shall be machined from material obtained as in 7.1.

TABLE 5 Minimum Equivalent Absorbed Energy ft-lbf (J) for Various Specimen Sizes^A

Standard Size [10 by 10 mm]	¾ size [10 by 7.5 mm]	½ size [10 by 6.6 mm]	¼ size [10 by 5 mm]	⅓ size [10 by 3.3 mm]	⅕ size [10 by 2.5 mm]
15 [20]	12 [16]	10 [14]	8 [11]	5 [7]	4 [6]
13 [18]	10 [14]	9 [12]	7 [10]	5 [7]	4 [6]
12 [16]	10 [14]	9 [12]	7 [10]	4 [6]	3 [5]
10 [14]	8 [11]	7 [10]	5 [7]	3 [5]	3 [5]

^A Straight-line interpolation for intermediate values is permitted.

7.2.2 Number of Tests—Three specimens shall constitute one test set. There shall be the same number of test sets as tension tests in 7.1.2.

7.2.3 Test Locations and Orientations—The test specimen shall be located and oriented as described in 7.1.3. The area under the notch of the impact test specimen shall be used to locate the specimen with respect to the second heat-treated surface. The base of the notch shall be perpendicular to the nearest heat-treated surface.

7.2.4 Test Method—The notched bar impact test shall be made in accordance with the procedure for the Charpy V-notch type test as described in Test Methods and Definitions A 370.

7.2.4.1 Standard size specimens shown in Fig. 11 of Test Methods and Definitions A 370 shall be used for the impact test. Where the material is of insufficient thickness, or the shape of the forging precludes standard size, the largest obtainable subsize specimen described in Test Methods and Definitions A 370 shall be used.

7.2.4.2 Where subsize specimens are used and represent forged material with thicknesses equal to or greater than 0.394 in. [10 mm], and where the largest obtainable specimen has a width along the notch of at least 8 mm, such specimen shall be tested at the temperature in Table 4. Where the largest obtainable specimen has a width along the notch less than 8 mm, the temperature for testing shall be lower than the temperature in Table 4 by the amount shown in Table 6 for the actual specimen width tested.

7.2.4.3 Where subsize specimens are used and represent forged material with thicknesses less than 0.394 in. [10 mm],

TABLE 6 Charpy Impact Test Temperature Reduction Below Table 5 Test Temperature when the Subsize Charpy Impact Width along Notch is Less than 80% of the Forging Thickness

Size of Bar	Thickness of the Material Represented (see 7.2.4.3), or Charpy, Impact Specimen Width Along the Notch ^A , in. [mm]	Temperature Reduction, ° F [°C]
Standard	0.394 [10]	0 [0]
Standard	0.354 [9]	0 [0]
Standard	0.315 [8]	0 [0]
¾-size	0.295 [7.5]	5 [3]
¾-size	0.276 [7]	8 [5]
½-size	0.262 [6.67]	10 [6]
½-size	0.236 [6]	15 [8]
¼-size	0.197 [5]	20 [11]
¼-size	0.158 [4]	30 [17]
⅓-size	0.131 [3.33]	35 [20]
⅓-size	0.118 [3]	40 [22]
⅕-size	0.099 [2.5]	50 [28]

^A Straight-line interpolation for intermediate values is permitted.

and where the largest obtainable specimen has a width along the notch of at least 80% of the forging thickness, the specimen shall be tested at the temperature in Table 4. Where the largest obtainable specimen has a width along the notch of less than 80% of the material thickness, the temperature for testing shall be lower than the temperature in Table 4 by an amount equal to the difference (referring to Table 6) between the temperature reduction corresponding to the thickness of the material represented, and the temperature reduction corresponding to the specimen width actually tested.

7.3 Hardness Test:

7.3.1 Except when only one forging is produced, a minimum of two forgings shall be hardness tested per batch or continuous run as defined in 7.1.2.1 to ensure that hardness of the forgings does not exceed 197 HB after heat treatment for mechanical properties. The hardness measurements shall be made in accordance with Test Methods and Definitions A 370. When only one forging is produced, it shall be hardness tested to ensure that it meets the 197 HB maximum of this specification. The purchaser may verify that this requirement has been met by testing at any location on the forging, provided that such testing does not render the forging useless.

8. Hydrostatic Test

8.1 Forgings manufactured under this specification shall be capable of passing a hydrostatic test compatible with the rating of the finished item. Such tests shall be conducted by the manufacturer only when Supplementary Requirement S57 of Specification A 961 is specified.

9. Workmanship, Finish, and Appearance

9.1 Forgings shall conform to the requirements of Specification A 961.

10. Retests

10.1 If any test specimen shows flaws or defective machining, it may be discarded and another specimen substituted.

11. Rework and Retreatment

11.1 If the results of the mechanical tests do not conform to the requirements specified, the manufacturer may reheat treat the forgings represented, and shall retest to the applicable requirements.

11.2 Individually tested forgings meeting all requirements shall be acceptable.

11.3 Repair by Welding—Weld repairs shall be permitted (see Supplementary Requirement S58 of Specification A 961) at the discretion of the manufacturer with the following limitations and requirements:

11.3.1 Repair by welding shall be made using welding procedures and welders qualified in accordance with ASME Section IX of the Code.² The weld procedure qualification test shall also include impact tests of the weld metal and heat-affected zone. All impact test specimens shall have the longitudinal axis transverse to the weld and the base of the notch normal to the weld surface. Weld specimens shall have the notch in weld metal and heat-affected zone specimens shall have the notch in the heat-affected zone. The specimens shall be as large as permitted by the weldment thickness. Where

A 350/A 350M

full-size specimens can be obtained and where there is sufficient weldment thickness, the weld specimen shall be taken with one side of the specimen within $\frac{1}{16}$ in. [1.6 mm] of the weld surface. Heat-affected zone impact test specimens shall be taken at the same depth and locations applicable to the forging in 7.1.3.1 and 7.1.3.2. When forgings are thermally treated after repair welding, the weld procedure test plate shall be subjected to the same thermal treatment. The mechanical properties of the weld procedure qualification test shall conform to Section 7.

11.3.2 Defects shall be completely removed by chipping or grinding to sound metal as verified by magnetic particle, or liquid penetrant inspection prior to welding.

11.3.3 For Grade LF1 forgings, and LF2 forgings that are to be only stress-relieved after repair welding, the weld metal shall be deposited using carbon steel electrodes E 7015, E 7016, or E 7018, complying with AWS A 5.1. For Grade LF2 forgings in all other conditions of post-weld heat treatment, the weld metal shall be deposited using low-alloy steel electrodes E 7015-A1; E 7016-A1, or E 7018-A1 complying with AWS 5.5; for Grade LF3 forgings the weld metal shall be deposited using low-alloy steel electrodes E 8016-C2 or E 8018-C2 complying with AWS A 5.5; for Grades LF5, LF9, and LF787 forgings, the weld metal shall be deposited using low-alloy steel electrodes E 8016-C1 or E 8018-C1 complying with AWS A 5.5. For Grade LF6, the electrodes shall be low-hydrogen, E-XX15, E-XX16, or E-XX18 complying with AWS A 5.1 or A 5.5, as applicable.

11.3.4 After repair welding, the area welded shall be completely free of defects as verified by magnetic particle or liquid penetrant inspection.

11.3.5 Forgings repair welded in the normalized, normalized and tempered, or the quenched and tempered conditions shall be stress-relieved after repair welding at 1100°F [590°C] minimum, but not higher than the temperature previously used for tempering the base metal of the same forging, or shall be reheat treated in accordance with 5.4.

11.3.6 When the purchaser specifies Supplementary Requirement S5, the same requirements shall apply to the weld procedure qualification tests.

11.3.7 Repair by welding shall not exceed 10 % of the surface area of the forging or $3\frac{1}{3}$ % of the wall thickness of the finished forging, or $\frac{3}{8}$ in. [9.5 mm], whichever is less, without prior approval of the purchaser.

11.3.8 When approval of the purchaser is obtained, the limitations set forth in 11.3.7 may be exceeded, but all other requirements of 11.3 shall apply.

12. Inspection

12.1 Inspection provisions of Specification A 961 shall apply.

13. Rejection and Rehearing

13.1 Purchaser shall comply with provisions of Specification A 961.

14. Certification

14.1 For forgings made to specified dimensions when agreed to by the purchaser, and for forgings made to dimen-

sional standards, application of identification marks as required in Section 15 shall be the certification that the forgings have been furnished in accordance with the requirements of this specification.

14.2 When test reports are required, they shall include certification that all requirements of this specification have been met, and shall be traceable to the forging represented. The specification designation included on test reports shall include year of issue and revision letter, if any. The manufacturer shall provide the following where applicable:

14.2.1 Type heat treatment, Section 5,

14.2.2 Chemical analysis results, Section 6 (Table 1),

14.2.3 Product analysis results, 6.2 (Table 1),

14.2.4 Tensile property results, Section 7 (Table 2) report the yield strength and ultimate strength, in ksi [MPa], elongation and reduction in area, in percent,

14.2.5 Impact test results, 7.2 (Table 3, Table 4, Table 5, and Table 6),

14.2.6 Hardness results, 7.3.1,

14.2.7 Any supplementary testing required by the purchase order, and

14.2.8 If repaired by welding, letter W is to follow the ASTM designation.

15. Product Marking

15.1 In addition to the marking requirements of Specification A 961, manufacturer's name (see Note 2) or symbol shall be permanently marked on each forging.

NOTE 2—For purposes of identification marking, the manufacturer is considered the organization that certifies the piping component was manufactured, sampled, and tested in accordance with this specification and the results have been determined to meet the requirements of this specification.

15.1.1 If the forgings have been quenched and tempered or quenched-and-precipitation heat treated the letters QT shall be stamped on the forgings following the ASTM designation.

15.1.2 Forgings repaired by welding shall be marked with the letter W following the ASTM designation.

15.2 If identification stamps are objectionable and detrimental to the forging, and when so stated on the purchase order, the marks may be painted or stenciled on the forging, or stamped on a metal or plastic tag which shall be securely attached to the forging.

15.3 When test reports are required, additional marks shall be used as necessary to identify the part with the test report.

15.4 If the test temperature is other than the standard temperature specified in Table 4, the mark shall also include the suffix letter S to the grade and class and the test temperature. A prefix 0 to the test temperature shall indicate a less than 0°F [-17.8°C] value. For example, LF2S 0175 denotes a test temperature of -175°F [-115°C] for an LF2 part.

15.5 Parts meeting all requirements for more than one class may be marked with more than one class such as LF2 CL1/CL2; LF5 CL1/CL2, and so forth.

15.6 *Bar Coding*—In addition to the requirements in 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, and 15.5, bar coding is acceptable as a supplemental identification method. The purchaser may specify in the order a specific bar coding system to be used. The bar coding system, if applied at the discretion of the

A 350/A 350M

supplier, should be consistent with one of the published industry standards for bar coding. If used on small parts, the bar code may be applied to the box or a substantially applied tag.

16. Keywords

16.1 carbon equivalent; pipe fittings; steel; piping applications; pressure containing parts; steel flanges; steel forgings; alloy; steel forgings; carbon; steel valves; temperature service applications; low

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

In addition to any supplementary requirements of Specification A 961, the following supplementary requirements shall apply only when specified by the purchaser in the order:

S1. Other Impact Test Temperatures

S1.1 Impact test temperatures lower or higher than the standard temperature in Table 4 of this specification shall be used.

S1.1.1 When higher test temperatures are employed, the actual test temperature may not be higher than that given in Table S1.1.1.

S1.2 The test temperature shall be specified by the purchaser. When subsize specimens are used, the manufacturer shall adjust the test temperature in accordance with the size restrictions of 7.2.4.2 and 7.2.4.3.

S1.3 The forging shall be marked with the specified test temperature in accordance with 15.4. A lower temperature shall not be marked on the forging because of the use of subsize specimens.

S1.4 The test results shall comply with Table 3 for standard size specimens, and with Table 5 for subsize specimens.

S2. Stress-Relieved Test Specimens

S2.1 The test specimens shall be stress relieved. Stress relieving shall be done after heat treatment in 5.4 and before machining the specimens from the heat-treated test material.

S2.2 The purchaser shall furnish the forging manufacturer with details of the stress-relief treatment desired.

S3. Lateral Expansion

S3.1 Lateral expansion of the Charpy V-notch test in accordance with Section 25 of Test Methods and Definitions A 370 shall be measured and reported.

TABLE S1.1.1 Maximum Supplemental Test Temperatures

	Maximum Test Temperature, °F (°C)
LF1	-10 [-23]
LF2, Class 1	-35 [-37]
LF3	-125 [-87]
LF5, Classes 1 and 2	-60 [-51]
LF6, Classes 1 and 2	-40 [-40]
LF9	-80 [-62]
LF787, Class 2	-60 [-51]
LF787, Class 3	-80 [-62]

S4. Vacuum Carbon-Deoxidized Steels

S4.1 Material made to Grades LF1, LF2, LF3, LF5, and LF9 shall be vacuum carbon-deoxidized, in which case the silicon content shall be 0.12% maximum. The test report shall indicate that the steel was vacuum carbon-deoxidized.

S5. Special Impact Test Requirements for Flanges (Note S5.1)

S5.1 Charpy test specimens shall be cut from an actual flange representing each size, heat, and heat-treatment lot. If more than one size flange is represented by the same heat and heat-treatment lot, the maximum size flange shall be considered representative.

S5.2 The number, location, and orientation of the test specimens shall be stated on the order.

S5.3 The test results shall comply with Table 3 for standard size specimens, and with Table 5 for subsize specimens.

NOTE S5.1—These special requirements should be considered for services when the applied stresses approach the maximum permissible limits of the governing code, or the installation is subject to severe cyclic conditions (7000 or more cycles over the expected life of the installation), or both.

S6. Carbon Equivalent

S6.1 The maximum carbon equivalent based on heat analysis shall be as shown in Table S6.1:

S6.2 Determine the carbon equivalent (CE) as follows:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

S6.3 A lower maximum carbon equivalent may be agreed upon between the supplier and the purchaser.

TABLE S6.1 Maximum Carbon Equivalent Value

Grade	Max. Thickness Less Than or Equal to 2 in.	Max. Thickness Greater Than 2 in.
LF1	0.45	0.46
LF2	0.47	0.48
LF6 CL1	0.45	0.46
LF6 CL2	0.47	0.48

 **A 350/A 350M**

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service¹

This standard is issued under the fixed designation A 516/A 516M, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} Note—Supplementary Requirements and Footnote B in Table 1 were corrected editorially in July 2005.

1. Scope*

1.1 This specification² covers carbon steel plates intended primarily for service in welded pressure vessels where improved notch toughness is important.

1.2 Plates under this specification are available in four grades having different strength levels as follows:

Grade U.S. [SI]	Tensile Strength, ksi [MPa]
55 [380]	55–75 [380–515]
60 [415]	60–80 [415–550]
65 [450]	65–85 [450–585]
70 [485]	70–90 [485–620]

1.3 The maximum thickness of plates is limited only by the capacity of the composition to meet the specified mechanical property requirements; however, current practice normally limits the maximum thickness of plates furnished under this specification as follows:

Grade U.S. [SI]	Maximum Thickness, in. [mm]
55 [380]	12 [305]
60 [415]	8 [205]
65 [450]	8 [205]
70 [485]	8 [205]

1.4 For plates produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results of Specification A 20/A 20M apply.

1.5 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must

be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

A 20/A20M Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels

A 435/A435M Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates

A 577/A577M Specification for Ultrasonic Angle-Beam Examination of Steel Plates

A 578/A578M Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Plain and Clad Steel Plates for Special Applications

3. General Requirements and Ordering Information

3.1 Plates supplied to this product specification shall conform to Specification A 20/A 20M, which outlines the testing and retesting methods and procedures, permissible variations in dimensions and mass, quality and repair of defects, marking, loading, and so forth.

3.2 Specification A 20/A20M also establishes the rules for ordering information that should be complied with when purchasing plates to this specification.

3.3 In addition to the basic requirements of this specification, certain supplementary requirements are available where additional control, testing, or examination is required to meet end use requirements.

3.4 The purchaser is referred to the listed supplementary requirements in this specification and to the detailed requirements in Specification A 20/A20M.

3.5 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into finished plates. Plates produced from coil means plates that have been cut to

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.11 on Steel Plates for Boilers and Pressure Vessels.

Current edition approved March 1, 2005. Published March 2005. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2004 as A 516/A 516M – 04.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications, see related Specification SA-516/SA-516M in Section II of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

 **A 516/A 516M – 05^{e1}**

individual lengths from coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of coils into finished plates. Such operations include decoiling, leveling, cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 1—For plates produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, three test results are reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding plate produced from coil are described in Specification A 20/A 20M.

3.6 If the requirements of this specification are in conflict with the requirements of Specification A 20/A 20M, the requirements of this specification shall prevail.

4. Materials and Manufacture

4.1 *Steelmaking Practice*—The steel shall be killed and shall conform to the fine austenitic grain size requirement of Specification A 20/A 20M.

5. Heat Treatment

5.1 Plates 1.50 in. [40 mm] and under in thickness are normally supplied in the as-rolled condition. The plates may be ordered normalized or stress relieved, or both.

5.2 Plates over 1.50 in. [40 mm] in thickness shall be normalized.

5.3 When notch-toughness tests are required on plates 1½ in. [40 mm] and under in thickness, the plates shall be normalized unless otherwise specified by the purchaser.

5.4 If approved by the purchaser, cooling rates faster than those obtained by cooling in air are permissible for improvement of the toughness, provided the plates are subsequently tempered in the temperature range 1100 to 1300 °F [595 to 705 °C].

6. Chemical Composition

6.1 The steel shall conform to the chemical requirements given in **Table 1** unless otherwise modified in accordance with Supplementary Requirement S17, Vacuum Carbon-Deoxidized Steel, in Specification A 20/A 20M.

7. Mechanical Properties

7.1 *Tension Test*—The plates, as represented by the tension test specimens, shall conform to the requirements given in **Table 2**.

8. Keywords

8.1 carbon steel; carbon steel plate; pressure containing parts; pressure vessel steels; steel plates for pressure vessels

TABLE 1 Chemical Requirements

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 380]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max^{A,B}:				
½ in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	0.27
Over ½ in. to 2 in. [12.5 to 50 mm], incl	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese^{B1}:				
½ in. [12.5 mm] and under:				
Heat analysis	0.60–0.90	0.60–0.90	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–0.98	0.55–0.98	0.79–1.30	0.79–1.30
Over ½ in. [12.5 mm]:				
Heat analysis	0.60–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30
Phosphorus, max^A	0.035	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max^A	0.035	0.035	0.035	0.035
Silicon:				
Heat analysis	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Product analysis	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45

[†] Footnote reference moved editorially.

^A Applies to both heat and product analyses.

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 % by heat analysis and 1.60 % by product analysis.

 **A 516/A 516M – 05^{e1}**

TABLE 2 Tensile Requirements

	Grade			
	55 [380]	60 [415]	65 [450]	70 [485]
Tensile strength, ksi [MPa]	55–75 [380–515]	60–80 [415–550]	65–85 [450–585]	70–90 [485–620]
Yield strength, min. ^a ksi [MPa]	30 [205]	32 [220]	35 [240]	38 [260]
Elongation in 8 in. [200 mm], min. % ^b	23	21	19	17
Elongation in 2 in. [50 mm], min. % ^b	27	25	23	21

^a Determined by either the 0.2 % offset method or the 0.5 % extension-under-load method.

^b See Specification A 20/A20M for elongation adjustment.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

Supplementary requirements shall not apply unless specified in the purchase order.

A list of standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser is included in ASTM Specification A 20/A 20M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed below by title.

- S1. Vacuum Treatment,
- S2. Product Analysis,
- S3. Simulated Post-Weld Heat Treatment of Mechanical Test Coupons,
- S4.1 Additional Tension Test,
- S5. Charpy V-Notch Impact Test,
- S6. Drop Weight Test (for Material 0.625 in. [16 mm] and over in Thickness),
- S7. High-Temperature Tension Test,

- S8. Ultrasonic Examination in accordance with Specification A 435/A 435M,
- S9. Magnetic Particle Examination,
- S11. Ultrasonic Examination in accordance with Specification A 577/A 577M,
- S12. Ultrasonic Examination in accordance with Specification A 578/A 578M, and
- S17. Vacuum Carbon-Deoxidized Steel.

ADDITIONAL SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

In addition, the following supplementary requirement is suitable for this application.

S54. Requirements for Carbon Steel Plate for Hydrofluoric Acid Alkylation Service

S54.1 Plates shall be provided in the normalized heat-treated condition.

S54.2 The maximum carbon equivalent shall be as follows:
Plate thickness less than or equal to 1 in. [25 mm]: CE maximum = 0.43

Plate thickness greater than 1 in. [25 mm]: CE maximum = 0.45

S54.3 Determine the carbon equivalent (CE) as follows:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

S54.4 Vanadium and niobium maximum content based on heat analysis shall be:

Maximum vanadium = 0.02 %

Maximum niobium = 0.02 %

Maximum vanadium plus niobium = 0.03 %
(Note: niobium = columbium)

S54.5 The maximum composition based on heat analysis of Ni + Cu shall be 0.15 %.

S54.6 The minimum C content based on heat analysis shall be 0.18 %. The maximum C content shall be as specified for the ordered grade.

S54.7 Welding consumables for repair welds shall be of the low-hydrogen type. E60XX electrodes shall not be used and the resulting weld chemistry shall meet the same chemistry requirements as the base metal.

S54.8 In addition to the requirements for product marking in the specification, an “HF-N” stamp or marking shall be provided on each plate to identify that the plate complies with this supplementary requirement.

 **A 516/A 516M – 05^{e1}**

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A 516/A 516M – 03) that may impact the use of this standard. (Approved March 1, 2005.)

- (1) Keywords were added.
- (2) Supplementary Requirement S1, for plates for HF alkyl-
ation service, was added.
- (3) Table 1 was corrected editorially.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A 516/A 516M – 03) that may impact the use of this standard. (Approved June 1, 2004.)

- (1) Footnote B in Table 1 was revised.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Heat-Treated, Carbon-Manganese-Silicon Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 537/A 537M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification² covers heat-treated carbon-manganese-silicon steel plates intended for fusion welded pressure vessels and structures.

1.2 Material under this specification is available in the following three classes:

Class	Heat Treatment	Thickness,	Yield Strength, min, ksi [MPa]	Tensile Strength, min, ksi [MPa]
2	Normalized	2½ in. and under [65 mm and under]	50 [345]	70 [485]
		Over 2½ to 4 in. [Over 65 to 100 mm]	45 [310]	65 [450]
		2½ in. and under [65 mm and under]	60 [415]	80 [550]
		Over 2½ to 4 in. [Over 65 to 100 mm]	55 [380]	75 [515]
3	Quenched and tempered	Over 4 to 6 in. [Over 100 to 150 mm]	46 [315]	70 [485]
		2½ in. and under [65 mm and under]	55 [380]	80 [550]
		Over 2½ to 4 in. [Over 65 to 100 mm]	50 [345]	75 [515]
		Over 4 to 6 in. [Over 100 to 150 mm]	40 [275]	70 [485]

1.3 The maximum thickness of plates furnished under this specification is 4 in. [100 mm] for Class 1 and 6 in. [150 mm] for Class 2 and Class 3.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the

SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 20/A20M Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels³
- A 435/A435M Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates³
- A 577/A577M Specification for Ultrasonic Angle-Beam Examination of Steel Plates³
- A 578/A578M Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Plain and Clad Steel Plates for Special Applications³

3. General Requirements and Ordering Information

3.1 Material supplied to this material specification shall conform to Specification A 20/A 20M. These requirements outline the testing and retesting methods and procedures, permissible variations in dimensions, and mass, quality and repair of defects, marking, loading, etc.

3.2 Specification A 20/A 20M also establishes the rules for the ordering information which should be complied with when purchasing material to this specification.

3.3 In addition to the basic requirements of this specification, certain supplementary requirements are available when additional control, testing, or examination is required to meet end use requirements. These include:

- 3.3.1 Vacuum treatment,
- 3.3.2 Additional or special tension testing,
- 3.3.3 Impact testing, and
- 3.3.4 Nondestructive examination.

3.4 The purchaser is referred to the listed supplementary requirements in this specification and to the detailed requirements in Specification A 20/A 20M.

3.5 If the requirements of this specification are in conflict with the requirements of Specification A 20/A 20M, the requirements of this specification shall prevail.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A-1 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.11 on Steel Plates for Boilers and Pressure Vessels.

Current edition approved June 15, 1995. Published August 1995. Originally published as A 537 – 65. Last previous edition A 537/A 537M – 91.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications, see related Specification SA-537/SA-537M in Section II of that Code.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.04.

A 537/A 537M

4. Manufacture

4.1 *Steelmaking Practice*—The steel shall be killed and shall conform to the fine austenitic grain size requirement of Specification A 20/A 20M.

5. Heat Treatment

5.1 All plates shall be thermally treated as follows:

5.1.1 Class 1 plates shall be normalized.

5.1.2 Class 2 and Class 3 plates shall be quenched and tempered. The tempering temperature for Class 2 plates shall not be less than 1100°F [595°C] for not less than ½ h and 1150°F [620°C] for Class 3 plates for not less than ½ h.

6. Chemical Requirements

6.1 The steel shall conform to the chemical requirements shown in Table 1 unless otherwise modified in accordance with Supplementary Requirement S17, Vacuum Carbon-Deoxidized Steel, in Specification A 20/A 20M.

7. Mechanical Requirements

7.1 Tension Tests:

7.1.1 *Requirements*—The material as represented by the tension-test specimens shall conform to the requirements shown in Table 2.

7.1.2 For Class 2 and Class 3 plates with a nominal thickness of ¾ in. [20 mm] and under, the 1½-in. [40-mm] wide rectangular specimen may be used for the tension test, and the elongation may be determined in a 2-in. [50-mm] gage length that includes the fracture and that shows the greatest elongation.

8. Keywords

8.1 carbon steel plate; pressure containing parts; pressure vessel steels; steel plates for pressure vessel application

TABLE 1 Chemical Requirements

Element	Composition, %
Carbon, max ^A	0.24
Manganese:	
1½ in. [40 mm] and under in thickness: ^B	
Heat analysis	0.70–1.35
Product analysis	0.64–1.46
Over 1½ in. [40 mm] in thickness:	
Heat analysis	1.00–1.60
Product analysis	0.92–1.72
Phosphorus, max ^A	0.035
Sulfur, max ^A	0.035
Silicon:	
Heat analysis	0.15–0.50
Product analysis	0.13–0.55
Copper, max:	
Heat analysis	0.35
Product analysis	0.38
Nickel, max: ^B	
Heat analysis	0.25
Product analysis	0.28
Chromium, max:	
Heat analysis	0.25
Product analysis	0.29
Niobium, max:	
Heat analysis	0.08
Product analysis	0.09

^A Applies to both heat and product analyses.

^B Manganese may exceed 1.35 % on heat analysis, up to a maximum of 1.60 %, and nickel may exceed 0.25 % on heat analysis, up to a maximum of 0.50 %, provided the heat analysis carbon equivalent does not exceed 0.57 % when based upon the following equation:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

When this option is exercised, the manganese and nickel contents on product analysis shall not exceed the heat analysis content by more than 0.12 % and 0.03 %, respectively.

A 537/A 537M

TABLE 2 Tensile Requirements

	Class 1	Class 2	Class 3
	ksi [MPa]	ksi [MPa]	ksi [MPa]
Tensile strength:			
2½ in. and under	70–90	80–100	80–100
[65 mm and under]	[485–620]	[550–690]	[550–690]
Over 2½ to 4 in., incl	65–85	75–95	75–95
[Over 65 to 100 mm, incl]	[450–585]	[515–655]	[515–655]
Over 4 to 6 in., incl	^A	70–90	70–90
[Over 100 to 150 mm, incl]	^A	[485–620]	[485–620]
Yield strength, min:			
2½ in. and under	50	60	55
[65 mm and under]	[345]	[415]	[380]
Over 2½ to 4 in., incl	45	55	50
[Over 65 to 100 mm, incl]	[310]	[380]	[345]
Over 4 in. to 6 in., incl	^A	46	40
[Over 100 to 150 mm, incl]	^A	[315]	[275]
Elongation in 2 in.			
[50 mm], min, % ^B			
4 in. [100 mm] and under	22	22	22
Over 4 in. [100 mm]	^A	20	20
Elongation in 8 in.			
[200 mm], min, % ^B	18	^C	^C

^A Product is not available in this size range.

^B See Specification A 20/A 20M for elongation adjustments.

^C There is no requirement for elongation in 8 in.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

Supplementary requirements shall not apply unless specified in the order.

A list of standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are included in Specification A 20/A 20M. Several of those considered suitable for use with this specification are listed by title. Other tests may be performed by agreement between the supplier and the purchaser.

- S1. Vacuum Treatment,
- S2. Product Analysis,
- S3. Simulated Post-Weld Heat Treatment of Mechanical Test Coupons,
- S4.1 Additional Tension Test,
- S5. Charpy V-Notch Impact Test,
- S6. Drop Weight Test,
- S7. High-Temperature Tension Test,
- S8. Ultrasonic Examination in accordance with Specification A 435/A 435M,

- S9. Magnetic Particle Examination,
- S11. Ultrasonic Examination in accordance with Specification A 577/A 577M,
- S12. Ultrasonic Examination in accordance with Specification A 578/A 578M,
- S14. Bend Test, and
- S17. Vacuum Carbon-Deoxidized Steel.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

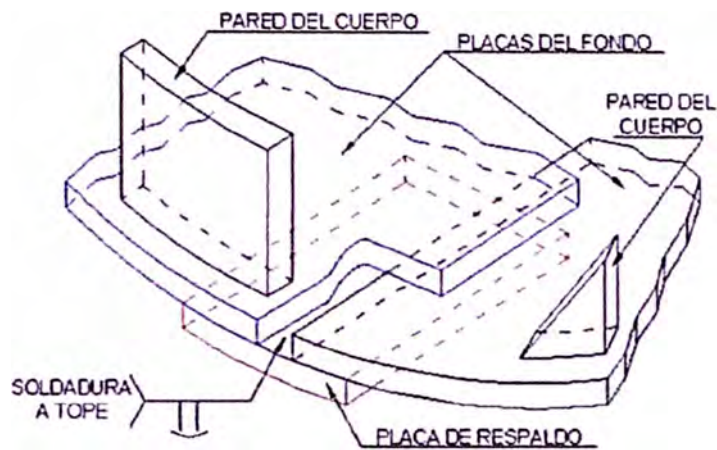


Figura 2.1(a) Junta Fondo-Cuerpo cuando las placas están soldadas a tope con placa de respaldo

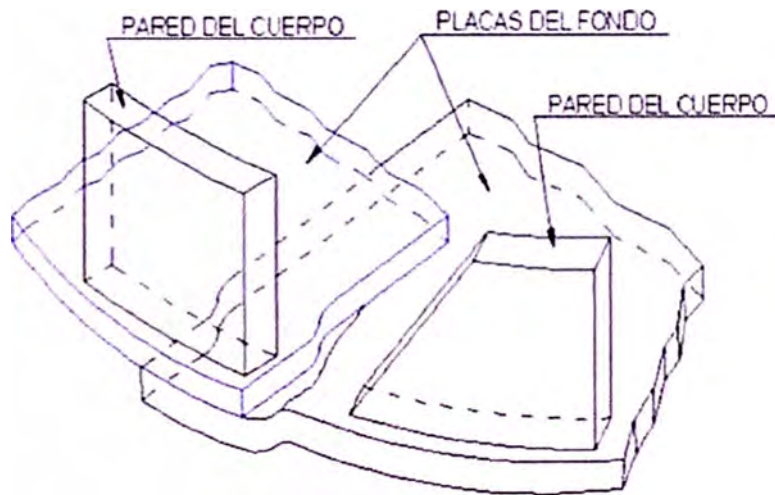
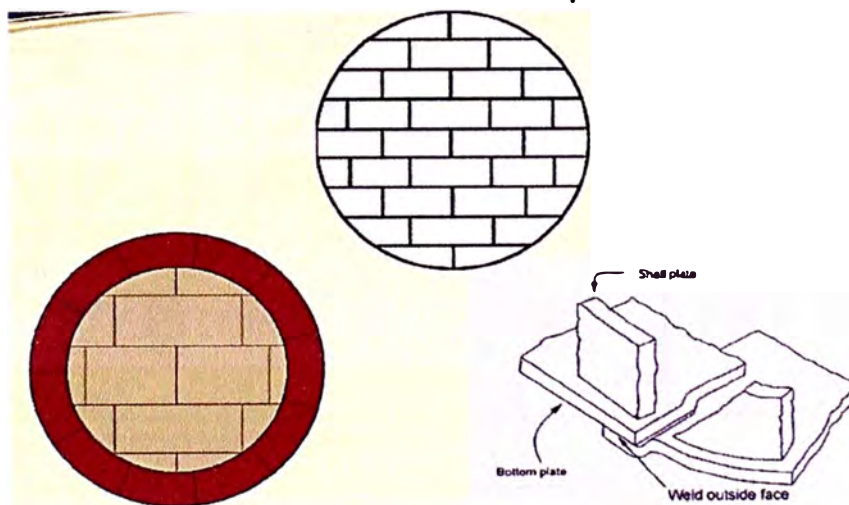


Figura 2.1 (b) Junta Fondo-Cuerpo cuando las placas están soldadas a traslape



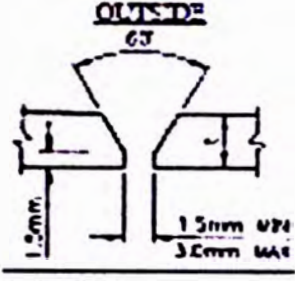
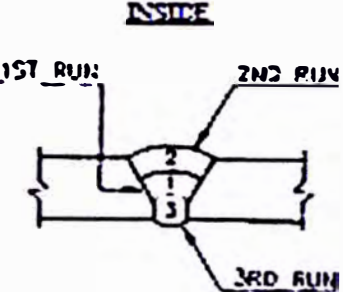
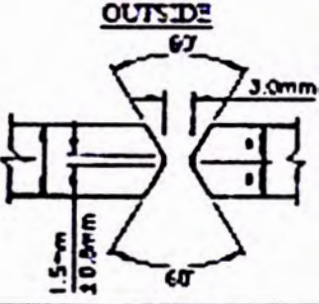
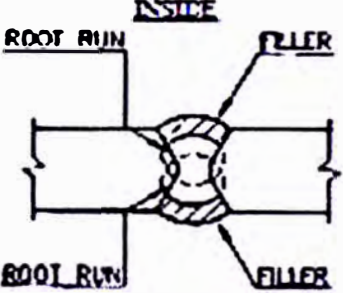
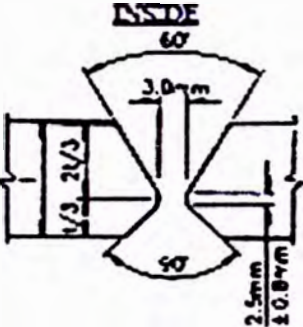
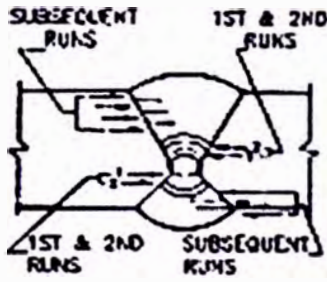
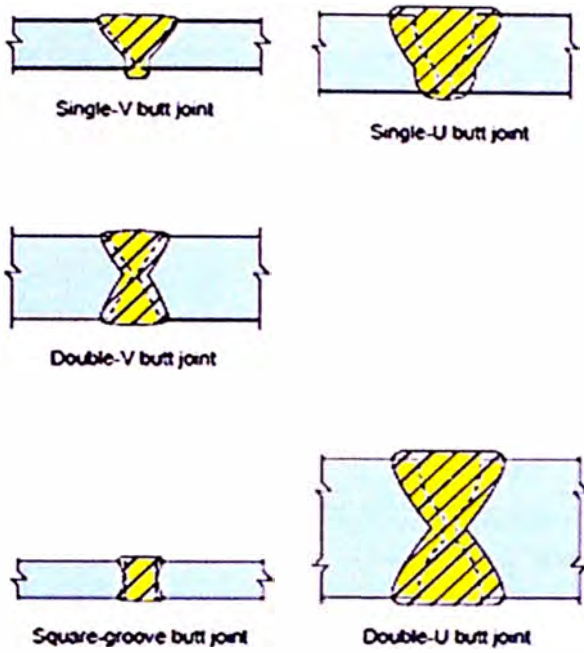
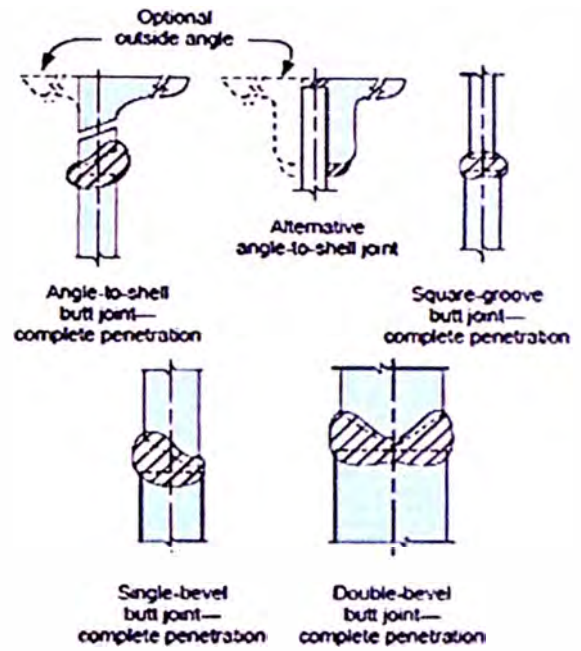
JOINT DETAIL	WELDING PROCEDURE	WELD DETAIL
<p>5mm \leq t \leq 9mm THICK</p> <p>OUTSIDE 63°</p>  <p>INSIDE</p>	<p>2 RUNS OUTSIDE AND 1 RUN INSIDE WITH 3.2mm PREFERRED. ALTERNATIVELY 4.0mm PERMITTED. ALL RUNS APPLIED IN UPWARD DIRECTION</p>	<p>INSIDE</p>  <p>OUTSIDE</p>
<p>9mm \leq t \leq 13mm THICK</p> <p>OUTSIDE 63°</p>  <p>INSIDE</p>	<p>ALL RUNS WITH 3.2mm ALTERNATIVELY ALL RUNS WITH 4.0mm. RUNS APPLIED IN UPWARD DIRECTION. FILLER RUNS (SHADED AREAS)</p>	<p>INSIDE</p>  <p>OUTSIDE</p>
<p>t > 13mm THICK</p> <p>INSIDE 60°</p>  <p>OUTSIDE</p>	<p>TWO RUNS OUTSIDE AND ONE RUN INSIDE WITH 4.0mm PREFERRED. ALTERNATIVELY 1ST RUN OUTSIDE WITH 5.0mm 2ND RUN OUTSIDE WITH 4.0mm 1ST RUN INSIDE WITH 5.0mm</p>	<p>INSIDE</p>  <p>OUTSIDE</p>
<p>NOTE:- 't' = THICKNESS OF PLATE</p>		

FIGURE 3 (SHEET 2 OF 2)
APPROVED MANUAL WELDING PROCEDURES



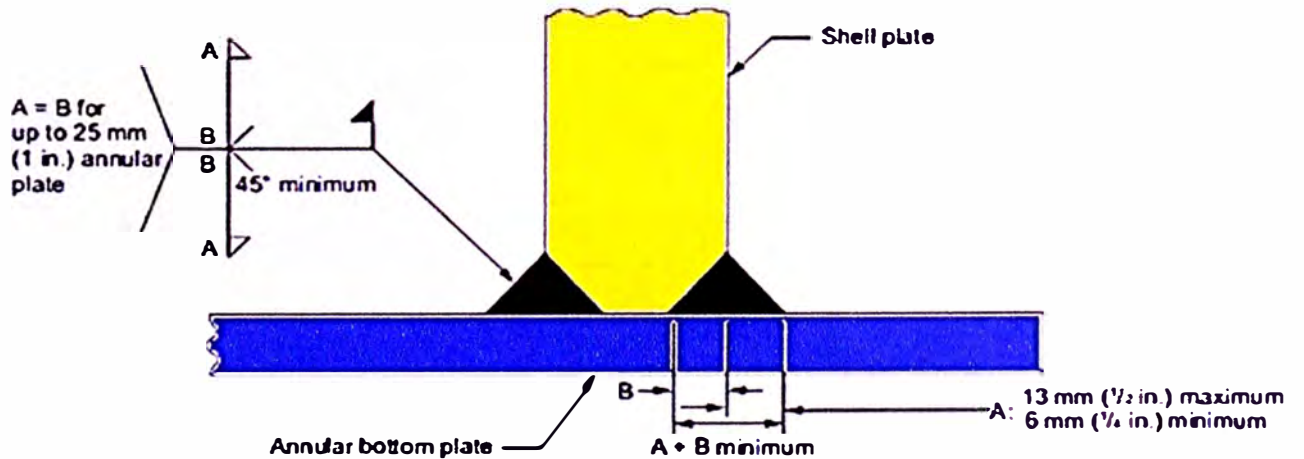
Note: See 5.1.5.2 for specific requirements for vertical shell joints.

Figure 5-1—Typical Vertical Shell Joints



Note: See 5.1.5.3 for specific requirements for horizontal shell joints.

Figure 5-2—Typical Horizontal Shell Joints



Notes:

1. $A =$ Fillet weld size limited to 13 mm ($1/2$ in.) maximum.
2. $A + B =$ Thinner of shell or annular bottom plate thickness.

Figure 5-3C—Detail of Double Fillet-Groove Weld for Annular Bottom Plates with a Nominal Thickness Greater Than 13 mm ($1/2$ in.) (See 5.1.5.7, Item b)



Figura 4.9 Cupones de prueba con espesores hasta de 9mm. inclusive (QW-463.1(a)).

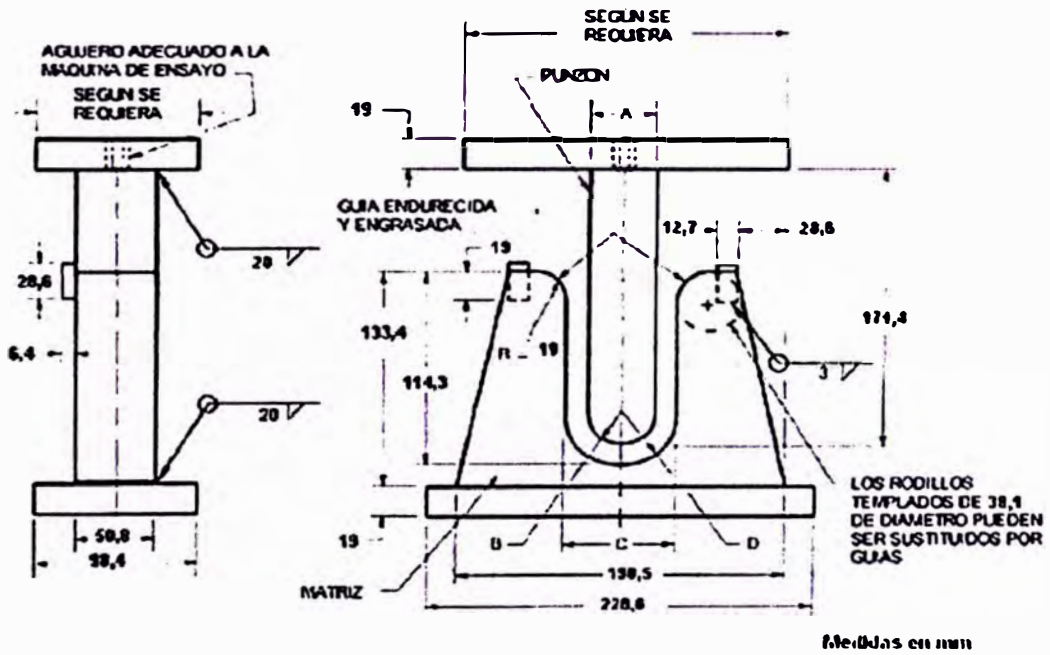


Figura 4.11 Prueba de Doblado (QW-466.1)

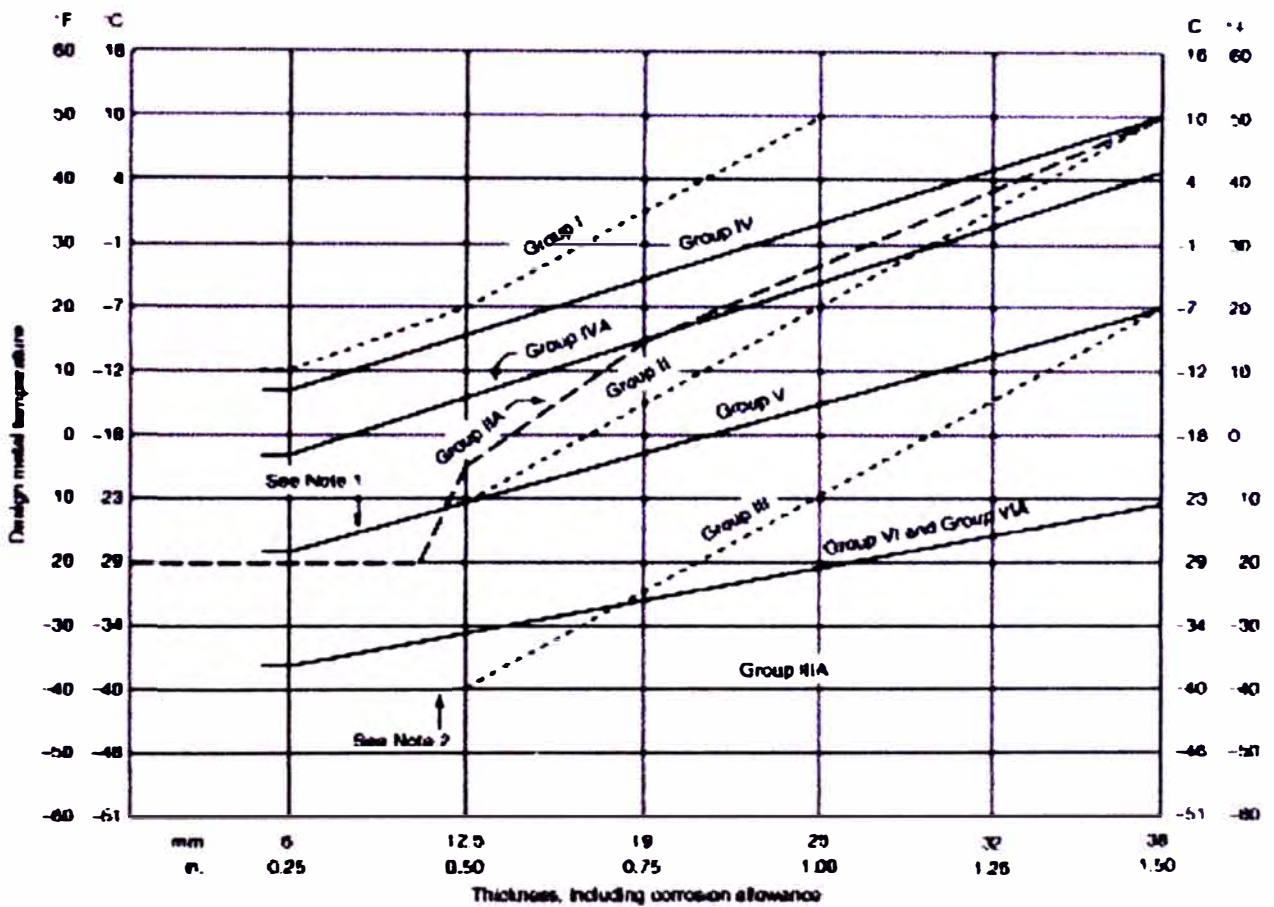
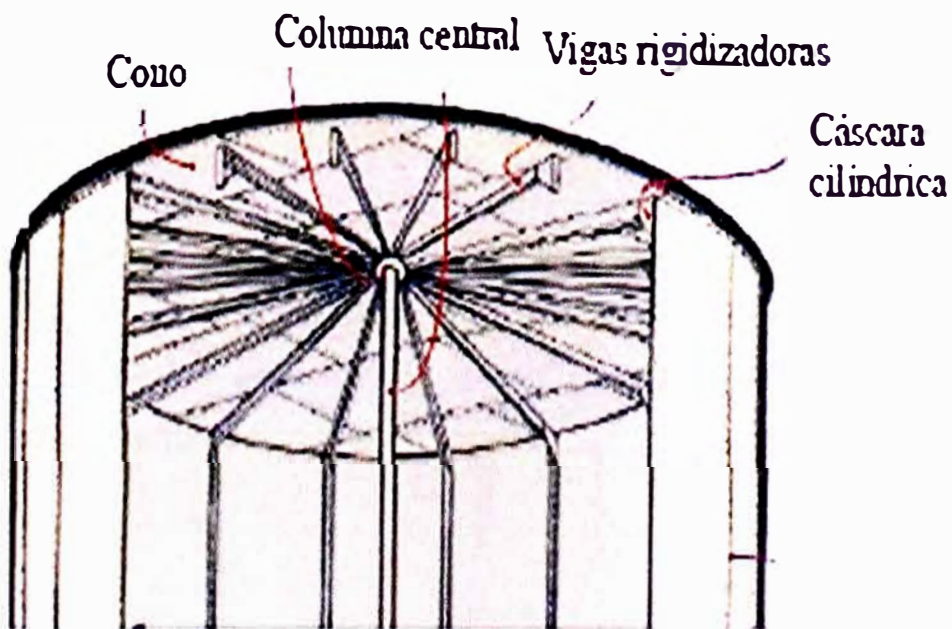
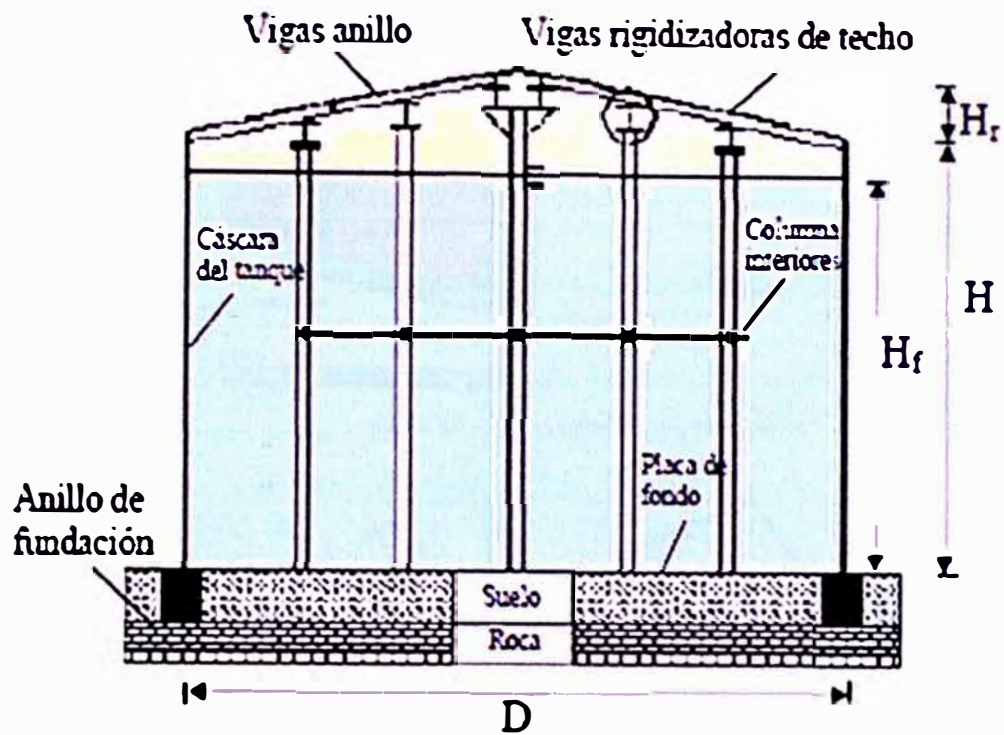
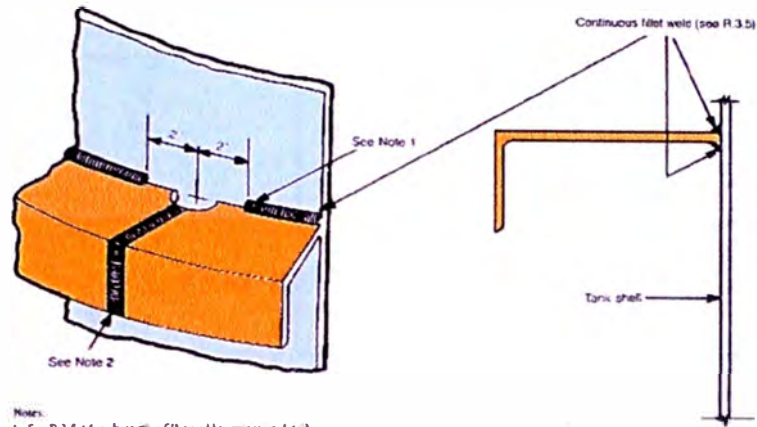


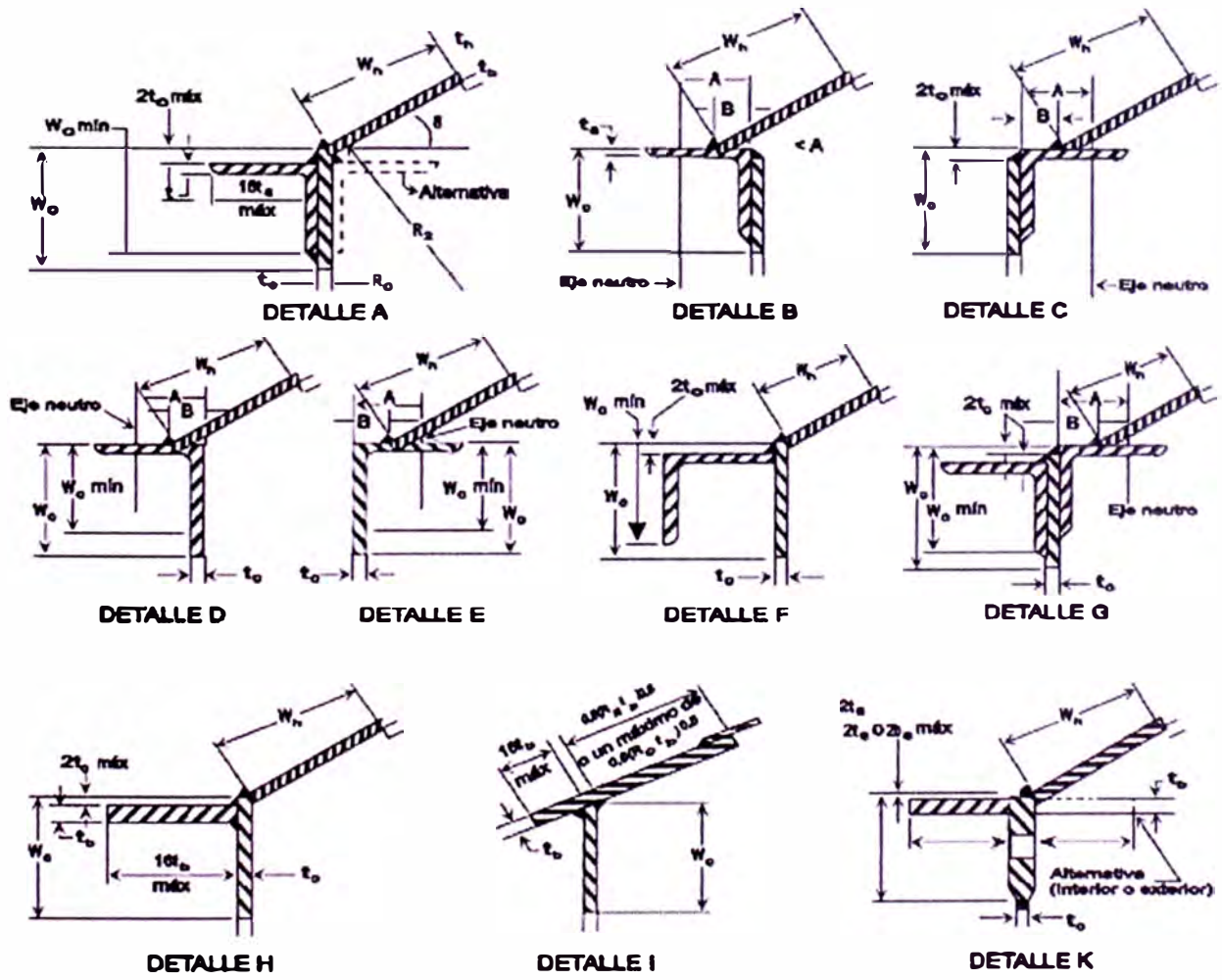
Figure 2-1—Minimum Permissible Design Metal Temperature for Materials Used in Tank Shells Without Impact Testing

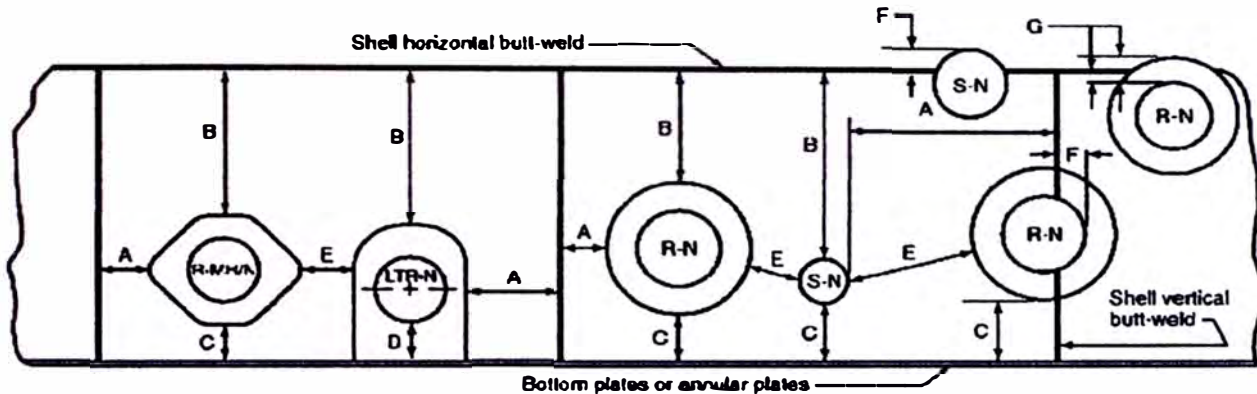




Notes:
 1. See R.3.5.4 for alternative fillet weld termination details.
 2. Backing strips are permitted for stiffening ring practices only.

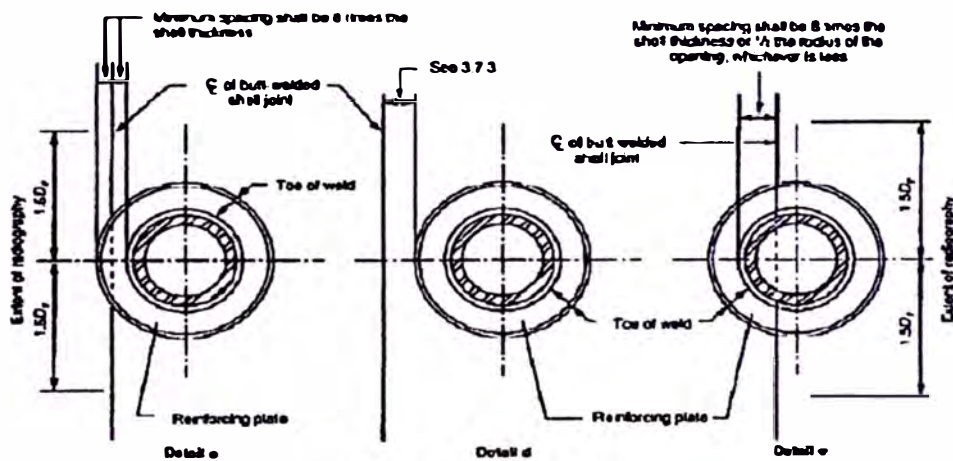
Figure R-1—Typical Stiffening-ring Weld Details





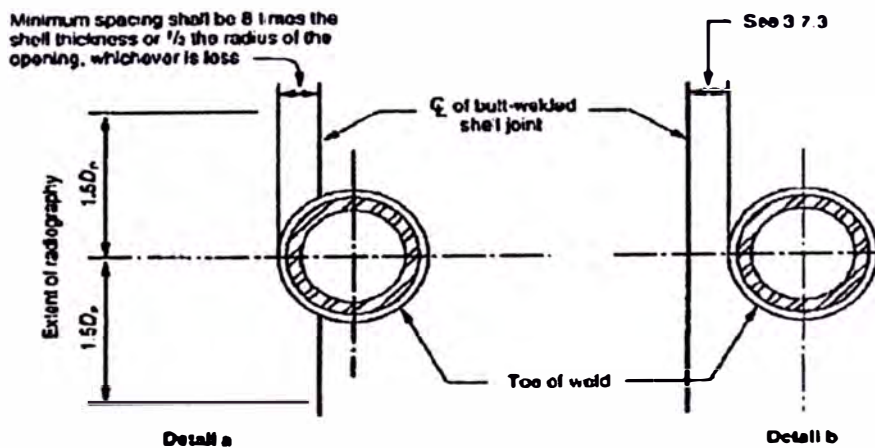
Note:

- R-MH/N = Reinforced Opening (manhole or nozzle with diamond shape reinforcing plate, see Figure 3-4A and 3-5).
- LTR-N = Low Type Reinforced Opening (nozzle with tombstone shape reinforcing plate, see Figure 3-5, Detail a and b).
- R-N = Reinforced Opening (manhole or nozzle with circular reinforcing plate or thickened insert plate, see Figure 3-5).
- S-N = Non-Reinforced Opening (manhole or nozzle inserted into the shell per the alternate neck detail of Figure 3-4B).



PENETRATION WITH REINFORCING PLATE

Note: D_o = diameter of opening.

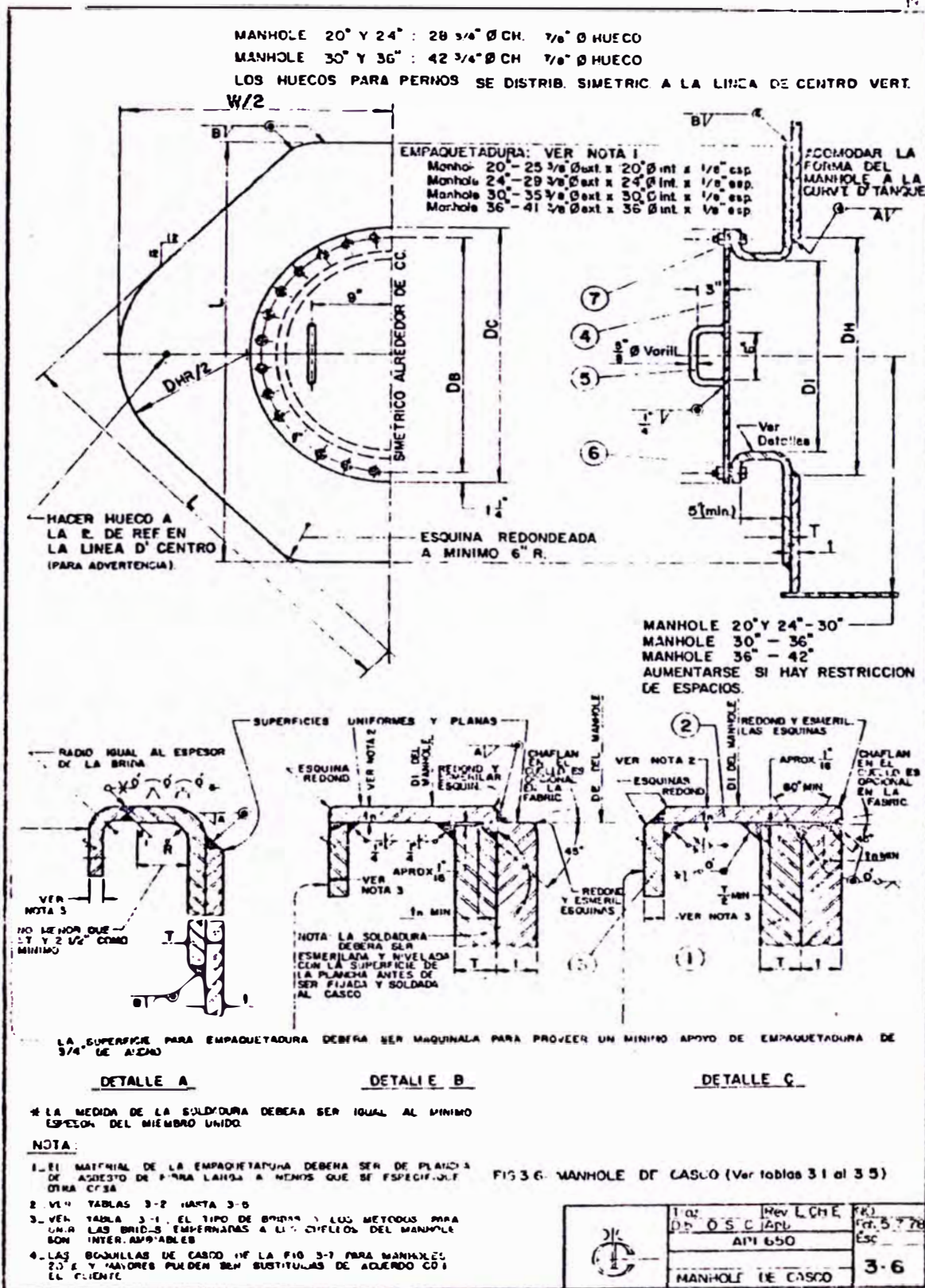


PENETRATION WITHOUT REINFORCING PLATE

MANHOLE 20" Y 24" : 28 3/4" Ø CH. 7/8" Ø HUECO

MANHOLE 30" Y 36" : 42 3/4" Ø CH. 7/8" Ø HUECO

LOS HUECOS PARA PERNOS SE DISTRIB. SIMETRIC A LA LINEA DE CENTRO VERT.



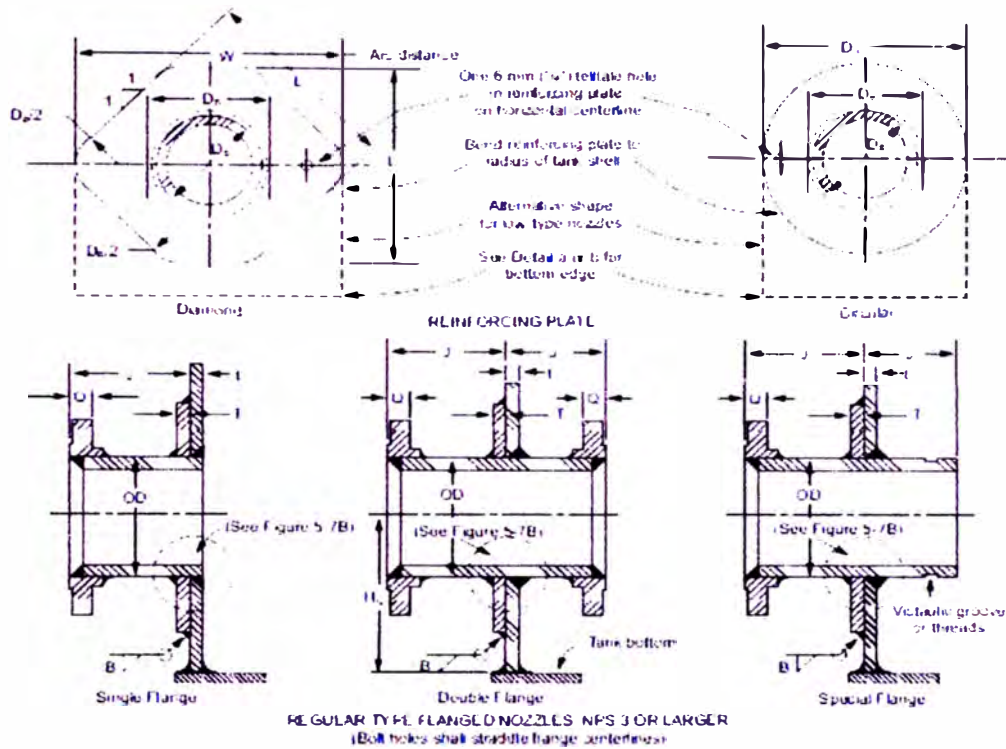


Table 5-6a—(SI) Dimensions for Shell Nozzles (mm)

Column 1 NPS (Size of Nozzle)	Column 2 Outside Diameter of Pipe OD	Column 3 Nominal Thickness of Flanged Nozzle Pipe Wall ^a t_n	Column 4 Diameter of Hole in Reinforcing Plate D_R	Column 5 Length of Side of Reinforcing Plate ^b or Diameter $L = D_R$	Column 6 Width of Reinforcing Plate Π	Column 7 Minimum Distance from Shell-to-Flange J	Column 8 Minimum Distance from Bottom of Tank to Center of Nozzle Regular Type ^d H_n	Column 9 ^c Low Type C
Flanged Flange:								
48	1219.2	e	1222	2455	2970	400	1534	1230
46	1168.4	e	1172	2355	2845	400	1284	1180
44	1117.6	e	1121	2255	2725	375	1234	1125
42	1066.8	e	1070	2155	2605	375	1184	1075
40	1016	e	1019	2050	2485	375	1131	1025
38	965.2	e	968	1950	2355	350	1081	975
36	914.4	e	918	1850	2235	350	1031	925
34	863.6	e	867	1745	2115	325	979	875
32	812.8	e	816	1645	1995	325	929	820
30	762.0	e	765	1545	1865	300	879	770
28	711.2	e	714	1440	1745	300	826	720
26	660.4	e	664	1340	1625	300	776	670
24	609.6	12.7	613	1255	1525	300	734	630
22	558.8	12.7	562	1155	1405	275	684	580
20	508.0	12.7	511	1055	1285	275	634	525
18	457.2	12.7	460	950	1160	250	581	475
16	406.4	12.7	410	850	1035	250	531	425
14	355.6	12.7	359	750	915	250	481	375
12	323.8	12.7	327	685	840	225	449	345
10	273.0	12.7	276	585	720	225	399	290
8	219.1	12.7	222	485	590	200	349	240
6	168.3	10.97	171	400	495	200	306	200
4	114.3	8.56	117	305	385	175	259	150
3	88.9	7.62	92	265	345	175	239	135
2 ^f	60.3	5.54	63	—	—	150	175	h
1 ^f	48.3	5.08	51	—	—	150	150	h
3/4 ^f	33.4	6.35	—	—	—	150	150	h
1/2 ^f	26.7	5.54	—	—	—	150	150	h



PERLITE

LOOSE-FILL INSULATION

- NON-TOXIC
- INORGANIC
- NON-COMBUSTIBLE
- ALL NATURAL MINERAL
- REDUCES SOUND TRANSMISSION
- SUPERIOR DYNAMIC THERMAL PERFORMANCE
- OUTPERFORMS EPS BEADS, EPS INSERTS, FOAM,
AND VERMICULITE

Perlite

LOOSE-FILL MASONRY INSULATION

Description, Properties, Benefits

DESCRIPTION

Perlite loose fill masonry insulation is inert volcanic rock expanded by a special heat process and is often treated with water repellent material. The resulting granular product is lightweight with countless tiny, sealed air cells, which account for its excellent thermal performance and fire resistance.

Perlite insulation has been proven over a period of many years in the insulation of storage tanks for liquid gases at temperatures as low as -400°F (-240°C).

PROPERTIES AND BENEFITS

INSULATING - Reductions in heat transmission of masonry walls of 50% or more may be obtained with perlite loose fill insulation. Thermal performance tests using ASTM C236, *Test Method for Steady State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box* have shown perlite to be a superior concrete block insulation when compared to vermiculite, EPS inserts, EPS beads, and foamed-in-place insulations.

Recent testing of an 8 inch medium weight concrete block wall filled with perlite loose-fill insulation using dynamic temperature conditions simulated by a National Bureau of Standards 24 hour (diurnal) test cycle indicates that the measured total energy (total heat flow through a wall for a 24 hour period) was only 72 percent of the total energy predicted by steady-state analysis.

NON-COMBUSTIBLE - The fusion point of perlite is 2,300°F (1260°C)

ASTM E84 - Flame Spread 0, Fuel Contribution 0, Smoke Density 0.

FED. SPEC. HH-1-515D - Critical Radiant Flux greater than 1.07 Watts/cm². Smoldering Combustion, Flaming Combustion -None, Weight Loss- Nil

4 HOUR FIRE RATINGS - Underwriters' Laboratories Design No. U905 shows that a 2 hour rated 8, 10, or 12 inch (20, 25, or 30 cm) concrete block wall is improved to four hours when



cores are filled with water repellent treated perlite. U.L. Designs U901, U904, and U907 also achieve 4 hour fire ratings.

PERMANENT - Perlite is an inorganic, naturally occurring mineral and it is as permanent as the walls which contain it. It supports its own weight and will not settle or bridge.

WATER REPELLENT - The non-flammable water repellent treatment significantly improves low water retention properties of perlite. Laboratory tests on water transmission by Structural Clay Products Research Foundation show that a cavity wall filled with treated perlite resists transmission of water to the interior wythe. Performance of overall wall was rated "excellent" in accordance with procedures established by the National Bureau of Standards in BMS 82. However, it should be noted that treated perlite insulation will not waterproof a poorly constructed masonry wall. Good construction practice should also incorporate the use of weep holes covered with copper, galvanized steel, or fiber glass screening.

SOUND REDUCTION - Perlite loose-fill insulation has the ability to

fill all voids, mortar lines, and ear holes thus enabling it to reduce airborne sound transmission through walls. Lightweight 8 in. (20 cm) masonry block filled with perlite achieves an STC of 51 which exceeds HUD sound transmission standards.

ECONOMICAL - Perlite loose-fill masonry insulation offers excellent thermal and fire resistant properties at an economical cost. It is lightweight and pours easily and quickly without requiring special equipment or skills.

STANDARDS, SPECIFICATIONS AND REFERENCES

ASTM Specification C549 *Perlite Loose Fill Insulation*

ASTM Specification C520 *Density of Granular Loose Fill Insulation*

ASTM Test Method C236 *Test Method for Steady State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box*

ASTM Test Method E84 *Test for Surface Burning Characteristics of Building Materials*

FHA Use of Materials Bulletin UM-37

GSA Commercial Item Description A-903 - Insulation, Thermal (Expanded Perlite)

Brick Institute of America Technical Notes No. 21A

National Concrete Masonry Association Tek 101A

Federal Specification HH-1-515D for: Smoldering Combustion/Critical Radiant Flux.

Perlite

LOOSE-FILL MASONRY INSULATION

Thermal Design

TABLE 1. THERMAL DESIGN^{1,2}, CONCRETE MASONRY WALL

Block Size	Type ⁶	Perlite Filled	R ³ Value	U ³ Value
6 inch (15cm)	Lightweight	No	2.64	.38
	Lightweight	Yes	6.75	.15
8 inch (20 cm)	Lightweight	No	2.86	.35
	Lightweight	Yes	9.07	.11
10 inch (25 cm)	Lightweight	No	3.00	.33
	Lightweight	Yes	11.02	.09
12 inch (30 cm)	Lightweight	No	3.12	.32
	Lightweight	Yes	13.44	.07
6 inch (15 cm)	Heavyweight	No	1.95	.51
	Heavyweight	Yes	3.40	.29
8 inch (20 cm)	Heavyweight	No	2.10	.48
	Heavyweight	Yes	4.40	.23
10 inch (25 cm)	Heavyweight	No	2.19	.46
	Heavyweight	Yes	5.14	.19
12 inch (30 cm)	Heavyweight	No	2.26	.44
	Heavyweight	Yes	6.18	.16

1. The values in this table represent typical R values of concrete block. The actual R value of a concrete block is influenced by the concrete constituents and by moisture content. More accurate estimates of thermal conductivity k or thermal resistance R of the specific block has been determined by tests. Procedures to make calculations for blocks of known conductivity are described in Perlite Institute Technical Data Sheet No. 2-6.

2. R values expressed in °F·ft²·h/Btu include inside and outside air film resistances.

3. U factors expressed in Btu/h·ft²·°F are calculated using thermal conductivity k factor of 0.32 Btu·in/h·ft²·°F. Different densities of perlite in the core spaces of concrete block have only a slight effect on the overall U factor. For estimates of this effect see Perlite Institute Technical Data Sheet No. 2-6 which provides the calculation techniques.

4. Metric: To determine R values and U factors in SI (metric) units use the following conversion factors.

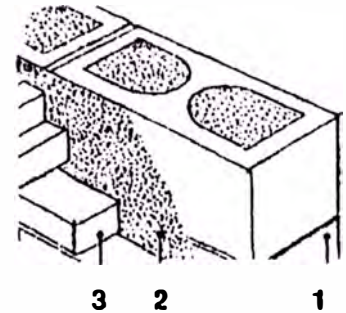
Thermal Resistance, R: °F·ft²·h/Btu x 1.761 102E-01 = K·m²/W

Thermal Transmittance, U: Btu/h·ft²·°F x 5.687 263E + 00 = W/m²·K

5. R values and U values from NCMA Tek Sheet 101A

6. Lightweight masonry units 80 lb/ft³ (1280 kg/m³), Heavyweight masonry units 135 lb/ft³ (2160 kg/m³)

SAMPLE U FACTOR CALCULATIONS FOR VENEER AND CAVITY WALLS



1. 8 inch (20 cm) heavyweight concrete block filled with perlite (from Table 1).....4.40
2. 3 inch (8 cm) cavity filled with perlite (from Table 2).....9.38
3. 4 inch (10 cm) face brick (from Table 2).....0.44

$$R_t = 14.22$$

$$U = 1/R_t = 1/14.22 = 0.07$$

TABLE 2. THERMAL RESISTANCE VALUES FOR VENEER AND CAVITY WALL CALCULATIONS

	R Values (°F·ft ² ·h/Btu)	R Values (K·m ² /W)
Outside Air Film	0.17	0.03
Common Brick (with holes)	0.20	0.04
Face Brick (no holes)	0.44	0.08
Air Space in Cavity 3/4 to 4 inch (19-102 mm)	0.97	0.17
1 inch (2.5 cm) cavity filled with perlite	3.12	0.55
2 inch (5.1 cm) cavity filled with perlite	6.25	1.10
3 inch (7.7 cm) cavity filled with perlite	9.38	1.65
4 inch (10.3 cm) cavity filled with perlite	12.5	2.20
Reflective Air Space	3.08	0.54
Furring (Nonreflective Air Space)	1.01	0.18
Gypsum or Plaster Board 1/2 inch (13mm)	0.45	0.08
Gypsum or Plaster Board 5/8 inch (16 mm)	0.56	0.10
Inside Air Film	0.68	0.12



Perlite

LOOSE-FILL MASONRY INSULATION

Coverage, Guide Specification

TABLE 3.-APPROXIMATE PERLITE MASONRY BLOCK LOOSE-FILL COVERAGE*
Coverage per 4 ft³ (110 litre) bag

	12 inch (25 cm) Block	10 inch (25 cm) Block	8 inch (20 cm) Block	6 inch (15 cm) Block
Number of Blocks Filled	9	13	17	23
	1 in. (2.5 cm) Cavity	1.5 in. (3.9 cm) Cavity	2 in. (5.1 cm) Cavity	2.5 in. (6.4 cm) Cavity
Square Feet of Wall Filled	48	32	24	19

* Data based on actual field conditions

TABLE 4.-APPROXIMATE PERLITE MASONRY BLOCK LOOSE-FILL COVERAGE
(Number of 4 ft³ bags required-4 ft³ equals approximately 110 litres)

Wall Area ft ² (m ²)	Core Fill			Cavity Fill		
	Block Size			Cavity Width		
	6 inch (15 cm)	8 inch (20 cm)	12 inch (25 cm)	1 in. (2.5 cm)	2 in. (5.0 cm)	3 in. (7.5 cm)
1,000 (93)	46	65	118	21	42	62

GUIDE SPECIFICATIONS

Part 1 - General

1.1 SCOPE

The work covered by this section of the specification includes supplying and installing loose-fill insulation material for the thermal insulation of all masonry walls in accordance with these specifications and applicable drawings.

Part 2 - Products

2.1 MATERIALS

Perlite loose-fill insulation. Each package shall be clearly marked with the manufacturer's name and such. The insulation material shall conform to the requirements of ASTM Designation C549 and shall be a product of a member of Perlite Institute, Inc. Prior to installation of the insulation, the

manufacturer shall furnish a certificate to the architect or owner stating that the product conforms to the Standard Specifications for Loose Fill Insulation as adopted and published by Perlite Institute, Inc.

Part 3 - Execution

3.01 INSTALLATION

(a) The insulation shall be installed in the following locations:

1. In the cores of all exterior (and interior) hollow masonry walls.
2. In the cavity between all exterior (and interior) masonry walls.
3. Between exterior masonry walls and interior furring.

(b) The insulation shall be poured directly (or via a hopper) in the top of the wall at any convenient

interval [not in excess of 20 feet (6 m)]. Wall sections under doors and windows shall be filled before sills are placed. Rodding or tamping is not necessary.

(c) All holes and openings in the wall through which insulation can escape shall be permanently sealed or caulked prior to installation of the insulation. Copper, galvanized steel, or fiber glass screening shall be used in all weep holes. (The inclusion of weep holes is considered good construction design practice to allow passage of any water which might penetrate the cavities or core spaces of wall construction.)

(d) Insulation must remain dry. Cavity caps or other suitable means should be used as the work progresses to insure that the insulation is protected from inclement weather.



Perlite Institute Inc.

PERLITE PRODUCT GUIDE 8A

PERLITE FOR NONEVACUATED CRYOGENIC AND LOW TEMPERATURE SERVICE

What is Perlite?

Perlite is not a trade name but a generic term for naturally occurring siliceous volcanic rock. The distinguishing feature which sets perlite apart from other volcanic glasses is that when heated to a suitable point in its softening range, it expands four to twenty times its original volume.

This expansion is due to the presence of two to six percent combined water in the crude perlite rock. When quickly heated to above 1600°F (870°C) the crude rock pops in a manner similar to popcorn as the combined water vaporizes and creates countless tiny bubbles in the heat softened glassy particles. It is these tiny glass-sealed bubbles which account for the excellent insulating properties and light weight of expanded perlite.

Expanded perlite can be manufactured to weigh from 2 lb/ft³ (32 kg/m³) to 15 lb/ft³ (240 kg/m³) making it especially suitable for use in insulating applications. Perlite is used in the manufacture of cryogenic, low temperature and high temperature insulation, lightweight perlite insulating concrete, insulating board, insulating plasters, masonry wall insulation and as underfloor insulation.

Cryogenic Applications for Perlite Insulation

Because of its unique properties, perlite insulation has found wide acceptance in the insulat-



Crude
Perlite

Crushed
Crude
Perlite

Expanded
Perlite

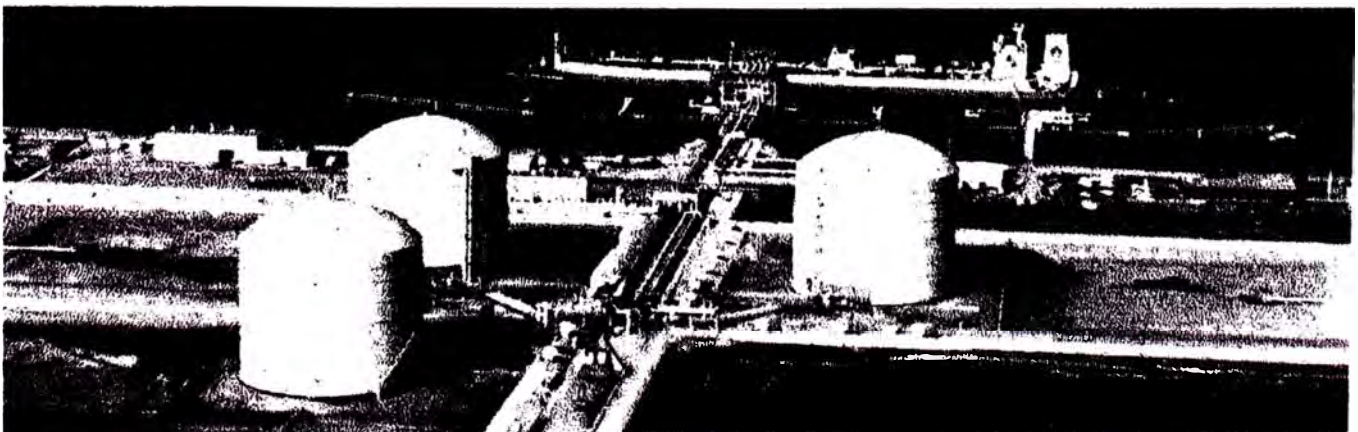
Three stages of perlite production shown above illustrate the great increase in volume after furnacing. The same weight of perlite, 1 oz (28 gm) is shown in each photo.

ing of cryogenic and low temperature storage tanks, in shipping containers, cold boxes, test chambers and in food processing.

Storage temperatures of -150°F (-100°C) and below are considered cryogenic. Storage temperatures of -150°F (-100°C) and above to +40°F (+4°C) are considered low temperature. Super cold or extremely cold cryogenic fluids such as hydrogen and helium are normally stored in spherical, double walled vessels with evacuated annular spaces using evacuated perlite.

Properties of Perlite Insulation

Perlite insulation suitable for nonevacuated cryogenic or low temperature use exhibits low



**NONEVACUATED PERLITE CRYOGENIC
AND LOW TEMPERATURE
INSULATION SPECIFICATIONS**

Density 3 to 6 lb/ft³
(48 to 96 kg/m³)

Sieve Analysis (mesh is U.S. Standard)
Percent Weight Retained
Max. 10% + 16 mesh (1.18 mm)
Min. 50% + 100 mesh (0.15 mm)

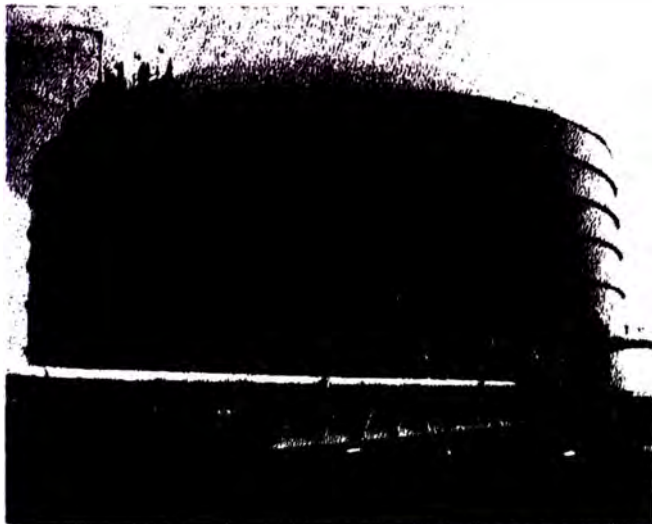
Thermal Conductivity*

Low Temperature Applications
(at mean temperature -40 °F, -40 °C)
0.24-0.27 Btu·in/h·ft²·°F
(0.035-0.039 W/m·K)

Nonevacuated Cryogenic Applications
(at mean temperature -195 °F, -126 °C)
0.17-0.20 Btu·in/h·ft²·°F
(0.025-0.029 W/m·K)

*Thermal conductivity varies with temperature, density, pressure, and conductivity of the gas which fills the annulus or insulation space.

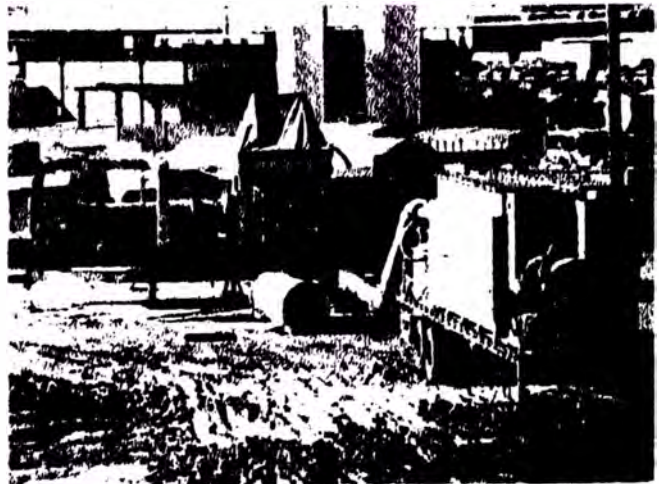
thermal conductivity throughout a range of densities, however, the normal recommended density range is 3 to 4.5 lb/ft³ (48 to 72 kg/m³). In addition to its excellent thermal properties, perlite insulation is relatively low in cost, easy to handle and install, noncombustible and meets fire regulations, lowers insurance rates, does not shrink, swell, warp or slump. Because



it is an inorganic material, it is rot and vermin proof. As a result of its closed cell structure, the material does not retain moisture.

Typical Nonevacuated Installation

There are many different design concepts for low temperature and cryogenic storage vessels. However, most are of double wall construction with the annulus filled with expanded perlite. Packaged or bulk perlite may be used to insulate smaller vessels by pouring or blowing the insulation in place. Portable perlite expansion plants are usually used to insulate storage tanks, cold boxes, ships, and other double wall vessels and pipes. In these applications, perlite ore is expanded on-site and the expanded perlite insulation is conveyed pneumatically into the annulus.



Typical portable perlite expanding plant.



PERLITE INSTITUTE, INC.

600 SOUTH FEDERAL, CHICAGO, IL 60605
312/922-2062, TELEX 297213 HA UR

Technical data given herein are from sources considered reliable, but no guarantee of accuracy can be made or liability assumed. Your supplier may be able to provide you with more precise data. Certain compositions or processes involving perlite may be the subject of patents.

Perlite

TECHNICAL DATA SHEET / No. 2-4 1983

PERLITE LOOSE FILL INSULATION

BUILDING, HIGH TEMPERATURE, LOW TEMPERATURE AND CRYOGENIC APPLICATIONS

Perlite is a naturally occurring siliceous volcanic rock containing two to six per cent combined water. When the crude rock is crushed and heated above 1600°F (871°C), the combined water vaporizes and the perlite expands four to twenty times its original volume. This expansion process creates countless cells in the glassy particles which account for the excellent thermal conductivity of expanded perlite.

Perlite loose fill insulation provides dependable results at temperatures ranging from -452°F to +2000°F (-269°C to +1093°C).

BUILDING INSULATION

Expanded perlite for loose fill construction applications should conform to ASTM Specification C549 "Perlite Loose Fill Insulation" and be treated with a non-flammable silicone to improve water repellency. Silicone treated perlite provides a quick, inexpensive method for permanently insulating masonry walls.

Figure 1 indicates the relationship between thermal conductivity and density at various mean temperatures. The recommended density for building applications of loose fill insulation is 2 to 11 lb/ft³ (32 to 176 kg/m³), and Figure 2 plots thermal conductivity as related to increasing mean temperature for expanded perlite at 3, 8 and 11 lb/ft³ (48, 128 and 176 kg/m³).

LOW TEMPERATURE AND CRYOGENIC INSULATION

Expanded perlite is an inexpensive insulation for low temperature

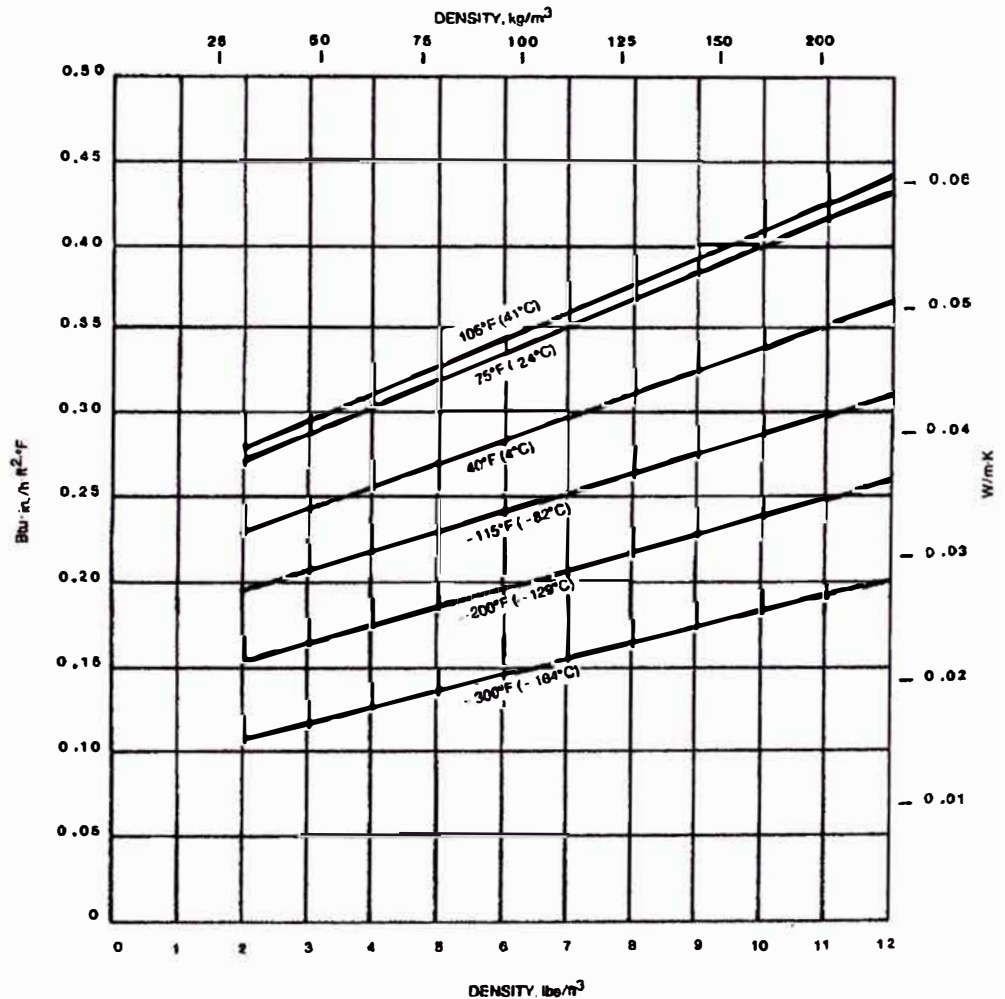


Figure 1

and cryogenic applications. It is widely used because of its low thermal conductivity, cost, ease of handling, non-flammability and low moisture retention.

Liquefied gases having boiling

points as low as -452°F (-269°C) have created a demand for storage facilities capable of economically reducing evaporation losses. While the storage vessels vary as to configuration, type of supports and ac-

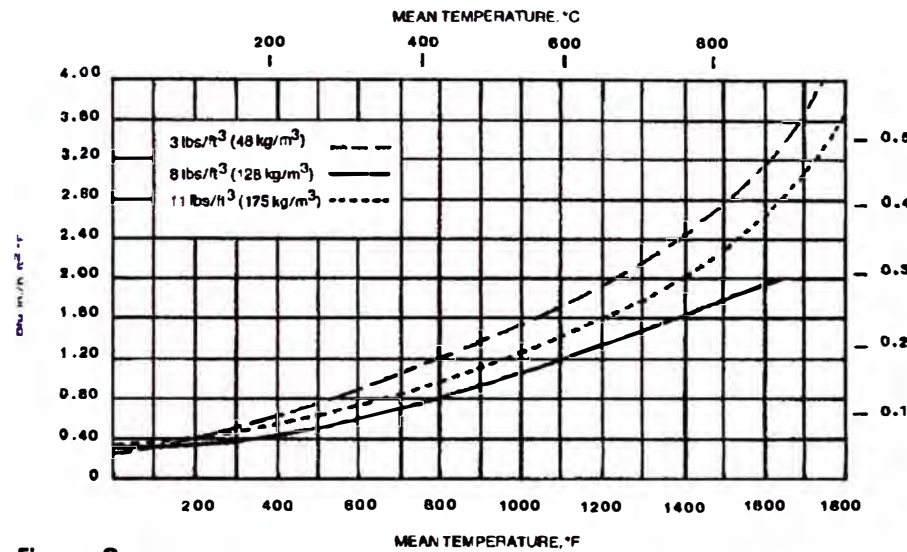


Figure 2

necessary equipment, a large majority of the vessels are of double wall construction, and the annulus is filled with expanded perlite. Although other powder insulations have occasionally been used, their greater cost has not warranted their use in most applications.

Figure 1 indicates probable values of the apparent thermal conductivity of expanded perlite of from 2 to 12 lbs/ft³ (32 to 192 kg/m³) at a pressure of one atmosphere and mean temperatures from -300°F to +105°F (-184°C to 41°C).

HIGH TEMPERATURE INSULATION

Expanded perlite is used as insulating cover on the surface of molten metal to prevent excessive heat loss during delays in pouring; to top off ingots to reduce piping and decrease lamination; to produce refractory blocks and bricks; and in several important foundry applications. The data in Figures 2 and 3 cover a range of perlite densities at mean temperatures as high as 1800°F (982°C). Although thermal conductivity increases appreciably above 1800°F (982°C), expanded perlite has been used at service

temperatures as high as 2000°F (1093°C).

Atmospheric Service

The thermal conductivity of expanded perlite insulation at atmospheric pressure conditions has been shown to correlate directly with density, while perlite gradation has only a minor effect on thermal conductivity.

Evacuated Service

Expanded perlite is non-hygroscopic, which adapts it for use under vacuum conditions. If evacuation is to be accomplished in a minimum amount of time, the perlite must be kept dry and the interstitial gas should have a low heat of adsorption. Heat transfer through an evacuated perlite filled annulus is a combination of solid conduction and thermal radiation. Gas conduction is also an important transfer mechanism if the interstitial gas pressure is not reduced to a suitable level.

REFERENCES

1. J.L.F. Research, Inc., Reports dated December 24, 1962, January 2, 1964, July 1, 1965.
2. "Thermal Conductivity of Expanded Perlite Cryogenic Fill Insulation," G.R. Kinzer, Jr., ASHRAE Journal, February, 1963.
3. "Thermal Conductivity of Perlite at Low Temperatures," L. Adams, Cryogenic Technology, March-April, 1965.

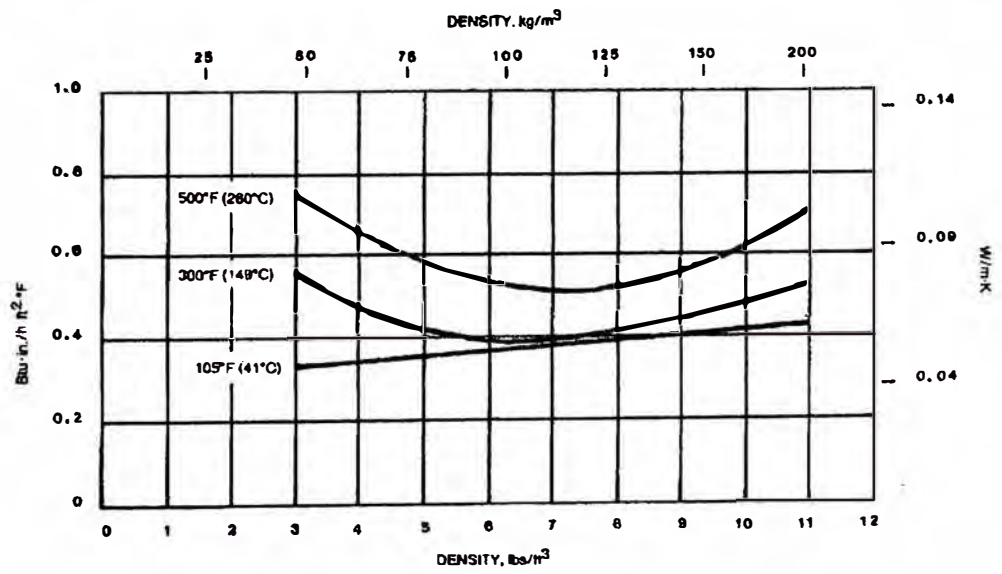
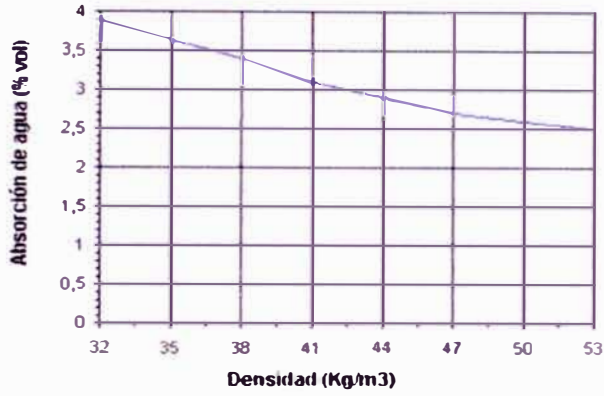


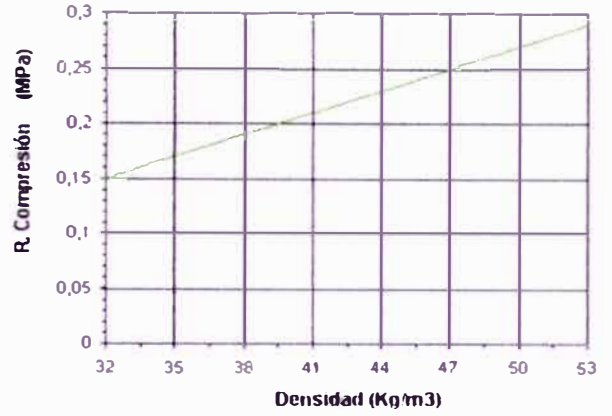
Figure 3



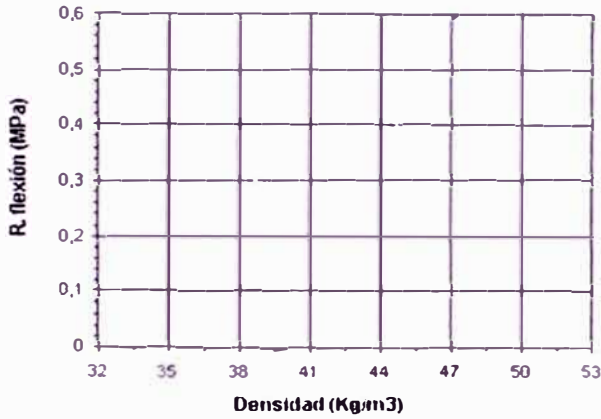
Absorción de agua en función de la densidad según DIN 53 428 (después de 168 h)



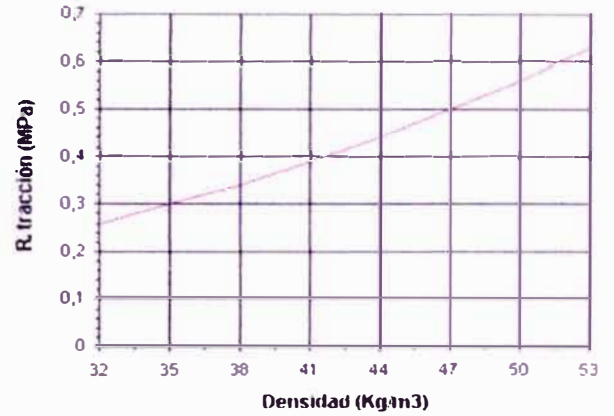
Resistencia a la compresión en función de la densidad, según UNE 53 205



Resistencia a la flexión en función de la densidad, según UNE 53 204



Resistencia a la tracción en función de la densidad, según UNE 53 455



Resistencia al cizallamiento en función de la densidad, según DIN 53 427



PROPIEDADES DEL POLIURETANO DE DIFERENTE DENSIDADES

TABLE 1- BOIL-OFF TEST DATA

Time ,hours (Test Started at 10.00 a.m.)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
tank pressure, mmwg	125	200	350	175	140	180	200	160	120	150	110	175	205
tank pressure, PSI	2.42	3.87	6.77	3.38	2.71	3.48	3.87	3.09	2.32	2.90	2.13	3.38	3.97
tank level from bottom, mm	1890	1889				1888	1888			1887		1886	1886
tank contents temperature, deg.c													
at level 16.48 m from bottom, T1	-13.6	-13.1	-12.4	-12.4	-11.7	-11	-10.4	-10.1	-9.8	-9.5	-9.5	-9	-8.8
at level 11.48 m from bottom, T2	-18.2	-17.7	-16.9	-16.9	-16.5	-15.8	-15.1	-14.8	-14.6	-14.3	-14.1	-13.7	-13.4
at level 6.48 m from bottom, T3	-23.3	-23.1	-22.6	-22.9	-22.5	-22	-21.4	-21.4	-21.2	-21.1	-21	-20.6	-20.4
at level 0.98 m from bottom, T4	-35.5	-35.3	-35.2	-35.2	-35.2	-35.2	-35.2	-35.2	-35.2	-35.1	-35.1	-35.1	-35.1
Vapor outlet temperature at top of the tank, T5 deg.c	-3	-3	-2.9	-2.1	-1.7	-1.4	-1.2	-1.15	-1.1	-1.15	-1.2	-1.15	-1.05
tank bottom temperature, deg.c	-30.5	-30.7	-30.8	-30.6	-30.6	-30.6	-30.5	-30.3	-30.4	-30.3	-30.4	-30.4	-30.4
ambient temperature, deg.c	26	26.1	26.7	24.9	21.4	18.7	16.8	16.2	14.9	14.2	12.8	14.4	25

pmax

6.77

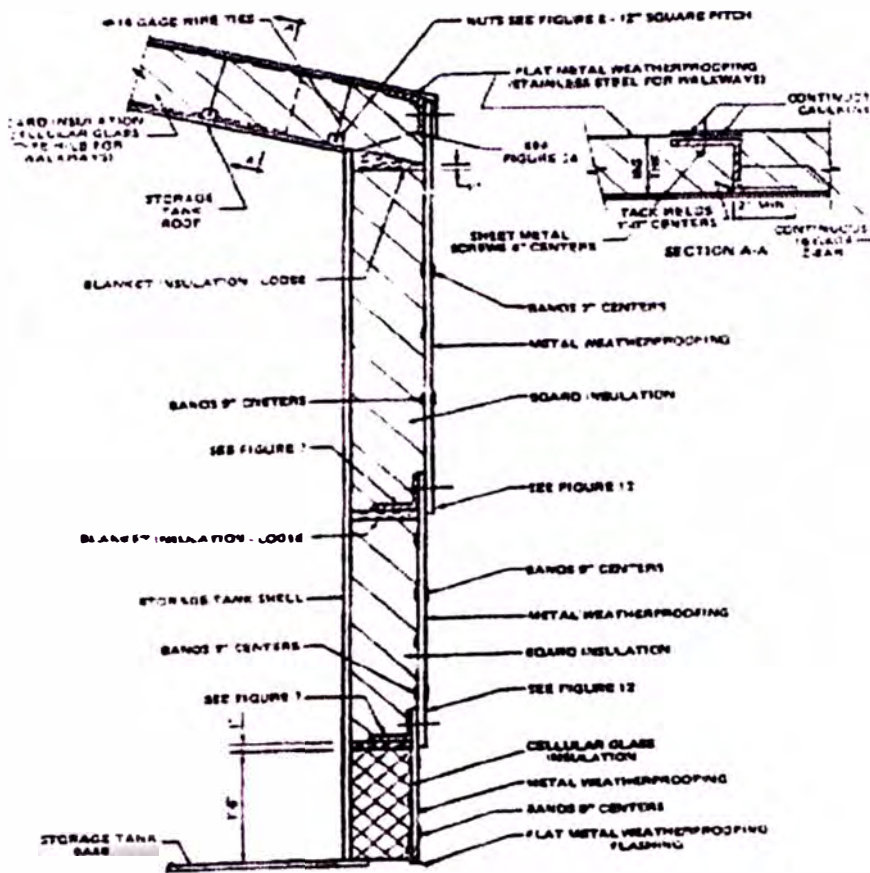
Heat transfer calculations

drop in level,mm	4
tank diameter -inner m	21.79
volume reduction .cu m	1.490885
density at -33 deg.c, kg/m3	681.4
mass reduction. kg	1015.889
latent heat of vaporization at -33 deg.c, kcal/kg	327.4
part 1 :evaporation heat transfer, kcal	332602
specific heat of vapor, kcal/kg/deg.c	0.5
part 2 : heat gain by outgoing vapor in 24 hrs, kcal	15898.66

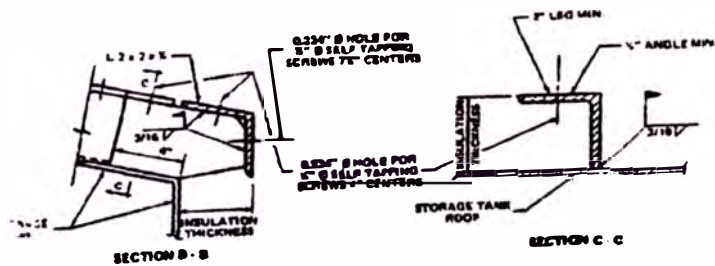
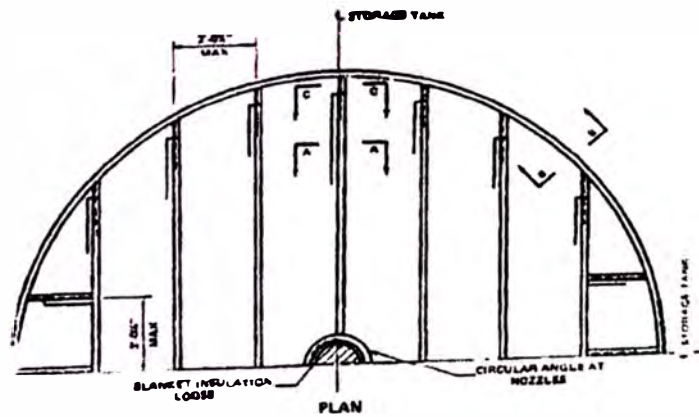
Calculations for heat gain by static mass of gas in tank are complex, hence simplified as below-

change in temperature T1 from initial value, deg.c	4.8
change in temperature T2 from initial value, deg.c	4.8
change in temperature T3 from initial value, deg.c	2.9
change in temperature T4 from initial value, deg.c	0.4
change in top temperature from initial value, deg.c	1.95
Average change in temperature of vapors in tank, deg.c	2.97
total volume of gas in tank, m3	10000
density of vapors in tank	0.816374
part 3 : heat gain by vapor in tank in 24 hrs, kcal	12123.15

TOTAL HEAT GAIN IN 24 HRS, KCAL/HR	360623.9
this heat equivalent to ammonia vapor,kg/hr	1101.478
boil-off in %	0.02203
AVERAGE AMBIENT TEMPERATURE, deg.c	19.85385
maximum temperature during summer, deg.c	48 DEG.C
HENCE, BOIL-OFF EXTRAPOLATED TO 48 DEG.C	0.033761 < 0.04 % HENCE OK



STORAGE TANK WITH METAL WEATHERPROOFING



STORAGE TANK ROOF SUPPORT WITH METAL WEATHERPROOFING

APENDICE V

Apéndice 5.1

Apéndice 5.2

Apéndice 5.3

Apéndice 5.4

Apéndice 5.4 A

Apéndice 5.5

Apéndice 5.6

Apéndice 5.7

Apéndice 5.8

Apéndice 5.9

Apéndice 5.10

Apéndice 5.11

Apéndice 5.12

Apéndice 5.13

Apéndice 5.14

Apéndice 5.15

Apéndice 5.16



Designation: A 333/A 333M – 05

Standard Specification for Seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service¹

This standard is issued under the fixed designation A 333/A 333M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification² covers nominal (average) wall seamless and welded carbon and alloy steel pipe intended for use at low temperatures. Several grades of ferritic steel are included as listed in **Table 1**. Some product sizes may not be available under this specification because heavier wall thicknesses have an adverse affect on low-temperature impact properties.

1.2 Supplementary Requirement S1 of an optional nature is provided. This shall apply only when specified by the purchaser.

1.3 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification. The inch-pound units shall apply unless the "M" designation of this specification is specified in the order.

NOTE 1—The dimensionless designator NPS (nominal pipe size) has been substituted in this standard for such traditional terms as "nominal diameter," "size," and "nominal size."

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

A 999/A 999M Specification for General Requirements for Alloy and Stainless Steel Pipe

A 671 Specification for Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.10 on Stainless and Alloy Steel Tubular Products.

Current edition approved March 1, 2005. Published March 2005. Originally approved in 1950. Last previous edition approved in 2004 as A 333/A 333M – 04a.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SA-333 in Section II of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

E 23 Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials

3. Ordering Information

3.1 Orders for material under this specification should include the following, as required, to describe the material adequately:

3.1.1 Quantity (feet, centimetres, or number of lengths),

3.1.2 Name of material (seamless or welded pipe),

3.1.3 Grade (**Table 1**),

3.1.4 Size (NPS or outside diameter and schedule number of average wall thickness),

3.1.5 Lengths (specific or random) (**Section 9**), (see the Permissible Variations in Length section of Specification **A 999/A 999M**),

3.1.6 End finish (see the Ends section of Specification **A 999/A 999M**),

3.1.7 Optional requirements, (see the Heat Analysis requirement in the Chemical Composition section of **A 999/A 999M**, the Repair by Welding section, and the section on Nondestructive Test Requirements),

3.1.8 Test report required, (see the Certification section of Specification **A 999/A 999M**),

3.1.9 Specification designation, and

3.1.10 Special requirements or exceptions to this specification.

4. Materials and Manufacture

4.1 **Manufacture**—The pipe shall be made by the seamless or welding process with the addition of no filler metal in the welding operation. Grade 4 shall be made by the seamless process.

NOTE 2—For electric-fusion-welded pipe, with filler metal added, see Specification **A 671**.

4.2 Heat Treatment:

4.2.1 All seamless and welded pipe, other than Grades 8 and 11, shall be treated to control their microstructure in accordance with one of the following methods:

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

TABLE 1 Chemical Requirements

Element	Composition, %									
	Grade 1 ^A	Grade 3	Grade 4	Grade 6 ^A	Grade 7	Grade 8	Grade 9	Grade 10	Grade 11	
Carbon, max	0.30	0.19	0.12	0.30	0.19	0.13	0.20	0.20	0.10	
Manganese	0.40–1.06	0.31–0.64	0.50–1.05	0.29–1.06	0.90 max	0.90 max	0.40–1.06	1.15–1.50	0.60 max	
Phosphorus, max	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.035	0.025	
Sulfur, max	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.015	0.025	
Silicon	...	0.18–0.37	0.08–0.37	0.10 min	0.13–0.32	0.13–0.32	...	0.10–0.35	0.35 max	
Nickel	...	3.18–3.82	0.47–0.98	...	2.03–2.57	8.40–9.60	1.60–2.24	0.25 max	35.0–37.0	
Chromium	...	...	0.44–1.01	...	...	...	...	0.15 max	0.50 max
Copper	...	...	0.40–0.75	...	...	...	0.75–1.25	0.15 max	...
Aluminum	...	...	0.04–0.30	...	...	...	...	0.06 max	...
Vanadium, max	...	...	...	...	...	...	...	0.12	...
Columbium, max	...	...	...	...	...	...	...	0.05	...
Molybdenum, max	...	...	...	...	...	...	...	0.05	0.50 max
Cobalt	...	...	...	...	...	...	...	...	0.50 max

^A For each reduction of 0.01 % carbon below 0.30 %, an increase of 0.05 % manganese above 1.06 % would be permitted to a maximum of 1.35 % manganese.

4.2.1.1 Normalize by heating to a uniform temperature of not less than 1500 °F [815 °C] and cool in air or in the cooling chamber of an atmosphere controlled furnace.

4.2.1.2 Normalize as in 4.2.1.1, and, at the discretion of the manufacturer, reheat to a suitable tempering temperature.

4.2.1.3 For the seamless process only, reheat and control hot working and the temperature of the hot-finishing operation to a finishing temperature range from 1550 to 1750 °F [845 to 945 °C] and cool in air or in a controlled atmosphere furnace from an initial temperature of not less than 1550 °F [845 °C].

4.2.1.4 Treat as in 4.2.1.3 and, at the discretion of the manufacturer, reheat to a suitable tempering temperature.

4.2.1.5 Seamless pipe of Grades 1, 6, and 10 may be heat treated by heating to a uniform temperature of not less than 1500 °F [815 °C], followed by quenching in liquid and reheating to a suitable tempering temperature, in place of any of the other heat treatments provided for in 4.2.1.

4.2.2 Grade 8 pipe shall be heat treated by the manufacturer by either of the following methods:

4.2.2.1 *Quenched and Tempered*—Heat to a uniform temperature of 1475 ± 25 °F [800 ± 15 °C]; hold at this temperature for a minimum time in the ratio of 1 h/in. [2 min/mm] of thickness, but in no case less than 15 min; quench by immersion in circulating water. Reheat until the pipe attains a uniform temperature within the range from 1050 to 1125 °F [565 to 605 °C]; hold at this temperature for a minimum time in the ratio of 1 h/in. [2 min/mm] of thickness, but in no case less than 15 min; cool in air or water quench at a rate no less than 300 °F [165 °C]/h.

4.2.2.2 *Double Normalized and Tempered*—Heat to a uniform temperature of 1650 ± 25 °F [900 ± 15 °C]; hold at this temperature for a minimum time in the ratio of 1 h/in. [2 min/mm] of thickness, but in no case less than 15 min; cool in air. Reheat until the pipe attains a uniform temperature of 1450 ± 25 °F [790 ± 15 °C]; hold at this temperature for a minimum time in the ratio of 1 h/in. [2 min/mm] of thickness, but in no case less than 15 min; cool in air. Reheat to a uniform temperature within the range from 1050 to 1125 °F [565 to 605 °C]; hold at this temperature for a minimum time of 1 h/in. [2 min/mm] of thickness but in no case less than 15 min; cool in air or water quench at a rate not less than 300 °F [165 °C]/h.

4.2.3 Whether to anneal Grade 11 pipe is per agreement between purchaser and supplier. When Grade 11 pipe is annealed, it shall be normalized in the range of 1400 to 1600 °F [760 to 870 °C].

4.2.4 Material from which test specimens are obtained shall be in the same condition of heat treatment as the pipe furnished. Material from which specimens are to be taken shall be heat treated prior to preparation of the specimens.

4.2.5 When specified in the order the test specimens shall be taken from full thickness test pieces which have been stress relieved after having been removed from the heat-treated pipe. The test pieces shall be gradually and uniformly heated to the prescribed temperature, held at that temperature for a period of time in accordance with Table 2, and then furnace cooled at a temperature not exceeding 600 °F [315 °C]. Grade 8 shall be cooled at a minimum rate of 300 °F [165 °C]/h in air or water to a temperature not exceeding 600 °F [315 °C].

5. Chemical Composition

5.1 The steel shall conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1.

5.2 When Grades 1, 6, or 10 are ordered under this specification, supplying an alloy grade that specifically requires the addition of any element other than those listed for the ordered grade in Table 1 is not permitted. However, the addition of elements required for the deoxidation of the steel is permitted.

TABLE 2 Stress Relieving of Test Pieces

Metal Temperature ^{A,B}				Minimum Holding Time, h/in. [min/mm] of Thickness
Grades 1, 3, 6, 7, and 10		Grade 4 ^C		
°F	°C	°F	°C	
1100	600	1150	620	1 [2.4]
1050	565	1100	600	2 [4.7]
1000	540	1050	565	3 [7.1]

^A For intermediate temperatures, the holding time shall be determined by straight-line interpolation.

^B Grade 8 shall be stress relieved at 1025 to 1085 °F, [550 to 585 °C], held for a minimum time of 2 h for thickness up to 1.0 in. [25.4 mm], plus a minimum of 1 h for each additional inch [25.4 mm] of thickness and cooled at a minimum rate of 300 °F [165 °C]/h in air or water to a temperature not exceeding 600 °F [315 °C].

^C Unless otherwise specified, Grade 4 shall be stress relieved at 1150 °F [620 °C].

6. Product Analysis

6.1 At the request of the purchaser, an analysis of one billet or two samples of flat-rolled stock from each heat or of two pipes from each lot shall be made by the manufacturer. A lot of pipe shall consist of the following:

NPS Designator	Length of Pipe in Lot
Under 2	400 or fraction thereof
2 to 6	200 or fraction thereof
Over 6	100 or fraction thereof

6.2 The results of these analyses shall be reported to the purchaser or the purchaser's representative and shall conform to the requirements specified.

6.3 If the analysis of one of the tests specified in 6.1 does not conform to the requirements specified, an analysis of each billet or pipe from the same heat or lot may be made, and all billets or pipe conforming to the requirements shall be accepted.

7. Tensile Requirements

7.1 The material shall conform to the requirements as to tensile properties prescribed in **Table 3**.

8. Impact Requirements

8.1 For Grades 1, 3, 4, 6, 7, 9, and 10, the notched-bar impact properties of each set of three impact specimens, including specimens for the welded joint in welded pipe with wall thicknesses of 0.120 in. [3 mm] and larger, when tested at temperatures in conformance with 14.1 shall be not less than the values prescribed in **Table 4**. The impact test is not required for Grade 11.

8.1.1 If the impact value of one specimen is below the minimum value, or the impact values of two specimens are less than the minimum average value but not below the minimum value permitted on a single specimen, a retest shall be allowed. The retest shall consist of breaking three additional specimens and each specimen must equal or exceed the required average value. When an erratic result is caused by a defective specimen, or there is uncertainty in test procedures, a retest will be allowed.

8.2 For Grade 8 each of the notched bar impact specimens shall display a lateral expansion opposite the notch of not less than 0.015 in. [0.38 mm].

8.2.1 When the average lateral expansion value for the three impact specimens equals or exceeds 0.015 in. [0.38 mm] and the value for one specimen is below 0.015 in. [0.38 mm] but not below 0.010 in. [0.25 mm], a retest of three additional specimens may be made. The lateral expansion of each of the retest specimens must equal or exceed 0.015 in. [0.38 mm].

8.2.2 Lateral expansion values shall be determined by the procedure in Test Methods and Definitions **A 370**.

8.2.3 The values of absorbed energy in foot-pounds and the fracture appearance in percentage shear shall be recorded for information. A record of these values shall be retained for a period of at least 2 years.

9. Lengths

9.1 If definite lengths are not required, pipe may be ordered in single random lengths of 16 to 22 ft (**Note 3**) with 5 % 12 to 16 ft (**Note 3**), or in double random lengths with a minimum

average of 35 ft (**Note 3**) and a minimum length of 22 ft (**Note 3**) with 5 % 16 to 22 ft (**Note 3**).

NOTE 3—This value(s) applies when the inch-pound designation of this specification is the basis of purchase. When the "M" designation of this specification is the basis of purchase, the corresponding metric value(s) shall be agreed upon between the manufacturer and purchaser.

10. Workmanship, Finish and Appearance

10.1 The pipe manufacturer shall explore a sufficient number of visual surface imperfections to provide reasonable assurance that they have been properly evaluated with respect to depth. Exploration of all surface imperfections is not required but may be necessary to ensure compliance with 10.2.

10.2 Surface imperfections that penetrate more than 12½ % of the nominal wall thickness or encroach on the minimum wall thickness shall be considered defects. Pipe with such defects shall be given one of the following dispositions:

10.2.1 The defect may be removed by grinding provided that the remaining wall thickness is within specified limits.

10.2.2 Repaired in accordance with the repair welding provisions of 10.5.

10.2.3 The section of pipe containing the defect may be cut off within the limits of requirements on length.

10.2.4 The defective pipe may be rejected.

10.3 To provide a workmanlike finish and basis for evaluating conformance with 10.2, the pipe manufacturer shall remove by grinding the following:

10.3.1 Mechanical marks, abrasions and pits, any of which imperfections are deeper than ¼ in. [1.6 mm], and

10.3.2 Visual imperfections commonly referred to as scabs, seams, laps, tears, or slivers found by exploration in accordance with 10.1 to be deeper than 5 % of the nominal wall thickness.

10.4 At the purchaser's discretion, pipe shall be subject to rejection if surface imperfections acceptable under 10.2 are not scattered, but appear over a large area in excess of what is considered a workmanlike finish. Disposition of such pipe shall be a matter of agreement between the manufacturer and the purchaser.

10.5 When imperfections or defects are removed by grinding, a smooth curved surface shall be maintained, and the wall thickness shall not be decreased below that permitted by this specification. The outside diameter at the point of grinding may be reduced by the amount so removed.

10.5.1 Wall thickness measurements shall be made with a mechanical caliper or with a properly calibrated nondestructive testing device of appropriate accuracy. In case of dispute, the measurement determined by use of the mechanical caliper shall govern.

10.6 Weld repair shall be permitted only subject to the approval of the purchaser and in accordance with Specification **A 999/A 999M**.

10.7 The finished pipe shall be reasonably straight.

11. General Requirements

11.1 Material furnished to this specification shall conform to the applicable requirements of the current edition of Specification **A 999/A 999M** unless otherwise provided herein.

A 333/A 333M – 05

TABLE 3 Tensile Requirements

	Grade 1		Grade 3		Grade 4		Grade 6		Grade 7		Grade 8		Grade 9		Grade 10		Grade 11		
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	
Tensile strength, min	55 000	380	65 000	450	60 000	415	60 000	415	65 000	450	100 000	690	63 000	435	80 000	550	65 000	450	
Yield strength, min	30 000	205	35 000	240	35 000	240	35 000	240	35 000	240	75 000	515	46 000	315	65 000	450	35 000	240	
	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	
Elongation in 2 in. or 50 mm, (or 4D), min, %:																			
Basic minimum elongation for walls 1/16 in. (8 mm) and over in thickness, strip tests, and for all small sizes tested in full section	35	25	30	20	30	16.5	30	16.5	30	22	22	...	28	...	22	...	18 ^A		
When standard round 2-in. or 50-mm gage length or proportionally smaller size test specimen with the gage length equal to 4D (4 times the diameter) is used	28	20	22	14	22	12	22	12	22	14	16	...	...	...	16	...	...
For strip tests, a deduction for each 1/32 in. (0.8 mm) decrease in wall thickness below 1/16 in. (8 mm) from the basic minimum elongation of the following percentage	1.75 ^B	1.25 ^B	1.50 ^B	1.00 ^B	1.50 ^B	1.00 ^B	1.50 ^B	1.00 ^B	1.50 ^B	1.00 ^B	1.25 ^B	...	1.50 ^B	...	1.25 ^B	...	...
Wall Thickness	Elongation in 2 in. or 50 mm, min, % ^C																		
	Grade 1		Grade 3		Grade 4		Grade 6		Grade 7		Grade 8		Grade 9		Grade 10				
in.	mm	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse
1/16 (0.312)	8	35	25	30	20	30	16	30	16	30	22	22	...	28	...	22	...	22	...
1/32 (0.281)	7.2	33	24	28	19	28	15	28	15	28	21	21	...	26	...	21	...	21	...
1/4 (0.250)	6.4	32	23	27	18	27	15	27	15	27	20	20	...	25	...	20	...	20	...
7/32 (0.219)	5.6	30	...	26	...	26	...	26	...	26	...	18	...	24	...	18	...	18	...
1/8 (0.188)	4.8	28	...	24	...	24	...	24	...	24	...	17	...	22	...	17	...	17	...
3/32 (0.156)	4	26	...	22	...	22	...	22	...	22	...	16	...	20	...	16	...	16	...
1/8 (0.125)	3.2	25	...	21	...	21	...	21	...	21	...	15	...	19	...	15	...	15	...
7/32 (0.094)	2.4	23	...	20	...	20	...	20	...	20	...	13	...	18	...	13	...	13	...
1/16 (0.062)	1.6	21	...	18	...	18	...	18	...	18	...	12	...	16	...	12	...	12	...

^A Elongation of Grade 11 is for all walls and small sizes tested in full section.

^B The following table gives the calculated minimum values.

^C Calculated elongation requirements shall be rounded to the nearest whole number.

Note—The preceding table gives the computed minimum elongation values for each 1/32-in. (0.80-mm) decrease in wall thickness. Where the wall thickness lies between two values shown above, the minimum elongation value is determined by the following equation:

Grade	Direction of Test	Equation
1	Longitudinal	$E = 56t + 17.50$ [$E = 2.19t + 17.50$]
	Transverse	$E = 40t + 12.50$ [$E = 1.56t + 12.50$]
3	Longitudinal	$E = 48t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32t + 10.00$ [$E = 1.25t + 10.00$]
4	Longitudinal	$E = 48t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32t + 6.50$ [$E = 1.25t + 6.50$]
6	Longitudinal	$E = 48t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32t + 6.50$ [$E = 1.25t + 6.50$]
7	Longitudinal	$E = 48t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32t + 11.00$ [$E = 1.25t + 11.00$]
8 and 10	Longitudinal	$E = 40t + 9.50$ [$E = 1.56t + 9.50$]
	Longitudinal	$E = 48t + 13.00$ [$E = 1.87t + 13.00$]

where:

E = elongation in 2 in. or 50 mm, in %, and

t = actual thickness of specimen, in. [mm].

TABLE 4 Impact Requirements for Grades 1, 3, 4, 6, 7, 9, and 10

Size of Specimen, mm	Minimum Average Notched Bar Impact Value of Each Set of Three Specimens ^A		Minimum Notched Bar Impact Value of One Specimen Only of a Set ^A	
	ft-lbf	J	ft-lbf	J
10 by 10	13	18	10	14
10 by 7.5	10	14	8	11
10 by 6.67	9	12	7	9
10 by 5	7	9	5	7
10 by 3.33	5	7	3	4
10 by 2.5	4	5	3	4

^A Straight line interpolation for intermediate values is permitted.

12. Mechanical Testing

12.1 *Sampling*—For mechanical testing, the term “lot” applies to all pipe of the same nominal size and wall thickness (or schedule) that is produced from the same heat of steel and subjected to the same finishing treatment in a continuous furnace. If the final heat treatment is in a batch-type furnace, the lot shall include only those pipes that are heat treated in the same furnace charge.

12.2 *Transverse or Longitudinal Tensile Test and Flattening Test*—For material heat treated in a batch-type furnace, tests shall be made on 5 % of the pipe from each lot. If heat treated by the continuous process, tests shall be made on a sufficient number of pipe to constitute 5 % of the lot, but in no case less than 2 pipes.

12.3 *Impact Test*—One notched bar impact test, consisting of breaking three specimens, shall be made from each heat represented in a heat-treatment load on specimens taken from the finished pipe. This test shall represent only pipe from the same heat and the same heat-treatment load, the wall thicknesses of which do not exceed by more than ¼ in. [6.3 mm] the wall thicknesses of the pipe from which the test specimens are taken. If heat treatment is performed in continuous or batch-type furnaces controlled within a 50 °F [30 °C] range and equipped with recording pyrometers so that complete records of heat treatment are available, then one test from each heat in a continuous run only shall be required instead of one test from each heat in each heat-treatment load.

12.4 *Impact Tests (Welded Pipe)*—On welded pipe, additional impact tests of the same number as required in 12.3 shall be made to test the weld.

12.5 Specimens showing defects while being machined or prior to testing may be discarded and replacements shall be considered as original specimens.

12.6 Results obtained from these tests shall be reported to the purchaser or his representative.

13. Specimens for Impact Test

13.1 Notched bar impact specimens shall be of the simple beam, Charpy-type, in accordance with Test Methods E 23, Type A with a V notch. Standard specimens 10 by 10 mm in cross section shall be used unless the material to be tested is of insufficient thickness, in which case the largest obtainable subsize specimens shall be used. Charpy specimens of width along the notch larger than 0.394 in. [10 mm] or smaller than 0.099 in. [2.5 mm] are not provided for in this specification.

13.2 Test specimens shall be obtained so that the longitudinal axis of the specimen is parallel to the longitudinal axis of the pipe while the axis of the notch shall be perpendicular to the surface. On wall thicknesses of 1 in. [25 mm] or less, the specimens shall be obtained with their axial plane located at the midpoint; on wall thicknesses over 1 in. [25 mm], the specimens shall be obtained with their axial plane located ½ in. [12.5 mm] from the outer surface.

13.3 When testing welds the specimen shall be, whenever diameter and thickness permit, transverse to the longitudinal axis of the pipe with the notch of the specimen in the welded joint and perpendicular to the surface. When diameter and thickness do not permit obtaining transverse specimens, longitudinal specimens in accordance with 13.2 shall be obtained; the bottom of the notch shall be located at the weld joint.

14. Impact Test

14.1 Except when the size of the finished pipe is insufficient to permit obtaining subsize impact specimens, all material furnished to this specification and marked in accordance with Section 16 shall be tested for impact resistance at the minimum temperature for the respective grades as shown in Table 5.

14.1.1 Special impact tests on individual lots of material may be made at other temperatures as agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

14.1.2 When subsize Charpy impact specimens are used and the width along the notch is less than 80 % of the actual wall thickness of the original material, the specified Charpy impact test temperature for Grades 1, 3, 4, 6, 7, 9, and 10 shall be lower than the minimum temperature shown in Table 5 for the respective grade. Under these circumstances the temperature reduction values shall be by an amount equal to the difference (as shown in Table 6) between the temperature reduction corresponding to the actual material thickness and the temperature reduction corresponding to the Charpy specimen width actually tested. Appendix XI shows some examples of how the temperature reductions are determined.

14.2 The notched bar impact test shall be made in accordance with the procedure for the simple beam, Charpy-type test of Test Methods F 23.

14.3 Impact tests specified for temperatures lower than 70 °F [20 °C] should be made with the following precautions. The impact test specimens as well as the handling tongs shall be cooled a sufficient time in a suitable container so that both reach the desired temperature. The temperature shall be measured with thermocouples, thermometers, or any other suitable devices and shall be controlled within 3 °F [2 °C]. The

TABLE 5 Impact Temperature

Grade	Minimum Impact Test Temperature	
	°F	°C
1	-50	-45
3	-150	-100
4	-150	-100
6	-50	-45
7	-100	-75
8	-320	-195
9	-100	-75
10	-75	-60

TABLE 6 Impact Temperature Reduction

Specimen Width Along Notch or Actual Material Thickness		Temperature Reduction, Degrees Colder ^A	
in.	mm	°F	°C
0.394	10 (standard size)	0	0
0.354	9	0	0
0.315	8	0	0
0.295	7.5 (¾ std. size)	5	3
0.276	7	8	4
0.262	6.67 (⅔ std. size)	10	5
0.236	6	15	8
0.197	5 (½ std. size)	20	11
0.158	4	30	17
0.131	3.33 (⅓ std. size)	35	19
0.118	3	40	22
0.099	2.5 (¼ std. size)	50	28

^A Straight line interpolation for intermediate values is permitted.

specimens shall be quickly transferred from the cooling device to the anvil of the Charpy impact testing machine and broken with a time lapse of not more than 5 s.

15. Hydrostatic or Nondestructive Electric Test

15.1 Each pipe shall be subjected to the nondestructive electric test or the hydrostatic test. The type of test to be used shall be at the option of the manufacturer, unless otherwise specified in the purchase order.

15.2 The hydrostatic test shall be in accordance with Specification A 999/A 999M.

15.3 *Nondestructive Electric Test*—Nondestructive electric tests shall be in accordance with Specification A 999/A 999M, with the following addition:

15.3.1 If the test signals were produced by visual imperfections (listed in 15.3.2), the pipe may be accepted based on visual examination, provided the imperfection is less than

0.004 in. (0.1 mm) or 12½ % of the specified wall thickness (whichever is greater).

15.3.2 Visual Imperfections:

15.3.2.1 Scratches.

15.3.2.2 Surface roughness.

15.3.2.3 Dings.

15.3.2.4 Straightener marks.

15.3.2.5 Cutting chips.

15.3.2.6 Steel die stamps.

15.3.2.7 Stop marks, or

15.3.2.8 Pipe reducer ripple.

16. Product Marking

16.1 Except as modified in 16.1.1, in addition to the marking prescribed in Specification A 999/A 999M, the marking shall include whether hot finished, cold drawn, seamless or welded, the schedule number and the letters “LT” followed by the temperature at which the impact tests were made, except when a lower test temperature is required because of reduced specimen size, in which case, the higher impact test temperature applicable to a full-size specimen should be marked.

16.1.1 When the size of the finished pipe is insufficient to obtain subsize impact specimens, the marking shall not include the letters “LT” followed by an indicated test temperature unless Supplementary Requirement S1 is specified.

16.1.2 When the pipe is furnished in the quenched and tempered condition, the marking shall include the letters “QT,” and the heat treatment condition shall be reported to the purchaser or his representative.

17. Keywords

17.1 low; low temperature service; seamless steel pipe; stainless steel pipe; steel pipe; temperature service applications

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following supplementary requirement shall apply only when specified by the purchaser in the contract or order.

S1. Subsize Impact Specimens

S1.1 When the size of the finished pipe is insufficient to permit obtaining subsize impact specimens, testing shall be a matter of agreement between the manufacturer and the purchaser.

S2. Requirements for Pipe for Hydrofluoric Acid Alkylation Service

S2.1 Pipe shall be provided in the normalized heat-treated condition.

S2.2 The carbon equivalent (CE), based on heat analysis, shall not exceed 0.43 % if the specified wall thickness is equal to or less than 1 in. [25.4 mm] or 0.45 % if the specified wall thickness is greater than 1 in. [25.4 mm].

S2.3 The carbon equivalent shall be determined using the following formula:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

S2.4 Based upon heat analysis in mass percent, the vanadium content shall not exceed 0.02 %, the niobium content shall not exceed 0.02 % and the sum of the vanadium and niobium contents shall not exceed 0.03 %.

S2.5 Based upon heat analysis in mass percent, the sum of the nickel and copper contents shall not exceed 0.15 %.

S2.6 Based upon heat analysis in mass percent, the carbon content shall not be less than 0.18 %.

S2.7 Welding consumables for repair welds shall be of low hydrogen type. E60XX electrodes shall not be used, and the resultant weld chemistry shall meet the chemical composition requirements specified for the pipe.

S2.8 The designation “HF-N” shall be stamped or marked on each pipe to signify that the pipe complies with this supplementary requirement.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. DETERMINATION OF TEMPERATURE REDUCTIONS

X1.1 Under the circumstances stated in 14.1.2, the impact test temperatures specified in Table 5 must be lowered. The following examples are offered to describe the application of the provisions of 14.1.2.

X1.1.1 When subsize specimens are used (see 10.1) and the width along the notch of the subsize specimen is 80 % or greater of the actual wall thickness of the original material, the provisions of 14.1.2 do not apply.

X1.1.1.1 For example, if the actual wall thickness of pipe was 0.200 in. [5.0 mm] and the width along the notch of the largest subsize specimen obtainable is 0.160 in. [4 mm] or greater, no reduction in test temperature is required.

X1.1.2 When the width along the subsize specimen notch is less than 80 % of the actual wall thickness of the pipe, the

required reduction in test temperature is computed by taking the difference between the temperature reduction values shown in Table 6 for the actual pipe thickness and the specimen width used.

X1.1.2.1 For example, if the pipe were 0.262 in. [6.67 mm] thick and the width along the Charpy specimen notch was 3.33 mm (1/3 standard size), the test temperature would have to be lowered by 25 °F [14 °C]. That is, the temperature reduction corresponding to the subsize specimen is 35 °F [19 °C]; the temperature reduction corresponding to the actual pipe thickness is 10 °F [5 °C]; the difference between these two values is the required reduction in test temperature.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 333/A 333M – 04a, that may impact the use of this specification. (Approved March 1, 2005)

(1) Removed old paragraph 12.3 and renumbered subsequent paragraphs.

(2) Added Supplementary Requirement S2 for HF acid alkylation service.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 333/A 333M – 04, that may impact the use of this specification. (Approved May 1, 2004)

(1) Replaced all references to Note 4 in 9.1 with Note 3.

(2) Revised Section 13 to incorporate Note 4 into the text.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 333/A 333M – 99, that may impact the use of this specification. (Approved March 1, 2004)

(1) Replaced Specification A 530/A 530M with Specification A 999/A 999M in the Referenced Documents.

A 999/A 999M in Sections 3, 11, 15, and 16.

(2) Replaced Specification A 530/A 530M with Specification

(3) Extensively revised Section 15.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

TABLA N° 3 - 1
VALORES DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN (hc):(kcal/m².h.°C)

DIÁMETRO EXTERIOR DE LA TUBERÍA mm	TUBERÍA EXPUESTA AL AIRE LIBRE A LA VELOCIDAD DEL VIENTO (m/seg)				
	1	2	5	10	25
26	17.9	24.5	39.8	63	115
52	11.9	17.4	31	50	93
76	9.9	15	27.3	43.8	83
102	8.8	13.5	24.8	40.2	76
152	7.5	11.7	21.9	35.5	68
203	6.8	10.7	20.1	32.6	63
300	5.7	9.1	17.3	28.1	55
500	4.9	7.9	14.9	24.3	47.4
700	4.3	7.1	13.3	21.9	42.7
Pared plana	4.3	7.1	13.3	21.9	42.7

La velocidad media del viento de 2 m/s corresponde a la simple exposición al aire libre. El valor de 25 m/s. se da raramente, utilizando solamente en exposiciones particularmente desfavorables como puede ser al borde del mar o en la montaña.

TABLA N° 3 - 2
VALORES DEL COEFICIENTE DE RADIACIÓN (hr) (kcal/m².h.°C)

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE EMISORA DE CALOR °C	TEMPERATURA AMBIENTE O DE CAPA LIMITE (°C)					
	0		20		40°	
	C = 4.0	4.6	4.0	4.6	4.0	4.6
0	3.2	3.7				
20	3.7	4.2	4.0	4.6		
40	4.0	4.6	4.4	5.1	4.9	5.7
60	4.5	5.2	4.9	5.7	5.4	6.2
80	5.0	5.8	5.4	6.3	5.9	6.8
100	5.5	6.3	6.0	6.9	6.5	7.5
150	7.0	8.1	7.6	8.7	8.2	9.4
200	8.9	10.2	9.4	10.9	10.0	11.5
250	11.1	12.7	11.7	13.5	12.4	14.3
300	13.6	15.7	14.4	16.6	15.2	17.5
350	16.6	19.1	17.4	20.0	18.1	20.9
400	20.0	22.9	20.8	24.0	21.7	25.0
450	23.7	27.3	24.6	28.3	25.6	29.5
500	28.1	32.4	29.2	33.5	30.2	35.2

El coeficiente de radiación no depende de la exposición, sino particularmente de la temperatura y la naturaleza de la superficie radiante.

El valor de tal coeficiente se obtiene de la tabla, para un coeficiente de radiación C = 4.6 (cuerpo negro) y C = 4 (valor práctico para las superficies desnudas, aisladas o cuerpos gris).

Obtención de (h_c); Para ello se emplea los datos de la Tabla N°3-1 cuyo coeficiente convectivo está en función de la velocidad del viento; 5 m/seg y temperatura ambiente de diámetro 300 mm se obtiene:

$$h_c = 17.3 \text{ kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$$

- **Obtención del (h_r);** Para determinar el valor del coeficiente de radiación se hace uso de la Tabla N°3-2 con constante $c = 4$ (Valor práctico para superficies negras).

Para el cálculo de la temperatura emisora, (t_e) en función de la (t_a) se emplea la siguiente fórmula:

$$t_e = 26^\circ\text{C} + \left(\frac{-33.3^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}}{10} \right) = 20,1^\circ\text{C}$$

$$t_e = 20,1^\circ\text{C}$$

$$h_r = 4.6 \text{ kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$$

El coeficiente total:(h_e)

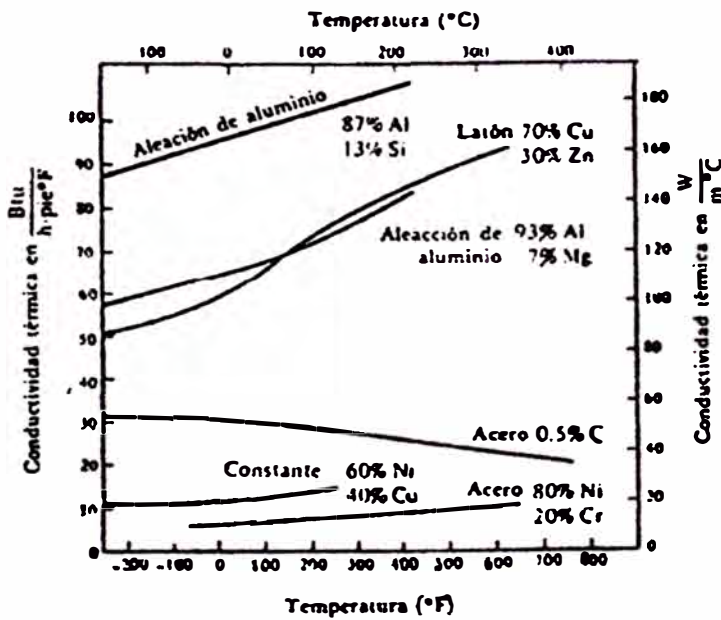
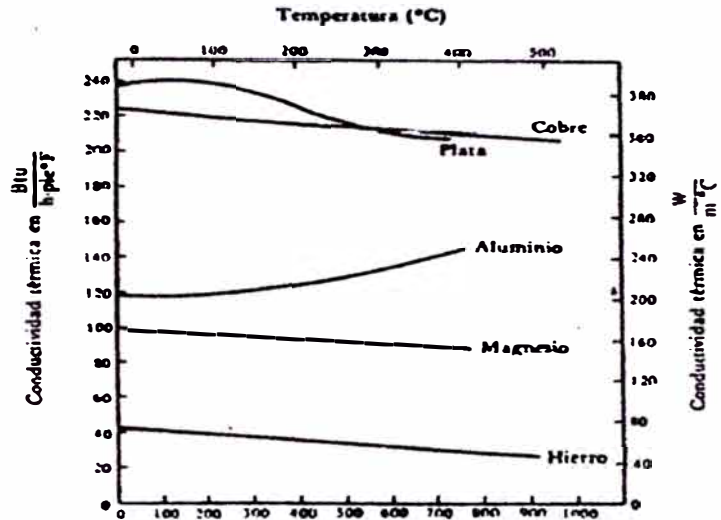
$$h_e = h_c + h_r$$

$$h_e = 21,9 \text{ kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$$

Conversion: $\text{BTU/hr-pie}^2\text{-}^\circ\text{F} = 4,8825 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$

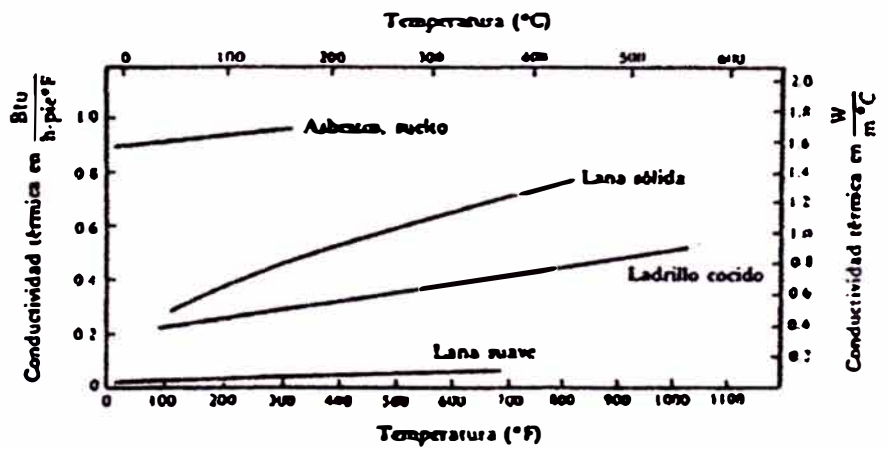
$$h_e = 4,48 \text{ BTU/hr-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

Figuro 3-2-2a
Conductividad Térmica de los metales.



Figuro 3-2-2b
Conductividad Térmica de Aleaciones

Figuro 3-2-2c
Conductividad Térmica de Materiales Aislantes



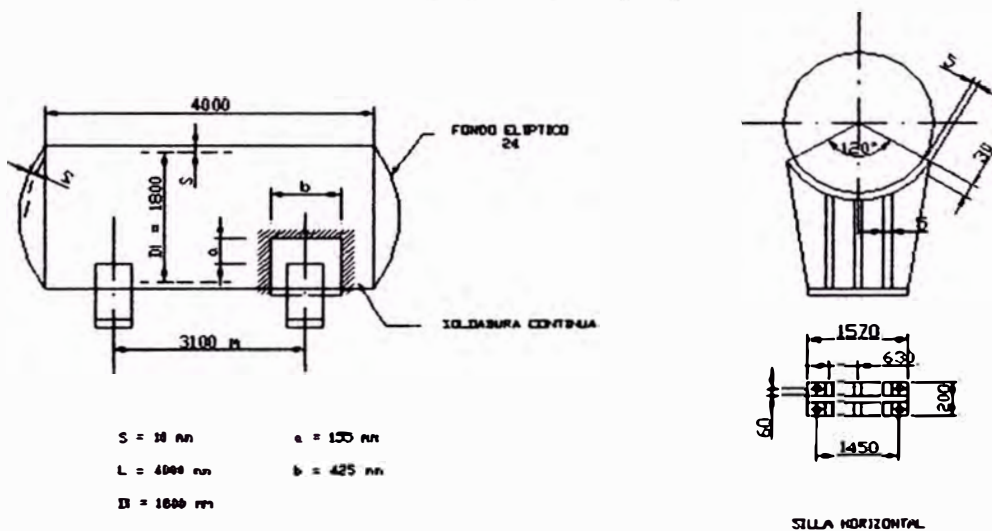
CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE

SURGE DRUM HORIZONTAL

- a) El flujo volumétrico total de amoniaco: 350 m³/hr
- b) El flujo de vapor de amoniaco: 3%(35°) = 10.50 m³/hr
- c) Tiempo de residencia: 15 minutos
- d) Relación L/D = 2.5
- e) Cálculo del volumen vapor $V_{\text{vapor}} = 2,625 \text{ m}^3/\text{hr}$, (20%)
- f) Calculo del $V_{\text{surge}} = 2,625/0.20 = 10,50 \text{ m}^3$
- h) Calculo del diámetro = 1,74 m; L = 4,25 m

Las especificaciones técnicas del tanque acumulador, según las normas ASME-VIII y Normas ME-1009/2; ME-1302 ver dibujo.

DIMENSIONES DE TANQUE ACUMULADOR



-	Diámetro interior	: 1, 80 m
-	Longitud total	: 4, 55 m
-	Volumen geométrico	: 12 m ³
-	Presión de diseño	: 18 bar
-	Temperatura de diseño	: -35/+80° C
-	Material	: ASTM A516 Gr 60
-	Aislamiento	: Poliuretano/Espesor= 2,5 pulg



TERMODINAMICA

CONTROL DE FLUIDOS

CASA MATRIZ: Panamericana Norte N°18.900 - Sitio 3 - Lampa - Santiago
Fono:(56-2) 270 9700 - Fax:(56-2) 738 7618 - 736 7653
Web: www.termodinamica.cl - **e-mail:** ventas@termodinamica.cl



TD11-01

MACOGA

JUNTA DE EXPANSIÓN METÁLICA AXIALES MODELOS MWA Y MFA

Aplicación:

Toda cañería y tubo sometido a cambios de temperatura, producto generalmente del fluido que transporta, sufrirá dilataciones y contracciones, las cuales, si no son consideradas, afectarán gravemente la correcta instalación y soporte de los circuitos correspondientes. El empleo de las juntas de expansión es necesario cuando la dilatación y/o contracción del sistema de cañerías no pueden ser absorbidos por la natural flexibilidad del circuito. El uso de juntas de expansión es el medio más fácil y económico de solucionar estos movimientos.

Características generales:

- Todas las juntas son probadas a 1,5 veces la máxima presión de trabajo.
- **Fuelles** formados hidráulicamente o mecánicamente sobre máquinas especiales. Son fabricados con las ondulaciones simples o reforzadas según las presiones de servicio, en general, de 2 ó 3 láminas que le dan características técnicas muy superiores a las de una lámina.
- Deben ser empleados soportes y guías. La distancia entre la junta y el soporte o guía mas cercana debe ser de un máximo de 4 veces el diámetro nominal del tubo, o 300 mm la que sea menor; el próximo, no debe exceder de 14 veces el diámetro nominal del tubo, y los otros de acuerdo con las normas relativas a los diámetros de los tubos y presiones de trabajo.

Materiales:

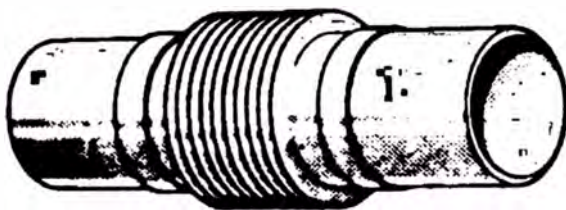
- Fuelle y camisa interior : acero inoxidable.
- Extremos (manguitos) : en acero carbono.

Diámetros y terminales:

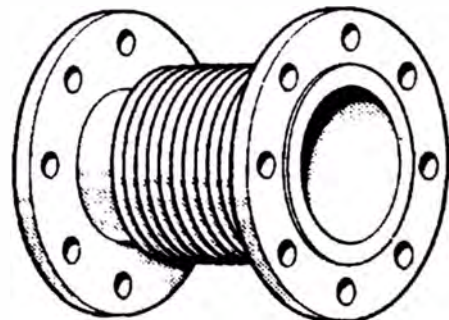
De 3/4" a 12" con carrera de 25 y 50 mm. Otros diámetros, medidas o presiones, a pedido. Terminales acero carbono biselados para soldar (MWA), o con bridas (flanges) fijos (MFA).

Esfuerzos en kg:

Área efectiva (cm²) x máxima presión de trabajo (kg/cm²) x 1,25 (factor del fuelle) x un factor de seguridad, recomendado de 3 (cuando la presión de prueba no exceda de la máxima de trabajo).



TIPO MWA



TIPO MFA



Expansión del tubo en milímetros por metro:

Temperatura C	Presión equivalente en vapor saturado Bar	Tubo Acero	Tubo Hierro Forjado	Tubo Hierro Fundido	Tubo Cobre
-20	-	-0.20	-0.23	-0.20	0.33
-10	-	-0.10	-0.12	-0.10	0.16
0	-	0	0	0	0
10	-	0.10	0.12	0.10	0.16
20	-	0.20	0.23	0.20	0.33
30	-	0.32	0.25	0.30	0.50
40	-	0.43	0.47	0.40	0.67
50	-	0.55	0.59	0.50	0.84
60	-	0.66	0.71	0.60	1.01
70	-	0.78	0.84	0.70	1.18
80	-	0.89	0.95	0.81	1.35
90	-	1.01	1.08	0.92	1.52
100	0	1.13	1.20	1.03	1.69
110	0,43	1.24	1.34	1.14	1.86
120	0,97	1.36	1.46	1.25	2.03
130	1,70	1.47	1.59	1.37	2.20
140	2,60	1.59	1.71	1.48	2.39
150	3.75	1.71	1.85	1.60	2.57
160	5.17	1.83	1.98	1.71	2.75
170	6.91	1.95	2.11	1.83	2.92
180	9.01	2.08	2.25	1.95	3.10
190	11.55	2.20	2.39	2.06	3.28
200	14.55	2.32	2.52	2.17	3.46
210	18.05	2.45	2.65	2.30	3.63
220	22.15	2.57	2.80	2.42	3.81
230	22.15	2.57	2.80	2.42	3.81
240	32.50	2.82	3.08	2.68	4.16
250	38.70	2.95	3.22	2.80	4.34
260	46.00	3.07	3.36	2.93	4.51
270		3.20	3.51	3.06	4.69
280		3.33	3.65	3.19	4.87
290		3.46	3.80	3.32	5.04
300		3.59	3.96	3.45	5.22

**TERMODINAMICA**

CONTROL DE FLUIDOS

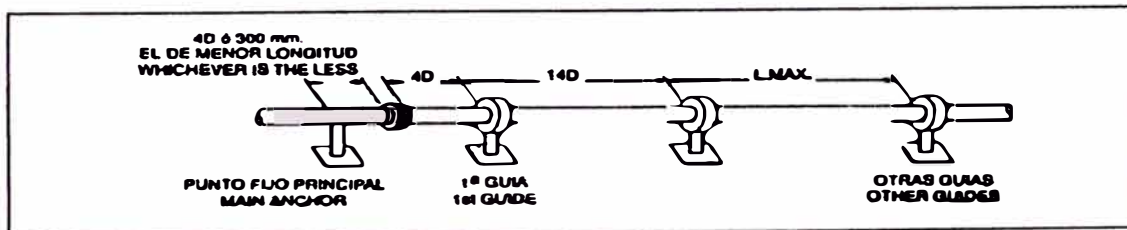
CASA MATRIZ: Panamericana Norte N°18.900 - Sitio 3 - Lampa - Santiago

Fono:(56-2) 270 9700 - Fax:(56-2) 738 7618 - 736 7653

Web: www.termodinamica.cl - e-mail: ventas@termodinamica.cl**TD11-02****MACOGA****SELECCIÓN JUNTAS DE EXPANSIÓN AXIALES
DE 15 mm (1/2") A 250 mm (10")**

DIAMETRO NOMINAL		PRESION DE TRABAJO		MOVIMIENTO AXIAL		FUERZA DE COMPRESION APROXIMADA		AREA EFECTIVA		LONGITUDES			
mm.	Pulg.	Bar	Psi.	mm.	Pulg.	kg	Lb.	cm	pulg. ²	MVA Con manguitos		MFA Con bridas	
										mm.	Pulg.	mm.	Pulg.
20	½	25	363	12	½	33	73	3,26	0,506	150	5,90	130	5,11
				25	1					200	7,87	180	7,08
20	¾	25	363	12	¾	34	75	5,37	0,833	150	5,90	130	5,11
				25	1					200	7,87	180	7,08
25	1	25	363	12	½	31	68	8,17	1,267	150	5,90	140	5,51
				25	1					200	7,87	180	7,08
32	1 ¼	25	363	12	¾	75	165	13,30	2,061	150	5,90	140	5,51
				25	1					210	8,26	190	7,48
40	1 ½	25	363	12	¾	75	165	17,63	2,717	200	7,87	150	5,90
				25	1					220	8,66	200	7,87
50	2	25	363	12	½	100	220	30,41	4,714	220	8,66	160	6,29
				25	1					250	9,84	200	7,87
65	2 ½	25	363	12	¾	161	575	43,80	6,789	230	9,05	180	5,11
				25	1					260	10,23	215	8,46
80	3	25	363	25	1	205	450	62,78	9,731	240	9,44	190	7,48
				50	2					280	11,02	230	9,05
100	4	25	363	75	3/2	303	670	107,70	16,690	260	10,23	210	8,26
				50	2					350	13,77	290	11,41
125	5	25	363	25	1	616	1.360	162,91	25,250	270	10,62	210	8,26
				50	2					350	13,77	290	11,41
150	6	25	363	25	1	1.104	2.475	227,50	35,360	270	10,62	210	8,26
				50	2					350	13,77	290	11,41
200	8	16	232	25	1	1.139	2.510	385,30	59,720	270	10,62	210	8,26
				50	2					370	14,56	310	12,20
200	8	25	363	25	1	1.878	4.140	385,30	59,720	270	10,62	210	8,26
				50	2					370	14,56	310	12,20
250	10	16	322	50	2	1.323	2.917	670,00	103,9	370	14,56	310	12,20
				75	3					480	18,89	450	17,71
250	10	25	263	50	2	1.764	3.889	670,00	103,9	370	14,56	310	12,20
				75	3					480	18,89	450	17,71

El correcto alineamiento de la tubería es de vital importancia para el buen funcionamiento de una junta de expansión axial. Las guías iniciales deben ser como camisas que permitan a la tubería moverse solamente a lo largo de su eje. Deben ser al menos tan largas como un diámetro de la tubería, rigidamente fijadas, independientemente de la misma y capaces de soportar fuerzas laterales de hasta el 15% de las fuerzas axiales totales en el sistema. La holgura con la tubería debe ser entre 1/16" y 1/8" dependiendo del diámetro del tubo. La máxima separación para las dos primeras guías cercanas a la junta son como sigue:

Ejemplo tipo de situación de las guías.

D = Diámetro de la tubería. LMAX

L.MAX= Distancia máxima recomendada entre guías.(Ver gráfico en TD11-03)

EXPANSION AND STRESSES

EXPANSION FACTOR, e

Temp. °F.	Carbon Steel (C ≤ 0.3%)	Carbon Steel (C > 0.3%)	Cr-Moly & Low Cr-Moly (C ≤ 0.3%)	Cr-Moly (C ≤ 0.3%) (S ≤ 0.01%)	Aluminum Aluminum Steels	Cr-Moly Steels (C ≤ 0.3%, S ≤ 0.01%)	20 Cr. 20 Ni	Weight (lbs)
70	0	0	0	0	0	0	0	0
100	37	60	60	25	51	34	47	44
150	68	106	106	42	143	69	125	120
200	100	151	151	149	232	135	204	196
250	125	244	244	212	323	204	287	279
300	204	315	315	271	414	254	368	352
350	275	391	391	335	509	326	455	434
400	336	477	477	396	603	396	541	514
450	310	547	547	455	696	455	629	598
500	584	626	626	531	784	520	714	681
550	664	711	711	608	878	590	809	768
600	743	796	796	672	980	670	891	855
650	827	882	882	734	1080	740	975	946
700	909	974	974	815	1190	810	1058	1025
750	995	1066	1066	891	1300	870	1136	1105
775	1069	1113	1113	920	1346	909	1225	1171
800			1150	967	1385	948	1294	1216
825			1208	1005	1428	993	1325	
850			1260	1043	1470	1027	1354	
875			1305	1081	1509	1061	1355	
900			1351	1121	1552	1077	1384	
925			1396	1161	1590	1111	1373	
950			1445	1200	1633	1154	1385	
975			1490	1240	1680	1212	1424	
1000			1538	1274	1720	1250	1461	
1050			1620	1357	1825	1325	1561	
1100			1727	1435	1934	1404	1670	
1150				1511	2044	1490	1760	

$$\text{Expansion Factor } e = \frac{\text{Expansion in inches per 100 ft. } \times F_e}{1120 \times 100}$$

PROPERTIES OF PIPE

For Straight and Curved Pipe

D_n = Nominal Pipe Size

D = Outside Diameter

t = Wall Thickness

d = Inside Diameter

$$= D - 2t$$

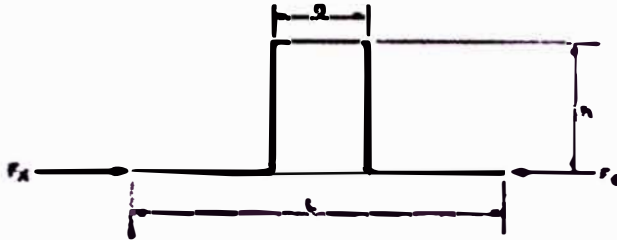
Inside Area $A_i = \frac{\pi d^2}{4}$

Metal Area $A_m = \pi(D - t)t$

Moment of Inertia $I_P = 0.0491(D^4 - d^4)$
 $= 0.00125(\pi(D^4 + d^4))$

Section Modulus $S_o = \frac{2I_P}{D}$

U SHAPE WITH EQUAL TANGENTS



Reaction Force: $F_A = k_a \cdot c \cdot \frac{I_F}{L}$

Maximum Bending Stress: $\sigma_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$

I_F in inches⁴ L in feet D in inches

L ft	2		3		4		5		6		7		8		9		10		L ft
	k _a	k _b	k _a	k _b	k _a	k _b	k _a	k _b	k _a	k _b	k _a	k _b	k _a	k _b	k _a	k _b	k _a	k _b	
1.0	2.45	7.31	2.45	8.2	2.45	8.82	2.45	9.29	2.45	9.69	2.45	10.03	2.45	10.32	2.45	10.57	2.45	10.78	1.0
1.2	3.79	11.25	4.01	12.0	4.01	12.6	4.01	13.0	4.01	13.3	4.01	13.5	4.01	13.68	4.01	13.83	4.01	13.95	1.2
1.4	5.11	15.27	5.31	16.0	5.31	16.6	5.31	17.0	5.31	17.3	5.31	17.5	5.31	17.68	5.31	17.83	5.31	17.95	1.4
1.6	6.42	19.27	6.61	19.9	6.61	20.5	6.61	20.9	6.61	21.2	6.61	21.4	6.61	21.58	6.61	21.73	6.61	21.85	1.6
1.8	7.73	23.27	7.91	23.9	7.91	24.5	7.91	24.9	7.91	25.2	7.91	25.4	7.91	25.58	7.91	25.73	7.91	25.85	1.8
2.0	9.04	27.27	9.21	27.9	9.21	28.5	9.21	28.9	9.21	29.2	9.21	29.4	9.21	29.58	9.21	29.73	9.21	29.85	2.0
2.2	10.35	31.27	10.51	31.9	10.51	32.5	10.51	32.9	10.51	33.2	10.51	33.4	10.51	33.58	10.51	33.73	10.51	33.85	2.2
2.4	11.66	35.27	11.81	35.9	11.81	36.5	11.81	36.9	11.81	37.2	11.81	37.4	11.81	37.58	11.81	37.73	11.81	37.85	2.4
2.6	12.97	39.27	13.11	39.9	13.11	40.5	13.11	40.9	13.11	41.2	13.11	41.4	13.11	41.58	13.11	41.73	13.11	41.85	2.6
2.8	14.28	43.27	14.41	43.9	14.41	44.5	14.41	44.9	14.41	45.2	14.41	45.4	14.41	45.58	14.41	45.73	14.41	45.85	2.8
3.0	15.59	47.27	15.71	47.9	15.71	48.5	15.71	48.9	15.71	49.2	15.71	49.4	15.71	49.58	15.71	49.73	15.71	49.85	3.0
3.2	16.90	51.27	17.01	51.9	17.01	52.5	17.01	52.9	17.01	53.2	17.01	53.4	17.01	53.58	17.01	53.73	17.01	53.85	3.2
3.4	18.21	55.27	18.31	55.9	18.31	56.5	18.31	56.9	18.31	57.2	18.31	57.4	18.31	57.58	18.31	57.73	18.31	57.85	3.4
3.6	19.52	59.27	19.61	59.9	19.61	60.5	19.61	60.9	19.61	61.2	19.61	61.4	19.61	61.58	19.61	61.73	19.61	61.85	3.6
3.8	20.83	63.27	20.91	63.9	20.91	64.5	20.91	64.9	20.91	65.2	20.91	65.4	20.91	65.58	20.91	65.73	20.91	65.85	3.8
4.0	22.14	67.27	22.21	67.9	22.21	68.5	22.21	68.9	22.21	69.2	22.21	69.4	22.21	69.58	22.21	69.73	22.21	69.85	4.0
4.2	23.45	71.27	23.51	71.9	23.51	72.5	23.51	72.9	23.51	73.2	23.51	73.4	23.51	73.58	23.51	73.73	23.51	73.85	4.2
4.4	24.76	75.27	24.81	75.9	24.81	76.5	24.81	76.9	24.81	77.2	24.81	77.4	24.81	77.58	24.81	77.73	24.81	77.85	4.4
4.6	26.07	79.27	26.11	79.9	26.11	80.5	26.11	80.9	26.11	81.2	26.11	81.4	26.11	81.58	26.11	81.73	26.11	81.85	4.6
4.8	27.38	83.27	27.41	83.9	27.41	84.5	27.41	84.9	27.41	85.2	27.41	85.4	27.41	85.58	27.41	85.73	27.41	85.85	4.8
5.0	28.69	87.27	28.71	87.9	28.71	88.5	28.71	88.9	28.71	89.2	28.71	89.4	28.71	89.58	28.71	89.73	28.71	89.85	5.0
5.2	29.99	91.27	29.91	91.9	29.91	92.5	29.91	92.9	29.91	93.2	29.91	93.4	29.91	93.58	29.91	93.73	29.91	93.85	5.2
5.4	31.30	95.27	31.31	95.9	31.31	96.5	31.31	96.9	31.31	97.2	31.31	97.4	31.31	97.58	31.31	97.73	31.31	97.85	5.4
5.6	32.61	99.27	32.61	99.9	32.61	100.5	32.61	100.9	32.61	101.2	32.61	101.4	32.61	101.58	32.61	101.73	32.61	101.85	5.6
5.8	33.92	103.27	33.91	103.9	33.91	104.5	33.91	104.9	33.91	105.2	33.91	105.4	33.91	105.58	33.91	105.73	33.91	105.85	5.8
6.0	35.23	107.27	35.21	107.9	35.21	108.5	35.21	108.9	35.21	109.2	35.21	109.4	35.21	109.58	35.21	109.73	35.21	109.85	6.0
6.2	36.54	111.27	36.51	111.9	36.51	112.5	36.51	112.9	36.51	113.2	36.51	113.4	36.51	113.58	36.51	113.73	36.51	113.85	6.2
6.4	37.85	115.27	37.81	115.9	37.81	116.5	37.81	116.9	37.81	117.2	37.81	117.4	37.81	117.58	37.81	117.73	37.81	117.85	6.4
6.6	39.16	119.27	39.11	119.9	39.11	120.5	39.11	120.9	39.11	121.2	39.11	121.4	39.11	121.58	39.11	121.73	39.11	121.85	6.6
6.8	40.47	123.27	40.41	123.9	40.41	124.5	40.41	124.9	40.41	125.2	40.41	125.4	40.41	125.58	40.41	125.73	40.41	125.85	6.8
7.0	41.78	127.27	41.71	127.9	41.71	128.5	41.71	128.9	41.71	129.2	41.71	129.4	41.71	129.58	41.71	129.73	41.71	129.85	7.0
7.2	43.09	131.27	43.01	131.9	43.01	132.5	43.01	132.9	43.01	133.2	43.01	133.4	43.01	133.58	43.01	133.73	43.01	133.85	7.2
7.4	44.40	135.27	44.31	135.9	44.31	136.5	44.31	136.9	44.31	137.2	44.31	137.4	44.31	137.58	44.31	137.73	44.31	137.85	7.4
7.6	45.71	139.27	45.61	139.9	45.61	140.5	45.61	140.9	45.61	141.2	45.61	141.4	45.61	141.58	45.61	141.73	45.61	141.85	7.6
7.8	47.02	143.27	46.91	143.9	46.91	144.5	46.91	144.9	46.91	145.2	46.91	145.4	46.91	145.58	46.91	145.73	46.91	145.85	7.8
8.0	48.33	147.27	48.21	147.9	48.21	148.5	48.21	148.9	48.21	149.2	48.21	149.4	48.21	149.58	48.21	149.73	48.21	149.85	8.0
8.2	49.64	151.27	49.51	151.9	49.51	152.5	49.51	152.9	49.51	153.2	49.51	153.4	49.51	153.58	49.51	153.73	49.51	153.85	8.2
8.4	50.95	155.27	50.81	155.9	50.81	156.5	50.81	156.9	50.81	157.2	50.81	157.4	50.81	157.58	50.81	157.73	50.81	157.85	8.4
8.6	52.26	159.27	52.11	159.9	52.11	160.5	52.11	160.9	52.11	161.2	52.11	161.4	52.11	161.58	52.11	161.73	52.11	161.85	8.6
8.8	53.57	163.27	53.41	163.9	53.41	164.5	53.41	164.9	53.41	165.2	53.41	165.4	53.41	165.58	53.41	165.73	53.41	165.85	8.8
9.0	54.88	167.27	54.71	167.9	54.71	168.5	54.71	168.9	54.71	169.2	54.71	169.4	54.71	169.58	54.71	169.73	54.71	169.85	9.0
9.2	56.19	171.27	56.01	171.9	56.01	172.5	56.01	172.9	56.01	173.2	56.01	173.4	56.01	173.58	56.01	173.73	56.01	173.85	9.2
9.4	57.50	175.27	57.31	175.9	57.31	176.5	57.31	176.9	57.31	177.2	57.31	177.4	57.31	177.58	57.31	177.73	57.31	177.85	9.4
9.6	58.81	179.27	58.61	179.9	58.61	180.5	58.61	180.9	58.61	181.2	58.61	181.4	58.61	181.58	58.61	181.73	58.61	181.85	9.6
9.8	60.12	183.27	59.91	183.9	59.91	184.5	59.91	184.9	59.91	185.2	59.91	185.4	59.91	185.58	59.91	185.73	59.91	185.85	9.8
10.0	61.43	187.27	61.21	187.9	61.21	188.5	61.21	188.9	61.21	189.2	61.21	189.4	61.21	189.58	61.21	189.73	61.21	189.85	10.0

PROPERTIES OF PIPE

Pipe Size and Outside Diameter	Sh. No.	Nominal Wall	Inside Diam. Inches	Wall Thickness Inches	Inside Area Inches ²	Metal Area Inches ²	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Factors and Coefficients					
									Stress Factor	Longitudinal Stress	Radius of Curvature			
											1	2	3	4
10" 10.75"	101		6.515	0.102	26.5	21.97	112.0	35.44	2.20 1.11	2.20 1.11	1.13 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
	20		10.250	0.250	52.5	42.26	133.7	21.01			0.74 0.71	0.53 0.52	1.01 1.02	1.02 1.01
	30		10.117	0.207	60.7	40.07	137.3	23.57			0.87 1.00	0.41 1.13	2.02 1.02	2.11 1.17
	40	Std.	10.020	0.243	58.9	31.91	140.8	21.60	12.25 3.12	5.15 2.61	0.67 1.04	0.36 1.16	2.44 1.17	2.04 1.04
	60	NS	9.750	0.200	74.7	16.19	212.0	29.13	8.48 2.72	1.70 2.06	2.57 1.31	2.17 1.08	1.74 1.00	1.15 1.01
	80		9.514	0.270	71.8	15.92	211.9	43.16			2.15 1.15	1.74 1.05	1.45 1.00	1.20 1.00
	100		9.314	0.218	65.1	22.63	209.2	33.25			1.91 1.05	1.45 1.05	1.16 1.00	1.00 1.00
	125		9.061	0.313	61.4	22.21	224.3	60.34			1.65 1.05	1.25 1.05	1.00 1.00	1.00 1.00
	140		8.750	0.300	60.1	30.63	207.5	68.43			1.31 1.05	1.00 1.05	1.00 1.00	1.00 1.00
	160		8.400	0.125	56.7	31.01	219.4	71.21		2.25 1.11	1.11 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
12" 12.75"	20		12.250	0.250	117.9	9.84	191.9	30.1			2.14 2.30	2.37 1.68	4.35 1.75	3.58 1.51
	30		12.000	0.300	114.6	12.58	218.5	19.0			3.31 1.97	1.00 1.02	3.25 1.07	2.64 1.21
	40	Std.	12.000	0.275	113.1	11.78	270.3	43.8	11.04 3.78	0.33 2.56	1.00 1.79	1.00 1.65	2.62 1.25	2.31 1.11
	60		11.628	0.406	111.9	15.71	350.3	47.1			4.24 1.50	1.21 1.40	2.17 1.21	2.14 1.07
	80	NS	11.750	0.300	108.4	19.24	361.5	56.7	12.31 3.05	1.58 2.13	3.11 1.47	2.58 1.21	2.07 1.01	1.72 1.05
	100		11.625	0.492	106.2	21.27	400.5	62.8			3.03 1.35	2.27 1.11	1.92 1.00	1.51 1.05
	120		11.370	0.487	101.4	21.60	475.2	74.3			2.43 1.19	1.62 1.00	1.41 1.00	1.21 1.00
	140		11.061	0.343	95.1	31.23	564.5	58.1			1.94 1.00	1.45 1.00	1.15 1.00	1.05 1.00
	160		10.750	0.300	90.8	41.01	641.7	100.7			1.54 1.00	1.19 1.00	1.05 1.00	1.00 1.00
	180		10.500	0.125	86.6	41.00	700.7	159.9			1.34 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
200		10.125	0.312	80.5	47.14	781.3	122.4		2.28 1.12	1.14 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	
14" 14.00"	20		13.200	0.200	143.1	15.80	355.4	26.3			2.41 2.45	2.57 2.02	4.48 1.75	3.71 1.55
	30		13.376	0.312	139.6	13.62	511.2	44.9			3.90 2.10	0.42 1.74	3.54 1.50	2.25 1.33
	40	Std.	13.250	0.375	137.9	16.03	572.6	63.1	14.19 3.65	2.22 2.14	4.45 1.45	3.65 1.53	2.92 1.32	2.13 1.17
	60		13.126	0.437	132.3	18.02	629.1	61.2			4.11 1.65	3.10 1.37	2.45 1.18	2.07 1.05

EXPANSION U BEND—TANGENTS - 2R
No. 9 Bend

General:

Length = 10.283R

Modified Length = 6.283R + 4R

$$F_s = \frac{\Delta_e EI_P}{1728I_x} = \frac{L_e I_P}{I_x}$$

I_x (about gravity axis X-X)
= (17.42L + 1.333)R³

For Stress of 10,000 psi, E of 29 × 10⁶:

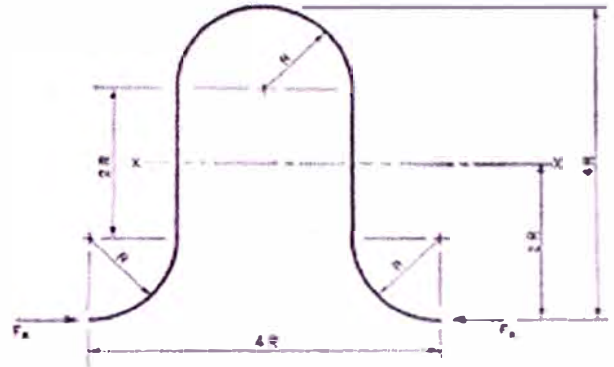
Deflection = $\frac{(0.863L + 0.0662)R^2}{D}$ inches

$$F_s = \frac{833I_P}{RD}$$
 pounds

R in feet

D in inches

I_P in inches⁴



L , distance between anchors in feet

e , expansion factor—see page 11

Δ_e , total thermal expansion in inches

For Stress of 10,000 psi, E of 29 × 10⁶

Pipe Size D_o	Sch. No.	Wall Thick. inches t , in.	Radius of Bend R							
			3D _s		6D _s		8D _s		10D _s	
			Deflection, in.	Anchor Force, lb.	Deflection, in.	Anchor Force, lb.	Deflection, in.	Anchor Force, lb.	Deflection, in.	Anchor Force, lb.
2"	40	0.154	0.35	280	0.43	243	0.70	176	1.09	140
	80	0.218	0.27	265	0.39	305	0.70	229	1.00	183
2½"	40	0.203	0.40	125	0.51	355	0.90	266	1.41	212
	80	0.276	0.35	535	0.51	440	0.90	335	1.41	268
3"	40	0.216	0.55	574	0.68	479	1.06	350	1.66	287
	80	0.300	0.42	742	0.60	618	1.06	463	1.66	370
3½"	40	0.226	0.72	684	0.87	570	1.27	428	1.98	312
	80	0.318	0.50	896	0.71	747	1.27	561	1.98	448
4"	40	0.237	0.88	803	1.07	669	1.47	501	2.30	401
	80	0.337	0.61	1067	0.83	889	1.47	667	2.30	534
5"	40	0.258	1.27	1690	1.53	908	2.07	682	2.91	515
	80	0.375	0.85	1485	1.05	1238	1.85	928	2.91	743
6"	40	0.280	1.65	1368	2.03	1179	2.75	885		
	80	0.432	1.06	2037	1.20	1697	2.25	1272		
8"	40	0.322	2.34	1928	3.08	1781				
	80	0.500	1.60	3062	1.93	2551				
10"	40	0.365	3.00	2551						
	60	0.540	2.54	3943						
							Temper- ature, °F	Q Factor		
								2"-10" Pipe Inclusive		
								3 & 6D _s	8 & 10D _s	
								300	1.40	1.48
							400	1.35	1.45	
							500	1.33	1.42	
							600	1.30	1.40	

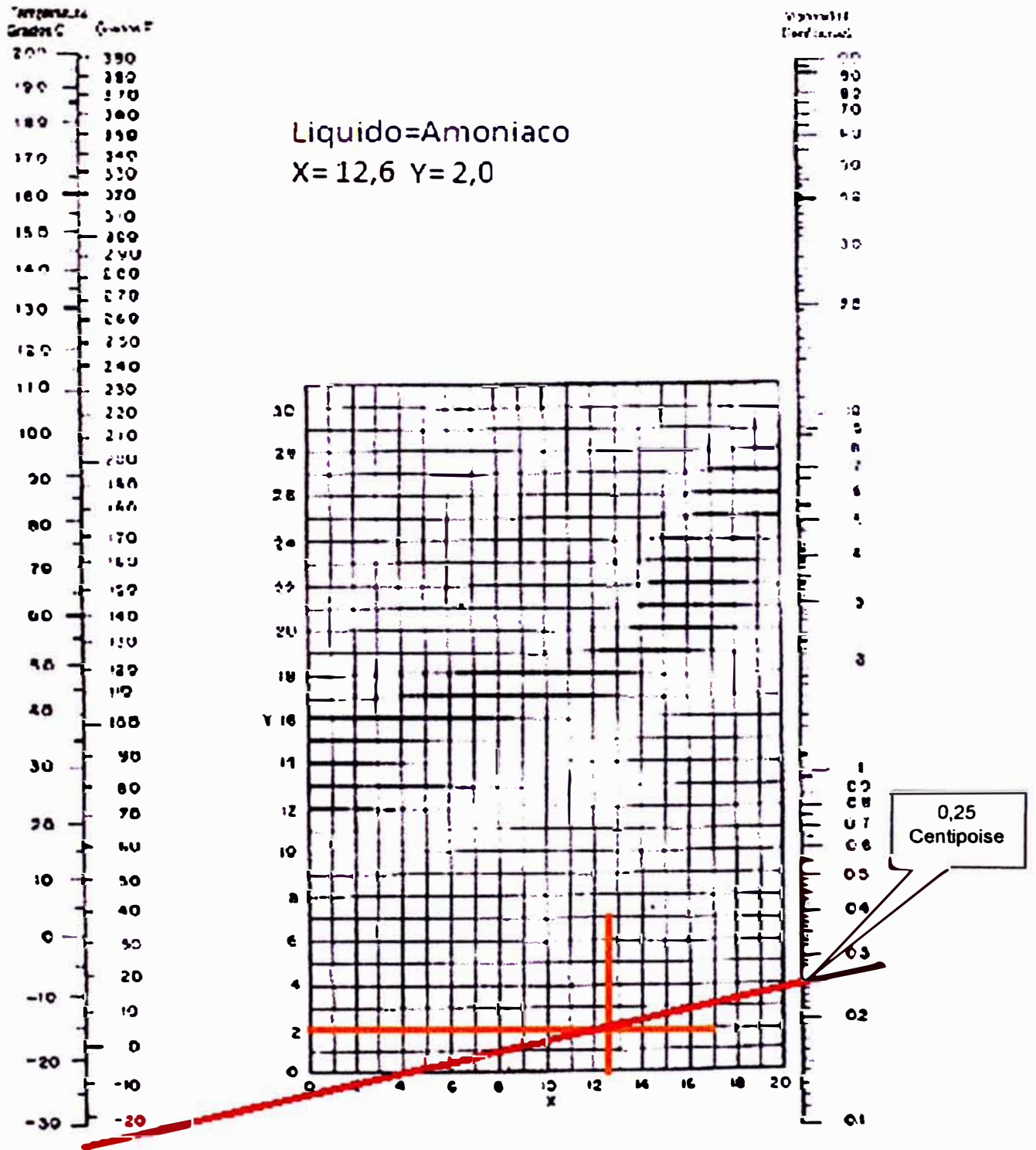
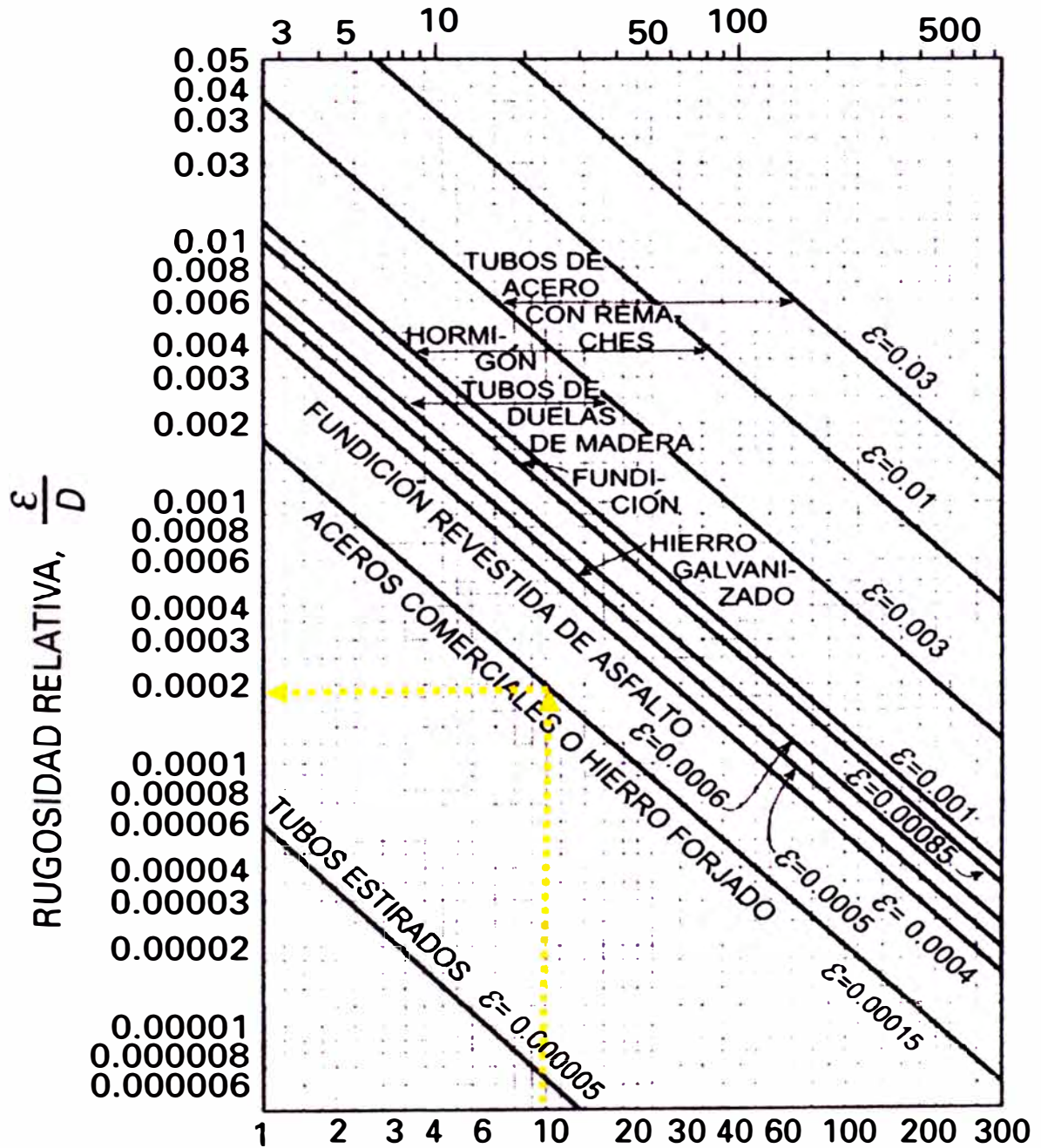


FIG 7 33. - No diagrama para este liquido de la familia E de la Tabla 2.150. Para las coordenadas de la Tabla 2.150. Para la viscosidad dinámica en centipoise, μ , multiplicar por 0.01.

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA, EN CENTÍMETROS



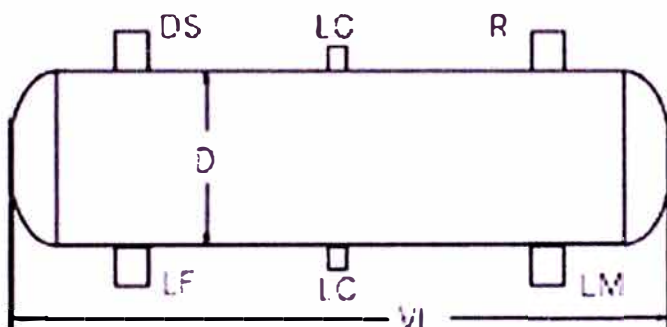
DIÁMETRO DEL TUBO, EN PULGADAS

APENDICE 5.11

HORIZONTAL SURGE DRUM



Suitable for Ammonia



Features:

- Horizontal Surge Drums are designed to fit new and existing installations
- 250 PSI Standard design pressure for Ammonia
- CO₂, Halocarbon, Propane and high-pressure models available
- Carbon steel shell standard stainless steel optional
- Connections for relief, level column, liquid make-up, wet & dry suctions and liquid feed included
- Pneumatic pressure testing to reduce moisture contamination
- Valve packages available boxed or installed

Dimensions in Inches

Catalog Number	Vessel Dia D	Vessel Height VL	Liquid Feed LF	Wet Suction WS	Dry Suction DS	Level Column LC	Relief R	Liquid Make-up LM
HMS-12	12	45	2 1/2	3	2	1 1/4	12	3/4
HMS-16	16	60	3	4	2 1/2	1 1/4	12	3/4
HMS-20	20	72	3	4	3	1 1/4	12	1
HMS-24	24	84	4	5	4	1 1/4	12	1
HMS-30	30	96	4	5	4	1 1/4	12	1 1/4
HMS-36	36	108	5	6	5	1 1/4	12	1 1/4
HMS-42	42	108	6	6	6	1 1/4	12	1 1/2
HMS-48	48	120	6	8	6	1 1/4	12	2

Please contact factory for "Certified Dimensions".

CAPACITY (TR) FOR AMMONIA REFRIGERANT (R-717)

Catalog Number	Surge Volume Cu. Ft.	SINGLE STAGE											
		40°F	30°F	20°F	10°F	0°F	-10°F	-20°F	-30°F	-40°F	-50°F		
HMS-12	1.3	24.4	22.1	20.0	17.9	16.0	14.2	15.6	14.7	12.9	11.2	9.7	
HMS-16	2.7	38.5	35.0	31.6	28.4	25.3	22.5	26.4	23.2	20.4	17.7	15.3	
HMS-20	5.2	62.7	56.9	51.4	45.1	41.2	36.5	43.0	37.9	33.2	28.9	25.0	
HMS-24	8.8	91.4	83.0	74.9	67.3	60.1	53.3	62.4	55.2	48.4	42.1	36.4	
HMS-30	16.1	144.7	131.4	118.5	106.5	95.1	84.4	98.9	87.2	76.5	66.5	57.5	
HMS-36	26.4	210.2	190.8	172.3	154.7	138.1	122.5	143.8	125.6	111.3	96.9	83.5	
HMS-42	36.9	277.7	252.0	227.6	204.5	182.5	161.9	190.0	167.7	147.0	129.0	110.6	
HMS-48	53.5	366.0	332.3	300.0	269.5	240.5	213.4	250.2	220.8	193.6	158.6	146.0	

Capacities based on liquid ammonia make-up feed temperatures of 35°F for single stage and 25°F for two stage. Surge Volume is based on an Operating Level at lower head to shell seam, with the High Level a minimum of 6" below the Wet Suction Nozzle.

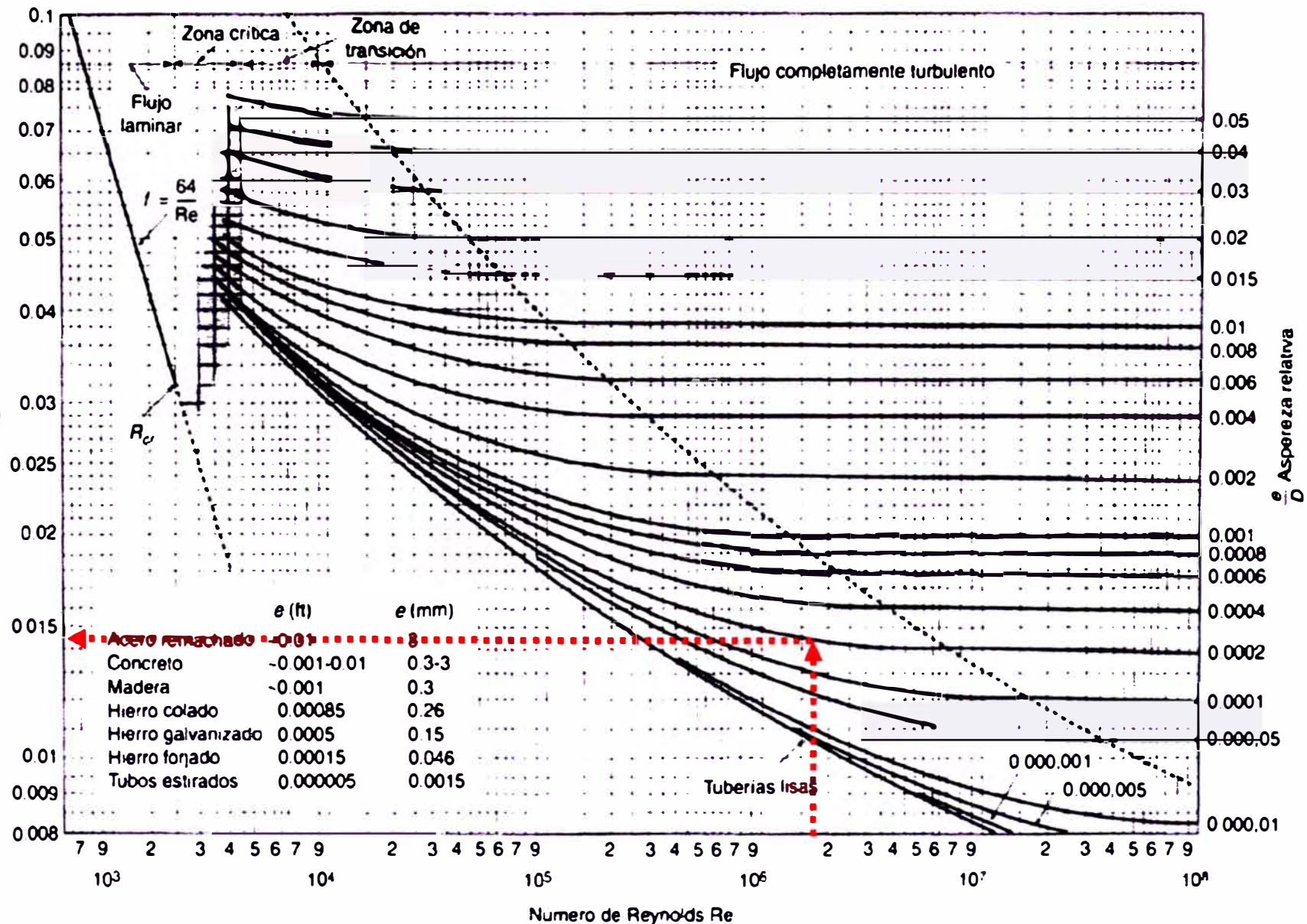
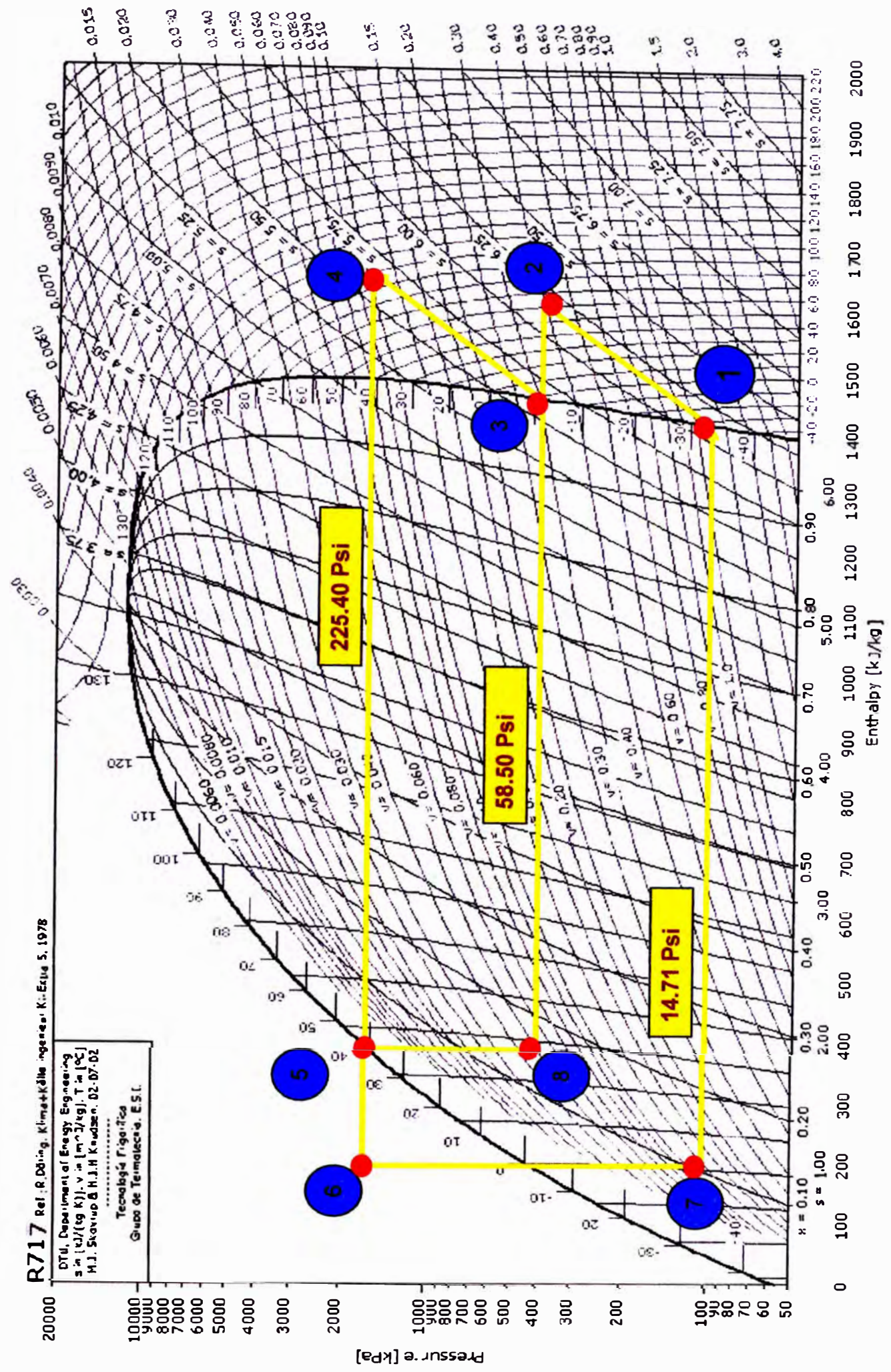


DIAGRAMA P-H DEL NH3



R717 Ref.: R. Döing, Klimakälte, Ingenieurbüro K. Ertel S. 1978

DTU, Department of Energy Engineering
 s. m. (kJ/(kg K)), v. m. (m³/kg), T. m. (°C)
 M.J. Skovrup & H.J.H. Keaden, 02-07-02

Tecnología Refrigerada
 Grupo de Termodinámica, E.S.L.

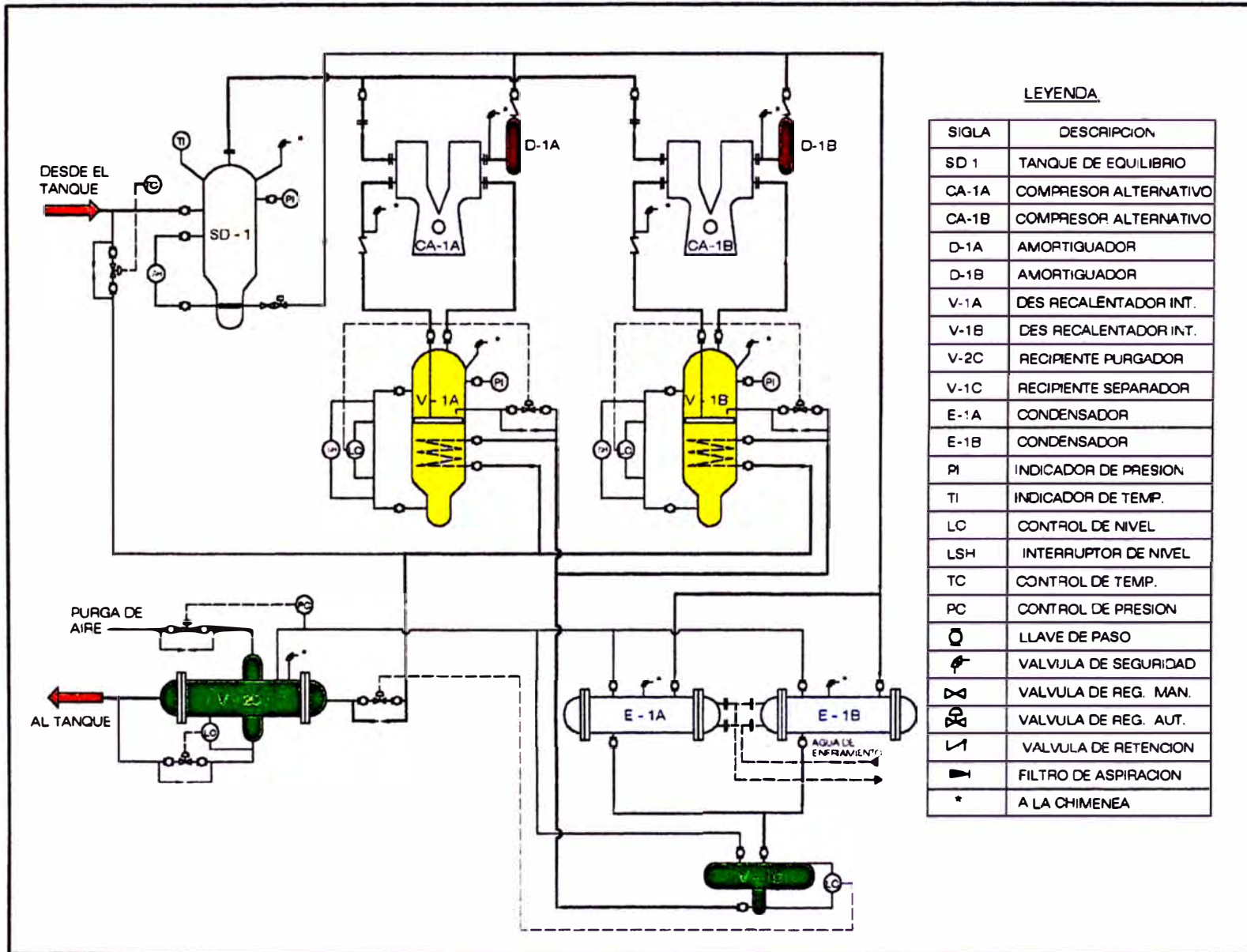
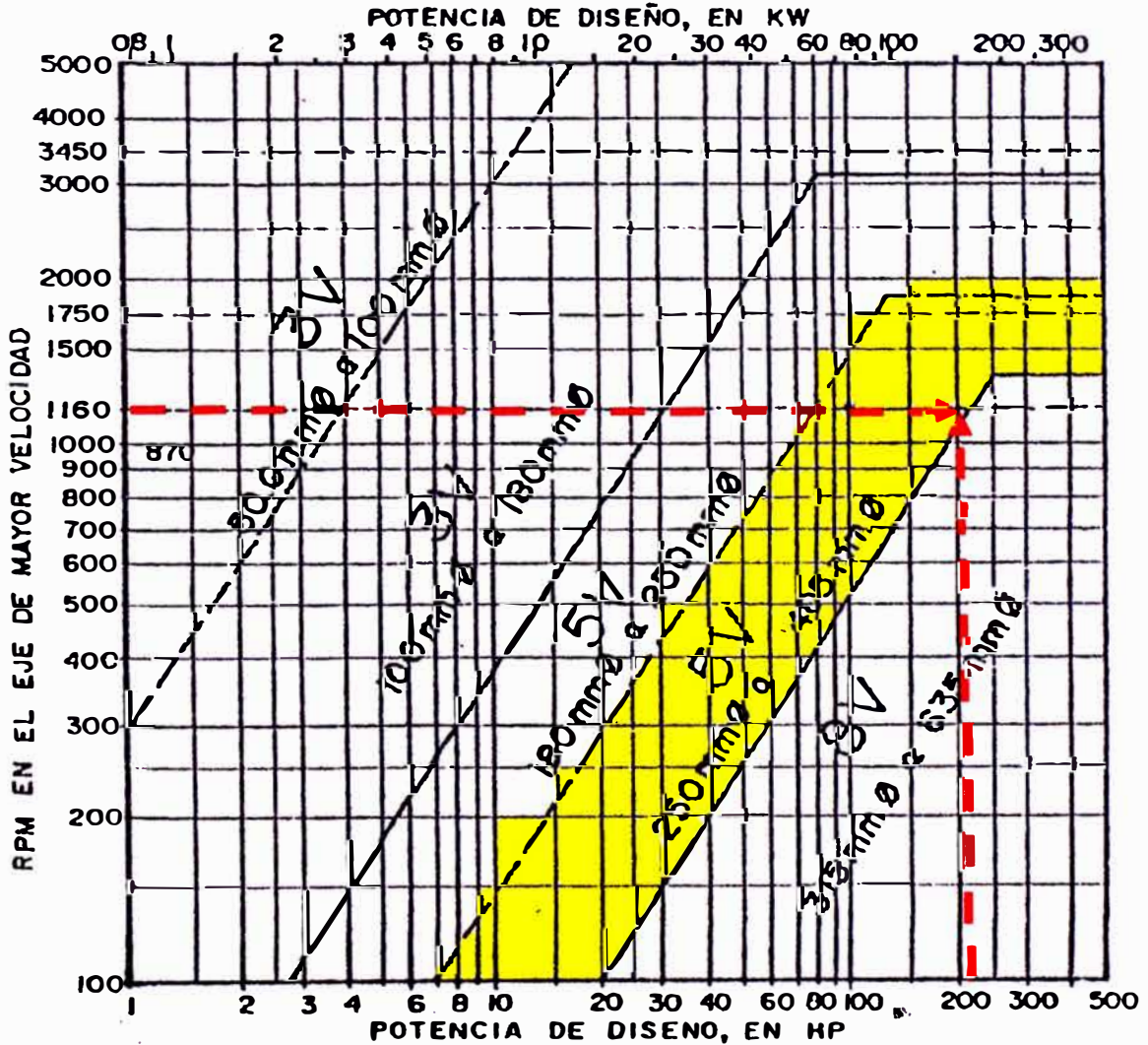


TABLA 15
SECCIONES DE FAJAS Y DIAMETROS EXTERIORES
MINIMOS Y RECOMENDADOS DE POLEAS

SECCION	ANCHO mm	ESPESOR mm	DIAMETRO EXTERIOR DE LA POLEA, en mm		DIFERENCIA ENTRE LOS DIAMETROS EX- TERIOR Y DE PASO DE LA POLEA, en mm
			MINIMO	RECOMENDADO	
3V	9.5	7.9	66	67 - 175	1.27
5V	15.9	13.5	178	180 - 406	2.54
8V	25.4	23.0	318	318 - 569	5.08



SELECCION DE LA SECCION DE LA FAJA EN V

(All dimensions are in inches)

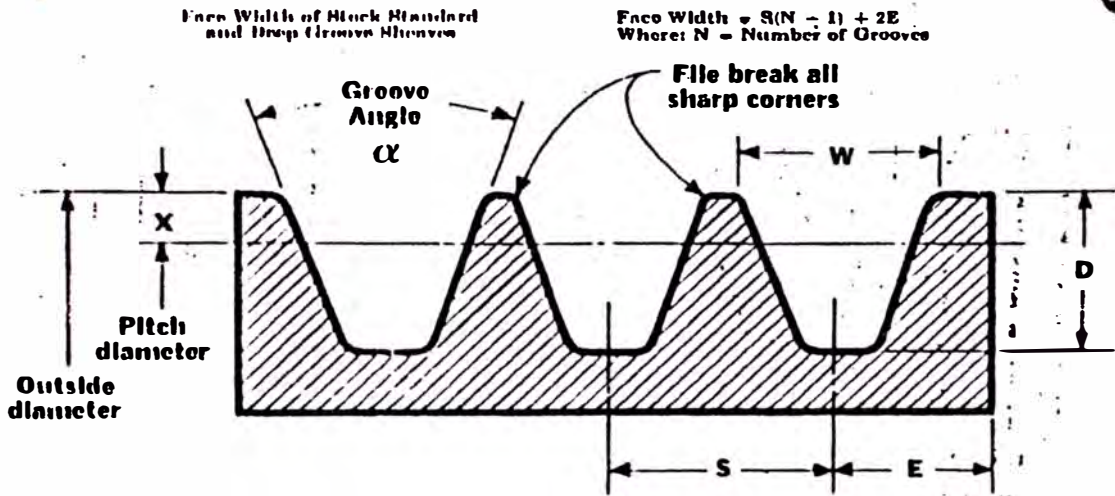


Table 22

Groove dimensions

Pitch Diameter	Pitch Diameter		Groove Angle α	Standard Groove Dimensions					Deep Groove Dimensions						
	Min. Recommended	Range		*W	D $\pm .031$	X	**S $\pm .031$	E	*W	D $\pm .031$	X	**S $\pm .031$	E		
A	3.0	2.0 to 5.4 Over 5.4	31° 30°	.401 .504	$\pm .005$	.490	.125	.025	.375 $\pm .070$ -.000	.589 .611	$\pm .005$	.645	.280	.750	.437 $\pm .070$ -.000
B	6.4	4.6 to 7.0 Over 7.0	34° 33°	.617 .650	$\pm .005$	.680	.175	.760	.800 $\pm .150$ -.000	.747 .774	$\pm .006$	.760	.355	.875	.602 $\pm .150$ -.000
C	9.0	7.0 to 7.99 8.0 to 12.0 Over 12.0	34° 33° 32°	.877 .887 .905	$\pm .007$	.780	.200	1.000	.887 $\pm .150$ -.000	1.066 1.085 1.105	$\pm .007$	1.085	.505	1.250	.812 $\pm .150$ -.000
D	15.0	12.0 to 12.99 13.0 to 17.0 Over 17.0	34° 33° 32°	1.269 1.271 1.283	$\pm .007$	1.050	.300	1.437	.876 $\pm .250$ -.000	1.613 1.641 1.669	$\pm .007$	1.465	.715	1.750	1.062 $\pm .250$ -.000
E	21.0	18.0 to 24.0 Over 24.0	31° 30°	1.627 1.642	$\pm .010$	1.300	.400	1.750	1.125 $\pm .250$ -.000	1.810 1.849	$\pm .010$	1.745	.845	2.062	1.312 $\pm .250$ -.000

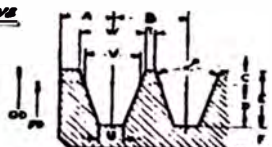
*Grooves in any one sheave are to fit the individual sheave manufacturer's standard gauge.
 **Summation of the deviations from "H" for all grooves in any one sheave shall not exceed $\pm .031$.
 Deep groove sheaves are intended for quarter turn drives and for long center vertical shaft drives. They may also be necessary for such applications as car slakers, vibrating screens and certain types of crushers where oscillations in the center distance may occur.

OUTSIDE DIAMETER ECCENTRICITY	SHEAVE OUTSIDE DIAMETER (ALL SECTIONS)	SIDE WOBBLE AND RUNOUT
10.0" P.D. and under, .010"	Under 12.0" $\pm .020$ "	.001" per inch of P.D. up to 20.0" P.D.
Add .005" for each additional inch of P.D. up to 60.0" P.D.	12.0" to 24.0" $\pm .040$ "	Add .0005" for each additional inch of P.D. up to 60.0" P.D.
Add .001" for each additional inch of P.D. above 60.0" P.D.	24.0" to 50.0" $\pm .060$ "	Add .001" for each additional inch of P.D. above 60.0" P.D.
	50.0" to 72.0" $\pm .120$ "	
	72.0" and over $\pm .250$ "	
	NOTE: "to" means to but not incl.	

Table 23 Standard sheave face widths

Groove Section	NUMBER OF GROOVES																		For Each Additional Groove
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
A	1/4	1/2	2/3	2/5	3/8	3/8	4/5	5/8	5/8	6/5	7	7/8	8/8	8/8	9/8	10/8	10/8	11/8	1/8
B	1	1/2	2/3	3/4	4	4/5	5/5	6/5	7	7/5	8/5	9/5	10	10/5	11/5	12/5	13	13/5	1/4
C	1/2	2/5	3/5	4/5	5/5	6/5	7/5	8/5	9/5	10/5	11/5	12/5	13/5	14/5	15/5	16/5	17/5	18/5	1
D	1/2	3/5	4/5	5/5	7/5	8/5	10/5	11/5	13/5	14/5	16/5	17/5	19	20/5	21/5	23/5	24/5	26/5	1/2
E	2/3	4	5/5	7/5	8/5	11	12/5	14/5	16/5	18	19/5	21/5	23/5	25	26/5	28/5	30/5	32	1/2

STANDARD GROOVE DIMENSIONS



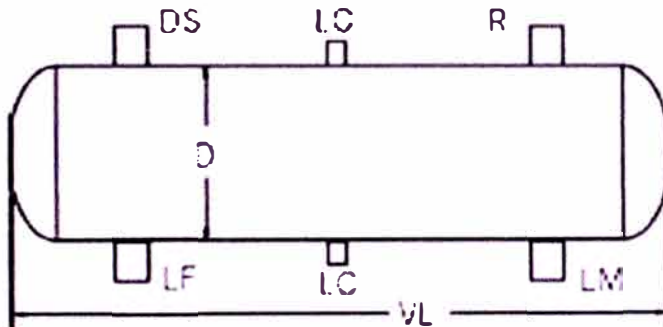
NOTE:
 For more accurate determination of speed ratios and for large speed ratio drives, sheave pitch diameters should be used in calculations. Sheave pitch diameters are obtained by subtracting the following "Pitch Deduction" values from the sheave outside diameters: 3V-.005", 5V-.010", 8V-.020".

Pitch	GROOVE DIMENSIONS IN INCHES										Angle of Groove	Used on O.D.	Area of Groove
	A	B	C	D	E	W	T	U	V				
3V	1/32	1/32	.025	.025	.030	.030	.035	.035	.035	.035	34°	Under 2.5	.0017
											28°	2.5 to 4.0	.004
											40°	4.01 to 12.0	.0079
											48°	12.01 over	.0123
5V	1/8	1/16	.05	.055	.06	.065	.075	.075	.075	.075	34°	Under 10.0	.026
											42°	10.1 to 16.0	.028
											48°	16.01 over	.0218
8V	3/4	1-1/8	.10	.100	.100	.100	.125	.125	.125	.125	34°	Under 16.0	.058
											40°	16.0 to 22.0	.068
											48°	22.01 over	.068

HORIZONTAL SURGE DRUM



Suitable for Ammonia



Features:

- Horizontal Surge Drums are designed to fit new and existing installations
- 250 PSI Standard design pressure for Ammonia
- CO₂, Halocarbon, Propane and high-pressure models available
- Carbon steel shell standard stainless steel optional
- Connections for relief, level column, liquid make-up, wet & dry suction and liquid feed included
- Pneumatic pressure testing to reduce moisture contamination
- Valve packages available boxed or installed

Dimensions in Inches

Catalog Number	Vessel Dia D	Vessel Height VL	Liquid Feed LF	Wet Suction WS	Dry Suction DS	Level Column LC	Relief R	Liquid Make-up LM
HHS-12	12	45	2 1/2	3	2	1 1/4	12	3/4
HHS-16	16	60	3	4	2 1/2	1 1/4	12	3/4
HHS-20	20	72	3	4	3	1 1/4	12	1
HHS-24	24	84	4	5	4	1 1/4	12	1
HHS-30	30	96	4	5	4	1 1/4	12	1 1/4
HHS-36	36	108	5	6	5	1 1/4	12	1 1/4
HHS-42	42	138	6	8	6	1 1/4	12	1 1/2
HHS-48	48	120	6	8	6	1 1/4	12	2

Please contact factory for "Certified Dimensions"

CAPACITY (TR) FOR AMMONIA REFRIGERANT (R-717)

Catalog Number	Surge Volume Cu. Ft.	SINGLE STAGE										
		40°F	30°F	20°F	10°F	0°F	-10°F	-10°F	-20°F	-30°F	-40°F	-50°F
HHS-12	1.3	24.4	22.1	20.0	17.9	16.0	14.2	16.6	14.7	12.9	11.2	9.7
HHS-16	2.7	38.5	35.0	31.6	28.4	25.3	22.5	26.4	23.2	20.4	17.7	15.3
HHS-20	5.2	52.7	56.9	51.4	45.1	41.2	36.5	43.0	37.9	33.2	28.9	25.0
HHS-24	8.8	91.4	83.0	74.9	67.3	60.1	53.3	62.4	55.2	48.4	42.1	36.4
HHS-30	15.1	144.7	131.4	115.5	106.5	95.1	84.4	99.9	87.2	76.5	66.5	57.6
HHS-36	25.4	210.2	190.8	172.3	154.7	138.1	122.5	143.8	126.6	111.3	96.9	83.8
HHS-42	35.9	277.7	252.0	227.5	204.5	182.5	161.9	190.0	167.7	147.0	128.0	110.5
HHS-48	53.8	366.0	322.3	300.0	269.5	240.5	213.4	250.2	220.8	193.6	168.6	146.0

Capacities based on liquid ammonia make-up feed temperatures of 36°F for single stage and 25°F for two stage. Surge Volume is based on an Operating Level at lower head to shell steam, with the High Level a minimum of 6" below the Wet Suction Nozzle.

APENDICE VI

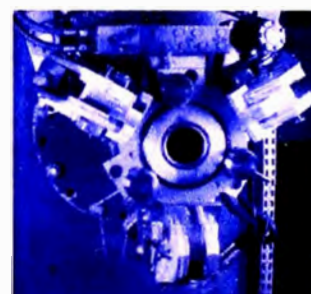
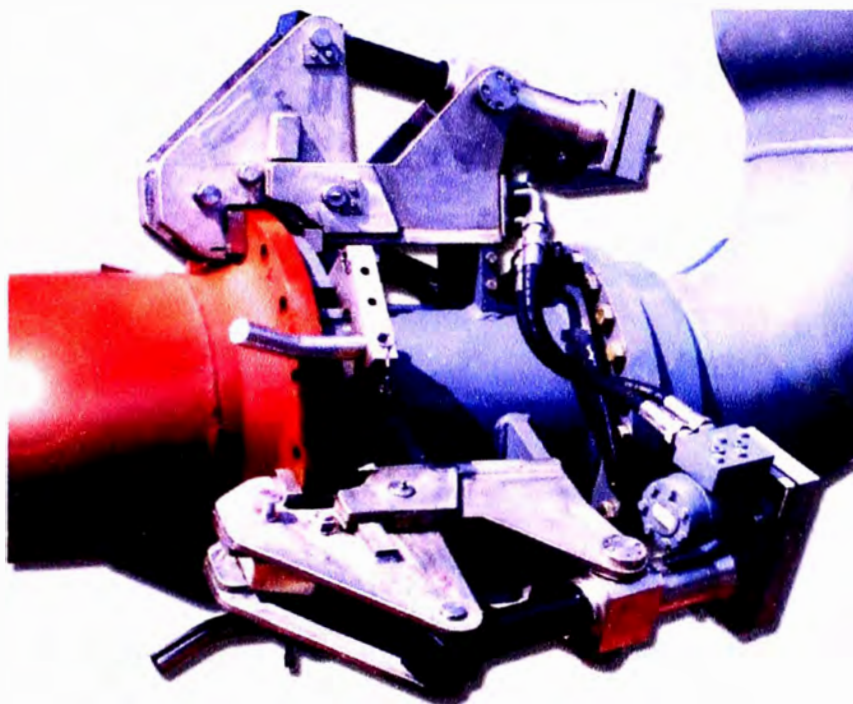
Apéndice 6.1

Apéndice 6.2

Apéndice 6.3

Reliable and Affordable

From a name you trust Chiksan®



The Chiksan® III Hydraulic Quick Connect / Disconnect Coupler

■ Key benefits

- ◆ Applicable to both new or existing marine loading arms or hose installations.
- ◆ Increases operator safety particularly at exposed or offshore terminals.
- ◆ Reduces connection / disconnection time minimizing demurrage costs of vessel.
- ◆ Available in diameters from 6" to 20".
- ◆ Adapts to multiple flange sizes without special adapters or adjustments.

■ Field proven and highly reliable

- ◆ Stainless steel clamps and shafts minimize corrosion and maintenance.
- ◆ In case of power failure can be opened hydraulically or manually with spanner.

■ High performance

- ◆ Rugged for exposed and offshore applications.
- ◆ Suitable for LNG and other cryogenic applications superior sealing with FMC patented integrated seal protection system.



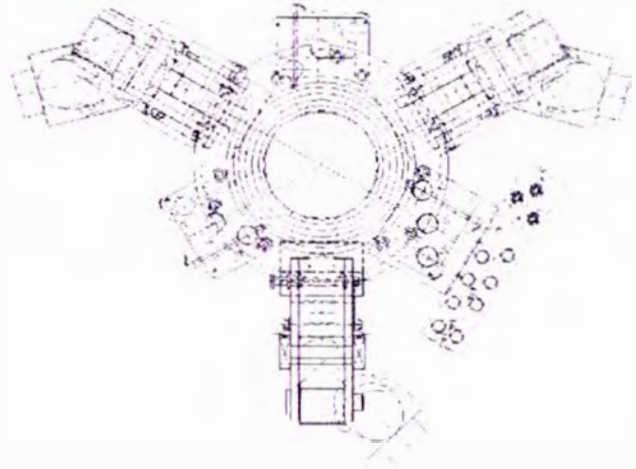
Chiksan® Marine Loading Systems

Range of Chiksan III Hydraulic Quick Connect/Disconnect Couplers (QC/DC)

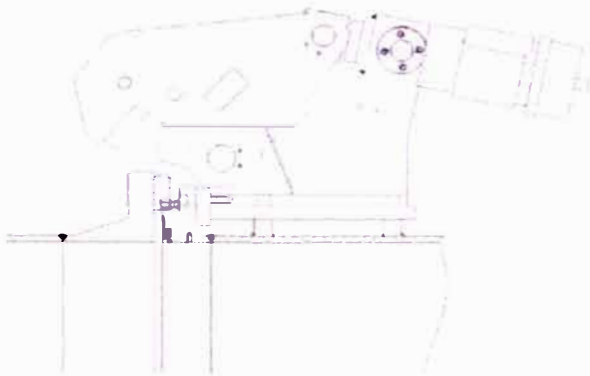
Meet OCIMF 1999 technical specification and approved by Lloyds.

Minimum hydraulic operating pressure required : 150/190 bars.

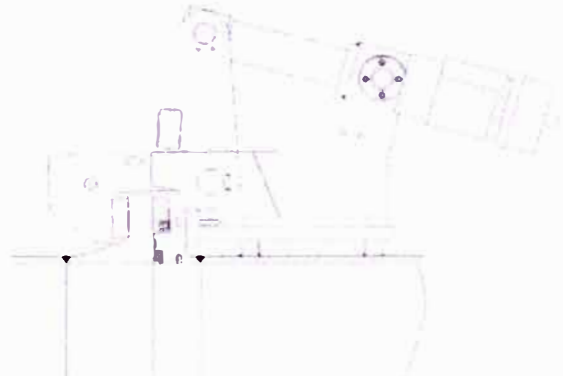
Classe de pression : ANSI 150 (19 bars)	
Coupler Diameters	Connection Diameters
6"	6" - 8" - 10"
8"	6" - 8" - 10"
8"	8" - 10" - 12"
10"	8" - 10" - 12"
12"	12" - 14" - 16"
16"	12" - 14" - 16"
20"	16" - 20"
20"	20" - 24"



For ANSI 300 series QC/DC's and LNG or other cold temperature applications, please consult us with your specific requirements.



▲ Open position



▲ Closed position

Other Chiksan couplers available in ANSI 150 and 300 series.

Contact us at either of the locations below to discuss your application

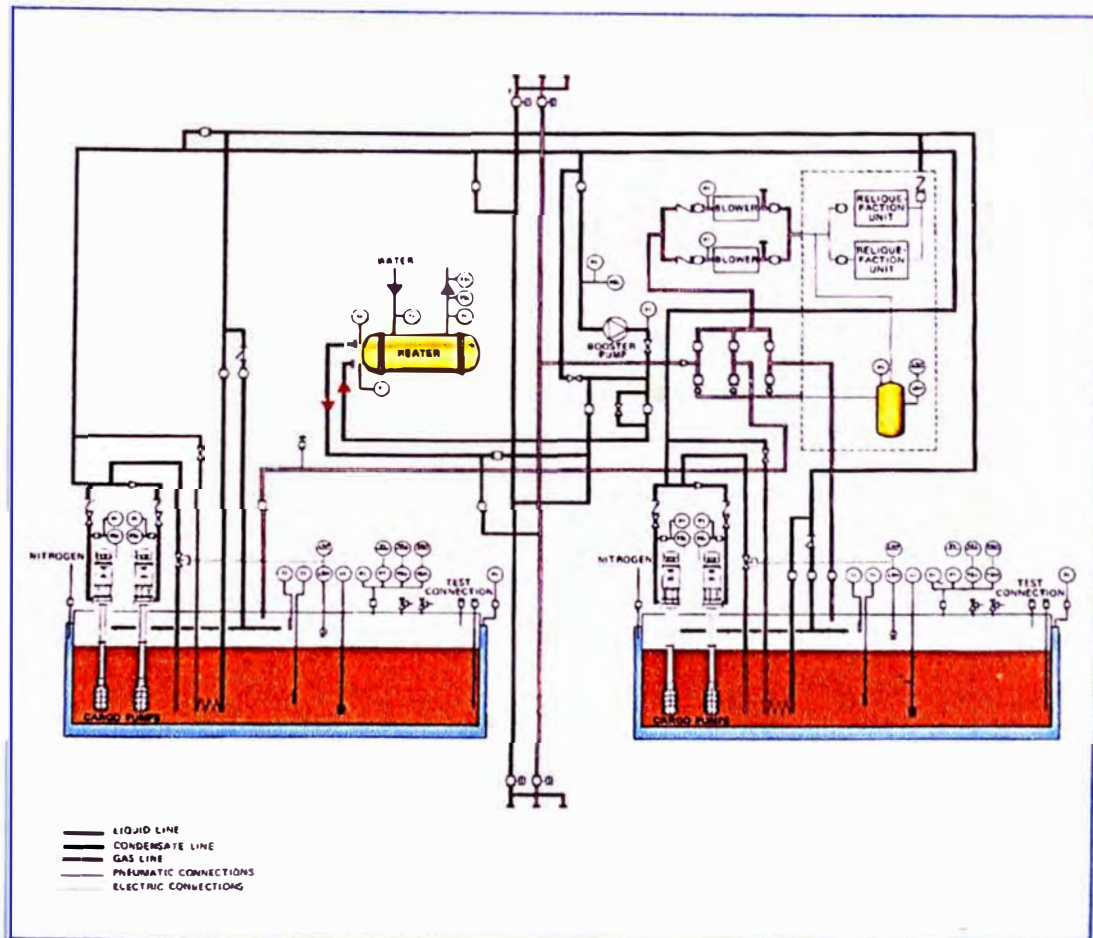
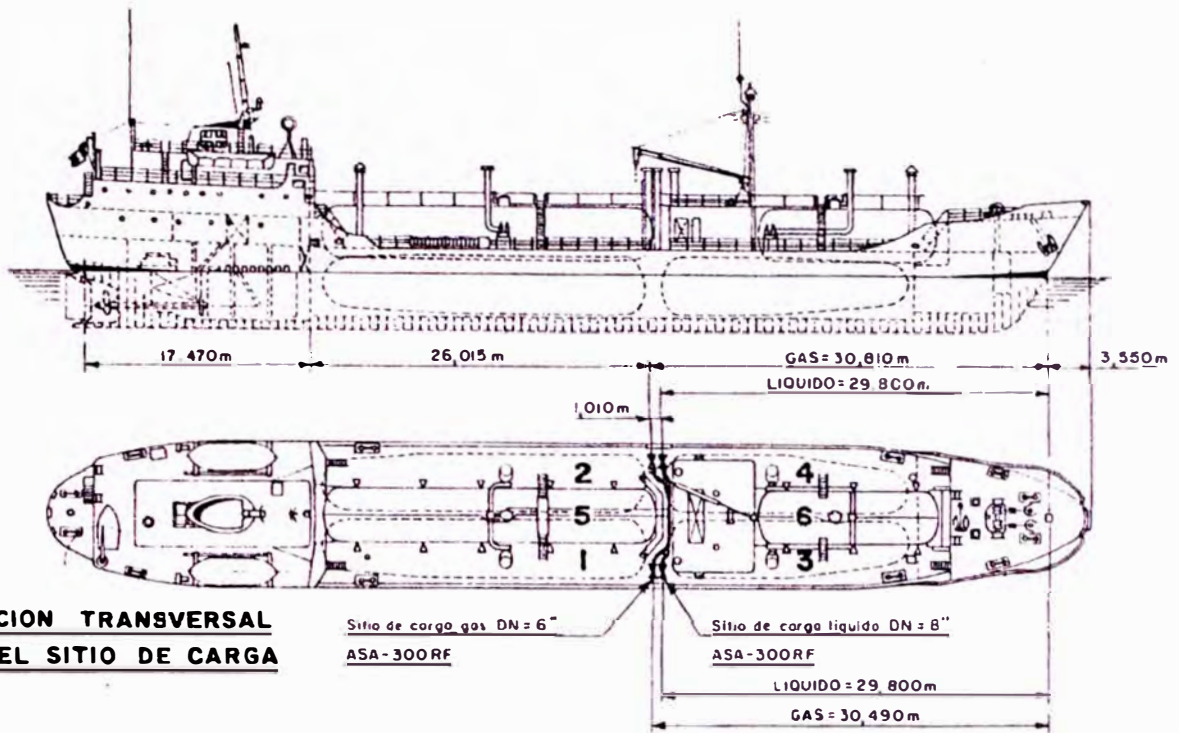
Europe

FMC Technologies SA
Route des Clérimois -BP 705
89107 Sens Cedex (France)
Phone : 33 (0)3 86 95 87 00
Fax : 33 (0)3 86 95 19 16

USA

FMC Technologies Inc.
1803 Gears Road
Houston, TX 77067 (USA)
Phone : 281 405 3030
Fax : 281 405 3031

.fmctechnologies.com



Combustion air requirements

Soem H. Tan*

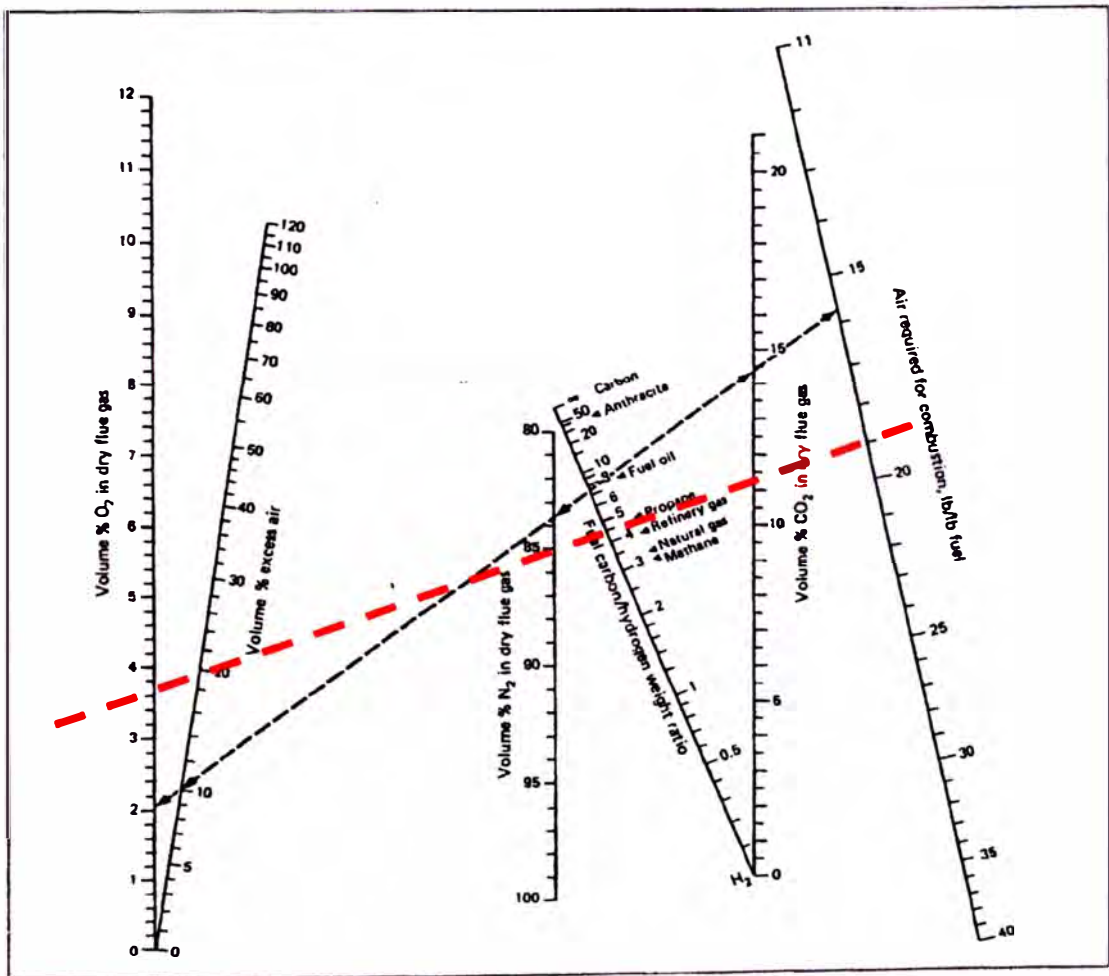
□ Estimating the combustion air requirement and resultant flue-gas composition for fuel burning is simplified by the following nomograph. By aligning fuel C/H ratio with percent excess air required, the number of pounds of air needed to burn one pound of fuel is determined, as is the volume % oxygen, carbon dioxide and nitrogen of the flue gas, on a dry basis.

Air requirements vary with the amount of excess air required to ensure complete combustion and full utilization of the fuel's heating value. The excess air required depends on the type of fuel, furnace and burner. For instance, fuel oil requires from 5 to 20% excess air, depending on burner design¹.

In practice, excess air is monitored by measuring the concentration of oxygen or carbon dioxide in the flue gas, using a continuously indicating analyzer or an

*Conradine, D. M., ed. "Energy Technology Handbook." McGraw-Hill, New York, 1977, pp. 9-46.

*San Marino, CA 91108.



APENDICE VII

Apéndice 7.1

Apéndice 7.2

TABLA III
Distancias típicas entre distintas unidades

		<i>Metros</i>
—Área de plantas		15
—Calderas y hornos		15
—Antorchas	A unidades adyacentes, carreteras principales o límites de batería	30
—Gasómetros		30
—Torres de refrigeración		30
—Plantas de efluentes		15
<hr/>		
Zonas de carga		15
Almacenes		30
Oficinas y cantinas	A las unidades de proceso	30
Centros Médicos		30
Garajes		30
Estación de Bomberos		30
Talleres		30
Carreteras principales		12
<hr/>		
Carreteras principales	A la línea de edificación, excluidas zonas de carga	9
Pasos		1,5
Ferrocarriles		15
<hr/>		
Carreteras	Del eje al punto de carga	7
Zonas pavimentadas		4
Ferrocarriles		4,6

TABLA IV
Limitaciones típicas para disposiciones preliminares (13)
Nota: L = Longitud máxima de internos o partes desmontables

<i>Equipo</i>	<i>Seguridad</i>	<i>Elevación</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Vertical</i>	<i>NOTAS</i>
Centrífugas Machacadoras Molinos		—	3 m	2 m + L	5 m de acceso
Secadores		—	1,5 m + L	2 m + L	2,5 m a las paredes
Columnas		—	1,5 m	—	3 m entre columnas 400 m ² de almacenamiento de relleno
Hornos	15 m al peligro (Ver (1))	—	3 m	—	Dos veces el ancho entre ejes de hornos adyacentes
Reactores y recipientes con agitador	15 m al peligro	—	1,5 m	3 m + L	4 m de acceso 40 m ² por cada 1.000 pies cúbicos de reactor
Cambiadores		—	1,5 m + L 1,5 m a los lados	1,5 m	
Tanques	Ver (1)	—	Medio diámetro entre tanques		
Bombas		Comprobar NPSH	2 m del lado del motor 1,5 m a los lados		
Filtros			1,5 m + L		
Compresores			1,5 m + L	3 m + L	Dos veces el ancho entre ejes de compresores adyacentes

APENDICE VIII

Apéndice 8.1

Apéndice 8.2

Tabla 8.5

Tabla 8.6

Tabla 8.7

Tabla 8.8

Tabla 8.9

Tabla 8.10

Tabla 8.11

Tabla 8.12

Tabla 8.13

Tabla 8.14

Tabla 8.15

TIRE

TABLA 8.15
FLUJO DE CAJA DE INVERSIÓN (Miles de US\$)

CON PROYECTO

INVERSION FIJA	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Moneda Extranjera	-5983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2991.5
Moneda Nacional	-3989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1994.5
Total de Inversion Fija	-9972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4986
CAPITAL DE TRABAJO											
Inversion	0	-833	0	0	0	0	0	0	0	0	833
Flujo de Caja en Inversion	-9972	-833	0	0	0	0	0	0	0	0	5819

SIN PROYECTO

INVERSION FIJA	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Moneda Extranjera	0	0	0	0	0	-2000	-2000	0	0	0	1200
Moneda Nacional	0	0	0	0	0	-1750	-1750	0	0	0	1050
Total de Inversion Fija	0	0	0	0	0	-3750	-3750	0	0	0	2250
CAPITAL DE TRABAJO											
Inversion	0	-524	0	0	0	0	0	0	0	0	524
Flujo de Caja en Inversion	0	-524	0	0	0	-3750	-3750	0	0	0	2774

FLUJO MARGINAL	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
FLUJO CON PROYECTO	-9972	-833	0	0	0	0	0	0	0	0	5819
FLUJO SIN PROYECTO	0	-524	0	0	0	-3750	-3750	0	0	0	2774
FLUJO MARGINAL EN INVERSION	-9972	-309	0	0	0	3750	3750	0	0	0	3045

TABLA 8.16
FLUJO ECONOMICO NETO (Miles de US\$)

FLUJO MARGINAL	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
EN OPERACIONES	0	2426	2426	2426	2426	2426	2426	2426	2426	2426	2426
EN INVERSIONES	-9972	-309	0	0	0	3750	3750	0	0	0	3045
NETO	-9972	2117	2426	2426	2426	6176	6176	2426	2426	2426	5471

ANALISIS ECONOMICO

1. VALOR PRESENTE NETO

	TIR	V.P.N.
2.0%	0.020	20332.82
4.0%	0.040	16835.96
6.0%	0.060	13902.66
8.0%	0.080	11430.59
10.0%	0.100	9338.07
12.0%	0.120	7559.48
14.0%	0.140	6041.86
16.0%	0.160	4742.21
18.0%	0.180	3625.44
20.0%	0.200	2662.79
22.0%	0.220	1830.56
24.0%	0.240	1109.14
26.0%	0.260	482.22
27.0%	0.270	199.86
27.7%	0.277	13.42
27.8%	0.278	-12.49
28.0%	0.280	-63.80
30.0%	0.300	-540.32
32.0%	0.320	-956.96
34.0%	0.340	-1321.82
36.0%	0.360	-1641.77

2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR): 27.70%

3. EL RETORNO DE LA INVERSION : 4 Años

INFORMACION TECNICA

**BUTT WELDING END PREPARATION
FOR
Manual Shielded Metal-Arc and Automatic Submerged Arc Welding**



FIG. 1

For wall thickness up through 1/2" nominal

With a split back ring or without a backing ring. When the internal misalignment of pipe wall exceeds 1/8" the pipe with the smaller internal diameter should be trimmed.

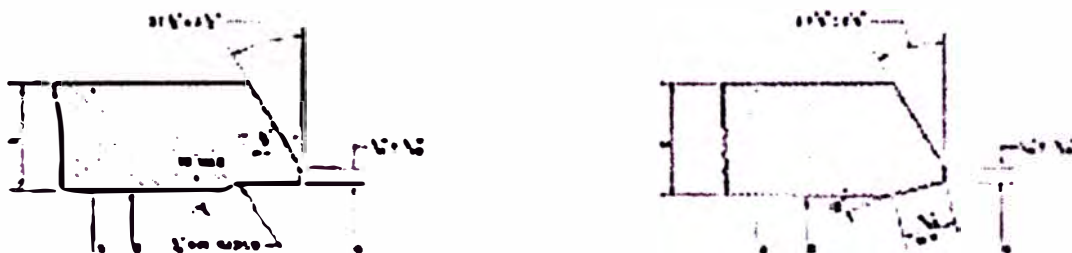


FIG. 2

For wall thicknesses over 1/2" through 1.0" nominal

With a flat or 10° tapered continuous backing ring.

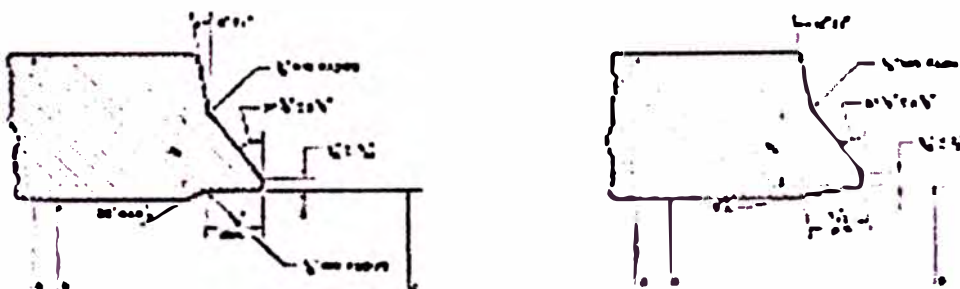


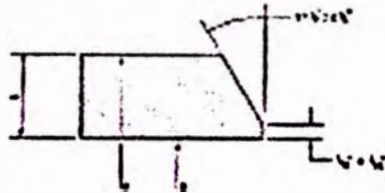
FIG. 3

For wall thickness over 1.0" nominal

When the thickness at the welding end of a valve, fitting, or flange is greater than that of the pipe and the additional thickness increases the outside diameter, a taper weld having a slope not exceeding 3 to 1 may be employed or, alternatively, the greater outside diameter may be tapered, at the same maximum slope of

3 to 1, from a point on the welding level equal to the O.D. of the mating pipe. Similarly, when the greater thickness is provided on the inside of the valve, fitting, or flange, it shall be tapered from the welding end at a slope not exceeding 3 to 1.

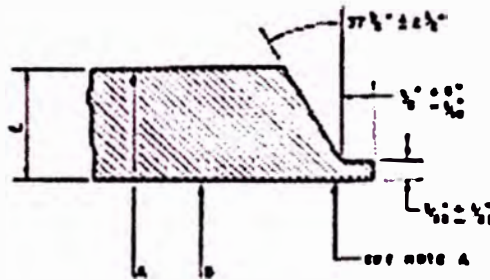
**BUTT WELDING END PREPARATION
FOR
Manual Inert-Gas Tungsten-Arc Root Pass Welding**



Root Face Spacing = 0.00"

FIG. 3

For wall thicknesses of $\frac{1}{8}$ to $\frac{1}{2}$ "
With or without consumable insert rings and/or I.D. purging



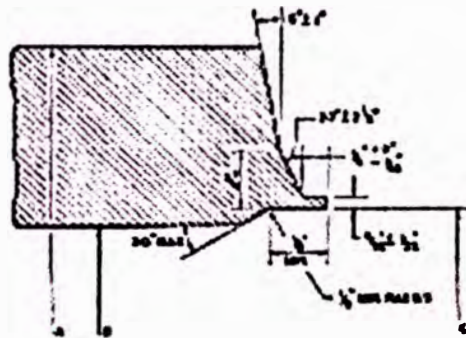
Root Face Spacing = 0.00"

FIG. 5

For wall thicknesses over $\frac{1}{2}$ through $\frac{1}{2}$ "

With or without consumable insert rings and/or I.D. purging.

NOTE A: I.D. machining should be performed where the inside misalignment of wall would otherwise exceed $\frac{3}{16}$ " without insert ring usage or $\frac{1}{16}$ " with insert ring usage.



Root Face Spacing = 0.00"

FIG. 6

For wall thicknesses over $\frac{1}{2}$ "

With or without consumable insert rings and/or I.D. purging.

When the thickness at the welding end of a valve, flange, or fitting is greater than that of the pipe and the additional thickness increases the outside diameter, a taper will having a slope not exceeding 3 to 1 may be employed or, alternatively, the greater outside diameter may be tapered at the same maximum slope of

less from a point on the welding bevel equal to the O.D. of the mating pipe. Similarly, when the greater thickness is provided on the inside of the valve, fitting, or flange, it shall be tapered from the welding end at a slope not exceeding 3 to 1.

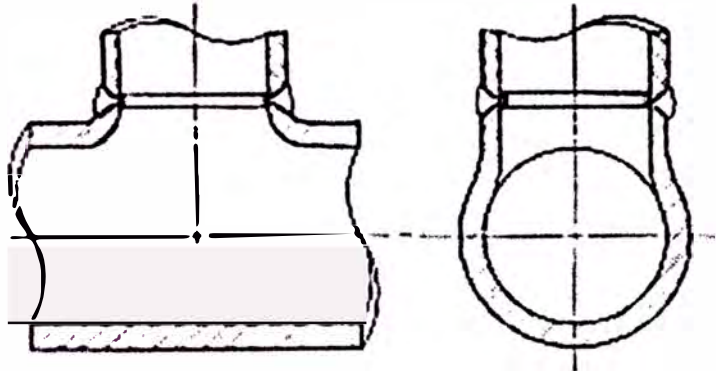
TYPICAL DETAILS OF BRANCH CONNECTIONS

For all 90° nozzle connections, preference shall be given to the extruded type because of its increased strength and smooth flow characteristics. The selection of an extruded type nozzle is limited by a slight reduction of the outlet wall thickness. The final

outlet wall thickness will be no less than 75% of the run wall thickness.

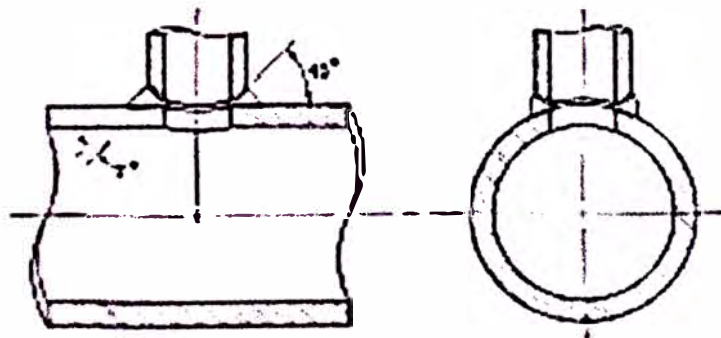
Nozzle connections shall be either the welded or the extruded type. Both types of nozzles shall be reinforced when required by Code.

Extruded Nozzle



Welded Nozzle

Branch size is one-half of run size or less (See Note 1.)

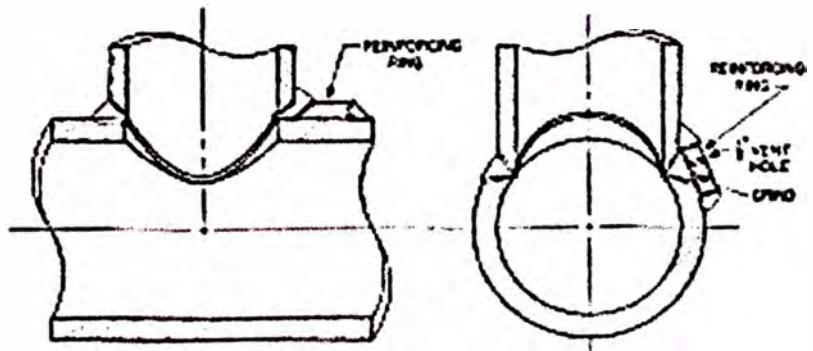


Welded Nozzle

Branch size is greater than one-half of run size. (See Note 1.)

Note 1: When additional reinforcement is required by code, use a saddle when available, or externally applied, otherwise use a special designed ring or pad.

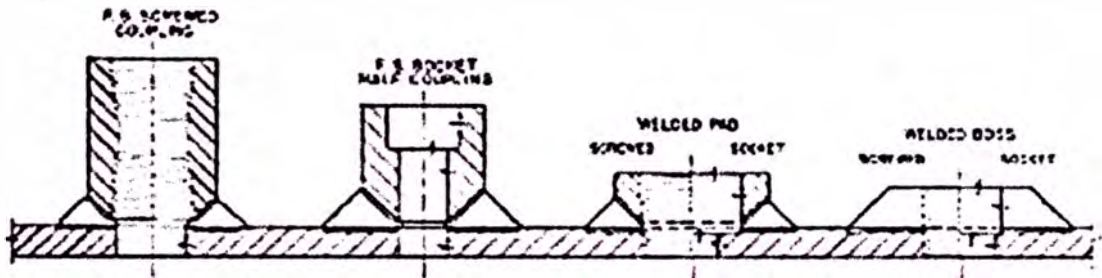
*Plate thickness "T" shall not be less than the smaller of $\frac{1}{4}$ inch or 0.2 times the transition required wall thickness of the branch.



BRANCH AND FLANGE CONNECTIONS

Small Branch Connections

Preference shall be given to the F.S. Coupling connections which will be furnished unless otherwise specified.



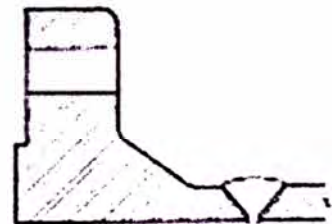
Note: The height of welded pads or bosses above the outside diameter of the run pipe shall never be less than required by ASA Standards for full threads or full socket depth.

Socket Weld Fitting



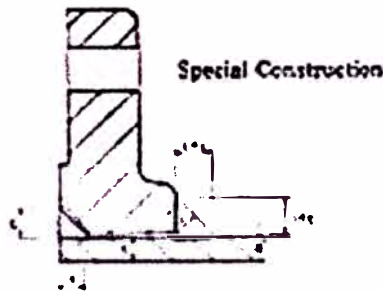
F.S. Welding Neck Flange

(See welding with or without locking ring)

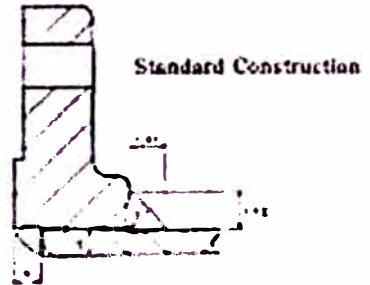


F.S. Slip-on Flanges

Refer to applicable Code for limits on use of Slip-on Flanges.

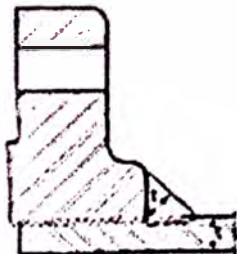


Special Construction

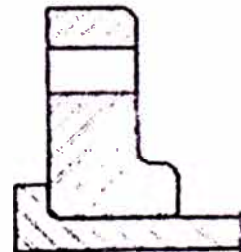


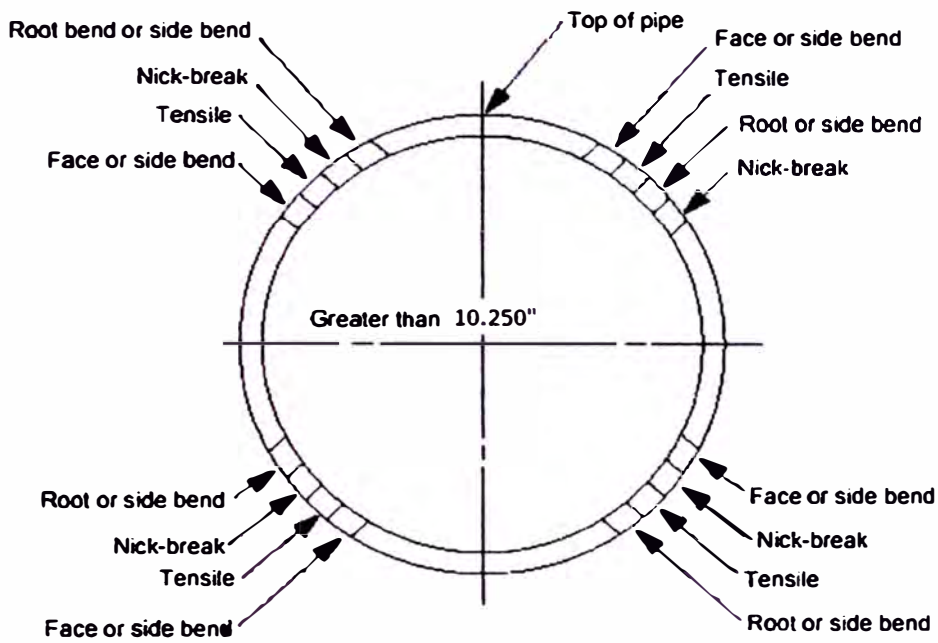
Standard Construction

F.S. Screwed Flange



Fabricated Lap Joint and F.S. Lap Joint Flange





DISRIBUCION DE PROBETAS

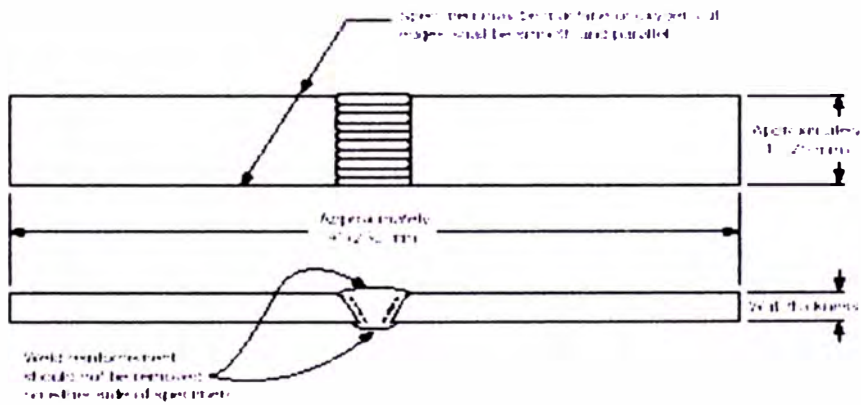


Figure 4—Tensile-Strength test Specimen

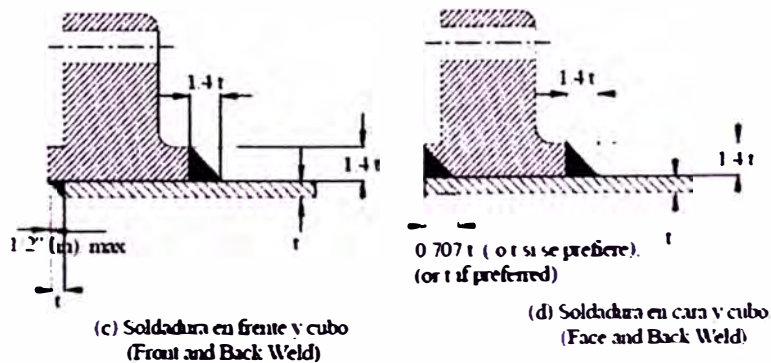


FIG 16 (c y d) DETALLES RECOMENDADOS PARA FIJACION DE BRIDAS
(RECOMMENDED ATTACHMENT DETAILS OF FLANGES)

Reference: API Standard 1104, § 2

PROCEDURE SPECIFICATION NO. _____

For _____ Welding of _____ Pipe and Flange

Process _____

Material _____

Pipe outside diameter and wall thickness _____

Joint design _____

Filler metal and no. of beads _____

Electrical or flame characteristics _____

Position _____

Direction of welding _____

No. of passes _____

Time lapse between passes _____

Type and removal of lineup clamp _____

Cleaning and/or grinding _____

Preheat/Post heat _____

Shielding gas and flow rate _____

Shielding flux _____

Speed of travel _____

Plasma gas composition _____ Plasma gas flow rate _____

Plasma gas orifice size _____

Sketches and tabulations attached _____

Tested _____

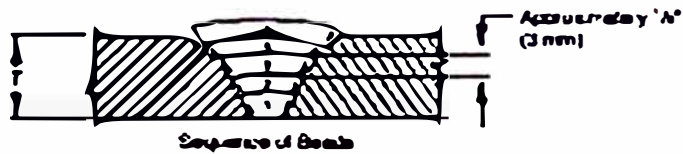
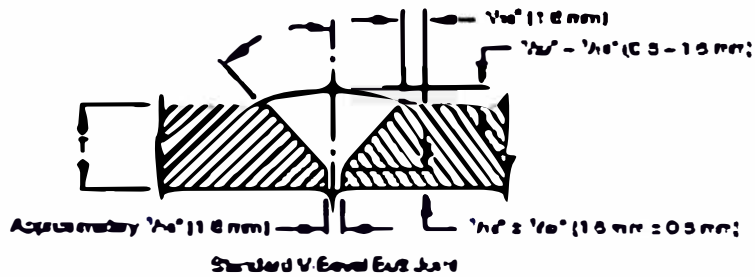
Approved _____

Advised _____

Welder _____

Welding supervisor _____

Chief engineer _____



Note: Dimensions are for example only

ELECTRODE SIZE AND NUMBER OF BEADS

Bead Number	Electrode Size and Type	Voltage	Amperage and Polarity	Speed

Figure 1 - Sample Procedure Specification Form



Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas

Nombre común: **AMONIACO**

(AMMONIA)

Sinónimo: Amoniaco anhidro

Número CAS: 7664-41-7

Nombre químico: Amoniaco

Número Derecho a Saber: 0084

Fecha: septiembre de 2007

Traducción: marzo de 2009

Número DOT: UN 1005

Descripción y uso

El amoníaco es un gas incoloro con un olor fuerte, acre e irritante. Se utiliza con frecuencia en solución acuosa. Se utiliza en fertilizantes, como refrigerante, y en la fabricación de plásticos, tintes, textiles, detergentes y pesticidas.

► UMBRAL DE OLOR = 5 ppm

- El valor del umbral de olor puede variar mucho. No dependa en olor solamente para determinar una exposición potencialmente peligrosa.

Fuentes que lo citan

- El amoníaco figura en la *Lista de sustancias peligrosas del Derecho a Saber (Right to Know Hazardous Substance List)*, ya que ha sido citado por los siguientes organismos: OSHA, ACGIH, DOT, NIOSH, DEP, IRIS, NFPA y EPA.
- Esta sustancia química figura en la *Lista de sustancias extremadamente peligrosas para la salud (Special Health Hazard Substance List)*.

VÉASE EL GLOSARIO EN LA PÁGINA 4.

PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos

- Enjuague los ojos inmediatamente con abundante agua por un mínimo de 30 minutos, levantando los párpados superiores e inferiores. Retire las lentes de contacto al enjuagar, si las usa. Busque de inmediato atención médica.

Contacto con la piel

- Sumerja la parte afectada en agua tibia. Busque atención médica.

Inhalación

- Retire a la víctima del lugar de exposición.
- Si se ha detenido la respiración, inicie la respiración de rescate (utilizando precauciones universales) y si se ha detenido la acción cardíaca, inicie la reanimación cardiopulmonar.
- Traslade inmediatamente a la víctima a un centro de atención médica.
- Se recomienda observación médica por 24 a 48 horas después de la sobreexposición, ya que un edema pulmonar puede tardar en aparecer.

TELÉFONOS DE EMERGENCIA

Control de Intoxicaciones: 1-800-222-1222

CHEMTREC: 1-800-424-9300

Teléfono de emergencia del DEP: 1-877-927-6337

Centro Nacional de Respuesta: 1-800-424-8802

PERSONAL DE EMERGENCIA >>>> PÁGINA 6

Resumen de riesgos

Evaluación	Departamento	NFPA
SALUD	-	3
INFLAMABILIDAD	-	1
REACTIVIDAD	-	0

CORROSIVO
 PUEDE INFLAMARSE Y ARDER CON FUERZA.
 AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS.
 AL INCENDIARSE, LOS RECIPIENTES PUEDEN EXPLOTAR.

Claves para la evaluación de riesgos: 0=mínimo; 1=poco; 2=moderado; 3=grave; 4=extremo

- El amoníaco puede afectarle al inhalarlo.
- El contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras en la piel y los ojos con la posibilidad de daño ocular.
- La inhalación de amoníaco puede irritar la nariz y la garganta.
- La inhalación de amoníaco puede irritar los pulmones. La exposición más alta podría causar edema pulmonar, lo que constituye una emergencia médica caracterizada por acumulación de líquido en los pulmones.
- La exposición repetida podría causar una alergia de tipo asmático y llevar a daño pulmonar.
- El contacto con el amoníaco líquido puede causar congelación.

Límites de exposición laboral

OSHA: El PEL es de 50 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas.

NIOSH: El REL es de 25 ppm como promedio durante un turno laboral de 10 horas y de 35 ppm, que no debe excederse durante ningún periodo laboral de 15 minutos.

ACGIH: El TLV es de 25 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas y el STEL es de 35 ppm.

Cómo saber si está expuesto

- ▶ Lea la hoja de datos (MSDS) publicada por el fabricante del producto y la etiqueta del producto para determinar cuáles sustancias contiene y para familiarizarse con información importante sobre la mezcla, los efectos sobre la salud y la seguridad.
- ▶ Lea sobre cada sustancia química que contiene el producto en la correspondiente hoja informativa del Departamento que está disponible en el sitio web del programa Derecho a Saber (www.nj.gov/health/eoh/rtkweb) o en un archivo central en su lugar de trabajo, conforme a la ley del Derecho a Saber o la norma sobre la comunicación de riesgos.
- ▶ Si trabaja en el sector público en Nueva Jersey tiene el derecho a esta información según las leyes WCRTK y PEOSHA; si trabaja en el sector privado, la ley OSHA le otorga este derecho.
- ▶ La ley WCRTK exige a la mayoría de los empleadores que rotulen los recipientes de las sustancias químicas en el lugar de trabajo y exige a los empleadores públicos que proporcionen a sus empleados información y capacitación acerca de los peligros y controles de las sustancias químicas. La norma federal de comunicación de riesgos de la OSHA (29 CFR 1910.1200) exige a los empleadores privados que proporcionen a sus empleados capacitación e información similares.

La presente hoja informativa contiene un resumen de la información disponible sobre los riesgos para la salud que puedan resultar de la exposición. La duración de la exposición, concentración de sustancia y otros factores pueden afectar su sensibilidad a todos los efectos potenciales descritos a continuación.

Riesgos para la salud

Efectos agudos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco después de la exposición al amoniaco:

- ▶ El contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras en la piel y los ojos con la posibilidad de daño ocular.
- ▶ La inhalación de amoniaco puede irritar la nariz y la garganta, causando tos y respiración con silbido.
- ▶ La inhalación de amoniaco puede irritar los pulmones, causando tos o falta de aire. La exposición más alta podría causar edema pulmonar, lo que constituye una emergencia médica caracterizada por acumulación de líquido en los pulmones y una intensa falta de aire.
- ▶ El contacto con el amoniaco líquido puede causar congelación.

Efectos crónicos sobre la salud

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición al amoniaco y pueden durar meses o años:

Riesgo de cáncer

- ▶ Según la información actualmente disponible al Departamento, no se han realizado pruebas para determinar si el amoniaco tiene la capacidad de causar cáncer en animales.

Riesgo para la salud reproductiva

- ▶ Aunque se ha sometido el amoniaco a pruebas, no se puede clasificar el potencial de causar daño a la salud reproductiva.

Otros efectos

- ▶ El amoniaco podría causar una alergia de tipo asmático. La exposición posterior puede causar crisis asmáticas con falta de aire, respiración con silbido, tos u opresión en el pecho.
- ▶ La exposición repetida puede llevar a daño pulmonar permanente.

Recomendaciones médicas

Exámenes médicos

Antes de comenzar un trabajo y en adelante a intervalos regulares, si la exposición es frecuente o si existe la posibilidad de alta exposición (la mitad del TLV o una cantidad superior), se recomienda lo siguiente:

- ▶ Pruebas de función pulmonar. Los resultados pueden ser normales si la persona no sufre un ataque durante la prueba.

En caso de síntomas o posible sobreexposición, se recomienda lo siguiente:

- ▶ Considere realizar una radiografía de tórax después de la sobreexposición aguda

Todas las evaluaciones deben incluir una historia detallada de los síntomas anteriores y actuales, junto con un examen. Los exámenes médicos que buscan daños ya causados no sirven como sustituto del control de la exposición.

Pida fotocopias de sus exámenes médicos. Usted tiene el derecho a esta información según la norma de acceso a los registros de exposición y la historia clínica del empleado de la OSHA (29 CFR 1910.1020).

Fuentes de exposición múltiples

- ▶ Ya que el fumar puede causar enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, enfisema y otros problemas respiratorios, podría agravar las afecciones respiratorias causadas por la exposición química. Aun si lleva mucho tiempo fumando, si deja de fumar hoy su riesgo de sufrir problemas de salud disminuirá.

Controles y prácticas laborales

Si una sustancia química es muy tóxica, presenta un riesgo para la salud reproductiva o es sensibilizante, debe sustituirse por una sustancia menos tóxica. Si no puede sustituirse, es necesario obtener recomendaciones de expertos sobre las medidas de control, que incluyen: (1) aislar los procesos químicos si la sustancia es extremadamente irritante o corrosiva, (2) usar ventilación por extracción localizada si una sola exposición puede ser perjudicial y (3) usar ventilación general para controlar la exposición si la sustancia puede causar irritación en la piel y los ojos. Para obtener más información sobre controles laborales, consulte el documento del NIOSH

sobre el control por zonas en www.cdc.gov/niosh/topics/ctrlbanding/.

Además, se recomiendan las siguientes prácticas laborales:

- ▶ Rotule los recipientes de proceso.
- ▶ Proporcione a los empleados información y capacitación sobre los riesgos.
- ▶ Controle las concentraciones en el aire de las sustancias químicas.
- ▶ Use controles de ingeniería si las concentraciones exceden los niveles de exposición recomendados.
- ▶ Proporcione lavajos y duchas de emergencia.
- ▶ Lávese o dúchese si la piel entra en contacto con un material peligroso.
- ▶ Siempre lávese al final del turno laboral.
- ▶ Si se contamina la ropa, quítese la ropa contaminada y póngase ropa limpia.
- ▶ No lleve a casa la ropa contaminada.
- ▶ Es necesario tener capacitación especial para lavar la ropa contaminada.
- ▶ No coma, fume o beba en áreas donde se manipulen, procesen o almacenen las sustancias químicas.
- ▶ Lávese las manos con cuidado antes de comer, fumar, beber, maquillarse o usar el baño.

Además, lo siguiente puede ser útil o necesario:

- ▶ La OSHA exige controles de ingeniería específicos para esta sustancia química. Consulte la norma de gases comprimidos de la OSHA (29 CFR 1910.101).

Equipo de protección individual

La norma de equipo de protección individual de la OSHA (29 CFR 1910.132) exige a los empleadores que determinen el equipo de protección individual adecuado para cada situación riesgosa y que capaciten a los empleados sobre cómo y cuándo usarlo.

Las siguientes recomendaciones sirven sólo de guía y quizás no se apliquen a todas las situaciones.

Guantes y ropa

- ▶ Evite el contacto de la piel con amoníaco. Use equipos de protección individual de materiales que no puedan ser permeados ni degradados por esta sustancia. Los proveedores o fabricantes de equipos de seguridad pueden ofrecer recomendaciones acerca del material para guantes o ropa que provea la mayor protección para su función laboral.
- ▶ Los fabricantes de equipo de seguridad recomiendan guantes de nitrilo, neopreno, butilo o una combinación de butilo y neopreno o Viton y neopreno y ropa de protección de Dupont Tychem® CPE y Kappler Zytron® 500.
- ▶ Si existe la posibilidad de exposición a equipos, vapores o líquidos fríos, los empleados deben estar provistos con ropa especial que impida la congelación de los tejidos corporales.
- ▶ Toda la ropa de protección (trajes, guantes, calzado, protección para la cabeza) debe estar limpia, disponible todos los días y debe ponerse antes de comenzar a trabajar.

Protección ocular

- ▶ Cuando trabaje con humos, gases o vapores, use gafas de protección antiimpacto sin ventilación.

- ▶ Cuando trabaje con sustancias corrosivas, sumamente irritantes o tóxicas, use una pantalla facial junto con gafas de protección.
- ▶ Cuando trabaje con esta sustancia, no use lentes de contacto.

Protección respiratoria

El uso incorrecto de los equipos de respiración es peligroso. Sólo deben usarse si el empleador tiene un programa por escrito que tome en cuenta las condiciones laborales, los requisitos de capacitación de los trabajadores, las pruebas de ajuste de los equipos de respiración y los exámenes médicos, según se describen en la norma de protección respiratoria de la OSHA (29 CFR 1910.134).

- ▶ Si existe la posibilidad de una exposición superior a **25 ppm**, use un equipo de respiración de máscara completa aprobado por el NIOSH con un cartucho específicamente aprobado para amoníaco. Un equipo de respiración purificador de aire con aire forzado y máscara completa ofrece mayor protección.
- ▶ Abandone el área de inmediato si (1) al usar un equipo de respiración de filtro o cartucho puede oler el amoníaco, percibir su sabor o detectarlo de cualquier manera, (2) al usar filtros de partículas siente una resistencia respiratoria anormal o (3) al usar un equipo de respiración de máscara completa siente irritación ocular. Verifique que no haya una fuga de aire entre la cara y los extremos de la pieza facial. Si no la hay, cambie el filtro o el cartucho. En caso contrario, puede necesitar otro equipo de respiración.
- ▶ Tenga en cuenta todas las posibles fuentes de exposición en el lugar de trabajo. Puede necesitar una combinación de filtros, prefiltros o cartuchos para protegerse contra las diversas formas de una sustancia química (tales como vapores o nieblas) o contra una mezcla de sustancias químicas.
- ▶ Si existe la posibilidad de una exposición superior a **250 ppm**, use un equipo de respiración suministrador de aire con máscara completa, aprobado por el NIOSH, en modo de presión a demanda u otro modo de presión positiva. Para obtener mayor protección, use en combinación con un equipo de respiración autónomo con una botella de emergencia, en modo de presión a demanda u otro modo de presión positiva.
- ▶ La exposición a **300 ppm** constituye un peligro inmediato para la vida y la salud. Si existe la posibilidad de una exposición superior a **300 ppm**, use un equipo de respiración autónomo de máscara completa, aprobado por el NIOSH, en modo de presión a demanda u otro modo de presión positiva, equipado con una botella de emergencia.

Riesgo de incendio

Si los empleados tienen la responsabilidad de extinguir los incendios, deben estar capacitados y equipados según se estipula en la norma de cuerpos de bomberos de la OSHA (29 CFR 1910.156).

- ▶ Aunque el amoníaco no es inflamable, PUEDE INFLAMARSE Y ARDER CON FUERZA.
- ▶ Detenga el flujo de gas o deje que se queme.
- ▶ AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS, entre otros los óxidos de nitrógeno.
- ▶ AL INCENDIARSE, LOS RECIPIENTES PUEDEN EXPLOTAR.

- ▶ Use agua rociada para mantener fríos los recipientes expuestos al incendio, y para absorber y dispersar los vapores.

Derrames y emergencias

Si los empleados tienen la responsabilidad de limpiar los derrames, deben estar debidamente capacitados y equipados. Puede aplicarse la norma de manejo de desechos peligrosos y respuesta de emergencia de la OSHA (29 CFR 1910.120).

En caso de fuga de amoníaco, tome las siguientes medidas:

- ▶ Evacue al personal. Controle e impida el acceso a la zona.
- ▶ Ventile el área de fuga para dispersar los gases.
- ▶ Detenga el flujo de gas. Si la fuga está en un cilindro y no puede detenerse sin mover el cilindro, retírelo a un lugar seguro al aire libre y repárelo o permita que se vacíe.
- ▶ Neutralice los derrames líquidos pequeños con ácido clorhídrico. Limpie con un trapeador o use aspiradores de agua.
- ▶ Use agua rociada para mantener fríos los cilindros o los tanques. Aleje los cilindros del incendio si no hay riesgo.
- ▶ Puede ser necesario contener y eliminar el amoníaco como DESECHO PELIGROSO. Para obtener recomendaciones específicas, comuníquese con el DEP del estado o la oficina regional de la EPA de los Estados Unidos.

Manipulación y almacenamiento

Antes de trabajar con amoníaco, debe estar capacitado en la manipulación y el almacenamiento adecuados de esta sustancia química.

- ▶ El amoníaco reacciona de forma violenta con HALÓGENOS (tales como FLÚOR, CLORO y BROMO); ÁCIDOS (tales como CLORURO DE HIDRÓGENO, FLUORURO DE HIDRÓGENO y BROMURO DE HIDRÓGENO); CLORURO DE NITROSILO; CLORURO DE CROMILO; DICLORURO DE TRIOXÍGENO; DIÓXIDO DE NITRÓGENO; TRICLORURO DE NITRÓGENO; PENTAFLUORURO DE BROMO; TRIFLUORURO DE CLORO; e HIPOCLORITO DE CALCIO.
- ▶ Forma compuestos explosivos que son sensibles a la presión y a la temperatura con MERCURIO; ÓXIDOS DE ORO; y ÓXIDOS y SALES DE PLATA.
- ▶ El amoníaco es incompatible con CLOROFORMIATOS; CIANUROS; AGENTES OXIDANTES (tales como PERCLORATOS, PERÓXIDOS, PERMANGANATOS, CLORATOS y NITRATOS); SULFATO DE DIMETILO; y MUCHOS METALES y sus ALEACIONES (tales como ZINC, COBRE y LATÓN).
- ▶ El amoníaco se disuelve en AGUA para liberar calor.
- ▶ Almacene en recipientes bien cerrados en un área fresca y bien ventilada lejos de CALOR, HUMEDAD y LUZ SOLAR DIRECTA.

Recursos de salud ocupacional

La Unidad de Salud Ocupacional del Departamento ofrece múltiples servicios que incluyen recursos de información, materiales educativos, presentaciones públicas, e investigaciones y evaluaciones de salud e higiene industrial.

Para más información, comuníquese con:

New Jersey Department of Health & Senior Services
Right to Know Program
PO Box 368
Trenton, NJ 08625-0368
Teléfono: 609-984-2202
Fax: 609-984-7407
Correo electrónico: rtk@doh.state.nj.us
Dirección web: <http://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb>

Las Hojas Informativas sobre Sustancias Peligrosas no deben ser reproducidas ni vendidas con propósitos comerciales.

Glosario

La **ACGIH**, *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales), publica recomendaciones sobre los límites de exposición ocupacional a las sustancias químicas (valores límites umbrales; véase TLV).

Los **AEGL**, *acute exposure guideline levels* (niveles de referencia para la exposición aguda), son concentraciones de sustancias químicas en el aire establecidas por la EPA, por encima de las cuales las personas expuestas una sola vez, o con muy poca frecuencia, pueden tener efectos adversos sobre la salud.

Un **carcinógeno** (sustancia **cancerígena**) es una sustancia que causa cáncer.

El **CAS** es el *Chemical Abstracts Service* (Servicio de Resúmenes Químicos).

El **CFR**, *Code of Federal Regulations* (Código de Regulaciones Federales), consta de los reglamentos del gobierno estadounidense.

El **CHEMTREC** es el *Chemical Transportation Emergency Center* (Centro para Emergencias en el Transporte de Sustancias Químicas).

Una sustancia **combustible** es un sólido, líquido o gas que puede arder.

Una sustancia **corrosiva** es un sólido, líquido o gas que puede destruir la piel humana o corroer gravemente los recipientes.

La **densidad de vapor** es la relación entre el peso del volumen de dos gases (normalmente uno de ellos es el hidrógeno), en las mismas condiciones de temperatura y presión.

El **DEP** es el *Department of Environmental Protection* (Departamento de Protección del Medio Ambiente) del estado de Nueva Jersey.

El **Departamento** es el *Department of Health and Senior Services* (Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores) de Nueva Jersey.

El **DOT**, *Department of Transportation* (Departamento de Transporte), es la agencia federal que regula el transporte de sustancias químicas.

La **EPA**, *Environmental Protection Agency* (Agencia de Protección del Medio Ambiente), es la agencia federal responsable de regular los riesgos medioambientales.

Los **ESLI**, *end of service life indicators* (indicadores de la terminación de la vida útil), señalan visualmente cuándo debe cambiarse el cartucho.

Los **ERPG**, *emergency response planning guidelines* (valores de planeación para respuesta de emergencia), son estimaciones de rangos de concentraciones entre los cuales uno puede razonablemente anticipar la observación de efectos adversos sobre la salud.

Un **feto** es un ser humano o animal no nacido.

La **Guía**, *Emergency Response Guidebook* (Gula de respuesta en caso de emergencia), es para los que responden primero a los accidentes de transporte de sustancias peligrosas.

La **IARC** es el *International Agency for Research on Cancer* (Agencia Internacional para Investigaciones sobre el Cáncer).

La concentración **IDLH**, *immediately dangerous to life and health*, es la concentración de sustancia que presenta un peligro inminente para la vida y la salud.

Una sustancia **Inflamable** es un sólido, líquido, vapor o gas que se enciende con facilidad y se quema con rapidez.

El **IRIS**, *Integrated Risk Information System* (Sistema Integrado de Información sobre Riesgos), es una base de datos de la EPA que contiene información sobre los posibles efectos sobre la salud humana de la exposición ambiental a diversas sustancias químicas.

El **LIE**, límite inferior de explosividad, es la mínima concentración de sustancia combustible (gases o vapores) en el aire capaz de continuar una explosión.

El **LSE**, límite superior de explosividad, es la máxima concentración de una sustancia combustible (gases o vapores) en el aire capaz de iniciar una reacción o explosión.

mg/m³ significa miligramos de sustancia química por metro cúbico de aire. Es una medida de concentración (peso/volumen).

Una **MSDS**, *Material Safety Data Sheet* (Hoja de Datos de Seguridad del Material), contiene información importante sobre productos químicos y los correspondientes riesgos, efectos sobre la salud y medidas de seguridad.

Un **mutágeno** (sustancia **mutagénica**) causa mutaciones. Una **mutación** es un cambio en el material genético de una célula del organismo. Las mutaciones pueden llevar a malformaciones en recién nacidos, abortos espontáneos o cáncer.

La **NFPA**, *National Fire Protection Association* (Asociación Nacional para la Protección contra Incendios), clasifica las sustancias según el riesgo de incendio y explosión.

El **NIOSH**, *National Institute for Occupational Safety and Health* (Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo), evalúa y aprueba equipos, entre otros los equipos de respiración, realiza estudios sobre los peligros laborales, y propone normas a la OSHA.

La **NRC**, *Nuclear Regulatory Commission* (Comisión de Regulación Nuclear), es una agencia federal que regula las centrales nucleares comerciales y el uso civil de materiales nucleares.

El **NTP**, *National Toxicology Program* (Programa Nacional de Toxicología), somete las sustancias químicas a prueba para determinar el potencial carcinogénico.

La **OSHA**, *Occupational Safety and Health Administration* (Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo), es la agencia federal que aprueba las normas de salud y seguridad e impone el cumplimiento de las mismas. Las siglas también se refieren a la *Occupational Safety and Health Act* (Ley de Salud y Seguridad en el Trabajo).

Los **PAC** son los *protective action criteria* (criterios de acción protectora). Son valores establecidos por el Departamento de Energía que se basan en

los **AEGL** y los **ERPG**. Se utilizan en caso de accidentes con emisión de sustancias químicas.

El **PEL**, *permissible exposure limit* (límite de exposición permisible en el aire), es determinado por la OSHA y es legalmente exigible.

La **PEOSHA**, *Public Employees' Occupational Safety and Health Act*, (Ley de Salud y Seguridad en el Trabajo para los Empleados del Sector Público), adopta normas de salud y seguridad para los trabajos del sector público en Nueva Jersey e impone su cumplimiento.

Permeado(a) se refiere al movimiento de una sustancia química a través de un material de protección.

Las siglas **PIH** significan *poison inhalation hazard* (riesgo de intoxicación por inhalación), que es una clasificación establecida por el DOT.

El **potencial de ionización** es la cantidad de energía necesaria para extraer un electrón de un átomo o una molécula. Se mide en electrón-voltios.

ppm significa partes de una sustancia por millón de partes de aire. Es una medida de concentración por volumen en el aire.

La **presión de vapor** es una medida de la facilidad con que un líquido o sólido se mezcla con el aire. Una presión de vapor más alta indica una concentración más alta de sustancia en el aire y, como consecuencia, mayor riesgo de inhalación.

El **punto de ebullición** es la temperatura a la cual una sustancia puede cambiar de estado físico, pasando de líquido a gas.

El **punto de inflamación** es la temperatura a la cual un líquido o sólido emite vapores que pueden formar una mezcla inflamable con el aire.

Una sustancia **reactiva** es un sólido, líquido o gas que emite energía bajo determinadas condiciones.

El **REL**, *recommended exposure limit* (límite de exposición recomendado), es establecido por el NIOSH para el nivel de una sustancia en el aire. Puede ser un promedio ponderado en el tiempo, límite de exposición a corto plazo o límite máximo.

El **STEL**, *short-term exposure limit* (límite de exposición a corto plazo), es un nivel de exposición establecido para un periodo de tiempo, casi siempre de 15 minutos, que nunca debe excederse durante el día laboral.

Un **teratógeno** (sustancia **teratogénica**) causa daño al feto y malformaciones en recién nacidos.

El **TLV**, *threshold limit value* (valor límite umbral), es el límite de exposición laboral recomendado por la ACGIH.

El **TWA** es el *time-weighted average* (promedio ponderado en el tiempo).

La **WCRTK** es la *Worker and Community Right to Know Act* (Ley del Derecho a Saber para la Comunidad y el Trabajador), una ley de Nueva Jersey que exige a la mayoría de los empleadores que rotulen los recipientes de las sustancias químicas en el lugar de trabajo y exige a los empleadores públicos que proporcionen a sus empleados información y capacitación acerca de los peligros y controles de las sustancias químicas.

Nombre común: **AMONIACO**

Sinónimo: Amoníaco anhidro

Número CAS: 7664-41-7

Fórmula molecular: NH₃

Número Derecho a Saber: 0084

Descripción: Gas incoloro con un olor fuerte, acre e irritante

DATOS SOBRE LOS RIESGOS

Evaluación	Lucha contra incendios	Reactividad
<p>3 - Salud</p> <p>1 - Incendio</p> <p>0 - Reactividad</p> <p>Núm. DOT: UN 1005</p> <p>Núm. de Guía: 125</p> <p>Categoría de riesgo: 2.3 (gases tóxicos)</p>	<p>Gas no inflamable que puede inflamarse y arder con fuerza.</p> <p>Detenga el flujo de gas o deje que se queme.</p> <p>AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS, entre otros los óxidos de nitrógeno.</p> <p>AL INCENDIARSE, LOS RECIPIENTES PUEDEN EXPLOTAR.</p> <p>Use agua rociada para mantener frios los recipientes expuestos al incendio, y para absorber y dispersar los vapores.</p>	<p>El amoníaco reacciona de forma violenta con HALÓGENOS (tales como FLÚOR, CLORO y BROMO); ÁCIDOS (tales como CLORURO DE HIDRÓGENO, FLUORURO DE HIDRÓGENO y BROMURO DE HIDRÓGENO); CLORURO DE NITROSILO; CLORURO DE CROMILO; DICLORURO DE TRIOXÍGENO; DIÓXIDO DE NITRÓGENO; TRICLORURO DE NITRÓGENO; PENTAFLUORURO DE BROMO; TRIFLUORURO DE CLORO; HIPOCLORITO DE CALCIO; y forma compuestos explosivos que son sensibles a la presión y la temperatura con MERCURIO; ÓXIDOS DE ORO; y ÓXIDOS y SALES DE PLATA.</p> <p>El amoníaco es incompatible con CLOROFORMIATOS; CIANUROS; AGENTES OXIDANTES (tales como PERCLORATOS, PERÓXIDOS, PERMANGANATOS, CLORATOS y NITRATOS); SULFATO DE DIMETILO; y MUCHOS METALES y sus ALEACIONES (tales como ZINC, COBRE y LATÓN).</p> <p>El amoníaco se disuelve en AGUA para liberar calor.</p> <p>Mantenga alejado de CALOR, HUMEDAD y LUZ SOLAR DIRECTA.</p>

FUGAS Y DERRAMES

Distancia de aislamiento:

Derrames pequeños: 30 metros (100 pies)

Derrames grandes: 60 metros (200 pies)

Detenga el flujo de gas.

Use agua rociada para absorber y dispersar los vapores.

Peligroso para el medio ambiente.

NO permita que entre en la red de alcantarillado.

PROPIEDADES FÍSICAS

Umbral de olor: Menos de 5 ppm

Punto de inflamación: No inflamable

LIE: 15%

LSE: 28%

Densidad de vapor: 0.6 (aire = 1)

Presión de vapor: 658 mm de Hg a 70°F (21°C)

Solubilidad en agua: Soluble

Punto de ebullición: -28°F (-33.4°C)

Potencial de ionización: 10.18 eV

Autotgnición: 1 204°F (651°C)

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

OSHA: 50 ppm, TWA, 8 h

NIOSH: 25 ppm, TWA, 10 h
STEL 35 ppm

ACGIH: 25 ppm, TWA, 8 h
STEL 35 ppm

Nivel IDLH: 300 ppm

ERPG-1: 10 ppm

ERPG-2: 200 ppm

ERPG-3: 1000 ppm

EQUIPO DE PROTECCIÓN

Guantes: Nitrilo, neopreno, butilo, butilo/neopreno, Viton/neopreno

Overol (mono): Dupont Tychem® CPE y Kappler Zytron® 500

Botas: Butilo/neopreno

Respiración: >25 ppm – equipo de respiración purificador de aire completa y cartuchos para amoníaco
>250 ppm – suministro de aire
>300 ppm – equipo de respiración autónomo

EFFECTOS SOBRE LA SALUD

Ojos: Irritación y quemaduras

Piel: Irritación y quemaduras. El contacto con el líquido causa congelación.

Agudos: Irritación de la nariz, la garganta y el pulmón con tos y falta de aire

Crónicos: Una alergia de tipo asmático con falta de aire, respiración con silbido, tos u opresión en el pecho.

PRIMEROS AUXILIOS Y DESCONTAMINACIÓN

Retire a la víctima del lugar de exposición.

Enjuague los ojos con abundante agua por un mínimo de 30 minutos. Retire las lentes de contacto, si las usa. Busque de inmediato atención médica.

Sumerja la parte afectada en agua tibia si entra con contacto con el líquido.

SI se ha detenido la respiración, inicie la respiración artificial y, en caso necesario, la reanimación cardiopulmonar.

Traslade a la víctima a un centro de atención médica.

Claves para la selección de compresores

El manejo de gases en las plantas de proceso va desde presiones muy altas hasta un vacío en muchas condiciones de flujo. Se presenta un análisis de las características del equipo para hacer una selección preliminar del compresor de tipo y tamaño adecuados

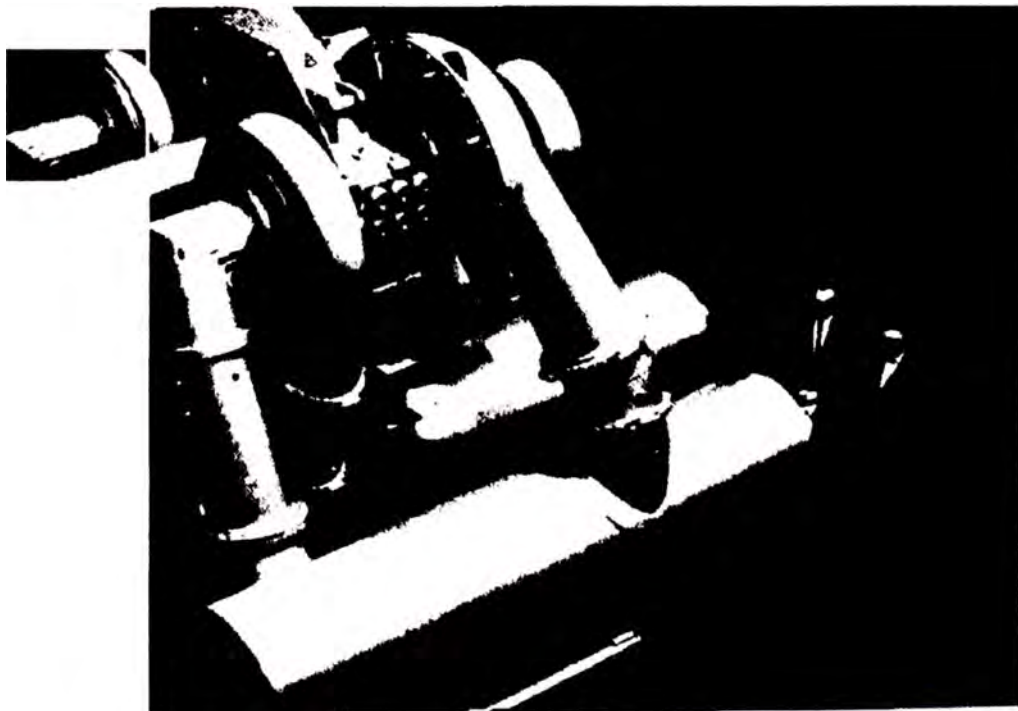
Richard F. Neerken, The Ralph M. Parsons Co.

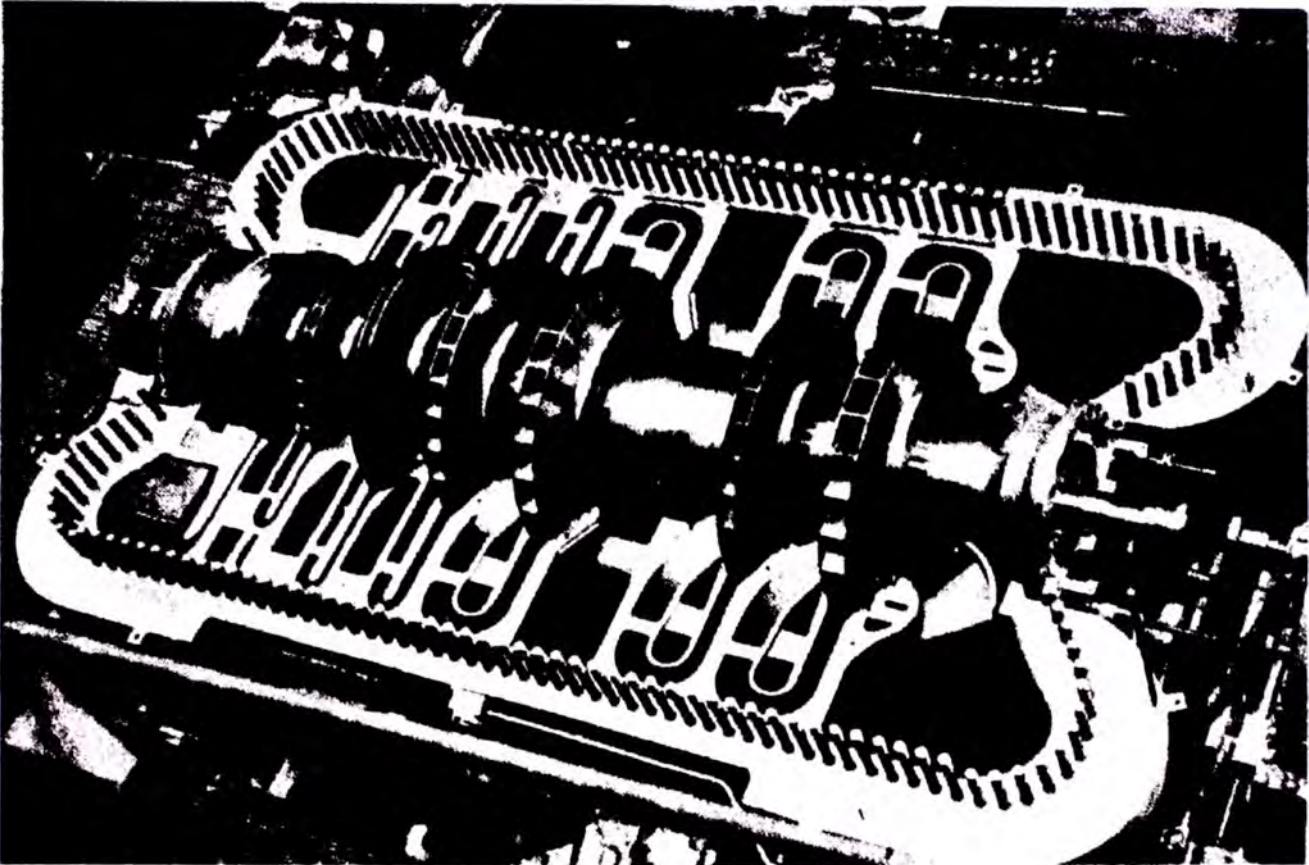
En las industrias de procesos químicos se utilizan compresores de todos los tipos y tamaños para aire y gases.

En este artículo se presentará una descripción general de todos los tipos de compresores, como ejemplos específicos para indicar la forma en que los puede seleccionar

el ingeniero de proyectos. La selección se basa en los fundamentos de la termodinámica, y no se debe considerar que sea tan difícil o complicada, que sólo los fabricantes puedan hacer la elección inicial del compresor para condiciones dadas del proceso.

Algunas aplicaciones típicas son:

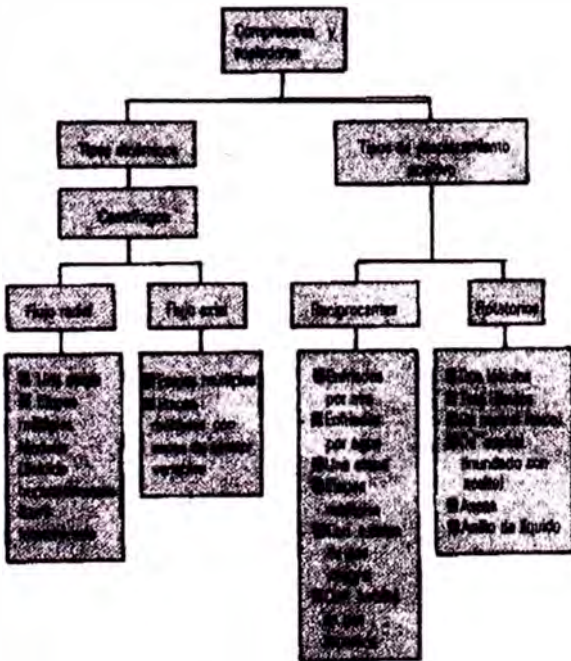




- Compresores de aire para servicios e instrumentos en casi cualquier planta.
- Sopladores sencillos en plantas de recuperación de azufre.
- Sopladores grandes en unidades de craqueo catalítico.

- Compresores de refrigeración de baja temperatura en unidades para etileno, polietileno o p-xileno.
- Compresores de alta presión para gas de alimentación, reforzadores y para gas recirculado en plantas de hidrocarburos, amoniaco y síntesis de metanol.

Los compresores son del tipo dinámico o de desplazamiento positivo (Fig. 1). Los dinámicos incluyen centrífugos de flujo radial y axial y, en menor grado, los de emisión parcial para bajo flujo. Los tipos de desplazamiento positivo son de dos categorías básicas: reciprocantes y rotatorios. El compresor reciprocante tiene uno o más cilindros en los cuales hay un pistón o émbolo de movimiento alternativo, que desplaza un volumen positivo con cada carrera. Los rotatorios incluyen los tipos de lóbulos, espiral, aspas o paletas y anillo de líquido, cada uno con una carcasa, con uno o más elementos rotatorios que se acoplan entre sí, como los lóbulos o las espirales, o desplazan un volumen fijo en cada rotación.



Condiciones de funcionamiento

Se debe tener cierta información acerca de a) las condiciones de funcionamiento de cualquier compresor y b) las propiedades del aire, gas o mezcla de gases que se va a comprimir

El análisis del gas se suele expresar en porcentaje en volumen. Un análisis molar se puede convertir con facilidad en un análisis en porcentaje molar para determinar las propiedades de la mezcla de gases. En los compresores de aire se requiere la humedad relativa o temperatura

Fig. 1 Tipos de compresores para procesos químicos

Tabla 1 Análisis del gas, otros datos y cálculos para el Ejemplo 1

Mezcla de gases		Peso molecular,	Aportación*, % wj/100	Calor específico a 150°F, C Btu/(lb-mol)°(°F)	Aportación*, % IPJ/100	Presión crítica, P. psia	Aportación*, % \P/100	Temperatura crítica, T _c °R	Aportación*, % wj/m
Componente,	Moles, %								
Hidrógeno	85	2.016	1.714	6.96	5.899	327	278	63	71
Metano	9	16.04	1.444	8.95	0.805	673	61	346	31
Etano	3	30.07	0.902	13.77	0.413	708	21	550	17
Propano	2	44.09	0.882	19.53	0.390	617	12	666	13
Isobutano	0.5	58.12	0.291	25.75	0.128	529	3	735	4
n-Butano	0.5	58.12	0.291	25.81	0.129	551	3	766	4
Total	100		5.524		7.764		378		140

*Al multiplicar la composición de cada componente en la mezcla por la propiedad de ese componente, se obtiene la aportación de esa propiedad correspondiente a la cantidad de ese componente en la mezcla.

ra del bulbo húmedo en la entrada, con la cual se puede determinar la cantidad de humedad que hay en el aire.

La razón de los calores específicos, *k* en donde (*k* = *c* / *c*) se puede expresar a la temperatura de succión, para un cálculo más exacto, *k* debe estar a la temperatura promedio durante el ciclo de compresión.

Los factores de compresibilidad, que indican la desviación con respecto a un gas ideal, se dan o calculan en las condiciones de succión y de descarga. Para el aire o para un gas puro hay disponibles gráficas de factores de compresibilidad, como funciones de la presión y temperatura reales. Si no se cuenta con esas gráficas para gases mezclados se acostumbra utilizar las tablas generales de compresibilidad^{11,23,14} que requieren calcular la presión reducida, *P*, y la temperatura reducida, *T*. Estos términos se definen mediante *p* = *P/P_c*, y *T* = *T/T_c*,

en donde *P* y *T* son la presión y temperatura reducidas, *P* y *T* son presión psia, y temperatura °R, en las condiciones reales de funcionamiento; *P_c* y *T_c* son la presión crítica, psia, y la temperatura crítica, °R, de la mezcla. Para demostrar las diversas relaciones, se examinará el procedimiento para una mezcla de gases.

Ejemplo 1. Una mezcla típica de hidrógeno y gas hidrocarburo tiene la composición indicada en la tabla 1. Se trata de encontrar el peso molecular, la razón de los calores específicos, la presión crítica y temperatura crítica. Los cálculos para los componentes de la mezcla se presentan en la tabla 1 junto con los datos pertinentes de cada componente puro. La razón de los calores específicos, *K*, se calcula como sigue:

$$K = \frac{7.764}{1.906} = 1.164 \approx 1.9$$

Para este ejemplo, se tomó el calor específico molal, *C_p*, como 150°F, supuesta como temperatura promedio típica durante el ciclo de compresión, con una temperatura de 100°F en la succión. Si la temperatura promedio varía mucho desde ese valor, se debe utilizar el calor específico molal para la temperatura promedio durante la compresión.

Estos cálculos pueden hacerse con calculadora o con computadora; en este caso, se almacenan en la memoria los valores estándar para todos los gases comunes del peso molecular, calor específico molal, presión y temperatura críticas.

Las presiones y temperaturas se deben dar en las condiciones de succión, y la presión en las condiciones de descarga, incluso la presión de cualquier carga lateral o requisito intermedio en el ciclo total de compresión. No se da la temperatura de descarga, sino que se calcula para incluir los efectos del aumento de temperatura durante la compresión. Las presiones, por lo general, se expresan en lb/in² manométricas (psia) o en lb/in² absolutas (psia).

Las capacidades se pueden expresar en diversas formas:

- Flujo en peso, *W*, lb/h o lb/min
- Gasto, referido a las condiciones estándar, que suele ser 14.7 y 60°F en las industrias de procesos químicos, expresado como

PCME: pies cúbicos estándar por minuto
 pies cúbicos estándar por hora
 MMPCDE: millones de pies cúbicos estándar por día de 24 horas

- El gasto, en relación con las condiciones en la succión se suele expresar como:

$$PCMS, \text{ ft}^3/\text{min} \text{ o } \text{ft}^3/\text{s}$$

$$Q \text{ o } Q_s, \text{ ft}^3/\text{min}, \text{ o } \text{ft}^3/\text{s}$$

No importa la forma en que se exprese la capacidad, pues hay que convertirla a la capacidad en las condiciones de succión para seleccionar el compresor del tamaño correcto. Esta conversión se puede hacer con el empleo de cualquiera de las siguientes relaciones, o todas ellas:

$$T-a \quad (1)$$

en donde *V_s* es el volumen, *P* es la presión absoluta, *T* es la temperatura absoluta y *z* es el factor de compresibilidad. En la ecuación (i) se puede suponer que el factor de compresibilidad, *z_s*, es de 1.0 si *P_s* y *T_s* están a las condiciones estándar de 14.7 psia y 520°R.

$$PCMS \quad Q_s = W \cdot v_s - W/p \quad (2)$$

en donde W es el flujo, lb/min, J es el volumen específico, ft³/lb, y ρ es la densidad, lb/ft³. El volumen específico, v , se puede calcular con:

$$v = z(Af_w)(144P)$$

en donde Mw es el peso molecular.

$$PCME = 379.46A/J60 \quad (7)$$

en donde M es el flujo, de mol/h

$$w = M(M) \quad (8)$$

en donde W es el flujo en peso, lb/h, M es el flujo, mol/h, Mw es el peso molecular.

$$z_s = (PCMS) \cdot \frac{10^{0.1/14.7}}{x \cdot 24}$$

en donde el subíndice s denota las propiedades en las condiciones de succión.

Carga y caballaje del compresor

Para cualquier compresor el caballaje requerido es:

$$(HP)w = WHJXm_{ai} \quad (9)$$

en donde (HP) es el caballaje adiabático, para el gas, hp; W es el flujo en peso, lb/min; H es la carga adiabática, (ft-lb)/lb; η es la eficiencia adiabática; A es el factor de compresibilidad en las condiciones de succión, Z_d es el factor de compresibilidad en las condiciones de descarga; M es el peso molecular, T es la

temperatura de succión, °R, y r , es la relación de compresión, es decir, P/P.

La temperatura de descarga adiabática, $T_{j(adi)}$, °R, es

$$T_{j(adi)} = T_s r^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (10)$$

Ciertos tipos de compresores funcionan muy cerca de las condiciones adiabáticas; muchos otros tienen desviaciones importantes de las adiabáticas, y el ciclo de compresión se debe considerar como politrópico. En este caso, las relaciones necesarias son:

$$(HP)_{(p)} = WHJXm_{ai} \quad (11)$$

$$H_{(p)} = \dots \quad (12)$$

en donde (HP) es el caballaje politrópico para el gas, hp, W es el flujo en peso, lb/min, $H_{(p)}$ es la carga politrópica, (ft-lb)/lb; $\eta_{(p)}$ es la eficiencia politrópica z_s y z_d son los factores de compresibilidad para las condiciones de succión y de descarga, M es el peso molecular, T es la temperatura de succión, °R, y r es la relación de compresión.

La temperatura de descarga politrópica, T_{jAA} se calcula con:

$$T_{jAA} = T_s r^{(n-1)/n} \quad (13)$$

El valor de la cantidad n en las diversas relaciones politrópicas se obtiene con

Cuando se utilizan las tablas de las propiedades de los gases o los diagramas de Mollier para hacer los cálculos del compresor, la carga adiabática, H_A , se obtiene con

$$H_A = 778A_h \quad (14)$$

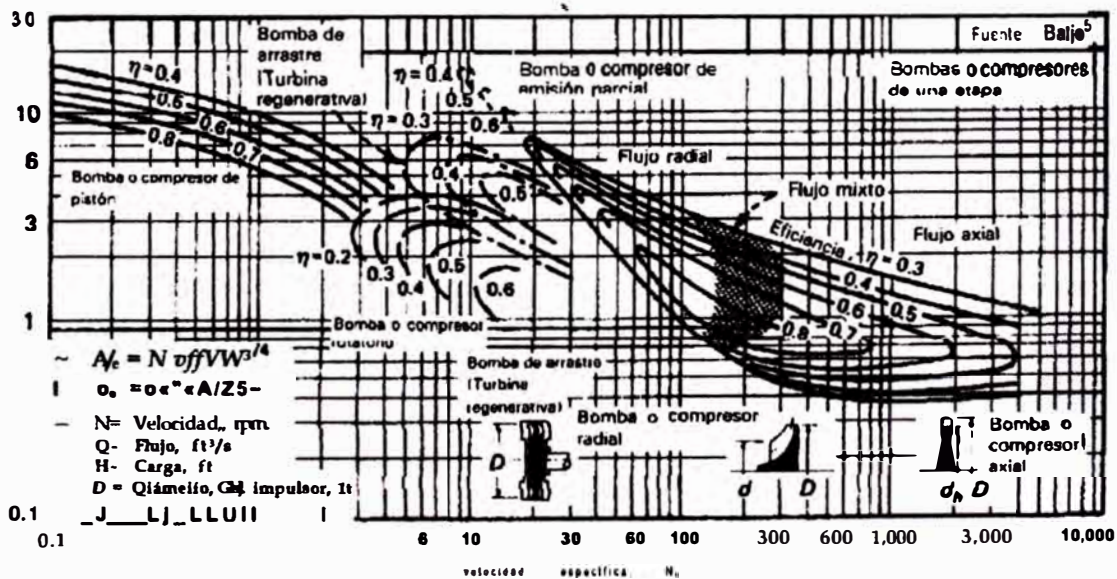


Fig. 2 La velocidad específica y el diámetro específico permiten la selección inicial de un tipo definido de compresor de una etapa

en donde h es la entalpia, Btu/lb.

La relación de la eficiencia adiabática a la eficiencia politrópica es:

$$\frac{1}{\eta} = \left(\frac{n-1}{n} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (13)$$

Velocidad específica

La velocidad específica, N , es un número índice para los impulsores o rotores de los diversos tipos de bombas y compresores. La definición es la misma para ambos.

$$N = \frac{NVQ}{HP} \quad (14)$$

Cuando se utiliza la ecuación (14) para compresores, la velocidad N se expresa en rpm, la capacidad en ft^3/s en las condiciones de succión, y la carga H , en $(\text{ft}\cdot\text{lb})/\text{lb}$.

Otra cantidad adimensional para impulsores o rotores es el diámetro específico, D definido con

$$D = \frac{DH^{1/4}}{Vq} \quad (15)$$

en donde D es el diámetro del impulsor o el rotor, ft.

Se preparó una gráfica de velocidad específica (Fig. 2) en la cual se combinan las relaciones de las ecuaciones (14) y (15). Si se utiliza esta gráfica, debe ser sobre la base de carga por etapa; es decir, se debe seleccionar cada impulsor o etapa con respecto a la capacidad de entrada y carga para esa etapa. Aunque la experiencia que se tenga con los compresores de tipos existentes muchas veces no requerirá consultar la figura 2, ésta ofrece una correlación lógica para seleccionar el tipo de compresor para una aplicación dada. En los siguientes ejemplos se ilustrará el empleo típico de la figura 2.

Ejemplo 2. Se hará la selección preliminar de un compresor para manejar 90 000 PCMS de aire cuando las condiciones en la succión son 14.3 psia, 90°F y 70% de humedad relativa. La presión de descarga será de 22.3 psia, el peso molecular = 28.59, $k = \frac{\gamma}{\gamma-1} = 1.395$. Se supondrá un impulsor con diámetro D de 55 in y velocidad de rotación N de 3 550 rpm.

Para poder utilizar la figura 2, hay que encontrar la velocidad y el diámetro específicos con las ecuaciones (14) y (15). Para ello, primero se calcula el flujo de aire a la entrada, $Q = \frac{90\,000}{60} = 1\,500 \text{ ft}^3/\text{s}$ y la carga adiabática con la ecuación (7); hay que recordar que los factores de compresibilidad son unitarios en estas condiciones. Por tanto:

$$N = \left(\frac{5\,450\,000}{28.59} \right)^{1/4} \frac{(22.3/14.3)^{0.283} - 1}{0.283} \quad 14 > 0.72$$

$$D = \frac{(55/12 \times 14\,072)^{1/4}}{1\,500} \text{ in}$$

Como el empleo de estos valores en la figura 2, se encuentra que un compresor centrífugo, con impulsor de flujo radial, será el que ofrezca máxima eficiencia.

Selección de compresores centrífugos

Los compresores centrífugos son el tipo que más se emplea en las industrias de procesos químicos porque su construcción sencilla, libre de mantenimiento, permite un funcionamiento continuo durante largos periodos.

El compresor centrífugo más sencillo es el suspendido, de una sola etapa. Los hay disponibles para flujos desde alrededor de 1 000 hasta 150 000 PCMS. El impulsor convencional, cerrado o con placas (Fig. 3), se utilizaría para cargas adiabáticas hasta de unas 12 000 $(\text{ft}\cdot\text{lb})/\text{lb}$. El impulsor abierto, de álabes radiales (Fig. 3), producirá más carga con los mismos diámetro y velocidad; sus variantes, con inductor o con álabes tridimensionales producirá hasta 20 000 $(\text{ft}\cdot\text{lb})/\text{lb}$ de carga;

Se utilizan diseños similares, hechos con materiales más resistentes y a velocidades más altas, en aplicaciones especiales como compresores de aire con engranes integrales, para aplicaciones aeroespaciales, en los turbocargadores para motores de combustión, compresores de carga, etc.

Compresores centrífugos de, múltiples

Cuando la carga requerida es muy grande para un solo impulsor, la solución lógica son dos o más impulsores en serie, que forman los compresores de etapas múltiples, que tienen muchas aplicaciones. El más común es el de carcasa dividida horizontalmente con impulsores en serie, cuyo número puede variar de tres a ocho con o sin interenfriamiento, como el que se ilustra en la página 15.

Hay disponibles algunos para flujos desde 1 000 hasta 100 000 PCMS, con cargas politrópicas totales de 20 000 a 100 000 $(\text{ft}\cdot\text{lb})/\text{lb}$, con base en el número de impulsores o etapas en cada carcasa. Estas carcasas, a veces, están dispuestas con impulsores opuestos para la compensación parcial del empuje y para simplificar los problemas de diseño de cojinetes de empuje, tambores de compensación y sellos para los ejes.

En las carcasas divididas verticalmente o de barril, hechas con acero soldado, fundido o forjado, se utiliza una disposición similar en los impulsores; estas carcasas son más adecuadas para altas presiones que las de divisiones horizontales.

La actual Norma API 617 para Compresores Centrífugos, especifica que las carcasas tipo barril se deben utilizar para presiones superiores a unas 200 a 250 psig si el contenido de hidrógeno de la mezcla de gases es de 70% o mayor, para evitar las fugas; sus capacidades son entre 1 000 y 100 000 PCMS, y se han construido carcasas para presiones hasta de 10 000 psig.

El compresor de aire más común en la actualidad es el de tres o cuatro etapas con interenfriador, como el ilustrado en la página 15, en tamaños que van desde 500 hasta 70 000 PCMS, basados en aire atmosférico com-

Tabla II Ejemplo 3. Método para carga politrópica total

Cálculo para compresor centrífugo			
Identificación	Compresor de recirculación	Selección alterna	Fuente o explicación
Capacidad MMPCDE Capacidad, IV, lb/h Capacidad de succión, U, PCME Presión de succión, P, psia Temperatura de succión, °F Temperatura de succión, °R Humedad relativa, % Presión de descarga, P, psia Peso molecular, M	80 2 961 300 100 560 450 5.524	Misma	Dada Dada (s veces) Ecuación (5) Dada Dada Dada (si es aire) Dada Dada
Constante del gas, $f = 1.545/M_w$	279.69		Calculada
Razón de calores específicos, k	1.343		Dada o calculada. Véase tabla I
Compresibilidad en la succión, z	1.01		Dada o calculada. Véase tabla I
Compresibilidad en la descarga, z	1.022		Dada o calculada. Véase tabla I
Compresibilidad promedio ($z_s = z_d/2$)	1.016		Calculada
Volumen específico, v , ft ³ /lb	3.66	<	Véase Ecuación (2)
Flujo en peso, w , lb/min	809	<	Véase Ecuación (2)
Exponente del calor específico, $(k-1)/k$	0.255		Calculada
Velocidad acústica en la entrada, U, ft/s	2616		$U_s = \sqrt{g/v}$
Relación de compresión, $r = P/P_s$	1.5		Calculada
Coefficiente de carga, ϕ	0.49	<	Tabla IV
Eficiencia politrópica, η^* , %	73		Figura 4
Diámetro nominal del impulsor, D, in	18		Tabla IV
Razón del exponente politrópico, $(n+1)/n = \gamma$	0.349		
	1.152	<	Calculada
Temperatura de descarga, politrópica, T, °R	645	>	$T_d = W$
Temperatura de descarga, politrópica, T, °F	185		
Carga politrópica, H, (ft·lb)/lb	69 307		Ecuación (10)
Caballaje del gas, (HP) r hp	2 328	<	Ecuación (8)
Pérdida de caballaje en cojinetes, hp	28	34	Selecciónese en la figura 6
Pérdida de caballaje en sellos, hp	27	35	Selecciónese en la figura 6
Pérdida de caballaje, caja de engranes	0	0 *	Ninguna. Empleese turbina de vapor. Estímese en un 2% del caballaje del 831
Caballaje total al freno, bhp	2 383	2 397	
Velocidad en la punta de impulsor, máxima, UR/s	806*		$U \leq 0.9 \leq 1.0(UJ)$
Velocidad en la punta de impulsor, real, U, ft/s	807	871	$U = \frac{V \sqrt{H} \cdot 0.9}{V / \sqrt{v}}$
Número de etapas, N	7	6	la relación precedente
Ítemario O designación del cuerpo (carcasa)	# 2	# 2	Tabla IV o con el fabricante
Velocidad de rotación, N, rpm	10.267	1 081	$N = 229U/D$
Coefficiente de flujo en la succión, ϕ_j	0.0346	0.0321	Ecuación (17)
Coefficiente de flujo en la descarga, ϕ_d	0.0268	0.0249	Ecuación (17)
En este ejemplo, la velocidad máxima en la punta del pulso se establece por las limitaciones en el esfuerzo en un impulsor convencional de aspas de curvatura inversa, no por comparación con la velocidad acústica. Conclusión: la selección preliminar es un compresor centrífugo de 7 o de 6 etapas, sin interenfriamiento, que requiere alrededor de 2 400 bhp y funciona a 10 267 u 1 081 rpm.			

primido a 125 psig. En servicio con gases, en especial si son corrosivos, tóxicos o están sucios, no se utilizan mucho. En este tipo, los impulsores están montados sobre ejes de piñones que giran a diferentes velocidades en las etapas sucesivas. Esto le permite al diseñador lograr óptimas dimensiones y eficiencia con un volumen de aire o de gas que se reduce en forma continua, debido a la compresión. Esto permite que el compresor sea más eficiente que los convencionales de un solo eje para gas o aire.

Un derivado del compresor de etapas múltiples que se utiliza mucho, es el tipo de carcasa con tornillos externos o modular, destinado a servicio con aire o gas a baja presión. Se utiliza para flujos de entre 400 y 20 000 PCMS con cargas hasta de 18 000 a 20 000 (ft-lb)/lb. La carcasa se ensambla por módulos, que son anillos en for-



Impulsor radial abierto



Impulsor con inductor abierto



Impulsor cerrado

Fig. 3 Impulsores de una etapa para compresores

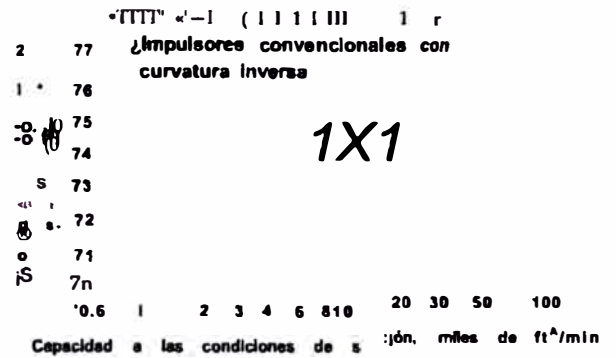


Fig. 4 Eficiencia de compresores centrífugos de etapas múltiples

ma de rosca que contienen, cada uno, una sección de difusor y un impulsor; funciona de 3 000 a 4 000 rpm, lo que permite el empleo de cojinetes de bolas con anillo de aceite o lubricados con grasas. Además, las bajas velocidades en las puntas permiten emplear impulsores de aluminio fundido o fabricado, en vez de los más costosos de acero forjado que se utilizan en compresores para velocidades más altas.

También hay tipos modulares para velocidades más altas, para flujos de 500 a 15 000 ft³/min y cargas hasta de 60 000 ft, con una sola carcasa. Este tipo modular tiene cojinetes, sellos, eje e impulsor para alta velocidad, pero cuesta mucho menos que el de etapas múltiples con carcasa dividida en sentido horizontal.

Todos estos tipos tienen limitaciones mecánicas, debidas a la rigidez del eje y cojinetes, flexión del eje, velocidad crítica y problemas dinámicos con el rotor. Cuando el proceso requiere mayor carga que la que se puede producir con el número máximo de impulsores en una sola carcasa, se pueden utilizar dos o tres carcasas en serie hasta con 25 o 30 impulsores en serie. La selección de esta combinación también requiere determinar lo siguiente, es decir, a) calcular los PCMS (ft³/min en la succión) con cualquier carcasa que se considere, b) carga adiabática o politrópica total en esa etapa o sección y c) hacer concordar los tamaños y velocidades disponibles para carcasas e impulsores, con engranes de reducción de velocidad o sin ellos, para obtener la serie completa de carcasas.

Antes de seleccionar un compresor de etapas múltiples, hay que tener muy en cuenta el aumento de temperatura durante la compresión. Si las temperaturas de descarga son superiores a 350°F, se debe incluir algún sistema para enfriar el gas, con el fin de evitar el riesgo con los gases calientes de descarga o problemas con los materiales de construcción a altas temperaturas. Por lo general, se necesitan interenfriadores para los gases después de cada etapa, antes de que haya compresión adicional (en algunos tipos) o después de cada cierto número de etapas.

Métodos para cálculos

El flujo en peso, la capacidad de succión, la carga adiabática o la politrópica y el cabalaje aproximado se

Tabla III Ejemplo 4. Método del diagrama de Mollier

Cálculos para compresor centrífugo				
Sección o etapa	Primera	Carga lateral	Segunda	Fuente o explicación
Gas	Propano		a-	Dada
Peso molecular, M^A	44		0.915	Dada
Razón de calores específicos, K	1.13	<-		Dada
Compresibilidad, Z	0.95	42,300		Dada; o en tablas o al diagrama de Mollier
Carga, W , lb/h	64,200	705		Dada
Carga, W , lb/min	1,070			
Carga agregada, W_{lb}/h				
Carga agregada, W_s lb/min				Dada
Cara total, $W_1 + W_s$ lb/min	1070		1 775	
Presión de succión, P_1 , psia	24	56	56	
Temperatura de succión, t_1 , °F	-20	+20	+ 35°	Dada Dada (o calculada)
Temperatura de succión, T_1 °R	440	460	495	
Entalpía de succión, h_1 , Btu/lb	104.5	115	122.2	Las tablas o el diagrama de Mollier
Volumen específico de succión, V_1 , ft ³ /lb	4.25		1.98	Las tablas o el diagrama de Mollier
Capacidad de succión, Q_1 , ft ³ /min	4 548		3;479	Ecuación (2)
Presión de descarga, P_2 , psia	56		215	Dada
Entalpía de descarga, h_2 , Btu/lb	123		151.2	Las tablas o el diagrama de Mollier
h (adiabática), Btu/lb	16.5		29	$h = h^* - \Delta h$
Carga adiabática, (ft-lb)/lb	14 393		22 662	Ecuación (12)
Eficiencia politrópica, η_p %	73.5		73.3	Figura 4
Eficiencia adiabática, η_{ad} %	72.5		71.5	Ecuación (13)
h (politrópica) Btu/lb	22.5		40.6	$h_{pol} = K J \ln \dots$
Entalpía politrópica, Btu/lb	127		162.8	$h = h_{pol} + \Delta h_{pol}$
Temperatura de descarga, °F	46		162	Las tablas o el diagrama de Mollier
Volumen específico de descarga, v_2 ft ³ /lb	2.0		0.58	Las tablas o el diagrama de Mollier
Capacidad de descarga, Q_2 , ft ³ /min	2,140		1 030	$Q_2 = \dots$
Caballaje del gas, WP ^A hp	644		1 897	Ecuación (6)
Pérdidas en cojinetes y sellos, hp		63		
Pérdida en engranes (al los hay), hp		47		Estímese en un 2% del caballaje del gas
Caballaje al freno total, bhp		2,451		
Tamaño o designación del cuerpo (carcasa)	#2		#2	
Número de etapas, A	2		3	Estímense
Diámetro preliminar del impulsor, D , in.	17.5		18	Tabla IV o datos del fabricante
Coefficiente preliminar, de carga ϕ	0.50		0.49	Tabla IV o datos del fabricante
Velocidad preliminar en las puntas, U , ft/s	661		703	$u = \frac{VH^2g}{N_s}$
Velocidad acústica, U_s , ft/s	731		761	$U_s = \sqrt{\gamma g RT_2}$
Relación L/U	0.932		0.924	$= 0.9 \pm 1.0$
Velocidad del eje, N , rpm	6 943		6 943	$N = \frac{229WD}{D}$
64 200 lb/h 106 500 lb/h 1 42.300 lb/h				
47 47 4°				
K		Hst		Motor 2 500 hp 1 800 rpm
m				

pueden calcular con rapidez mediante las relaciones básicas ya descritas. En los dos ejemplos siguientes se resumen los procedimientos.

Ejemplo 3. Hay que hacer una selección preliminar de un compresor centrífugo para manejar 80 MMPCDE de un gas recirculado con peso molecular de 5.524. Se utilizarán los métodos para una carga politrópica total. En la tabla II aparecen otros datos pertinentes y los cálculos requeridos.

Ejemplo 4. Se hará una selección preliminar de un compresor centrífugo para manejar una corriente principal de 64 200 lb/h y una corriente lateral adicional de 42 300 lb/h de propano. Se utilizará el método que requiere un diagrama de Mollier. En la tabla III aparecen otros datos pertinentes y los cálculos requeridos.

Para efectuar los cálculos de los ejemplos 3 y 4, se necesitarán información y explicación adicionales del contenido de las tablas II y III.

En la figura 4 y en la tabla IV aparecen algunos valores representativos de la eficiencia politrópica, límites de flujo, diámetro del impulsor y coeficiente de carga para los compresores que hay en el mercado. Para datos más específicos, se debe consultar al fabricante.

El coeficiente de carga ϕ y el coeficiente de flujo ψ son valores adimensionales que se utilizan para describir el rendimiento de cualquier impulsor sencillo o grupo de ellos en el compresor. La relación se puede presentar como curva de rendimiento (Fig. 5). Se escoge el valor de ψ a la máxima eficiencia, o cerca de ella, para la selección primaria. Los coeficientes de carga y de flujo se definen con:

$$M = H_{if} U^2 \tag{16}$$

$$\psi = \frac{700 Q \sqrt{N D}}{M} \tag{17}$$

en donde H_{if} es la carga por etapa, ft., g es la constante de la gravedad, 32.2 ft/s^2 , U es la velocidad en la punta del impulsor, ft/s , Q es la capacidad en la entrada, ft^3/min , N es la velocidad del impulsor, rpm , y D es el diámetro del impulsor, ft.

Los valores reales de ψ y la forma de la curva dependen del diseño del impulsor. Se necesita información

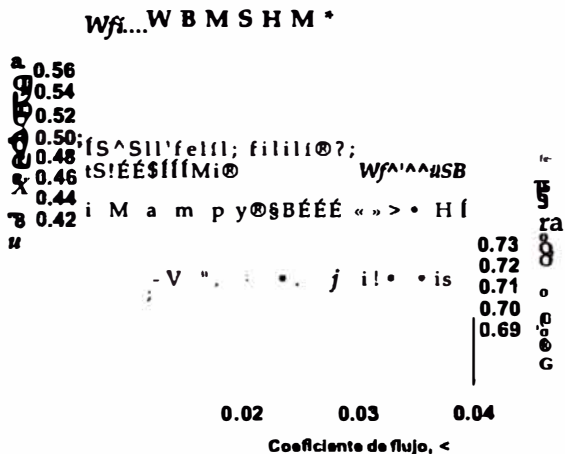


Fig. 5 Rendimiento de un compresor centrífugo

... > JSMHNI

• dBjt ar. < q sá * i j ? * i
 < fe @ Pm

wm mi m r g 'ms^m

Velocidad di n mies de jpm

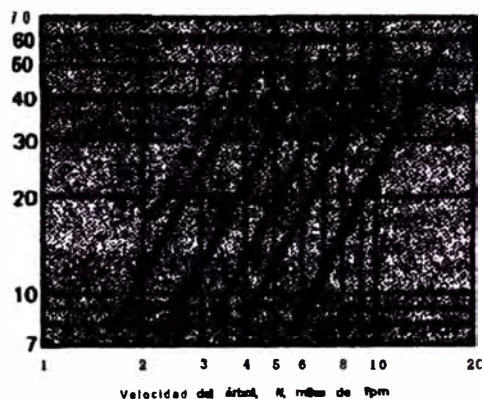


Fig. 6 Perdas por fricción en cojinetes y sellos

adicional respecto al punto de oscilación (inestabilidad) y el aumento en la carga, antes de tratar de calcular la forma de una curva real.

Después de determinar el caballaje para el gas con cualquiera de los métodos, se deben sumar las pérdidas de caballaje por fricción en los cojinetes, sellos y engranes de reducción. En la figura 6 se muestran las pérdidas probables para compresores convencionales de etapas múltiples, con base en que tengan sellos de película de aceites.

Todos estos cálculos sólo dan resultados preliminares. El diseñador del compresor hace determinaciones más exactas con base en los datos de un impulsor, lo cual permite una selección "rueda a rueda" en la que el rendimiento de cada una se determina sobre la base de sus condiciones específicas en la entrada y después se suman para obtener el rendimiento total.

Control de los compresores centrífugos

Cuando cambia cualquiera de los siguientes parámetros: peso molecular, razón de los calores específicos, presión o temperatura de succión o descarga, con respecto al flujo, se llega a un punto diferente en la curva de carga contra capacidad en cualquier compresor, pues éste produce carga, pero no presión.

En los compresores y sopladores (ventiladores) centrífugos se aplican las "leyes de los ventiladores" o "leyes

Tabla IV Valores para la selección preliminar de compresores centrífugos de etapas múltiples

Tamaño nominal	Límites de flujo, ft ³ /min	Coefficiente de carga*, promedio, g*	nominal del impulsor, Ø, in
1	800 a 2,000	0.46	14 a 16
2	1,500 a 7,000	0.48 a 0.50	17 a 19
3	4,000 a 12,000	0.50 a 0.51	21 a 22
4	6,000 a 17,000	0.51 a 0.52	24
5	8,000 a 35,000	0.51 a 0.52	32
6	35,000 a 65,000	0.53	42 a 45
7	65,000 a 100,000	0.54	54 a 60

Con los impulsores con álabes de inclinación inversa, los de álabes radiales tienen valores más altos

de afinidad" referentes a la variación en la capacidad y la carga, como función de la velocidad.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}} \quad (18)$$

en donde N es la velocidad, Q, es la capacidad en la entrada y H es la carga.

Por tanto, la forma más eficaz de hacer corresponder la característica del compresor con la salida requerida, es cambiar la velocidad de acuerdo con la ecuación (18). Esta es una de las ventajas principales del empleo de turbinas de vapor o de gas para impulsar el compresor, porque son idóneas para funcionar con velocidad variable. Con estas unidades motrices, el operador puede controlar la velocidad en forma manual al ajustar el regulador de la turbina. O bien, el ajuste de velocidad puede ser automático con un controlador neumático o electrónico, que cambia la velocidad en respuesta a una señal de flujo o de presión.

Para unidades motrices de velocidad constante, como los motores eléctricos, el compresor se debe controlar en una de tres formas:

1. Aspas de guía de la admisión (la más eficiente)
2. Estrangulación de la presión de succión
3. Estrangulación de la presión de descarga (la menos eficiente)

Las aspas o paletas de guía de la admisión son aspas fijas de ajuste manual o automático en la entrada a la primera etapa (y a veces en las sucesivas) que hacen que cambie el ángulo de aproximación del gas con relación al impulsor giratorio. Esto cambia la característica de flujo en respuesta a las variaciones de los requisitos de carga. En la figura 7 se ilustra el efecto de este control sobre la carga y la capacidad. Aunque las aspas de la admisión son las más eficientes, hay que estudiar el aspecto económico porque son costosas, complejas en algunos tipos de máquinas y son un componente adicional que requiere mantenimiento y ajuste.

Un término medio para lograr sencillez y eficiencia suele ser la estrangulación de la succión. Esto produce una presión de succión ligeramente más baja que la de diseño y produce una carga total más elevada si la pre-

sión de descarga permanece constante; lo que se puede hacer concordar con la curva de carga contra la capacidad del compresor; es decir, mayor carga con flujo reducido. Cuando se estrangula la succión, se reduce la densidad del gas y se llega a tener correspondencia entre el flujo en peso requerido con la capacidad de volumen de succión del compresor en otros puntos de la curva de carga contra capacidad.

El método de control menos eficiente es la estrangulación de la descarga. Con un flujo reducido, el compresor produce carga (y presión) mayores que las que necesita el proceso; éstas se estrangulan antes de que lleguen al equipo, pero el caballaje para la compresión se desperdicia y de ahí proviene la ineficiencia relativa. Sin embargo, este método tiene la ventaja de que es muy sencillo, y se aplica a menudo en compresores de poco caballaje, en donde no importa la ineficiencia.

Control de oscilaciones en compresores centrífugos

Todos los compresores dinámicos tienen un intervalo limitado de capacidad, a velocidad fija, para una selección dada de impulsores. Por debajo del valor mínimo, que suele ser de 50 a 70% del nominal, el compresor tendrá oscilaciones; es decir, inestabilidad de funcionamiento. Entonces, pueden ocurrir vibraciones excesivas y fallas o paros repentinos.

Es esencial diseñar todos los sistemas de compresores para evitar oscilaciones (inestabilidad) cuando funcionan y, por lo general, se logra utilizando algún tipo de control antioscilación. El más sencillo se utiliza en los compresores de aire y consiste en una válvula de purga automática, que se abre y deja salir el exceso de capacidad a la atmósfera, si el flujo requerido en el proceso es muy bajo. A veces, se utilizan métodos más eficientes a base de válvulas de control de la succión.

Nota. También hay unidades motrices con motor eléctrico de velocidad variable, pero rara vez se emplean en las industrias de procesos químicos. Los motores de dos velocidades o de rotor devanado de velocidad múltiple pueden ser un problema en zonas peligrosas. Los embrazos o acoplamientos eléctricos o hidráulicos pueden ocasionar problemas de mantenimiento y suelen ser ineficientes cuando trabajan en condiciones que no son de diseño.

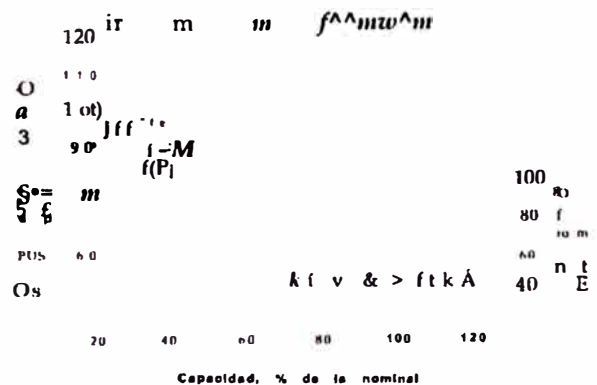
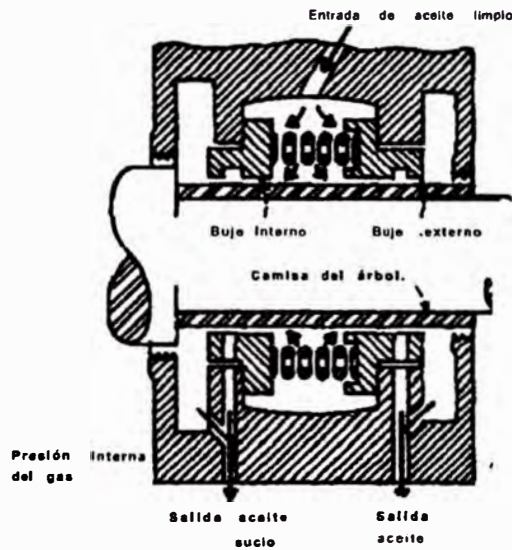
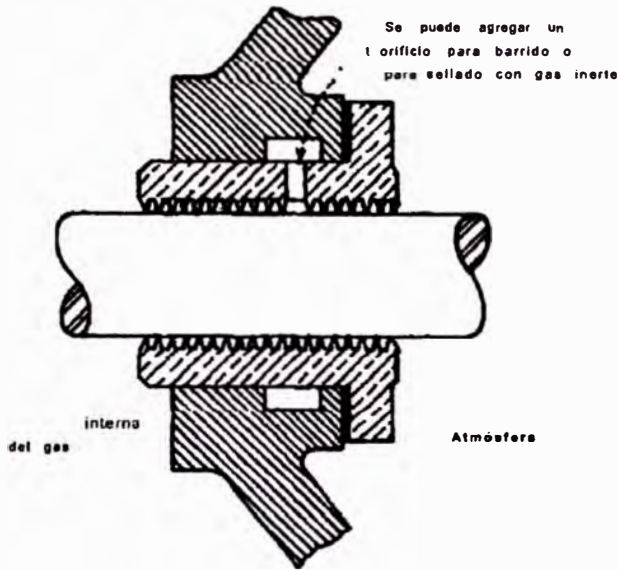


Fig. 7 Las aspas de guía de entrada influyen en el rendimiento



d. Película de líquido con bujes cilíndricos

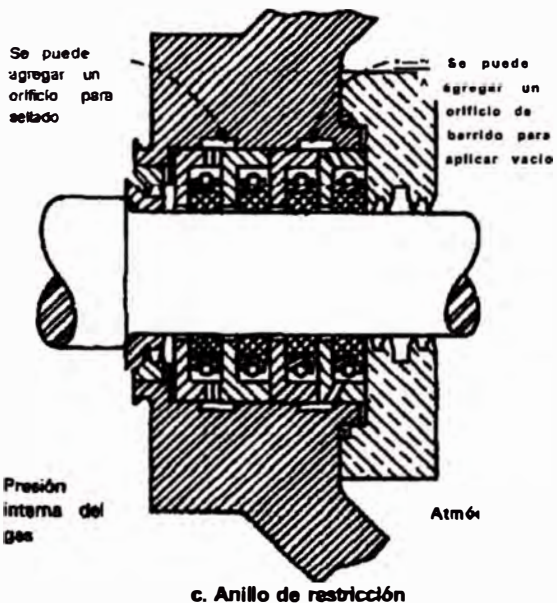
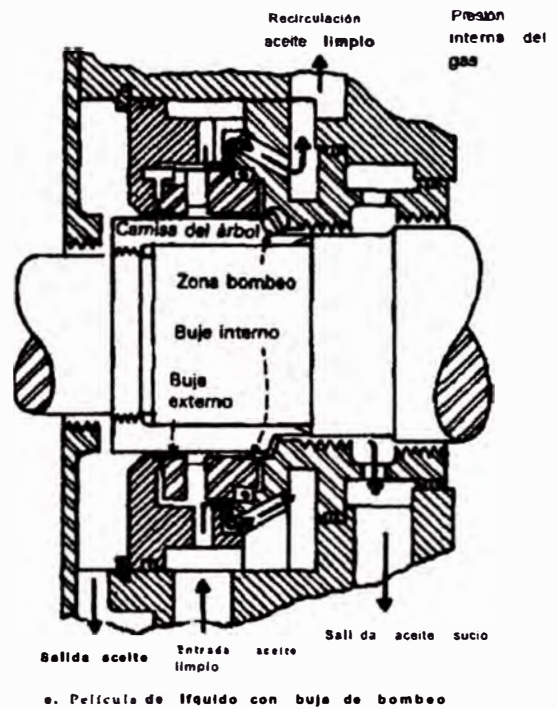
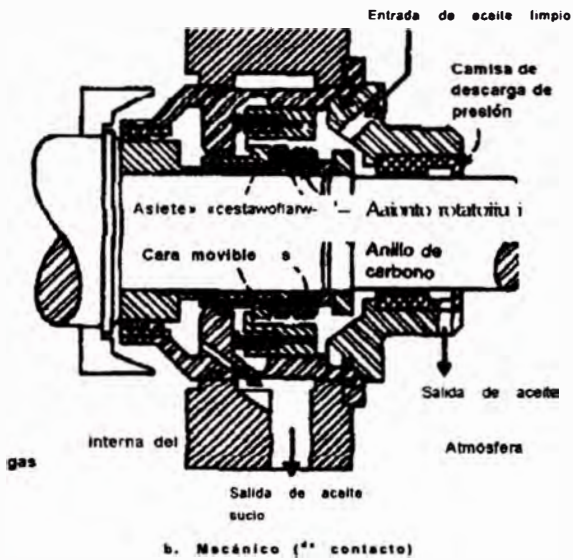


Fig. 8 Los sellos de extremo del árbol de compresores rotatorios retienen el gas que se comprime y permiten fugas controladas

Con un gas que no se puede desperdiciar, el control antioscilación más común es un control de derivación, o sea el que devuelve el flujo indeseado a la fuente de succión. Como este gas ya ha sido comprimido y su temperatura es más alta, hay que enfriarlo antes de que entre por segunda vez en el compresor, y se puede necesitar un enfriador en la derivación. En sistemas en donde la fuente de succión es de tamaño suficiente o está a cierta distancia, con lo cual el calor se disipa por mezclado o radiación, quizá no se necesite el enfriador.

Hay en el mercado algunos sistemas antioscilación, que fabrican empresas especializadas en control de procesos. Quizá sea preferible comprar el sistema que diseñarlo.⁹

Sellos para el árbol de compresores rotatorios

Se necesitan sellos en el árbol de todos los compresores rotatorios, para contener el gas que se comprime o para permitir una fuga controlada. Los sellos son de cuatro tipos básicos: 1) de laberinto, 2) anillo de restricción (de carbono) 3) de película de aceite y 4) de contacto mecánico (Fig.8)⁶

Los tipos de laberinto o de anillos de restricción sólo se utilizan, cuando se pueden permitir determinadas fugas de aire o de gas. Los de película de aceite se utilizan con gases de proceso, en especial los que contienen impurezas que son peligrosas o tóxicas, como el sulfuro de hidrógeno. El tipo de contacto mecánico se puede emplear con la mayor parte de los gases, pero casi siempre para gases líquidos de hidrocarburos pesados, refrigerantes, etc.

En ocasiones se necesitará un gas amortiguador para tener una amortización entre el gas comprimido y la atmósfera, y se emplea a menudo cuando se comprimen gases peligrosos o tóxicos, de los cuales no se pueden permitir fugas. Este sistema tiene la desventaja de que necesita un suministro externo de gas a una presión mayor que la de succión del compresor. En el sistema también se necesita un gas amortiguador limpio y compatible con el que se comprime, porque algo del gas amortiguador se puede escapar hacia dentro, y que su suministro sea continuo. Si no es posible, se puede nece-

sitar también un gas de apoyo, como nitrógeno en cilindros, con lo que el sistema se vuelve muy complicado y costoso.

Sistemas de aceite para lubricación y sellos

Cuando se utilizan sellos de película de aceite o de contacto mecánico, se necesita aceite para sellos, que suele ser con un sistema integrado con recirculación, el cual envía aceite a presión a los sellos y recibe el aceite que descargan en una o dos corrientes separadas, si es que hay aceite contaminado o sucio por contacto con el gas.

Por ejemplo, si el gas contiene sulfuro de hidrógeno, se contaminará el aceite que escapa hacia dentro y se pone en contacto con el gas. Este aceite se descarga por separado en trampas para ese propósito, con el fin de desecharlo o, a veces, regenerarlo para un nuevo empleo. Si el gas no es tóxico, las trampas para el escurrimiento interno se pueden conectar con el sistema de retorno de aceite para sellos, con el fin de aprovechar el aceite.

En todos los compresores centrífugos que tienen cojinetes de manguito (chumaceras) lubricadas a presión, se necesita un sistema de lubricación: también se emplea uno semejante en cualquier compresor que necesite aceite para sellos. Se pueden combinar en un solo sistema o bien en uno que tenga bomba reforzadora para aumentar la presión del aceite para sellos hasta la requerida. En las instalaciones más complejas, se necesitan sistemas separados de aceite lubricante y para sellos.

Estos sistemas los suele incluir el fabricante del compresor o de la unidad motriz, y puede servir para lubricar los cojinetes del compresor y de la unidad. En algunos casos especiales, la unidad motriz tendrá su propio suministro de aceite. Por lo general, se especifica que los sistemas los monte el fabricante en una consola o una placa de base junto al compresor. A veces, en sistemas pequeños y sencillos, el equipo de lubricación puede estar montado en la misma base que el compresor o la turbina. Para mayor información, véase la Ref. 10

Compresores de flujo axial

En estos compresores, el flujo del gas es paralelo al eje o árbol del compresor y no cambia de sentido como en los centrífugos de flujo radial. Los límites de capacidad de los compresores axiales (Fig. 2) está a la derecha de los centrífugos, lo cual indica el empleo de axiales para flujos más grandes que los centrífugos. La carga por etapa del axial es mucho menor (menos de la mitad) que la de una del tipo centrífugo; por ello, la mayor parte de los axiales son de cierto número de etapas en serie. Cada etapa consta de aspas rotatorias y fijas. En un diseño de reacción de 50%, la mitad del aumento de la presión ocurre en las aspas del rotor, y la segunda mitad, en las del estator.

Los compresores de flujo axial están disponibles desde unos 20 000 PCMS hasta más de 400 000 PCMS y producen presiones de hasta 65 psig en un compresor industrial típico de 12 etapas, o de un poco más de 100

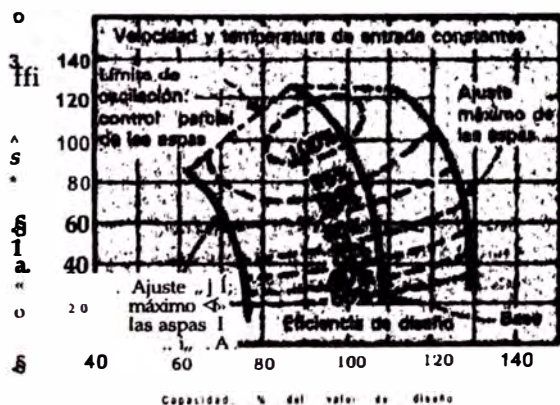


Fig. 8 Control de aspas del estator en el compresor axial

psig, con los turbocompresores de 15 etapas; estos tipos se emplean en turbinas de gas y motores de reacción (jet) para aviones, excepto los muy pequeños. También se emplean mucho en aplicaciones que requieren flujos de gas superiores a 75 000 o 100 000 PCMS, en especial porque son más eficientes que los centrífugos de etapas múltiples, de tamaño comparable. El axial suele costar más que el centrífugo y, en tamaños más pequeños, sólo se justifica por su mayor eficiencia.

La curva característica de un compresor axial es mucho más pronunciada que la de uno centrífugo. Debido a las características de flujo del rotor y al gran número de etapas, el axial tiene límites de estabilidad muy estrechos (Fig.9). Se controla con más facilidad mediante un mecanismo de control de aspas variables del estator, por lo general en las primeras etapas (control parcial de las aspas del estator) y, a veces, en todas las etapas para tener estabilidad, capacidad y eficiencia máximas.

Los aspectos mecánicos como cojinetes, sellos del árbol, sistemas de lubricación y de aceite de sellos, también referentes al control y rendimiento a velocidades variables, son muy similares a los de los compresores centrífugos.

Hay menos información respecto a los métodos de selección preliminar de compresores axiales que para los centrífugos. Aunque los axiales se rigen con las mismas leyes básicas referentes a la carga adiabática y politrópica, flujo en peso, velocidad periférica (en la línea de paso de las aspas del rotor), etc., el ingeniero de proyecto sólo debe hacer una selección preliminar y luego, consultar al fabricante con el fin de obtener datos exactos para los cálculos y costos.

Compresores reciprocantes de desplazamiento positivo

Los compresores reciprocantes abarcan desde una capacidad muy pequeña hasta unos 3 000 PCMS. Para equipo de procesos, por lo general, no se utilizan mucho los tamaños grandes y se prefieren los centrífugos. Si hay alta presión y un gasto más bien bajo, se necesitan los reciprocantes. El número de etapas o cilindros se debe seleccionar con relación a las temperaturas de descarga, tamaño disponible para los cilindros y carga en el cuerpo o biela del compresor.

más bien pequeños, hasta de unos 100 hp, pueden tener cilindros de acción sencilla, enfriamiento con aire, y se puede permitir que los vapores del aceite en el depósito (cárter) se mezclen con el aire o gas comprimidos. Estos tipos sólo son deseables en diseños especiales modificados.

Los jigos pequeños para procesos, de un cilindro y 25 o 200 hp, tienen enfriamiento por agua, pistón de doble acción, prensaestopas separado que permite fugas controladas y pueden ser del tipo no lubricado, en el cual el lubricante no toca el aire o gas comprimido. Se utilizan para aire para instrumentos o en aplicaciones pequeñas para gas de proceso.

Los compresores más grandes para aire o gas son de dos o más cilindros. En casi todas las instalaciones, los cilindros se disponen en forma horizontal y en serie de

Tabla V Tamaños nominales de compresores reciprocantes

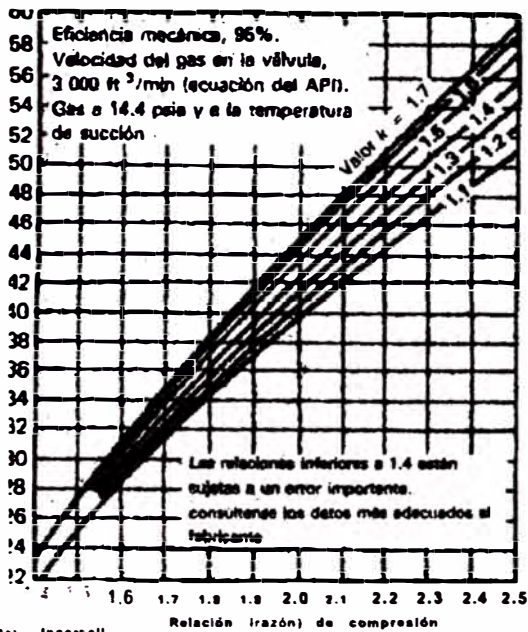
Tipo	Carrera típica, L, in	Velocidad típica, N rpm	Caballaje aproximado, HP
Carcasas de cigüeñal sencilla	5,7	600 to 514	to 36
	7,9	450	30 to 60
	9,8	400	50 to 125
	11,13	300 to 327	100 to 175
Carcasas para baja velocidad:	9,9,14	600 to 514	200 to 800
	Horizontal	450	400 to 1200
	Cilindros opuestos (dos o más)	450 to 400	600 to 2 000
	14	327	1000 to 2500
	15, 16, 16	327 to 300	1500 to 4000
	17, 18	277 to 257	3000 to 10000
Carcasas para velocidades medias y alta	5	1,000	150 to 400
	Horizontal	720 to 800	1000 to 4500
	Cilindros opuestos (dos o más) hasta 35	800	4 000 to 8 000
	9	600	4 000 to 8 000

modo que presenten dos o más etapas de compresión. En la tabla V se presentan las capacidades y tamaños típicos actuales para procesos. El número de etapas de compresión depende, en gran parte de la elevación de temperatura en una etapa, que suele estar limitada a unos 250°F; de la carga en el cuerpo o biela que se puede manejar y, de vez en cuando, del aumento total en la presión en una etapa, respecto del diseño de las válvulas del compresor, que suelen ser para menos de 1 000 psi.

La relación o razón total de compresión se determina para tener una idea inicial aproximada del número de etapas. Si la relación es muy alta, entre 3.0 y 3.5 para una sola etapa, entonces la raíz cuadrada de la relación total será igual a la relación por etapa para las dos etapas, a la raíz cúbica para tres etapas, etc. Las presiones interetapas y la relación por etapa reales se modificarán después de tener en cuenta las caídas de presión en interenfriadores, tubería entre etapas, separadores y amortiguadores de pulsaciones, si se utilizan.

Selección de compresores reciprocantes

Un método rápido y de exactitud razonable para determinar el caballaje requerido para cada etapa de un compresor reciprocante, es el empleo de la gráfica de "caballaje por millón" de la figura 10, aunque en ella sólo se presenta una parte de las relaciones de compresión, pues el grupo completo de curvas incluye valores hasta de 6.0. Para tener resultados más exactos con gases más ligeros o pesados que el aire, se debe aplicar un factor de corrección para reflejar los cambios en las pérdidas en las válvulas, como resultado del peso molecular del gas que se comprime (Fig. 11). La relación básica es:



Fuente: Ingersoll-Rand Co.

Fig. 10 Potencia necesaria para compresores recíprocos

en donde (HP)_e es la potencia por etapa, hp; (BHP)/(MMPDE) es la potencia requerida para una relación de compresión, dada, bhp/10⁶ ft³/d a 14.4 psia y a la temperatura de succión; (MMPDE) es la capacidad requerida, 10⁶ ft³/d a 14.4 psia y a la temperatura de succión; F es un factor de la gravedad específica del gas y z_y y z_d son los factores de compresibilidad del gas en las condiciones de succión y descarga. Si se especifica construcción no lubricada, se debe aumentar en alrededor de 5% el caballaje obtenido con la ecuación (19).

Las curvas (Fig. 10) han sido aceptadas por la industria para las selecciones preliminares. A veces, se pueden obtener curvas más detalladas con los fabricantes para obtener resultados más exactos.

Dimensionamiento de los cilindros

Quando se han establecido la presión y la temperatura interetapas para una aplicación de un compresor de etapas múltiples, se puede encontrar la capacidad de cada etapa en las condiciones de succión. Debido al espacio muerto necesario para permitir el funcionamiento y para poder diseñar el conducto para válvulas, el pistón no recorre o desplaza todo el volumen del cilindro. Por ello, la capacidad real del cilindro es un poco menor que su desplazamiento. Si se expresa como eficiencia volumétrica del cilindro, esta relación es:

$$E_v = 0.7 C_d i t_i \tag{20}$$

en donde E_v es la eficiencia volumétrica, Q es la capacidad en condiciones de succión, en ICFM, C_di_t es el desplazamiento del cilindro, ft³/min.

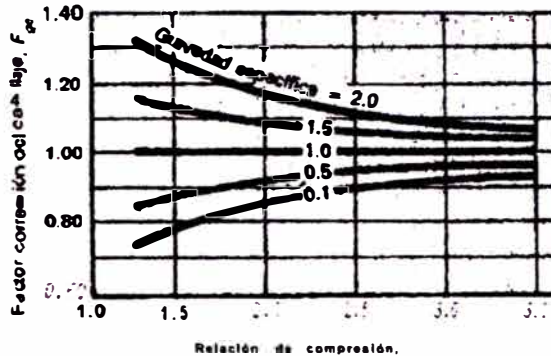


Fig. 11 Factor de corrección para gravedad específica (densidad relativa)

(21)

en donde L es la carrera del pistón, in., A_p es el área de la cabeza del pistón, in², A_c es el área en el lado del cigüeñal del pistón y N es rpm. Téngase en cuenta que el área en el lado del cigüeñal es el área de la cabeza menos el de la biela.

Se utilizan muchas fórmulas para la eficiencia volumétrica. La siguiente Suele bastar para cálculos prelimi-

$$E_v = 0.91 \tag{22}$$

en donde C_f es el espacio libre en el cilindro, r es la relación de compresión, k es la razón de los calores específicos y z y z_d son los factores de compresibilidad del gas en las condiciones de succión y de descarga.

Carga en el cuerpo o carga en la biela

El cuerpo de cualquier compresor tiene un límite para las fuerzas que se pueden aplicar durante la compresión. En la forma más sencilla, esta carga se puede calcular cuando se conocen el diámetro del cilindro y las presiones que actúan contra el pistón. Esto, a veces, se llama "carga del gas sobre la biela" y no tiene en cuenta las cargas debidas a los pesos con movimiento alternativo y al movimiento de la máquina.

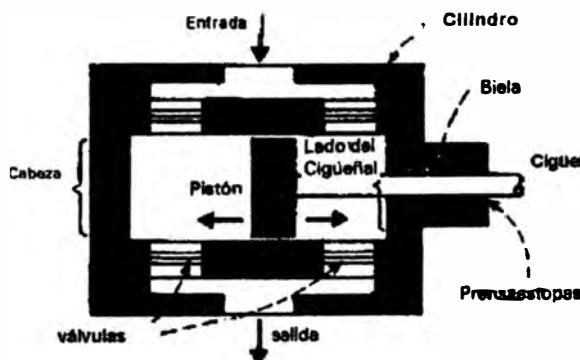


Fig. 12 Componentes del compresor con cilindro de doble acción

Tabla VI Ejemplo 5. Método del caballoje por millón

Cálculo de compresores recíprocos				
Capacidad, MMPCDE	41.3			Dada
Capacidad, lb/h				Dada (a veces)
Gas	Hidrógeno + hidrocarburo			Dado
Peso molecular, M_w	2.925			Dado o calculado
Razón de calores específicos, k	1.40			Dado o calculado
Presión de succión, P_{ps}	208 - 2 = 206			Dada (-pérdida en el amortiguador de pulsos)
Temperatura de succión, °F	100			
Temperatura de succión, °R	560			
Presión de descarga, P_{pd}	1 885 + 18 - 1 904			Dada (+ pérdidas en el amortiguador de pulsos)
Relación de compresión global, r	1 904/206 = 9.24			
Número de etapas, n				Supuesto ($r_c = 2.0$ a 3.0 /etapa)
Etapas	1	2	3	Para identificación
Relación aproximada/etapa	2.10	2.10	2.10	$(r/r_c)^3$
Presión aproximada de descarga, P_d , psia	433	909	1 909	r/r_c
Caída de presión interetapas, psi	7	12	-	$= 0.1(P_i)^{.7}$
Pérdida en el amortiguador de pulsaciones, psi	2 Succión	-	18 Descarga	1 % de la presión absoluta
Presión de succión, P , psia	206	433	909	Dado o calculado
Temperatura de succión, T_s , °F	100	100	100	Dado o se supone interenfriamiento perfecto
Compresibilidad en la succión, z	1.01	1.018	1.035	Dado o calculado
Presión de descarga, P , psia	440	921	1 904	P_i dada arriba + pérdida interetapas
Temperatura de descarga, T_d , °F	236	235	231	$T_s(r-1)^{.7}$
Compresibilidad en la descarga, z_d	1.018	1.03	1.062	Dado o calculado
Relación real/etapa, r	2.14	2.13	2.09	Calculada: P_d/P_s (dados arriba)
Capacidad en la succión, Q , PCMS	2,226	1,067	517	Ecuación (5)
capacidades en la succión a 1 y psia, MMPCDE	45.40	45.40	45.40	$(MMPCDE) = (PCWS)P_i(10^{-3})^Z$
bhp/MMPCDE	46.5	46.25	46.2	Figura 10
Corrección en la gravedad específica, F	0.875	0.87	0.885	Figure 11
Compresibilidad promedio, z_{prom}	1.013	1.024	1.049	$U_s + z_e V_2$
bhp/etapa	1 871	1 871	1 882	$(bhp/MMPCDE) = F_g[MMPCDE]Z_{prom}$
Caballoje total al freno, bhp		5,604		Suma de todas las etapas
Número de cilindros	1	1	1	Supuesto; con base en el conocimiento de cuerpos disponibles
Espacio muerto en los cilindros, C , %	15	15	15	Empléase 10 a 15% para estimarse
Eficiencia volumétrica, E , %	86.3	86.6	87.3	Ecuación (22)
Desplazamiento requerido, ft ³ /min	2 578	1 233	593	$(ICFM)/EV$
Carrera, L , in	18	-	-	Tabla V o el fabricante
Velocidad, N , rpm	277	-	-	Tabla V o el fabricante
Tamaño de biela, d , in	5	-	-	Tabla V o el fabricante
Diámetro del cilindro, D , in	24.12 user 24%	16.87 user 17	11.87 user 12	Ecuación (21)
Área, lado de la cabeza, A_p , in ²	461.86	226.94	113.10	
Área, lado cigüeñal, A_c , in ²	442.23	207.35	93.47	$A_{cp} = A_{biela}$
Carga en el cuerpo, compresión, F , lb	112 119	119 268	130 375	Ecuación (23)
Carga en el cuerpo, tensión, F_t , lb	- 99 438	- 8 2 887	- 75 156	Ecuación (24)
Límite de carga en el cuerpo, lb	150 000			Con base en cuerpos disponibles
<p>Resumen: La selección preliminar es un compresor de tres cilindros, carrera de 18 in, que trabaje a 277 rpm, con un cilindro de 24-1/4 in (primera etapa), un cilindro de 17 in (segunda etapa) y un cilindro de 12 in (tercera etapa). Todos los cilindros son de doble acción. La unidad motriz es de 6 000 hp.</p>				

En un cilindro de doble acción, cuando el pistón se mueve hacia dentro en dirección al cigüeñal, la carga en el cuerpo, F , se calcula con

$$F_c = P_A P_c \quad (23)$$

y dicha carga, en tensión, F_d , cuando el pistón se aleja del cigüeñal, es:

$$F_d = P_A P_s - P_A P_c \quad (24)$$

en donde F y F_d son en lb; P y P_d son las presiones de succión y descarga, psi; A_c es la área de la cabeza del pistón, in² y A_s es la área del pistón en el lado del cigüeñal, in². En la figura 12 se ven estas relaciones con claridad

El cuerpo de todo compresor tiene valores máximos para su carga, que no se deben sobrepasar en funcionamiento normal. Se prefiere que los valores calculados no excedan de 60% a 75% de la resistencia máxima calculada del cuerpo.

Se deben especificar los límites de velocidad de rotación N y la velocidad promedio del pistón, U , para no seleccionar un compresor que funcione a mucha velocidad, tenga desgaste excesivo y requiera mucho mantenimiento.

$$U_p = 2N(L/2) \quad (25)$$

en donde U es la velocidad del pistón, ft/min, N es la velocidad de rotación, rpm, y L es la carrera, in. El límite general de la velocidad del pistón en un compresor es de 800 a 850 ft/min y para los no lubricados es un poco menor, o sea alrededor de 700 ft/min.

Ejemplo 5. Se hará la selección preliminar de un compresor recíprocante de etapas múltiples, típico, para manejar 413 MMPCDE de una mezcla de hidrógeno y gas hidrocarburo con peso molecular de 2.925. En la tabla VI se presentan los datos pertinentes y los cálculos necesarios.

Control de compresores recíprocantes

Si se aplica suficiente potencia a un compresor de desplazamiento positivo, continuará el aumento de la presión a más de su valor nominal hasta que se llega a cierto límite, lo cual puede ocurrir con la apertura de una válvula de desahogo, el accionamiento de un interruptor de descarga por alta temperatura o por desperfecto de la máquina. No se desea nada de ello para el control de procesos. Por tanto, los compresores deben tener controles del cilindro o válvulas de derivación (*bypass*) o deben responder al tener cambios en la velocidad por variaciones en la capacidad.

La mayor parte de los compresores recíprocantes se impulsan con un motor eléctrico de velocidad constante; por ello los controles se basan en el funcionamiento a velocidad constante. En un compresor de velocidad fija, el control de la capacidad se puede lograr mediante:

1. Derivación externa del gas o aire en torno al compresor hasta la fuente de succión o la atmósfera.
2. Descargadores para los cilindros
3. Las llamadas cajas de espacio muerto.

4. Una combinación de los anteriores.

Los descargadores son manuales o automáticos, en uno o ambos extremos de un cilindro y se emplean para descargar, o sea, mantener abiertas las válvulas de entrada y con ello, el compresor no funciona en esa parte de esa carrera. Por ejemplo, los descargadores de las válvulas de entrada podrían estar en el lado de la cabeza (culata) de un cilindro y, al accionarlos, reducirían la salida neta del cilindro más o menos a la mitad. Si se utilizan los descargadores como control permanente, pueden surgir problemas de carga del cuerpo, pulsaciones excesivas o menor duración de las válvulas. Los descargadores casi siempre se utilizan para facilitar el arranque del compresor.

Las cajas de espacio muerto constituyen una capacidad adicional que se integran o atornillan en el lado de la cabeza o en el del cigüeñal de uno o más cilindros para aumentar el espacio muerto en ese cilindro; esto reduce la eficiencia volumétrica y disminuye la salida neta en un cilindro de tamaño dado. En la figura 13 se puede ver la forma en que el espacio muerto más grande en un cilindro disminuye la eficiencia volumétrica.

Cualquiera que sea el control de capacidad que se utilice, siempre hay que instalar válvulas de desahogo en la tubería cercana a cualquier compresor de desplazamiento positivo; la válvula debe ser de un tamaño adecuado para toda la capacidad de salida del cilindro.

A veces se utilizan unidades motrices de gas de velocidad variable en los compresores recíprocantes y ofrecen la ventaja de variar la capacidad como función directa de la velocidad. A menudo se utilizan cajas de espacio muerto y descargadores de cilindros para mayor facilidad de control. El alto costo inicial y de mantenimiento hacen que este tipo de unidades casi siempre se utilicen en aplicaciones especiales.

También se pueden utilizar turbinas de vapor o de gas para mover los compresores recíprocantes, pero se debe estudiar con todo cuidado su instalación pues se suelen necesitar engranes reductores de velocidad, volantes, acoplamientos torsionales y análisis especiales.

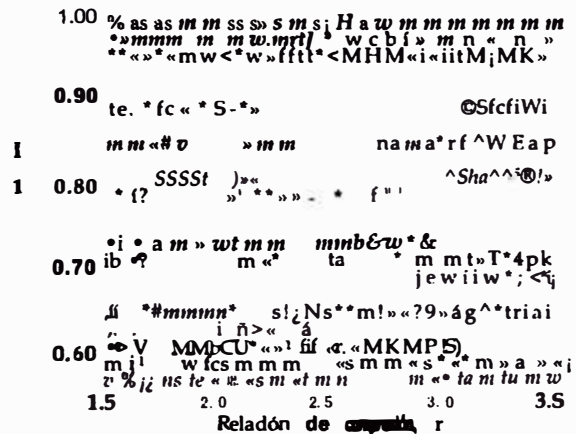


Fig. 13 El espacio muerto influye en la eficiencia volumétrica



Lubricantes para Sistemas de Refrigeración a base de Amoníaco

***Aceites para bombas de Amoníaco tipos:
717-HT, 717-LT, 717-SC, SYN 1-68-SC, 4600-15-SC***

Introducción

Los Lubricantes CAMCO® son hoy en día los productos de la más alta calidad, diseñados específicamente para sistemas de refrigeración a base de Amoniaco. Estos lubricantes superan de manera consistente el rendimiento de los aceites minerales convencionales para sistemas de refrigeración a base de Amoniaco.

Los Lubricantes CAMCO® son recomendados para usarse como refrigerante / lubricante para sistemas de refrigeración a base de Amoniaco y son especialmente efectivos en el combate de la corrosión, alargando la vida útil de los sistemas rotativos, reciprocantes y compresores de Amoniaco.

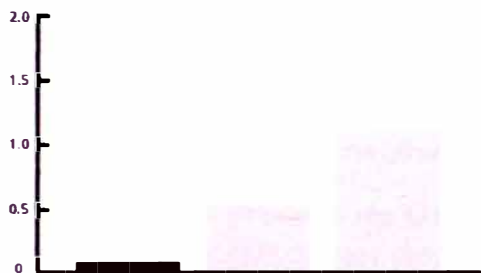
Para lograr una estabilidad excepcional en la temperatura de su sistema y eliminar la formación de residuos, los Lubricantes CAMCO® para refrigeración a base de Amoniaco son la mejor y más óptima solución para sus sistemas Refrigerados.



Volatilidad de Aceitas de Refrigeración

ISO 68

% Pérdida de Peso*



*Representa las pérdidas después de 22 horas a 100°C

Figure A

Lubricantes CAMCO® para Refrigeración

Baja Volatilidad

Los lubricantes CAMCO® han sido formulados con el objetivo de exceder las especificaciones de los fabricantes de compresores para Amoníaco. La alta volatilidad en los lubricantes convencionales aumenta su consumo, ocasionando depósitos de residuos (ver Figura A).

Baja Solubilidad del Amoníaco

Los componentes de los Lubricantes CAMCO® son seleccionados y combinados a fin de minimizar el índice de mezcla con el refrigerante (ver Figura B), reduciendo las pérdidas de aceite por mezclado y los costos anuales en la compra de lubricantes, lográndose finalmente la reducción en el volumen de la descarga de aceite desde el compresor – el que generalmente deberá ser eliminado del circuito de tubería de Amoníaco.

Alto Índice de viscosidad para lograr una mayor Estabilidad Térmica

Los lubricantes se vuelven más espesos a medida que la temperatura disminuye y más ligeros al aumentarse. Debido a su alto índice de viscosidad, los lubricantes CAMCO® para sistemas de refrigeración a base de Amoníaco, su viscosidad actual varía en menor escala al aumentar la temperatura, manteniéndose en el rango de viscosidad requerida por las especificaciones del compresor.

Una Viscosidad consistente sobre el tiempo

A diferencia de los aceites a base de solventes refinados, los aceites hidrocraqueados tienen un contenido de aromáticos mucho menor, reduciéndose su volatilidad y por consiguiente las pérdidas en el sistema. Los extremos livianos del aceite hidrocraqueado se vaporizan a mayores temperaturas, evitándose un aumento en la viscosidad y manteniéndose la viscosidad requerida por miles de horas más que los aceites a base de solventes refinados. Esta ventaja aumenta la vida útil del compresor, así como los intervalos de drenaje. Los lubricantes CAMCO® de la Serie 717 son resultado de una mezcla de bases hidrocraqueadas no miscibles con agua, evitando la formación de emulsiones. Esto aumenta la vida útil del aceite y mantiene la capa protectora en el espesor requerido a bajo nivel de volatilidad (ver Fig. C), contrario a los aceites a base de solventes minerales refinados, cuya viscosidad aumenta en un intervalo mucho menor de tiempo.

Solubilidad del Aceite con Amoníaco

ISO 68 para Aceites de Refrigeración

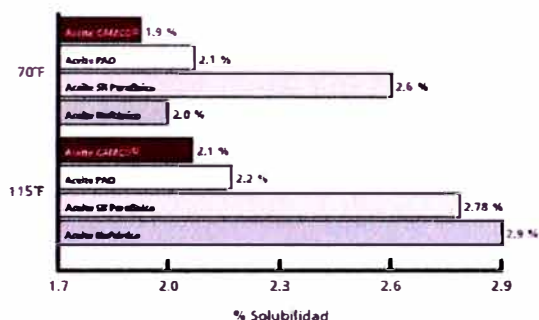


Figure B

Viscosidad Como Función del Tiempo

ISO 68 para Aceites de Refrigeración de Amoníaco

Viscosidad en CST

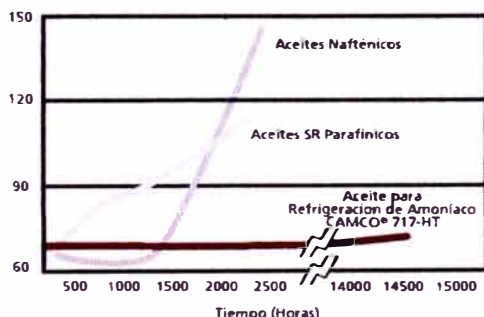


Figure C

Minima o ninguna formación de Espuma

Las características de baja formación de espuma en los lubricantes CAMCO® para sistemas de refrigeración a base de amoníaco garantizan una rápida separación entre el amoníaco y el lubricante. Estas características permiten un mejor desempeño del lubricante, un mayor índice de enfriamiento y sellado entre los rotores en compresores de tornillo y reciprocantes.

Inhibición del Proceso de Oxidación

Los lubricantes CAMCO® para sistemas de refrigeración de amoníaco poseen aditivos que mejoran la protección natural de sus componentes básicos, a fin de evitar la formación de herrumbre dentro del compresor y otros elementos metálicos del sistema. La inhibición del proceso de oxidación es otra forma de protección garantizada por los lubricantes CAMCO®.

Productos aprobados por la Norma: USDA H2

Los lubricantes CAMCO® son aprobados por la USDA / NSF para su uso en plantas procesadoras de alimentos a base de carnes, aves, y otras bases alimenticias.

La diferencia en el uso de Productos CAMCO®

Los lubricantes CAMCO® para refrigeración de amoníaco cumplen con los más rigurosos estándares y normas sobre compresores industriales de amoníaco, gracias a la utilización de materias primas elaboradas a base de un proceso bifásico de refinación hidro-tratado. Este proceso de refinación elimina impurezas desde los componentes básicos en conjunto con los hidrocarburos no saturados, logrando una base lubricante de alta calidad. Los aditivos seleccionados son agregados posteriormente a la base, a fin de obtener un lubricante de mayor rendimiento para los sistemas de refrigeración de amoníaco. Estos aditivos contienen inhibidores de oxidación, agentes anticorrosivos, así como agentes reductores del punto de derrame. Los lubricantes CAMCO® para refrigeración de amoníaco son hidrocarburos cuyo proceso de fabricación incluye la formación de estructuras moleculares cerradas, obteniéndose una mayor estabilidad a altas temperaturas y niveles severos de oxidación durante intervalos prolongados de drenaje. Los niveles de lubricación aumentan al doble que los niveles convencionales en bases lubricantes de solventes refinados pertenecientes al Grupo 1, resultando en un lubricante superior para utilizarse en compresores rotativos, reciprocantes y de veleta.

CAMCO® 717- HT

Es un fluido para compresores de sistemas de refrigeración a base de amoníaco, constituido por una mezcla de lubricantes semi-sintéticos, altamente refinados, químicamente inertes y libres de contenido cerúmeno.

CAMCO® 717- IT

Es un lubricante formulado para bajas temperaturas, con un desempeño de la misma alta calidad que el aceite 717-HT, con aditivos diseñados especialmente para aplicaciones a temperaturas bajas y medias.

CAMCO® 717- SC

Es un aceite para refrigeración con una combinación especialmente mejorada para el acondicionamiento de los sellos durante el funcionamiento del compresor. Esta condición podría no aplicarse a los sellos que se han solidificado debido al sobrecalentamiento, pero si ayudará a restaurar su condición mecánica aquellos sellos que hayan perdido su elasticidad debido a la acción que sobre ellos ejerce el aceite, y finalmente sellará cualquier fuga en el sistema.

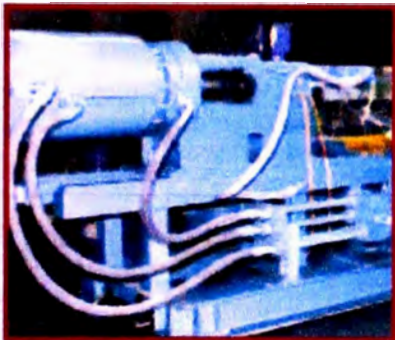
CAMCO® SYN 1-68-SC

Es un fluido con bajo punto de derrame, diseñado para sistemas a un rango de temperatura desde: -40 °F a -60 °F, lo cual requiere propiedades específicas para bajas temperaturas. Este aceite contiene además un aditivo acondicionador de sellos que restaura la elasticidad en los anillos tipo "O" y demás sellos hasta casi su condición original. Algunos tipos de sellos en especial podrían no ser modificados por este tipo de aceite. Para mayor información consulte a su distribuidor local CAMCO®.

CAMCO® 4600 -1 5-SC

Diseñado para utilizarse con bombas de recirculación Corneil para sistemas de amoníaco o R-22, garantizando un punto de derrame: -97° y un aditivo acondicionador de sellos para aumentar la vida útil de los sellos. El acondicionador de sellos rellena los plastificantes y contenidos sólidos en el sello afectado por la acción del aceite, renovando la elasticidad perdida del sello. Para mayor información consulte a su distribuidor local CAMCO®.

Los Aceites a base de nafta para sistemas de refrigeración funcionan bien con sistemas viejos de Freón, pero no cumplen con los requerimientos de los sistemas modernos de Refrigeración a base de amoniaco.



Sobre Aceites Convencionales para Sistemas de Refrigeración

El aceite estándar para sistemas de Freón y amoniaco para sistemas de refrigeración eran aceites a base de nafta, utilizados debido a su punto bajo punto de vaciado (-30°F). Su miscibilidad en sistemas de Freón fue aceptable y en los sistemas de amoniaco su solubilidad en el gas de descarga fue también aceptable. Sin embargo, su bajo índice de viscosidad, alta volatilidad, y alto contenido de aromatizantes resultaron formaciones prematuras y significativas de carbón y depósitos, impactando directamente el desempeño del compresor y como su mantenimiento. En sistemas de bajas temperaturas el aceite era difícil de remover. En los nuevos equipos de alta velocidad y alta temperatura los aceites y lubricantes sintéticos mezclados CAMCO® de la serie 717 han eliminado estos problemas. Los resultados: menores intervalos de mantenimiento, un funcionamiento más limpio y mayores períodos de lubricación.

Requisitos Técnicos para Sistemas de Amoniaco para Refrigeración

Los compresores de amoniaco modernos de alta velocidad requieren un lubricante de alta calidad que deba tener las siguientes cualidades:

- Garantizar una capa de protección de alta resistencia entre los rotores macho y hembra y entre los pines de los rotores, así como en el tambor del compresor.
- Capacidad para enfriar el compresor.
- Lubricación adecuada para la reducción de desgaste en los compresores reciprocantes y mantener una viscosidad adecuada a temperaturas de descarga para lubricar y sellar compresores de tornillo.

Los aceites CAMCO® para sistemas de refrigeración de amoniaco son lubricantes de alta calidad que satisfacen los requerimientos técnicos más recientes y exigentes.



Los retos del Amoniaco

Los lubricantes CAMCO® comprenden los retos que representan los sistemas de amoniaco, así como los defectos asociados con la utilización de los lubricantes a base de nafta convencionales:

Lubricación

El amoniaco no posee las propiedades lubricantes naturales del freón. El entorno químico de un sistema de refrigeración a base de amoniaco requiere de un aceite que pueda lubricar, enfriar y sellar.

Vida Útil

Los aceites convencionales, ya sean éstos a base de nafta o parafinados a base de solventes refinados tienen corta vida útil en compresores de amoniaco, los cuales empiezan a descomponerse luego de un periodo reducido de tiempo. La viscosidad aumenta aproximadamente a las 1500 horas de operación.

Indice de Viscosidad

Los aceites minerales convencionales se caracterizan por un bajo índice de viscosidad, poca estabilidad térmica y caídas de viscosidad repentinas al alcanzarse las temperaturas de descarga. La caída de viscosidad podría afectar el desgaste de los cojinetes (balineras) y las propiedades de sellado del lubricante. Una alta volatilidad y un alto contenido de aromáticos aumenta la formación de carbón y depósitos en el compresor.

Los lubricantes para sistemas de amoniaco deben tener propiedades para un desempeño óptimo a bajas temperaturas y no solamente durabilidad a altas temperaturas.

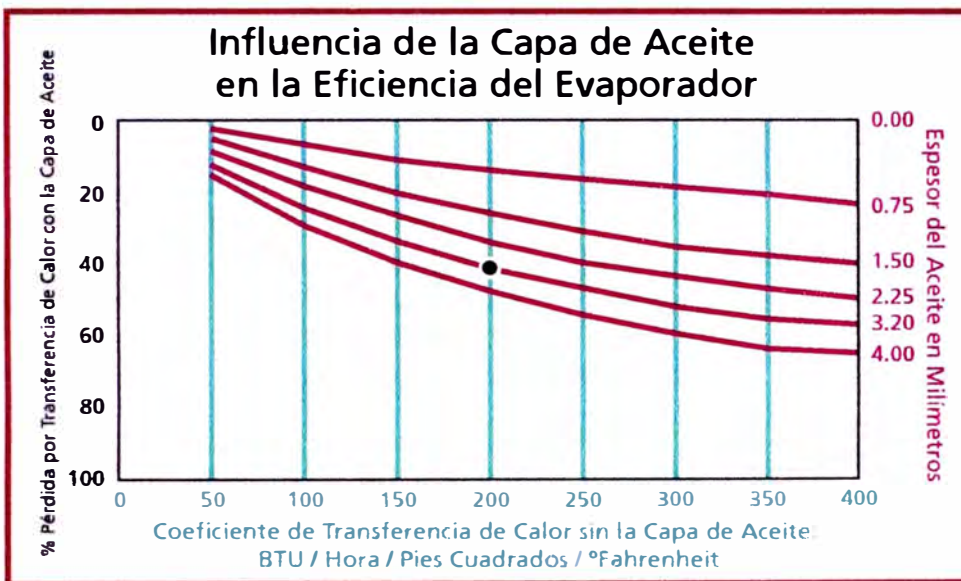


Figure D

Efficiencia del Evaporador

Un lubricante de alto índice de viscosidad es requerido para minimizar el volumen de aceite que se filtra en el sistema. La Figura D muestra el efecto de la capa de aceite sobre la eficiencia del evaporador. Para determinar las pérdidas en la transferencia de calor en el módulo del evaporador, encuentre el coeficiente de transferencia de calor de su evaporador en la base del esquema. En el lado derecho, seleccione el espesor del aceite en milímetros dentro del evaporador. El punto de intersección de ambas líneas será su punto de referencia. Utilice el borde de una regla para dibujar una línea desde el punto de referencia hasta el margen izquierdo para determinar la pérdida de calor para un espesor dado de aceite en el evaporador.

Ejemplo:

Suponiendo que el coeficiente de transferencia de calor sea 200 y el espesor de la capa de aceite 3.20 mm. en el evaporador, al seguir la línea de intersección de las líneas verde y roja (marcadas por un punto negro) hacia el margen izquierdo, veremos que resultará un 40% de pérdida de calor.



CAMCO® tiene la Respuesta

Los Ingenieros de la Compañía CAMCO® creen que un aceite mejor adaptado puede ser formulado para utilizarse en sistemas de amoniaco para refrigeración mediante novedosos métodos de hidrotatamiento e incorporando paquetes de aditivos especialmente seleccionados constituyen una clara solución ya disponible en el mercado local.

Los lubricantes CAMCO® para sistemas de refrigeración superan los productos de la competencia en las más rigurosas pruebas estándares de la industria. Nuestros aceites de calidad demuestran excelencia en lubricación, protección contra el desgaste, estabilidad térmica e inmiscibilidad con el Amoniaco.



La Opción es Clara

Sistemas de refrigeración a base de amoniaco exigen lubricantes de la más alta calidad. Los lubricantes CAMCO® son formulados para garantizar una mayor eficacia, versatilidad y los intervalos más duraderos de lubricación posibles para sistemas de amoniaco. Gracias a sus bases hidrotatadas y aditivos específicamente seleccionados para asegurar un mayor rendimiento está ahora a su alcance. Los lubricantes CAMCO® significan una lubricación confiable y un ahorro constante en su sistema.

CAMCO® ofrece:

- *Menores intervalos fuera de operación.*
- *Menor consumo de aceite.*
- *Menos desgaste en su equipo.*
- *¡Menos preocupaciones!*



Nos especializamos en lubricantes sintéticos y semi-sintéticos para refrigeración a base de amoniaco, procesamiento de alimentos y aplicaciones industriales.

Oficinas Corporativas: 1441 Rice Street • St. Paul, MN 55117-3899
Teléfonos: 1-651-489-8828 • **Fax:** 1-651-487-8857 • **Llamar Gratis:** 1-877-205-1234
Responsable: Mike L. Worms • **Correo Electrónico:** mike@camcolubricants.com
Sitio en la Red: www.camcolubricants.com

Para ordenar lubricantes para refrigeración de amoniaco, contáctese con su Distribuidor local CAMCO. También tenemos a su disposición lubricantes de nueva generación no dañinos a la capa de ozono y lubricantes para aire acondicionado automotriz.

FOTOGRAFIAS



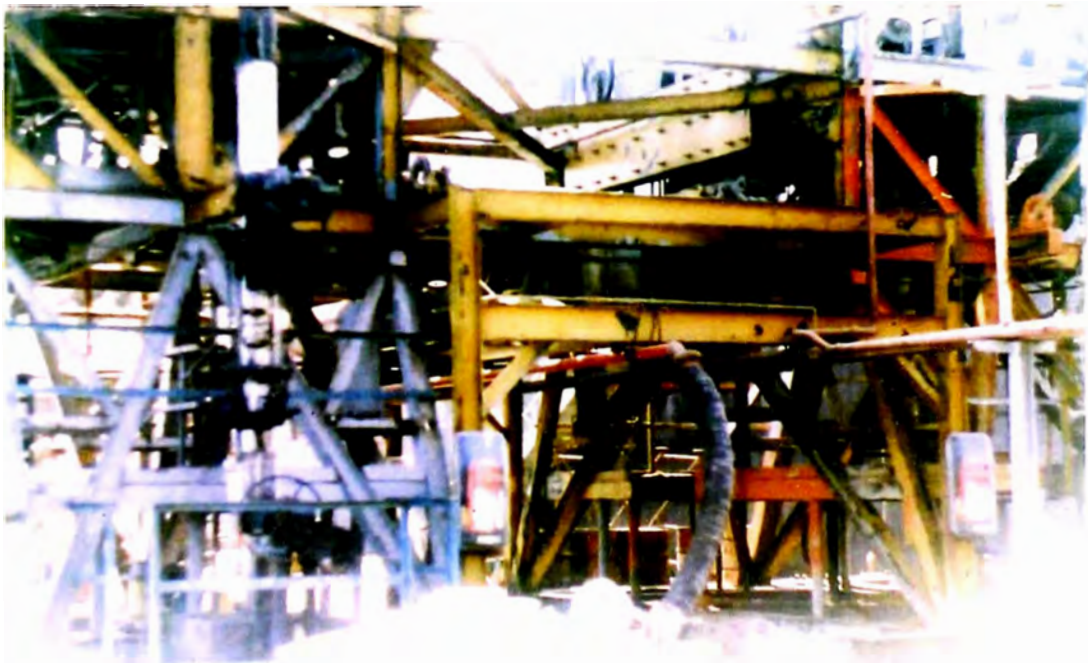
- 1) Muelle 7.- Zona de soporte de tuberías. Las alternativas son, colocar la tubería en el nivel superior o en el inferior, a la izquierda de las tuberías existentes.



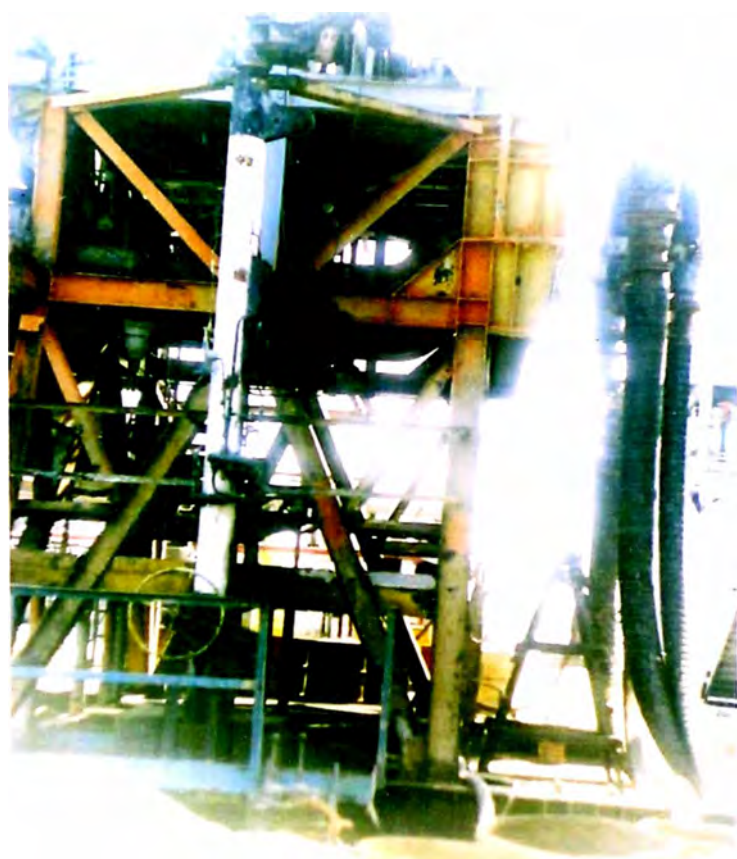
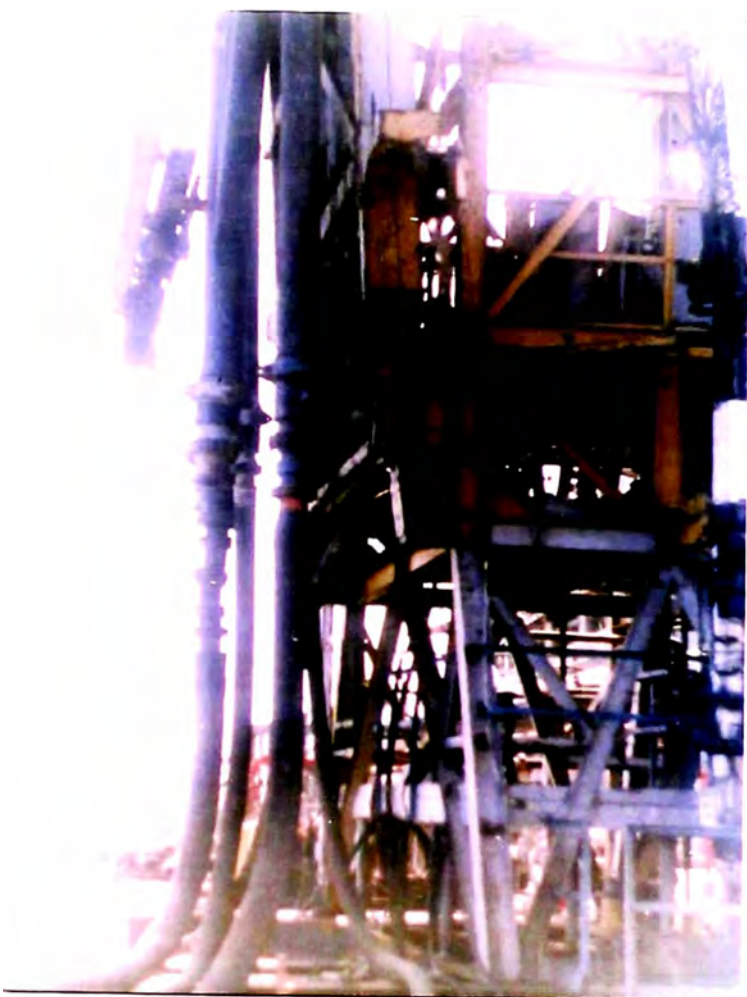
- 2) Muelle 7.- Zona de dispositivo de limpieza de tuberías en el cabezo del muelle. La instalación permite colocar bolas de jebe (pigs) para separar fluidos y para fines de limpieza.



- 3) Muelle 7.- Vista desde el extremo Oeste. Se ve la zona de oficinas y en la parte posterior la estructura de conexión de mangueras a los barcos.



- 4) Muelle 7.- Estructura de soporte de mangueras de conexión. La tubería de FERTISA se apoyaría sobre la viga inferior pintada de amarillo, quedando sobre la tubería pintada en rojo.



- 5) y 6) Muelle 7.- Vistas las estructuras de mangueras de conexión hacia los barcos; el Muelle puede recibir los barcos tanto del lado izquierdo como derecho y simultáneamente. Cuenta con los aparejos necesarios para colocar las mangueras en posición de conexión.



7) y 8) Muelle 7.- Detalles de la estructura (derrick) de soporte de tuberías y mangueras.