

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA  
DE MONTAJE DE LA TUBERÍA FORZADA  
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL  
PLATANAL”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**RICHARD DAGOBERTO CASTILLO SANCHEZ**

**PROMOCIÓN 2009-1**

**LIMA – PERÚ  
2011**

## INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO 1	
INTRODUCCIÓN	4
1.1 Antecedentes	6
1.2 Objetivos	7
1.3 Justificación	8
1.4 Limitaciones del Estudio	9
1.5 Alcances	10
1.6 Descripción General del Proyecto Integral El Platanal	10
1.6.1 Justificación de la Construcción de la Central Hidroeléctrica El Platanal	13
1.6.2 Potencial Hidroeléctrico y Agrícola del Rio Cañete.	15
1.6.3 Obras del Proyecto Integral El Platanal.	17
1.6.4 Resultados a Obtenerse con El Proyecto Hidroenergético El Platanal.	22
CAPITULO 2	
ANÁLISIS PREVIO AL PROCESO DE SOLDADURA	
2.1 Consideraciones previas al proceso de soldadura en Obra	23
2.1.1 Características del acero SUMITEN 780S	25
2.1.1 Soldabilidad metalúrgica del acero SUMITEN 780S	31
2.1.2 Problemas de Soldabilidad del Acero SUMITEN 780S	33
a. Esfuerzos Residuales en Juntas soldadas	34
b. Fisuración por alivio de Tensiones	35
c. Fisuración Inducida por Hidrógeno	37
d. Medidas para evitar fisuración inducida por hidrógeno	41
2.2 Antecedentes del proceso de soldadura	50
2.2.1 Requerimientos de Diseño	50
2.2.1 Condiciones Ambientales en el lugar de Soldadura	51
2.2.2 Calificación de Soldadores	53
2.2.3 Control de Calidad en Uniones Soldadas	54

2.2.4	Selección del Metal de Aporte	55
	a. Variables a considerar	56
	b. Metal de Aporte	57
	c. Almacenamiento y Estufado de Material de Aporte	61
	d. Absorción de humedad por parte del revestimiento	63
	e. Resecado de los electrodos	64
	f. Recuperación	65
2.3	Selección del Proceso de Soldadura y Metal de Aporte	67
2.3.1	Formas de unión de la Tubería Forzada	67
	a. Chablán tipo “V”	67
	b. Chablán tipo “W”	68
	c. Chablán tipo “X”	69
2.3.2	Análisis de los Requerimientos de Junta	69
2.3.3	Análisis económico	81

### CAPITULO 3

#### PROCESO DE SOLDADURA DE MONTAJE DE LA TUBERÍA FORZADA

3.1	Consideraciones para el Proceso de Soldadura en Obra	86
3.1.1	Consideraciones de Diseño	86
3.1.2	Limitaciones de Transporte y Montaje	87
3.1.3	Tolerancias de Fabricación	88
	a. Desviación diametral de la Tubería	89
	b. Fuera de Redondez	89
	c. Deformación Local	90
	d. Refuerzo de Soldaduras	90
	e. Desviación del radio teórico	90
	f. Desviación de la generatriz	91
3.1.4	Calificación del Procedimiento de Soldadura	92
	a. Registro de Calificación de Procedimiento (PQR)	93
	b. Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS)	94
	c. Control de Material Base	94

d. Tipo de Pruebas Requeridos	95
e. Calificación del Procedimiento de Soldadura	98
3.2 Proceso de Soldadura	103
a. Equipos para proceso de soldadura	104
b. Preparación de superficie de biseles	104
c. Montaje y alineamiento de tuberías	105
d. Precalentamiento de juntas	107
e. Proceso de Soldadura de apuntalado y circunferencial	109
f. Soldadura de la Tubería	110
3.3 Inspecciones y Controles	112

## CAPITULO 4

### EQUIPOS USADOS EN EL PROCESO DE SOLDADURA EN MONTAJE DE VIROLAS

4.1 Selección de Equipos Soldadura (Máquina de Soldar)	114
4.1.1 Selección de fuente de poder	114
4.1.2 Selección de método y equipo de precalentamiento	118
a. Calentamiento por Inducción	119
b. Calentamiento por Resistencias Eléctricas	121
c. Calentamiento por Llama	124
4.1.3 Equipo para medición de temperaturas	126
a. Lápices de temperatura	126
b. Termocuplas	127
c. Instrumentos Infrarrojos	129
4.1.4 Equipos para reacondicionado y manutención de metal de aporte	130
4.1.5 Herramientas para limpieza de biseles y cordones de soldadura	132
a. Esmeriles Eléctricos	132
4.1.6 Estructura para preparación de biseles	133
4.1.7 Estructura para soldadura de montaje en pique vertical	134
4.1.8 Equipos de seguridad personal	135

## CAPITULO 5

### CONTROL DE CALIDAD DE LAS UNIONES SOLDADAS

5.1 Localización y ocurrencia de discontinuidades	142
5.1.1 Porosidad	143
5.1.2 Inclusiones de escoria	145
5.1.3 Fusión Incompleta	146
5.1.4 Falta de Penetración	147
5.2 Control de Calidad de uniones soldadas	149
5.2.1 Inspección visual	150
5.2.2 Líquidos Penetrantes	159
5.2.3 Ultrasonido	163
5.2.3.1 Construcción de Palpadores Angulares	166
5.2.3.2 Determinación de la situación de un defecto en una Chapa	169
5.2.3.3 Requisitos anteriores al comienzo de un examen por ultrasonido de un cordón de soldadura.	171
5.2.3.4 Defectos típicos que se producen en soldaduras con electrodos	173
5.2.3.5 Posibilidad de detección de defectos internos en soldaduras mediante ultrasonido	175
5.2.3.6 Elección del ángulo del palpador	178
5.2.3.7 Localización de defectos en soldadura mediante palpador angulas	178
5.2.3.8 Equipamiento	180
5.2.3.9 Ventajas del Control Ultrasonido	191
5.2.3.10 Inconvenientes del control por ultrasonido	191
5.2.3.11 Criterios de aceptación	192
5.2.3.12 Condiciones del examen	193
5.2.3.13 Reparación de Defectos	194
5.2.4 Partículas Magnéticas	194
5.2.4.1 Modo de Aplicación de las Partículas Magnéticas	196
5.2.4.2 Requerimientos de Examen	197
5.2.4.3 Procedimiento de inspección	198
5.2.4.4 Interpretación y evaluación de indicaciones	199

5.2.4.5 Criterios de Aceptación	200
CAPITULO 6	
ANÁLISIS DE COSTOS	
6.1 Estudió de Costos de Proceso de Soldadura	202
a. Costo del Metal de Aporte	203
b. Mano de Obra	205
c. Costo de Equipo de Soldadura	207
d. Costo de Ensayos no Destructivos	209
e. Costo de Energía	210
CONCLUSIONES	213
BIBLIOGRAFÍA	216
ANEXO	217

## **PROLOGO**

La presente investigación titulada “Análisis y Estudio del Proceso de Soldadura de Montaje de la Tubería Forzada de la Central Hidroeléctrica El Platanal”, tiene que como principal objetivo determinar las principales variables y problemas de soldabilidad a considerar para la soldadura de montaje de tuberías forzadas.

A continuación se realizara una descripción de cada uno de los Capítulos que serán tratados en la presente investigación, detallando sus principales puntos de investigación para una mejor comprensión del mismo.

Capitulo 1, Introducción; Nos presenta los antecedentes que se tuvieron en consideración para la realización de la investigación, así como los principales objetivos que señalan el camino a seguir durante la investigación el cual es a grandes rasgos el de proponer una metodología para la realización del proceso de soldadura de montaje de tuberías forzadas.

Adicionalmente en este capítulo se muestran las limitaciones de la investigación, alcances de la misma y una descripción detallada del Proyecto El Platanal.

Capitulo 2, Análisis Previo al Proceso de Soldadura; este Capítulo se centra en la determinación de las principales características mecánicas y metalúrgicas del acero SUMITEN 780S, y los problemas de soldabilidad que este presenta como consecuencia de su composición química y estructura cristalina.

Así mismo en este Capítulo se desarrolla la metodología seguida para la selección del proceso de soldadura, material de aporte (electrodo de soldadura) acorde con los requerimientos del código ASME sección VIII.

Capitulo 3, Proceso de Soldadura de Montaje de la Tubería Forzada; Los puntos tratados en este Capítulo abarcan las consideraciones de transporte y montaje tomados en cuenta para la fabricación de las secciones de tuberías, así mismo se desarrolla la metodología seguida para el proceso de Calificación del Procedimiento de Soldadura para el montaje de la tubería forzada, la cual se realizo tomando como referencia los requerimientos del código ASME Sección VIII y sección IX. Adicionalmente en este capítulo se desarrollo detalladamente todos los ensayos requeridos para el proceso de calificación, cuyos resultados son adjuntos en el anexo de la tesis.

Capítulo IV, Equipos para Proceso de Soldadura en Montaje de Virolas; en esta sección de la investigación se desarrollo la metodología para la selección de equipos a usar para el proceso de soldadura tales como, maquina de soldar, métodos y equipos a usar para proceso de precalentamiento de juntas de soldadura, equipos de



manutención de electrodos, equipos para control de temperatura de juntas de soldadura y como último los equipos de protección personal usados por el personal y soldadores.

Capítulo V, Inspecciones de Uniones Soldadas; este Capítulo desarrolla las principales discontinuidades y defectos que pueden ser detectados en un proceso de soldadura y la manera como evitar los mismos, adicionalmente en esta sección de la investigación se desarrolla detalladamente los métodos de ensayos no destructivos a emplear para la inspección de la uniones soldadas durante el proceso de montaje, entre ellas inspección visual, ensayo por partículas magnéticas, ensayo por líquidos penetrantes y ensayo por ultrasonido.

Capítulo VI, Análisis de Costos; este último y por ello no menos importante que los demás muestra un estudio de costos realizado al proceso de soldadura en sí, sin incluir los gastos indirectos incurridos en el proceso de montaje, pues lo que se quería mostrar es el gasto directo incurrido en el proceso de soldadura, en este análisis se incluye los costos de metal de aporte (electrodos), Mano de obra, Costos de equipos de soldadura, costo por ensayos no destructivos y costo por energía.

Por último quisiera agradecer el desinteresado apoyo de la Empresa Graña y Montero S.A., la que impulso desde un inicio la realización de esta investigación, aportando todos los recursos necesarios para la culminación del mismo.

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

Dentro de los sistemas de generación eléctrica, uno de los más importantes a nivel nacional como a nivel mundial es el de origen hídrico.

En el Perú la manera más económica y práctica de generación eléctrica es a partir de Centrales Hidroeléctricas, debido a la abundancia de recursos hídricos.

Teniendo en cuenta, que en los próximos años el Perú experimentara un déficit en la generación de electricidad, debido al constante crecimiento de la economía de alrededor de 7% anual, se están realizando una serie de proyectos para incrementar la capacidad de generación eléctrica, y encarar este déficit.

Al año 2000, en el cual se iniciaron los estudios para la construcción de la central hidroeléctrica El Platanal, la potencia instalada nacional total fue de 6 046 MW y la efectiva de 5 555 MW. De esta potencia instalada, el 47% es hidroeléctrica (2 842 MW), y el resto térmica. La generación térmica se hace principalmente con combustible residual y/o diesel. Este último es el que más escasea en el Perú y por tanto tiene que ser importado a un alto costo, teniendo en cuenta además la crisis energética existente en el mundo, debido al incremento en los precios de los combustibles, por lo que es mucho más rentable a largo plazo la construcción de Centrales Hidroeléctricas.

El presente trabajo trata de una de las partes fundamentales de una central hidroeléctrica, la cual se inicia con la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica mediante el uso de turbinas Pelton, luego esta energía mecánica es transformada en energía eléctrica con el uso de generadores eléctricos.

Precisamente el tema de tesis esta referido al estudio detallado del proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada vertical, el cual se convirtió en uno de los retos más importantes en la construcción de la central hidroeléctrica El Platanal, debido a las características geográficas y al ambiente agresivo donde se realizaron los trabajos de montaje y soldadura, sumado a los 550 metros de caída vertical del blindaje de acero con diámetro de 3,20 metros. Así mismo el uso de un nuevo tipo de acero de alta resistencia llamado SUMITEN 780S, el cual por sus altas propiedades mecánicas requirió un análisis y selección adecuada de los parámetros de soldadura, para evitar comprometer sus propiedades metalúrgicas debido a su alta templabilidad, las que determinaron el uso menores espesores de acero de la tubería forzada, y de esta manera disminuir los tiempos y costos de montaje y soldadura.

Para llevar a cabo el estudio del proceso de soldadura se tomaron en cuenta los procesos de soldadura semiautomática con gas de protección (GMAW), Soldadura con hilos tubulares (FCAW) y Soldadura manual con electrodo (SMAW), cada uno con características y variables de análisis diferentes, tanto técnicos como económicos, por ello un análisis detallado y minucioso fue de vital importancia para realizar una adecuada selección y posterior implementación del proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada.

Por todo ello el estudio y análisis del proceso de soldadura fue especialmente importante para cumplir no solo con los requerimientos de calidad sino también de productividad y costos.

### 1.1 Antecedentes

Normalmente la ubicación y arreglo de las tuberías forzadas, está determinado por el tipo de dique, la ubicación de la toma de carga y descarga y la casa de maquinas, además del método usado para la desviación del flujo del rio.

La central hidroeléctrica El Platanal tiene una capacidad de generación eléctrica de 220 MW, así mismo la casa de máquinas cuenta con 2 turbinas Pelton de eje vertical de 110 MW de capacidad cada una.

El caudal de agua máximo usado en la generación es de  $42 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual es conducido desde el embalse hasta la casa de maquinas por un túnel, que cuenta con un blindaje de acero de alta resistencia SUMITEN 780S. Teniendo en cuenta las altas presiones que soportará la tubería forzada, debe garantizarse su integridad estructural, y en especial la sanidad de las soldaduras realizadas para su construcción, por ser estas las de mayor propensión a fallas.

La construcción e inspección de las uniones soldadas se realizaron de acuerdo al Código ASME Sección VIII, la que determinó las reglas y prácticas de construcción más seguras a fin de prevenir fallas en el proceso de soldadura.

El principal problema se suscito durante el proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada vertical, la que tiene como característica principal una caída totalmente vertical de 550 metros.

La tubería esta conformada por aproximadamente 82 tubos de entre 6 y 9 metros de longitud y 3,20 metros de diámetro, y el peso de cada tubo fluctúa entre 12 y 20 toneladas, sumado a las limitaciones de espacio y al difícil acceso al lugar de soldadura, ambiente de trabajo agresivo, corrientes de aire inducidas, falta de personal calificado, etc., se hizo necesario un estudio detallado del proceso de soldadura y la manera más efectiva de implementar el mismo, para llevar una exitosa calificación del proceso de soldadura y de los técnicos soldadores, los que hicieron de este proyecto un verdadero reto de ingeniería.

## 1.2 Objetivos

Realizar un estudio detallado del proceso de soldadura del blindaje de acero de la tubería forzada vertical de la Central Hidroeléctrica El Platanal, para de esta manera identificar las variables y problemas de soldabilidad más importantes a considerar, para una adecuada y optima implementación del proceso de soldadura, dada la alta confiabilidad que debe tener dicho subsistema en la generación de la central.

Objetivos específicos:

- Proponer la metodología más adecuada para la realización del proceso de soldadura para el montaje de la Tubería Forzada de la Central Hidroeléctrica-G1 El Platanal.

- Identificar los parámetros de soldadura óptimos.
- Proponer medidas técnicas para disminuir los efectos térmicos sobre las propiedades metalúrgicas y mecánicas del Acero SUMITEN 780S.

### 1.3 Justificación

El estudio minucioso y detallado del proceso de soldadura se debe a que tiene que ser realizado en un ambiente agresivo, y con el uso de un tipo de acero de alta resistencia que presenta una alta susceptibilidad a la fisuración inducida por hidrogeno, además de las altas temperaturas y niveles de humedad relativa, las que aumentan en mayor medida la propensión del acero a la fisuración.

Además se consideran otros motivos que justificaron la realización del presente trabajo, los cuales son presentados a continuación:

- Variación de las condiciones ambientales del lugar de soldadura las que se deben tener en cuenta para implementar un óptimo proceso de soldadura.
- Ausencia de metales de aporte adecuados en el mercado local, que compatibilicen con el acero SUMITEN 780S.
- Falta de información suficiente sobre las variables y parámetros más importantes que influyen en la soldabilidad del acero SUMITEN 780S.
- Escases en el mercado laboral de soldadores calificados con experiencia en esta clase de trabajos.

Por lo que surge la necesidad de comprobar la hipótesis que busca validar la presenta investigación la cual consiste en:

El uso de métodos predictivos y técnicas de soldadura para evitar la fisuración inducida por hidrógeno del acero SUMITEN 780S y la adecuada selección y calificación del proceso de soldadura asegura la adecuada implementación del proceso para condiciones de soldadura extremas encontradas en el montaje de la tubería forzada.

#### 1.4 Limitaciones del Estudio

Como en todo estudio de investigación se encuentran ciertas limitaciones durante su realización, en tal sentido esta no fue una excepción. Por lo que se procederá a enumerar las limitaciones más importantes para la realización de la investigación:

- Tiempo muy corto para la realización de un mayor número de ensayos mecánicos que permitan determinar con mayor precisión los parámetros de soldadura óptimos para cada uno de los espesores de acero SUMITEN 780S usados en la construcción de la tubería.
- Falta de un análisis más profundo acerca de los cambios metalúrgicos sufridos en el metal base y junta soldada, como producto del calor de aporte del proceso de soldadura, debido a la carencia de equipos necesarios para esta clase de investigaciones.
- Falta de un estudio más detallado del proceso semiautomático mecanizado GMAW, que presento las mejores características técnicas y económicas para su uso en la soldadura de montaje de la tubería debido a la falta de experiencia en esta clase de procesos en el país, lo que conllevó a la no elección de este proceso para su implementación final.

### 1.5 Alcances:

El presente trabajo centró su estudio detallado en el proceso de soldadura a usar en el montaje del blindaje de acero de la tubería forzada vertical, de la central hidroeléctrica El Platanal, la que cuenta con una potencia instalada de 220 MW, específicamente en el uso de aceros de alta resistencia como es el caso del acero usado en este proyecto, el acero SUMITEN 780S equivalente al acero ASTM A517 Grado F, en espesores comprendidos entre 16 – 35 mm.

Así mismo el estudio centro su objetivo en la determinación de las variables y parámetros de la soldadura a usar con el proceso manual SMAW, haciendo uso del metal de aporte E 11018G –H4.

### 1.6 Descripción General de Proyecto Integral EL Platanal:

Uno de los ríos pertenecientes a la cuenca del Pacífico, es el río Cañete es el cual es el segundo más importante, después del río Santa, por sus enormes recursos hídricos que brinda.

Actualmente del río Cañete solo el 25% del recurso hídrico logra ser aprovechado, perdiéndose el resto finalmente en el mar. Es en este contexto, que el Proyecto Integral El Platanal se ha abocado al aprovechamiento racional y sustentable de los recursos hídricos del río Cañete, a través del desarrollo hidroeléctrico.

El Proyecto El Platanal es el primer afianzamiento hidrológico de la cuenca del río Cañete-Yauyos, basado en la construcción de dos embalses que



permitirán asegurar, durante todo el año, el agua requerida para los actuales usos propios de la cuenca, mejorando la disponibilidad actual de agua en 14%. Esta regulación del río Cañete posibilitara el óptimo aprovechamiento hidroenergético de 270MW mediante la operación de dos centrales hidroeléctricas; así mismo, permitirá utilizar el excedente de agua para multiplicar la producción agrícola de la región, mediante la irrigación altamente tecnificada de 27,000 hectáreas de tierras eriazas, en las pampas de Concón-Topará. De este modo, creara las condiciones para que la región se constituya en una de las áreas agrícolas y agroindustriales exportadoras más importantes del país.

El proyecto Integral El Platanal ha sido desarrollado por ARPL Tecnología Industrial S.A., por encargo de Cementos Lima S.A. y Cemento Andino S.A., siguiendo los términos de referencia genéricos para proyectos hidroenergéticos y de irrigación.

#### Ubicación Geográfica

La central Hidroeléctrica El Platanal está localizada al sureste del departamento de Lima, en la provincia de Cañete (Ver figura N°1.1), distrito de Zuñiga y cerca al pueblo de San Juanito. El proyecto está ubicado sobre la cuenca derecha del Río Cañete, a 150 km al sur de la ciudad capital Lima. El propósito del proyecto es generar electricidad utilizando fuentes de energía renovable, para abastecer a la Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). La capacidad de generación instalada es de 220 MW y la generación promedio anual esperada es 1,063 GWh por año.



Figura N° 1.1 Mapa de ubicación de las obras del Proyecto El Platanal

El proyecto toma ventaja de la existencia de la laguna natural de Paucarcocha (1) localizada a 4 220 metros sobre el nivel del mar. Un embalse de regulación diaria (2) ubicada a 1 541 metros sobre el nivel del mar, con una capacidad de almacenamiento de 1 millón de metros cúbicos de agua, entregara el agua a la toma de admisión a un nivel de 1 528 metros sobre el nivel del mar. La toma de admisión esta seguida por un túnel de flujo libre (3) y un canal abierto de 90 metros de longitud.

El agua será conducida a la casa de maquinas de la Central a través de un canal cuadrado doble enterrado, con dimensiones de 2,5 metros por 3,5

metros y 760 metros de longitud. A este canal le seguirá un túnel sin blindaje de 12,41 kilómetros de longitud y 5 metros de diámetro, seguida por una tubería forzada.

La casa de maquinas subterránea (4) ubicada a 900 metros sobre el nivel del mar albergara 2 turbinas Pelton de eje vertical y sus correspondientes generadores de 110 mega Volt Amp (MVA) cada uno, con sus correspondientes equipos auxiliares.

El proyecto será conectado al SEIN a través de una subestación eléctrica de 220 KiloVolt, la cual será localizada sobre la superficie exterior de la casa de maquinas, ocupando un área no menor de una hectárea. Una subestación eléctrica más pequeña de 29,9 KiloVolt será localizada para regular correctamente el consumo diario de energía. El proyecto espera alcanzar un tiempo de vida mínimo de 40 años de operatividad.

#### 1.6.1 Justificación de la construcción de la Central Hidroeléctrica El Platanal

Al año 2000, la potencia instalada fue de 6 046 MW y la efectiva de 5 555 MW. De esta potencia instalada, el 47% es hidroeléctrica (2 842 MW), y el resto térmica. La generación térmica se hace principalmente con combustible residual y/o diesel. Este último es el que más escasea en el Perú y por tanto tiene que ser importado a un alto costo.

El consumo eléctrico en el Perú al año 2000 llego a 19 902 GWh con una utilización del 81% de hidroeléctricas vs. 19% de térmicas. El

anterior consumo equivale a una demanda de potencia promedio de solo 2 272 MW, siendo la demanda pico de 2 621 MW. Si consideramos además que la capacidad total de generación debe tener un factor de 25% de seguridad, obtenemos un valor final de potencia de 3 276 MW.

En resumen, podemos decir que hoy en día existe un exceso significativo de capacidad de generación eléctrica y que las primeras en operar son las centrales hidroeléctricas, por su menor costo de operación. Consecuentemente las plantas térmicas solo entraran a operar cuando ya no quede otra alternativa más económica.

En vista de que partimos de un punto inicial bajo, por la actual recesión del país, se puede asumir un crecimiento de la demanda eléctrica promedio anual de 6% para los siguientes cinco años. Esto nos pone en un valor de 4 384 MW de capacidad de generación incluyendo el factor de seguridad para cubrir esta demanda.

Asimismo, se puede estimar que al menos 75% de generación sería producida por centrales hidroeléctricas, o sea 3 842 MW, existirá un déficit hidroeléctrico de alrededor de 400 MW. La razón de haber reducido la utilización de hidroeléctricas de 81% (año 200) a 75% (año 2005) se debe que para ese momento ya habrá llegado el gas de Camisea a Lima y que las plantas térmicas con este combustible tendrán también un menor coste de energía eléctrica, aunque no al nivel de las hidroeléctricas que tengan un bajo coste de inversión.

Es importante mencionar que la estimación del requerimiento de energías antes presentado no considera la posibilidad de una interrupción en la operación hidroeléctrica de Mantaro, principal suministrados se la energía del país, con el 45% del mercado.

Como es público y notorio, esta hidroeléctrica está amenazada por potenciales derrumbes en su reservorio de Tablachaca, así como por problemas de sedimentación en el túnel de aducción de 20 k m de longitud.

#### 1.6.2 Potencial Hidroeléctrico y Agrícola del Río Cañete

El potencial teórico hidroeléctrico en el Perú es: 206 000 MW.

- a. En ríos hacia la cuenca del Atlántico: 176 500 MW
- b. En ríos hacia la cuenca del Pacífico: 29 500 MW

Sin embargo, el potencial de proyectos hidroeléctricos económicamente viables es de solo: 60 000 MW

Río	Potencial hidroeléctrico		Area Cuenca (Km2)	Caudal Medio Anual (MMC)	Obras Realizadas	Proyectos
	Teórico (MW)	Específico (MW)				
1. Santa	4 953	4,34	10 402	5 099	Cañon del Pato (150MW)/ Irrigación Chavimochic (60,000ha)	
2. Cañete Yauyos	1 927	3,42	6 189	1 636		Platanal (270MW) / Irrigación de Concón-Topará (27,00 ha)
3. Pativilca	1 675	3,26	4 114	1 443	Hidroeléctrica de Cahua (42MW)	
4. Huaura	1 062	2,95	3 200	944	Irrigación Santa Rosa (6,500 ha)	
5. Rímac	887	2,98	2 370	961	Centrales de Edegel (total 540MW)	
6. Pisco	872	2,5	3 496	828		
7. San Juan	774	2,5	3 029	632		
8. Jequetepeque	695	1,7	3 723	830	Gallito Ciego (34MW) / Reservorio 500MMC	
9. Acari	660	1,95	4 082	463		
10. Chancay	576	2,37	3 126	465		

*Cuadro Nº 1.1. Potencial hidroeléctrico y agrícola en la costa peruana*

De los 49 ríos de la costa peruana que desembocan en el Pacífico (excluyendo los 4 ríos antes mencionados), tenemos que el río Cañete Yauyos:

- Es el segundo río en potencial hidroeléctrico, después del río Santa.
- Es el segundo río en caudal y tamaño de la cuenca, por lo que también es el segundo en potencial agrícola, después del río Santa. Tanto es el caudal del río Cañete, que en los últimos años hasta la empresa SEDAPAL evaluó la posibilidad de derivar agua de este río para la ciudad de Lima.

- Por lo tanto, el río Cañete-Yauyos es superior en potencial hidroeléctrico y agrícola, a ríos como: Rímac, Pativilca, Jequetepeque, etc., en donde ya se han hecho hidroeléctricas, reservorios e irrigaciones.

### 1.6.3. Obras del Proyecto Integral El Platanal:

#### EMBALSE DEL PROYECTO

##### A. Embalse Morro de Arica

Aprovecha una garganta natural formada por el río en la localidad de Morro de Arica, entre los caseríos de Anta y Llapay.

Ubicación : Morro de Arica

Altitud : 3 000 m.s.n.m.

Almacenamiento: 244 MMC

Propósito : Regulación estacional principal

Tipo de presa : Concrete Faced Rocking Dam (CFRD)

Altura de presa : 220 m

Longitud de espejo de agua: 8 km

Otras características:

- Dado que el reservorio esta a 3 000 m.s.n.m. no tendrá problemas de sedimentación y la calidad del agua es muy limpia.
- Hay poca población en la zona dada la topografía del lugar. Solo se requiere reubicar y construir 20 nuevas casas.
- Se construirá nueva carretera de 7 m de ancho sobre el nuevo nivel de agua.

#### B. Embalse Capillucas

Ubicación	: Capillucas
Altitud	: 1 525 m.s.n.m.
Almacenamiento	: 5 MMC
Propósito	: Regulación horaria y desarenado
Tipo de presa	: Concrete Faced Rocking Dam (CFRD)
Altura de presa	: 37 m
Longitud de espejo de agua:	1 km

#### C. Embalse Paucarcocha

Ubicación	: Tanta
Altitud	: 4 220 m.s.n.m.
Almacenamiento	: 55 MMC
Propósito	: Regulación estacional secundaria



TUNEL ENTRE EMBALSE CAPILLUCAS Y CASA DE FUERZA  
PRINCIPAL

Ubicación	: entre Capillucas y San Juan
Longitud total	: 13,40 km
En conglomerado	: 1,25 km
En roca	: 12.15 km
Diámetro	: 4.2 – 4.8 m
Caudal de diseño	: 42 m <sup>3</sup> /s

CASAS DE FUERZA

A. Casa de Fuerza Principal (G1)

Ubicación	: San Juan
Altitud	: 900 m.s.n.m.
Salto Bruto	: 655 m
Caudal de diseño	: 42 m <sup>3</sup> /s
Tipo de turbina	: Pelton
Potencia	: 2 x 110 MW = 220 MW

Embalse de restitución

Altitud	: 892 m.s.n.m.
Almacenamiento	: 600 000 m <sup>3</sup>

## B. Casa de Fuerza de Morro de Arica (G2)

Ubicación : Pie de presa Morro de Arica

Salto Bruto : 221 m

Caudal de diseño : 44,3 m<sup>3</sup>/s

Tipo de turbina : Francis

Potencia : 50 MW

## LINEAS DE TRANSMISIÓN

Serán dos líneas de simple terna en 220 kV.

- La primera va desde la subestación de Morro de Arica (G2) a la subestación principal (G1) con una longitud de 50 km.
- La segunda va desde la subestación principal (G1) hasta la subestación del SICN de Cañete con una longitud de 40 km.

## BOCATOMA PARA IRRIGACION DE PAMPAS DE CONCÓN – TOPARÁ (solo como posibilidad futura).

- Ubicación: 500 m aguas debajo de Socsi a 303 m.s.n.m.
- Bocatoma especialmente diseñada con rampa de gradiente moderada para el paso sin obstáculos de camarones.

- Bocatoma con capacidad de diseño de hasta 20 m<sup>3</sup>/s. el caudal efectivo será 12 m<sup>3</sup>/s.

CANAL DE DERIVACION ENTRE BOCATOMA Y PAMPAS DE CONCÓN – TOPARÁ (solo como posibilidad futura)

Tipo	: rectangular
Longitud	: 31 km
Capacidad máxima de diseño	: 20 m <sup>3</sup> /s
Caudal efectivo	: 12 m <sup>3</sup> /s

Obra adicional:

Con la implementación del canal de derivación se construirá el tramo de carretera de 2 km, uniendo la quebrada de Escalón con el pueblo de Ramadilla.

CANAL PRINCIPAL EN LA CABECERA SOBRE LAS PAMPAS DE CONCÓN – TOPARÁ (solo como posibilidad futura)

Tipo	: trapezoidal
Longitud	: 45 km
Capacidad máxima de diseño	: 20 – 2.5 m <sup>3</sup> /s
Caudal efectivo	: 12 – 1,5 m <sup>3</sup> /s

Disminuye progresivamente conforme abastece el agua a las tuberías troncales de riego por goteo.

#### 1.6.4 Resultados a Obtenerse con El Proyecto Hidroenergético El PlatanaI

Sera capaz de generar 270 MW a través de sus dos casas de fuerza:

- Casa de Fuerza Principal (G1)

Potencia firme : 220 MW

Energía producida : 1 100 000 MWh/año

Factor de planta : 57%

- Casa de Fuerza Morro de Arica (G2)

Potencia firme : 50 MW

Energía producida : 150 000 MWh/año

Factor de planta : 37%

## **CAPITULO 2**

### **ANÁLISIS PREVIO AL PROCESO DE SOLDADURA**

#### **2.1 Consideraciones previas al proceso de soldadura en obra**

Una tubería forzada es un conducto a presión entre la carcasa en espiral de la turbina y la Cámara de Carga aguas arriba. Las tuberías forzadas deberían ser tan eficientes hidráulicamente para conservar el salto disponible y estructuralmente seguras para prevenir fallas que resultarían en pérdidas humanas y económicas.

Las tuberías pueden ser fabricadas de muchos materiales, pero la resistencia y flexibilidad del acero la convierten en la mejor elección, para el rango de fluctuaciones de presión encontrados en las operaciones de las turbinas.

El diseño y construcción de depósitos a presión, tales como tuberías forzadas, están gobernadas por apropiados códigos que describen reglas y

prácticas seguras, a ser seguidas en su construcción. <sup>1</sup>Hasta que un código especial para tuberías forzadas sea escrito, estas deberán ser construidas de acorde con el Código ASME “Calderas y Recipientes sujetos a presión”, Sección VIII, 2008. Los estándares de diseño y prácticas de construcción fueron desarrollados gradualmente, siguiendo el advenimiento de construcciones soldadas, que han dado como resultado mejoras en la producción de aceros con buena soldabilidad, en procesos y procedimientos de soldadura, inspección y ensayo de soldaduras.

Como una alternativa para la construcción del blindaje de acero de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica El Platanal, se planteo el uso del acero SUMITEN 780S fabricado en Japón por la empresa SUMITOMO METAL`S, el cual posee una alta resistencia mecánica, con una resistencia máxima a la tracción de 780 MPa (72,518 psi), con el objeto de reducir costos, tiempos de fabricacion y manipuleo, asi como disminuir los tiempos de soldadura debido al uso de menores espesores.

Se selecciono el acero SUMITEN 780S para la fabricación de la tubería forzada, debido a que la empresa SUMITOMO METALS en una de las mayores productoras de aceros para fabricacion exclusiva de tuberías forzadas, ademas que el acero SUMITEN 780S ha sido utilizado en otros proyectos hidroelectricos de caracterisitcas similares a la de la central hidroelectrica El Platanal (ver cuadro N° 2.1). Las principales características de este acero que motivaron la selección del acero a usar en la fabricación serán descritas en el cuadro N° 2.2.

---

<sup>1</sup> Welded Steel Penstocks, a Water Resources Technical Publication, 1997

Proyecto	Numappara (Japón)	Ohira (Japón)	Okuyoshino (Japón)	Nanbara (Japón)	Okukiyotsu (Japón)
Propietario	Electric Power Development Co.	Kyushu Electric Power Co.	Kansay Electric Power Co.	Chugoku Electric Power Co.	Electric Power Development Co.
Caída máxima	688 m.	795 m.	840 m.	520 m.	720 m.
Diámetro de tubería	2,6 m.	2,4 m.	4,3 m.	3.1 m.	2,55 m.
Tipo de acero	Sumiten 670	Sumiten 780	Sumiten 780	Sumiten 780	Sumiten 780
Toneladas	2 900 Tn	1 000 Tn	3 200 Tn	900 Tn	6 400 Tn
Espesor máximo de acero	42 mm.	36 mm.	50 mm.	32 mm.	45 mm.

Cuadro N° 2.1 Centrales Hidroelectricas con Tuberias Forzadas similares a la central El Platanal fabricadas con acero SUMITEN 780S

#### 2.1.1 Características del acero SUMITEN 780S

Las características del acero SUMITEN 780S son las siguientes: es un acero de bajo contenido de carbono y alta resistencia a la tracción (780 MPa), así mismo es muy conveniente para uso industrial debido a su alta resistencia a la fisuración por soldadura.

Esta alta resistencia del acero SUMITEN 780S, da las siguientes ventajas (Ver Cuadro N°2.2):

- Reducir el peso del producto final sin afectar la integridad estructural.
- Incrementar la carga de trabajo del producto final sin incrementar su tamaño o peso.
- Reducir los tiempos de montaje y soldadura, debido al uso de menores espesores en la fabricación.

<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>
Alta resistencia	Ahorro de peso. Ahorro de costos de soldadura. Ahorro de costos de transporte de materiales. Flexibilidad por limitaciones de distribución de materiales
Buena Dureza	Prevención de fracturas
Buena soldabilidad	Severas condiciones ambientales de soldadura.

Cuadro N° 2.2 Características y Ventajas del acero SUMITEN 780S

Este tipo de acero pertenece a la familia de los aceros templables. Estos aceros débilmente aleados son suministrados tratados térmicamente, con una resistencia a la tracción mínima de 780 MPa. El tratamiento térmico consiste de un templeado y revenido.

Los aceros templables y revenibles son aceros débilmente aleados, los cuales, después de la laminación, son llevados a la temperatura de austenización (aproximadamente 900°C), e inmediatamente después, sufren un temple al agua seguido de un revenido entre 600-720°C. Estos tratamientos les dan una resistencia a la tracción y un límite elástico superiores a los aceros suaves y además, lo que es más importante, buena resiliencia y tenacidad por debajo de los 0°C.

Este tipo de acero combina un alto punto de fluencia y resistencia a la tracción con una excelente tenacidad, ductibilidad, resistencia a la corrosión y soldabilidad.



El acero SUMITEN 780S, el cual es producido por la empresa SUMITOMO METAL ubicada en Japón, es equivalente al acero JIS G3128 SHY685N en la norma Japonesa y al acero ASTM A517 grado F, en la norma americana (Ver Anexo N°8).

#### A. Composición Química

Dentro de las principales características químicas de este acero podemos nombrar:

- Presenta pequeñas cantidades de Ni.
- Los contenidos de B, Ti y N son apropiadamente controlados para obtener buenos efectos en el tratamiento térmico de templado y para mejorar su resistencia y dureza, en el caso del acero SUMITEN 780S el contenido de Ti y N es casi nulo.
- Bajo contenido de Si para obtener buena dureza en la cohesión de la junta soldada.

Elemento	Especificación 6-40 mm (Heat Analys,%)
C	0.10
Si	0.07
Mn	0.75
Cu	0.30
Cr	0.78
Mo	0.31
V	0.04
Ni	0.40
B	9 ppm
P	80 ppm
S	10ppm
Pcm	0.225
CE (IIW)	0.497

Cuadro N°2.3. Composición química acero SUMITEN 780S

Pcm : Parámetro de composición de Ytto y Bessio

CE : Carbono Equivalente, formula Instituto Internacional de soldadura.

## B. Constitución y Tamaño de Grano de Metal Base

La microestructura condiciona las propiedades mecánicas. El término microestructura incluye tipo, tamaño, distribución, morfología y volumen de fracción de varios constituyentes microestructurales. La microestructura, es dependiente de la composición química y las condiciones del proceso, en especial la velocidad de enfriamiento.

En el caso del acero SUMITEN 780S, la microestructura deseada para el metal de aporte depositado es martensita revenida fina. Por lo que el electrodo seleccionado deberá asegurar esta microestructura para lograr las propiedades mecánicas similares o mayores al del metal base (Ver macrografía de unión soldada, ANEXO N°3).

A continuación se muestra el Informe Técnico de Análisis Metalográfico del Metal Base (Ver Figura N°2.1).

Muestra : Probeta de Acero Sumiten 780S.

Requerimiento : Determinación del Estado Microestructural de la unión soldada.

Normas Técnicas:

- ASTM E-3 "Preparación de muestras metalográficas.
- ASTM E-407 "Microataque de metales."
- ASTM E-112 "Determinación del tamaño de grano"

## Manuales Técnicos:

- ASM Metals HandBook “Metalografía”.
- ASM Metals HandBook “Atlas de Microestructura”.

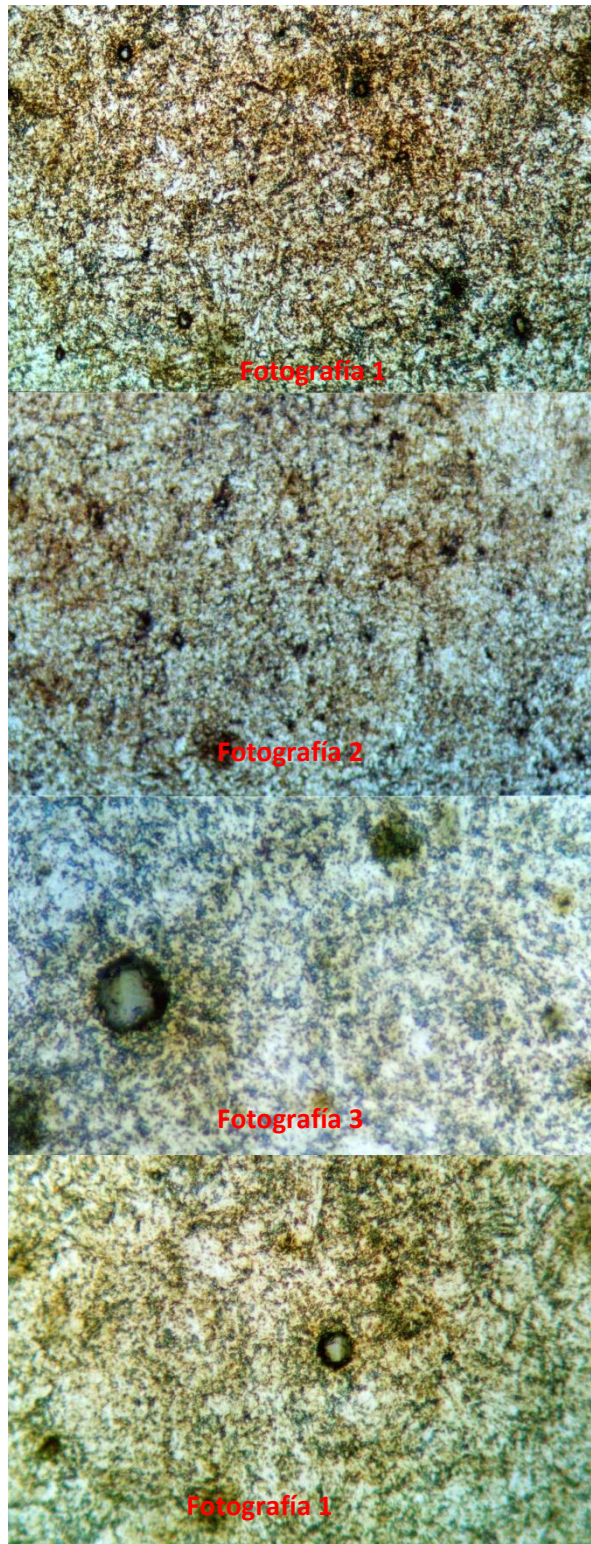
## Equipos Utilizados:

- Equipos y Abrasivos “STRUERS”.
- Reactivo Químico “Vilella”.

El Análisis Metalográfico se realizó en la sección plana de la citada plancha, obteniéndose los siguientes resultados:

ESTADO MICROESTRUCTURAL	TAMAÑO DE GRANO ASTM	FOTO MICROGRAFICA
Matriz martensita revenida fina, conteniendo compuestos intermetálicos compuestos e inclusiones no metálicas precipitadas, probablemente sulfuros. Tal estado microestructural es producto de tratamientos térmicos de Recocido-Templado y Revenido.	10	1 2 3 4

Cuadro N°2.4 Estado Microestructural de la unión soldada.



Fotografía Nº 2.1 Análisis Metalográfico de Metal Base.

C. Propiedades Mecánicas

Espesor (mm)	Limite elástico (MPa)	Limite a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Impacto Charpy -V (Joules)
≤16	685 min.	780/930	16 min.	63 J @ -40 °C
>16	685 min.	780/930	16 min.	63 J @ -40 °C

Cuadro N °2.5. Propiedades mecánicas acero SUMITEN 780S

2.1.2 Soldabilidad metalúrgica del acero SUMITEN 780S

La Soldabilidad es la capacidad de un material para ser soldado bajo un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante una técnica adecuada se pueda conseguir la continuidad metálica de la unión, de tal manera que esta cumpla con las exigencias prescritas con respecto a sus propiedades locales y a su influencia en la construcción de la cual forma parte integrante.

Específicamente la soldabilidad Metalúrgica se ocupa de las modificaciones microestructurales que resultan de la operación de soldeo.

A. Templado y Revenido del acero:

Templar un acero significa calentarlo hasta una temperatura adecuada el tiempo suficiente y luego enfriarlo lo suficientemente rápido para conseguir una estructura martensítica.

Dado que la austenita es el constituyente del acero que da origen a la martensita, es necesario calentar el acero hasta formar

esta fase<sup>2</sup>. La figura N°2.1 muestra el rango de temperaturas necesarias para templar aceros al carbono o de baja aleación.

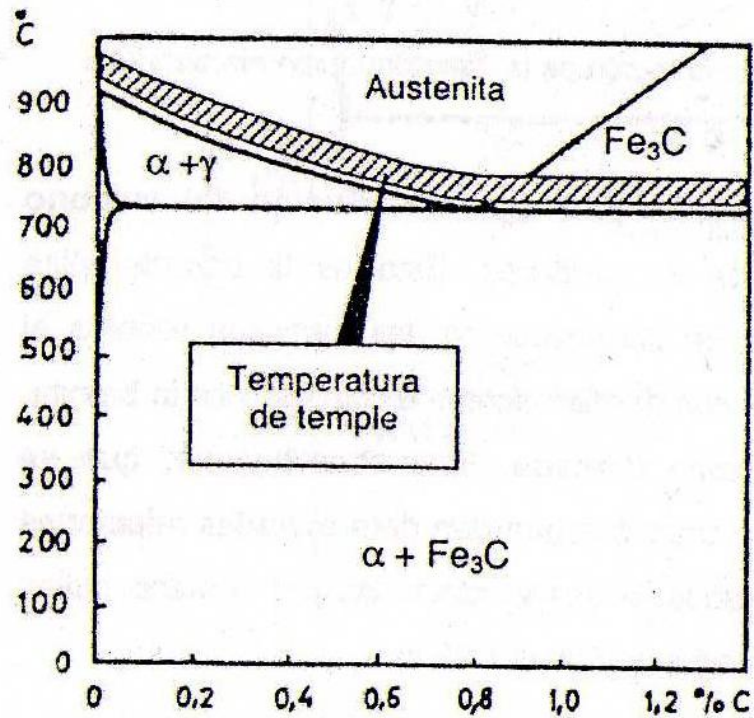


Figura N°2.1. Diagrama Fe-C indicando región de temperaturas de temple

Es importante considerar que la dureza de la martensita depende exclusivamente del %C (C=Carbono) del acero y no de los elementos de aleación. Así por ejemplo el acero SUMITEN 780S con un contenido de 0.10% C alcanzará, después de un temple perfecto (100% martensita), una dureza de 43 HRC aproximadamente. Pero un acero templado no presenta ninguna aplicación práctica, pues es tan frágil que no soportaría ninguna carga de impacto. Por ello para poder usar el acero se necesita

<sup>2</sup> Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, Dr. Carlos Foscas, 2003, pág. 54

realizar un calentamiento posterior al templado, para favorecer la transformación de la martensita en estructuras menos duras.

Este tratamiento térmico de calentamiento se le conoce con el nombre de revenido, el cual consiste en calentar el acero a una temperatura menor a 723 °C a fin de alcanzar las propiedades mecánicas óptimas que requiere el acero en función de su aplicación.

El revenido transforma la martensita obtenida durante el temple en microestructuras más estables, constituidas principalmente por ferrita y carburos. Teniendo en cuenta que el acero SUMITEN 780S presenta temperaturas de revenido entre el rango de 600-720°C podemos afirmar que se consigue una buena combinación entre resistencia mecánica y tenacidad.

La dureza de este tipo de materiales se deriva de una microestructura de martensita revenida o una combinación de martensita revenida y bainita que pueden ofrecer alta resistencia al impacto y altos valores de dureza.

### 2.1.3 Problemas de soldabilidad del acero SUMITEN 780S

Debido a la buena templabilidad de los aceros templados y revenidos, la microestructura del acero SUMITEN 780S se altera significativamente por la acción del calor localizado de los procesos de

soldadura con arco eléctrico, presentándose una fuerte alteración (modificación) de la dureza, por la formación de estructuras martensíticas en la zona afectada por el calor, las cuales pueden hacer al acero susceptible a la fragilización inducida por hidrógeno.

Uno de los principales problemas de soldabilidad que puede experimentarse durante la soldadura del acero SUMITEN 780S se debe a la susceptibilidad de la martensita a la fragilización por hidrógeno, el cual puede provenir de la presencia de humedad en los consumibles (Electrodos), que puede conducir a la nucleación y crecimiento de grietas debajo del cordón cuando se generan esfuerzos asociados con el calentamiento localizado de la soldadura, fenómeno conocido como Agrietamiento Inducido por Hidrogeno.

Así mismo debido al calor generado por el proceso de soldadura se originan otro tipo de problemas de soldabilidad tales como:

a. Esfuerzos residuales en juntas soldadas:

El valor de los esfuerzos residuales en juntas soldadas usando aceros de alta resistencia aumenta con el incremento de los esfuerzos a los cuales esta sometido el acero, como se muestra en la figura N° 2.2.



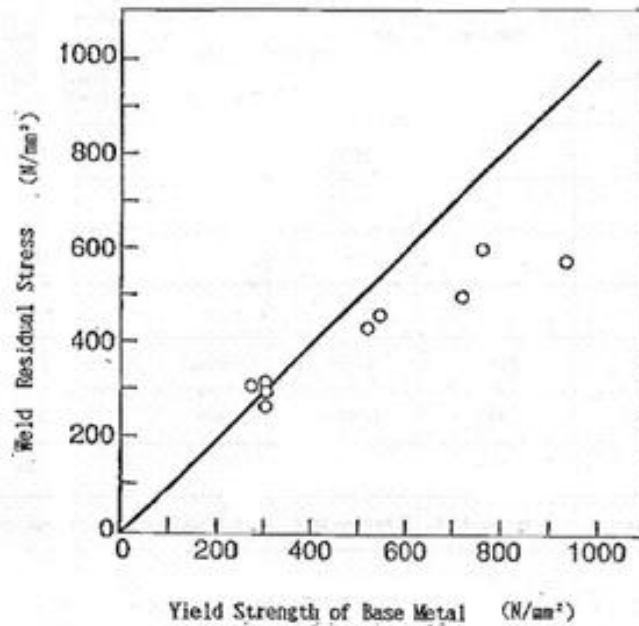


Figura N°2.2 Relación entre el punto de fluencia del acero SUMITEN 780S y esfuerzo residual en junta soldada.

b. Fisuración por alivio de tensiones:

Algunas veces las fisuraciones intercristalinas suceden en juntas soldadas a tope, en aceros de alta resistencia durante el proceso de tratamiento térmico de alivio de tensiones.

Esta fisuración se inicia con la precipitación de elementos duros secundarios en la zona afectada por el calor durante el tratamiento térmico de alivio de tensiones. Si el acero contiene elementos duros secundarios tales como V, Nb, Ti, etc, tendrá una alta susceptibilidad a la fisuración por tratamiento térmico (SR cracking), como es el caso del acero SUMITEN 780S.

La susceptibilidad a la fisuración por tratamiento térmico de alivio de tensiones en aceros estructurales es asumida por el valor

de  $P_{sr}$ <sup>3</sup>. El factor  $P_{sr}$  fue introducido de los resultados de una prueba de fisuración usando un espécimen restringido con junta en "Y", que tiene restricciones y entalla en la junta a soldar.

Si el valor del factor  $P_{sr}$  es menor a cero no existirá riesgo a la fisuración por alivio de tensiones.

Factor de sensibilidad a la fisuración por alivio de tensiones

$$P_{sr}(\%) = \%Cr + \%Cu + 2(\%Mo) + 10(\%V) + 7(\%Nb) + 5(\%Ti) - 2 \dots \text{Formula(2.1)}$$

Rango de aplicación:

C	: 0.10 – 0.25%
Cu	: ≤1.0%
V, Nb, Ti	: ≤0.15%
Cr	: ≤1.5%
Mo	: 2.0%

Tomando en cuenta la composición química del acero SUMITEN 780S, podemos calcular la susceptibilidad de este acero a la fisuración por alivio de tensiones.

Aplicando al SUMITEN 780S:

$$P_{sr} = 0,78 + 0,3 + 2 (0,31) + 10 (0,04) + 7 (0,01) - 2$$

$$P_{sr} = 0,17, \text{ No es recomendable el Tratamiento térmico Post soldadura}^4$$

<sup>3</sup> Manufacturing Procedure Specification of SUMITEN 780S Steel Plates for Central Hidroelectrica el Platanal Project, 2006

<sup>4</sup> PWHT (Post Welding Heat treatment )

c. Fisuración Inducida por Hidrógeno

También conocida como fisuración en frío, lo cual indica que usualmente ocurre cuando el material se ha enfriado o cuando se está enfriando a la temperatura ambiente. Para que el fenómeno de Fisuración Inducida por Hidrógeno se produzca, se requiere la presencia de hidrógeno en el proceso.

Este fenómeno puede ocurrir y ser iniciado tanto en el depósito de soldadura como en la zona afectada por el calor, teniendo en cuenta que la fisuración es generalmente desarrollada dentro de las 48 horas después de finalizar la soldadura, la inspección será realizada después de que este tiempo ha pasado.

Los mecanismos detrás de la Fisuración Inducida por Hidrógeno no son conocidos en todos sus detalles. Por lo tanto, consejos para evitar este fenómeno pueden diferir entre los diferentes estándares y expertos.

Las uniones soldadas son muy sensibles a la fisuración cuando se presentan los siguientes agentes: Presencia de Hidrógeno, Altos esfuerzos de tracción y altos contenidos de aleantes en el acero o depósito de soldadura.

(i) Presencia de Hidrógeno

La presencia de hidrógeno es inevitable durante la soldadura. Las principales fuentes de hidrógeno son:

- Vapor de agua en el aire o gas de protección.
- Humedad en el revestimiento de los electrodos o en el fundente.
- Humedad y polvo en la junta a soldar.
- Presencia de grasa y remanentes de emulsiones en la junta a soldar.

Algunas de estas fuentes de hidrógeno, como por ejemplo el agua, es descompuesto en el intenso calor del arco eléctrico, a hidrógeno atómico que es rápidamente disuelto en el metal fundido. Durante el enfriamiento y solidificación del metal fundido, la solubilidad del hidrógeno atómico se reduce. Una excesiva cantidad de hidrógeno puede transformarse en hidrogeno gaseoso y producir porosidades.

Antes que la soldadura pare de difundir el hidrógeno, la concentración de hidrógeno en la soldadura localmente puede ser alto, especialmente en áreas con altos niveles de esfuerzos de tracción y concentraciones de esfuerzos. Por ejemplo en soldaduras de apuntalado y pasadas de raíz. En estas zonas la fisuración por hidrógeno puede desarrollarse cuando la temperatura cae entre los 100-150°C

aproximadamente. Arriba de estas temperaturas la fisuración no ocurrirá.

(ii) Esfuerzos Residuales

Los esfuerzos se desarrollan en las soldaduras durante el enfriamiento debido a las contracciones térmicas.

Los aceros templado y revenidos, como es el caso del acero SUMITEN 780S, tiene altos niveles de esfuerzos como un efecto de su alta dureza, por lo tanto una contracción térmica en una soldadura primero causara una deformación elástica del material base y una deformación plástica del depósito de soldadura.

Por lo tanto el uso de consumibles (Electrodos) con menores esfuerzos de fluencia resultara en menores esfuerzos en la soldadura que con el uso consumibles con alta resistencia.

Debido a la concentración de esfuerzos los niveles de esfuerzos en una soldadura puede localmente ser de 2 a 3 veces más grandes que en las áreas circundantes. Las concentraciones de esfuerzos aumentan en transiciones de geometría. Como por ejemplo en cambios de secciones de área.

(iii) Composición Química

Mientras más alto sea el contenido de aleantes de un acero o depósito de soldadura, más alto será su carbono equivalente. El Carbono Equivalente es una medida de la soldabilidad de un material. Un valor elevado indica una alta susceptibilidad a la Fisuración Inducida por Hidrógeno.

El acero SUMITEN 780S ha sido desarrollado para tener un Carbono Equivalente tan bajo como sea posible, sin perder dureza y resistencia. Una regla común es que aceros con un valor de Carbono Equivalente menores que 0.40 no son susceptibles a la Fisuración Inducida por Hidrógeno.

El Carbono Equivalente representa, pues, una forma de describir la composición química por medio de un solo número, a fin de analizar como las variaciones de la misma influyen en el comportamiento del material.

Sin embargo, se ha deducido una gran cantidad de fórmulas empíricas para el cálculo del Carbono Equivalente, orientado a brindar información sobre diversos aspectos como pueden ser:

- La templabilidad.
- La sensibilidad de los aceros a la Fisuración en frío, a fin de hallar la temperatura mínima de precalentamiento.

Dentro de las diferentes expresiones para estimar el Carbono Equivalente, tenemos que las formulas brindadas por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW) y por la Asociación Americana de Soldadura (AWS)<sup>5</sup>, son las más recomendadas para determinar el CE de aceros templados y revenidos, y en este caso para el acero SUMITEN 780S.

$$CE = \%C + \frac{(\%Mn + \%Si)}{6} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5} + \frac{(\%Ni + \%Cu)}{15}$$

Formula IWW (2.2)

$$P_{CM} = \%C + \frac{\%Si}{30} + \frac{(\%Mn + \%Cr + \%Cu)}{20} + \frac{\%Ni}{60} + \frac{\%Mo}{15} + \frac{\%V}{10} + 5\%B$$

Formula AWS (2.3)

d. Medidas para evitar Fragilización Inducida por Hidrógeno

La Fisuración Inducida por hidrógeno es parcialmente un fenómeno probabilístico. Más allá, la oportunidad para su detección depende sobre cuán cuidadosamente se realiza la inspección en busca de fisuras. Muchas fisuras son inofensivas con la condición que estas sean suficientemente pequeñas o estén ubicadas en posiciones no críticas. Por lo que esta sea quizá la explicación, porque a veces vemos en talleres hacer comunmente prácticas de soldadura de cómo no tratar a un acero templado y revenido y aun así se obtiene una calidad satisfactoria es sus productos.

---

<sup>5</sup> Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, Dr. Carlos Foscas, 2003, pág. 126 - 170

Hay fuertes relaciones entre contenido de humedad de los consumibles, composición química de metal base, espesor de metal base, calor de entrada (Heat Input) y la necesidad de precalentamiento, estas relaciones desafortunadamente no están cuantitativamente bien establecidas.

Entre las principales medidas para evitar la Fisuración Inducida por Hidrogeno tenemos el control del contenido de hidrógeno, la temperatura de precalentamiento y la energía de entrada. Todos estos dependen de las condiciones de soldadura presentes, por lo demás se tendrá que emplear la experiencia y el sentido común.

Para este caso en específico el acero a analizar es el acero SUMITEN 780S, el cual posee una composición química fijada en fabrica, lo que deja al contenido de hidrógeno y los esfuerzos como únicos parámetros a controlar.

(i) Reducción del nivel de esfuerzos en la soldadura

El método más simple para hacer la distribución de los esfuerzos tan favorables como sea posible es emplear consumibles con baja resistencia tanto como sea posible, tomando en consideración no comprometer la integridad estructural.

Los esfuerzos en los alrededores de soldaduras de apuntalado pueden ser usualmente reducidas permitiendo



que un área más grande lleve las cargas, lo que incrementa la sección de área de la soldadura.

(ii) Minimizar la entrada de Hidrogeno en la soldadura

La mejor manera de tratar con el hidrógeno es permitiendo tanto como sea posible las menores cantidades de hidrógeno dentro de la soldadura. La higiene en la soldadura es de altísima importancia.

Algunas prácticas seguras para disminuir la presencia de agentes de aporte de hidrogeno son nombrados a continuación:

- Mantener la junta a soldar libre de humedad, polvo, grasa, etc.
- Manipule los consumibles siguiendo las instrucciones de los productores. Esto prevendrá la absorción de humedad en recubrimientos, fundentes y la oxidación de los alambres.

La elección del consumible también afecta la cantidad de hidrogeno que entra a la soldadura. Consumibles del tipo Básico generalmente tienen más bajos contenidos de hidrógeno que el resto de consumibles.

(iii) Pre calentamiento

El hidrógeno introducido en la soldadura a través del metal fundido puede ser removido por difusión. El pre calentamiento de metal base y altos valores de energía de entrada incrementan la temperatura y reducen la tasa de enfriamiento de la junta. Altas temperaturas de soldeo aceleran la difusión del hidrógeno y reducen su cantidad en la soldadura. Una baja velocidad de enfriamiento reduce también la zona afectada por el calor y disminuyen el riesgo de fisuración inducida por hidrógeno.

Para la soldadura de aceros templados y revenidos se recomienda mantener la temperatura de interfase por debajo de los 250°C, por encima de estas temperaturas estos aceros pueden perder algo de dureza debido al revenido.

Podemos concluir pues que una de las maneras más efectivas de evitar la Fisuración Inducida por Hidrógeno es logrando que la velocidad de enfriamiento sea lo suficientemente lenta para evitar la transformación martensítica. Para alcanzar esta condición muchas veces es necesario precalentar la unión a soldar a fin de reducir el gradiente térmico y con ello la velocidad de enfriamiento.

Para el cálculo de la temperatura de precalentamiento se uso la formula de Itto y Bessyo, siguiendo el siguiente procedimiento:

$$T(^{\circ}C) = 1440P_c - 392 \dots\dots \text{Formula 2.4}$$

$$P_c = P_{cm} + \frac{H}{60} + \frac{h}{600} \dots\dots \text{Formula 2.5}$$

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cr + Cu)}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \dots\dots \text{Formula 2.6}$$

Donde:

$P_{cm} = 0.22$  (parámetro de composición de Itto y Bessyo)

$H =$  Hidrógeno difusible en metal de aporte (ml/100g) = 4 ml/100g

$h =$  espesor (mm) = 38 mm (mayor espesor de la junta a soldar)

Aplicando al Acero SUMITEN 780S:

$$P_c = 0.22 + \frac{4}{60} + \frac{38}{600} = 0.35$$

$$T(^{\circ}C) = 1440(0.35) - 392 = 112^{\circ}C$$

$$T(^{\circ}C) = 110^{\circ}C \text{ (mín)}$$

La temperatura de precalentamiento e interfase mínima para evitar la Fisuración Inducida por Hidrógeno en el acero SUMITEN 780S, será por tanto de 110°C.

(iv) Reducción de Energía de Entrada (Heat Input)

Teniendo en cuenta las condiciones ambientales bajo las cuales se realizara el proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada vertical, es de suma importancia tener en consideración que altas temperaturas de trabajo no son permisibles por razones de confort, por lo que la necesidad de elevadas temperaturas de trabajo podrá ser reducida por una o la combinación de las siguientes medidas:

a. Post-calentamiento

La alternativa o complemento para temperaturas de trabajo altas, es el post calentamiento de la soldadura. Ambos métodos difunden el hidrógeno fuera de la soldadura. La soldadura es realizada, si es posible a elevadas temperaturas, mientras más altas mejor. Existe un riesgo de Fisuración Inducida por Hidrógeno mientras la temperatura de la soldadura este por debajo de la temperatura de incubación de 100-150°C<sup>6</sup>.

El post-calentamiento consiste en inmediatamente después de culminar la operación de soldadura aumentar la temperatura en la zona soldada a temperaturas entre 150-250°C y mantener a esta temperatura por lo menos 1 hora por cada 10mm de espesor de metal base.

---

<sup>6</sup> Handbook on Welding of Oxelosund steel, Tor-Bjorn Larsson, 1992, pág. 14.

Mientras más largo sea el tiempo de mantenimiento del post-calentamiento será mejor.

Para el acero SUMITEN 780S la temperatura de post-calentamiento no deberá exceder los 200°C, pues esto podría causar la caída en la dureza, debido a la sensibilidad a la fisuración por tratamiento térmico.

Una recomendación importante en el tratamiento de esta clase de aceros templados y revenidos es no acelerar la velocidad de enfriamiento de la zona soldada después de culminar el proceso de soldadura, como por ejemplo vertiendo agua sobre el mismo. Lo recomendable es dejar difundir el hidrógeno restante fuera de la soldadura.

(v) Realizar un Temper Bead (Cordón de Revenido)

Cuando se realiza la soldadura de aceros templados y revenidos existe la posibilidad de una pérdida de dureza en la Zona Afectada por el Calor, por ello durante la soldadura es importante mantener una temperatura de interfase por debajo de los 250 °C. Por encima de esta temperatura esta clase de aceros puede sufrir un revenido causando una disminución de la dureza a lo largo de la soldadura.

El pico de dureza dado en la figura N°2.3 se refiere a la dureza de la Zona Afectada por el Calor, la cual no ha sido revenida por la subsecuente pase del cordón de soldadura.

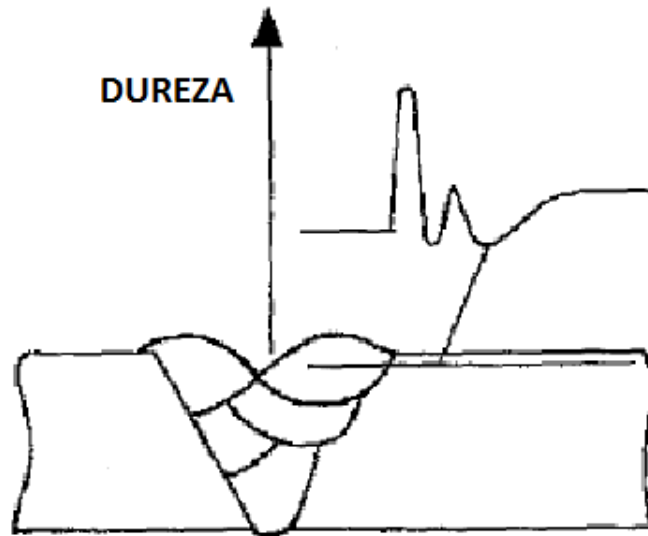


Figura N°2.3 Pico de dureza en Zona afectada por el calor.

Con el empleo de la técnica del temper bead (cordón de revenido) el pico de dureza en la zona afectada por el calor puede ser reducido. En la figura N°2.4 la técnica del temper bead es mostrado. Las pasadas de soldadura situadas en los extremos de la junta no deberán ser la ultimas en realizarse en una soldadura, pues estos cordones deben ser revenidos por las pasadas finales.

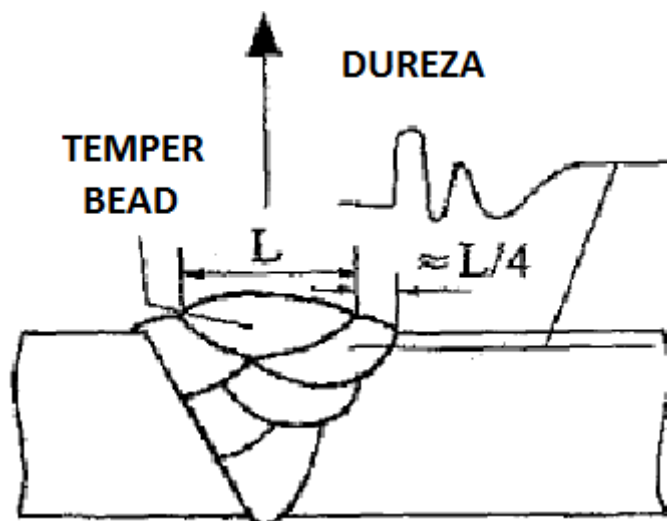


Figura 2.4 Pico de dureza después de la técnica del Temper Bead

La técnica del temper bead es más eficiente para zonas afectadas por el calor con contenidos de martensita, en conclusión el objetivo de esta técnica es evitar que exista un aumento excesivo en la dureza en las zonas próximas a la superficie del cordón de soldadura y en especial en los extremos del cordón, teniendo en cuenta que por ningún motivo la dureza a medir en la sección de soldadura incluyendo la zona afectada por el calor debe sobrepasar los 400HV.

b. Finalizar la soldadura antes que esta se fisure

Como anteriormente se menciona la fisuración inducida por hidrógeno es un fenómeno retardado en el tiempo. Las fisuras normalmente ocurren dentro de las 48 horas de soldadura.

El riesgo para el desarrollo de fisuras es pequeño inmediatamente después de la soldadura, el cual incrementa con el tiempo y es más grande aproximadamente después de pasadas 2 horas. Después de este máximo riesgo para la fisuración, este se reduce otra vez y es improbable después de aproximadamente 48 horas. La necesidad por precalentamiento puede ser reducida si las soldaduras de apuntalado, pases de raíz y algunas pasadas de relleno son realizadas en intervalos de tiempo cortos una tras otras.

## 2.2 Antecedentes del proceso de soldadura

Teniendo en consideración los altos requerimientos de calidad exigidos en las juntas soldadas de tuberías sometidas a presión y las condiciones ambientales extremas en el lugar de soldadura, no está de más recalcar la gran importancia de realizar una adecuada selección del proceso de soldadura a usar, así como de un detallado plan para su exitosa implementación, pues de ello depende la obtención de soldaduras de calidad.

### 2.2.1 Requerimientos de diseño

Tomando en consideración que el diseño de junta predominante para la soldadura de montaje de la tubería forzada es una junta en "V" con respaldo en posición horizontal, podemos concluir que se requiere una excelente penetración y altas tasas de deposición.

Propiedades mecánicas requeridas para la unión soldada:

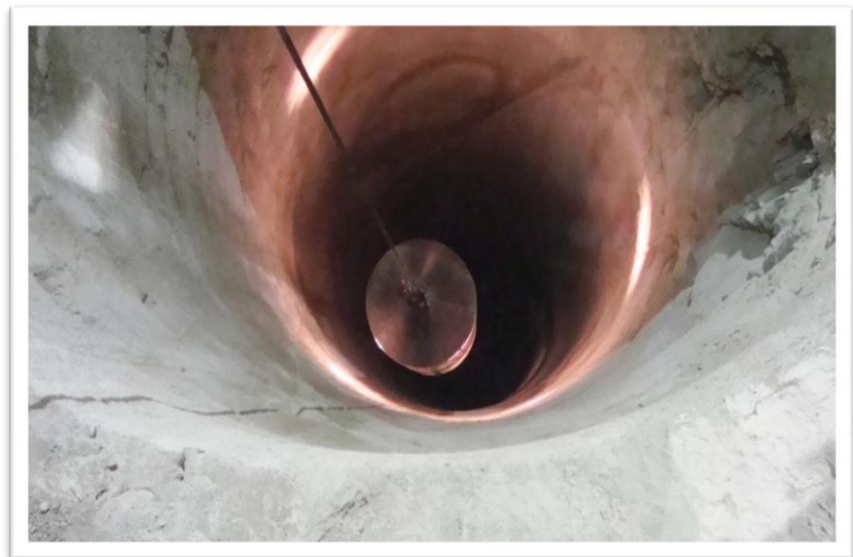
- Alta Resistencia a la Tracción.
- Resistencia a la Tracción de por lo menos 780 MPa.
- Altos valores de Impacto 47J @ -40°C.
- Temperatura de servicio en promedio entre 5 – 10°C.
- Bajo Nivel de Hidrógeno Difusible.
- Menor propensión a la fisuración en frío.
- Elongación en 2" :  $\geq 16\%$ .
- Tratamiento térmico de deshidrogenado a 200°C por 2 horas y enfriamiento al ambiente.



### 2.2.2 Condiciones ambientales en el lugar de soldadura

La central Hidroeléctrica El Platanal está localizada al sureste del departamento de Lima, en la provincia de Cañete. Distrito de Zuñiga y cerca al pueblo de San Juanito. El proyecto está ubicado sobre la cuenca derecha del Rio Cañete, a 150 km al sur de la ciudad capital Lima.

El proceso de soldadura del blindaje de acero de la tubería forzada se llevo a cabo entre las cotas de altitud de 900 hasta los 1450 metros sobre el nivel del mar dentro de un tunel vertical de 4.5 metros de diametro con presencia de 80% de humedad relativa en el interior del tunel vertical, por lo que el proceso de montaje y soldadura se constituyo en un desafio debido a las dificiles condiciones geograficas y ambientales.



Fotografia N°2.2 Fotografia de pique vertical

Entre los principales factores ambientales que se tuvieron que considerar para el proceso de soldadura del blindaje de la tubería forzada del pique vertical tenemos:

- Dificultades en transporte de materiales a la zona de soldadura.
- Severas condiciones para realización del proceso de soldadura circunferencial.
- Dificultades en el servicio de inspección de uniones soldadas.
- Dificultades en la reparación de defectos encontrados.
- Dificultad de acceso al lugar de soldadura.
- Espacio reducido en el lugar donde se realizó el proceso de soldadura.
- Tiro de aire inducido desde la parte inferior del túnel vertical para ventilación de galerías que ascendía por la diferencia de presiones.

Todos estos factores deben ser tomados en cuenta al momento de la selección del proceso de soldadura, para evitar futuros problemas en la realización del mismo. En tal sentido uno de los principales factores a tener en cuenta es el espacio reducido en el interior de la tubería forzada que es de 3.20 metros de diámetro, teniendo en cuenta que el acero SUMITEN 780S debe ser precalentado antes de iniciar el proceso de soldadura a una temperatura de 110 - 150°C para prevenir la fisuración en frío, sumado al calor producido por el proceso de soldadura, la temperatura ambiental debido a la radiación llega a ser de 50°C en promedio, lo que constituye un serio problema sanitario

para los soldadores y personal de apoyo, pues corren el riesgo de sufrir un estrés térmico.

Otro factor importante a considerar es la presencia de una corriente de aire constante como consecuencia del tiro de aire forzado que asciende por el túnel vertical, el cual se constituye en un factor decisivo en la selección de procesos de soldadura que requieran protección del arco de soldadura con gas, debido a la susceptibilidad que presentan a las corrientes de aire.

### 2.2.3 Calificación de Soldadores

Todo trabajo a efectuarse en la soldadura circunferencial del montaje de la tubería forzada, será ejecutado sobre la base de un procedimiento calificado y por un soldador calificado. En ningún caso podrán ejecutar soldadura, soldadores no calificados (Ver Anexo N°2).

La calificación de soldador está determinada por los requerimientos especificados en el Código ASME, Sección IX, Artículo III.

La responsabilidad en cuanto a soldadura están contenidas dentro de la parte QW-103 y QW-301.2 de la Sección IX del Código ASME, los cuales requieren que la empresa contratada para realizar el montaje de la tubería forzada, será la responsable de la conducción de las pruebas para calificar la habilidad de soldadores de acuerdo con las Especificaciones de Procedimiento de Soldar calificadas, las cuales emplea la empresa en la construcción de acuerdo con el

Código ASME. El propósito de este requerimiento es asegurar que la empresa contratada determine que sus soldadores que usan sus procedimientos sean capaces de desarrollar los requerimientos mínimos especificados para un conjunto de partes soldadas sean aceptables. Esta responsabilidad no puede ser delegada a otra organización.

El desarrollo completo del proceso de calificación de soldadores será desarrollado en el anexo del trabajo de investigación (Ver Anexo N°3).

#### 2.2.4 Control de calidad de uniones soldadas.

Las discontinuidades producto de malas técnicas de soldadura, mala preparación de la junta a soldar, parámetros de soldadura erróneos, o mal almacenamiento de metal de aporte pueden ser encontradas en el metal base, en la zona afectada por el calor, y en el metal de soldadura. Las discontinuidades de soldadura más comunes presentadas durante el proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada son porosidad, inclusiones de escoria, fusión incompleta, falta de penetración y fisuraciones.

Siendo las fisuraciones las discontinuidades más peligrosas, son las que merecen una mayor atención para detectar las mismas durante los procesos de inspección con ensayos no destructivos.

Las fisuras superficiales pueden ser detectadas a simple vista siempre que estas sean lo suficientemente grandes. La posibilidad de

detección de fisuras es por lo tanto mucho mejor con el empleo de ensayos no destructivos (NDT), o usando una combinación de:

- Inspección Visual.
- Líquidos Penetrantes.
- Partículas Magnéticas.
- Ensayo de Ultrasonido.

Usualmente es difícil obtener un apropiado acceso para la realización de ensayos no destructivos en la raíz de una junta de soldadura. Los ensayos no destructivos de soldaduras de apuntalado y pasadas de raíz no son usualmente realizadas. Los ensayos son realmente realizados sobre el final de la soldadura. Las soldaduras de apuntalado y pasadas de raíz son recomendadas para ser ensayados solo si la fisuración es fuertemente sospechada.

#### 2.2.5 Selección del metal de aporte

La selección del material de aporte para una determinada unión soldada se fundamenta en dos criterios: la igualdad de resistencia con el material base y la similitud de composición química.

La igualdad de resistencia y composición química se aplica en aceros que contienen elementos característicos de aleación para conferir propiedades específicas relacionadas con el comportamiento en servicio. El objetivo es elegir un electrodo que provea calidad a la soldadura al más bajo costo, para cumplir con este objetivo, los

electrodos son seleccionados de acuerdo al diseño y posición de la junta.

a. Variables a considerar

La selección de un electrodo para una aplicación en particular está basada en muchos factores. Entre los principales esta un fundamental entendimiento de la relación entre la composición química, microestructura y propiedades mecánicas del acero a ser soldado. También, requerimientos específicos de diseño de las propiedades mecánicas del componente soldado deben ser conocidos.

La selección del electrodo está basada en la habilidad del electrodo de proveer un cordón de soldadura que es químicamente compatible con el metal base. Electrodo que ofrecen una similar composición química con el metal base minimizan los potenciales efectos adversos de dilución en el metal base. Los electrodos de soldadura son seleccionados para mejorar la soldabilidad.

El mayor aspecto en soldabilidad es la habilidad de obtener soldaduras libres de fisuras. En el caso del acero SUMITEN 780S, el cual por sus propiedades mecánicas es un acero de alta resistencia, la principal preocupación es obtener una resistencia a la fisuración inducida por hidrógeno tanto en el metal depositado como en la zona afectada por el calor (ZAC).

Los siguientes aspectos serán considerados para elegir el electrodo a usar:

- Valores mecánicos.
- Composición química.
- Comportamiento de soldeo.
- Absorción de humedad.
- Precio, rendimiento.

Además de estas características, el electrodo debe poseer buenas propiedades de aplicación que faciliten las condiciones de soldeo, los cuales deben ser contemplados por el fabricante.

Teniendo en cuenta las características del metal base detallados al inicio del Capítulo 2, se sabe que él mismo cuenta con un tratamiento térmico de templado y revenido, el cual le confiere al acero una alta resistencia mecánica, los electrodos a ser usados en el proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada deben reunir excelentes características físico químicas.

b. Metal de Aporte

Analizando los requerimientos del proceso de soldadura y los altos niveles de calidad, se tiene que el uso de electrodos revestidos de bajo contenido de carbono es la mejor alternativa para asegurar el cumplimiento de las altas exigencias mecánicas que será sometida estas costuras.

Según la norma de la Sociedad Americana de Soldadura que es la más utilizada en nuestro medio, la clasificación del electrodo a usar es la siguiente:

<b>Norma</b>	<b>Clasificación</b>
AWS A5.5	E11018-G H4

Cuadro N°2.6 Clasificación AWS del metal de aporte

Carbono	0.05%
Silicio	0.29%
Manganeso	1.28%
Molibdeno	0.50%
Cromo	0.49%
Níquel	2.31%
Azufre	0.02%
Fosforo	0.02%

Cuadro N°2.7. Composición química electrodo E11018G H4

## i. Valores Mecánicos:

Este fue uno de los aspectos más importantes que se tuvieron en cuenta durante el desarrollo de este electrodo, teniendo en cuenta que su antecesor el electrodo E11018-G, no cumplía con los requerimientos de impacto exigidos para la unión soldada. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, a continuación se muestran los resultados de estos ensayos:

Prueba de esfuerzo a la tracción e impacto:

Material de Aporte : E11018-G H4

Diámetro electrodo : 3.25 mm

Esfuerzo a la fluencia : 670 MPa (mínimo)



Esfuerzo a la tracción : 760 MPa (mínimo)

Elongación en 2" : > 20%

Energía de impacto a -40°C Charpy V (J) :  $\geq 60$

ii. Nivel de hidrogeno difusible:

El nivel de hidrogeno difusible promedio obtenido según el Reporte de Ensayo realizado en el Laboratorio de Ensayos EXSA usando la Norma AWS A4.3 bajo las siguientes condiciones, fue el siguiente:

Material de aporte : E11018-G H4

Resecado de electrodo : 400°C por 2 horas

Humedad relativa : 82%

Temperatura de difusión : 150°C por 6 horas

Corriente soldeo : 120A

Tipo de corriente : DC +

Por lo tanto el contenido promedio de hidrógeno en ml/100g de soldadura depositada será de 3.45 mililitros/100gramos. Por lo que según la Norma AWS la designación del electrodo deberá contener el sufijo H4 al final de clasificación del mismo.

iii. Comportamiento de soldeo:

El electrodo E11018-G H4 es un electrodo cuyo revestimiento es del tipo básico, de bajo contenido de hidrogeno para ser usado en todas las posiciones de soldeo, usado con corriente continua al positivo. Además presenta un arco suave con un bajo nivel de salpicaduras, lo que disminuye la perdida de material de aporte por salpicaduras.

Presenta además un fácil desprendimiento de escoria, lo que facilita las labores de limpieza disminuyendo por tanto el tiempo de soldeo. La punta del electrodo esta grafitada lo que favorece un encendido mucho más rápido del arco. Los depósitos de soldadura realizados son homogéneos y además tienen un bajo nivel de hidrogeno difusible, lo que disminuye la posibilidad de fisuración inducida por hidrógeno, el cual representa el principal problema de soldabilidad del acero SUMITEN 780S.

Una de las principales características de este tipo de electrodos es su excelente calidad radiográfica y su alta resistencia al impacto a bajas temperaturas.

iv. Absorción de humedad:

Este es uno de los aspectos más importantes para el medio en el cual se desarrolla el proceso de montaje de la tubería forzada, debido a las condiciones ambientales especiales que se tiene en el lugar de trabajo. Más adelante se verá cuales son las consideraciones que se debe tener para la conservación de los

materiales a usar en el proceso de soldadura, lo que nos permitirá mantener bajos niveles de humedad necesarios en este tipo de electrodos.

Sin embargo, en el momento de aplicación, los electrodos a veces no presentan los mismos niveles de humedad garantizados por el fabricante, las razones de este suceso pueden ser las siguientes:

- Inadecuado almacenaje del electrodo.
- Proceso de resecado ineficiente (el fabricante recomienda un Pre-secado previo al uso de los electrodos de 350°C por espacio de 2 horas).
- Mal funcionamiento de hornos de recuperación y estufas de conservación que provocan el descenso de las temperaturas recomendadas para evitar que los electrodos absorban humedad del ambiente.

c. Almacenamiento y estufado de material de aporte

Para evitar la fisuración inducida por hidrógeno, los niveles de hidrógeno deben ser mantenidos a un cierto nivel máximo (0.4%). Este nivel está en función de la susceptibilidad de la microestructura del acero, restricciones y esfuerzos residuales en la zona soldada. Teniendo en cuenta que el acero usado en la fabricación de la tubería forzada es de una elevada resistencia mecánica (acero SUMITEN 780S), y a menudo la susceptibilidad de la microestructura a la fisuración inducida por hidrógeno aumenta

con el incremento de resistencia mecánica de los aceros. Se requiere consumibles (electrodos) con bajos niveles de hidrógeno.

Los electrodos seleccionados para el proceso de soldadura de la tubería forzada son del tipo con revestimiento básico (Bajo contenido de hidrógeno) y deben ser correctamente estufados y conservados en estufas portátiles cerradas, al alcance del soldador, para de esta manera evitar que los electrodos absorban la humedad presente en el ambiente.

Como primer aspecto a considerar nos referimos a las especificaciones del productor en cuanto al contenido de humedad en el revestimiento.

<b>AWS Clasificación del electrodo</b>	<b>Porcentaje de humedad</b>
E11018-G H4	0.4 %

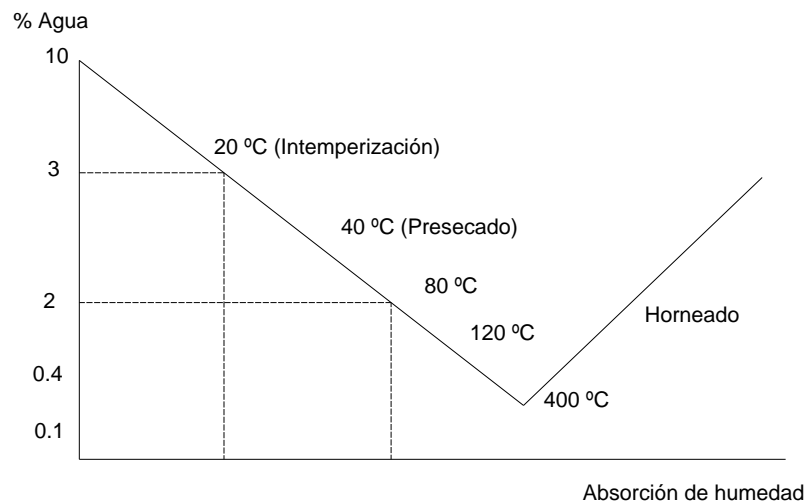
Cuadro N2.8. Porcentaje de humedad

La denominación como “bajo en hidrógeno” en los electrodos básicos se efectúa por el contenido de humedad en el revestimiento o por el hidrogeno difusible en el metal depositado. Cuando el contenido de humedad en el revestimiento excede lo especificado, la aceptación del electrodo se basara en la determinación del contenido de hidrogeno difusible en el metal depositado. Para detalles de la determinación, tanto de humedad como de hidrógeno, se puede consultar con la norma AWS A.5.5-69.

d. Absorción de humedad por parte del revestimiento

Todos los electrodos poseen un revestimiento higroscópico, es decir poseen la capacidad de absorción de agua, y esta característica se manifiesta en especial cuando los electrodos son expuestos en atmosferas de alta humedad relativa.

En la siguiente curva se muestra el proceso de eliminación y absorción de humedad de un electrodo. Se puede observar que cuando el electrodo termina el proceso de secado y es colocado a la intemperie, la curva se invierte y el electrodo comienza a absorber humedad del medio.



Grafica N°2.3. Eliminación y absorción de humedad de electrodo.

La capacidad de absorción de humedad estará directamente relacionada a una serie de factores, tanto del medio (temperatura, porcentaje de humedad relativa, etc.) como del producto en si (tipo de silicatos, temperatura de secado, embalaje, etc.)

Teniendo en consideración que el medio bajo el cual se realizara el proceso de soldadura de montaje del blindaje, podemos considerar que el medio ejerce una acción decisiva. Como se menciono anteriormente el lugar de trabajo presenta una elevada humedad relativa, lo que contribuye a que el porcentaje de humedad absorbida por el revestimiento sea más alta también.

Como consecuencia de esto se puede asegurar que un electrodo, si no es almacenado bajo condiciones especificas, pierde al estar expuesto al medio ambiente sus condiciones de electrodo bajo en hidrógeno.

e. Resecado de los electrodos

Se han mencionado los diferentes factores relacionados a la capacidad de absorción de humedad de los electrodos y la influencia que esta tiene sobre los depósitos de soldadura; sabemos pues cual es la máxima humedad con la que el electrodo E11018-G H4 sale de fabrica. A continuación mencionaremos algunas consideraciones para el ressecado en caso que los electrodos hayan estado expuestos al medio ambiente.

Para el electrodo mencionado líneas arriba, en caso se exponga a la humedad, se puede ressecar por una vez a 350°C por espacio de 2 horas.

Debemos evitar sobrepasar las temperaturas que están dadas como topes para evitar problemas de fisuración en el revestimiento

de los electrodos o quemado de los elementos que componen el revestimiento de los electrodos.

A continuación se detalla el procedimiento para la recuperación, almacenamiento y preservación de materiales para soldadura de montaje de la tubería forzada.

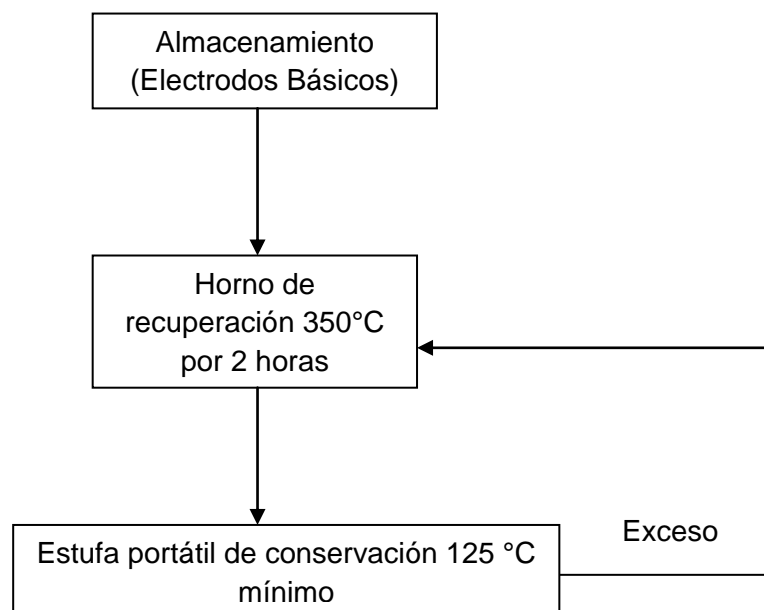


Diagrama N°2.1. Procedimiento para la recuperación de electrodos.

f. Recuperación

- Cuando las latas que contienen el material de soldadura sean abiertas, este debe pasar por un proceso de recuperación.
- La recuperación se realiza colocando los electrodos en capas preferiblemente en hornos de recuperación, elevando su temperatura hasta 350 °C y manteniéndola durante 2 horas. Pasado este tiempo de recuperación, se reduce la temperatura a

150 °C. esto se controla empleando el formato del documento Registro de recuperación de electrodos revestidos (véase anexo).

- Cualquier electrodo que haya sido mojado, dañado, etc. debe ser desechado y separado de acuerdo a este procedimiento.
- Se debe tener cuidado que, al momento de la recuperación, se seleccionen materiales de un mismo tipo, manteniéndolos separados de otros, para evitar confusión.

i. Mantenimiento

Una vez recuperados los electrodos de bajo hidrógeno, deben ser mantenidos en hornos a la temperatura de 150 °C. este control debe realizarse de manera rutinaria durante el proceso de soldadura, para prevenir que los hornos de conservación puedan disminuir su temperatura debido a fallas en su funcionamiento.

ii. Conservación

- Cuando el electrodo sea entregado al soldador, se conserva en un horno portátil, a una temperatura mínima de 125 °C.
- En caso de que, luego de efectuada la soldadura, existan electrodos sobrantes, estos se devuelven al almacén donde se separaran con el objeto de emplear trabajos secundarios.

iii. Almacenaje de los electrodos

- Durante el almacenaje se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones importantes que permitirán mantener los electrodos en buenas condiciones.



- El empleo de los electrodos se debe realizar en lo posible de manera cronológica, es decir primero se deben emplear los electrodos de mayor antigüedad para evitar que permanezcan en stock más tiempo del necesario.
- Los envases no deben ser abiertos hasta que no se proceda su uso.
- Las latas deben almacenarse verticalmente.
- El almacén debe tener un ambiente seco con humedades relativas del orden de 40 a 60%.

### 2.3 Selección del proceso de soldadura y metal de aporte

La selección del proceso de soldadura y consumible se baso sobre un análisis de los siguientes parámetros que a continuación se muestran:

#### 2.3.1 Formas de unión de las tuberías

Las formas de unión más comunes usados en la unión de tuberías son las siguientes:

##### a. Chaflán tipo "V"

Utilizado normalmente en tubos de blindaje hormigonado horizontal. (ver figura 2.5).

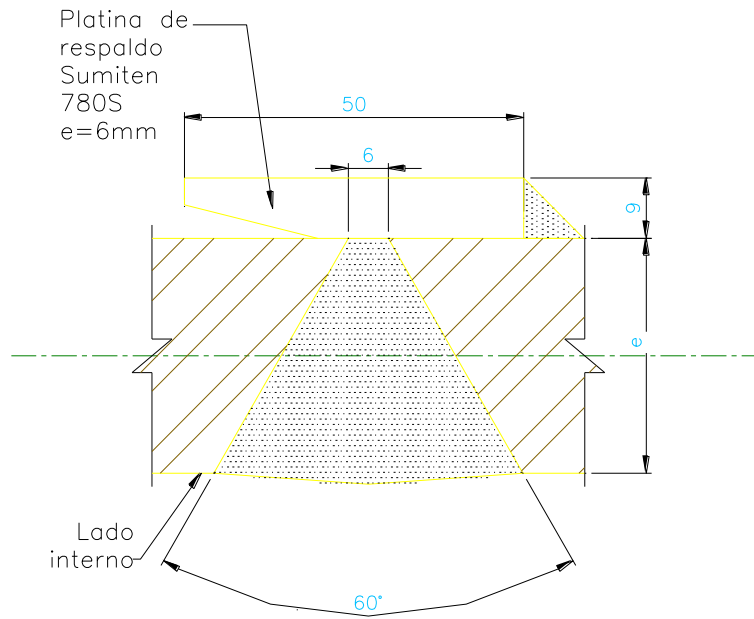


Figura Nº 2.5 Chablán tipo "V"

b. Chablán tipo "W"

Utilizado para los tubos de blindaje hormigonado vertical. (ver figura Nº 2.6)

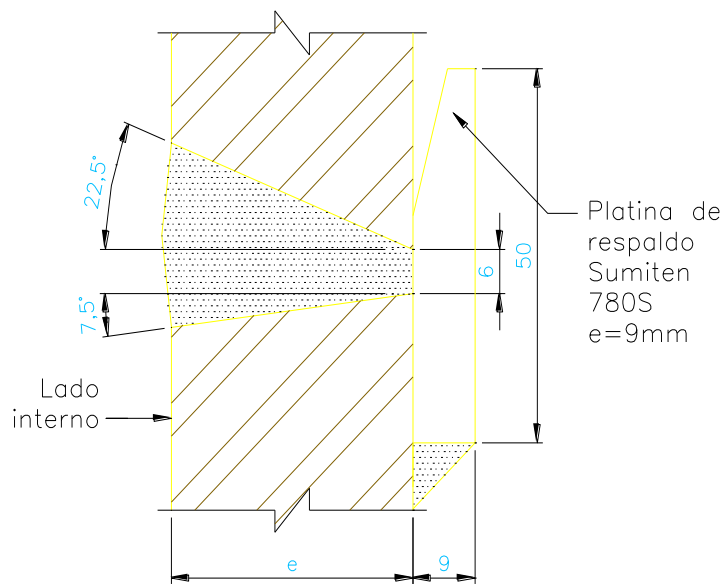


Figura Nº 2.6 Chablán tipo "W"

c. Chaflán tipo "X"

Utilizado para la unión de la tubería que constituyen los codos o cambios de dirección. (ver figura N° 2.7)

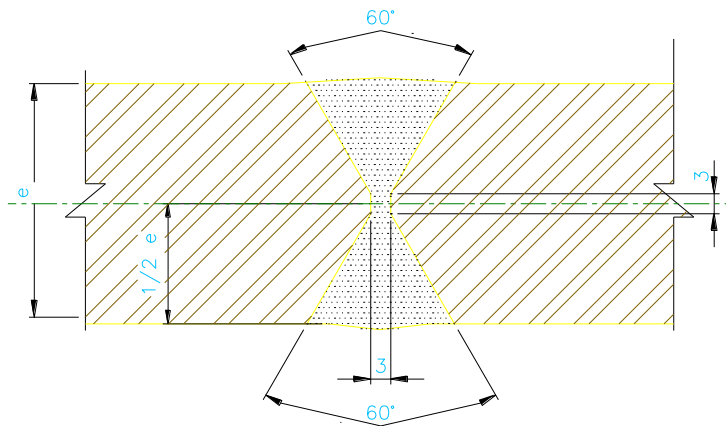


Figura N° 2.7 Chaflán tipo "X"

2.3.2 Análisis de los Requerimientos de Junta:

Considerando que la parte económica es en todo proceso de selección un factor primordial, se realizara un detallado análisis tanto de la parte económica así como de otros factores que intervienen en la selección de un proceso de soldadura.

Así pues tenemos que los requerimientos de cualquier junta soldada pueden ser expresados en los siguientes términos:

- Juntas que requieren altas tasas de deposición.
- Juntas que requieren una rápida solidificación.
- Juntas con necesidad de una alta velocidad de avance.
- Juntas que requieren una alta penetración.

Tomando en consideración el tipo de juntas a usar en la soldadura de montaje, podemos realizar un análisis de los requerimientos de las juntas y determinar cuál es el tipo de junta predominante y en función de la cual se tomara las decisiones para la selección del proceso soldadura adecuado.

A continuación se muestran los tipos de juntas para la soldadura de montaje en la Tubería Forzada del Pique vertical.

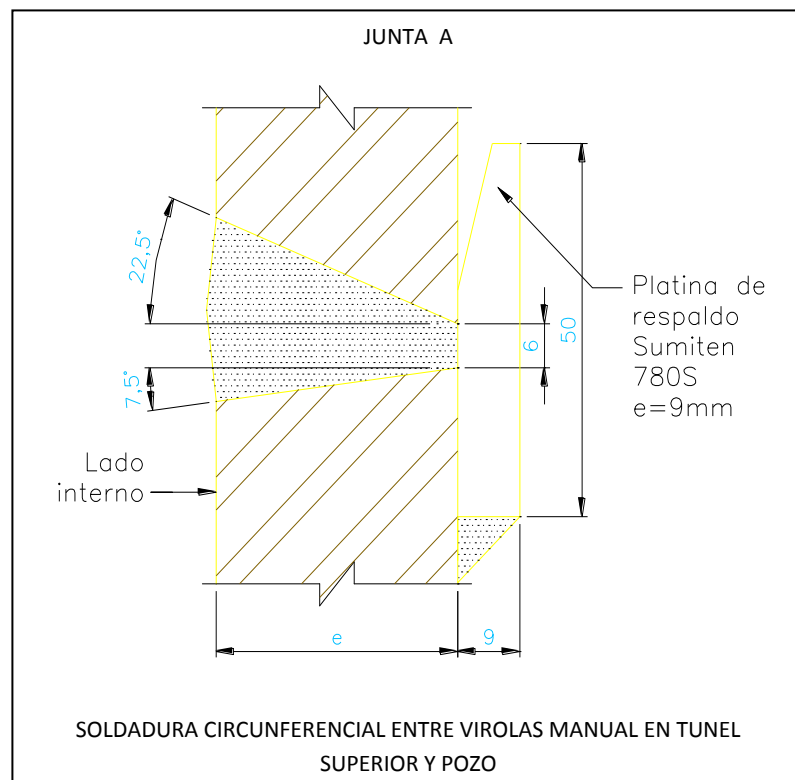


Figura N°2.8. Junta A a tope

La junta tipo A, fue usada exclusivamente para la soldadura de montaje circunferencial en posición vertical, el cual se uso en la unión

de las tuberías comprendidas entre las juntas 8 hasta la junta 82 (Ver Anexo N°5, Planos Constructivos).

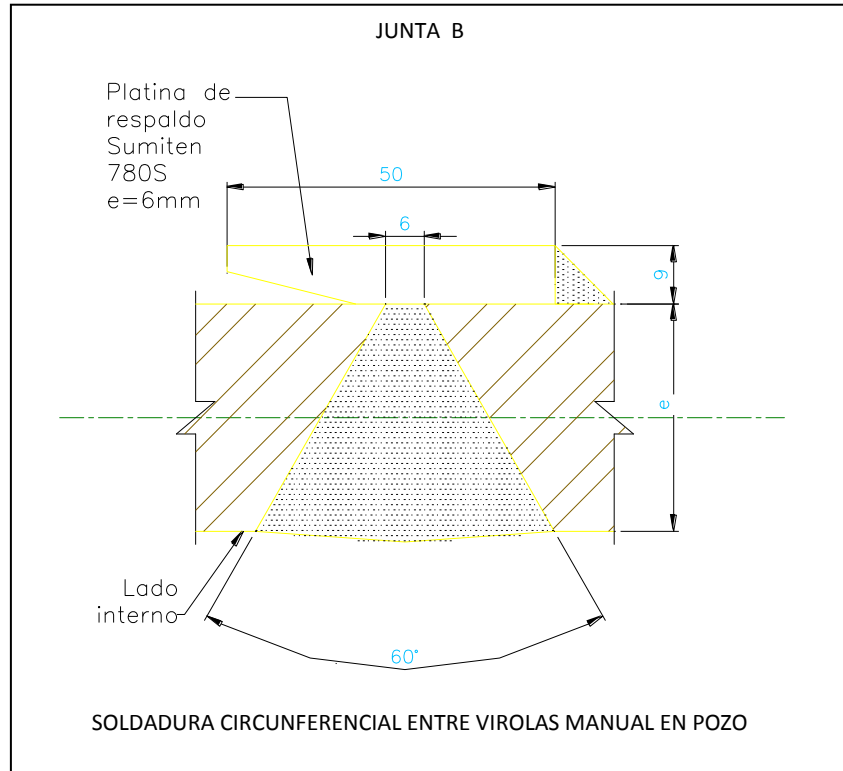


Figura N°2.9 Junta B a tope

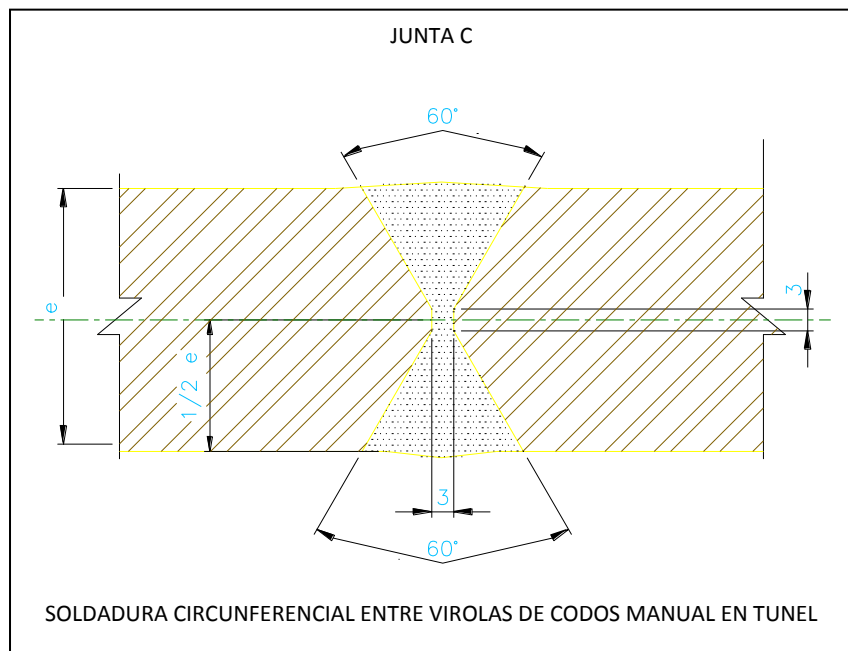


Figura N°2.10 Junta C a tope

Las juntas B y C, son usadas en la soldadura circunferencial de las virolas que forman parte integrante de los codos, tanto inferior como superior.

Para la determinación de las características de cada tipo de junta, tales como: cantidad de juntas, longitud a soldar, posición a ser soldadas y kilogramos de soldadura a depositar, se usaron los planos (Ver Cuadro N°2.9 y Figura N°2.11):

- PIQUE VERTICAL/CONJUNTO GENERAL/SECUENCIA DE FABRICACION (Ver Anexo N°5, Plano N°100-OSB/SNJ-CF-ME-001).
- PIQUE VERTICAL/BLINDAJE-BISELES Y SOLDADURAS/ DETALLES (Ver Anexo N°5, Plano N°100-OSB/SNJ-CF-ME-002).

TIPO DE JUNTA	JUNTA A	JUNTA B	JUNTA C
CANTIDAD	78	14	7
LONGITUD (m)	783.9	140.7	70.35
POSICION DE SODLADURA <sup>7</sup>	2G	2G,3G,4G	2G,3G,4G
SOLDADURA A DEPOSITAR (kg)	2491.91	595.05	230.15
REQUERIMIENTOS	Alta tasa de deposición, buena penetración	Rápida solidificación, alta tasa deposición	Buena penetración, rápida solidificación

Cuadro N°2.9 Datos y Requerimientos de juntas

<sup>7</sup> 2G= Posición horizontal, 3G= Posición vertical ascendente y 4G= Posición sobre cabeza.

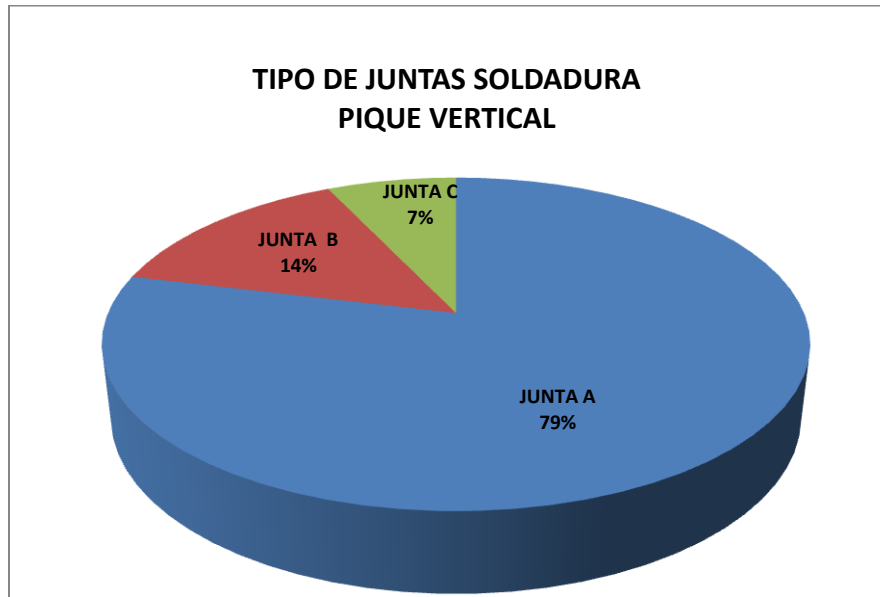


Figura N°2.11 Incidencia de los diferentes tipos de juntas

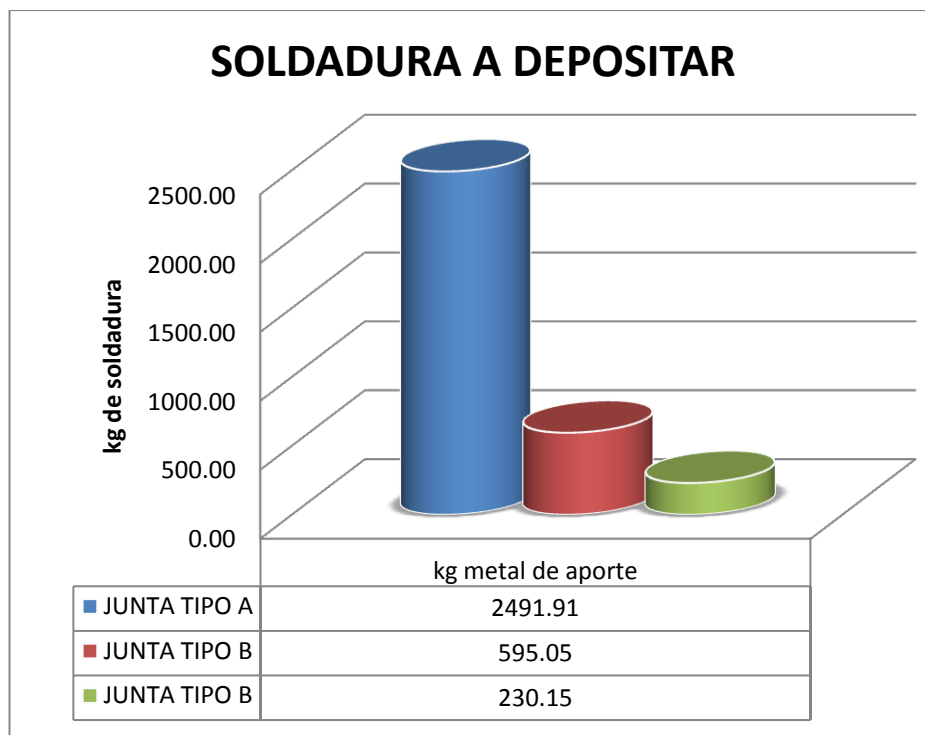


Figura N°2.12 Cantidad neta de Soldadura a depositar por tipo de junta

Teniendo en cuenta el análisis realizado podemos concluir, que la junta tipo A, es la que presenta mayor incidencia, y por tanto para la selección del proceso de soldadura se tendrá en cuenta los requerimientos en este tipo de junta.

#### Especificaciones de requerimientos de soldadura

- Uso de proceso de soldadura que asegure una completa fusión con el metal base.
- Cumplir los requerimientos de aceptación para los ensayos de tracción y dobléz según el Código ASME sección IX.
- La Dureza medida en la sección de las caras no deberá ser superior a 400 HV 10, 3 barridos por sección.
- Todas las soldaduras deberán ser sometidas al 100% a ensayos Ultrasonido y no presentar ningún defecto.
- El fabricante del acero SUMITEN 780S recomienda un calor de aporte no mayor de 4KJ/mm.

#### a. Tipo de trabajo

Las características de la soldadura de montaje de la tubería forzada, están determinadas básicamente por un solo tipo de junta y posición de soldeo tal como podemos observar en el Cuadro N°2.9, de la cual podemos desprender que el tipo de trabajo no requerirá cambios frecuentes en la configuración de la junta, solo en el caso de la soldadura circunferencial de los codos de la tubería forzada.



Bajo estas consideraciones existen 3 tipos de procesos, que reúnen las condiciones para ser considerados en la selección definitiva del proceso de soldadura de montaje. A continuación se realizara un análisis técnico y económico de los siguientes procesos de soldadura:

- i. Soldeo por Arco con Electrodo Revestido (SMAW).
- ii. Soldeo con Alambre Macizo con protección gaseosa (GMAW).
- iii. Soldeo con Alambre Tubular (FCAW).

i. Soldeo por Arco con Electrodo Revestido (SMAW):

El soldeo por arco con electrodo revestido es uno de los procesos de mayor aplicación y uso, especialmente en soldaduras de producción cortas así como en construcciones en campo. La mayor parte de las aplicaciones de soldeo se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38 mm.

Los sectores de mayor aplicación son la construcción de estructuras, puentes, recipientes a presión, gaseoductos y en cualquier otro tipo de trabajo similar. Básicamente este proceso es ideal para trabajos de soldadura en campo donde las condiciones ambientales son decisivas, como los que se tienen en la soldadura de montaje de tuberías forzadas, por lo accidentado de la geografía y las severas condiciones ambientales.

A continuación mostraremos las ventajas y limitaciones del proceso:

Ventajas:

- El equipo de soldadura es relativamente sencillo, no muy caro y de fácil traslado.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección por gas.
- Se puede aplicar en cualquier posición, en espacios restringidos.
- No requiere de agua de refrigeración o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.

Desventajas:

- Es un proceso lento por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador.

ii. Soldeo con Alambre Macizo con protección gaseosa (GMAW):

Este proceso de soldadura es particularmente recomendado para soldaduras de alta producción y aplicaciones de soldadura automatizadas. El proceso GMAW ha sido el proceso de soldadura predominante para llevar a cabo la implementación de procesos mecanizados de soldadura, debido a sus características que lo hacen ideal para este tipo de procesos.

Ventajas:

- La escoria presente es nula, lo que eleva su productividad.
- Se pueden realizar cordones de manera continua.
- El proceso puede ser mecanizado u automatizado.
- Presenta tasas de deposición mayores a los del proceso SMAW.
- El metal de aporte no es Higroscópico, por lo cual se obtienen valores muy bajos de hidrogeno en el cordón.

Desventajas:

- El equipo es más costoso y complejo que el del proceso SMAW.
- Es susceptible a las corrientes de aire.
- Debido a la mayor densidad de corriente el calor radiado y luminosidad de arco son mayores.

iii. Soldeo con Alambre Tubular (FCAW):

Actualmente se viene utilizando este proceso de soldadura como un reemplazo en el uso del proceso de soldadura por arco con electrodo revestido debido a su alta tasa de deposición, bajo costo y una alta calidad en el metal de soldadura, sumado a ello a la posibilidad de la mecanización del proceso con lo cual las tasas de productividad se elevan considerablemente.

La soldadura de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica de Tucuruí, en Brasil es una prueba de ello, pues todas las soldaduras tanto de fabricación como montaje fueron realizados con el uso del proceso FCAW, quedando demostrado de esta manera la posibilidad de reemplazar al proceso SMAW, en la soldadura en campo bajo condiciones de alta humedad relativa y ráfagas de viento.

Los procesos de soldadura GMAW y FCAW-G son los medios más comunes para la mecanización de la soldadura de relleno y acabado. Las técnicas actuales son basadas en transferencias de metal de aporte por corto circuito o spray pulsado con altas velocidades de alimentación de alambre.

La mecanización de los procesos semiautomáticos como GMAW y FCAW-G, presentan un gran potencial para el futuro, pues requieren menos tiempo de entrenamiento, presenta una mayor productividad y una mejor calidad en las uniones soldadas.

	Proceso de Soldadura		
Funciones de soldadura por Arco Eléctrico	Manual (SMAW)	Semiautomático (GMAW, FCAW)	Mecanizado (Bug-O System)
Iniciar, mantener y controlar el arco	Persona	Maquina	Maquina
Alimentar y Dirigir el electrodo dentro del arco	Persona	Maquina	Maquina
Manipular el arco para controlar el metal fundido	Persona	Persona	Maquina
Desplazar el arco a lo largo de la junta	Persona	Persona	Maquina
Guiar el arco a través de la junta	Persona	Persona	Persona
Corregir el arco para evitar desviaciones	Persona	Persona	Persona

Cuadro N°2.10. Funciones de soldadura entre procesos

Para este caso en particular, se decidió realizar una comparación de las propiedades mecánicas y comportamiento de soldeo entre los procesos de soldadura SMAW, GMAW y FCAW-G, para lo cual se realizaron una serie de pruebas que demuestren la capacidad de realizar soldaduras sanas con cada uno de los procesos. En el cuadro N°2.11 se muestran las conclusiones de los ensayos realizados a los cupones preparados con los diferentes procesos de soldadura.

Marca de Soldadura	Metal de Aporte	Nomenclatura AWS	Proceso	Observaciones	Condición
Oerlikon	Fluxo Fil 42/ soldexsa	E110T5-K4	FCAW-G	Este ensayo fue para ver los valores mecánicos del alambre.	<b>Rechazado</b>
Oerlikon	Tenacito 80/ soldexsa	E11018-G-H4	SMAW	Se va a bajar la temperatura de Precalentamiento e interpase.	<b>Rechazado</b>
Oerlikon	Fluxo Fil 42/ soldexsa	E110T5-K4	FCAW-G	Este cupón fallo por sanidad, no había buena fusión entre pases, y escorias alojadas	<b>Rechazado</b>
Oerlikon	Tenacito 110 Plus/ Soldexsa	E11018-G	SMAW	Con este WPS, podemos soldar todo tipo de juntas, en V simple, Doble V, Filete, todas las posiciones y espesores.	<b>Aceptado para WPS-SMAW</b>
Oerlikon	Tenacito 80/ soldexsa	E11018-G-H4	SMAW	Este Electrodo no cumple con lo que requiere por el acero, los parámetros para soldar están muy ajustados	<b>Rechazado</b>
Oerlikon	Fluxo Fill 42 /1.2mm soldexsa	E110T5-K4	FCAW-G- Semiauto.	El alambre tiene una menor resistencia con referencia al material base,	<b>Rechazado</b>
Oerlikon	Fluxo Fill 42 /1.2mm soldexsa	E110T5-K4	FCAW-G- Bug-o	El alambre tiene una menor resistencia con referencia al material base,	<b>Rechazado</b>
Bohler	UTP 6020 1/8", 5/32" Bohler	E 11018M	SMAW	Se elimino los ensayos de tracción, ya que no cumplían los requerimientos de material base	<b>Rechazado</b>
Lincoln	ER110S-G- Lincoln	ER110S-G	GMAW- Semiauto.	Se realizo los ensayos de retest, igual los valores no llegan al promedio requerido	<b>Rechazado</b>
Lincoln	E110C-G- Lincoln	E110C-G	FCAW-G- Bug-o	En los ensayos de impacto los valores fueron muy bajos fuera de lo requerido por ASME sec. IX	<b>Rechazado</b>
Bohler	X-70-IG-Bohler	ER110S-G	GMAW- Semiauto.	Este cupón fue rechazado por defectos de sanidad, exceso de poros	<b>Rechazado</b>
Bohler	X-70-IG-Bohler	ER110S-G	GMAW- Semiauto. Y Bug-o	Ya se realizo los ensayos de tracción 815Mpa, 814Mpa, Impacto es aceptable cumple con lo requerido por el proyecto	<b>Aceptado Para WPS-GMAW-Semiautomático-Bug-o</b>
Lincoln	Super Arc LA 100 Lincoln	ER110S-G	GMAW- Manual- Bug-o	Teniendo la dureza alta, ya descalifica al cupón soldado	<b>Rechazado</b>
Bohler	X-70-IG-Bohler	ER110S-G	GMAW- Semiauto.	Los Barridos de dureza para el retest fueron aceptables	<b>Aceptable</b>
Oerlikon	Fluxo Fil 42/ soldexsa	E110T5-K3	FCAW-G- Semiauto.	Este cupón fue soldado por Soldexsa	<b>Aceptado Para WPS-FCAW-G/Semiautomático</b>
Bohler	X-70-IG-Bohler	ER110S-G	GMAW- Semiauto. Y Bug-o	Los ensayos de sanidad, volvieron a fallar a sanidad	<b>Rechazado</b>
Bohler /Oerlikon	X-70-IG- Bohler/ Tenacito 110 Plus	ER110S-G / ER11018-G- H4	GMAW- Semiauto, Bug-o y SMAW	Se va volver a realizar los ensayos de dureza en la línea 1 a 6mm de la cara exterior	<b>Rechazado</b>
Bohler	X-70-IG-Bohler	ER110S-G	GMAW- Semiauto	En proceso de Ensayos de RT, Ut, MT	<b>Aceptable</b>
Bohler /Oerlikon	X-70-IG- Bohler/ Tenacito 110 Plus	ER110S-G / ER11018-G- H4	GMAW- Semiauto, Bug-o y SMAW	Se va volver a realizar los ensayos de dureza en la línea 1 a 6mm de la cara exterior	<b>Rechazado</b>
Lincoln	Super Arc LA 100 Lincoln	ER110S-G	GMAW- Semiauto. Y Bug-o	Teniendo la dureza alta, ya descalifica al cupón soldado	<b>Rechazado</b>

Cuadro N° 2.11 Ensayos realizados a los cupones preparados con los diferentes procesos de soldadura

Como resultado de las pruebas realizadas a los diferentes tipos de metales de aporte, solo se obtuvieron resultados aceptables para los siguientes procesos de soldadura con sus respectivos materiales de aporte:

- Proceso SMAW el electrodo seleccionado fue E11018-G H4 (Tenacito 110 Plus/ Soldexsa), producido por la empresa Oerlikon.
- Proceso GMAW-Semiautomático-Mecanizado (Sistema Bug-o), el alambre solido seleccionado fue ER110S-G (X-70-IG-Bohler).

A continuación se realizara un análisis y comparación económica de los Procesos SMAW, GMAW-Semiautomático y GMAW Semiautomático-Mecanizado (Sistema Bug-O), para determinar cuál de los procesos presenta los menores costos de producción, para realización la soldadura de montaje de la Tubería Forzada.

2.3.3 Análisis Económico:

El cuadro N°2.12 muestra que incluso con un costo mayor en los precios de consumibles y con un costo de equipos dos veces mayor el proceso semiautomático mecanizado GMAW es un 27.60% más económico que el proceso manual SMAW.

Así mismo se demuestra que el proceso semiautomático GMAW es un 6.70% más costoso que el proceso manual SMAW, y esto básicamente por los altos costos de gases de protección, por lo cual no se justifica el uso de este proceso.

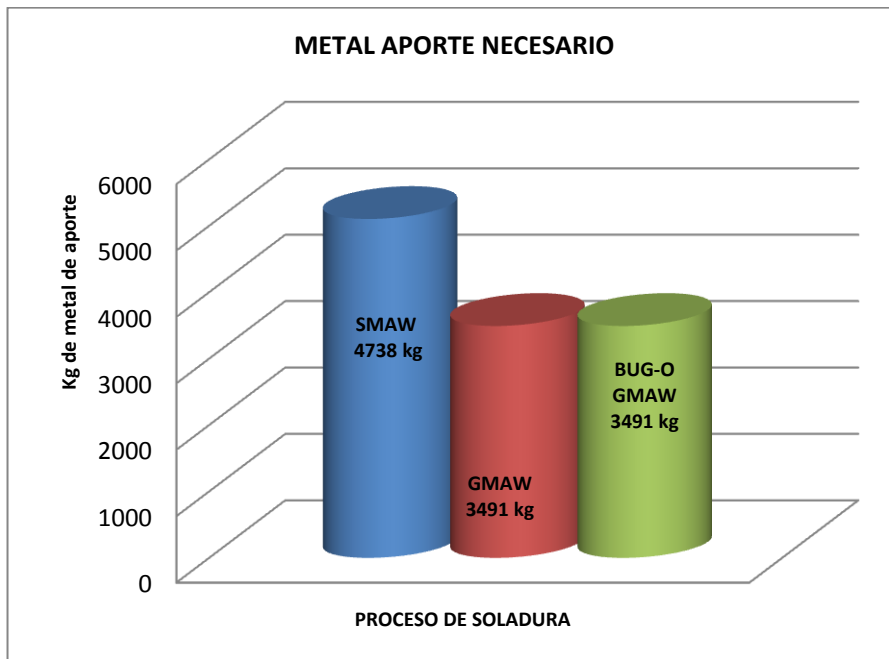


Figura N°2.13 Metal a aportar por proceso de soldadura



GASTOS OPERATIVOS	Manual con electrodo	Semiautomático manual	Semiautomático mecanizado
1. PRECIO DE COMPRA DE EQUIPO	S/. 9,996.50	S/. 17,611.59	S/. 53,611.59
2. ACCESORIOS	S/. 10,951.03		
3. INVERSION TOTAL (1+2)	S/. 20,947.53	S/. 17,611.59	S/. 53,611.59
4. VIDA UTIL DE EQUIPOS (años)	10	5	5
5. TIEMPO OPERACIÓN EN HORAS	500	500	500
6. MANO DE OBRA Y GASTOS GENERALES	22.62	22.62	22.62
7. DEPRECIACION ANUAL	S/. 2,094.75	S/. 3,522.32	S/. 10,722.32
8. COSTOS DE MAQUINA POR HORA (9+10+11)/(5)	S/. 4.19	S/. 7.04	S/. 21.44
9. TIEMPO DE OPERACIÓN PARA 3317 Kg METAL DE APORTE	9477.45	3769.44	1579.57
10. COSTOS DE PRODUCCION (6x13)+(12x13)	S/. 254,085.65	S/. 111,819.03	S/. 69,603.37
11. COSTOS DE CONSUMIBLES	S/. 141,972.14	S/. 310,770.79	S/. 236,359.19
12. COSTO TOTAL (14+15)	S/. 396,057.79	S/. 422,589.82	S/. 305,962.56
13. PORCENTAJE DE AHORRO (%)	-----	- 6.70%	27.60%

Cuadro N°2.12. Análisis de gastos

Adicionalmente se realizó una comparación entre los procesos de soldadura (Ver Anexo N°5, Cuadro N°1), teniendo en cuenta los siguientes requerimientos de producción:

- Requerimientos de soldadura.
- Habilidades del soldador u operarios de maquinas de soldar.
- Condiciones de metal base.
- Ambiente de trabajo.
- Implementación del proceso.

- Tiempo de acomodo del equipo.
- Costo de mantenimiento del equipo.
- Limpieza del cordón de soldadura.
- Flexibilidad de aplicación.

Como un último paso para determinar el proceso de soldadura idóneo a usar, confirmar que el análisis de los factores y parámetros envueltos en la selección han sido correctos y la exploración de los posibles procesos a usar se realizaron de manera adecuada, es recomendable que los representantes locales de ventas de equipos y materiales de soldadura confirmen la validez de la selección y los parámetros usados en ella.

Ellos están en la posición de señalar y realizar recomendaciones, debido a que manejan información actualizada de las capacidades de los equipos. Esta revisión final antes de la instalación brindara al trabajo toda la información posible para una exitosa implementación, así como también verificara la decisión tomada.

Luego de realizado el análisis y verificación del mismo, se puede concluir que a pesar de ser el proceso semiautomático mecanizado GMAW, económicamente más rentable, no pudo ser tomado en cuenta para su implementación por razones de problemas de soldabilidad operativa, debido a las extremas condiciones ambientales en el lugar de soldadura y a la falta de experiencia en el uso de este tipo de procesos en el Perú, por lo que se tomo la decisión de adoptar el proceso de soldadura manual SMAW, con el uso de electrodo

revestido E11018-G H4 (Tenacito 110 plus-Oerlikon) como el recomendado para su implementación en la soldadura de montaje del pique vertical.

### **Características del proceso Manual SMAW:**

Para la implementación de este proceso de soldadura se tomo en consideración lo siguiente:

- Uso de Fuente de poder multiprocesos Marca Lincoln modelo INVERTEC V350-PRO.
- Pase de raíz, relleno y acabado se realizo con proceso SMAW, con el uso del electrodo E11018-G H4.

A continuación se muestra en el cuadro N°2.13 los parámetros de soldadura usados para la realización de la capacitación y calificación del proceso de soldadura:

Metal base				
Especificación	SUMITEN 780S			
Espesor	16-40 mm			
Proceso				
	SMAW			
Tipo	Manual			
Metal aporte	E11018-G H4			
Diámetro	3.2 mm			
Gas protección				
Pasadas	Raíz			
Parámetros de Soldadura				
pasadas	proceso	metal de aporte	Amperaje	Voltaje
1 + n	SMAW	E11018-G H4	140-160	24-26

Cuadro N° 2.13 Parámetros de soldadura usados en proceso de soldadura

## CAPITULO 3

### PROCESO DE SOLDADURA DE MONTAJE DE LA TUBERÍA FORZADA

#### 3.1 Consideraciones para el proceso de soldadura en obra

Antes del inicio de la parte operativa de la construcción de la tubería forzada, es necesario tener definidos todos los parámetros y factores que intervienen en dicha operación, lo cuales son los siguientes:

##### 3.1.1 Consideraciones de diseño

Los cuales se refieren a:

- Tipo de acero a utilizarse en la construcción del blindaje del pique vertical de la tubería forzada (Ver Capitulo 2, numeral 2.1.1 Características de Acero SUMITEN 780S).
- Dimensiones finales para cada parte, considerando diámetros, espesores, longitudes, tipos de juntas, etc., en cuya determinación intervienen las limitantes para transporte y montaje, los cuales fueron definidos durante el diseño de la tubería forzada de la central hidroeléctrica (Ver Anexo N°1, Memoria de Cálculo-Tubería Forzada).

### 3.1.2 Limitaciones de transporte y montaje

- Longitud de la tubería.
- Diámetro de la tubería.
- Peso máximo de tuberías.

Estas consideraciones y limitaciones son determinadas por las características geográficas de la ubicación de la Central Hidráulica, así como por las técnicas operativas a usar para el proceso de montaje de virolas.

Para el proceso de montaje del blindaje del pique vertical de la Central Hidroeléctrica El Platanal las dimensiones de las tuberías, se encuentran especificadas en los planos (Ver Anexo N°5, Planos Constructivos). Estas dimensiones son las siguientes:

- Longitud máxima : 9 000 mm
- Diámetro máximo : 4 870 mm
- Altura máxima : 4 870 mm
- Peso máximo : 2 0000 kg

Estos límites son determinados por las dimensiones del túnel de la ventana de salida (6 000 mm de ancho por 5 500 mm de altura), por donde ingresarán las tuberías para ser ensambladas en el pique vertical y el límite de peso estará determinado por los equipos de

montaje a usar (puente grúa instalada en la caverna de maniobras, winches), así como también por el uso del único medio para acceder a la entrada de la caverna de maniobras, el cual es una carretera de trocha angosta.

### 3.1.3 Tolerancias de fabricación

La fabricación y el ensamble de todas las partes deberán estar de acuerdo con las dimensiones mostradas en los planos de detalle suministrados por CELEPSA (Ver plano N° 01 en Anexo N°5) dentro de las tolerancias especificadas aquí, bajo responsabilidad del CONTRATISTA. Las dimensiones que tengan una precisión de 1 mm o menor podrán ser efectuadas por medio de una cinta de acero calibrada que este a la misma temperatura de la estructura; para dimensiones con mayor precisión su control se hará con instrumentos que garanticen la exactitud de la lectura, tales como calibrador pie de rey o micrómetro, previamente calibrados.

En el caso práctico de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica El Platanal, para la fabricación se adopto la norma ASME, Sección VIII- Subsección A – Parte UG, Subsección B – Parte UW y Subsección C – Parte UHT.

Las virolas y accesorios deberán cumplir con las tolerancias que se indican a continuación:

a) Desviación diametral de tuberías

La diferencia entre los perímetros externos correspondientes a los extremos de tubos adyacentes a ser soldados no excederá los valores indicados en los planos y dicha diferencia estará preferiblemente distribuida a lo largo de toda la circunferencia de la virola.

b) Fuera de redondez (ver figura N° 3.1)

Toda medida fuera de redondez tendrá la forma de una ovalidad suave de tal forma que se pueda redondear con gatos. Se debe tener en cuenta la siguiente formul 3.1

$$(D_{\max} - D_{\min}) < 0.5\% Dn.....Formula(3.1)$$

Donde:

Dmax: Diámetro máximo de la ovalidad.

Dmin: Diámetro mínimo de ovalidad.

Dn: Diámetro estándar.

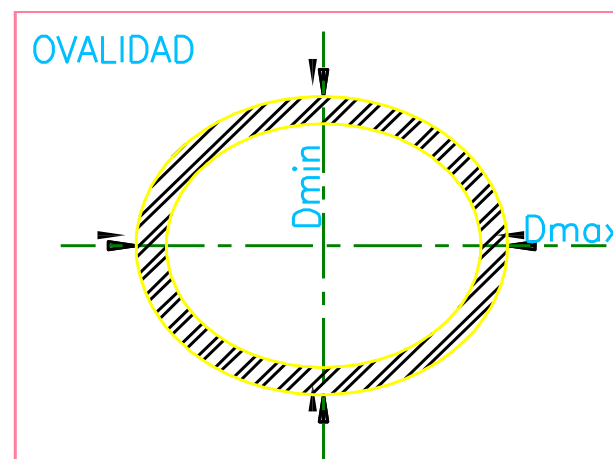


Figura N° 3.1. Fuera de redondez en tuberías.

c) Deformación local

La máxima deformación local no deberá ser mayor que el 50% del espesor de la pared de la tubería. La deformación será medida utilizando un patrón que tenga la forma exterior requerida para admitir esta deformación y una longitud de 400 mm medidos a lo largo de la sección transversal del tubo.

d) Refuerzo de las soldaduras

Los refuerzos de las soldaduras deberán cumplir con lo establecido en el artículo UW-35, Sección VIII, Requerimientos Relacionados a Métodos de Fabricación de Recipientes a Presión del código ASME.

e) Desviación del radio teórico (ver figura N° 3.2)

La máxima desviación permisible del radio teórico está dada por la fórmula 3.2.

$$\Delta h = \pm \left[ \frac{2R}{1000} + \frac{20}{e} + 0.5 \right] \dots \text{Formula (3.2)}$$

Donde:

$\Delta h$  = Espacio libre permisible entre el radio interno real mínimo o máximo y el radio teórica, mm.

R = Radio interno de la tubería, mm.

e = Espesor de pared del tubo, mm.



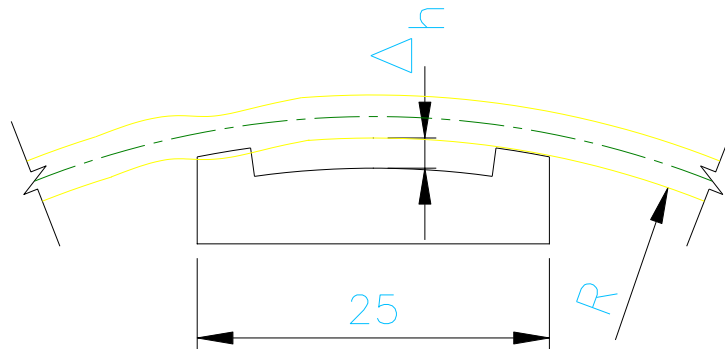


Figura N° 3.2. Desviación del radio teórico.

f) Desviación de la generatriz (ver figura N° 3.3)

La máxima desviación permisible de alineamiento de la generatriz de las tuberías está dada por la formula:

$$\Delta f = \left[ \frac{2L}{1000} \right] \dots \dots \dots \text{Formula}(3.3)$$

Donde:

L = Longitud de la tubería, mm.

$\Delta f$  = Espacio máximo permisible entre la generatriz y la línea recta teórica, mm.

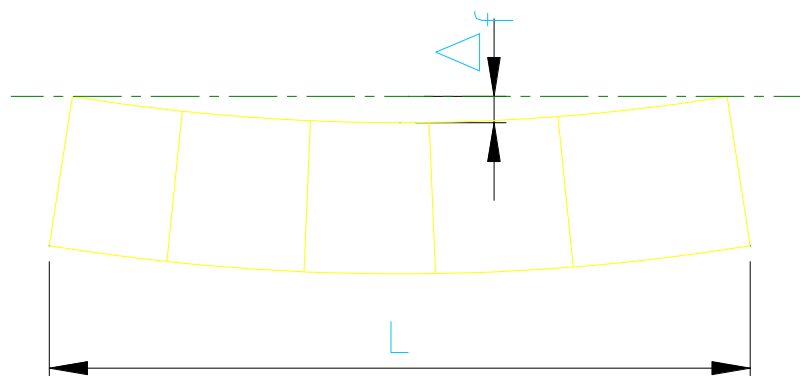


Figura N° 3.3. Desviación de la generatriz.

#### 3.1.4 Calificación del procedimiento de soldadura

Para lograr buenas soldaduras, es decir aquellas que posean uniformidad, seguridad, excelencia y cumplan con las exigencias de las especificaciones técnicas de diseño y las normas bajo las cuales se realiza el proceso de soldadura, la mayor parte de las tuberías son diseñadas, fabricadas e instaladas, así como probadas, bajo uno o más códigos establecidos por sociedades, asociaciones y normas internacionales.

Para realizar una soldadura, se debe indicar en primer lugar la Norma o Código bajo la que se está trabajando. Para este proyecto se contemplo el uso del Código ASME, Calderas y Recipientes Sujetos a Presión, Sección IX, Artículo II, Calificación del Procedimiento de Soldadura.

Se presupone que el soldador que efectúa la prueba de calificación del procedimiento de soldar es un soldador experimentado. Esto es, la prueba de calificación de procedimiento de soldar establece las propiedades del conjunto soldado, no la experiencia del soldador (Ver Anexo N°2, Calificación de Habilidades del Soldador).

El Código ASME Sección IX Artículo II, establece los siguientes requisitos que debe contener el procedimiento de soldadura calificado:

- Especificación, tipo y grado del material base a ser soldado.
- Diseño de la junta.
- Método de limpieza inicial.
- Presencia o ausencia de anillo de respaldo (backing).

- La especificación ASME o AWS y la clasificación AWS del electrodo o material de aporte usado y la marca del producto.
- Tamaño del metal de aporte.
- Temperatura de precalentamiento.
- Posición de la junta de soldadura, si es aplicable la progresión.
- Si más de un proceso o tipo de electrodo es usado, se indica el espesor aproximado del metal de aporte para cada proceso o tipo de electrodo.
- Temperatura máxima de interpase.
- Tratamiento térmico post-soldadura, incluyendo el tiempo de mantenimiento y rango de temperatura.
- Dirección de la soldadura.
- Cantidad de corriente (Amperios).
- Tipo de corriente (corriente alterna C.A; corriente directa C.D.).

a) Registro de Calificación de Procedimiento (PQR)

Un PQR es un registro de los datos de soldadura usados para soldar una muestra de prueba. El PQR es un registro de variables registradas durante la soldadura de las muestras de prueba. Contiene también los resultados de las pruebas de los especímenes probados.

El PQR terminado documentara todas las variables esenciales, y cuando se requiere, las variables esenciales suplementarias para cada proceso de soldadura usado durante la soldadura de la muestra de prueba.

El PQR será certificado en cuanto a exactitud por el fabricante o contratista, el cual no podrá subcontratar la función de certificación. Esta certificación se destina a ser la verificación del

contratista de que la información dentro del PQR es un registro verdadero de las variables que fueron usadas durante la soldadura de la muestra de prueba y de los resultados de las pruebas están en cumplimiento con la Sección IX del código ASME.

b) Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS)

Un WPS es un procedimiento de Soldadura calificado y escrito, preparado para proveer dirección para hacer soldaduras de producción en conformidad con los requerimientos del Código. El WPS describirá todas las variables esenciales, no esenciales y las variables esenciales suplementarias para cada uno de los procesos de soldadura usados en la WPS. Estas variables están descritas en listas en QW-253 y QW-253.1 del Código ASME Sección IX..

c) Control de Material Base

De acuerdo al Código ASME, Sección VIII, parte UG-10, Materiales Totalmente No Identificados, el Acero SUMITEN 780S, no se encuentra identificado por esta norma por lo que se debe tener la documentación referente al proceso de fabricación y ensayos realizados al lote en cuestión, para de esta manera garantizar que se cumple con la composición química y las propiedades mecánicas requeridas por la referida especificación.

d) Tipo de pruebas requeridas

i) Ensayos No Destructivos: Estos ensayos son adicionales a los requerimientos de Código ASME Sección IX y se realizan previos a la extracción de los especímenes de acuerdo a los requerimientos de ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sección V.

- Ensayo por Partículas Magnéticas.
- Ensayo Radiográfico.

ii) Pruebas Mecánicas destructivas: El tipo y número de especímenes de prueba los cuales serán ensayados para calificar un procedimiento de soldadura en ranura están dados en el Código ASME, sección IX, parte QW-451 (Cuadro QW 451.1) y parte QW-290 los que serán removidos de una manera similar a aquello que se muestra en la parte QW-463. Si cualquier espécimen de prueba requerido en la parte QW-451 del Código falla en reunir los criterios de aceptación aplicables, la muestra de prueba se considera como fallada y se soldara una nueva muestra de prueba.

Las muestras de prueba de soldadura en ranura calificaran las series de espesor tanto del metal base, como de metal de soldadura depositado que se van a usar en producción. La calificación del WPS para soldaduras en ranura se hará en soldaduras en ranura con el uso de especímenes de tensión y

doblez guiado. Las pruebas de tenacidad de muesca se harán cuando otra Sección del Código las requiera.

Espesor T de Muestra de Prueba Soldadura, mm.	Orden de espesor T de Metal Base Calificado, (mm)		Espesor t de Metal de Soldadura Depositado Calificado, (mm).	Tipo y Número de Pruebas Requeridas Pruebas de Tensión y de Doblez Guiado [Nota(4)]			
	Min.	Máx.		Máx.	tensión	D. lateral	D. de cara
$T < 1.5$	T	2T	$2t$	2	.....	2	2
$1.5 \leq T \leq 10$	1.5	2T	$2t$	2	Nota (5)	2	2
$10 < T < 19$	5	2T	$2t$	2	Nota (5)	2	2
$19 < T < 38$	5	2T	$2t$ cuando $t < 19$	2	4	.....	.....
$19 < T < 38$	5	2T	$2t$ cuando $t \geq 19$	2	4	.....	.....
$38 < T < 150$	5	2T	$2t$ cuando $t < 19$	2	4	.....	.....
$38 < T < 150$	5	2T	$200$ cuando $t \geq 19$	2	4	.....	.....

Cuadro N°3.1 (Código ASME, sección IX cuadro QW-451.1) Pruebas de Tensión y Pruebas de Doblez Lateral de Soldadura de Ranura.

Observando el cuadro podemos determinar el número de probetas necesarias para la realización de los ensayos:

- Dos (2) Probetas para ensayo de Tracción; se requiere una resistencia a la tracción máxima similar o superior a la del metal base.
- Cuatro (4) Probetas de Doblez Lateral; los especímenes no tendrán discontinuidades en la soldadura o la zona afectada por el calor que exceda los 3mm, medidos en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después de ser doblado, de acuerdo a los criterios de aceptación para

ensayos de Doblez Guiado del Código ASME, Sección, parte IX QW-163.

Sumado a los ensayos de Tracción y Doblez Lateral, se requieren Dos (2) sets de impacto de acuerdo al Código ASME, Sección VIII, División I, parte UG-84(g) y UG-84(h), cada uno compuesto por 3 especímenes extraídos de la Zona Afectada por el Calor y Metal de Aporte respectivamente. Los valores requeridos se muestran en el cuadro N° 3.2.

Temperatura de Ensayo	Dirección	Energía Absorbida		Especímen
		Promedio	Individual min.	
-20°C	Longitudinal	61 J	43 J	10mmX10mm

Cuadro N° 3.2. Valores requeridos de dureza en zona de medición.

La localización, orientación, temperatura y valores de los ensayos de impacto deberán cumplir con lo indicado en el Código División I, parte UG-84(g). La orientación y localización es mostrado en la figura N° 3.4.

Los procedimientos y equipos para llevar a cabo el ensayo deberán estar de acuerdo a la Norma ASTM 370.

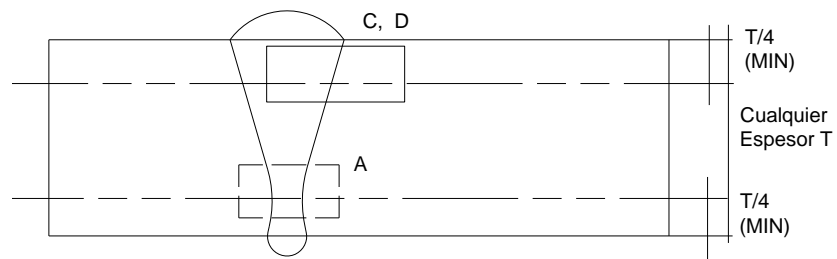


Figura N° 3.4. Ubicación de ensayo de dureza.

Adicionalmente se deberá registrar el valor de la expansión lateral opuesto a la muesca, el cual debe ser siempre mayor a 0.4mm de acuerdo a los requerimientos de la figura UHT-6.1 del Código ASME, Sección VIII, División I.

Como complemento a los ensayos requeridos por el Código ASME, se tomaron en consideración las recomendaciones dadas por la compañía productora del acero SUMITOMO METAL'S, que recomendó la realización de los siguientes ensayos:

- Dos secciones transversales para barrido de Dureza HV10, cada sección presentara 3 líneas de barrido; la primera a 1.5 mm de la parte superior, otra en la mitad de la sección y otro a 1.5 mm del lado inferior, de acuerdo a la figura N°3.5. La máxima Dureza permisible es 400HV10, Norma de Ensayo ASTM E92-03.
- Dos secciones transversales de macrografía, código de referencia ASME Sección IX.

e) Calificación del Procedimiento de Soldadura

El primer paso para la calificación del procedimiento es definir todos los parámetros de soldadura que se requieren calificar, los cuales han sido determinados con anterioridad y posteriormente son almacenados en el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR).



Las condiciones de trabajo y ambientales al momento de la calificación serán lo más similares a las condiciones reales del lugar donde se realizara la soldadura en campo, en la medida que esto sea posible, para de esta manera establecer la calidad de las uniones soldadas una vez iniciadas las soldaduras de producción.

Será necesario una Recalificación del Procedimiento Especificado de Soldadura, para cada cambio que se realice en las variables esenciales de soldadura, tal como es especificado en el Código ASME, Sección IX, Subsección II, parte QW-253.

Posteriormente se realizara la preparación del Cupón de Prueba, el cual será íntegramente realizado por un soldador calificado. Las dimensiones consideradas para el testigo son las siguientes 150 x 450 mm y un espesor 28 mm. La localización y extracción de los especímenes de prueba requerido para la calificación se muestran en la figura N°3.5.

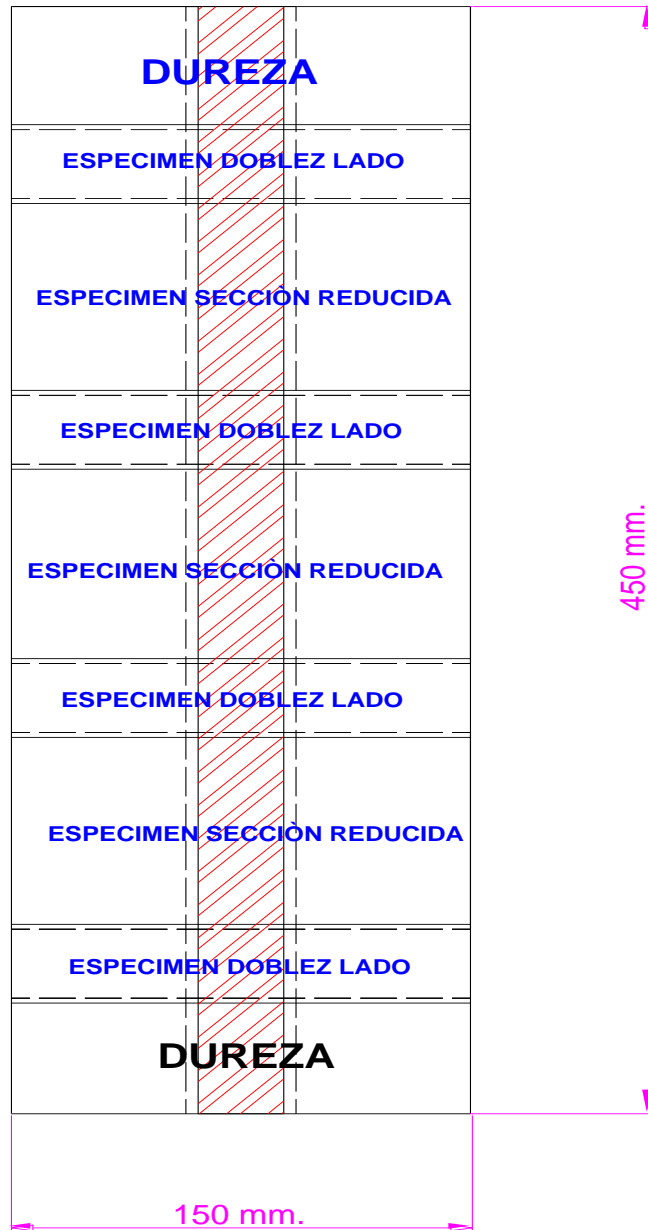


Figura N°3.5 La localización y extracción de los especímenes de prueba requerido para la calificación



Fotografía N°3.1. Preparación de Cupón de Pruebas

Concluida la preparación del Cupón de Prueba se procederá a realizar los ensayos requeridos por el Código ASME así como los recomendados por la compañía productora del Acero, en el orden que se muestra a continuación:

Ensayos No Destructivos:

- Inspección Visual.
- Ensayo de Partículas Magnéticas.
- Ensayo de Gammagrafía.

Ensayos Mecánicos:

- Ensayo Macrográfico.
- Ensayo de Barrido de Dureza.
- Ensayo Impacto Charpy-V.
- Ensayo de Tracción.

- Ensayo de Doble Lateral.

Los ensayos No Destructivos y Mecánicos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Materiales, de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Los resultados de los ensayos se encuentran adjuntados en el Anexo N°3 de la investigación.

El correcto registro de las variables de soldadura es fundamental para que, el procedimiento de soldadura específico (WPS), cumpla los requerimientos exigidos. Se tiene que tener en claro que no es cuestión tan solo de cumplir con los requerimientos, si no, que además la correcta aplicación de las variables nos garantizará uniones confiables y repetitivas.

El WPS, quedara debidamente sustentado una vez concluidos de manera satisfactoria todos los ensayos a los que fueron sometidos los diferentes testigos de pruebas y se asegurara que el conjunto de partes a ser soldados con el WPS proveerán las propiedades requeridas para su aplicación destinada.

Resumen de resultados de Ensayos para Calificación de Procedimiento de Soldadura

<b>Material</b>	<b>SUMITEN 780S</b>
<b>Espesor de Material Base</b>	<b>28 mm</b>
<b>Proceso de Soldadura (WPS)</b>	<b>WPS-GyM-001</b>
<b>Marca de Soldadura</b>	<b>Oerlikon</b>
<b>Metal de Aporte</b>	<b>Tenacito 110 Plus/ Soldexsa</b>
<b>Nomenclatura AWS</b>	<b>E11018-G H4</b>
<b>Proceso</b>	<b>SMAW</b>
<b>Ensayos Adicionales de END</b>	<b>RT,UT,MT (Aceptable)</b>
<b>Ensayos de Impacto</b>	<b>Aceptable</b>
<b>Ensayo de Tracción</b>	<b>Aceptable</b>
<b>Ensayo de Doble</b>	<b>Aceptable</b>
<b>Ensayo de Dureza</b>	<b>Aceptable</b>
<b>Macrografía</b>	<b>Aceptable</b>
<b>Observaciones</b>	<b>Con este WPS, podemos soldar todo tipo de juntas: en V simple, Doble V, Filete, todas las posiciones y espesores.</b>
<b>Estado</b>	<b>Aceptado para WPS-SMAW</b>

### 3.2 Proceso de soldadura

El proceso de soldadura en obra, debe definir los productos de aportación, el almacenaje y estufado, la preparación y apareamiento de las tuberías, la limpieza de las superficies a soldar, los refuerzos a colocar, la posición de

soldado, el espesor de metal base, la preparación de soldaduras y las características de la corriente eléctrica.

a) Equipos para proceso de soldadura

Dentro de los equipos usados para el procedimiento de soldadura tenemos: maquina de soldadura INVERTEC V350 PRO, maquina de precalentamiento por inducción MILLER PROHEAT35, Termómetro infrarrojos, tizas térmicas, equipamiento de seguridad (cascos de soldeo, guantes, casacas de cuero, mandiles, etc), esmeriles, termas y hornos para manutención y reacondicionado de material de aporte y plataforma de trabajo.

Estos equipos y sus características serán explicados con mayor detenimiento en el Capitulo V, Control de Calidad de las Uniones Soldadas.

b) Preparación de superficie de bisel

El corte y preparación de los biseles puede hacerse por medios mecánicos (esmeriladoras) o por oxicorte (corte con llama), para lo cual debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- El corte con soplete es aceptable solo si es razonablemente parejo y todos los óxidos y escorias son removidos de la superficie esmerilando la superficie.
- El corte de las tuberías a modificar, será realizado con apoyo del equipo Bug-O (Ver Anexo N°6, Manual de Equipos) como sistema

de locomoción de la antorcha de corte tradicional, la misma que se alimentara de oxígeno y acetileno.

- Luego del corte con soplete, se elimina mediante esmerilado aproximadamente 2 mm. de material de la superficie del bisel, la conformación del biselado puede hacerse con maquina biseladora o esmeril.
- Los biseles de conformación para soldadura serán pulidos con disco polyfam grado 60, este disco no aporta calor dañino durante el pulido, se debe eliminar todo tipo de ralladuras profundas y socavaciones producto del corte.

c) Montaje y alineamiento de tuberías

Las tuberías de 6.0 y 9.0 metros serán verticalizados dentro de la caverna mediante dos grúas puente de 20 y 10 toneladas montadas sobre una estructura metálica. Los tubos verticalizados serán depositados por la grúa de 20 toneladas sobre una plataforma que precisamente esta ubicada por encima del pique. De esta posición los winches F807 de 27,215.54 kilogramos de capacidad, levantaran la tubería para que la plataforma sea retirada, para iniciar el descenso de los tubos dentro del pique.

Debe anotarse que los winches F807 se han distribuido perpendicularmente al eje del túnel de aducción, para que los tubos bajen resbalando sobre las vigas guías instaladas dentro del pique.

Una vez que se haya bajado un tubo por el pique hasta el nivel correspondiente, con la ayuda de gatas hidráulicas se procede al ensamble del tubo dentro del respaldo inferior y seguidamente se realizara el debido alineamiento del tubo con la tubería para de esta manera asegurar la perpendicularidad del mismo.

La fijación, incluyendo la desalineación de soldaduras a tope, deberá estar de acuerdo con el Código ASME, sección VIII, división I, parte UW-33. Además, los bordes de las soldaduras a tope deberán estar sujetos durante la soldadura de manera que no se excedan las tolerancias. Así mismo para cuerpos cilíndricos delgados, el desvío máximo de redondez en cualquier sección transversal no excederá el 1% del diámetro nominal, de acuerdo a la tabla N° 3.4.

Espesor de la sección, pulg.	Categoría de junta	
	A*	B,C & D*
Hasta 1/2	1/4t	1/4t
Más de 1/2 hasta 3/4	1/8 pulg.	1/4t
Más de 3/4 hasta 1 1/2	1/8 pulg.	3/16 pulg.
Más de 1 1/2 hasta 2	1/8 pulg.	1/8t
Más de 2	Menos de 1/16t o 3/8 pulg.	Menos de 1/8t o 3/4 pulg.

Tabla N° 3.4. Tolerancias de alineamiento

\*Las juntas categoría A abarcan a todas las juntas longitudinales en cuerpos, cabeceras, transiciones, esferas y juntas circunferenciales que conectan los extremos esféricos a cuerpos. Las categorías B, C y D incluyen todas las demás juntas.

Una vez efectuado esta operación se procede a apuntalar ambos tubos y seguidamente se procede al soldado de las juntas



circunferenciales, de acuerdo a la secuencia definida en el procedimiento de soldadura.

El procedimiento de montaje de las tuberías puede ser visualizado claramente observando los planos de maniobra de montaje de virolas ubicadas al final del trabajo en la parte de planos constructivos (Ver Anexo N°5).

d) Pre calentamiento de juntas

Para el pre calentamiento de las juntas circunferenciales verticales, se utilizara el método de calentamiento por Inducción, utilizando maquinas de pre calentamiento por sistema de inducción eléctrica con programación de ciclo térmico por microprocesador computarizado Proheat 35 (ver capitulo V, Control de Calidad de las Uniones Soldadas).

Antes de proceder a la fijación de las mantas y mangueras de pre calentamiento, se debe definir el ancho de banda circunferencial a ser calentada a la temperatura especificada por el procedimiento, el cual debe ser como mínimo cinco veces el espesor mayor (5t).

Teniendo en consideración el uso del código ASME, sección VIII, parte UW-40 (3) y (4), nos indica que para uniones a tope el ancho mínimo de banda deberá ser calculado con la formula 3.4.

$$e = (W + 4t).....Formula(3.4)$$

Donde:

e : Espesor mínimo de banda, mm.

W: Ancho del cordón de soldadura, mm.

t : Espesor de metal base, mm.

Si se respetan estos anchos de banda no solo el gradiente de temperatura en el espesor será aceptables, sino además no habrá un gradiente excesivo ya sea radial o longitudinalmente.

El procedimiento de instalación de las mantas y mangueras de precalentamiento se inicia con el transporte del equipo de inducción hacia el interior del pique, una vez realizado esto se procederá a la colocación en primer lugar de las mantas de aislamiento en la parte exterior de la tubería forzada y a continuación de las mangueras de precalentamiento las cuales producen el calor mediante inducción eléctrica, cabe resaltar que estas mangueras son refrigeradas con liquido refrigerante, por lo que resulta de suma importancia la adecuada fijación e instalación de todas las conexiones para de esta manera asegurar la hermeticidad del sistema.

Así mismo las termocuplas para el control de la temperatura han sido instaladas a las tuberías previamente en la parte superior del pique, el procedimiento y método de soldadura de las termocuplas ha sido desarrollado en el capitulo V, Control de Calidad de las Uniones Soldadas.

Una vez realizado todas las instalaciones tanto de mantas, mangueras y termocuplas, se procede a la unión de estos sistemas con la fuente de poder la cual se encuentra posicionada en la canastilla de servicio, esta instalación deberá ser realizada por personal técnico capacitado para esta función, pues el precalentamiento constituye una etapa crítica en el proceso de soldadura.

Para la operación de los equipos de precalentamiento y post calentamiento se ha capacitado a personal en el uso del equipo PRO HEAT 35, marca MILLER que será utilizado para precalentar el metal base a una temperatura de entre 100°C - 150°C y post calentar durante el proceso de deshidrogenado a una temperatura entre 150°C - 200°C, la zona de soldadura de la tubería de acuerdo al procedimiento de soldadura calificado.

e) Proceso de soldadura de apuntalado y circunferencial

El presente procedimiento toma en cuenta las siguientes variables: metal de aporte, procedimientos de soldadura y soldeo como factores principales que inciden en la calidad de las uniones soldadas a ejecutarse en obra.

Para el proceso de soldadura se empleara el electrodo revestido designado por la Asociación Americana de Soldadura con la nomenclatura E11018-G H4 de la marca OERLIKON con nombre comercial Tenacito 110 Plus.

Este metal de aporte debe ser almacenado de acuerdo a las recomendaciones técnicas dadas por el código AWS D1.1, capítulo V, estas recomendaciones han sido desarrolladas con más detalle en el capítulo II del trabajo.

Un resumen de las condiciones de almacenamiento de electrodos revestidos se muestra en la tabla N°3.5.

Clasificación AWS	Condiciones de Almacenamiento para electrodos revestidos			
	Máxima exposición al ambiente	Aire ambiental	Horno mantenimiento	No recomendable
E11018-G H4	0.5 Horas	50% máximo de humedad relativa	125°C mínimo	350°C por 2 horas, una sola vez

Tabla N°3.5. Condiciones de almacenamiento de metal de aporte

Así mismo para realizar el retiro de metal de aporte, se requerirá de una autorización en el cual se señalara con claridad el procedimiento de soldadura, material base a asoldar, especificación AWS del metal de aporte, diámetro de metal de aporte y la cantidad requerida.

f) Soldadura de la Tubería

Antes de iniciar el proceso de soldadura de apuntalado y circunferencial, deberá tenerse a la mano el procedimiento de soldadura especificado, el cual será revisado por el supervisor de calidad, verificando que los procedimientos estén conformes al Código ASME, Sección IX.

Esta calificación demostrara la conformidad de los resultados de los ensayos mecánicos respecto a los criterios del código.

Todo trabajo de soldadura deberá ser realizado por un soldador calificado, de acuerdo a las exigencias de las posiciones a ejecutar. Así mismo todo soldador debe contar con un certificado de calificación y se le debe asignar un número personal de estampa, el cual será colocado en todos los trabajos que efectuó en la obra, marcados con plumones metálicos. La calificación de soldadores se desarrolla de manera minuciosa en el Anexo N°2 del trabajo.

El proceso de soldadura en obra está determinado por los siguientes pasos, que a continuación será desarrollado:

- Limpieza de los biseles con escobilla circular tipo copa, para la limpieza del respaldo (backing) se empleara disco semicopa para eliminar toda la corrosión presente.
- Para el armado de la unión se debe verificar de acuerdo a las especificaciones técnicas: dimensiones de bisel, ovalidad de diámetros interiores a unir, control del High – Low, alineamiento de tuberías, estas especificaciones fueron explicadas al inicio del capítulo.
- Pre calentamiento del metal base a 100°C como mínimo para iniciar proceso de soldadura de apuntalado o fijación. Para calentar la junta se hará uso del equipo PRO HEAT 35 Miller, el cual será instalado antes del inicio del proceso de soldadura y permanecerá en funcionamiento durante todo el tiempo que dure la soldadura más 2 horas como post calentamiento.
- Verificar que la temperatura de los hornos portátiles se encuentre a 125°C, antes del uso de los electrodos estos deben haber sido acondicionados en un horno estacionario a una temperatura de 250°C, el procedimiento de acondicionado fue desarrollado en el Capitulo II.
- Inicio de proceso de apuntalado con uso de electrodo E11018-G H4, con diámetro 4 mm. el cual debe ser extraído del horno portátil, el proceso de apuntalado se realizara siguiendo el procedimiento de soldadura WPS GYM 001 y con una longitud mínima de 2" para cada cordón.

- Seguidamente se procederá a proteger el cordón de apuntalado con cinta Masking Tape para evitar su corrosión.
- Como paso fundamental se procederá a verificar que la temperatura de precalentamiento y temperatura entre pasadas de soldadura se encuentre aproximadamente a 120°C, de acuerdo al WPS.
- Luego de verificar la temperatura de precalentamiento se procederá a iniciar el proceso de soldadura circunferencial que consta del pase de raíz, relleno y acabado, teniendo especial atención y cuidado en los pases de raíz, pues son donde existe la mayor probabilidad de fallas.
- Luego de finalizar el proceso de soldadura, se realizará el post calentamiento, según procedimiento de soldadura, a una temperatura promedio de 180°C, con el equipo ProHeat Miller durante espacio de 2 horas a partir del momento que se alcanza la temperatura especificada en el procedimiento de soldadura.
- Todas las uniones soldadas deberán presentar la siguiente información: Numero de soldador, Fecha de ejecución, virola y numero de junta, diámetro y espesor de metal base y tipo de cordón.
- Todas las uniones soldadas deberán ser realizadas solo por soldadores homologados bajo el Código ASME.

### 3.3 Inspecciones y Controles

Los trabajos de control e inspección de las uniones soldadas son de vital importancia para la prevención y detección temprana de discontinuidades producidas por inadecuadas técnicas de soldadura, o por un inadecuado manejo de los procedimientos especificados de soldadura.

Los trabajos de soldadura en el Blindaje de la tubería forzada, serán inspeccionados basándose en el Código ASME, sección V, el cual consistirá básicamente en inspecciones visuales de las costuras al 100%, ensayos no destructivos de ultrasonido, partículas magnéticas y líquidos penetrantes al 100 % de las uniones soldadas.

El área de Control de calidad del proyecto se encargara de la coordinación y autorización de todos los ensayos de inspección. De detectarse cualquier tipo de discontinuidad esta será inmediatamente reparada siguiendo el mismo procedimiento de soldadura usado para la soldadura circunferencial.

Los métodos de inspección y control de calidad, así como sus formatos serán desarrollados con mayor detenimiento en el Capitulo V el presente trabajo.

## **CAPITULO 4**

### **EQUIPOS PARA PROCESO DE SOLDADURA EN MONTAJE DE VIROLAS**

#### **4.1 Selección de equipos de soldadura**

En el Capítulo 3 se determinó el proceso de soldadura a usar en el montaje de la tubería forzada y todos los parámetros a tener en cuenta, como la temperatura de precalentamiento e interpase (temperatura entre pasadas del cordón de soldadura), el proceso de deshidrogenado, adicionalmente se realizó una descripción de los procedimientos para la soldadura de montaje de la tubería forzada. Las características básicas de cada una de las máquinas y herramientas a usar en el proceso de soldadura serán evaluadas a continuación, para de esta manera verificar que la selección de las mismas sea la más adecuada para el trabajo a realizar.

##### **4.1.1 Selección de la fuente de poder (Máquina de Soldar)**

El tipo de soldadura a ser realizada generalmente indica el tipo de máquina de soldar a usar. Esto requiere un análisis de las soldaduras a ser realizadas: factores tales como espesor de los miembros a unir, tamaño de la soldadura, aceros a unir, método de aplicación, etc.



La información mostrada en la Tabla N° 4.1 debe ser considerada para hacer una inteligente selección de Máquina de Soldar.

Proceso seleccionado	SMAW	GMAW
Corriente de soldadura	Corriente Continua	Corriente Continua
Capacidad de fuente de poder	140-170 Amp ( $\Phi$ 3.2mm) 24-26 Volt	255-275 Amp ( $\Phi$ 1.1mm) 26-28 Volt
Tipo de energía disponible	Corriente Alterna (3 $\Phi$ 440 volt)	Corriente Alterna (3 $\Phi$ 440 volt)
Dispositivos auxiliares		Sistemas de refrigeración, alimentación de alambre, mecanización de proceso
Ciclo de trabajo	Pesado	Pesado

Tabla N° 4.1. Características de fuentes de poder

Las características básicas que debe reunir la máquina de soldar son: Buena potencia, fácil encendido de arco, máxima eficiencia, ciclo de trabajo continuo, sistema de enfriamiento altamente eficiente, fuente de poder de alimentación trifásica, protección termostática y que mantenga un arco eléctrico estable.

La manera más apropiada de seleccionar la fuente de poder es acudir a las empresas distribuidoras de equipos de soldadura, pues ellos conocen mucho mejor las capacidades y aplicaciones de cada uno de sus equipos. Un punto a tomar en cuenta en la selección de la fuente de poder es que la empresa proveedora de los equipos posea un excelente soporte

técnico local para la atención inmediata de cualquier inconveniente que pueda surgir.

Para el caso del proceso de soldadura de la tubería forzada, las maquinas a usar fueron compradas con anterioridad por la empresa, por lo que sólo se tuvo que comprobar que estas máquinas cumplieran con las características técnicas necesarias para llevar a cabo el proceso de soldadura de manera satisfactoria. En la Fotografía N° 4.1 se puede observar los equipos de soldadura usados en el proceso de soldeo de la tubería forzada.

#### Características de la fuente de poder:

Nombre del producto	: Invertec V350-PRO
Fabricante	: Lincoln
Tensión nominal primaria	:220-208/230/380- 415/460/575
Corriente de entrada	: 3ph: 50/42/28-26/23/18 1ph: 94/85/54/42/37
Rango de corriente	: 5 - 425 A
Voltaje en vacio	: 80 V DC
Ciclo trabajo amp. máximo	: 40%
Frecuencia	: 50 – 60 Hz
Peso	: 36.7 kg
Dimensiones	: 376 x 338 x 709

La Máquina de Soldar INVERTEC V350 PRO debe ser instalada con cuidado y de acuerdo a las recomendaciones dadas por el fabricante. Debido a las altas temperaturas desarrolladas en el lugar de soldadura, polvo suspendido en la atmosfera de soldadura y alta cantidad de humos, la fuente de poder debe ser instalada en un ambiente lo más alejado del lugar de soldadura.

Debido a las condiciones de trabajo extremas bajo las cuales están sometidas las Máquinas de Soldar, se debe realizar una programada rutina de mantenimiento preventivo sobre el equipo para evitar que el mismo se deteriore rápidamente y tenga que salir del servicio.

Todos las maquinas de soldadura deben ser mantenidas limpias, libres de partículas de polvo y acero, especialmente en el interior de las mismas, pues afectan los circuitos eléctricos, pudiendo ocasionar cortos circuitos en la maquina debido al deterioro de sus aislamientos protectores.

El proceso de limpieza de las maquinas será realizado cada vez que se haya culminado el proceso de soldadura de una junta, para evitar la acumulación de polvo y suciedad en el interior de las mismas. Esta limpieza se realizara aplicando aire comprimido sobre las partes internas de la maquina a una presión entre 20 – 25 psi.



Fotografía N° 4.1 Maquinas de soldar Lincoln Modelo INVERTEC V350 PRO.

#### 4.1.2 Selección de Método y equipo de precalentamiento

Para el proceso de soldadura del acero SUMITEN 780S, es recomendable el precalentar las partes antes de soldarlas, entre pasadas de cordones de soldadura y después de culminado el proceso de soldadura.

La principal razón para el precalentamiento y calentamiento de interpase es disminuir la velocidad de enfriamiento de la junta, lo que disminuye la tendencia a la fragilización de la junta soldada e incrementa la difusión de hidrogeno y otros gases fuera del metal soldado y zona afectada por el calor.

El método de calentamiento usado será determinado por la disponibilidad de equipo, la accesibilidad al lugar donde se realizara el

calentamiento, el tipo de calentamiento a ser realizado y espacio donde instalar las maquinas.

Teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, existen 3 métodos de calentamiento que podrían ser considerados:

a. Calentamiento por Inducción:

Consiste en aplicar una corriente alterna a las espiras de un cable enrollado alrededor de la pieza de acero a ser calentada. Debido a que toda corriente eléctrica tiene asociado a ella un campo magnético, que penetra en el metal cercano a las espiras. Este campo alterno produce corrientes inducidas en el material, también llamadas corrientes EDDY que por resistencia eléctrica del mismo se calienta.

El espesor de la zona afectada depende de la frecuencia de la corriente de las espiras. Cuanto mayor sea la frecuencia más fina será la capa calentada. Por supuesto que con el transcurso del tiempo la pieza también se calienta por conducción.

Por lo tanto se deben evitar las altas frecuencias ya que las temperaturas de la superficie y del centro deben estar dentro del rango permitido en el procedimiento de soldadura.

Ventajas:

- Altas velocidades de calentamiento.
- La temperatura puede ser controlada dentro de un margen más estrecho.
- Pueden evitarse más fácilmente sobrecalentamientos localizados.
- Las mangueras de inducción tienen una mayor vida útil y son menos propensos a fallar que los calefactores eléctricos.

Desventajas:

- Costo de equipo mayor que otros métodos.
- No se pueden realizar distintos tratamientos al mismo tiempo.
- Es más susceptible al polvo y partículas de acero suspendidas en lugar de trabajo.

Este método se consideró para realizar el precalentamiento, calentamiento de interpase y deshidrogenado a todas las juntas de soldadura realizadas dentro del pique vertical, debido a su versatilidad y fácil instalación de las mantas usadas para el proceso de calentamiento, su bajo peso y tamaño para ser trasladadas al lugar de soldadura.

El equipo de inducción seleccionado es de la marca MILLER, modelo PROHEAT 35 (Ver Fotografía N°4.2).

Especificaciones de la máquina de inducción:

Energía de entrada : 460 – 575 Volt, 3 fases, 60 Hz

Frecuencia de salida	: 5 – 30 Hz
Rango de salida	: 3 KW a 100% ciclo de trabajo
Amperaje de salida	: 50 A - 460 V, 40 A 575 V



Fotografía N° 4.2. Equipo de calentamiento por inducción Marca Miller PROHEAT 35

En la parte del apéndice se adjunta el manual de instrucciones y especificaciones técnicas del equipo MILLER PROHEAT 35 (Ver Anexo N°6 Manuales de Equipos)

b. Calentamiento por resistencias eléctricas:

El calentamiento con resistencias eléctricas consiste en calentar a la temperatura deseada la junta a soldar y una banda de material base a cada lado del cordón de soldadura.

Para ello se colocan sobre la banda de calentamiento calefactores eléctricos flexibles de diversas configuraciones que se adaptan a la forma

de la parte tratada. Estos calefactores se fabrican con un cable de Nicron que oficia de resistencia eléctrica rodeado por cuentas cerámicas.

Ventajas:

- Mantiene una temperatura de precalentamiento uniforme y continua durante toda la soldadura.
- La temperatura puede ajustarse con exactitud y rápidamente.
- Presenta una configuración más resistente para ambientes de trabajo agresivos.

Desventajas:

1. Los calefactores pueden quemarse durante el tratamiento.
2. Pueden ocurrir corto circuitos entre el quemador y el metal base quedando marcas en el mismo.
3. Presenta mayores tiempos de instalación.
4. Equipo es más voluminoso y difícil de transportar.

Equipamiento necesario para calentamiento por resistencias eléctricas:

1. Aislación refractaria de fibra de vidrio.
2. Fuente de poder, recomienda equipos con un transformador de 70 kw.
3. Programadores de ciclo térmico.
4. Registrador de temperaturas para termocuplas.



5. Termocuplas tipo K aisladas en seda de vidrio con alambre de 0.5/0.8 mm de diámetro, para ser soldadas por descarga capacitiva.
6. Soldadura de termocuplas por descarga capacitiva.

Este método de calentamiento fue considerado para realizar el precalentamiento, calentamiento de interpasos y deshidrogenado de las juntas de soldadura correspondientes a los codos inferior y superior, así como de la bifurcación para entrada de servicio de la tubería conocida como "Y".

Se decidió sustituir el uso del calentamiento por inducción en estas juntas correspondientes a los codos y bifurcación debido a la configuración y geometría de las mismas, las que dificultaban la instalación de las mantas de calentamiento.



Fotografía N° 4.3 Equipo de calentamiento por resistencia eléctrica.

c. Calentamiento por llama:

Se considero para realizar calentamientos localizados de soldaduras con una o más llamas (torchas), como es el caso de la soldadura de tapones de inyección. La operación de calentamiento es más un arte que una ciencia. La cantidad de calor aportado y la concentración del mismo dependen no solo de la cantidad de combustible y de la calidad de la combustión sino también del ajuste de la llama, la distancia entre la llama y la soldadura, el manejo de la llama por el operador, y el control de las pérdidas de calor a la atmósfera.

En vista de lo explicado es preferible el uso de otros métodos en calentamientos de grandes áreas.

Equipamiento necesario para calentamiento por llama:

1. Fuente de energía: un balón de Oxígeno y otro de acetileno.
2. Torchas para mezcla de gases y combustión.



Fotografía N°4.4 Equipo de Oxicorte.

#### 4.1.3 Equipo para medición de temperatura:

Para las operaciones de calentamiento del acero SUMITEN 780S, es de suma importancia el control preciso de las temperaturas, por ello se recurrió al uso de lápices indicadores de temperatura, termocuplas e instrumentos infrarrojos.

##### a. Lápices de temperatura:

Estos elementos se usaron para el control de la temperatura de las juntas durante el proceso de soldadura, por parte de los soldadores para determinar que el calentamiento se encuentre dentro del rango requerido.

Estos elementos tienen una composición química tal, que funden cuando la temperatura supera su punto de fusión. Si el lápiz de temperatura funde, marca el metal y eso significa que la temperatura está por encima de la temperatura de fusión del lápiz. Aun así no sabemos cuánto por encima, por eso se usan dos lápices para determinar entre que temperaturas realmente está el metal. En la fotografía N°4.5 podemos observar la forma de uso de los lápices de temperatura.



Fotografía N° 4.5. Control de Temperatura por lápices de Temperatura.

b. Termocuplas:

Los equipos de calentamiento por inducción y resistencia eléctrica incorporan el uso de termocuplas para el control de las temperaturas en tiempo real, y de esta manera modificar la curva de calentamiento y registrar las temperaturas alcanzadas durante el proceso de soldadura.

El principio de funcionamiento de las termocuplas consiste en que si se forma un circuito eléctrico utilizando dos conductores metálicos distintos con una unión a más alta temperatura que la otra, entonces por el circuito circula corriente eléctrica. De lo anterior surge que un instrumento calibrado puede traducir voltajes en lecturas de temperatura.

La termocupla usada para medir la temperatura es del tipo K, conocida también como Chromel-Alumel, el cual soporta una temperatura de hasta 1260 °C (Ver Fotografía N°4.6).

Al momento de la instalación las termocuplas deben aislarse eléctricamente y térmicamente. Las termocuplas son conectadas a instrumentos de medición y control con cables de compensación que tengan la misma característica volt-temperatura que la termocupla.

Los voltajes producidos por las termocuplas son enviados a dos tipos de instrumentos:

- Controladores de temperatura: los que han sido programados para apagar la fuente de poder a una temperatura específica o seguir un ratio de calentamiento, mantener la temperatura y tiempo y tasa de enfriamiento.
- Registradores de datos: los que documentan la temperatura actual en tiempos específicos durante el ciclo de calentamiento.

El método usado para la fijación de las termocuplas al metal base es fijar cada alambre de la termocupla por separado y a una distancia de aproximadamente cinco mm a la superficie por intermedio de una soldadura por descarga capacitiva.

Este sistema de fijación es práctico, además asegura un buen contacto entre la termocupla y el metal base a sensar.



Fotografía N° 4.6. Termocupla instalada en superficie de tubería

c. Instrumentos infrarrojos:

Fueron usados por los inspectores de soldadura para controlar la temperatura de los electrodos y las juntas durante el proceso de soldadura (Ver Fotografía N° 4.7).



Fotografía N° 4.7 Pirómetro digital

#### 4.1.4 Equipos para reacondicionado y manutención de material de aporte:

Los electrodos pueden llegar a considerarse inservibles si son expuestos a la humedad ambiental por largos periodos de tiempo. En especial para la soldadura de aceros de alta resistencia como el acero SUMITEN 780S que presenta una alta susceptibilidad a la fisuración inducida por hidrógeno, por ello el uso del electrodo E11018G-H4 (Tenacito 110 Plus) con un bajo contenido en hidrógeno para minimizar la entrada de hidrógeno al cordón de soldadura depositado.

Los electrodos a usar en la soldadura de montaje de la tubería forzada serán reacondicionados en hornos (Ver Fotografía N° 4.8) a una temperatura de 350 °C por espacio de dos horas, incluso si estos son retirados de su embase original, pues estos tienden a absorber humedad debido al cambio de temperatura entre el día y la noche.

Luego de terminado el reacondicionamiento de los electrodos a usar en la soldadura, estos serán transportados al lugar de soldadura en estufas portátiles (Ver Fotografía N°4.9) los cuales deben permanecer a una temperatura de 125 °C.





Fotografía N° 4.8. Horno de reacondicionado de Electroodos



Fotografía N° 4.9. Estufas de portátiles para transporte de Electroodos

#### 4.1.5 Herramientas para limpieza de biseles y cordones de soldadura:

Antiguamente la limpieza de los biseles y la escoria remanente en los cordones se realizaba manualmente con la ayuda de escobillas de acero y cinceles; actualmente estos trabajos son realizados con esmeriles eléctricos los cuales facilitan tal trabajo.

##### a. Esmeriles Eléctricos:

Estos esmeriles eléctricos son de gran utilidad debido a que agilizan las labores de desbaste, limpieza de biseles y retiro de escoria remanente en los cordones de soldadura.

Para tal caso se recomendó el uso de esmeriles con una potencia media de 1000 Watts (Ver Fotografía N°4.10) y de uso pesado industrial debido a las largas jornadas de trabajo requeridas para la limpieza de biseles y remoción de escoria.

Estos esmeriles eléctricos fueron usados con discos polyfam grado 60, para el caso de desbaste para la preparación de biseles y con escobillas semicopa para el caso de la limpieza y remoción de escoria.



Fotografía N° 4.10. Limpieza de junta por esmeril eléctrico

#### 4.1.6 Estructura para preparación de biseles:

La estructura fue construida en un taller externo, utilizando principalmente vigas y tuberías de acero (ver Fotografía N°4.11). Esta estructura está compuesta de dos pórticos los cuales mediante el uso de tecles sostienen la virola para que esta no entre en contacto con el suelo.

Fue construido con la finalidad de permitir realizar el cambio de maniobra desde el remolque cama baja hacia el carro de ruedas metálicas, así mismo para dar una mayor estabilidad a la tubería al momento de realizar la preparación de los biseles.



Fotografía N° 4.11. Maniobra de traslado de tubería de Camabaja a estructura de pórticos.

#### 4.1.7 Estructura para soldadura de montaje en pique vertical:

La estructura fue diseñada y construida en talleres externos a la obra, para su construcción se usaron perfiles y vigas de acero, así como mallas metálicas. La estructura puede ser visualizada en la parte final del trabajo en los planos constructivos (Ver Anexo N°5, Planos Constructivos).

Se construyeron 3 estructuras de soldeo para ser montadas en la parte interior de las virolas, desde donde se realizara el proceso de soldadura circunferencial de montaje, estas estructuras están conectadas unas a otras por teclas.

Su función fue la de proporcionar una plataforma desde donde los soldadores e inspectores pudieran desarrollar los trabajos de soldeo de

manera segura, en la Fotografía N° 4.12 se puede observar la forma de esta estructura.



Fotografía N° 4.12. Plataforma de soldeo para montaje de tubería.

#### 4.1.8 Equipo de seguridad personal:

El personal involucrado en el proceso de montaje y soldadura debe en todo momento hacer uso de sus respectivos equipos de protección personal necesarios para cada labor a realizar.

El personal de montaje, soldadores así como el personal de apoyo deben protegerse a sí mismos de peligros de quemaduras, abolladuras, peligros de shock eléctricos, sobreexposición a gases y humos, radiación

de arco y explosión, que pueden resultar en serias lesiones e incluso heridas fatales.

Basados en las instrucciones y recomendaciones de las normas de seguridad internacionales y en nuestros propios reglamentos o normas de seguridad locales, debemos contar con el siguiente equipo para proteger al personal:

1. Gafas protectoras: deben ser herméticas, para evitar que las partículas de metal y polvo suspendidas en la zona de soldadura ingresen y lastimen al globo ocular.
2. Careta de soldadura: Es esencial que los ojos están protegidos de la radiación. Los rayos infrarrojos son conocidos por causar quemaduras de retina y cataratas. Incluso una mínima exposición a los rayos ultravioletas pueden causar quemadura de la vista.

La medida preventiva que se puede tomar es el uso de un apropiado lente oscuro en la careta. A continuación se muestra la tabla N° 4.2 el cual muestra los valores para seleccionar la opacidad de lente necesario a usar para cada proceso de soldadura e intensidad de arco.

La careta además debe ser de un material resistente al arco de soldadura, se recomienda el uso de caretas electrónicas pues facilitan el inicio de arco, disminuyendo los tiempos muertos de soldadura.

OPERACIÓN	TAMAÑO DE ELECTRODO (mm)	CORRIENTE DE ARCO (AMP)	OSCURIDAD DE PROTECCIÓN MINIMA	Nº DE OSCURIDAD SUGERIDA
SMAW	Menos que 2.5	Menos que 60	7	
	2.5 - 4	60 - 160	8	8
	4 - 6.4	160 - 250	10	10
	Más que 6.4	250 - 550	11	11
GMAW		Menos que 60	7	
		60 - 160	10	11
		160 - 250	10	12
		250 - 500	10	14
ESPESOR DE PLANCHA (mm)				
Corte Oxiacetilénico		Menos que 3.2		4 - 5
		3.2 - 12.7		5 - 6
		Más que 12.7		6 - 8

Tabla N° 4.2. Cartilla de selección de oscuridad de lentes para soldadura

3. Careta de esmerilado: Debe ser de un material resistente y de una configuración que no impida la visibilidad durante el esmerilado, el tamaño debe ser apropiado para que proteja la cara de las partículas de metal despedidas durante el esmerilado de las juntas a soldar.
4. Guantes: Estos deben ser de cuero curtido al cromo y lo suficientemente largos, para evitar el ingreso de partículas y salpicaduras a las manos.
5. Protector auditivos: Como con la exposición a la radiación de la vista, las prolongadas y numerosas veces que se está expuesto a altos niveles de ruido determinan la gravedad del daño a los oídos, para

estar seguros de evitar repetidas exposiciones a ruidos se debe llevar puesto una adecuada protección auditiva.

Las razones principales para llevar puestos protección auditiva son:

- Mantener partículas tales como salpicaduras y metales fuera del alcance de los oídos.
- Prevenir la pérdida de capacidad auditiva, como resultado de trabajos cerca al ruido producido por la fuente de poder y arco eléctrico del proceso de soldadura, así como ruidos constantes producto del trabajo sobre metales.

6. Respiradores: Debido a los diferentes humos y gases generados por el proceso de soldadura, corte y procesos relacionados es sumamente primordial contar con un adecuado sistema de respiración, para evitar la ingesta de estos agentes a nuestro sistema respiratorio.

Los humos de soldadura contienen partículas solidas provenientes de los consumibles, metal base y protectores de metal base. Largos periodos de exposición a estos humos causan grandes concentraciones de metales en los pulmones y pueden afectar la función pulmonar.



La mayoría de consumibles contienen ciertos componentes en cantidades que pueden requerir una ventilación especial o extracción de humos. Algunos de estos componentes son mencionados a continuación: Bario, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Manganeso, Níquel, Silicio y Zinc.

La selección de los filtros del respirador se debe realizar considerando los gases emanados por el proceso de soldadura, así como por las partículas suspendidas en el medio ambiente de trabajo.

7. Ropa de trabajo: Debido a lo agresivo del ambiente de trabajo, así como las prolongadas exposiciones al arco de soldadura y salpicaduras, trajes de lana o jean presentan buena resistencia al desgaste en comparación a trajes sintéticos o de algodón.

Así mismo los trajes deben permitir al usuario realizar movimientos libremente, al mismo tiempo que proveen de una adecuada protección contra quemaduras, salpicaduras y radiaciones de arco.

Una recomendación adicional, es mantener los trajes libres de grasa o aceite, pues estas sustancias pueden arder incontrolablemente en la presencia de oxígeno.

8. Casco: Se debe elegir un casco de material resistente y compacto, que no impida los movimientos de los trabajadores.
9. Mandil: El material recomendado para el mandil es cuero curtido al Cromo, así mismo se debe procurar que cuelgue desde el cuello hasta los tobillos.
10. Casaca: Es de uso exclusivo de soldadores, y la función es proteger de las salpicaduras. Se recomienda el uso de casacas de cuero.
11. Zapatos: Estos son de punta de acero, para soportar los golpes producto del trabajo.
12. Arnese: El arnés es un accesorio vital que es anclado en un objeto inmóvil, para servir como sostén en caso de caídas por parte del personal. Se recomienda el uso de arneses fabricados de correas sintéticas, así mismo deben ser usados con sus respectivas líneas de vida y amortiguadores de choque, que cumplen la función de desacelerar la caída del cuerpo.
13. Capucha: deben cubrir toda la cabeza e incluso el cuello, para evitar el ingreso de partículas incandescentes.



Fotografía N° 4.13 Soldadores Completamente Uniformados con Equipos de Protección durante el trabajo.

## **CAPITULO 5**

### **INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS**

#### **5.1 Localización y ocurrencia de discontinuidades**

Las discontinuidades en uniones soldadas pueden ser encontradas en el metal base, en la zona afectada por el calor, y en el metal de soldadura. Las discontinuidades de soldadura más comunes presentadas durante el proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada son porosidades, inclusiones de escoria, fusión incompleta, falta de penetración y fisuraciones, las cuales pueden ser detectadas con adecuado método de ensayo no destructivo (Ver Fotografía N°5.1).



Fotografía N°5.1. Inspección de Ultrasonido, con uso de tecnología TOFD.

Las discontinuidades listadas son generalmente localizadas en el metal depositado de soldadura. Cada uno de los tipos de discontinuidades encontradas serán analizadas párrafos abajo:

#### 5.1.1 Porosidad

Es formado como consecuencia de gas atrapado durante el proceso de solidificación del metal de soldadura, esta discontinuidad es generalmente esférica, pero puede ser alargada.

Los gases disueltos están usualmente presentes en el metal de soldadura fundido (ver figura N°5.1). La porosidad se forma cuando el

metal de soldadura solidifica y existen gases disueltos en el metal de soldadura en cantidades más grandes de los límites de solubilidad.

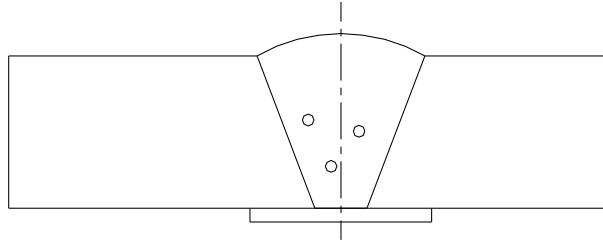


Figura N°5.1. Representación de ubicación de porosidades dentro del cordón de soldadura

Las causas más comunes de la porosidad están resumidas en el cuadro N° 5.1.

<b>Cuadro N°5.1. Causas comunes de la Porosidad y Formas de evitar</b>	
<b>Causas</b>	<b>Formas de evitar</b>
Excesivo hidrogeno u oxigeno en la atmosfera que rodea el arco de soldadura.	Uso de procesos de soldadura bajos en hidrogeno.
Altas velocidades de enfriamiento.	Control adecuado de temperatura de precalentamiento o heat input.
Metal base contaminado con partículas extrañas.	Limpiar caras de la junta y superficies adyacentes adecuadamente.
Inapropiada longitud de arco, corriente de soldadura y manipulación de electrodo inapropiado.	Cambio de parámetros y técnicas de soldadura
Humedad excesiva en revestimiento de soldadura o en las superficies de la junta.	Uso de los procedimientos recomendados para almacenamiento de electrodos.

### 5.1.2 Inclusiones de escoria

Las inclusiones de escoria son materiales no metálicos atrapados en el metal de soldadura. Generalmente ocurren por inadecuadas técnicas de soldadura, inapropiado acceso a la junta a soldar, o ambos. Con apropiadas técnicas de soldadura, la escoria fundida flotara sobre la superficie del metal de soldadura fundido y no quedara atrapada en el metal solidificado.

Las inclusiones de escoria son más probables de ocurrir con procesos de soldadura tales como SMAW, FCAW y SAW.

En el caso de soldaduras multipasadas se debe tener especial cuidado al realizar la limpieza entre pasadas de soldadura, para evitar que cualquier residuo de escoria quede sobre la superficie del cordón de soldadura.

A continuación se muestran en el cuadro N°5.2 las causas más comunes y formas de evitar las inclusiones de escoria.

**Cuadro Nº5.2. Causas comunes y Formas de evitar la Inclusión de Escoria**

<b>Causas</b>	<b>Forma de evitar</b>
Inadecuada remoción de escoria entre pasadas.	Realice una buena limpieza de la superficie y del cordón de soldadura previo a la siguiente pasada.
Diseño de junta inapropiado.	Incrementar el ángulo de los biseles en junta para mejorar zona de soldeo.
Escoria flotando delante del arco de soldadura.	Cambio de posición de trabajo para prevenir pérdida de control de baño de escoria
Pobres técnicas de manipulación de electrodo.	Mejoras en manipulación de electrodo.
Partes de revestimiento del electrodo atrapado en charco de soldadura.	Uso de electrodos en buen estado.

### 5.1.3 Fusión Incompleta

Técnicas incorrectas de soldeo, inapropiada preparación de la junta a soldar, o mal diseño de la junta, promueven la falta de fusión. Las condiciones de soldadura que principalmente contribuyen a la falta de fusión son una insuficiente corriente de soldeo y falta de acceso a las caras de la junta a soldar, así mismo una inadecuada limpieza de la junta antes del inicio del proceso de soldadura contribuye a la falta de fusión.



La fusión incompleta casi siempre ocurre como resultado de inapropiadas técnicas de soldadura, influenciadas por la geometría de la junta y el proceso de soldadura en si (Ver cuadro N°5.3)

**Cuadro N° 5.3. Causas comunes y formas de evitar la Falta de Fusión**

<b>Causas</b>	<b>Formas de evitar</b>
Insuficiente Energía de entrada (Heat Input), inadecuado tipo o tamaño de electrodo, inapropiada preparación de junta.	Seguir correctamente el procedimiento de soldadura especificado.
Posición del electrodo incorrecta.	Mantener una adecuada posición del electrodo.
Metal fundido delante del arco de soldadura.	Cambio de posición de trabajo, disminuir corriente de soldeo, o incrementar velocidad de soldeo.
Óxidos o escoria atrapados sobre la junta o cordón de soldadura.	Realizar una adecuada limpieza de la superficie a soldar antes del inicio de proceso de soldadura.

#### 5.1.4 Falta de Penetración

Teniendo en cuenta la dificultad de acceso en la junta a soldar tenemos que tener especial cuidado en este tipo de discontinuidades.

La falta de penetración ocurre cuando la penetración de las pasadas de raíz es menor a la especificada por diseño. Esto puede resultar de un

insuficiente Heat Input, inapropiada preparación de la junta, incorrecta preparación del ángulo de la junta, o pobre control del arco de soldadura (Ver Figura N°5.2).

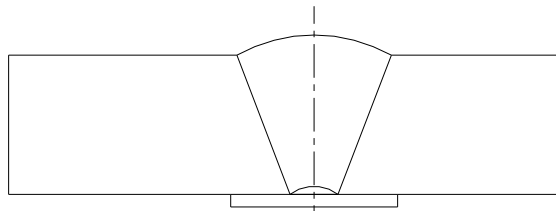


Figura N°5.2. Falta de penetración.

La falta de penetración es generalmente asociada a soldaduras a tope, por lo que se debe tener especial cuidado durante el proceso de soldadura de la tubería forzada, pues la geometría de la junta y el uso de electrodos de gran tamaño hace mas probable la ocurrencia de este tipo de discontinuidades (Ver Cuadro N°5.4).

<b>Cuadro N°5.4. Causas comunes y formas de evitar la Falta de Penetración</b>	
<b>Causas</b>	<b>Formas de evitar</b>
Insuficiente abertura de raíz, excesiva separación entre metal base y metal de respaldo.	Usar adecuada geometría de junta.
Insuficiente Energía de entrada (Heat Input).	Seguir correctamente procedimiento de soldadura.
Escoria fundida delante de arco de soldadura.	Ajuste electrodo o cambie posición de soldeo.
Diámetro de electrodo muy grande.	Incrementar abertura de raíz.

## 5.2 Control de Calidad de Uniones Soldadas

Las consideraciones de calidad son a menudo estrechamente confinados a temas físicos normalmente examinados por inspectores, pero la calidad debe también incluir factores tales como dureza, composición química y propiedades mecánicas. El nivel de calidad requerido para proveer el nivel de seguridad depende de los modos de fallas esperados bajo las condiciones de servicio anticipados.

La calidad de las uniones soldadas se relaciona directamente a la integridad de la soldadura. Esto se extiende a todos los pasos para la fabricación e inspección necesarios para asegurar que el producto soldado sea capaz de soportar las funciones para el tiempo de vida que fue diseñado.

La mayoría de estándares para fabricaciones soldadas definen los requerimientos de calidad para asegurar razonablemente operaciones seguras en servicio. Los requerimientos de estos estándares son considerados mínimos, y los criterios de aceptación para soldaduras no deberían sobrepasar los límites de construcción sin el juicio de un ingeniero de calidad.

La calidad de las soldaduras es verificada por ensayos no destructivos. Estos estándares de aceptación para las soldaduras están generalmente relacionados a los métodos de ensayos no destructivos.

A continuación se desarrolla una explicación detallada de cada uno de los métodos de inspección usados en el control de calidad de uniones soldadas en la tubería forzada.

#### 5.2.1 Inspección Visual

Para muchos tipos de soldadura, la integridad es verificada por inspección visual. Incluso para soldaduras con juntas especificadas para ser inspeccionadas con ensayos no destructivos, la inspección visual aun constituye una importante práctica para el control de calidad. Por ello, la inspección visual se sitúa en el primer nivel de importancia. A menudo no requiere otros equipos especiales más que una buena agudeza visual y algunos simples y económicos equipos.

A pesar de las muchas ventajas de la inspección visual, una mayor desventaja es la necesidad de un inspector con una considerable experiencia y conocimiento en muchas diferentes áreas que estén ligadas a la inspección visual. Así mismo, el inspector debe estar familiarizado con dibujos, códigos, especificaciones, procedimientos de soldadura y requerimientos de calificación de habilidades, estándares de trabajo y todos los aspectos de buenas prácticas en proceso de soldadura (Ver Fotografía N°5.2).



Fotografía N°5.2. Inspección visual de cordón de soldadura en tubería forzada.

Ciertas herramientas son a veces necesarias para algunos aspectos de la inspección visual de soldaduras. Varias escalas de medición y medidores son usados para el chequeo de las dimensiones del cordón de soldadura. Así mismo, hay diferentes tipos de medidores de cordón de soldadura usados alrededor del mundo para determinar el tamaño.

Entre las principales mediciones que se realizan tenemos: verificación de abertura de raíz, sobremonta de la soldadura, ángulo de bisel de soldadura, alineamiento entre piezas a soldar, dimensiones de materiales de respaldo, temperaturas de precalentamiento y postcalentamiento requeridas, etc.

Teniendo en cuenta la criticidad del proceso de soldadura en el montaje de la tubería forzada, la inspección visual se constituyo en una poderosa herramienta para detectar y corregir defectos de soldadura en niveles anteriores al inicio de proceso de soldadura, debido a una revisión de documentos de compra de equipos y especificaciones del proceso de soldadura.

A continuación definiremos las 4 fases de la inspección visual que fueron implantadas en la supervisión del proceso de soldadura de la tubería forzada:

#### Fase 1 - Revisión Inicial

La primera fase de la inspección visual consistió en averiguar cuales fueron los requerimientos del proceso de soldadura, por ello dividiremos esta fase en las siguientes actividades:

a. Revisión de documentos y especificaciones del proceso de soldadura; en esta fase se determino que tipo de datos se debían conocer para iniciar los proceso de calificación de procedimientos de soldadura:

- Código de construcción a ser usado.
- Material de construcción de la tubería forzada.

- Estándares y especificación aplicables al trabajo de soldadura de montaje.
  - Planos de localización de la tubería forzada, localización de las soldaduras y tipos de soldadura a realizar.
  - Frecuencia de inspección, técnicas y criterios de aceptación.
- b. Desarrollo de un plan de inspección; se determino una lista detallada de las actividades de inspección a realizar antes, durante y después de la soldadura (Ver Anexo N°7, Flujograma de actividades).
- c. Chequeo de los procedimientos de soldadura; en esta actividad se realizo la investigación sobre las consideraciones necesarias para realizar el proceso de soldadura, así como la calificación del procedimiento de soldadura (Ver Capitulo 2).
- d. Establecimiento de un sistema de documentos de inspección; se determino los formatos y documentación necesaria para los diferentes tipos de ensayos no destructivos a realizar para la evaluación de los cordones de soldadura (Ver Anexo N°, Formatos de Control de Calidad).
- e. Desarrollo del sistema de identificación de productos con no conformidad; se desarrollo formato para identificar productos,

equipos y cordones de soldadura que no pasaran los requerimientos de calidad (Ver Capítulo 5).

- f. Desarrollo de un programa de acción correctiva para eliminar defectos, estos procedimientos están detallados en los Capítulos 2 y 5 de la investigación.

#### Fase 2 - Chequeos antes de Proceso de soldadura:

En esta fase se realizó un chequeo de todos los equipos, formatos, procedimientos y documentación elaborada para de esta manera estandarizar las acciones así como los procedimientos.

Las principales actividades realizadas en esta fase de la inspección son las siguientes:

- a. Chequeo de la disponibilidad y condiciones de los equipos; se realizó una Lista de Verificación de los equipos necesarios y su disponibilidad para el proceso de soldadura tales como las capacidades y modelos de máquinas de soldar, el método y capacidad de las máquinas para el proceso de precalentamiento, equipos necesarios para procesos de montaje de las tuberías, movilidad, herramientas de medición, etc.



- b. Conformidad del metal base y metal de soldadura; en esta actividad se realizo una inspección de todas las tuberías a ser montadas en el pique vertical, las cuales deberían estar en óptimas condiciones, así mismo se inspecciono el adecuado manejo del metal de aporte antes del inicio del proceso de soldadura.
- c. Chequeo de tolerancias de montaje; se inspecciono que las tuberías a ser soldadas tengan una abertura de raíz de entre 4-6mm y un alineamiento dentro de los requerimientos fijados.
- d. Inspección de la preparación de juntas; se realizo un inspección de las juntas a soldar, la cual deberían estar adecuadamente alineadas y los cordones de apuntalado tengan una adecuada apariencia.
- e. Chequeo de la temperatura de precalentamiento; se aseguraba que la temperatura de precalentamiento este en el rango de 100-150°C.

### Fase 3 - Inspección Durante proceso de soldadura:

Las actividades consideradas en esta fase del programa de inspección de soldadura están dirigidas en asegurar que las operaciones físicas del proceso de soldadura se lleven a cabo de acuerdo con las especificaciones dadas por la especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

En esta fase se realizaron las siguientes actividades:

- a. Supervisar que la maquina de soldadura y maquina de calentamiento por inducción estén en perfectas condiciones de operación (Ver Capitulo 3, Proceso de Soldadura de Montaje).
- b. Se inspecciono que todos los parámetros de soldadura estén dentro de lo indicado por el WPS.
- c. Inspección de la preparación de la junta de raíz previa al primer pase de soldadura.
- d. Inspección de la calidad del pase de raíz, por constituir un punto crítico en proceso de soldadura.
- e. Inspección de la secuencia de las pasadas y su emplazamiento de las mismas.
- f. Inspección de la temperatura de interpase las cual debería estar dentro del rango indicado por WPS.
- g. Inspección de la limpieza y remoción de escoria entre pasadas de soldadura.

#### Fase 4 - Inspección después del proceso de soldadura:

La fase final del programa de inspección del proceso de soldadura envuelve las actividades post soldadura necesarias para asegurar que la soldadura final cumplen todos los requerimientos en todos los aspectos relevantes. Esto no debe ser confundido, al menos en principio, con el trabajo final de inspección. El objeto es establecer la conformidad de la soldadura y proceso de soldadura dentro de todo el contexto de trabajo.

Esto envuelve las siguientes actividades:

- a. Inspección de la apariencia final y sanidad de cordón de soldadura; la superficie de la soldadura deberá mostrar ondulaciones uniformes sin variaciones significativas en la forma. Protuberancias y depresiones indican paradas e inicios en el cordón de soldadura por lo cual deberán ser mínimos.

Siguiendo la inspección de la apariencia general de todas las soldaduras, un detallado examen deberá ser llevado a cabo para establecer la no existencia de discontinuidades. Dentro de las principales discontinuidades superficiales que se buscan durante la inspección visual de la superficie de acabado tenemos:

- Fisuras.
- Fusión incompleta.
- Inclusiones de escoria.
- Porosidades.
- Socavaciones.

b. Inspección de la temperatura de post soldadura (Deshidrogenado).

c. Inspección del tamaño y dimensiones del cordón de soldadura.

d. Inspección de la precisión dimensional de la tubería forzada; en esta inspección se realizara mediciones para detectar cualquier tipo de deformación en la superficie de la tubería forzada debido al calor producido por el proceso de soldadura.

e. Realización de ensayos no destructivos; inspectores debidamente certificados deberán realizar este tipo de ensayos, para el caso de la inspección de la tubería forzada se contemplo la realización de ensayos de ultrasonido en el 100% de las soldaduras de unión. Los requerimientos de aceptación y el método del ensayo serán desarrollados a lo largo el presente capitulo.

### Técnica de Aplicación

La inspección visual se realiza cuando existe un adecuado acceso al lugar de inspección para que el inspector pueda localizar su vista dentro de los 60 cm. de distancia sobre la superficie a ser examinada y en un ángulo no menor a 30° sobre la superficie a examinar.

Espejos pueden ser usados para mejorar el ángulo de visión, así como el uso de lupas pueden ayudar en la inspección.

La iluminación natural o con luz blanca suplementaria para las superficies a examinar es requerida. La intensidad mínima requerida sobre la superficie a inspeccionar será de 1000 lux.

#### 5.2.2 Líquidos Penetrantes

La inspección por Líquidos Penetrantes (PT) es un método de detección y localización de discontinuidades, siempre que las discontinuidades estén expuestas sobre la superficie.

### Técnica de Aplicación

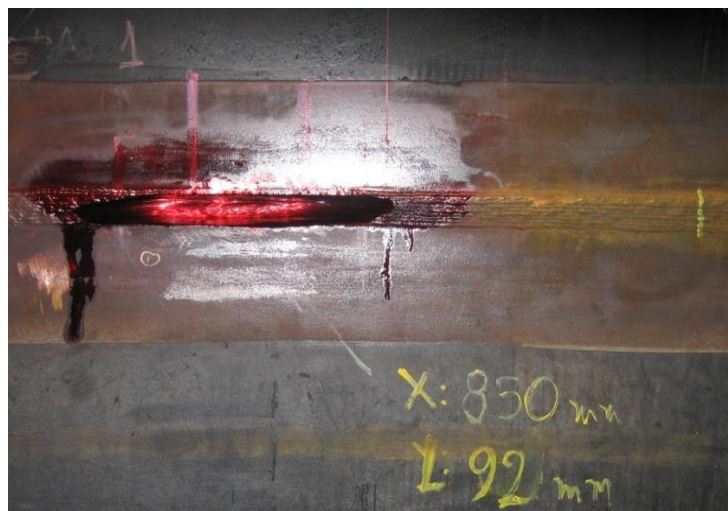
El método emplea un líquido penetrante el cual es aplicado sobre la superficie a ser inspeccionada el cual entra a la discontinuidad. Después de un tiempo adecuado, el exceso de líquido penetrante es

removido de la superficie a inspeccionar y luego secado. Un revelador luego es aplicado este actúa como un emborronador, y extrae atrae el penetrante fuera de la discontinuidad.

El Penetrante, aflora hacia la superficie de la discontinuidad, e indica su presencia y localización de una discontinuidad.

Existen dos tipos de inspección por líquidos penetrantes, ambos usan el mismo principio. Una variedad usa un líquido visible y el otro usa un líquido fluorescente con luz ultravioleta.

Los líquidos penetrantes fueron usados en la inspección de fisuras sobre cordones a reparar en la soldadura de la Tubería Forzada, el tipo usado fue de líquido visible, de líquido penetrante color rojo como se puede observar en la Fotografía N°5.3.



Fotografía N°5.3. Inspección por líquidos penetrantes en reparación de cordón de soldadura en tubería forzada.

La conducción de la evaluación por líquidos penetrantes debe ser realizada por personal debidamente certificado, y con suficiente experiencia para poder identificar posibles discontinuidades que podrán afectar la integridad de la unión soldada (De acuerdo a la Código ASME Sección VIII, Apéndice 8).

Básicamente este tipo de ensayo consta de 3 pasos principales:

- En primer lugar se procede a realizar una limpieza profunda de la zona a inspeccionar, usando el limpiador que es suministrado en el Kit de líquidos penetrantes.
- Luego de haber realizado una limpieza minuciosa, se procederá a aplicar el penetrante, que es un líquido de color rojo, este líquido se dejara secar por espacio de 10\*15 minutos, para permitir que el líquido penetre en cualquier discontinuidad superficial.
- Luego se procede a limpiar la superficie con el removedor, hasta dejar la superficie completamente libre del líquido penetrante.
- Como paso final se procede a aplicar el líquido revelador, el cual permitirá que el líquido penetrante, absorbido por cualquier discontinuidad sea visible a simple vista.

### Evaluación de Indicaciones

Antes del inicio de cualquier inspección con líquidos penetrantes debemos asegurarnos que los inspectores cumplan con los siguientes requerimientos:

- Su visión, con corrección si es necesario, le permita leer la cartilla estándar N°2 del Test de Jaeger a una distancia no menor de 0.3 m., y además sea capaz de distinguir y diferenciar el contraste entre los colores usados.
- Que se encuentre debidamente certificado para la inspección con líquidos penetrantes, incluyendo la realización del ensayo, la interpretación de discontinuidades y la evaluación de resultados.
- Una indicación de imperfección puede ser mas grande que la imperfección que la causa, como sea, el tamaño de la indicación es la base para la evaluación. Solo indicaciones con una dimensión mayor a 1.5 mm. serán consideradas como relevantes.
- Una indicación lineal es una que posee una longitud mayor de 3 veces su ancho.
- Una indicación redondeada, es una de forma circular o elíptica, con una longitud igual o menor que 3 veces su ancho.



### Criterios de Aceptación

Estos criterios de aceptación se aplicaran, a menos que estándares más restrictivos sean especificados dentro del código ASME.

Todas las superficies examinadas estarán libres de:

- Indicaciones lineales relevantes.
- Indicaciones redondeadas relevantes más grandes que 5 mm.
- Cuatro (04) o mas indicaciones redondeadas relevantes en una línea separada por 1.5 mm. o menos.

#### 5.2.3 Ultrasonido

El control por ultrasonido es un control no destructivo que se realiza con el objetivo de buscar los defectos internos de las soldaduras, a fin de determinar si los mismos son aceptados o rechazados, dependiendo esto de la clase de soldadura que se trate y de lo que dispongan los requerimientos (De acuerdo al Código ASME sección VIII, Apéndice 12)

El primero que utilizo los ensayos por ultrasonidos para la detección de grietas fue SOKOLOV en el año 1934, quien empleo un método convertidor de imágenes simple, técnica burda y de poca

aplicación práctica. No se desarrollo muchos progresos en este campo sino hasta el desarrollo de los pulsos.

En general se utilizan ondas longitudinales y si es posible se emplea normalmente el método de eco de pulsos de onda simple, el cual consiste en hacer pasar a través de la muestra un haz pulsado de ondas ultrasónicas, procedente de un transductor reversible colocado sobre una superficie, de tal manera que refleje el haz desde la superficie opuesta o desde un defecto. Este método es adecuado si la muestra presenta las dos superficies paralelas y el defecto es lineal y aproximadamente paralelo a ellas, pero no se encuentra demasiado próximo a una superficie u otro defecto.

Para la detección de las grietas se utiliza normalmente un transductor cristalino, el que se coloca en una armazón adecuada, denominándose al dispositivo completo sonda.

El cristal se monta con un amortiguamiento enérgico, el que produce la propagación de pulsos cortos, con lo que se obtiene mayor exactitud en la localización de defectos y en la distinción de defectos próximos. Para evitar el desgaste entre las superficies del cristal y el material a ensayar, se protege frecuentemente al transductor en una cubierta de plástico, que se acopla al cristal con aceite. Idealmente las impedancias de la sustancia constitutiva del

transductor, el material de la cubierta protectora y el aceite deben ser iguales.

Si un defecto no es paralelo a la superficie, es mejor utilizar una sonda angulada, que consiste en un transductor montado en una cuña, permitiendo que las ondas incidan normalmente al defecto y se logra un mayor grado de sensibilidad. La utilización de sondas de ángulo variable permite estimar las direcciones de los defectos e indican también las posiciones de las grietas situadas en posición difícil de localizar, que podrían quedar sin ser detectadas por una sonda ordinaria.

Para localización de defectos en muestras que presentan formas irregulares y para la detección de grietas a alturas o profundidades de orden igual o inferior a una longitud de pulso, se utilizan 2 sondas una actuando como emisora y la otra como receptora. Se debe tomar precauciones al objeto de asegurarse, que no se produzcan otros acoplamientos entre transductores, más que a través del medio.

La detección de grietas mediante ultrasonido, requiere de una destreza considerable por parte del operador, quien gracias a un adiestramiento adecuado, debe poder identificar diferentes tipos de

defectos a partir de las configuraciones de las trazas de la pantalla del osciloscopio (Ver Figura 5.3).

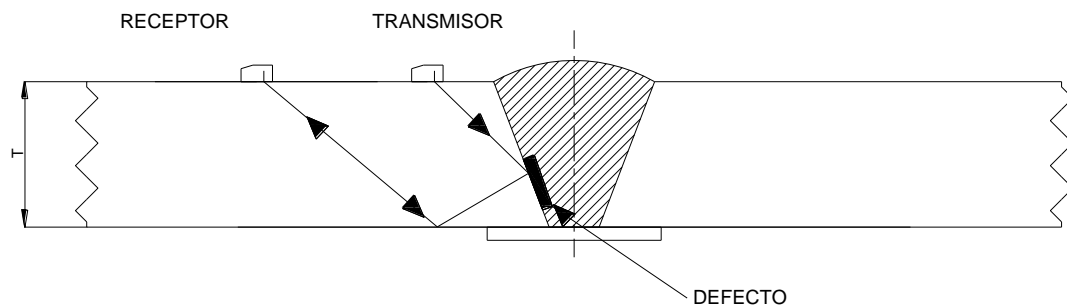


Figura N° 5.3. Utilización de sondas de onda transversal para localizar un defecto de una soldadura a tope.

Se debe tener cuidado de que una traza corresponde a un defecto real, ya que se pueden producir trazas espúreas, como resultado por ejemplo de la dispersión del haz y la reflexión en las caras de la muestra, acompañada de conversión de modos. También puede suceder que se produzca un defecto en una posición de mínima presión acústica con el resultado de que no aparece ninguna traza o solamente una pequeña traza.

#### 5.2.3.1 Construcción de palpadores angulares

La variación de uniones soldadas hace que los chequeos de las mismas se efectúen en la mayoría de los casos, mediante palpadores angulares. Dado que

usualmente no se elimina el sobreespesor de los cordones de soldadura, hay que desistir del empleo de palpadores normales de ondas longitudinales para realizar su examen, pues la mayoría de los casos es imposible lograr un buen acoplamiento sobre la superficie del cordón, otras veces los defectos son de orientación inclinada (ver figura N°5.4), por lo que no constituyen buenos reflectores para ser detectados por medio de ondas longitudinales.

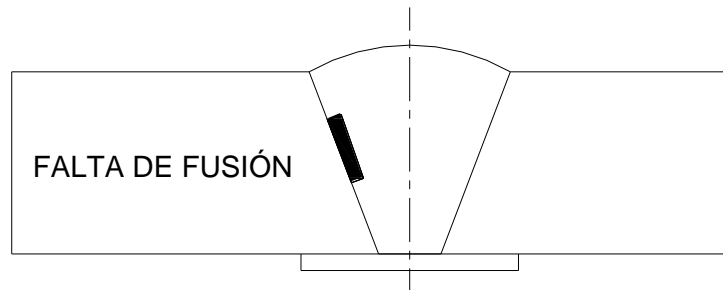


Figura N° 5.4. Defecto inclinado.

Los inconvenientes anteriores citados, se evitan utilizando palpadores angulares, los que emiten ondas longitudinales bajo un cierto ángulo, al haz de ondas sufre al llegar a la superficie de la pieza a verificar un “Cambio de modo”, dando origen a un haz de ondas a través de la pieza (transversal). Este haz refractado recorre la chapa en zig-zag (ver figura N° 5.5), pudiendo detectar defectos

de inclinación cualquiera, eligiendo un ángulo de entrada conveniente.

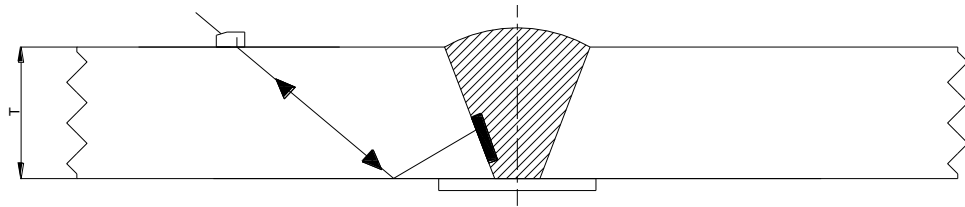


Figura N° 5.5. Recorrido del haz de ondas transversales.

El ángulo que llevan los palpadores marcado en la cubierta, se refiere al de refracción de las ondas transversales en acero. Los palpadores son fabricados para ángulos de refracción en acero entre 35 a 80°.

La plaquita piezo eléctrica origina una onda longitudinal, que tras recorrer la cuña de plexiglás se refracta en la superficie límite, dando una onda transversal dentro del material a verificar, cuyo ángulo de refracción depende de la inclinación de la plaquita.

El sonido recorre previamente al material, la lamina de plexiglás, por lo que debido a la atenuación del sonido en esta cuña, se hace necesario emplear cristales de titanato de bario, cuya sensibilidad es elevada.

Los palpadores angulares normales cuya denominación en WB, llevan un cristal de 2 Mhz de frecuencia y tienen una superficie de 10x20 mm<sup>2</sup>, los palpadores angulares miniatura denominados MWB, llevan montados un cristal de 4 Mhz de frecuencia y 5x10 mm<sup>2</sup> de superficie.

En el lado de la cuña puesto al cristal va alojado un elemento amortiguante, cuyo cometido es atenuar los ases sonoros, reflejados por la superficie del objeto sometido al control, los que podrían originar ecos molestos (Ver Figura N°5.6).

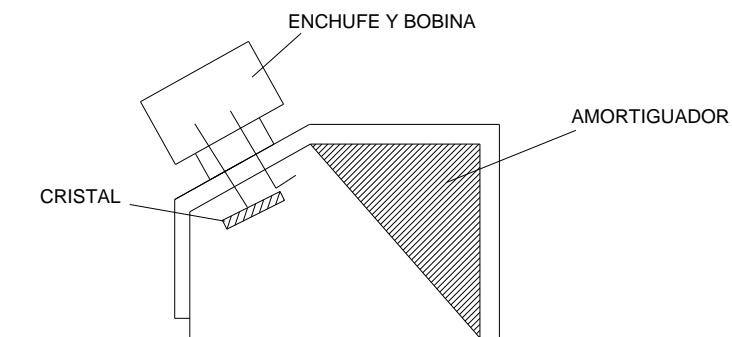


Figura N° 5.6. Esquema de un palpador angular

#### 5.2.3.2 Determinación de la situación de un defecto en una chapa

Supongamos que al verificar una chapa con palpador angular se detecte un defecto, que producirá un eco si la

orientación es favorable. Si el equipo ha sido calibrado en recorrido de haz, podremos conocer directamente la distancia S a la que se encuentra el defecto, leyendo sobre la pantalla (ver figura N° 5.7).

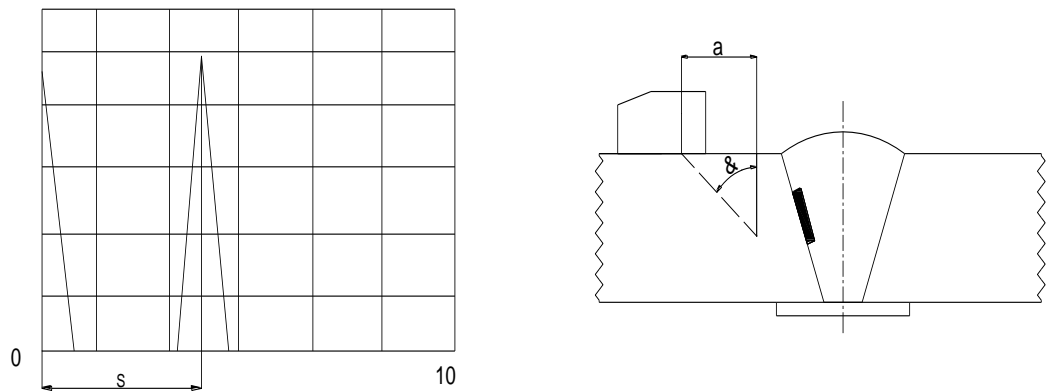


Figura N° 5.7. Determinación de distancia a la que se encuentra el defecto  
Por sencillas expresiones trigonométricas:

$$a = S \text{sen } \alpha \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$t = S \text{cos } \alpha \quad \dots\dots\dots(2)$$

Considerando que el defecto se localiza después de una reflexión del haz en la superficie inferior (ver figura N°5.8).

$$a = (S_1 + S_2) \text{sen} \alpha \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$t = e - b; \quad b = t' - e; \quad t' = (S_1 + S_2) \text{cos } \alpha \quad \dots\dots\dots(4)$$

Donde:



$$S_1 + S_2 = S \quad (\text{Lectura directa sobre pantalla})$$

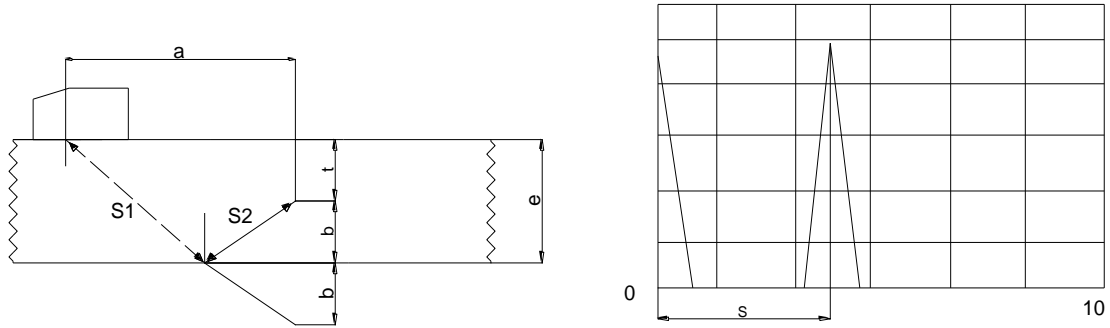


Figura N° 5.8. Defecto situado después de una reflexión del haz en la superficie inferior.

#### 5.2.3.3 Requisitos anteriores al comienzo de un examen por ultrasonidos de un cordón de soldadura

Antes de iniciar un ensayo de ultrasonido sobre cualquier material se debe tener en cuenta los siguientes parámetros básicos:

- Clase de material a examinar.
- Espesor de chapa.
- Preparación de los bordes del cordón.
- Procedimiento de soldadura utilizado.
- Tratamiento térmico que ha sido sometido la soldadura.
- Existencia de anillo de respaldo en la raíz del cordón.

- a) Material a examinar: Conocer el tipo de material (acero dulce, aleado, inoxidable, etc.), ayuda a saber si en las zonas adyacentes se va a encontrar estructuras de grano grueso o fino, lo que determina la frecuencia a emplear.
- b) Espesor de chapa: Aparte de ayudar en la elección del ángulo a emplear, permite conocer las distancias de salto y medio salto.
- c) Preparación de borde: Ayuda a determinar e interpretar los defectos, así por ejemplo si la preparación es en X, la posible falta de penetración que pudiera tener este cordón, se encontrara en el centro del mismo, es decir entre las pasadas de raíz de uno y otro lado.
- d) Procedimiento de soldadura: Es de gran importancia para determinar cuales son los defectos que con mayor seguridad se pueden encontrar, así si el procedimiento es con el uso de electrodos se sabe de antemano la posible existencia de inclusiones de escoria.

- e) Tratamientos térmicos: A veces a ciertos tipos de cordones de soldadura, es necesario someterlos a tratamiento térmico, los cuales originan cambios en la estructura de grano del cordón, lo que influye en la elección de la frecuencia.
  
- f) Existencia de anillo de respaldo (backing): En casos que se tengan, se debe esperar con seguridad, ecos debidos a reflexiones en los mencionados anillos de respaldo, lo que a de tenerse en cuenta a la hora de dilucidar si el eco procedente de la raíz, se debe a la presencia de un defecto real o a la de los anillos de respaldo.

#### 5.2.3.4 Defectos típicos que se producen en soldaduras con electrodos

Desde el punto de vista del operario de ultrasonido los defectos de soldadura pueden agruparse según la figura N°5.9:

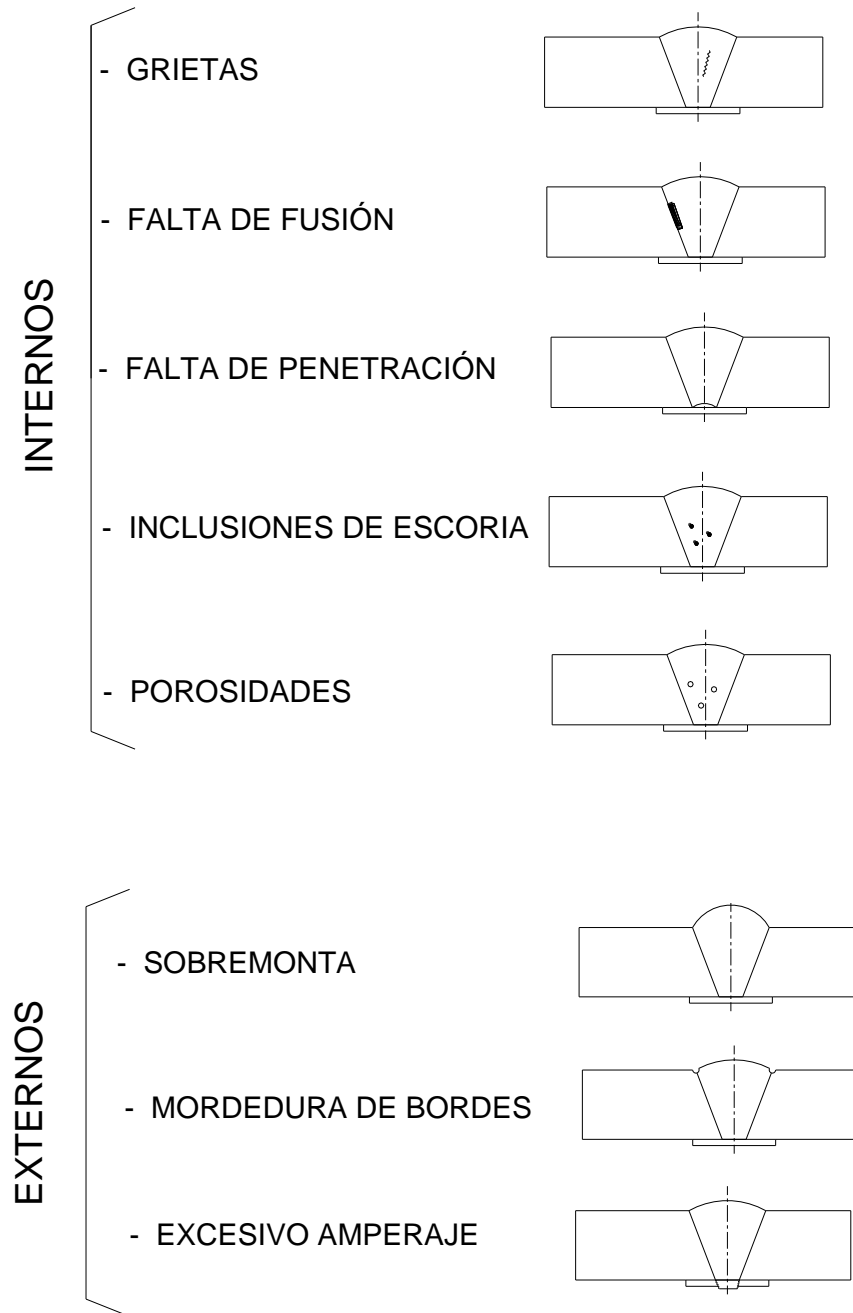


Figura N°5.9. Defectos comunes de soldadura

Estos defectos producidos en la soldadura, se deben algunos a la inexperiencia y descuido del soldador (posición incorrecta del electrodo, mala limpieza de cordones de soldadura entre pasadas, etc.), otros son inherentes al procedimiento empleado, también se deben al mal ajuste de los parámetros de soldeo (intensidad de corriente, velocidad de desplazamiento de arco demasiado elevada, etc.) y luego tenemos los defectos por mal posicionamiento de la juntas (preparación inadecuada de bordes para el espesor de la chapa, etc.).

#### 5.2.3.5 Posibilidad de detección de defectos internos en soldaduras, mediante ultrasonido

Eligiendo la técnica de control por ultrasonido adecuado en cada caso, puede afirmarse que casi la totalidad de los defectos internos inherentes a las soldaduras, pueden ponerse en evidencia. Cada defecto entraña un cierto tipo de dificultad como se indica a continuación.

- a) Grietas: Las grietas longitudinales son relativamente fáciles de detectar, pero las transversales requieren mayor cuidado, siendo necesario buscarlas con el

palpador situado casi en paralelo al cordón (figura N°5.10 zquierda), sin embargo no siempre es posible, por lo que se recurre al control mediante dos palpadores, conectados en paralelo (figura N° 5.11 derecha), funcionando ambos como emisores y receptores.

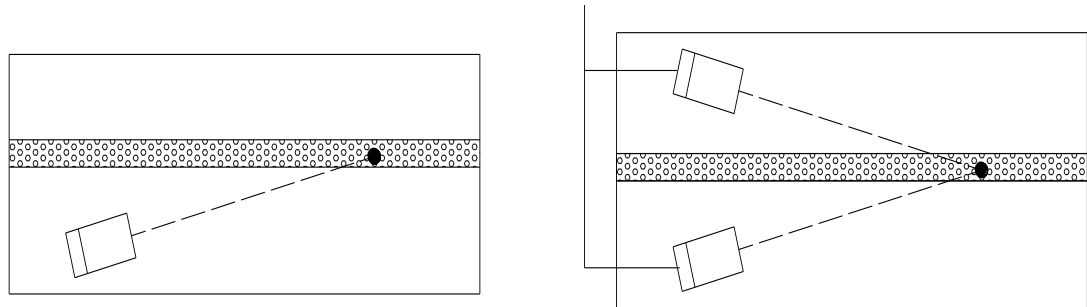


Figura N° 5.10    Figura N°5.11

- b) Faltas de penetración: Cuando la preparación de bordes de las planchas a soldar es en “V”, la falta de penetración de existir se presentara en la raíz. Si el cordón lleva preparación en “X” o en doble “U”, la falta de penetración suele producirse en el centro del mismo y si el ángulo del palpador es bajo ( $45^\circ$  a  $60^\circ$ ), debido a que las chapas son gruesas, puede ocurrir que al ser el defecto vertical y muy plano, no puede ser detectado con un solo palpador, por lo que se utilizan 2 palpadores en serie, el primero emite y el segundo recibe (figura N° 5.11).

- c) Falta de fusión: Este defecto suele aparecer frecuentemente en los planos de los chaflanes de las chapas, produciéndose en ocasiones entre pasadas (Ver figura 5.12).

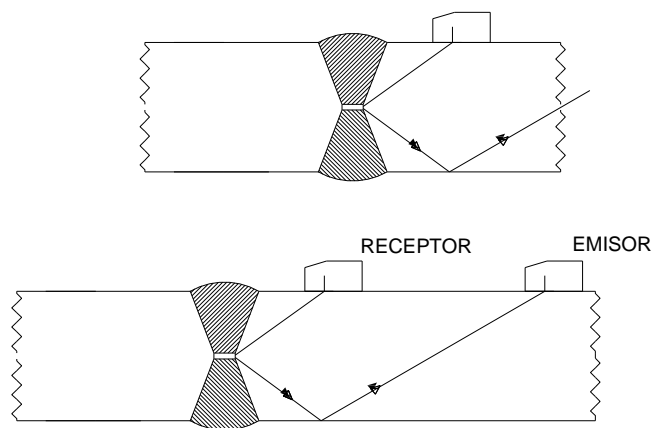


Figura N° 5.12 Ubicación frecuente de Falta de Fusión de juntas Soldadas

- d) Inclusiones de escoria: Es un defecto muy corriente en la soldadura eléctrica por arco manual, pudiéndose presentar en cualquier parte del cordón. Su detección normalmente no presenta problemas.
- e) Porosidades: Los más frecuentes de este tipo son los denominados poros; debido a que son reflectores esféricos muy pequeños, requieren un cuidadoso control. Cuando están agrupados su detección es más sencilla, así como cuando son cavidades gaseosas

grandes, los que se encuentran en soldadura con gas de protección.

#### 5.2.3.6 Elección del ángulo del palpador

Se debe asegurar al elegir el ángulo del palpador, que el haz de sonidos recorra todo el cordón de soldadura, desplazándolo entre las distancias P y P/2. El cuadro N° 5.5 nos da los dominios de actualización de cada uno de los palpadores en función del espesor de chapa.

<u>DOMINIO DE UTILIZACIÓN DE PALPADORES</u>		
<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>ANGULO (°)</b>	<b>FACTOR (2Tag<math>\alpha</math>)</b>
5 – 20	80	11
20 – 40	70	5.5
Superior a 40	60	3.5
Superior a 40	45	2.0

Cuadro N°5.5 Dominio de utilización de palpadores

#### 5.2.3.7 Localización de defectos en soldadura mediante palpador angular

Se ha visto que para realizar la inspección de un cordón de soldadura, es necesario desplazar el palpador angular entre un salto y medio salto, no obstante a de saberse como realizar este movimiento, teniendo en cuenta que los defectos pueden tener una inclinación determinada, por lo cual hay que



realizar el desplazamiento del palpador hacia adelante y atrás haciéndolo cabecear, de manera a obtener un movimiento en zigzag (figura N°5.13), con el fin de poder detectar todos los defectos inclinados además de los de orientación longitudinal.

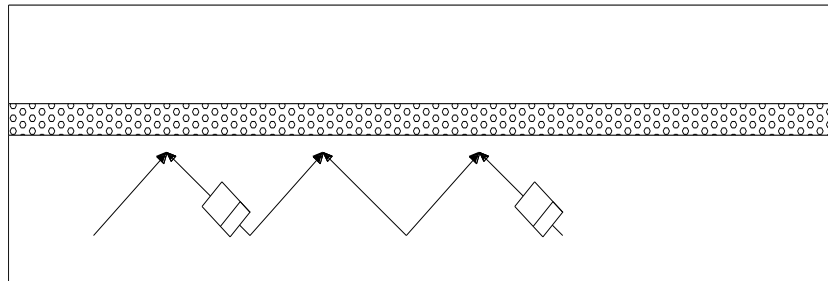


Figura N° 5.13 Movimiento en zig-zag para localización de discontinuidades

También hay que tener en cuenta que algunos defectos aparte de su inclinación respecto al eje del cordón, pueden tener orientación tal que solo constituyan buenos reflectores, desde un solo lado del cordón, procurando entonces realizar la inspección desde ambos lados del cordón si es posible (figura N°5.14)

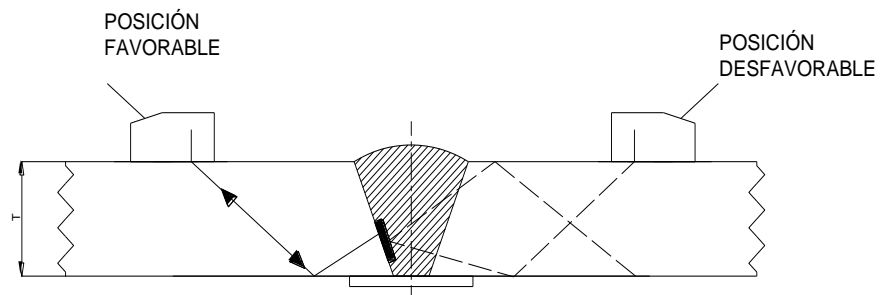


Figura N° 5.14 Posición de Palpador

#### 5.2.3.8 Equipamiento:

El equipo usado para realizar los ensayos por ultrasonido del tipo Pulso-Eco, para al menos un rango de frecuencia de 1 MHz a 5 MHz, con control de ganancia por pasos calibrados en unidades de 2 decibeles o menores. El instrumento será del tipo Krautkramer Modelo USN 58R o similar.

El palpador de contacto angular Krautkramer, con ángulo nominal de 45°, 60°, 70° y 80°, los cuales se adaptaran según la necesidad del ensayo.

El medio acoplante será gel, goma celulósica o goma sintética.



Fotografía N° 5.4. Equipo de ultrasonido usado en inspección de tubería forzada.

a. Calibración del Instrumento:

## Linealidad Vertical:

El instrumento de ultrasonido deberá mostrar linealidad vertical dentro de  $\pm 5\%$  de la altura total de la pantalla calibrada, desde el 20% al 80% de la misma. Se procede posicionando el palpador recto sobre el espesor de 25 mm del Block del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) hasta obtener dos ecos, ajustándolos hasta lograr una relación 2 a 1 entre las amplitudes colocando el eco mayor a 80% de la altura total de la pantalla (FHS).

Sin mover el palpador ajustar la ganancia para llevar el eco mayor desde el 100% hasta el 20% de altura en la pantalla, con variaciones de 10% o pasos de 2 dB, leyendo la altura del eco mas pequeño en cada caso. Este valor debe ser el 50% del mayor  $\pm 5\%$  de la altura total de la pantalla. Las lecturas deben redondearse al 1% de FHS más próximo.

Linealidad de Control de Amplitud:

El control de amplitud del instrumento tendrá una precisión de  $\pm 20\%$  de la relación de amplitud nominal en todo el rango útil.

La verificación de esta posición del instrumento se hará con palpador recto sobre el Block normado por la IIW. Se posiciona el palpador normal sobre el espesor de 25 mm del Block IIW hasta obtener el máximo eco en la pantalla. Aumentando o disminuyendo la ganancia con el control calibrado en decibeles (dB), la señal debe caer dentro de los límites especificados en la tabla N°5.6, con una aproximación de 1% de FHS.

Indicación situada A% de FHS	Cambio de control en dB	Límites de las indicaciones en % de FHS
80	-06	32/48
60	-12	16/24
40	+06	64/96
20	+12	64/96

Tabla N° 5.6 Límites de Indicaciones para Calibración

Periodo de Verificación:

Ambos procedimientos de evaluación de linealidad deberán realizarse al comienzo de cada periodo prolongado de uso, o cada 3 meses, cualquiera sea el menor.

Los valores tomados en el procedimiento de evaluación deberán quedar asentados en una planilla confeccionada para dicho control de linealidad, la cual deberá estar

firmada por un inspector nivel II de ultrasonido y archivada.

b. Calibración del Sistema:

La calibración original será realizada sobre el bloque básico de calibración, utilizando el sistema de examen ultrasonido completo.

Las indicaciones máximas de referencia serán obtenidas con el haz ultrasónico incidiendo en forma perpendicular al eje reflector básico de calibración.

Para exámenes por contacto la diferencia de temperatura entre las superficies a examinar y la del bloque de calibración no excederá 14°C.

Los datos de calibración y verificación de la misma, serán registrados en la plantilla de datos respectivos.

Para el ensayo en las uniones soldadas el bloque básico de calibración de sensibilidad será fabricado de una sección de la tubería, de material SUMITEN 780 S. El acabado superficial del bloque de calibración será representativo de la superficie a examinar. El material del

bloque de calibración deberá ser examinado con un palpador de haz recto, antes de su fabricación. Las áreas que contengan indicaciones que excedan la altura remanente del eco de fondo, serán excluidas de las zonas utilizables del bloque.

Los Reflectores básico de calibración son utilizados para establecer una respuesta primaria del sistema. A estos reflectores se le practican agujeros cilíndricos paralelos a la superficie de contacto (figura N°5.15).

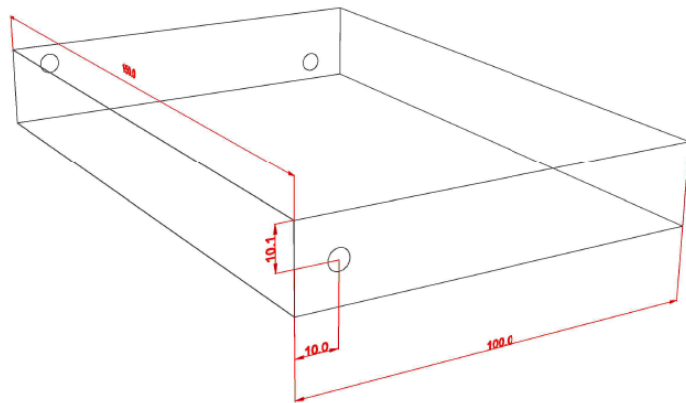


Figura N° 5.15. Bloque de calibración de acero SUMITEN 780S.

Espesor de soldadura t (mm)	Espesor de bloque de calibración T (mm)	Diámetro de agujero (mm)
hasta 25	19 o t	2.5
mayor 25 hasta 50	38 o t	3
mayor de 50 hasta 100	75 o t	5

Tabla N° 5.6 Dimensiones de Bloque de Calibración

### Calibración de Rango de Barrido:

La base del tiempo se ajustara de forma que en la escala horizontal de la pantalla se lea el paso sónico (S) del haz.

La escala se elegirá en forma que las  $\frac{3}{4}$  partes del barrido en la pantalla cubra:

- Palpador normal simple ( $0^\circ$ ) : No menos de 3 ecos de fondo.
- Palpador angular de  $45^\circ$  : 1  $\frac{1}{2}$  salto en el material.
- Palpador angular de  $60^\circ$  y  $70^\circ$  : 1 salto en el material.

En caso de presentarse problemas de acoplamiento por ondulaciones en zonas de soldadura tal que impida la observación directa de la raíz con el medio salto, se tratara de llegar a la misma mediante 1  $\frac{1}{2}$  salto.

### Corrección de amplitud de distancia:

Para la determinación de la curva de corrección el haz angular será dirigido hacia los reflectores de calibración del bloque básico N° 1 ó 2, seleccionando aquel que nos

de la máxima respuesta, obtenida esta última, ajustar la ganancia del instrumento hasta ubicar la altura de la señal en el 80% del FHS, la definiremos como respuesta de referencia primaria (PR).

Sin cambiar la ganancia, se llevará el palpador a la posición inmediata más lejana hasta encontrar el eco máximo desde el reflector siguiente, y así sucesivamente en otras posiciones cubriendo el rango de distancia de examen marcando en cada caso sobre la pantalla el punto alcanzado por el pico de los ecos. Uniendo esos puntos se obtendrá la curva de corrección (DAC).

Sensibilidad con palpador norma:

La respuesta de referencia primaria será la señal del primer eco de fondo colocando al 100% de FHS, con el palpador aplicado sobre el bloque básico de calibración.

Si las malas condiciones de atenuación y rugosidad superficial en el bloque de referencia son idénticas a la de las tuberías bajo examen, ninguna corrección de ganancia será requerida. En caso que las condiciones superficiales



difieran apreciablemente se deberán realizar correcciones por transferencia.

Las pérdidas por transferencia serán controladas mediante 2 palpadores angulares similares, uno de los cuales será utilizado durante la inspección de la soldadura.

Uno será conectado como transmisor y el otro como receptor y enfrentados entre si a la distancia de un salto (S) como se muestra en la figura N°5.16.

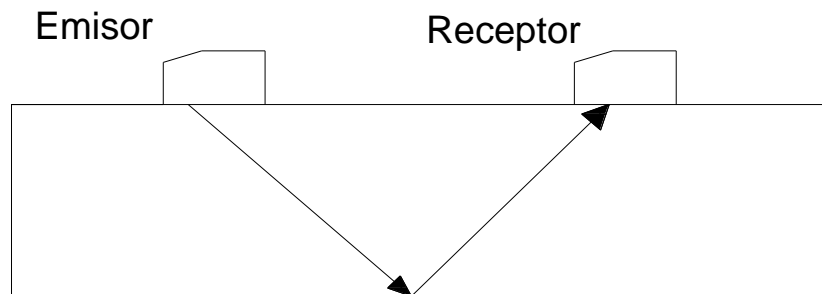


Figura N°5.16 Posición de Emisor y Receptor

La primera medición se hará sobre la pieza de referencia, posicionando ambos palpadores hasta obtener la máxima señal de transmisión, llevar esta a una altura de 50% de FHS mediante el control de ganancia. La lectura del amplificador A1 en decibeles será registrada. Luego se hace lo mismo sobre la tubería a inspeccionar,

registrando la amplitud  $A_2$  en decibeles para la señal de transmisión a 50% de FHS.

La corrección de transferencia  $A_t = A_2 - A_1$ , será sumada al valor del nivel de referencia. Si  $A_t \leq 0$  se adoptara un valor nulo ( $A_t = 0$ ).

Cualquier cambio que se produzca en el sistema del equipo de inspección, sean palpadores, zapatas, cables, acoplantes o instrumentos, será necesario verificar la calibración del equipo. Este deberá realizarse sobre el sistema completo de inspección, tanto al comenzar como al finalizar cada inspección o cada 4 horas si la prueba se extendiera por más tiempo y cuando se produzcan cambios de operadores.

#### Requerimientos superficiales:

La superficie del área de inspección deberá estar libre de irregularidades como salpicaduras o rugosidades que pueda interferir el libre movimiento del palpador o impedir la transmisión de la onda ultrasónica, en una distancia orientada perpendicularmente, desde el borde de la soldadura hasta 3 veces el espesor del metal base.

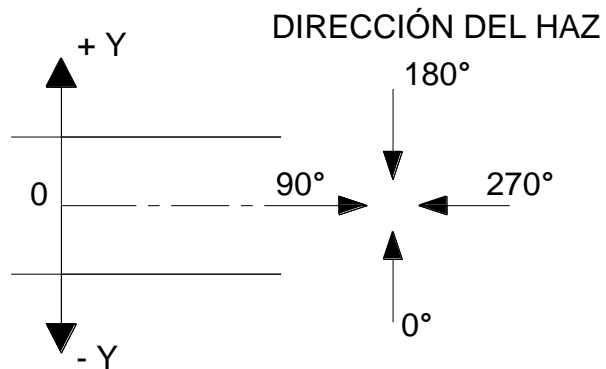


Figura N° 5.17

Se colocara una marca graduada en cm, a lo largo de la circunferencia de la tubería y sobre el lado positivo del metal base (lado marcado con el cero). Todas las medidas según el eje X se tomaran según esta única marca graduada.

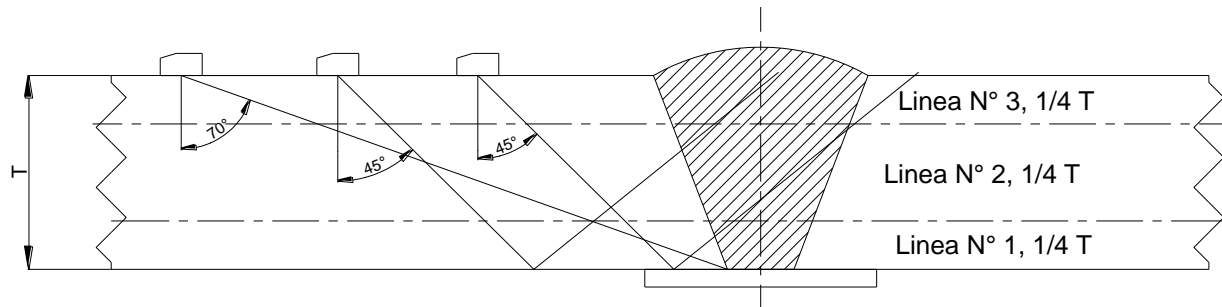


Figura N° 5.18 Angulo de Incidencia de Haz.

c. Barrido de la zona de inspección:

Se empleara la técnica de trayectoria zigzag, desplazando el palpador con un movimiento de vaivén. El solapamiento entre pasadas no será menor al 10%. Con

palpador de 45° se inspeccionara en forma directa e indirecta (más de medio salto).

Cuando se requiere inspeccionar con 60° o 70° se hará en forma directa (dentro del medio salto).

- Nivel de sensibilidad de barrido: Se realizara incrementando en 6 dB la sensibilidad para el nivel de referencia.
- Velocidad de barrido: No mayor a 150 mm/seg.
- Examen de haz recto: El nivel de referencia es la respuesta definitiva en decibeles, más las perdidas de transferencia.
- Examen de metal base: El volumen del metal adyacente a la zona de inspección a través del cual viajara el haz de ultrasonido angular, será barrido completamente con palpador recto.
- Examen de haz angular: El haz será enfocado en dirección normal al eje de la soldadura y en lo posible de ambos lados de la misma. También se inclinara el palpador con un ángulo de ataque de 45° con respecto al cordón de soldadura y en ambos lados y sentidos.
- Método de Discriminación de Discontinuidades: Observar el pico (eco) resultante en la pantalla mientras el transductor se mueve alrededor de la indicación.

#### 5.2.3.9 Ventajas del control por ultrasonido

- Los espesores de pared pueden estar comprendidos entre amplios límites (1 mm a 10 m).
- El examen es de rápida ejecución y los resultados son en tiempo real.
- El procedimiento es muy sensible por lo que puede detectarse defectos muy pequeños.
- Los equipos son de fácil transporte.
- Los operarios no están expuestos a ninguna clase de radiación.
- El examen resulta relativamente barato en comparación con los rayos X.
- El resultado del control puede ser totalmente documentado de manera digital.

#### 5.2.3.10 Inconvenientes del control por ultrasonido

- La determinación de la clase de defectos es en ocasiones relativamente difícil.
- El resultado del control depende del operario, por lo cual este debe ser altamente calificado.
- Los defectos que con mas frecuencia se presentan en la soldadura, se ha determinado que son, inclusiones de

escoria, falta de penetración, falta de fusión y grietas. Mediante ultrasonido puede detectarse con seguridad los defectos graves (grietas, falta de fusión, falta de penetración e inclusiones grandes), pero los defectos pequeños como poros aislados y pequeñas inclusiones (los cuales se ha comprobado no influyen con su presencia en las características mecánicas del cordón), pueden pasar inadvertidos durante el control por ultrasonido.

#### 5.2.3.11 Criterios de Aceptación:

Indicaciones que produzcan una respuesta más grande que el 20% del nivel de referencia serán investigadas, en toda su extensión para que el operador pueda investigar la forma, identidad y localización de tales imperfecciones y evaluar estas en términos de los estándares de aceptación dados a continuación:

- a. Indicaciones caracterizadas como fisuras, falta de fusión o penetración incompleta son inaceptables sin considerar su longitud.
- b. Otras imperfecciones son inaceptables si las indicaciones exceden la amplitud del nivel de referencia y tienen una longitud la cual excede:  
(1) 6 mm para  $t \leq 19\text{mm}$ .

(2)  $t/3$  para  $19 \leq t \leq 57$  mm.

(3) 19 mm para  $t > 57$  mm.

Donde  $t$  es el espesor de la soldadura excluyendo cualquier refuerzo permisible. Para soldaduras a tope con dos miembros con diferentes espesores,  $t$  es el más delgado de los espesores.

#### 5.2.3.12 Condiciones del examen:

- El examen se realizó inmediatamente después de ejecutada la soldadura, teniendo en cuenta que la temperatura de la junta se encuentra a unos  $40^\circ$  aproximadamente.
- Se realizó examen al 100% de las juntas soldadas.
- Para el control de la superficie, la tubería debe estar libre de depósitos y bastante lisa para permitir el buen acoplamiento acústico palpador-pieza, en un anchura de 200 mm de cada lado de la soldadura.
- Solo serán habilitados para realizar dicho control, los operadores debidamente certificados.
- Acoplador: Gel acoplante, goma celulósica.

#### 5.2.3.13 Reparación de los defectos:

Todos los defectos no aceptables según los anteriores indicativos, se repararan conforme al proceso previsto en las especificaciones de procedimiento de soldadura para reparaciones.

Así mismo se someterá la zona reparada a los mismos exámenes iniciales.

#### 5.2.4 Partículas magnéticas

Este particular método de ensayo no destructivo es principalmente usado para descubrir discontinuidades superficiales en materiales ferromagnéticos. Si bien pueden observarse discontinuidades sub-superficiales muy cercanas a la superficie, son muy difíciles de interpretar, y generalmente son ignoradas.

Si bien existen distintos tipos de ensayos de partículas magnetizables, todos basan su funcionamiento en el mismo principio general. Por esto, todos estos ensayos van a ser realizados mediante la creación de un campo magnético en una parte y aplicando partículas de hierro sobre la superficie a ensayar.





Fotografía N° 5.5 Inspección de posible fisura con partículas magnéticas.

La técnica de magnetización, consiste en apoyar el yugo sobre la sección de la tubería forzada a inspeccionar, tal como se observa en la fotografía N° 5.5, seguidamente se aplica las partículas magnéticas, y posteriormente las indicaciones, si es que las hubiera son observadas.

La elección del tipo de corriente de magnetización, dependerá de la situación de las discontinuidades con respecto a la superficie de la pieza en particular, si son superficiales o sub-superficiales. A continuación se muestra algunas recomendaciones del tipo de corriente a utilizar en función del tipo de discontinuidades:

- Emplear corriente alterna (AC) únicamente para la detección de discontinuidades superficiales.

- Emplear corriente directa (DC) para la detección de discontinuidades superficiales y sub-superficiales.

Las partículas magnéticas forman las indicaciones que permiten detectar las discontinuidades, es necesario conocer algunas de sus propiedades (tamaño, forma, densidad, movilidad y color entre otras) puesto que de su uniformidad dependerá el que los ensayos sean reproducibles incluso por diferentes operadores.

La selección del color de las partículas, depende exclusivamente del color y acabado de la superficie sobre la que vayan a ser aplicadas; a fin de que pueda hacer un buen contraste con las partículas magnéticas y la superficie de la pieza. Para el caso de la tubería forzada es aceptable el uso de las partículas de color rojo y gris.

#### 5.2.4.1 Modo de aplicación de las partículas magnéticas

Vía seca: Las partículas que se aplican en forma de polvo seco son mezclas de diversos tamaños, en proporciones cuidadosamente elegidas; las partículas pequeñas dan sensibilidad al método, las más grandes mejoran la formación de la indicación y contrarrestan la tendencia de las partículas finas a producir falsas indicaciones, deben ser aplicadas de tal forma que una capa uniforme y delgada cubra la superficie de la pieza que esta siendo inspeccionada.

#### 5.2.4.2 Requerimientos del examen

A continuación se muestran los requisitos generales para llevar a cabo un examen de partículas magnéticas de manera aceptable:

- La fuerza del campo magnético generado por los yugos puede ser determinado empíricamente por la medición de su poder de levantamiento.
- Los yugos electromagnéticos de corriente alterna (AC) deben tener un poder de levantamiento de 4.5 kg como mínimo, cuando las puntas de sus polos estén separadas entre si 6 pulgadas.
- Los yugos electromagnéticos de corriente continua (DC) deben tener un poder de levantamiento de 18.4 kg como mínimo, cuando las puntas de sus polos estén separadas entre si 6 pulgadas.
- Se utilizaran partículas magnéticas visibles vía seca.
- Las partículas que se utilicen, deberán proporcionar un buen contraste con la superficie de la tubería forzada.
- Las partículas deberán poseer alta permeabilidad y baja retentividad magnética, así como dimensiones y formas adecuadas para la rápida localización de las discontinuidades en la zona a inspeccionar.

- Cuando se utilice el ensayo con partículas magnéticas secas la temperatura en la superficie a inspeccionar no debe ser superior a 315°C.
- La superficie a inspeccionar, así como las zonas adyacentes a la misma (al menos una pulgada), deben estar limpias de grasa, polvo, óxidos o materiales extraños que puedan interferir con la inspección, así como, la superficie debe estar seca para evitar aglomeraciones de partículas.

#### 5.2.4.3 Procedimiento de inspección

- Limpiar la cara de la soldadura eliminando el polvo, grasa, oxido y pintura existente sobre la superficie en por lo menos 25 mm a cada lado del cordón de soldadura.
- Antes de la inspección por partículas magnéticas chequear la superficie para localizar cualquier apertura superficial que por su ancho, podría atrapar o contener las partículas magnéticas.
- Efectuar la inspección visual de la zona a examinar, anotando cualquier defecto visible y signos de corrosión. La zona a examinarse comprende el cordón de soldadura final, el cordón entre pasadas y el metal base hasta 25 mm a cada lado de la soldadura.
- Verificar el poder de levantamiento del yugo.

- Verificar con el “Pie” la presencia del campo magnético generado por el yugo.
- Efectuar el ensayo de partículas magnéticas empleando el yugo, ya sea con corriente directa o corriente alterna aplicada en la superficie durante 2 a 5 segundos, con separación entre puntas aproximadamente 6 pulgadas, aplicando partículas magnéticas secas visibles, método continuo, aplicación por bulbo manual y magnetización en dos posiciones perpendiculares entre si como mínimo.
- Remover el exceso de partículas por soplado ligero.
- Tomar fotografías de las indicaciones relevantes.

#### 5.2.4.4 Interpretación y evaluación de indicaciones

Las discontinuidades en la superficie o cercanías a ella, son detectadas por la acumulación de las partículas; sin embargo las irregularidades de la superficie tales como marcas de maquinado, golpes, rugosidades, etc., pueden ocasionar indicaciones falsas.

Se debe evitar la acumulación de las partículas en aquellas áreas en las que puedan enmascarar las indicaciones verdaderas, las que presenten este problema deben limpiarse y volver a ser examinadas.

Se tomara en cuenta el tamaño de las indicaciones obtenidas por la acumulación del polvo seco o de las partículas en suspensión. La evaluación será efectuada por dimensionamiento directo de las indicaciones obtenidas.

#### 5.2.4.5 Criterios de aceptación

Todas las superficies a examinar deberán estar libres de:

- Indicaciones lineales relevantes.
- Indicaciones redondeadas relevantes mayores a 3/16" o 5 mm.
- Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en una línea separada por 1/16" o 1.5 mm o menos, de extremo a extremo.

Nota:

- Solo indicaciones mayores a 1/16" (1.5 mm) serán consideradas relevantes.
- Indicación lineal: largo mayor 3 veces el ancho.
- Indicación redondeada: forma circular o elíptica, largo menor o igual 3 veces su ancho.
- Cualquier indicación cuestionable o dudosa deberá re-examinarse para determinar su relevancia.

## CAPITULO 6

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1 Estudio de Costos del Proceso de Soldadura

Teniendo en consideración que en todo proyecto de ingeniería, además de los conocimientos técnicos de diseño, montaje, tecnológicos, y puesta en funcionamiento, es importante conocer acerca de los montos de inversión realizados para culminar el proyecto, es que en el presente Capitulo se realiza un análisis de costos del proceso de soldadura de la Tubería Forzada.

Para nuestro caso en particular nos ocuparemos solo de los costos involucrados en el proceso de soldadura en sí, desestimando costos por fabricación de la tubería, montaje de la tubería, obras civiles, etc.

Todos los sistemas de costos incluyen los mismos elementos básicos de mano de obra, el tiempo y gastos generales. En la obtención de los costos de soldadura, el tiempo que se requerirá en hacer una soldadura es usado para determinar el

costo de la mano de obra, el cual es adicionado a los costos de materiales y gastos generales.

Para determinar el costo de la soldadura, el procedimiento de soldadura es el punto de partida. El procedimiento define las variables de soldadura y provee las bases para la reproducibilidad y consistencia de la soldadura. Por otro lado dentro de los costos de soldadura a considerar tendremos:

- a. Costo de metal de aporte (electrodos).
  - b. Mano de obra y gastos generales.
  - c. Costo de equipos de soldadura.
  - d. Costos de ensayos destructivos y no destructivos para inspección de uniones soldadas.
  - e. Costo de Energía.
- 
- a. Costo de metal de aporte: Partiendo del hecho que el peso del metal de aporte que se compra es mayor que el peso de metal depositado, el peso de metal necesario se calcula tomando en consideración el proceso de soldadura a emplear y el tipo de electrodo, que en nuestro caso el proceso de soldadura se realizara un proceso manual con arco eléctrico (SMAW), haciendo uso del electrodo E11018G-H4, conocido comercialmente como Tenacito 110 Plus.



Para el cálculo del peso de metal de aporte depositado tomaremos en cuenta los pesos mostrados en el cuadro N°6.1 necesario para cada tipo de junta a usar en la soldadura de montaje de la tubería forzada.

TIPO DE JUNTA	JUNTA A	JUNTA B	JUNTA C
CANTIDAD	78	14	7
LONGITUD (m)	783.9	140.7	70.35
POSICION DE SODLADURA <sup>1</sup>	2G	2G,3G,4G	2G,3G,4G
SOLDADURA A DEPOSITAR (kg)	2491.91	595.05	230.15

Cuadro N°6.1 Peso de metal de soldadura depositado

Tipo de electrodo y proceso	Rendimiento (%)
Electrodo recubierto	
14" longitud	55-65
18" longitud	60-70
28" longitud	65-75

Cuadro N°6.2 Rendimiento de metal de aporte

$$PMA(kg) = \left[ \frac{\text{peso de metal de soldadura depositado}(kg)}{\text{rendimiento del metal de aporte}} \right] \dots\dots\dots \text{Formula (6.1)}$$

Donde: PMA= Peso de metal de aporte necesario.

<sup>1</sup> 2G= Posición horizontal, 3G= Posición vertical ascendente y 4G= Posición sobre cabeza.

Tomando los valores del cuadro N° 6.1 y N° 6.2, podemos calcular el peso de metal de aporte necesario.

$$PMA(kg) = \left[ \frac{2491.91 + 595.05 + 230.15 (kg)}{0.65} \right]$$

$$PMA(kg) = \frac{3317.11(kg)}{0.65} = 5103.24(kg)$$

El costo de metal de aporte se puede calcular fácilmente (Ver cuadro N°6.3), multiplicando el peso necesario de metal de aporte por el costo por kilogramo del electrodo Tenecito 110 plus.

<b>SMAW</b>	
Rendimiento	0.65
PMA (kg)	5103.24026
Precio (S./)/kg	27.82
Costo consumible (S./)	141,972.144

Cuadro N°6.3 Cálculo de costo de metal de aporte.

- b. Mano de obra: El costo de mano de obra necesaria es quizá el principal factor unitario en el costo de soldadura. La cantidad de metal de aporte necesario es la base para determinar la cantidad de tiempo indispensable para ejecutar una soldadura. El tiempo se basa en el pago a los soldadores, porque se les paga por una tarifa por horas.

La base para el cálculo del costo de la mano de obra aparece en la ecuación (6.2). El factor operador y la cantidad de material depositado por horas aparecen en el cuadro N°6.4.

$$CMO (S/.) = \left( \frac{PMA(kg) \times \text{tarifa de soldador} \left( \frac{S/.}{hr} \right)}{\text{factor operador} \times \text{Tasa de deposición} \left( \frac{kg}{hr} \right)} \right) \dots \text{Formula (6.2)}$$

Donde: CMO: Costo de mano de obra.

PROCESOS DE SOLDADURA (kg/hr)	Factor de operación	Tasa de deposición de soldadura (kg/hr)
Soldadura manual por electrodo (SMAW)	0.25	1.40
Soldadura semiautomática manual con alambre solido protegido con gas (GMAW)	0.55	1.60
Soldadura semiautomática-mecanizada con alambre solido protegido con gas (BUG-O system)	0.7	3.00

Cuadro N°6.4 Rendimiento de Proceso de Soldadura

Reemplazando valores en la formula N°6.2, tenemos lo siguiente:

PMA: 5,103.24 kg.

Tarifa del Soldador: 22.62  $\left( \frac{S/.}{hr} \right)$ .

Factor de Operación: 0.25.

Tasa de Deposición: 1,40  $\left( \frac{kg}{hr} \right)$ .

$$CMO (S/.) = \left( \frac{5,103,24(kg) \times 22.62 \left( \frac{S/.}{hr} \right)}{0.25 \times 1.40 \left( \frac{kg}{hr} \right)} \right) = 329,815.11$$

- c. Costo de equipos de soldadura: Las características básicas que debe reunir la máquina de soldar son: Buena potencia, fácil encendido de arco, máxima eficiencia, ciclo de trabajo continuo, sistema de enfriamiento altamente eficiente, fuente de poder de alimentación trifásica, protección termostática y que mantenga un arco eléctrico estable.

Tomando en consideración la envergadura de la obra se considero la soldadura simultáneo en 4 frentes en la tubería forzada, soldando al mismo tiempo de juntas, es decir realizando la soldadura simultanea de 2 tuberías. Por ello se tomo en consideración el uso de 8 equipos de soldadura manual.

A continuación describimos las principales características de las maquinas usadas para el proceso de soldadura.

Nombre del producto	: Invertec V350-PRO
Fabricante	: Lincoln
Tensión nominal primaria	:220-208/230/380-415/460/575
Corriente de entrada	: 3ph: 50/42/28-26/23/18
Rango de corriente	: 5 – 425 A
Voltaje en vacio	: 80 V DC
Ciclo trabajo amp. Máximo	: 40%
Frecuencia	: 50 – 60 Hz

Peso : 36.7 kg

Dimensiones : 376 x 338 x 709

<b>COSTOS DE COMPRA DE LOS EQUIPOS</b>	<b>PRECIOS c/u</b>
<b>Soldadura manual por electrodo (SMAW):</b> Fuente de poder, tenaza porta electrodos, tenaza a tierra y longitud de cable necesario.	<b>S/. 9,996.50</b>

Cuadro N°6.5 Costo de Equipos de Soldadura

<b>GASTOS OPERATIVOS</b>	<b>Manual con electrodo</b>
<b>1. PRECIO DE COMPRA DE EQUIPO (8 maquinas de soldar)</b>	<b>S/. 79,972.00</b>
<b>2. ACCESORIOS (cables, porta electrodos, etc)</b>	<b>S/. 10,951.03</b>
<b>3. INVERSION TOTAL (1+2)</b>	<b>S/. 90,923.03</b>
<b>4. VIDA UTIL DE EQUIPOS (años)</b>	<b>10</b>
<b>5. TIEMPO OPERACIÓN EN HORAS</b>	<b>500</b>
<b>6. MANO DE OBRA</b>	<b>S/. 22.62</b>
<b>7. DEPRECIACION ANUAL (3)/(4)</b>	<b>S/. 9,092.30</b>
<b>8. COSTOS DE MAQUINA POR HORA (9+10+11)/(5)</b>	<b>S/. 18.18</b>
<b>9. TIEMPO DE OPERACIÓN PARA 5103 Kg METAL DE APORTE</b>	<b>9112.93 hrs</b>
<b>10. COSTOS DE PRODUCCION (6x9)+(8x9)</b>	<b>S/. 371,849.48</b>
<b>11. COSTOS DE CONSUMIBLES</b>	<b>S/. 141,972.14</b>
<b>12. COSTO TOTAL DE PROCESO DE SOLDADURA (10+11)</b>	<b>S/. 513,821.62</b>

Cuadro N°6.6 Listado de Gastos Operativos

d) Costo de Ensayos no destructivos

Tomando en consideración que el 100% de las juntas fueron sometidas a ensayos no destructivos de ultrasonido, a continuación realizaremos el cálculo del costo aproximado que se incurrió para dar cumplimiento a lo indicado por las especificaciones del proyecto.

Para lo cual tomaremos la longitud total de juntas soldadas del cuadro N° 6.1, el cual nos arroja una distancia de 994.95 metros, podremos obtener el costo aproximado de los ensayos no destructivos (ver cuadro N°6.2).

<b>TABLA DE COSTOS DE END</b>		
<b>Ensayo No Destructivo</b>	<b>Costo/m. (S/.)</b>	<b>Costo total (S/.)</b>
Ultrasonido	107.457	106,914.34
Partículas Magnéticas	26.55	26,415.92
Líquidos Penetrantes	20.25	20,147.73
TOTAL (s/.)		153,477.99

Cuadro N6.7 Tabla de Costos de Ensayos No Destructivos (END)

e) Costos de Energía

La tarifa local de energía eléctrica se basa en la cantidad cobrada a la empresa por la compañía de luz local, si se incurre en gastos generales por tiempo, factor de potencia, etc, estos se deben incluir. Los voltios y los amperios son los valores que se usan para ejecutar las soldaduras. El peso del metal que se deposita. La velocidad de depósito es la que se usa para una soldadura en especial, así como el factor operador. El factor final es la eficiencia de la fuente de potencia, y se puede encontrar por la curva de operación de la máquina.

$$C.E. (s./) = \left[ \frac{T.E(S./Kwh) \times V \times A \times P.M.D.(kg)}{1000 \times V.D. \left(\frac{kg}{hr}\right) \times F.O. \times Eficiencia\ de\ fuente} \right] \dots\dots\dots \text{Formula (6.3)}$$

Donde:

*T.E= Tarifa Eléctrica.*

*V: Voltaje.*

*A: Amperios.*

*P.M.D: Peso de Metal Depositado.*

*V.D: Velocidad de Deposición.*

*F.O: Factor de Operador.*

Reemplazando valores en Formula 6.3:

$$C.E. (s./) = \left[ \frac{0,30(S./Kwh) \times 24 \times 125 \times 5,104(kg)}{1,000 \times 1.4 \left(\frac{kg}{hr}\right) \times 0,25 \times 0.6} \right] = 21,874.28$$

Costo de energía eléctrica para uso de máquina de inducción para calentamiento de juntas, teniendo en cuenta que son 99 juntas las que necesitan ser precalentadas con una potencia de uso por parte de la máquina de inducción de 35kw/hr, podemos calcular el costo de la energía necesaria para el precalentamiento, calentamiento durante soldadura y post calentamiento de las juntas a soldar.

$$C.E. (s./) = \left[ T.E (S./Kwh) \times P.M.I (kw) \times N.J. \times H.C. (hr) \right] \dots \text{Formula (6.4)}$$

Donde:

*T.E= Tarifa Eléctrica*

*P.M.I.= Potencia Máquina de Inducción.*

*N.J.= Número de Juntas a Soldar.*

*H.C.=Horas de Calentamiento.*

$$C.E. (s./) = \left[ 0.3(S./Kwh) \times 35(kw) \times 99 \times 14(hr) \right] = 14,553$$



Por lo tanto el costo aproximado del proceso de soldadura será de **S/.703,726.89** nuevos soles. Tener en cuenta que este monto solo considera el tiempo empleado para la soldadura de las juntas, entiéndase el tiempo en el cual el soldador deposito material de aporte sobre la junta a soldar, así mismo se debe tener en claro que los costos analizados solo comprenden gastos directos con el proceso de soldadura de montaje de la tubería forzada.

### **CONCLUSIONES**

1. Si bien la Calificación del Procedimiento de Soldadura asegura la Soldabilidad Metalúrgica del Material Base con el Metal de Aporte en base a un determinado proceso de soldadura, las condiciones de soldabilidad operativa tales como: condiciones ambientales, corrientes de aire, limitaciones de espacio en lugar de soldadura, etc. determinaron finalmente la aplicación del proceso de soldadura a usar para el montaje de la Tubería Forzada
2. Las condiciones ambientales en el lugar de soldadura fueron el factor decisivo para la selección del proceso de soldadura, pues dificultaron el uso de procesos de soldadura con uso de gas de protección.
3. La buena interpretación y aplicación del código ASME secciones VIII, V y IX aseguraron la exitosa calificación e implementación del proceso de soldadura de montaje.

4. La inspección de las uniones soldadas antes y durante el proceso de soldadura constituyó la principal herramienta de control de calidad, lo que permitió reducir hasta en un 80% la incidencia de discontinuidades encontradas durante las inspecciones de las uniones soldadas después de culminado el proceso de soldadura.
5. Si bien el acero SUMITEN 782S posee una buena soldabilidad Metalúrgica, el principal parámetro a controlar durante el proceso de soldadura lo constituye la temperatura de precalentamiento y de interpases, así como la adecuada conservación de los electrodos E11018G-H4.
6. Una temperatura de precalentamiento no menor de 110 °C y temperaturas de interpase entre 100 °C y 150°C, son adecuadas para evitar la fisuración inducida por hidrógeno del acero SUMITEN 780S.
7. El post calentamiento a una temperatura de 150 °C a 200 °C por espacio de 2 horas después de culminado el proceso de soldadura, fue una acción efectiva para ayudar la difusión de hidrógeno fuera de la zona afectada por el calor y metal de aporte.
8. La pasada de los últimos cordones, deben realizarse con especial cuidado, pues son los que presentan la mayor tendencia a la formación de estructuras frágiles, por poseer mayores velocidades de enfriamiento que los cordones de relleno, por ello una medida para evitar la fragilización los cordones de acabado es el uso de la técnica del Temper Bead.
9. Para la soldadura de aceros tratados térmicamente se debe tener especial cuidado en la selección y control de los parámetros de soldadura, especialmente con el calor de aporte y la temperatura de precalentamiento.

10. La inspección por ensayos no destructivos de ultrasonido resulto ser un excelente sustituto de los ensayos de gammagrafía, con menores tiempos de aplicación y costos.

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, C. Foscas, Pontificia Universidad Católica del Perú.
2. Metalurgia de los Materiales Industriales, J. Nelly, Editorial Limusa. pp 115-267.
3. Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales, Y. Latjin, Editorial Mir. pp 44-66.
4. Structural Welding Code, Código AWS D1.1, 1998.
5. , “A Chart to determine necessary preheat in steel welding”, Yurioka, N y Kasuya, Welding in the World. Pergamon Press.
6. Modern Welding Technology, H. Cary, Prentice Hall. pp 488.
7. ASTM A751, Test Methods, Practices and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products.[6]
8. ASTM E18, Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallics Material.
9. ASTM E 3, Practice for Preparation of Metallographic Specimens.
10. ASTM E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys.
11. ASTM, E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys.
12. Standard guide for magnetic practice examination ASME, 2001, section V, articles 7 pp 129-137.
13. Código ASME, Sección IX, Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators, 2007.
14. Código ASME, Sección III, División 1, Rules for Constructions of Pressure Vessels 2007.
15. Código ASME, Sección V, Non Destructive Examination, 2007.
16. Welded Steel Penstocks, Bureau of Reclamation, US Government Printing Office, Washington 1977.
17. Inspection of Steel Penstock and Pressure Conduit and Lining Rehabilitation, Hydroelectric Research and Technical Services Group, Bureau of Reclamation, Denver Colorado, September 1996.
18. Hydroelectric power Plants, Professor Doctor Atil Bulu, Istanbul Technical University, Lecture Notes X-II.
19. Development of Penstock Steel with Excellent Weldability for Hydroelectric power Station, Y.T. Chen, Z.Q. Liu, A.M. Gui and G.X. Zhang of Wuhan Iron and Steel Co. Wu Han 430080, P.R. China.

20. Waterhammer Analysis, John Parmakian, Bureau of Reclamation, Denver Colorado, September 1955.
21. Handbook Welding, Tor-Bjorn Larsson, SSAB, Octobre 1992.

ANEXO

## ANEXO 1

### MEMORIA DE CÁLCULO – TUBERIA FORZADA

PROYECTO: Central Hidroeléctrica de El Platanal Fase I.

#### **1. Objetivo y Alcance**

Realizar la verificación de los espesores, Bloques de Apoyo, Anclajes y juntas de expansión de la Tubería Forzada para el Proyecto de Construcción de la Central Hidroeléctrica de El Platanal Fase I.

#### **2. Consideraciones generales y criterios de diseño**

Para transportar un determinado caudal desde una Cámara de Carga hasta la casa de maquinas, existen distintas formas siendo una de ellas la Tubería a Presión. Estas pueden de ser de diferentes materiales, el material escogido dependerá de muchos factores como el económico y la reducción de pérdida de energía producida por perdidas de carga en la Tubería.

Hoy en día existen una gran variedad de materiales para Tuberías a Presión, PVC, Hierro, Concreto y Acero dentro de los más utilizados. Para grandes saltos y grandes diámetros, la Tubería a Presión fabricada en acero soldado, con juntas longitudinales y circunferenciales sigue siendo una de las mejores alternativas porque es relativamente barata y por qué se puede conseguir el diámetro y espesor requerido en el Proyecto.

Para este Proyecto el material escogido fue acero SUMITEN 780S (ASTM A517 Grado F), debido a su alta resistencia a la Tracción y la Fluencia, lo que permite absorber con éxito las grandes tensiones que se producen durante su funcionamiento, Donde las propiedades del Acero son las siguientes:



<b>Espesor (mm)</b>	<b>Limite elástico (MPa)</b>	<b>Limite a la tracción (MPa)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Impacto Charpy -V (Joules)</b>
≤16	685 min.	780/930	16 min.	63 J @ -40 °C
>16	685 min.	780/930	16 min.	63 J @ -40 °C

Suministro: El material deberá cumplir con la ASTM A20/A20M

Composición Química: Deberá ser la siguiente:

<b>Elemento</b>	<b>Especificación 6-40 mm (Heat Analys ,%)</b>
C	0.10
Si	0.07
Mn	0.75
Cu	0.30
Cr	0.78
Mo	0.31
V	0.04
Ni	0.40
B	9 ppm
P	80 ppm
S	10ppm
Pcm	0.225
CE (IIW)	0.497

Pcm : Parámetro de composición de Ytto y Bessio

CE : Carbono Equivalente, formula Instituto Internacional de soldadura.

Fabricación del Acero: Deberá ser conforme a los requerimientos de tamaño de grano austenítico fino de la ASTM A20/A20M.

Las Tuberías a presión pueden instalarse sobre o dentro del terreno de acuerdo a las condiciones topográficas existentes, temperatura ambiente y las exigencias de impacto ambiental que se pueda producir en la zona a instalarse.

El diseño de una Tubería a Presión consiste en el diseño de sus tuberías, bridas, válvulas, accesorios, juntas de expansión. También incluye el diseño de los

elementos de soporte, tales como apoyos secundarios y anclajes en los cambios de dirección, sus fundaciones y refuerzo de acero.

Una tubería instalada sobre el terreno estará expuesta a variaciones de temperatura importantes, a movimientos de contracción y dilatación, en modo alguno despreciables. En general la Tubería de Presión en Acero se concibe como una serie de tramos rectos apoyados sobre bloques de concreto y anclados rigurosamente en cada uno de sus extremos que coinciden en general con los cambios de dirección. Las juntas de dilatación se recomiendan instalar después de cada cambio de dirección del anclaje.

La pared de la tubería deber ser tal que soporte las tensiones combinadas, producidas por su función como viga y recipiente sometido a presión interna. El momento de flexión será el correspondiente a una viga continua, las reacciones sobre los apoyos propios de una viga continua se transmiten por esfuerzo cortante.

Los bloques de anclaje deben resistir la componente longitudinal del peso de la tubería llena de agua, más las fuerzas de fricción que se producen como consecuencia de los movimientos de expansión y contracción del acero por cambios de temperatura por lo que se recomienda cimentar sobre roca.

Los pasos a seguir para calcular la Tubería a Presión es la siguiente:

- Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras condiciones, tales como topográficas.
- Determinación del diámetro Económico de la tubería, el cual depende fundamentalmente del costo y pérdidas de energía.
- Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia.

- Cálculo del espesor de pared para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar todos los esfuerzos producidos.
- Establecimiento de una configuración adecuada de Bloques de apoyo y Anclajes para la Tubería con el criterio de tener el menor impacto en costo.
- Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos Producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear. El análisis de flexibilidad tiene por objeto verificar que los esfuerzos en la tubería, los esfuerzos en componentes locales del sistema y las fuerzas y momentos en los puntos terminales, estén dentro de límites aceptables, en todas las fases de operación normal y anormal, durante toda la vida de la planta.
- Si el sistema no posee suficiente flexibilidad y/o no es capaz de resistir las cargas sometidas (efectos de la gravedad) o las cargas ocasionales (sismos y vientos), se dispone de los siguientes recursos:
  - a) Reubicación de soportes.
  - b) Modificación del tipo de soporte en puntos específicos.
  - c) Utilización de soportes flexibles.
  - d) Modificación parcial del recorrido de la línea en zonas específicas.
  - e) Utilización de lazos de expansión.

### **3. Diseño hidráulico y requisitos estructurales para tuberías a presión**

Una tubería a Presión se caracteriza por el material empleado en su construcción, su diámetro y espesor de pared y el tipo de unión previsto para su instalación.

- El material se escoge de acuerdo con las condiciones de mercado, teniendo en cuenta su Peso, Volumen, Sistema de unión y Costos
- El diámetro debe ser definido de tal manera que las pérdidas que se produzcan se mantengan dentro de los límites permisibles.
- El espesor de la pared de la Tubería se calcula para resistir la máxima presión interna incluyendo la máxima sobrepresión por Golpe de Ariete y los esfuerzos inherentes a su desempeño como viga.

### 3.1 Diámetro de Tubería

El diámetro de la Tubería a presión es resultado del análisis de la combinación Costo Vs Perdida de carga. La potencia aprovechable para un caudal  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) y una altura  $H$  viene dado por:

$$P = Q \times H \times \gamma \times \eta$$

En la que:

$Q$ = Caudal de Diseño (m<sup>3</sup>/s)

$H$ = altura de salto neto (m)

$\gamma$  = Peso Especifico del Agua (KN/m<sup>3</sup>)

$\eta$  = rendimiento global del Conjunto

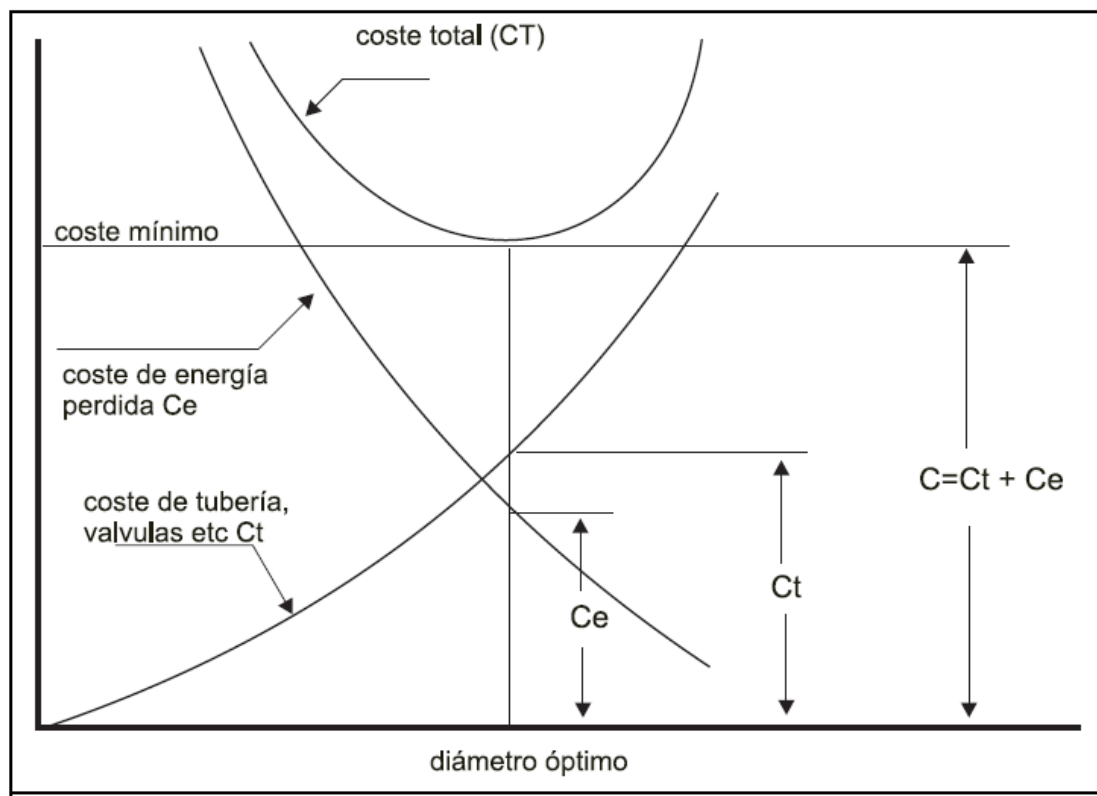
El salto neto se obtiene deduciendo de la altura de carga estática las pérdidas de carga totales por fricción y Turbulencia en la Tubería a presión, ambas proporcionales al cuadrado de la Velocidad del Fluido en la Tubería.

Para transportar un determinado caudal, una tubería de pequeño diámetro necesitara más velocidad en el fluido que otra tubería de mayor diámetro, por lo tanto las pérdidas serán mayores.

Escogiendo un diámetro pequeño tendremos un menor costo pero las pérdidas de energía serán mayores y viceversa.

Un primer criterio para determinar el diámetro de la tubería es limitar las pérdidas a un determinado porcentaje de la carga estática. Un análisis más riguroso demanda considerar varios posibles diámetros, calcular la pérdida anual de energía en cada uno de ellos y actualizarlas a lo largo del aprovechamiento. A partir de este análisis se puede generar un grafico con las curvas de Diámetro y las Pérdidas de energía actualizadas, al que se superpone el costo por cada diámetro.

Se suman gráficamente ambas curvas y el diámetro óptimo será el mínimo de la curva resultante. (Ver Figura 3.1).



En la práctica, en una tubería a presión las pérdidas fundamentales son por fricción; las pérdidas por turbulencia, en las rejillas de entrada, codos, expansiones, cambio de dirección, concentraciones y válvulas son pérdidas menores. En una primera aproximación se puede calcular las pérdidas aplicando la ecuación de Manning.

$$\frac{hf}{L} = 10.3 \times \frac{n^2 \times Q^2}{D^{5.333}}$$

De la ecuación anterior despejamos D para poder calcular el diámetro que limite las pérdidas por fricción a los valores requeridos.

$$D = \left( \frac{10.3 \times Q^2 \times n^2 \times L}{hf} \right)$$

Si limitamos las pérdidas hf al 4% de la Potencia bruta hf=0.04H, de donde D viene dado por

$$D = 2.69 \times \left( \frac{Q^2 \times n^2 \times L}{H} \right)^{0.1875}$$

Para este Proyecto el Diámetro interno ya está definido por lo que todos los cálculos serán sobre la base de este variable.

#### **DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA TUBERIA FORZADA:**

Caudal de Diseño:	Q = 42m³/s.
Diámetro interior de toda la Tubería:	Di= 3.20m
Modulo de Elasticidad del Fluido:	K = 2.1*10 E9(N/m²)
Modulo de Elasticidad del Acero:	E = 2.1*10 E11(N/m²)
Peso especifico del agua:	γ = 10KN/m³
Presión de Carga de agua:	Po = 655.00m.
Esfuerzo Admisible del acero SUMITEN 780S:	σ adm = 930,000 KN/m².

Tiempo de cierre de la válvula al final de la tubería:	t = 3seg.
Inicialmente asumiré un espesor:	e = 9.2 mm
Longitud total de la Tubería:	L = 742.209m.
Longitud de Tubería en Pique Vertical:	Lp= 542.209m.
Cota Superior de la carga Hidráulica:	CS= 1,554.10m.
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	CI= 898.50m.
Carga Hidráulica Estática:	H = 655.60m.
Perdida de Carga (Ht =4%H):	Ht=26.224m.
Carga neta (Hn=H-Ht):	Hn= 629.376m.

### 3.2 Selección del Espesor de la Tubería Forzada (e).

El espesor de la Tubería es función de la presión interna, de la Resistencia a la Tracción del material escogido, del tipo de unión y del Diámetro interior de la Tubería. En un régimen de caudal constante, la Presión interna en dicho punto equivale a la carga hidráulica en dicho punto. En una tubería de acero soldado sometida a una presión estática  $P_i$  el espesor de pared se calcula con arreglo a la siguiente ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times Kf} + es$$

En la que:

es= sobreespesor considerando la corrosión.

Kf= es la eficiencia de la unión, en uniones soldadas, radiografiadas y libre de tensiones se considera kf de 1.

$\sigma$  = Resistencia a la Tracción del acero.

La Tubería debe tener la rigidez necesaria para que pueda ser manipulado sin deformarse.

ASME recomienda para ello un espesor mínimo en milímetros igual a 2.5 veces el diámetro en metros más 1.2. Otras normas recomiendan como espesor mínimo en milímetros el dado por la formula  $e_{min} = (D+508)/400$ .

En Centrales con gran altura de caída puede resultar económico utilizar, en función de la carga Hidráulica, tuberías del mismo diámetro interno y espesores diferentes.

Cuando el Operador o el sistema de control automático, cierra rápidamente la válvula de entrada a la turbina, el régimen Hidráulico varía bruscamente. Un cambio brusco en el régimen de la tubería, afecta a una gran masa de agua y genera una onda de presión importante conocida como Golpe de Ariete, que aun siendo transitorias, da lugar a sobrepresiones tan altas que revienten la tubería o a depresiones que lo aplasten. Las Sobrepresiones o depresiones producidas por el Golpe de Ariete llegan a alcanzar una magnitud, de un orden superior a la correspondiente a la altura del salto, y debe tenerse en cuenta para calcular el espesor de pared de la tubería.

La Onda de presión como consecuencia del cambio brusco de la velocidad del agua en la tubería, viaja a la Velocidad del Sonido en el medio. Esta Velocidad viene dado por la siguiente ecuación.

$$C = \sqrt{\frac{10^{-3} \times K}{1 + \frac{K \times D}{E \times e}}}$$



Siendo:

K= Modulo de elasticidad del fluido (N/m<sup>2</sup>)

E= Modulo de elasticidad del Acero – SUMITEN 780S (N/m<sup>2</sup>)

D= Diámetro interno de la tubería (mm)

e= espesor de la pared de Tubería (mm)

y el tiempo que demora la onda de presión en efectuar el recorrido de ida y vuelta desde la Válvula o la Compuerta ubicado en la parte inferior de la Tubería hasta la cámara de presión, es el tiempo crítico Tc y viene dado por la siguiente ecuación:

$$Tc = \frac{2L}{C}$$

Para calcular el espesor de la tubería en cada tramo debemos analizar previamente el golpe de ariete en la Tubería, para eso determinamos la celeridad de la onda en el medio(C) y el tiempo crítico (Tc) en que ocurre el cambio de velocidad.

La primera condición para saber si se presenta el Golpe de Ariete es si:  $Tc < t < 10Tc$ .

$$C = \sqrt{\frac{10^{-3} \times K}{1 + \frac{K \times D}{E \times e}}} = \sqrt{\frac{10^{-3} \times 2.1 \times 10^9}{1 + \frac{2.1 \times 10^9 \times 3200}{2.1 \times 10^{11} \times 9.2}}} = 684.8m/s$$

$$Tc = \frac{2L}{C} = \frac{2 \times 742.209}{684.8} = 2.167 \text{ seg.}$$

En este caso tenemos que:  $T_c = 2.167 \text{seg} < t = 3 \text{seg} < 10T_c = 21.67 \text{seg}$ , como se cumple esta condición entonces se producirá el Golpe de Ariete por lo tanto calculamos la sobrepresión (+) y la depresión (-) mediante la ecuación de Allievi.

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$\Delta H = P_0 \times \left[ \frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4} + N} \right]$$

$$N = \left[ \frac{L \times V_0}{g \times P_0 \times t} \right]^2 = \left[ \frac{742.209 \times 5.22}{9.82 \times 655.00 \times 3} \right]^2 = 0.0403$$

Donde La sobrepresión es:  $\Delta H_1 = 145.349 \text{m}$

Y la depresión es:  $\Delta H_2 = -118.952 \text{m}$

Al producirse el Golpe de Ariete y teniendo en cuenta que  $T_c < t$ , se calcula además cual sería la sobrepresión máxima aplicando la ecuación de Michaud.

$$h_s = \frac{2 \times L \times V}{g \times t} = \frac{2 \times 742.209 \times 5.22}{9.82 \times 3} = 263.023 \text{m}.$$

$V_0$  es la velocidad del fluido a lo largo de la Tubería y se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$V_0 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \times \frac{D_{opt}^2}{4}} = \frac{42}{\pi \times \frac{3.2^2}{4}} = 5.22 \text{m/s}$$

La velocidad para estas condiciones se recomienda que debe estar entre:

$$2.5 < V < 6\text{m/s.}$$

Se tomara el mayor valor de sobrepresión es decir:  $\Delta H 1 = 263.023\text{m.}$

Y la depresión es:  $\Delta H 2 = -263.023\text{m.}$

El porcentaje que representa la Sobrepresión respecto de la Carga Hidrostática es: 36.14%H.

El espesor mínimo para la tubería según PARMAKIAN – 1982(para diámetros mayores a (1350mm) es:

$$e = \frac{D + 20}{400} = \frac{3200 + 20}{400} = 8.05\text{mm.}$$

El espesor mínimo para la Tubería según el Código ASME es:

$$e = 2.5 \times D + 1.2 = 9.2\text{mm.}$$

### 3.2.1 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 13

Longitud total de la Tubería:	$L = 15.07m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Peso específico promedio del concreto:	$\gamma_c = 23.54KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,418.977m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 135.123m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 140m.$
Altura de la carga de concreto:	$h2= 22.109m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 1.5mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 135.123 + 263.023 = 398.146m.$$

$$P_{1,2} = 135.123 - 263.023 = -127.90m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 398.146 \times 10 = 3,981.46KN/m^2$$

$$P2 = -127.90 \times 10 = -1,279.0KN/m^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso y carga de concreto:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 140 = 3,761.8 kN/m^2$$

$$P_c = \gamma_c \times h2 = 23.54 \times 22.109 = 520.445 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{8,263.70 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 + 1.5 = 15.71mm.$$

### 3.2.2 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 12

Longitud total de la Tubería:	$L = 26.503m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Peso específico promedio del concreto:	$\gamma_c = 23.54KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,392.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 161.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 177.626m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 1.5mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 161.626 + 263.023 = 424.649m.$$

$$P_{1,2} = 161.626 - 263.023 = -101.397m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 424.649 \times 10 = 4,246.49KN/m^2$$

$$P2 = -101.397 \times 10 = -1,013.97KN/m^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 161.626 = 4,342.89 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{8,589.38 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 + 1.5 = 16.27mm.$$

### 3.2.3 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 11

Longitud total de la Tubería:	$L = 90.00\text{m}.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000\text{KN/m}^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87\text{KN/m}^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10\text{m}$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,302.474\text{m}$
Carga Hidráulica Estática:	$P_0 = 251.626\text{m}$
Altura del macizo rocoso:	$h_1= 138.626\text{m}.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 1.5\text{mm}$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 251.626 + 263.023 = 514.649\text{m}.$$

$$P_{1,2} = 251.626 - 263.023 = -11.397\text{m}.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 514.649 \times 10 = 5,146.49\text{KN/m}^2$$

$$P2 = -11.397 \times 10 = -101.397\text{KN/m}^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h_1 = 26.87 \times 138.626 = 3,727.88 \text{ kN/m}^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{8,871.37 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 + 1.5 = 16.80\text{mm}.$$

### 3.2.4 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 10

Longitud total de la Tubería:	$L = 129.00\text{m}$ .
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000\text{KN/m}^2$ .
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87\text{KN/m}^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10\text{m}$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,173.474\text{m}$
Carga Hidráulica Estática:	$P_o = 380.626\text{m}$
Altura del macizo rocoso:	$h_1= 245.00\text{m}$ .
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0 \text{ mm}$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 380.626 + 263.023 = 643.649\text{m}$$

$$P_{1,2} = 380.626 - 263.023 = 117.603\text{m}$$

$$P_{1,2} = \begin{cases} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right) \end{cases}$$

$$P1 = 643.649 \times 10 = 6,436.49\text{KN/m}^2$$

$$P2 = 117.603 \times 10 = 1,176.3\text{KN/m}^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h_1 = 26.87 \times 245.00 = 6,596.55 \text{ kN/m}^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{13,033.075 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 22.42\text{mm}$$

### 3.2.5 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 9

Longitud total de la Tubería:	$L = 39.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,134.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 416.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 284.00m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 1.5mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 416.626 + 263.023 = 679.649m.$$

$$P_{1,2} = 416.626 - 263.023 = 153.603m.$$

$$P_{1,2} = \begin{cases} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{cases}$$

$$P1 = 679.649 \times 10 = 6,796.49KN/m^2$$

$$P2 = 153.603 \times 10 = 1,536.3KN/m^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 284.00 = 7,631.08 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{14,427.57 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 24.82mm.$$



### 3.2.6 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 8

Longitud total de la Tubería:	$L = 39.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,095.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 458.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 323.00m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 458.626 + 263.023 = 721.649m.$$

$$P_{1,2} = 458.626 - 263.023 = 195.603m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 721.649 \times 10 = 7,216.49KN/m^2$$

$$P2 = 195.603 \times 10 = 1,956.3KN/m^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 323.00 = 8,679.01 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{14,427.57 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 27.34mm.$$

### 3.2.7 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 7

Longitud total de la Tubería:	$L = 36.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,059.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$P_o = 494.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h_1= 359.00m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 494.626 + 263.023 = 757.649m.$$

$$P_{1,2} = 494.626 - 263.023 = 231.603m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 757.649 \times 10 = 7,576.49KN/m^2$$

$$P2 = 231603 \times 10 = 2,316.3KN/m^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso y:

$$P_t = \gamma_t \times h_1 = 26.87 \times 359.00 = 9,646.33 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{17,222.3 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 29.63mm.$$

### 3.2.8 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 6

Longitud total de la Tubería:	$L = 36.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 1,023.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 530.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 395.00m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0 mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 530.626 + 263.023 = 793.649m.$$

$$P_{1,2} = 530.626 - 263.023 = 267.603m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 793.649 \times 10 = 7,936.49KN/m^2$$

$$P2 = 267.603 \times 10 = 2,676.3KN/m^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 395.00 = 10,613.65 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{18,550.14 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 31.91mm.$$

### 3.2.9 Cálculo del espesor de la Tubería para el Tramo 5

Longitud total de la Tubería:	$L = 42.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 981.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 572.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 437.00m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0 mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 572.626 + 263.023 = 835.649m.$$

$$P_{1,2} = 572.626 - 263.023 = 309.603m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 835.649 \times 10 = 8,356.49KN/m^2$$

$$P2 = 309.603 \times 10 = 3,096.3KN/m^2$$

Cálculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 437.00 = 11,742.19 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{20,098.68 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 33.078mm.$$

### 3.2.10 Calculo del espesor de la Tubería para el Tramo 4

Longitud total de la Tubería:	$L = 39.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 942.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 611.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 476.00m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0 \text{ mm}$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 611.626 + 263.023 = 874.649m.$$

$$P_{1,2} = 611.626 - 263.023 = 348.603m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 874.649 \times 10 = 8,746.49KN/m^2$$

$$P2 = 348.603 \times 10 = 3,486.3KN/m^2$$

Calculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 476.00 = 12,790.12 \text{ kN/m}^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{21,536.61 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 37.05mm.$$

### 3.2.11 Calculo del espesor de la Tubería para el Tramo 3

Longitud total de la Tubería:	$L = 33.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso específico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 909.474m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 644.626m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 509.00m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0 mm$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 644.626 + 263.023 = 907.649m.$$

$$P_{1,2} = 644.626 - 263.023 = 381.603m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 907.649 \times 10 = 9,076.49KN/m^2$$

$$P2 = 381.603 \times 10 = 3,816.3KN/m^2$$

Calculo de la presión por carga del macizo rocoso:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 509.00 = 13,676.83 kN/m^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{22,753.32 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 39.14mm.$$

### 3.2.12 Calculo del espesor de la Tubería para el Tramo 2 y 1

Longitud total de la Tubería:	$L = 37.00m.$
Esfuerzo Admisible del Acero SUMITEN 780S:	$\sigma_{adm} = 930,000KN/m^2.$
Peso especifico promedio de la roca:	$\gamma_t = 26.87KN/m^2$
Peso especifico promedio del concreto:	$\gamma_c = 23.54KN/m^2$
Cota Superior de la carga Hidráulica:	$CS=1,554.1.10m$
Cota Inferior de la carga Hidráulica:	$CI= 898.5m$
Carga Hidráulica Estática:	$Po = 655.736m$
Altura del macizo rocoso:	$h1= 520.11m.$
Altura de concreto:	$h2= 1.476m.$
Se considera un espesor adicional por corrosión:	$es = 0 \text{ mm}$

$$P_{1,2} = P_0 \pm \Delta H$$

$$P_{1,1} = 655.736 + 263.023 = 918.759m.$$

$$P_{1,2} = 655.736 - 263.023 = 392.713m.$$

$$P_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} P1 = P_{1,1} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \\ P2 = P_{1,2} \times \gamma \left( \frac{KN}{m^2} \right) \end{array} \right\}$$

$$P1 = 918.759 \times 10 = 9,187.59KN/m^2$$

$$P2 = 392.713 \times 10 = 3,927.13KN/m^2$$

Calculo de la presión por carga del macizo rocoso y carga de concreto:

$$P_t = \gamma_t \times h1 = 26.87 \times 520.11 = 13,975.35 \text{ kN/m}^2$$

$$P_c = \gamma_c \times h2 = 23.54 \times 1.476 = 34.74 \text{ kN/m}^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma \times kf} + es = \frac{23,197.68 \times 3.2}{2 \times 930,000 \times 1} \times 1000 = 39.9mm.$$

<b>CUADRO RESUMEN</b>			
<b>Ubicación</b>	<b>Espesor Calculado* (mm.)</b>	<b>Espesor en planos (mm.)</b>	<b>Longitud (m.)</b>
Tramo 1 y 2	39.9	35	37.00
Tramo 3	39.14	34	33.00
Tramo 4	37.05	32	39.00
Tramo 5	33.07	30	42.00
Tramo 6	31.91	28	36.00
Tramo 7	29.63	26	36.00
Tramo 8	27.34	24	39.00
Tramo 9	24.82	22	39.00
Tramo 10	22.42	20	129.00
Tramo 11	16.80	18	90.00
Tramo 12	16.27	16	26.503
Tramo 13	15.71	16	15.07

\*Considerar una disminución en el espesor por uso de anillos de refuerzo.



## **ANEXO 2**

### **CALIFICACIÓN DE HABILIDADES DEL SOLDADOR**

Todo trabajo a efectuarse en la soldadura circunferencial del montaje de la tubería forzada, será ejecutado sobre la base de un procedimiento calificado y por un soldador calificado. En ningún caso podrán ejecutar soldadura, soldadores no calificados.

La calificación de soldador esta limitada por las variables esenciales dadas para cada proceso de soldar. Se da relación de estas variables en la parte QW-350, Sección IX del Código ASME.

La responsabilidad en cuanto a soldadura están contenidas dentro de QW-103 y QW-301.2, los cuales requieren que la empresa contratada para realizar el montaje de la tubería forzada, será la responsable de la conducción de las pruebas para calificar la habilidad de soldadores de acuerdo con las Especificaciones de Procedimiento de Soldar calificadas, las cuales emplea la empresa en la construcción de acuerdo con el Código ASME. El propósito de este requerimiento es asegurar que la empresa contratada determine que sus soldadores que usan sus procedimientos sean capaces de desarrollar los requerimientos mínimos especificados para un conjunto de partes soldadas aceptable. Esta responsabilidad no puede ser delegada a otra organización.

### **Pruebas Requeridas:**

Las pruebas de calificación de habilidad están destinadas a determinar la capacidad de soldadores para hacer soldaduras sanas.

La calificación se realizara a cada soldador a ser contratado para realizar las labores de la soldadura circunferencial de montaje de la tubería forzada para el proceso de soldadura SMAW a ser usado en obra, las cuales serán llevadas a cabo de acuerdo con las Especificaciones de Procedimiento de Soldar. La prueba de habilidad puede darse por terminada en cualquier etapa del procedimiento de prueba, cuando quiera que sea visible, para el supervisor que conduce las pruebas, que el soldador no posee la destreza requerida para producir resultados satisfactorios. (Ver Cuadro N°02)

Tipo de Pruebas Requeridas:

- Inspección Visual, según QW-194.
- Dos (2) pruebas de doblez lateral, según QW-462.2.

### **Material Base para calificación de soldadores:**

De acuerdo a las posiciones de soldadura requeridas en obra, se escogerá el tipo de material base para la preparación de las probetas, en este caso se realizo sobre planchas de acero

SUMITEN 780S, con un espesor de 40 mm y dimensiones de testigo de prueba de 150 mm x 450 mm.

### **Posiciones de Soldadura a Calificar**

Las posiciones a calificar serán:

- 2G, 3G y 4G (WPS-GYM-01) con proceso de soldadura SMAW, electrodo Tenacito 110 plus (E 11018G-H4).

### **Validez de Calificación:**

Si los soldadores mantienen su record de resultados en forma aceptable, no se procederá a su recalificación.

En todos los casos en donde se observe dudas de la calidad de la soldadura efectuada por un determinado soldador, se procederá a una nueva calificación. De comprobarse resultados no conformes, el soldador será retirado de la cuadrilla ejecutante de trabajo en particular para el cual se busca la calificación.

Los soldadores cuyas probetas sean examinadas según lo establece la Sección IX de Código ASME, serán calificados procediéndose a extender un certificado, el cual será respaldado con los reportes de las pruebas No Destructivas o Destructivas realizadas.

Se asignara a cada soldador calificado un número, letra o símbolo de identificación, el cual se usara para identificar el trabajo de ese soldador u operario de soldadura.

## **Procedimiento de Calificación de Soldadores:**

La calificación consta de los siguientes pasos:



- a. Determinación del Código bajo el cual se conducirá la calificación de habilidades del soldador, el cual define la forma de realizar la calificación, la clase de ensayos a realizar, los requerimientos de aceptación y el tamaño de cupón y ubicación de los espécimen a extraer del mismo. Para llevar a cabo esta calificación de soldadores se tomo como código de referencia el código ASME Sección IX.
- b. Determinar el WPS a usar para la calificación, en este caso se usara el Procedimiento Especificado de Soldadura número WPS-GYM-01.

- c. Verificar: Posiciones de calificación (2G, 3G y 4G), preparación de laminas de Acero SUMITEN 780S para cupones de soldadura.
- d. Disponer el número y capacidad de acorde a la necesidad de la obra de soldadores que serán calificados.
- e. Preparación de cupones de soldadura, los cuales serán realizados según norma, cumpliendo estrictamente los parámetros de soldadura especificados en el WPS. Todas las probetas realizadas deberán estar debidamente identificados por la estampa designada a cada soldador.
- f. Las muestras de placa de examinaran visualmente según QW-194, Sección IX Código ASME, antes del corte de especímenes de Doble Lateral.
- g. 02 especímenes para ensayo de Doble lateral de acuerdo QW-452. Los especímenes de prueba serán removidos de manera similar a la mostrada en QW-163.2. Posteriormente las muestras de prueba serán examinadas visualmente de acuerdo a QW-302.4, Sección IX del Código ASME.
- h. Los soldadores cuyas probetas sean examinadas según establece la Sección IX del Código ASME, serán calificados, procediéndose a extender un certificado que será suscrito por el responsable de aseguramiento de la calidad. El resultado será respaldado por reportes de las pruebas no destructivas o destructivas realizadas.

## ANEXO 3

- PROCEDIMIENTO CALIFICADO DE SOLDADURA.
- REGISTRO DE SOLDADURA
- ENSAYOS PARA CALIFICACIÓN



# PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ESPECIFICADO (WPS)

ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE SECTION IX-2007

PCM04-R01
Hoja: 1 de 2
Emision: 03-04-08

EMPRESA: **GRAÑA y MONTERO S.A.**  
 DIRECCION: **Av. Paseo de la Republica 4675 Surquillo Lima-Peru**  
 Norma de construcción: **ASME VIII, (Tubería Forzada Penstock)**

Procedimiento de Soldadura Especifico WPS No: **WPS-GyM-001** Revisión No: **0** Fecha: **31-de Julio del 2008**  
 PQR de Soporte No: **PQR-GyM-001** Fecha: **31 de Julio del 2008**

**METAL BASE (QW-403)**

P-No: n/a	Grupo No: n/a	Tipo o Grado: SUMITEN 780-S
Soldadura hasta		
P-No: n/a	Grupo No: n/a	Tipo o Grado: SUMITEN 780-S
OR		
Análisis Químico y Propiedades Mecánicas :	n/a	
Hasta Análisis Químico y Prop. Mecánicas :	n/a	
Rango de Espesor de Metal Base mm (in)	<b>Ranura: 16mm hasta 40mm</b>	<b>Filete: Todos</b>
Rango de Diámetro de Tubería (Tube) mm (in)	<b>Ranura: 3000mm hasta 4200mm</b>	<b>Filete: Todos</b>

	Proceso No 1	Proceso No2
Proceso de Soldadura (as):	SMAW	n/a
Tipo (s):	Manual	n/a
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b>		
Clasificación AWS	E11018-G	n/a
Especificación SFA	AWS A5.5	n/a
Metal de Aporte F-No	F4	n/a
Weld Metal Análisis A-No	A12	n/a
Diámetro de Metal de Aporte mm (in)	3.25mm	n/a
Marca de Metal de Aporte	OERLIKON	n/a
Max Espesor de pase mm (in)	6.0mm	n/a
Rango de Metal Depositado: <small>mm (in)</small>	Hasta 56.0mm	n/a
Rango de Metal Depositado: <small>Filete mm (in)</small>		n/a
Metal de Aporte Depositado:	Tenacito 110 plus	n/a
Nombre de Marca Flux:	n/a	n/a
Insert Consumible, Clase y Diámetro	n/a	n/a
Otras informaciones: se requiere conservar las indicaciones del fabricante de electrodos		

**POSICIONES (QW-405)**

Posicion a Ranura:	Todas	n/a
Progresion de Soldadura:	Ascendente	n/a
Posicion de Filete:	n/a	n/a

**PRECALENTAMIENTO (QW-406)**

Temp. Precalentamiento °C (F)	100°C	n/a
Temp Interpass Max. °C (F)	150°C	n/a
Mantenimiento de Precalentamiento C (F)	Con Equipo de Induccion	n/a

**GAS (QW-408)**

Tipo de Gas de Proteccion (mezcla)	n/a	n/a
Veloc. Flujo lt/min (chf)	n/a	n/a
Tipo de gas Remoto (mezcla)	n/a	n/a
Veloc. Flujo lt/min (chf)	n/a	n/a
Gas Proteccion (mezcla)	n/a	n/a
Veloc. Flujo lt/min (chf)	n/a	n/a

**POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) – POST CALENTAMIENTO**

Rango de Tempe. Subida °C (F):	150°C – 200°C	Tiempo de Permanencia: <b>2 horas (máximo)</b>
Veloc. de Calentamiento °C/hr (F/Hr):	—	Metodo: <b>Equipo de Inducción</b>
Veloc. Enfriamiento °C/hr (F/Hr):	—	Metodo: n/a





# PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ESPECIFICADO (WPS)

ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE SECTION IX-2007

PCM04-R01

Hoja: 1 de 2

Emission: 03-04-08

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Detalle de table corriente en obra

- Polaridad de Corriente
- Amperaje (rango)
- Voltaje (rango)
- Velocidad de Alimentación de Alambre *mm/min (in/min)*
- Velocidad de Salida (rango) *mm/min (in/min)*
- Mod de Transferencia GMAW
- Tamaño Electrodo Tungsteno *mm (in)*
- Tipo Tungsteno:

#### TECNICA (QW-410)

- Passada Ancha o Angosta
- Electrodo Multiple o Simple
- Pase o múltiple o simple (por lado)
- Tamaño de Orificio de salida de gas
- Distancia de contacto de Boquilla de trabajo *mm (in)*
- Limpieza Inicial/ interpasses
- Método de resane de raíz
- Oscilación:
- Martillado:

### PROCESO No 1

- DCEP
- Ver. Table
- Ver. Tabla
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a

### PROCESO No2

- n/a
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a
- n/a

Oscilación Menor 2 a 3 veces diametro

- Simple
- Multiple

n/a

- n/a
- n/a

Esmmerilado y/o Escobillado

- n/a

n/a

La que sea requerida, angosto.  
No require

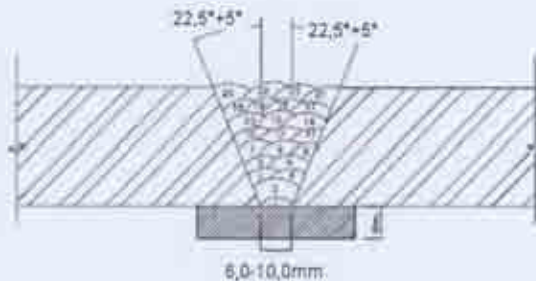
n/a  
n/a

Otras Informaciones: Con cordones Delgado y aplicando la técnica de cordoneado para minimizar el calor de aporte.

### JUNTA (QW-402)

Diseño de Junta: V	Tipo de Respaldo:	Plancha de Respaldo	Material de Respaldo (indicar respaldo removible o fijo):	Sumitert 780S / Fijo
Detalle de Junta/Dibujo Ver plano anexo	Detalle de Ranura (ver dibujo de junta en producción): y simple	Abertura de Raiz O: de 6mm hasta 10mm	Cara de Raiz RP: U	Angulo de Raiz: según detalle tipo B hasta tipo E
Radio (R-1): según				

#### Detalles




Los bases de Calificación de WPS se usara el de 45° <; solo para efectos de calificación; Para Produccion se trabajara con el diseño de junta de cada virola fabricada

No Pase (s)	Proceso	Clasificación de Metal de Aporte	Diametro de Metal de Aporte <i>mm (in)</i>	Tipo de Polaridad de Corriente	Rango de Amps Corriente	Velocidad de Alimentación de Alambre <i>mm/min (in/min)</i>	Rango de Voltaje	Velocidad de Soldeo <i>mm/min (in/min)</i>	Calor Aportado Max <i>kJ/mm (kJ/in)</i> o Comentarios
1	SMAW	E11018-G	3.2mm	DCEP	110-125	n/a	22-24	65-85	2.77
2	SMAW	E11018-G	3.2mm	DCEP	110-125	n/a	22-24	70-90	2.57
3+ n	SMAW	E11018-G	3.2mm	DCEP	110-125	n/a	22-24	65-85	2.77

Nota: No exceder los valores de calor aportado

Inspector Soldexsa	QA/QC-GyM	Supervision QA/ARPL
Nombre: <b>QC 1</b> JUAN, GUARDIA GALLEGOS 95080061 CWI	Nombre: <i>Jose Fernandez A.</i>	Nombre:
Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma:
Fecha: <i>06-08-08</i>	Fecha: <i>06-08-08</i>	Fecha:

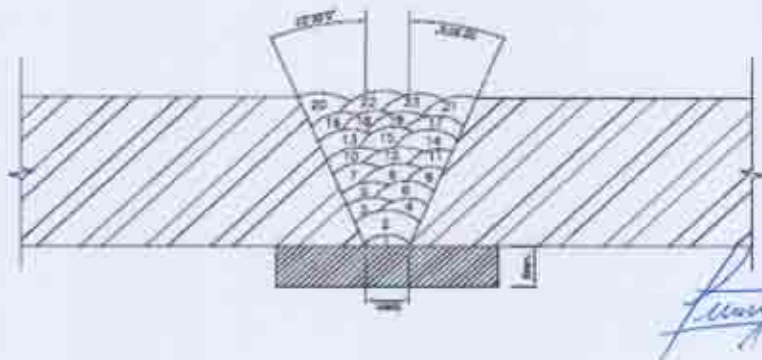


	<b>REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)</b> <i>(De acuerdo a ASME- Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007)</i>	<b>PCM04-R02</b>	
		HOJA:	1 de 4
		EMISION:	23-07-08
		REVISION:	0

**QW-482 – REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)**

Nombre de la compañía:	<b>GRAÑA Y MONTERO S.A.</b>	Por:	<b>Jose Fernandez A.</b>
PQR N°:	<b>PQR-GyM-001</b>	Fecha:	<b>31 de Julio 2008</b>
Para Calificar WPS N°:	<b>WPS-GyM-001</b>	Rev.:	<b>0</b>
Proceso(s) de soldadura:	<b>SMAW</b>	Tipo:	<b>Manual</b>

**JUNTA (QW-402) Butt Joint – Single V Groove Weld**



(Unidades mm)

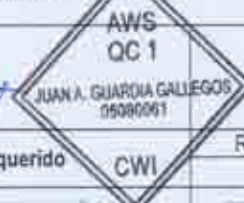
<p><b>METAL BASE (QW-403)</b></p> <p>Especificación material <b>SUMITEN 780 S // SUMITEN 780 S</b></p> <p>Tipo o grado <b>n/a</b></p> <p>P – No. <b>n/a</b> a P – No. <b>n/a</b></p> <p>Espesor del cupón de ensayo <b>28.0 mm</b></p> <p>Diámetro del cupón de ensayo <b>n/a</b></p> <p>Otro <b>Acero no listado por ASME Sección IX-2007</b> <b>Solo califica al mismo acero no listado.</b> <b>Espesor máximo de cada pase menor que 6.0mm</b></p>	<p><b>TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)</b></p> <p>Temperatura <b>n/a</b></p> <p>Tiempo <b>n/a</b></p> <p>Temperatura de Sostenimiento (Posweld Hydrogen Bakeout) <b>150 – 200 °C por 2 Horas</b></p>																			
<p><b>METAL DE APOORTE (QW-404)</b></p> <p>Especificación SFA <b>5.5</b></p> <p>Clasificación AWS <b>E11018-G</b></p> <p>Metal de aporte F – No. <b>F4</b></p> <p>Análisis de metal depositado A – No. <b>A12</b></p> <p>Tamaño de metal de aporte: <b>3.25mm</b></p> <p>Tipo Metal de Aporte <b>Electrodo</b></p> <p>Espesor de metal de soldadura <b>28.0mm</b></p>	<p><b>GAS (QW-408)</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Composición Porcentual</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>Mezcla</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Protección</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> </tr> <tr> <td><b>Arrastre</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> </tr> <tr> <td><b>Respaldo</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> </tr> </tbody> </table>		Composición Porcentual			Gas(es)	Mezcla	Flujo	<b>Protección</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>Arrastre</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>Respaldo</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>
	Composición Porcentual																			
	Gas(es)	Mezcla	Flujo																	
<b>Protección</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>																	
<b>Arrastre</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>																	
<b>Respaldo</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>																	
<p><b>POSICION (QW-405)</b></p> <p>Posición de ranura <b>3G</b></p> <p>Progresión de soldadura (asc, desc) <b>ASCENDENTE</b></p> <p>Otro <b>---</b></p>	<p><b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)</b></p> <p>Corriente <b>VER TABLA # 1</b></p> <p>Polaridad <b>VER TABLA # 1</b></p> <p>Amperaje <b>VER TABLA # 1</b> Voltaje <b>VER TABLA # 1</b></p> <p>Modo de Transferencia: <b>Globular</b></p> <p>Calor aportado <b>2.77 KJ/mm (máx.)</b></p>																			
<p><b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b></p> <p>Temperatura de precalentamiento <b>100°C (min)</b></p> <p>Temperatura entre pases <b>150°C (máx)</b></p>	<p><b>TECNICA (QW-410)</b></p> <p>Preparación de Junta con Procesos Térmicos <b>Oxicorte y acabado final esmerilando la junta hasta obtener metal limpio.</b></p> <p>Pasada ancha o angosta <b>Angosta</b></p> <p>Progresión <b>---</b></p> <p>Pase simple o múltiple <b>MULTIPLE</b></p> <p>Electrodo simple o múltiple <b>SIMPLE</b></p> <p>Otro <b>Pases delgados (Técnica de Cordoneado) para reducir el calor aportado.</b></p>																			

**PARÁMETROS DE SOLDADURA**  
**TABLA # 1**

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de Avance (mm/min)	Calor Aportado (KJ/mm)
		Clase	Ø (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje			
1	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	65 - 85	2.77
2	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
3	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
4	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
5	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
6	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
7	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
8	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
9	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
10	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
11	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
12	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
13	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
14	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
15	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
16	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
17	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	70 - 90	2.57
18	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	65 - 85	2.77
19	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	65 - 85	2.77
20	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	65 - 85	2.77
21	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	65 - 85	2.77
22	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	65 - 85	2.77
23	SMAW	E11018-G	3.25	DCEP	110 - 125	22 - 24	65 - 85	2.77

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y DESTRUCTIVOS**

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS							
TECNICA	RESULTADO		REPORTE / REALIZADO				
	Conforme	No Conforme					
Inspección Visual VT	X	—	CWI-N° Juan Guardia G.				
Partículas Magnéticas MT	X	—	GyN -468-08-MT-PR-GyN-01				
Radiografía RT	X	—	GyN -468-08-RT-PR-GyN-01				
Ultrasonido UT	X	—	GyN-468-08-UT-PR-GyN-06				
ENSAYOS DESTRUCTIVOS							
PRUEBA DE TRACCION realizado por: Laboratorio de Materiales de RUCP							Fecha: 30-07-08
Especímen de Sección Reducida					Valor Requerido	Resistencia Mínima (MPa)	
MARCA DEL ESPÉCIMEN	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm²)	CARGA ROTURA TOTAL (KN)	RESISTENCIA MAX.(MPa)	TIPO DE FALLA Y UBICACIÓN	
T1	19.01	27.79	528.3	435.7	825	Rompió en ZAC	
T2	19.03	27.95	531.9	434.1	816	Rompió en ZAC	



**ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO** realizado por: Laboratorio de Ensayos Mecánicos PUCP  
Especimen de 28mm. x 10 mm. x 250 mm.  
Diámetro de la Giga 50.0 mm

FECHA: 23-07-2008

MARCA DEL ESPECIMEN	ESPECIMEN		DIRECCION DE DOBLEZ RESULTADO	
	TRASVERSAL	LONGITUDINAL	LADO	ACEPTABLE
DL-1	X	—	LADO	ACEPTABLE
DL-2	X	—	LADO	ACEPTABLE
DL-3	X	—	LADO	ACEPTABLE
DL-4	X	—	LADO	ACEPTABLE

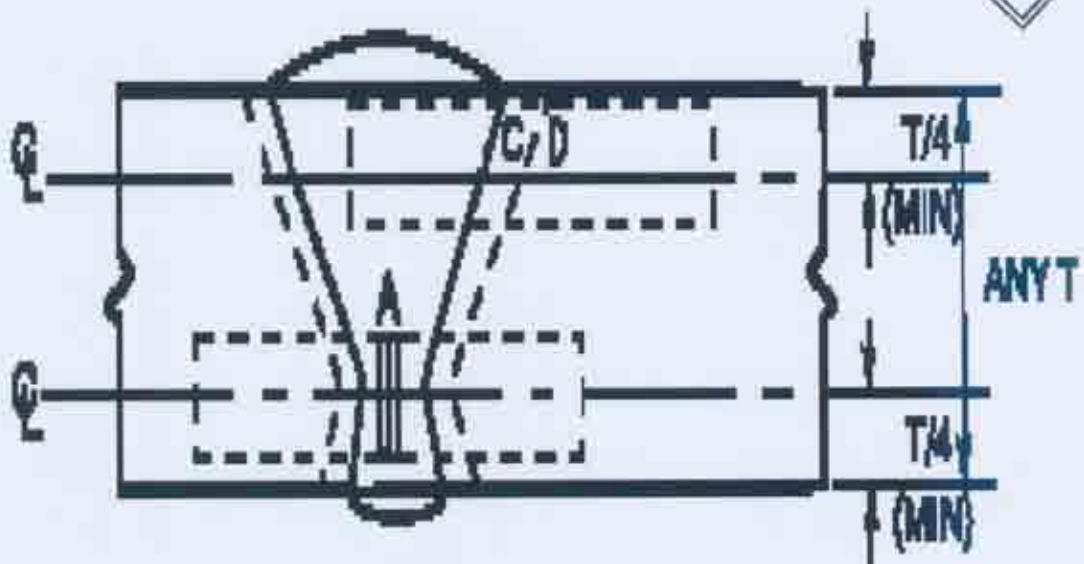
**ENSAYO DE IMPACTO** realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP


Fecha: 30-07-08

Especimen de 10mm. x 10mm. x 55 mm.


ESPECIMEN	T (°C)	ENERGIA ABSORBIDA JOULES		VALOR REQUERIDO JOULES	INDIVIDUAL	PROMEDIO
		Individual	Promedio			
MA-1	-20°C	80	75	75	43	61
MA-2	-20°C	71			EXPANSION LATERAL	RESULTADO
MA-3	-20°C	75			Acceptable	Acceptable
ZAC-4	-20°C	132	109	109	Acceptable	Acceptable
ZAC-5	-20°C	100			Acceptable	Acceptable
ZAC-6	-20°C	97			Acceptable	Acceptable

ESQUEMA DE UBICACION DE PROBETAS PARA IMPACTO





	<b>REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)</b> <i>(De acuerdo a ASME- Boiler and Pressure Vesel Code Sección IX-2007)</i>	<b>PCMD4-R02</b>	
		HOJA:	4 de 4
		EMISION:	23-07-08
		REVISION:	0

**ENSAYO DE DUREZA realizado por:** Laboratorio de Materiales de PUCP **FECHA:** 23-07-08  
 Tipo: Vickers HV10 Máximo Valor Aceptable: < 400 HV

PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS	UBICACIÓN	VALORES OBTENIDOS
	Muestra S1 – L1 Línea Superior	Se Adjuntan reportes de PUCP
	Muestra S1 – L2 Línea Central	Se Adjuntan reportes de PUCP
	Muestra S1 – L3 Línea Inferior	Se Adjuntan reportes de PUCP
	Muestra S2 – L1 Línea Superior	Se Adjuntan reportes de PUCP
	Muestra S2 – L2 Línea Central	Se Adjuntan reportes de PUCP
	Muestra S2 – L3 Línea Inferior	Se Adjuntan reportes de PUCP

**ENSAYO MACROGRAFICO realizado por:** PUCP **FECHA:** 23-07-2008

Agente de ataque : Nital 10% , Magnificación: 10x

ESPECIMEN N°1: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	ESPECIMEN N°2: TRASVERSAL A LA SOLDADURA
	

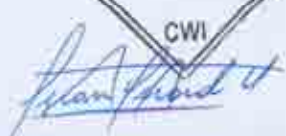

**RESULTADO: ACEPTABLE** **RESULTADO: ACEPTABLE**

OTROS ENSAYOS: \_\_\_\_\_


**NOMBRE DE SOLDADOR:** RONAL TICONA VELASQUEZ DNI No: 42095452

- LISTA DE DOCUMENTOS REFERENCIALES:**
- > Reporte de Partículas Magnéticas: GyN-468-08-MT-PR-GyN-01
  - > Reporte Radiográfico: GyN-468-08-RT-PR-GyN-01
  - > Reporte Ultrasonido: GyN-468-08-LT-PR-GyN-06
  - > Reporte de Ensayo de Tracción: MAT-JUL-0640/2008 páginas 1 al 2/3 por Laboratorio de Materiales PUCP.
  - > Reporte de Ensayo de Dobleces: MAT-JUL-0654/2008 páginas 01 por Laboratorio de Materiales PUCP.
  - > Reporte de Ensayo de Impacto: MAT-JUL-0828/2008 páginas 1 al 3/3 por Laboratorio de Materiales PUCP.
  - > Reporte de Ensayo de Dureza: MAT-JUL-0644/2008 páginas 1 al 10/13 por Laboratorio de Materiales PUCP.
  - > Reporte de Ensayo de Macrográfico: MAT-JUL-0644/2008 páginas 11, al 13/13 por Laboratorio de Materiales PUCP.

*Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME-2007.*

Inspector Soldador	QA/QC-GyM	Supervision QA /ARPL
Nombre: <b>JUAN A. GUARDIA GALLEGOS</b> 05090961 Firma:  Fecha: 06-08-08	Nombre: <b>José Fernández A.</b> Firma:  Fecha: 06-08-08	Nombre: Firma: Fecha:



<b>ENSAYO POR GAMMAGRAFIA INDUSTRIAL REPORTE (RT) - N° 01</b>		WPS-GYM					
		INE. : GYN-468-08					
		Hoja : 1 de 1					
<b>PROYECTO/ OBRA</b> : CH - GI - EL PLATANAL							
<b>CLIENTE</b> : GYM S.A.							
<b>ATENCIÓN</b> : SR. JOSE FERNÁNDEZ ANAYA - SUPERVISOR DE SOLDADURAS							
<b>LUGAR Y FECHA EJEC.</b> : Lima, 07 de Julio del 2008							
NORMA / CÓDIGO	MATERIAL	PELICULA					
Procedimiento : RT-PR-GYM-01 ASME Section V (2007)	Metall : SUMITEN 780 S Dimensión : Variable Espesor base : 35 mm	Marca : AGFA Structurix D7 Dimensión : 70 x 90mm Partícula Ph. : 0.027mm					
Evaluación : ASME Section IX (2007)							
EXPOSICIÓN	CALIDAD IMAGEN	ISÓTOPO					
Distancia : 700mm Tiempo : 69 min. Técnica : Una placa / una vista Penumbra : 0.36mm	KQI : 1 ASTM B Posición : Lado fuerte Calidad : 2T Densidad : 2.3-2.5 (H&D)-15 ó +30%	Fuente : Gamma Ir 192 Actividad : 13.00 Curies Foco : 6.32mm Equipo/ Modelo : SPEC 2-T					
N°	CÓDIGO	SOLD.	POSICIÓN (mm)	DISCONTINUIDAD	CALIFICACIÓN	TUBC. DEFECTO (mm)	OBS
1	Tenacido 110	—	(0-418)	—	APROBADO	—	—
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
							
NOMENCLATURAS (DISCONTINUIDAD)							
IP : Inadecuada Penetración sin High-Low	EST : Inclusiones de Escoria Alargada	P : Porosidades					
IPD : Inadecuada Penetración por High-Low	ISI : Inclusiones de Escoria Aisladas	CP : Porosidad Agrupada					
ICP : Penetración Transversal Inadecuada	IC : Concavidad Interna	LP : Porosidad Alineada					
IF : Fusión Incompleta asociada a la superficie	EC : Concavidad Externa	C : Fisuras					
IFD : Fusión Incompleta entre pases	BT : Quemadura	EI : Socavado Externo					
I : Cordón Irregular	R : Rechupe	II : Socavado Interno					
<b>OBSERVACIONES:</b> N/A							
<b>NOTA:</b> Nosotros, suscribimos y certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas en conformidad con los requerimientos de la ASME Sección V y Sección IX, edición 2007.							

V*B* Cliente / Supervisión Firma y Sello:  Jose Fernandez A 17/07/08	V*B* Gerencia Firma y Sello: GYN INSPECCIONES S.A.C.  ANTONIO NAVARRO POLO S. R. L. - GERENTE	V*B* Level II Firma y Sello:  JULIO GUTIERREZ JULCA NIVEL II ASNT INT-TO-142
---	---	---

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS: Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Inspección Visual, Calibración de Espesores, Duremetría, Metalografía, Macrografía, Prueba Hidrostática, Prueba Neumática, Prueba de Vacío, Prueba de Estanqueidad, Análisis Químico en Metales, Supervisión de Soldadura. ENSAYOS DESTRUCTIVOS: Tracción, Doble, Impacto. CERTIFICACIONES: WPS, PQR, Homologación de Soldadores. VENTAS: Equipos NDT e Insumos NDT.



<b>ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS REPORTE (MT) - N° 01</b>						<b>WPS-GYM</b>		
						<b>INF. : GYN-468-08</b>		
						<b>Hoja : 1 de 1</b>		
<b>PROYECTO/ OBRA</b>		: CH - G1 - EL PLATANAL.						
<b>CLIENTE</b>		: GYM S.A.						
<b>ATENCIÓN</b>		: SR. JOSE FERNÁNDEZ ANAYA - SUPERVISOR DE SOLDADURAS						
<b>LUGAR Y FECHA EJEC.</b>		: Lima, 07 de Julio del 2008						
NORMA / CÓDIGO			MATERIAL			METODO / CONTRASTE		
Procedimiento : MT-PR-GYN-01			Metal : SUMITEN 780 S			Continuo (X)		
ASME Section V (2007)			Dimensión : Variable			Residual ( )		
Evaluación : ASME Section IX (2007)			Espesor base : 35 mm			Contraste (NO)		
TIPOS DE CORRIENTE			MAGNETIZACIÓN TIPOS			PARTÍCULAS/ LUZ UV		
Corriente Altern (AC)			Yugo (X)			Tipo : Seco ( ) Húmedo ( X )		
Directa rectificada de onda media ( )			Electrodo ( )			Color : Fluorescencia		
Altern rectificada de onda completa ( )			Magnetización longitudinal ( )			Marea : Met-L-Check, 14000, Spray		
Corriente Directa (DC)			Magnetización circular ( )			Luz UV : > 1000 uW/cm2		
N°	CÓDIGO	SOLD.	POSICIÓN (mm)	DISCONTINUIDAD	CALIFICACIÓN	UBIC. DEFECTO (mm)	DEFECTO (mm)	OBS.
1	Tenacito 110	—	(0-418)	—	APROBADO	—	—	—
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
<b>NOMENCLATURAS DISCONTINUIDADES</b>		ISI : Escoria	S : Seams	L : Laps				
IP : Inadecuada Penetración		O : Overlap	EC : Concavidad Externa	CT : Fisuras Transversal				
IF : Fisión Incompleta		L : Laminação	P : Porosidad	EU : Socavado Externo				
		DL : Delaminación	CL : Fisura Longitudinal	IU : Socavado Interno				
<b>OBSERVACIONES:</b>								
N/A								
<b>NOTA:</b>								
Nosotros, suscribimos y certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas en conformidad con los requerimientos de la ASME Sección V y Sección IX (2007).								

V°B° Cliente / Supervisión Firma y Sello:  Jose Fernandez A 12/07/08	V°B° Gerencia Firma y Sello:  ANTONIO NAVARRO	V°B° Nivel II Firma y Sello:  JULIO GUTIERREZ BULCA NIVEL II ART. 10.1.1.2
--	--	--

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS: Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Inspección Visual, Calibración de Espesores, Dureometría, Metalografía, Macrografía, Prueba Hidrostática, Prueba Neumática, Prueba de Vacío, Prueba de Estanqueidad, Análisis Químico en Metales, Supervisión de Soldadura. ENSAYOS DESTRUCTIVOS: Tracción, Doblez, Impacto. CERTIFICACIONES: WPS, PQR, Homologación de Soldadores. VENTAS: Equipos NDT e Insumos NDT.



<b>ENSAYO POR ULTRASONIDO A SOLDADURAS REPORTE (UT) - N° 01</b>										<b>WPS-GYM</b>		
										<b>INF. : GYN-468-08</b>		
										<b>Hoja : 1 de 1</b>		
<b>PROYECTO/ OBRA</b>		: CH - GI - EL PLATANAL										
<b>CLIENTE</b>		: GYM S.A.										
<b>ATENCIÓN</b>		: SR. JOSE FERNÁNDEZ ANAYA - SUPERVISOR DE SOLDADURAS										
<b>LUGAR Y FECHA EJEC.</b>		: Lima, 07 de Julio del 2008										
<b>NORMA / CÓDIGO</b>			<b>JUNTA SOLDADURA</b>				<b>ESQUEMA X - Y</b>					
Procedimiento		: UT-PR-GYN-06										
Evaluación		: ASME Sección V (2007) : ASME Sección IX (2007)										
<b>MATERIAL</b>												
Metal base		: SUMITEN 780 S										
Dimensiones		: 13"x16"										
Espesor		: 35 mm										
Proc. soldadura		: —										
Long. verificada		: 15"										
<b>EQUIPO UT</b>			<b>CALIBRACION</b>				<b>CURVA DE SENSIBILIDAD</b>					
Marca		: TIME		Patrón índice punto		: V1		DAC		: 80% punta		
modelo		: TUD 300		-ángulo, distancia		: Bloque básico 30 mm, Agujero Ø 3 mm				Evaluación		: 20% DAC
<b>TRANSDUCTOR</b>												
Marca		: Ttu-sonic		Patrón sensibilidad		: I y II		Sensibilidad (dB)		: 40		
Ángulo		: 45°		Leg		: Acoplante		Correc. transfer. (dB)		: 0		
Frecuencia		: 4 MHz		Acoplante		: Metil celulosa		Exploración (dB)		: 50		
Tamaño		: 8x9 mm										
Ítem	Código	Junta	Soldador	Discontinuidad							Evaluación	Observ.
				Amplitud Curva DAC		Ubicación (mm)		Long. (mm)	Prof. (mm)	Tipo		
				dB	%	X	Y					
1	Ternario 110	J1	—	—	—	—	—	—	—	Aprobado	—	
2												
3												
4												
5												
<b>NOMENCLATURA DE DISCONTINUIDADES</b>												
IP	: Inadecuada Penetración			ASI	: Inclusiones de Escoria Alineada			IP	: Porosidad Alineada			
IF	: Fusión Incompleta			I	: Cordón irregular			C	: Fisuras			
ESI	: Inclusiones de Escoria Alargada			P	: Porosidad aislada			EU	: Socavado Externo			
ISI	: Inclusiones de Escoria Aislada			CP	: Porosidad Agrupada							
<b>OBSERVACIONES:</b>												
N/A												
<b>NOTA:</b>												
Nosotros, suscribimos y certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas en conformidad con los requerimientos de la ASME Sección V y Sección IX (2007).												
<b>V°B° Cliente / Supervisión</b> Firma y Sello:				<b>V°B° Gerencia</b> Firma y Sello:				<b>V°B° Level II</b> Firma y Sello:				
 Jose Fernandez A 17/07/08				 GYM INSPECCIONES S.A.C. REG. COM. MERCANTIL S.A. - CREDITO				 JULIO GUTIERREZ BULCA NIVEL II ANST (GYN-1042)				



*Fecha:* Agosto, 05, 2008 *Memo N°:* GyM-CH-G1-048/08.  
*A:* Danfer de La Cruz *Supervisor ARLP*  
*De:* Jose Fernandez *Supervisor de Soldadura*  
  
*Asunto:* **Ensayos Mecanicos PQR-GyM-001**

---

Los reportes de PUCP que acompañan a esta carta de informe corresponden a los ensayos ejecutados en los laboratorios de Lurín:

1. 01 Cupón de acero **SUMITEN 780S**, de **28mm** de espesor, Calificación de Soldadura **Tenacito 110 Plus**, Clasificación de AWS E11018-G Proceso SMAW Posición **3G Soldador W-42095452** Ronal Ticona Velasquez.

Este cupón fue ensayado por PUCP según las probetas entregadas por Soldexsa, los ensayos fueron solicitados por GyM y Soldexsa. Los mismos constan en los informes:

- Reporte de Tracción MAT-JUL-0640/2008 02 paginas
- Reportes de Impacto MAT-JUL-0626/2008 03 paginas
- Reporte de Dobleces MAT-JUL-0654/2008 01 pagina
- Reportes de Dobleces MAT-JUL-0644/2008 páginas del 01/13 hasta el 10/13
- Reporte de Macrografía MAT-JUL-0644/2008 Páginas del 11/13 hasta el 13/13



**Jose Fernandez**  
Supervisor de Soldadura



**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 2

**SOLICITADO POR :** SOLDEXSA

**DIRECCIÓN :** Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurin - Lima

**REALIZADO POR :** Laboratorio de Materiales - Analista 10.

**MUESTRA :** Probetas de acero soldadas.

**FECHA :** 2008.07.30.

**RESULTADOS:**

MUESTRA		T1	T2
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	ANCHO (mm)	19.01	19.03
	ESPESOR (mm)	27.79	27.95
	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	528.3	531.9
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	435.7	434.1
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	825	816
LONGITUD INICIAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
LONGITUD FINAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2008.07.18.

**OBSERVACIONES:**

- . Condición de la muestra: Zona de ensayo normalizada.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de ensayo: ASME IX - 2007.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 24,0 °C.
- . La muestra T1 rompió en la zona afectada por el calor.
- . La muestra T2 rompió en la zona afectada por el calor.
- . Material: SUMITEN 780 S.

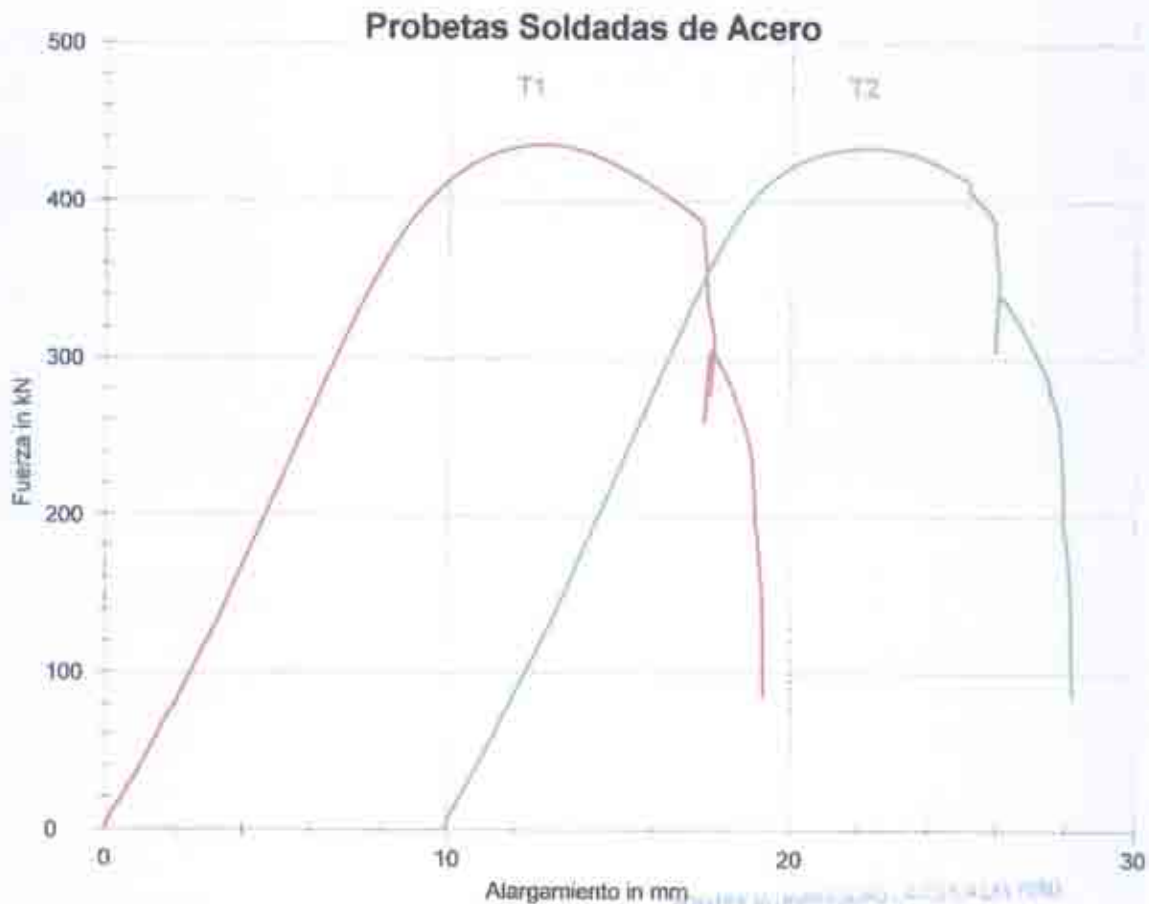
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
  
ING. RA. ROBERTO FACENTE GONZALEZ  
2008-08-20-2008-08-20

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



MAT-JUL-0640/2008



Ing. Roberto Lazarte Camero CP 1358  
Ingeniero en Control de Calidad

MAT-JUL-0626/2008

**ENSAYO DE IMPACTO****INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 3

**SOLICITADO POR** : SOLDEXSA  
**DIRECCIÓN** : Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurin - Lima  
**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analista 07.  
**TIPO DE ENSAYO** : Charpy.  
**MUESTRA** : Probetas de acero (MB).  
**FECHA** : 2008.07.30.

**RESULTADOS:**

MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORVIDA (JOULE)	ROTURA FRÁGIL (%)	OBSERVACIONES
1	-20	246	—	—
2	-20	235	—	—
3	-20	241	—	—

Fecha de Ejecución: 2008.07.18.

**OBSERVACIONES:**

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo ASTM E23 – 05.
- Temperatura ambiente: 23 °C.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 Sección Ingeniería Mecánica  
  
 Sr. Ing. ROBERTO LIZARATE SAHEZU CIP 11942  
 Ing. de 1.º Grado en Ingeniería Mecánica

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**1 de 3**

**ENSAYO DE IMPACTO****INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 3

**SOLICITADO POR** : SOLDEXSA  
**DIRECCIÓN** : Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima  
**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analista 07.  
**TIPO DE ENSAYO** : Charpy.  
**MUESTRA** : Probetas de acero (ZAC).  
**FECHA** : 2008.07.30.

**RESULTADOS:**

MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORVIDA (JOULE)	ROTURA FRÁGIL (%)	OBSERVACIONES
1	-20	132	—	—
2	-20	100	—	—
3	-20	97	—	—

Fecha de Ejecución: 2008.07.18.

**OBSERVACIONES:**

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo ASTM E23 – 05.
- Temperatura ambiente: 23 °C.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 Instituto de Ingeniería Mecánica  
 Dr. ROBERTO GARCÍA GARRIDO  
 Director del Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**ENSAYO DE IMPACTO****INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 3

**SOLICITADO POR** : SOLDEXSA  
**DIRECCIÓN** : Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima  
**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analista 07.  
**TIPO DE ENSAYO** : Charpy.  
**MUESTRA** : Probetas de acero (SW).  
**FECHA** : 2008.07.30.

**RESULTADOS:**

MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORVIDA (JOULE)	ROTURA FRÁGIL (%)	OBSERVACIONES
1	-20	80	---	---
2	-20	71	---	---
3	-20	75	---	---

Fecha de Ejecución: 2008.07.18.

**OBSERVACIONES:**

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo ASTM E23 – 05.
- Temperatura ambiente: 23 °C.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
  
 Ing. Roberto Salazar Gajardo  
 Analista de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



**ENSAYO DE DOBLADO**

**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 1

**SOLICITADO POR** : SOLDEXSA.  
**DIRECCIÓN** : Antigua Panamericana Sur Km. 38.5 Lurín - Lima.  
**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analista 07.  
**MUESTRA** : Probetas de acero soldadas.  
**FECHA** : 2008.08.05.

**RESULTADOS:**

MUESTRA	ÁNGULO DE DOBLADO	PRESENCIA DE DISCONTINUIDADES	OBSERVACIONES
DL1	180°	No hay.	CONFORME
DL2	180°	No hay.	CONFORME
DL3	180°	No hay.	CONFORME
DL4	180°	No hay.	CONFORME

Fecha de Ejecución: 2008.07.23.

**OBSERVACIONES:**

- Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASME IX - 2007.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 23,0 °C.
- Probeta de 10 mm de espesor.
- Diámetro del pin de doblado: 50 mm.
- El presente informe complementa al MAT-JUL-0644/2008.

*[Handwritten signature and stamp]*

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



**ENSAYO DE DUREZA**

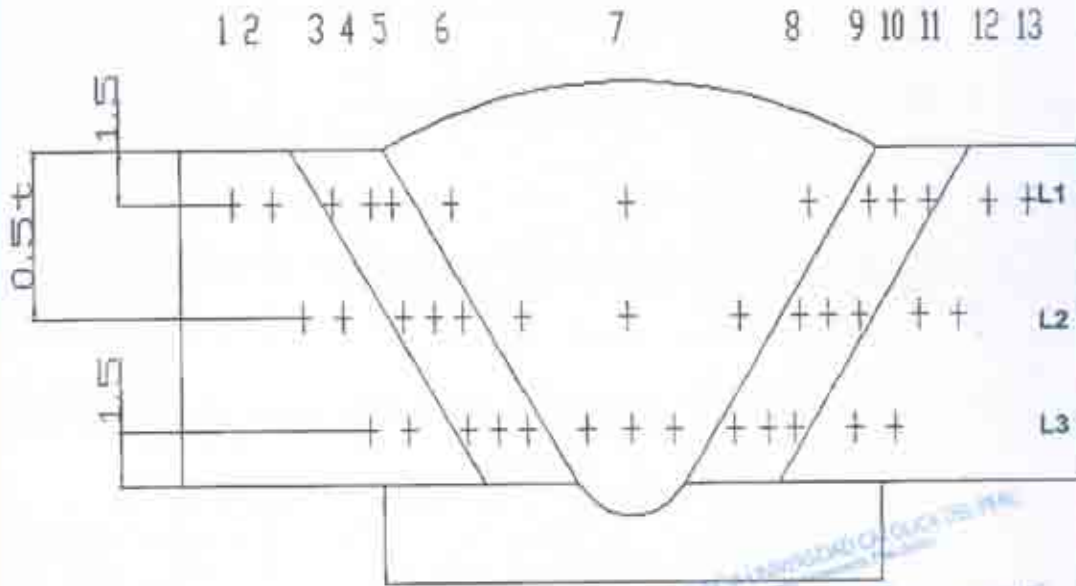
**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**SOLICITADO POR** : G Y M S.A.  
**DIRECCIÓN** : Av. Paseo de la República 4675 - Surquillo.  
**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analista O.  
**TIPO DE ENSAYO** : VICKERS.  
**MUESTRA** : Probeta de acero soldada (muestra M1)  
**FECHA** : 2008.07.23.

**PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS:**



Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



**ENSAYO DE DUREZA**

**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**RESULTADOS:**

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>prom</sub>		
1	262	268	264.8	265	---
2	259	263	261.2	272	---
3	271	267	269.0	256	---
4	221	223	222.1	376	---
5	222	222	222.0	376	---
6	257	264	260.5	273	---
7	252	250	251.1	294	---
8	261	265	263.2	268	---
9	224	226	225.1	366	---
10	224	223	223.7	371	---
11	230	228	228.7	355	---
12	261	262	261.6	271	---
13	262	262	262.1	270	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Laboratorio de Materiales

*[Signature]*  
ING. ROBERTO LUCARTE LUCARTE CPT 1988  
Código de Identificación Profesional

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.





**ENSAYO DE DUREZA  
INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**RESULTADOS:**

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA ( $\mu\text{m}$ )			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	$d_1$	$d_2$	$d_{prom}$		
1	264	261	262.6	269	---
2	267	267	267.0	260	---
3	272	268	270.4	254	---
4	243	243	242.6	315	---
5	239	232	235.4	335	---
6	264	269	266.6	261	---
7	248	246	247.1	304	---
8	262	271	266.3	262	---
9	259	257	258.0	279	---
10	257	258	257.5	280	---
11	260	258	258.9	277	---
12	264	267	265.7	263	---
13	265	259	262.0	270	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica  
*[Firma]*  
ING. ROBERTO J. P. EL CASERIO TORO  
Labor. Ingeniería de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**ENSAYO DE DUREZA**

**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**RESULTADOS:**

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA ( $\mu\text{m}$ )			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	$d_1$	$d_2$	$d_{prom}$		
1	260	259	259.4	276	---
2	264	261	262.2	270	---
3	261	267	263.5	267	---
4	260	256	258.1	278	---
5	253	257	255.2	285	---
6	270	267	268.6	257	---
7	264	269	266.3	261	---
8	268	265	266.8	261	---
9	250	253	251.5	293	---
10	248	245	246.5	305	---
11	255	263	258.7	277	---
12	261	256	258.1	278	---
13	259	263	260.8	273	---

Fecha de Ejecución: 2008.07.22.

**OBSERVACIONES:**

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E 92 – 03.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 22,1 °C.
- Carga: 10 kg.
- Objetivo: 2/3.
- Incertidumbre de la medición:  $\pm 1,20$  HV.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura  $k=2$ , para un nivel de confianza de 95%.
- Material Base: SUMITEN 780S (40 mm).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

*Roberto Lazarte Gamero*  
Ing. Roberto Lazarte Gamero C.P. 1855  
Instituto de Calibración y Pesos

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

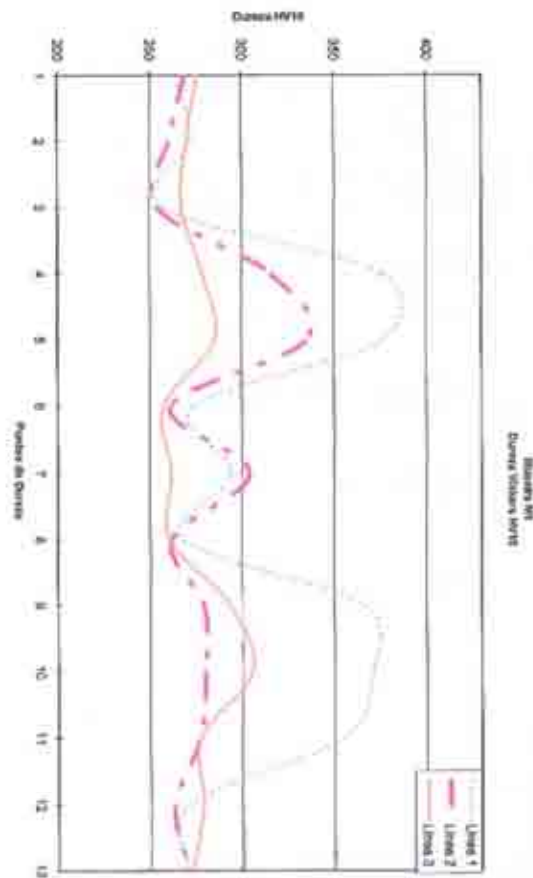
# LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de Ingeniería  
Sección Ingeniería Mecánica



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

*[Signature]*  
DR. ROBERTO LA ROSA GONZALEZ  
Catedrático de Ingeniería Mecánica



**ENSAYO DE DUREZA**

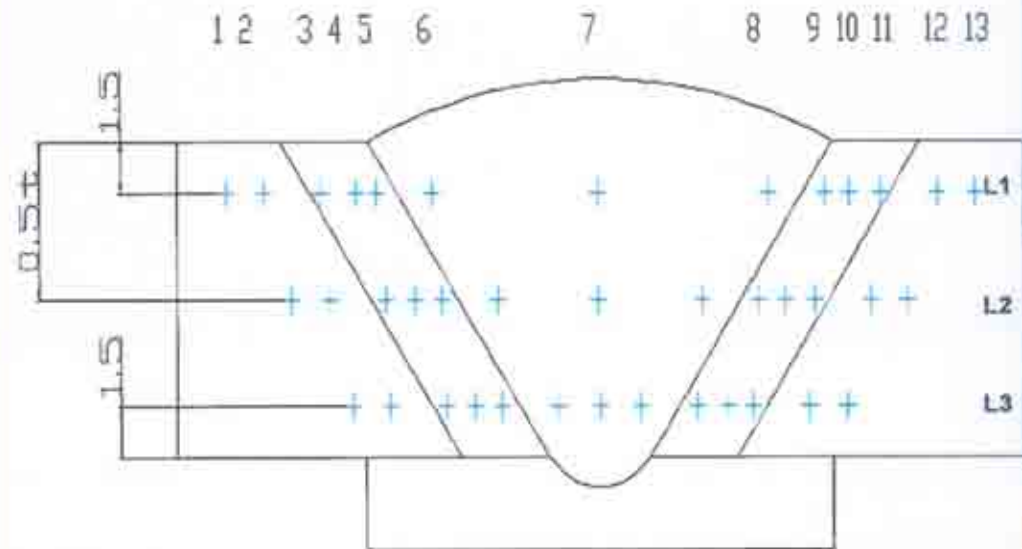
**INFORME DE LABORATORIO**

Número Total de Páginas: 13

MAT-Lab-4.04

**SOLICITADO POR** : G Y M S.A.  
**DIRECCIÓN** : Av. Paseo de la República 4675 - Surquillo.  
**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analista O.  
**TIPO DE ENSAYO** : VICKERS.  
**MUESTRA** : Probeta de acero soldada (muestra M2)  
**FECHA** : 2008.07.22.

**PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS:**



Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



**ENSAYO DE DUREZA**

**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**RESULTADOS:**

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA ( $\mu\text{m}$ )			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	$d_1$	$d_2$	$d_{prom}$		
1	260	259	259.4	276	---
2	255	261	257.8	279	---
3	256	251	253.8	288	---
4	220	220	220.0	383	---
5	221	217	219.4	385	---
6	243	246	244.4	310	---
7	244	246	245.0	309	---
8	248	251	249.1	299	---
9	229	228	228.2	356	---
10	224	224	224.0	370	---
11	231	228	229.6	352	---
12	262	259	260.6	273	---
13	258	262	259.9	275	---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Laboratorio de Ingeniería y Mecánica

*[Signature]*  
ING. DR. FLORENTINO TORREALBA  
Director del Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



**ENSAYO DE DUREZA**

**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**RESULTADOS:**

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA ( $\mu\text{m}$ )			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	$d_1$	$d_2$	$d_{\text{prom}}$		
1	265	266	265.1	264	---
2	268	263	265.1	264	---
3	281	276	278.7	239	—
4	259	255	256.9	281	—
5	254	251	252.5	291	---
6	260	258	259.0	276	---
7	250	248	249.2	299	—
8	265	263	264.1	266	—
9	241	244	242.3	316	—
10	241	241	240.9	320	—
11	257	261	259.1	276	—
12	260	258	258.9	277	—
13	248	249	248.3	301	—

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Instituto de Ingeniería y Tecnología

*[Firma]*  
ING. ROBERTO LAZARTE CÁDIZO CP 1199  
Instituto de Ingeniería y Tecnología

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



**ENSAYO DE DUREZA**

**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**RESULTADOS:**

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA ( $\mu\text{m}$ )			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	$d_1$	$d_2$	$d_{prom}$		
1	254	254	254.2	287	---
2	256	260	258.3	278	---
3	264	263	263.5	267	---
4	266	268	267.2	260	---
5	262	262	261.8	271	---
6	261	261	261.1	272	---
7	259	259	259.0	277	---
8	255	262	258.3	278	---
9	266	262	263.7	267	---
10	264	262	263.0	268	---
11	273	278	275.2	245	---
12	256	256	255.8	283	---
13	257	254	255.3	285	---

Fecha de Ejecución: 2008.07.22

**OBSERVACIONES:**

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E 92 – 03.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,6 °C.
- Carga: 10 kg.
- Objetivo: 2/3.
- Incertidumbre de la medición:  $\pm 1,20$  HV.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura  $k=2$ , para un nivel de confianza de 95%.
- Material Base: SUMITEN 780S (40 mm).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ  
Instituto de Ingeniería de Materiales  
*[Signature]*  
Ing. ROBERTO LAZARTE SAMPEDRO CIP 1381

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

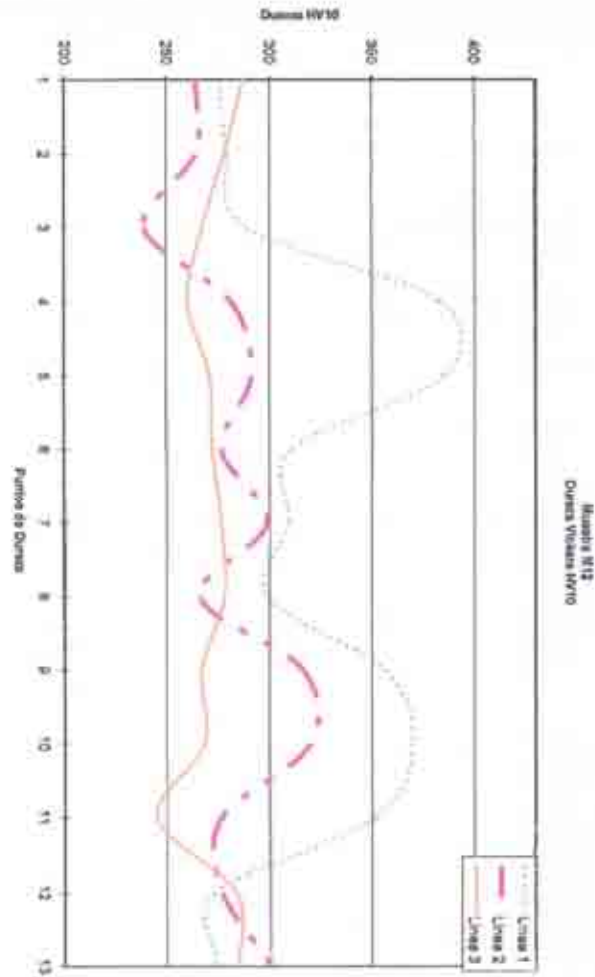
# LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de Ingeniería  
Sección Ingeniería Mecánica



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGUN NTP ISO/IEC 17025



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura

*[Firma]*  
Ing. ROBERTO SÁENZ GARCÍA CIP. 11838





## ANÁLISIS MACROGRÁFICO

### INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 13

**SOLICITADO POR** : G Y M S.A.

**DIRECCIÓN** : Av. Paseo de la República 4675 - Surquillo.

**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analistas 06.

**MUESTRA** : Probeta de acero soldada.

**FECHA** : 2008.07.23.

#### ZONA ANALIZADA:

- > **Sección** : Transversal.
- > **Preparación** : Mecánica.
- > **Ataque Químico** : Nital al 10%.

#### OBSERVACIÓN METALGRÁFICA:

- > **Aumentos** : 10X
- > **Discontinuidades** : No hay.

#### OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Código de Referencia: ASME IX – 2007.
- Foto N° 1: Corresponde a la macrografía de la muestra 1.
- Foto N° 2: Corresponde a la macrografía de la muestra 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería de Materiales  
  
ING. ROBERTO LAZARTE SOTERO C. 18344

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**FOTOMACROGRAFÍA N° 1**

**AUMENTOS: 4X**



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

  
ING. ROBERTO LACARTE GAMERO CIP 1888

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**LABORATORIO DE MATERIALES**

Departamento de Ingeniería  
Sección Ingeniería Mecánica



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025**

**MAT-JUN-0644/2008**

**FOTOMACROGRAFÍA N° 2**

**AUMENTOS: 4X**



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Laboratorio de Ingeniería Mecánica

*[Handwritten signature]*

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

## ANEXO 4

- FORMATOS PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD.



PLAN DE GESTION DE CALIDAD

CC1619-PCM04.R03

CONTRATO MARCO - PROYECTOS ESPECIALES CERRO VERDE CV 54178

Revisión: B

SOLDADURA

Fecha: Jul-08

REPORTE DIARIO SOLDADURA EN ESTRUCTURAS

Página: 1 de 1

Proyecto: <b>07C00136</b>	Cliente: <b>SMCV</b>	Reporte N°:
Preparado por: <b>Rubén Mamani Yaguno.</b>	Ubicación: <b>Cerro Verde Arequipa.</b>	Fecha: <b>23-08-08</b>
Area : <b>3730 Alimentación al Launder 3</b>	Plano: <b>A1-07C00136-3730-42-101 Rev. 0</b>	Hoja:
Descripción: <b>Soldadura del Soporte "S-1" de Estructura Metálica de la Tubería Stand by de 48" Alimentación al Launder 3 -- Fabricación en Taller.</b>		

Item	Elemento Inspeccionado	Plano	PROCESO	Estampa	WPS	I VISUAL	OBSERVACIONES
01	VIGA W12X40 -- "B-3" Soldadura en Planchas de Amarre.	A1-07C00136-3730-36-101	SMAW	W02	WPS-GYM-001	OK	---
02	VIGA W6X12 -- "B-3" Soldadura en Planchas para Arriostre.	A1-07C00136-3730-36-101	SMAW	W02	WPS-GYM-001	OK	---
03	Arriostres Tipo T 3x3x3/8 "D-1", "D-2", "D-3", "D-4", "D-5" y "D-6", Soldadura Unión y Planchas.	A1-07C00136-3730-36-101	SMAW	W02	WPS-GYM-001	OK	---

APROBADO POR:			
<b>CONSTRUCCION GyM</b>	<b>CONTROL DE CALIDAD GyM</b>	<b>SUPERVISION QA</b>	<b>SMCV</b>
Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
Fecha:	Fecha	Fecha:	Fecha

# REPORTE DIARIO DE SOLDADURA

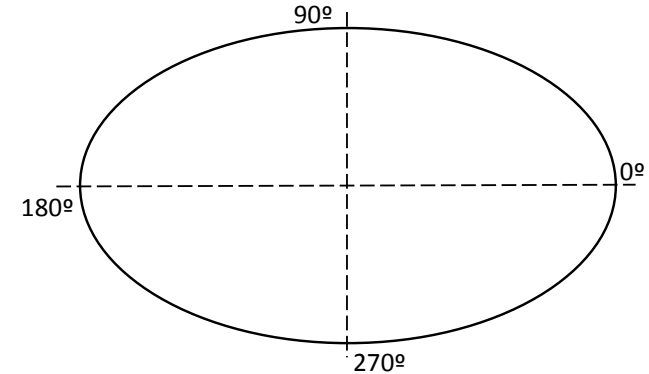
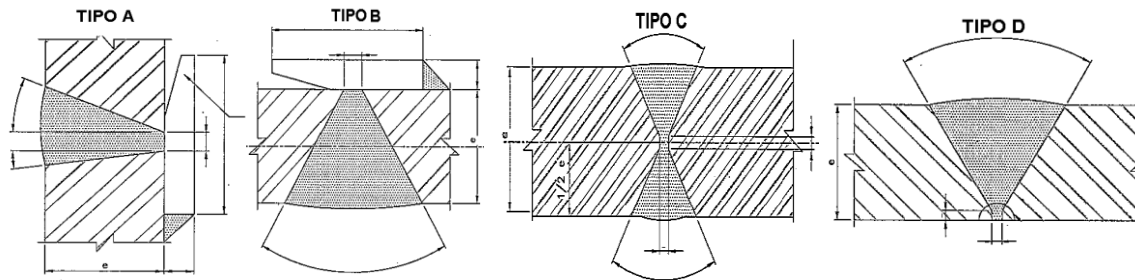
PCM4.R04

REVISIÓN: 2  
 FECHA: 26/01/2009  
 HOJA: 1 DE 1


PROYECTO:	CENTRAL HIDROELECTRICA G1 EL PLATANAL	CLIENTE:	CELEPSA	REPORTE N°:	
CONTRATO:	1606	UBICACIÓN:	CAÑETE - LIMA	FECHA:	
PREPARADO POR:		AREA:			

CUADRANTE	N° DE JUNTA	VIOLAS	TIPO DE JUNTA	SECUENCIA DE SOLDEO				PROCESO DE SOLDADURA	LONG. SOLDADA	ESPESOR DE PARED	ESTAMPA DE SOLDADOR	INSPECCION VISUAL	OBSERVACIONES
				RAIZ	RELLENO	ACABADO	RESPALDO						

I= 0° - 90° II= 90° - 180° III= 180° - 270° IV= 270° - 0°



CONSTRUCCION GYM		QA/QC GYM		SUPERVISION ARPL	
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:	
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	

	PLAN DE GESTION DE CALIDAD		PCM04.R6	
	CH-G1 EL PLATANAL		Revisión:	0
	SOLDADURA		Fecha:	10-07-08
	INSPECCION VISUAL DE SOLDADURA		Página:	1 de 1
Proyecto:		Cliente:	Reporte N° :	
Contrato:		Ubicación:	Fecha:	
Ubicación/Área:		Plano N°:		
Descripción:				

Elemento:	Extensión Examen:	Tipo de Junta Soldada:		
Proceso:	Material:	WPS	PQR:	
Código de referencia:		Criterio de aceptación:		
<b>MEDIO DE INSPECCIÓN</b>				
Tipo de Ensayo: INSPECCION VISUAL		Método de examinación: GALGAS DE MEDIDA / VISUAL		
<b>CONDICIONES DE ENSAYO</b>				
Espesor del metal base:				
Espesor de refuerzo vertical:		Espesor de refuerzo horizontal:		
Condición de la superficie:				
Iluminación:				
<b>MEDICIONES</b>				
Temperatura:	Angulo de inspección:	Distancia de inspección:		
RESULTADOS DEL ENSAYO		CROQUIS ANEXO: <input type="checkbox"/> N/A : <input type="checkbox"/>		
<i>L : Limpieza LA: Laminación E : Escoria MA: Marca de arco de soldadura F: Fisura SC: Socavado ER : Exceso de refuerzo FF :Falta de Fusión PA: Porosidad Agrupadas S: Salpicadura</i>				

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

N° de Virola	Fecha de Soldeo	N° de Pase	N° de Junta	Estampa Soldador	Tipo de Junta	Diam	Metal de Aporte	Estado	Defecto	Log. Inspeccionado

<b>NIVEL II INSPECCION VISUAL</b>			<b>JEFE DE QA-QC GYM</b>				<b>SUPERVISION ARPL</b>			
Nombre:			Nombre:				Nombre:			
Firma:			Firma:				Firma:			
Fecha:			Fecha:				Fecha:			







**International  
Inspecting  
Agency**  
www.inferinspect.com

**REPORTE DE PRUEBAS  
POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MT)**

IIA-F-MTE-01

Versión / Fecha: 02 / 01.03.2008

Revisado:  
RED

Aprobado:  
GG

PROYECTO:		ÁREA / UBICACIÓN		SERVICIO / PROCESO:	
DESCRIPCIÓN:			MARCA:		REGISTRO NRO:
SUBCONTRATISTA:	MATERIAL INSPECCIONADO:	PROCEDIMIENTO:	REV.	NORMA DE INTERPRETACION:	AÑO:
EQUIPO/ MARCA:	TIPO DE MAGNETIZACIÓN / TECNICA: LONGITUDINAL <input type="checkbox"/> CIRCULAR <input type="checkbox"/> YOKE TECHNIQUE <input type="checkbox"/> PROD TECHNIQUE <input type="checkbox"/> MULTIDIRECCIONAL <input type="checkbox"/>				
TIPO DE CORRIENTE AC <input type="checkbox"/> DC <input type="checkbox"/> HWDC <input type="checkbox"/>		AMP.	PARTÍCULAS MARCA:	COLOR:	TIPO DE PARTÍCULA: SECA <input type="checkbox"/> HUMEDA <input type="checkbox"/> VISIBLE <input type="checkbox"/> FLUORESCENTE <input type="checkbox"/>

**DATOS DE INTERPRETACIÓN**

ID	DIAMETRO LONGITUD	CEDULA ESPESOR	DISCONTINUIDAD	LONGITUD	ANCHO	UBICACIÓN	OBSERVACIONES	ACEPTADO	
								SI	NO

**ESQUEMA**

**OBSERVACIONES:**

Inspeccionado por / Inspected by :

Firma / Sign:

Fecha / Date:

Autorizado por / Authorized by :

Firma / Sign:

Fecha / Date:



**International  
Inspecting  
Agency**  
www.interinspect.com

**REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL Y  
PRUEBA POR TINTES PENETRANTES**

IIA-F-PTE-01  
Versión / Fecha: 02 / 01.03.2008  
Revisado: RED  
Aprobado: GG

**REPORTE DE INSPECCION VISUAL-VT ( )  
REPORTE DE INSPECCION POR TINTES PENETRANTES-PT (√)**

Reporte No.: \_\_\_\_\_ Hojas: \_\_  
Nombre de la Empresa: \_\_\_\_\_  
Requerimientos de Calidad: \_\_\_\_\_

**Esquema de localización e Identificación**


Fecha	Long.	Identificación Junta/ Soldador	Método	Interpretación		Reparaciones		Observaciones
				Accept	Rech	Accept	Rech	

**OBSERVACIONES:**

Inspección Visual	Fisura	FI	Refuerzo excesivo / Overlap	RO	Socavación	UC	Escoria	SL
	Fusión incompleta	IF	Bajo llenado	UF	Porosidad	PO	Falta penetración	IP

Material examinado: \_\_\_\_\_ Método de inspección PT: ASTM E-165  
Marca de PT- Limpiador / emulsificante / penetrador / revelador: \_\_\_\_\_  
PT – Tiempo de espera: \_\_\_\_\_

Inspector: \_\_\_\_\_ Cliente: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

 <b>International Inspecting Agency</b> www.interinspect.com	<b>Prueba por tintes penetrantes (PT)</b> <b>Liquid Penetrant Examination</b>		AH-F-PTE-02	
			Rev. /Date: 03 / 01.03.2008	
			Revisado: RED	Aprobado GG

**I. Identificación**

Registro No.:	Fecha de prueba:	Hoja:
Cliente:	Proyecto:	Equipo/ Elemento:
Material inspeccionado:	Estándar de Referencia: ASME V- 2004	Criterio de aceptación: ASME B31.3 Tabla 341.3.2

**II. Procedimiento**

Tipo I (Fluorescente)	<input type="checkbox"/>	Tipo II (Visible)	<input checked="" type="checkbox"/>
A: Lavable con agua	<input type="checkbox"/>	A: Lavable con agua	<input type="checkbox"/>
B: Post emulsión, lipofílico	<input type="checkbox"/>	B: Remoción con solvente	<input checked="" type="checkbox"/>
C: Remoción con solvente	<input type="checkbox"/>		
D: Post emulsión hidrofílico	<input type="checkbox"/>		
<b>Penetrante</b>	Tiempo: <u>5-10 minutos</u>	<b>Emulsificante</b>	<u>N/A</u>
Lavable con agua	<input type="checkbox"/>	Lipofílico	<input type="checkbox"/>
Remoción con solvente	<input checked="" type="checkbox"/>	Hidrofílico	<input type="checkbox"/>
Post emulsión	<input type="checkbox"/>		
<b>Limpieza</b>		<b>Revelado</b>	Tiempo: <u>7-10 minutos</u>
Lavado con agua	<input type="checkbox"/>	Polvo seco	<input type="checkbox"/>
Paño con solvente	<input checked="" type="checkbox"/>	Acuoso	<input type="checkbox"/>
		Húmedo no acuoso	<input checked="" type="checkbox"/>
		Película líquida	<input type="checkbox"/>

**IV. Resultados**

Identificación de Soldadura/Elemento	Soldador/ Operador	Longitud/ Diámetro	Interpretación		Reparaciones		Observaciones
			Aceptado	Rechazado	Aceptado	Rechazado	

**V. Esquema**

--

**VI. Observaciones**

--

Inspeccionado:	Cliente:	Revisado:





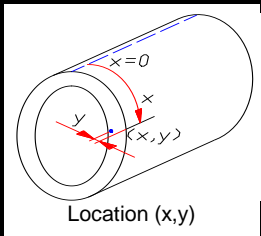
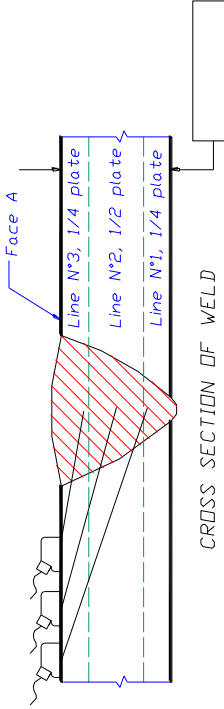
**International  
Inspecting  
Agency**  
www.interinspect.com

**REPORTE DE INSPECCIÓN  
ULTRASÓNICA  
ULTRASONIC TEST REPORT  
(TUBERÍA DE ACERO)**

AH-F-UTE-01  
Versión / Fecha: 02 / 01.03.2008  
Revisado: RED      Aprobado: GG

Cliente/ Customer :  
 Proyecto/ Project :  
 Inspección de/ Scope of inspection work :  
 Reporte/ Report N° :      Página/ Page :  
 Lugar de inspección/ Inspection area :      Fecha/ Date :  
 Procedimiento/ Procedure N° :      Weld ID N° :  
 Criterio de aceptación/ Acceptance criteria : ASME      Technique : Straight beam ( ) or Angle beam ( )  
 Method :      Couplant :      Scanning mechanism :  
 Weld type & thickness tested :  
 Equipo/ Equipment :      Marca/ Trade mark :  
 Modelo/ Model :      Patron/ Block :  
 Calibración/ Calibration :      Palpador/ Transducer :  
 Metraje inspeccionado/ Inspection Log :      Frecuencia / Frequency :

Line N°	Line N°	Line N°	Localización / Location (mm)		Nivel amplitud/ Amplitude level %	Altura reflect/ Height reflector mm	Longitud reflect/ Length reflector mm	Accept / Reject
			X	Y				
<b>JOINT N°:</b>								
<b>JOINT N°:</b>								
<b>JOINT N°:</b>								
<b>JOINT N°:</b>								

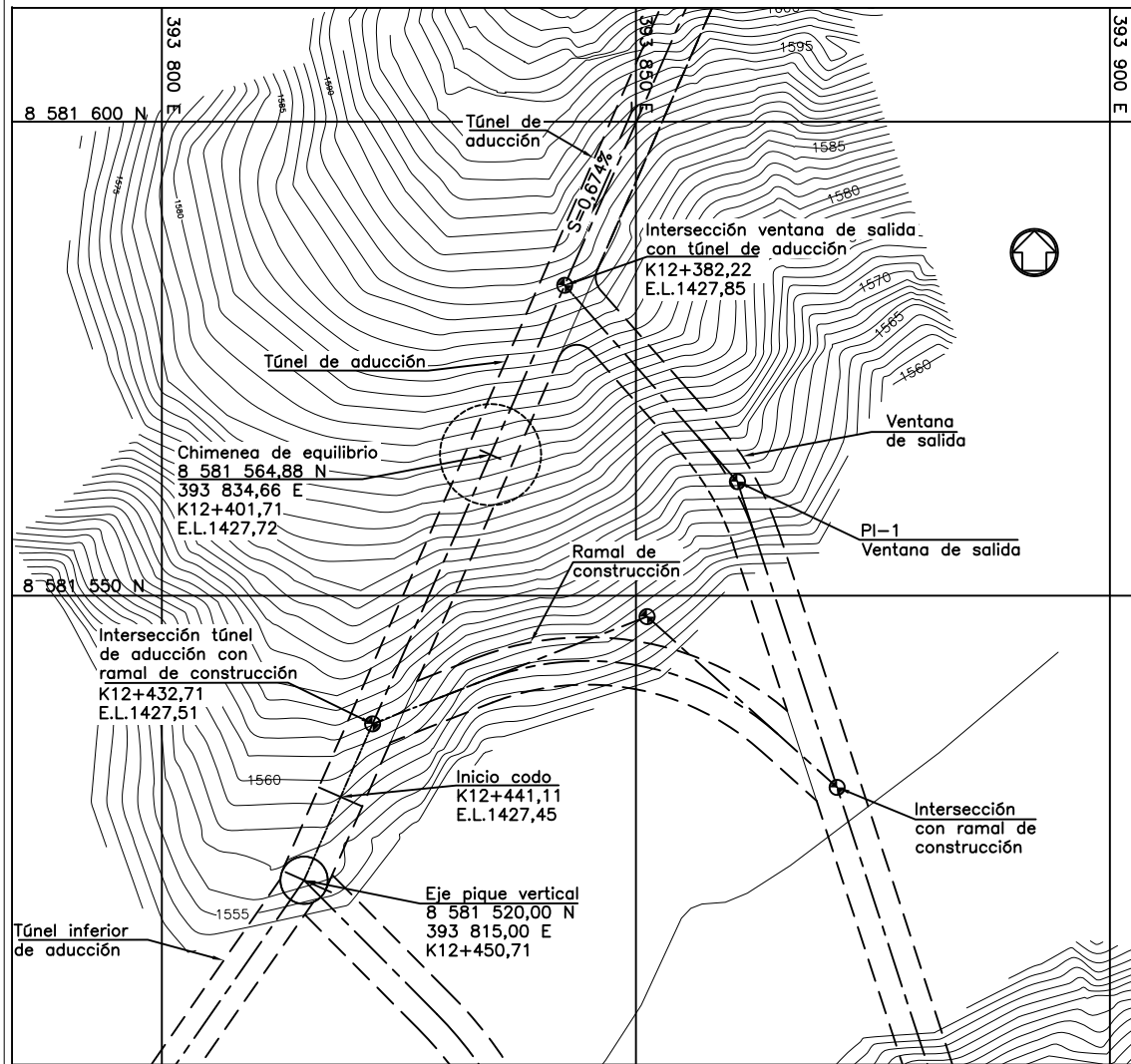


Observaciones/ Remarks:

Inspeccionado por / Inspected by :      Autorizado por / Authorized by :  
 Nivel / Level :      Firma / Sign :  
 Firma / Sign :      Fecha / Date :  
 Fecha / Date :

ANEXO 5

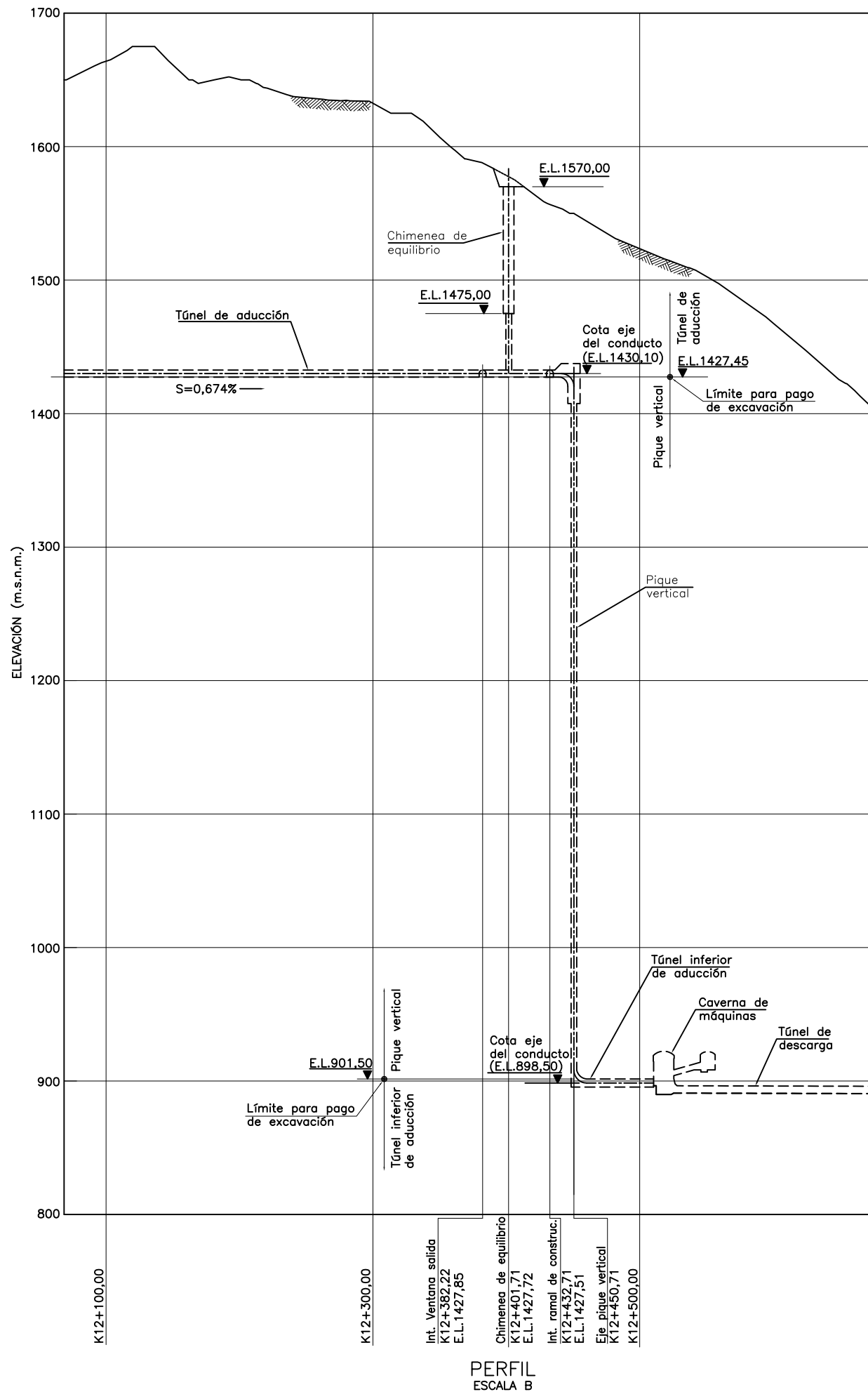
PLANOS CONSTRUCTIVOS



PLANTA DE LOCALIZACIÓN  
ESCALA A

CUADRO DE LOCALIZACIÓN - PIQUE VERTICAL				
PUNTO	DISTANCIA	COORDENADAS		ELEVACIÓN (Límite para pago de excavación)
		NORTE	ESTE	
Chimenea de equilibrio	49,00	8 581 564,88	393 834,66	
Nivel superior Pique	526,65	8 581 520,00	393 815,00	1427,45
Nivel inferior Pique		8 581 520,00	393 815,00	901,50

DATOS DE LA CURVA VERTICAL				
CURVA	Δ	R	T	L
Codo	90,00	9,60	9,60	15,08



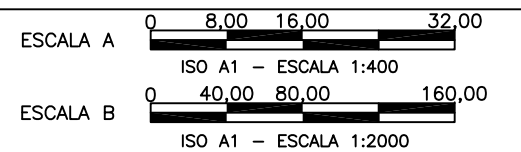
PERFIL  
ESCALA B

NOTAS

- Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto donde se indique lo contrario.
- El abscisado está referido a la proyección horizontal del eje del túnel.
- Las cotas indicadas corresponden a la subrasante del túnel. Las cotas indicadas entre paréntesis corresponden al eje del conducto.
- No se muestran detalles del túnel inferior de aducción, ni de la casa de máquinas, ni de las obras anexas, ni del túnel de descarga.

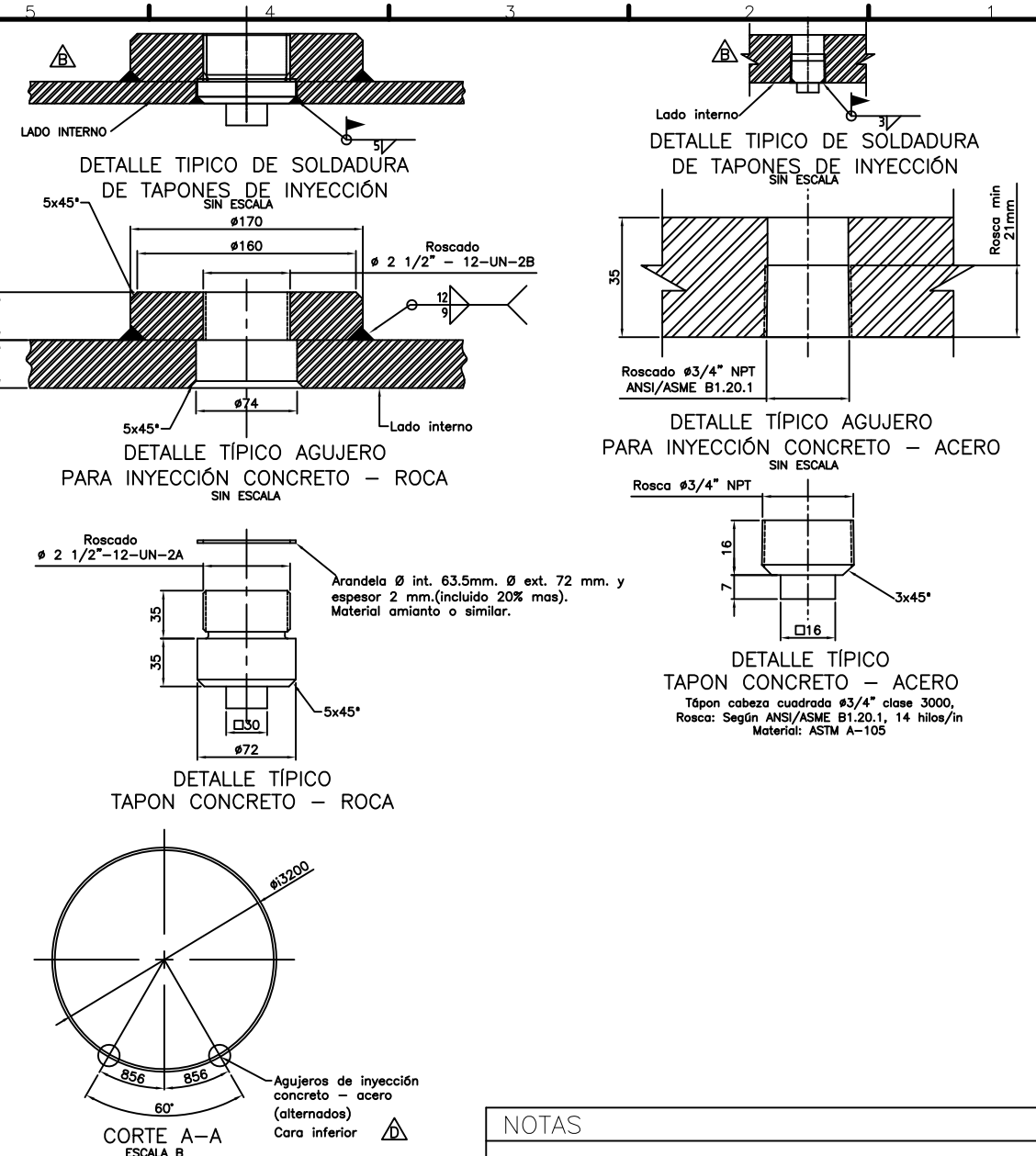
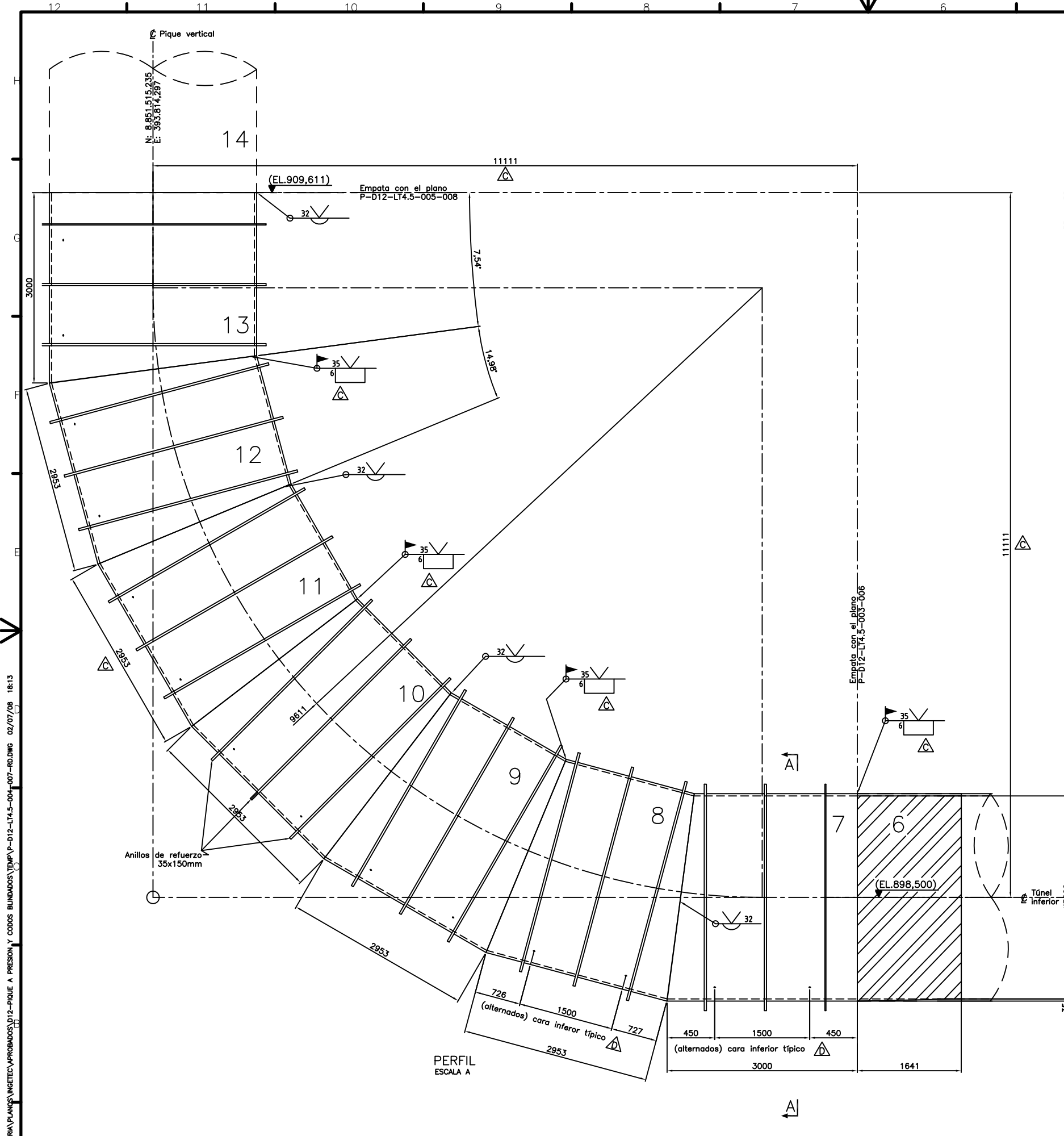
PLANOS DE REFERENCIA

- P-D10-LT4.2-021-103 Túnel de aducción superior  
Planta, perfil. K6+500 - K12+450,71
- P-D9-LT4.2-051-076 Túnel de aducción - Ventana de salida  
Localización, planta y perfil.





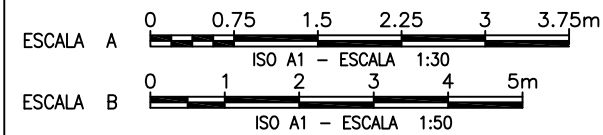




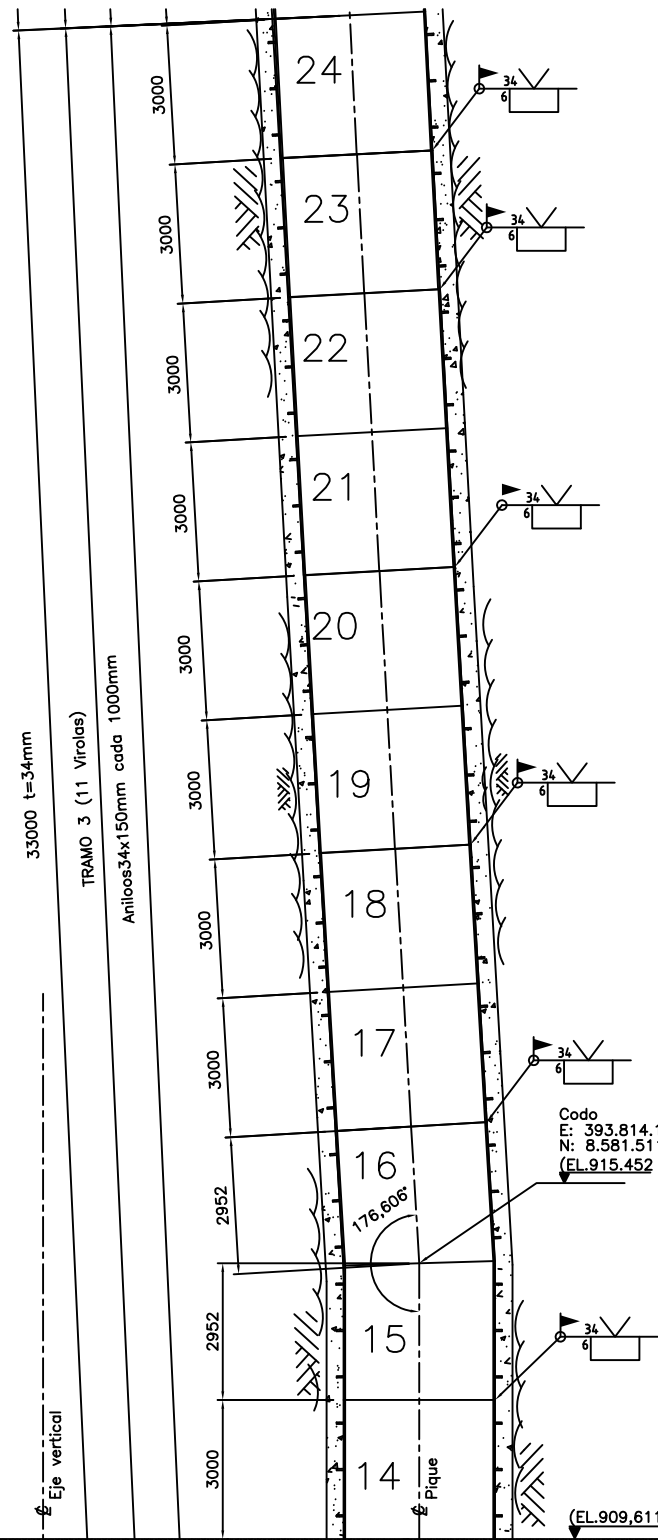
TOLERANCIAS DE FORMA		
<p>OVALIDAD</p>	Diametro (mm)	$(D_{max} - D_{min}) < 0.5\% D_n$
<p>VARIACIÓN PERMISIBLE PERÍMETRO TEÓRICO</p>	3200	$\Delta p = 15\text{mm}$
<p>REDONDEZ</p>	3200	$\Delta h < \pm \left[ \frac{2h}{1000} + \frac{2h}{1000} + 0.5 \right] \text{mm}$
<p>ALINEAMIENTO RESPECTO A LA GENERATRIZ</p>	3200	$\Delta f < \left[ \frac{2f}{1000L} \right] \text{mm}$

- NOTAS**
- Todas las dimensiones están dadas en milímetros excepto donde se indique otra unidad
  - La única sección del codo que cuenta con agujeros de inyección es el gajo horizontal
  - El acero en que deberán ser fabricadas las virolas, los anillos de refuerzo y los tapones de inyección concreto - roca corresponde a SUMITEN 780S. El material de los tapones de inyección concreto - acero es ASTM A105.
  - Los detalles de bisel y soldaduras que fueron presentados en la revisión 0 se presentan en el plano P-D12-LT4.5-034-057

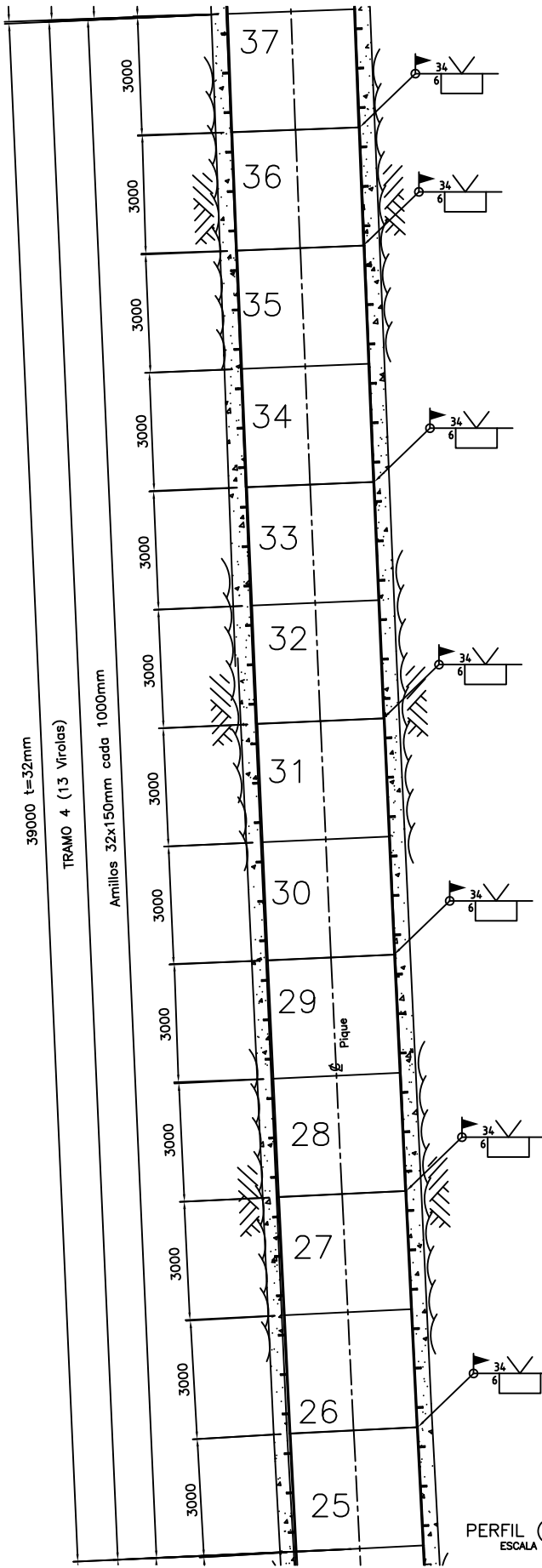
- REFERENCIA**
- DM-TA-151 *Diseño del sostenimiento de Túnel, chimenea de equilibrio y pique vertical*
  - P-D12-LT4.5-001-004 *Blindaje Conjunto general Corte longitudinal*
  - P-D12-LT4.5-003-006 *Blindaje Túnel Inferior Virolas Marca 1 a 6 Subconjunto*
  - P-D12-LT4.5-005-008 *Blindaje Pique Vertical Virolas Marca 14 a 15 Subconjunto*



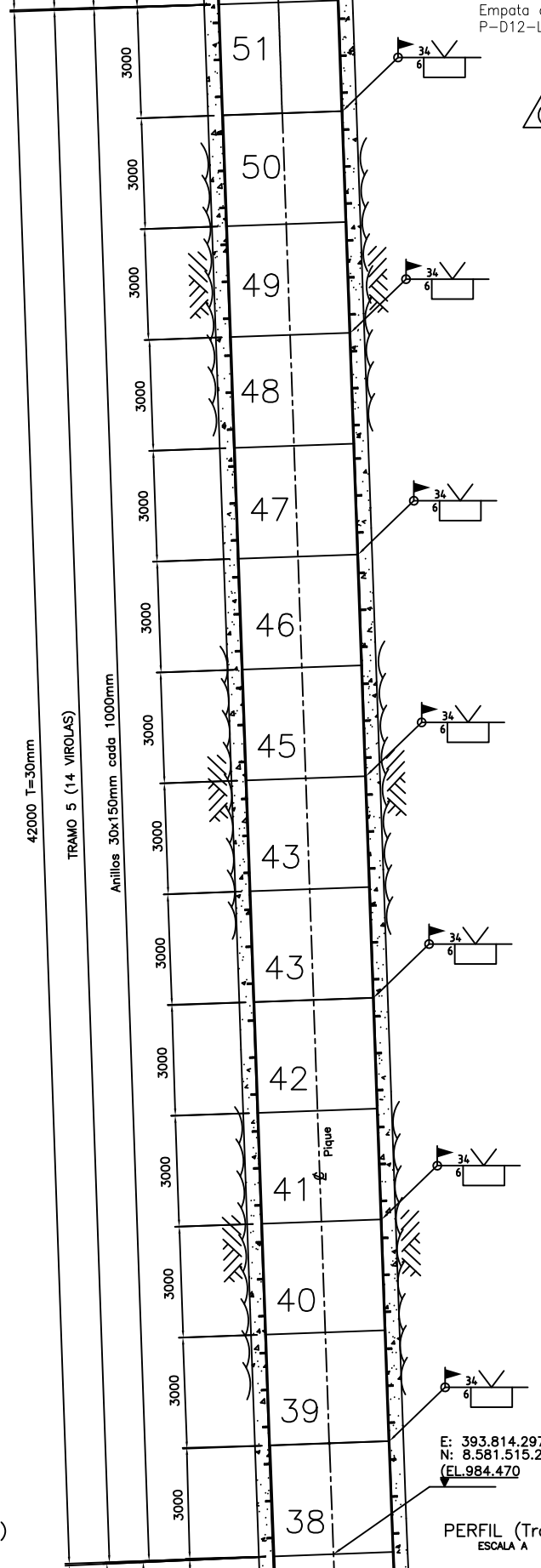
Empata con el plano  
P-D12-LT4.5-005-009



PERFIL (Tramo 3)  
ESCALA A



PERFIL (Tramo 4)  
ESCALA A

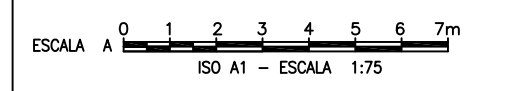


PERFIL (Tramo 5)  
ESCALA A

TOLERANCIAS DE FORMA		
	Diámetro (mm) 3200	$(D_{max} - D_{min}) < 0.5\% D_n$
	3200	$\Delta p = 15\text{mm}$
	3200	$\Delta h < \pm \left[ \frac{2r}{1000} + 20 + 0.5 \right] \text{mm}$
	3200	$\Delta f < \left[ \frac{2}{1000} L \right] \text{mm}$

- NOTAS**
1. Todas las dimensiones están dadas en milímetros excepto donde se indique otra unidad
  2. El espesor "e" es variable entre 34mm y 30mm entre los tramos indicados
  3. No se indican las soldaduras de taller
  4. El acero en que deberán ser fabricadas las virolas, los anillos de refuerzo y los tapones de inyección concreto - roca y concreto acero, corresponde a SUMITEN 780S.
  5. Los detalles de bisels y soldaduras que fueron presentados en la revisión 0 se presentan en el plano P-D12-LT4.5-034-057
  6. Ajuste de montaje previsto en las juntas de campo en las virolas 16 a la 39

- REFERENCIA**
- P-D12-LT4.5-001-004 Blindaje pique vertical Conjunto general Corte longitudinal
  - P-D12-LT4.5-004-007 Blindaje Codo inferior Cortes y detalles
  - P-D12-LT4.5-006-009 Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 52 a 101 Subconjunto



INGENIERIA PLANTAS INGENIERIA CONSULTORES S.A. - P. 01/19/08 08:59  
 PRESSION Y CORROS. BUENOS AIRES S.A. - P. 01/19/08 08:59

**CELEPSA**  
LIMA - PERU

**ARPL** ARPL TECNOLOGIA INDUSTRIAL S.A.

PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL PLATONAL  
DISEÑO DEFINITIVO Y ASESORIA TÉCNICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN  
BLINDAJE PIQUE VERTICAL  
VIROLAS MARCAS 14 A 51  
SUBCONJUNTO

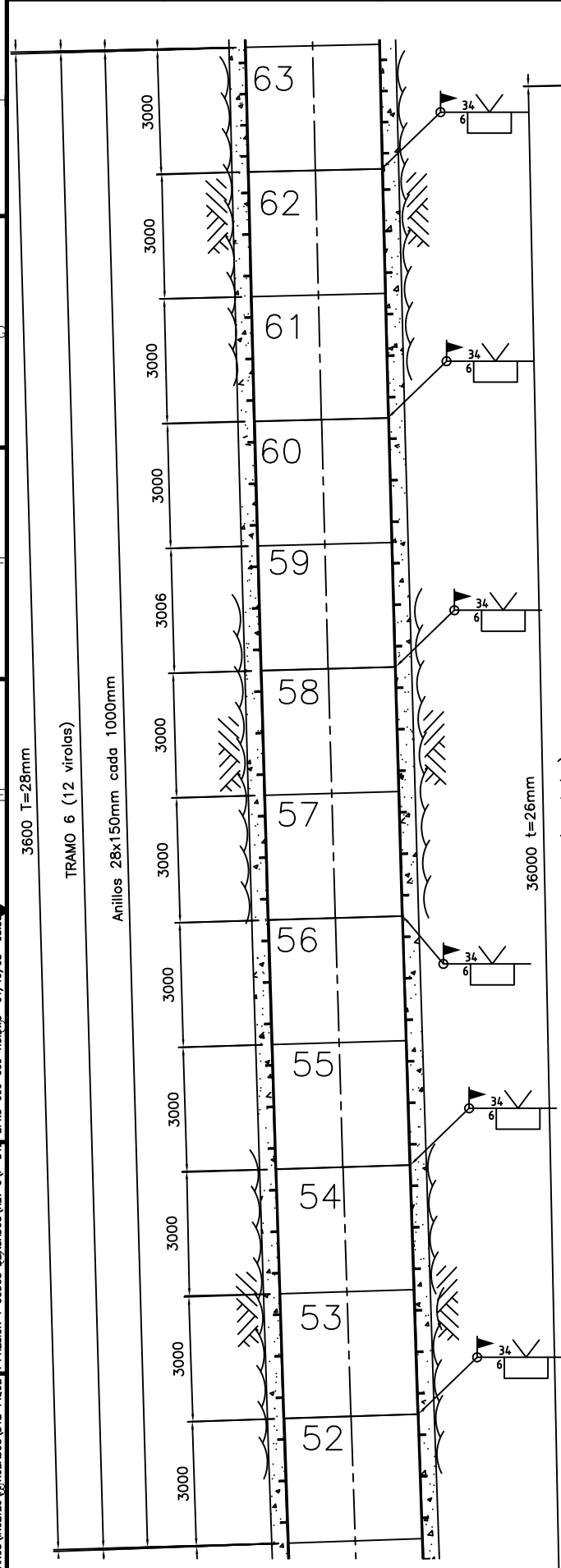
**INGETEC S.A.**  
INGENIEROS CONSULTORES

Preparó:	H. Novoa	Vo. Bo. Director de Proyecto:	F. Amaya
Vo. Bo. Revisor:	H. Castro	Vo. Bo. Jefe Lote de Trabajo:	R. Gutiérrez

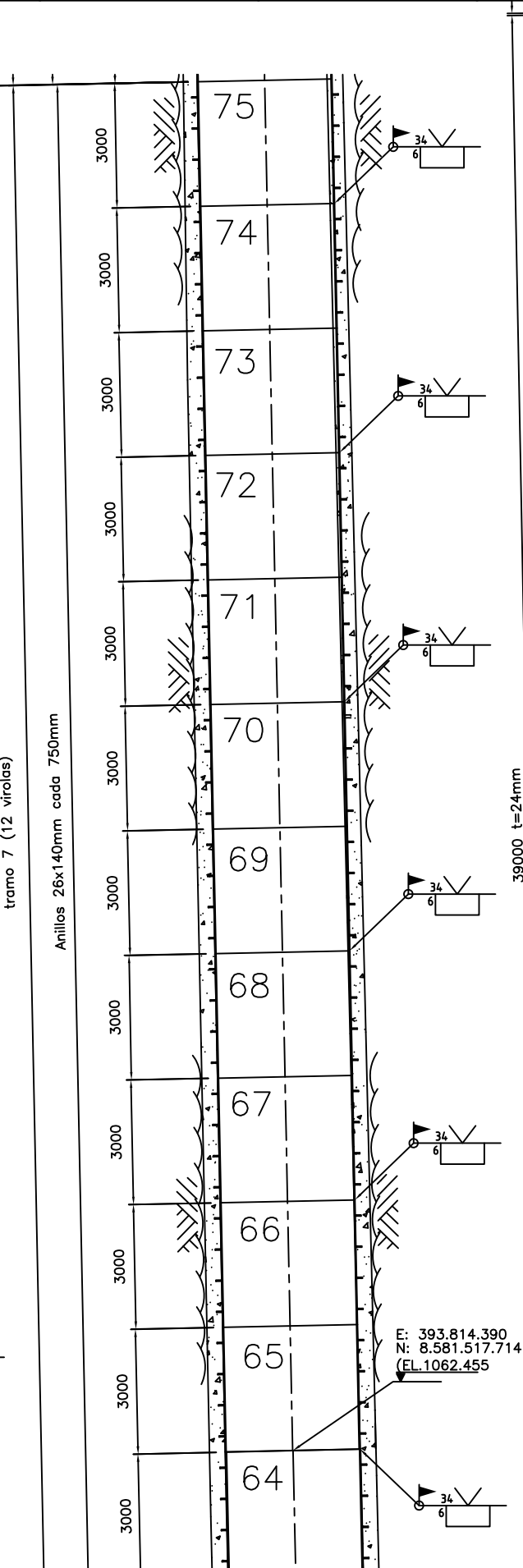
REV	FECHA	MODIFICACIÓN	Vo. Bo. Revisor	Vo. Bo. Jefe Lote de Trabajo	No. Bo. Director de Proyecto
10-12-07		Revisión general - Diseño pique			
2-10-07		Modificación soldadura			

INFORMACIÓN ARCHIVO MAGNÉTICO	Plano No.: P-D12-LT4.5-005-008
Ruta archivo:	Consecutivo Plano: 008
Archivo: P-D12-LT4.5-005-008-RC.DWG	ESCALA: INDICADAS
Dibujó: J. Barreto	FECHA: 10-12-07
Versión CAD: 2000i	REVISIÓN: RC
Escala impresión: 1:1	HOJA Nº: 1 DE 1

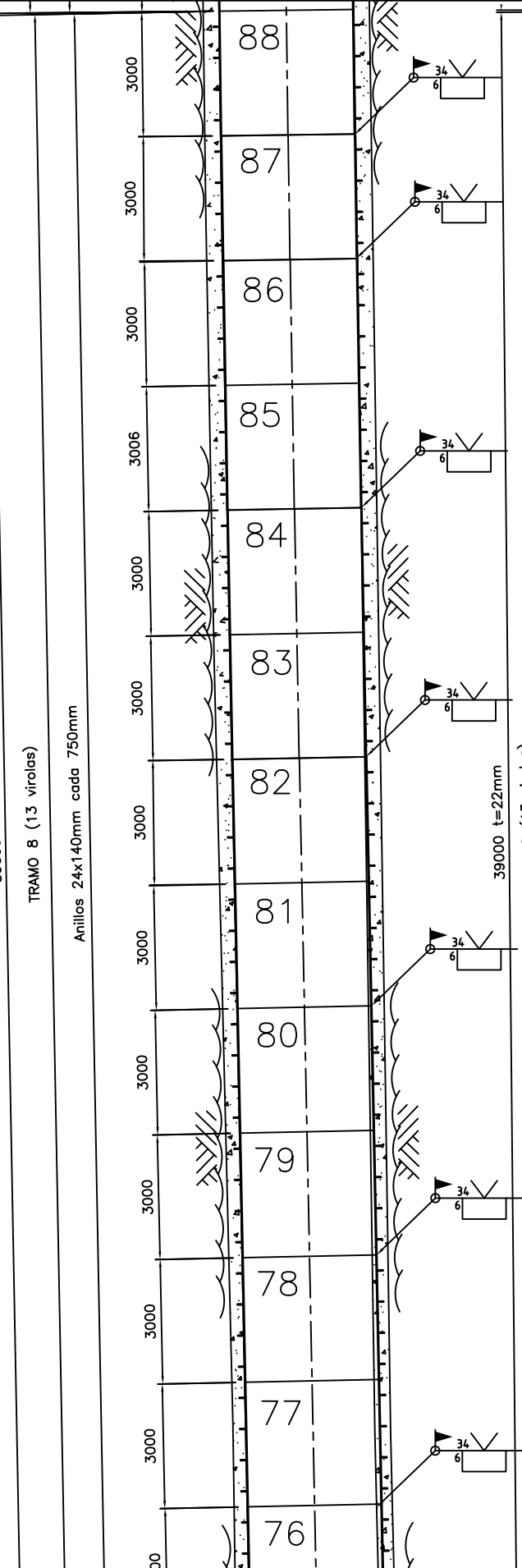
L:\SUBPROY- INGENIERIA PLANOS INGENIERIA\PROBADO\12-PIQUE P- D12-LT4.5-006-009-RC.DWG 01/19/08 08:53



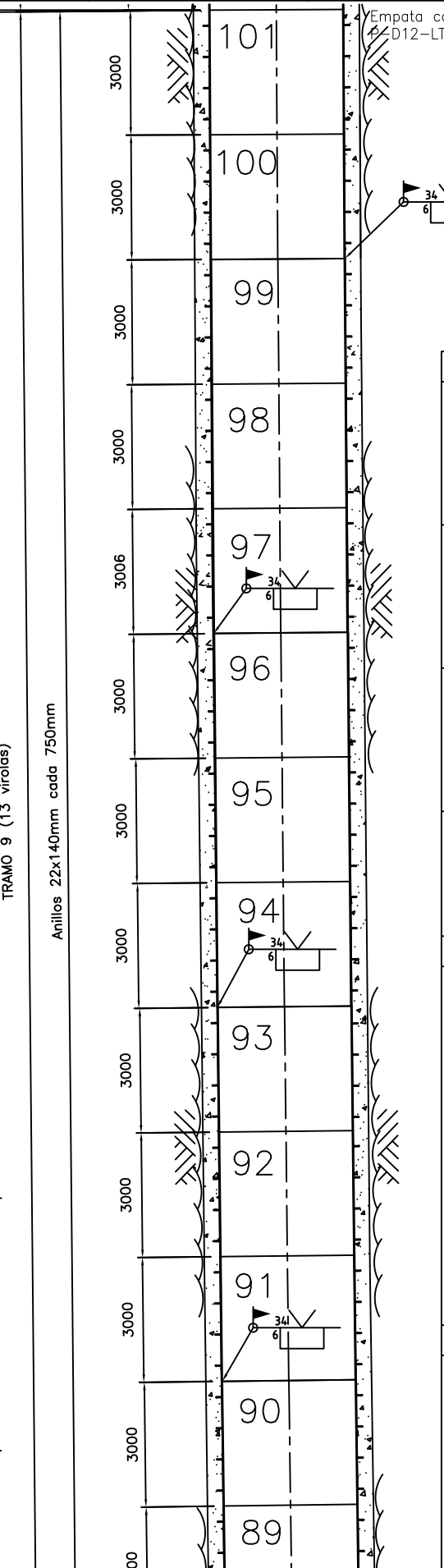
Empata con el plano P-D12-LT4.5-005-008  
PERFIL (Tramo 6)  
ESCALA A



PERFIL (Tramo 7)  
ESCALA A



PERFIL (Tramo 8)



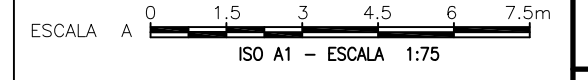
PERFIL (Tramo 9)

Empata con el plano P-D12-LT4.5-007-010

TOLERANCIAS DE FORMA		
 OVALIDAD	Diametro (mm) 3200	$(D_{max} - D_{min}) < 0.5\% D_n$
 VARIACIÓN PERMISIBLE PERÍMETRO TEÓRICO	3200	$\Delta p = 15mm$
 REDONDEZ	3200	$\Delta h < \pm \left[ \frac{2R}{1000} + 0.5 \right] mm$
 ALINEAMIENTO RESPECTO A LA GENERATRIZ	3200	$\Delta f < \left[ \frac{2L}{1000} \right] mm$

- NOTAS**
- Todas las dimensiones están dadas en milímetros excepto donde se indique otra unidad
  - El espesor "e" es variable entre 28mm y 22mm entre los tramos indicados
  - No se muestran las soldaduras de taller
  - El acero en que deberán ser fabricadas las virolas, los anillos de refuerzo y los tapones de inyección concreto - roca y concreto acero, corresponde a SUMITEN 780S.
  - Los detalles de biselos y soldaduras que fueron presentados en la revisión 0 se presentan en el plano P-D12-LT4.5-034-057
  - Ajuste de montaje previsto en las juntas de campo en las virolas 50 a la 65 y 82 a la 101

- REFERENCIA**
- P-D12-LT4.5-001-004 Blindaje Conjunto general Corte longitudinal
  - P-D12-LT4.5-005-008 Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 14 a 51 Subconjunto
  - P-D12-LT4.5-007-010 Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 102 a 144 Subconjunto



CELEPSA LIMA - PERU

ARPL TECNOLOGIA INDUSTRIAL S.A.

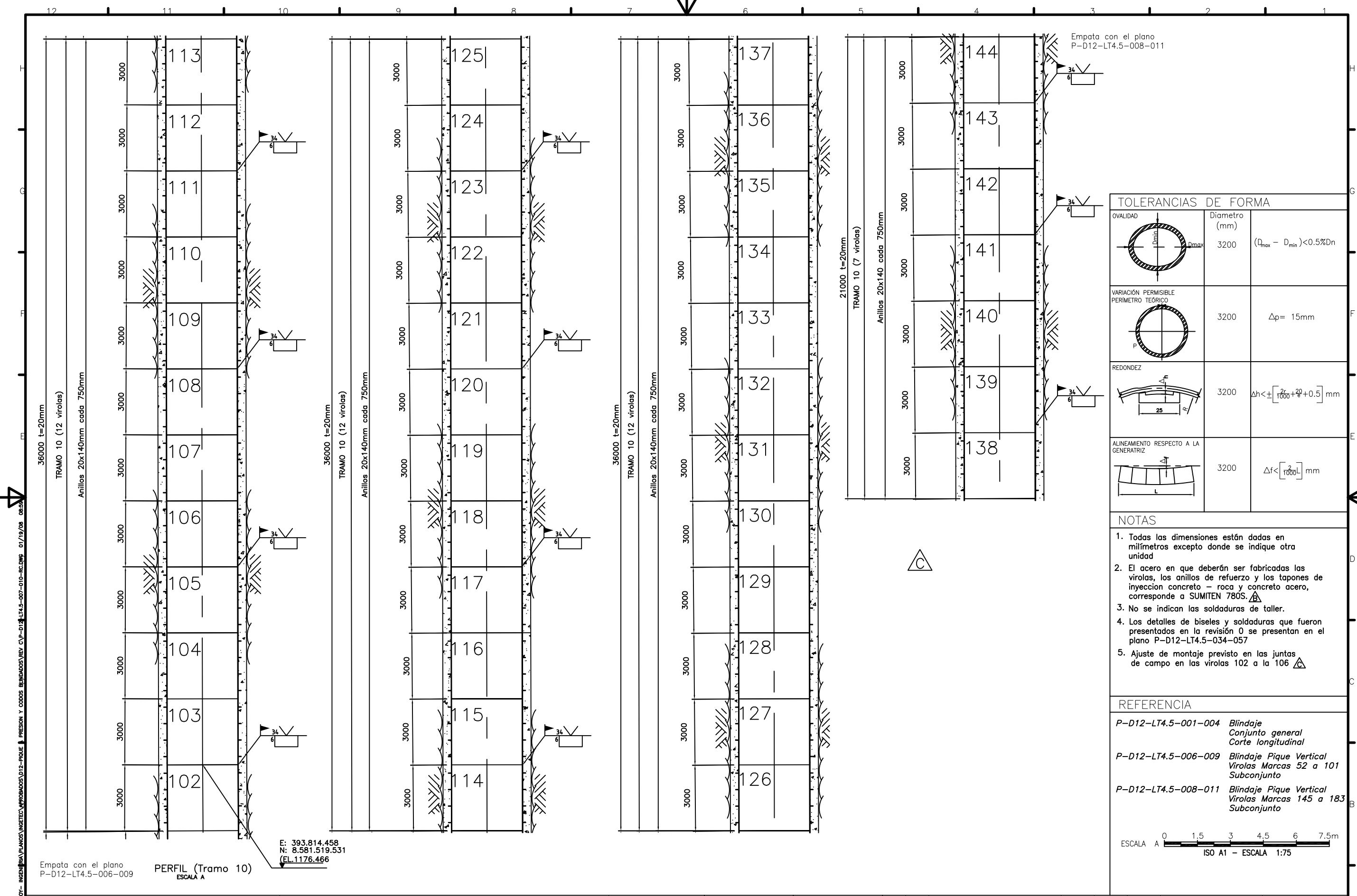
PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL PLATANAL  
DISEÑO DEFINITIVO Y ASESORIA TÉCNICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN  
BLINDAJE PIQUE VERTICAL  
VIROLAS MARCAS 52 A 101  
SUBCONJUNTO

INGETEC S.A.  
INGENIEROS CONSULTORES

Preparó:	H. Novoa	V. Bo. Director de Proyecto:	F. Amaya
V. Bo. Revisor:	H. Castro	V. Bo. Jefe Lote de Trabajo:	R. Gutiérrez

REV	FECHA	MODIFICACIÓN
12-12-07		Revisión general - Desvío pique
16-08-07		Modificación soldadura

INFORMACIÓN ARCHIVO MAGNÉTICO	Plano No.: P-D12-LT4.5-006-009
Ruta archivo:	Consecutivo Plano: 009
Archivo: P-D12-LT4.5-006-009-RC.DWG	ESCALA: INDICADAS
Dibujó: J. Barreto	FECHA: 16-12-07
Versión CAD: 2000i	REVISIÓN: RC
ESCALA impresión: 1:1	HOJA N°: 1 DE 1



TOLERANCIAS DE FORMA		
OVALIDAD 	Diámetro (mm) 3200	$(D_{max} - D_{min}) < 0.5\% D_n$
VARIACIÓN PERMISIBLE PERIMETRO TEÓRICO 	3200	$\Delta p = 15\text{mm}$
REDONDEZ 	3200	$\Delta h < \pm \left[ \frac{2}{1000} + \frac{20}{L} + 0.5 \right] \text{mm}$
ALINEAMIENTO RESPECTO A LA GENERATRIZ 	3200	$\Delta f < \left[ \frac{2}{1000} L \right] \text{mm}$

- NOTAS**
1. Todas las dimensiones están dadas en milímetros excepto donde se indique otra unidad.
  2. El acero en que deberán ser fabricadas las virolas, los anillos de refuerzo y los tapones de inyección concreto - roca y concreto acero, corresponde a SUMITEN 780S.
  3. No se indican las soldaduras de taller.
  4. Los detalles de biselos y soldaduras que fueron presentados en la revisión 0 se presentan en el plano P-D12-LT4.5-034-057.
  5. Ajuste de montaje previsto en las juntas de campo en las virolas 102 a la 106.

**REFERENCIA**

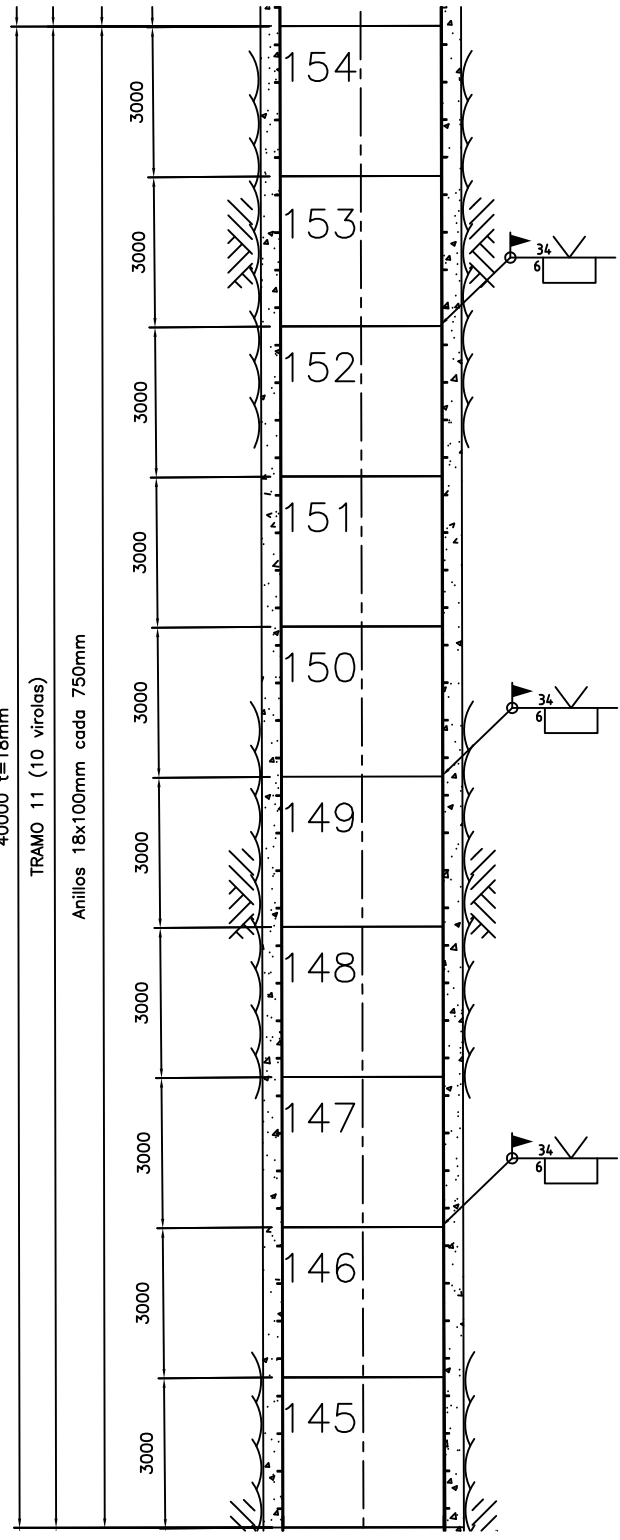
P-D12-LT4.5-001-004 *Blindaje Conjunto general Corte longitudinal*

P-D12-LT4.5-006-009 *Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 52 a 101 Subconjunto*

P-D12-LT4.5-008-011 *Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 145 a 183 Subconjunto*

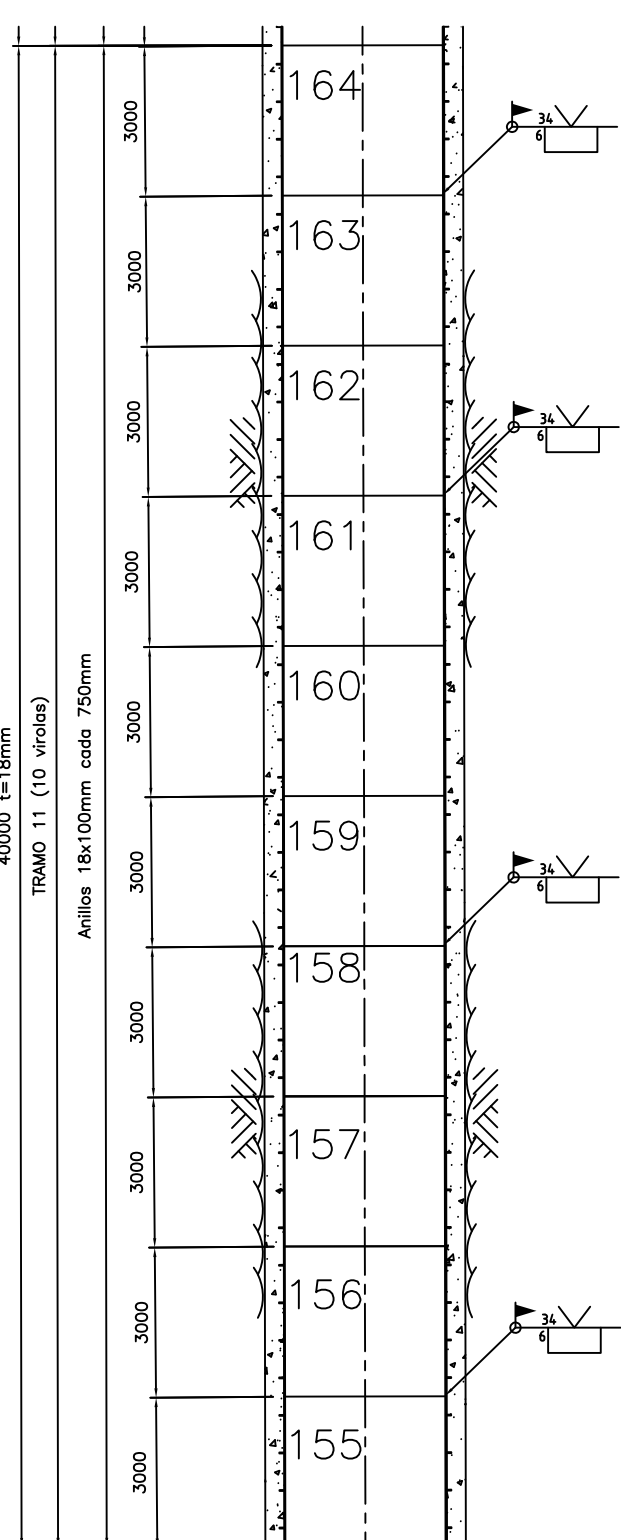
ESCALA A ISO A1 - ESCALA 1:75

<b>CELEPSA</b> LIMA - PERU <b>ARPL TECNOLOGIA INDUSTRIAL S.A.</b>	PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL PLATANAL DISEÑO DEFINITIVO Y ASESORÍA TÉCNICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN BLINDAJE PIQUE VERTICAL VIROLAS MARCAS 102 A 144 SUBCONJUNTO	<b>INGETEC S.A.</b> INGENIEROS CONSULTORES	Preparó:	Va. Bo. Director de Proyecto:	<table border="1"> <tr> <th>REV</th> <th>FECHA</th> <th>MODIFICACIÓN</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>12-12-07</td> <td>Revisión general-Desvío pique.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>10-07</td> <td>Modificación soldadura</td> </tr> </table>	REV	FECHA	MODIFICACIÓN	1	12-12-07	Revisión general-Desvío pique.	2	10-07	Modificación soldadura	H. Novoa F. Amayo	INFORMACIÓN ARCHIVO MAGNÉTICO Ruta archivo:	Plano No.: P-D12-LT4.5-007-010 Consecutivo Plano: 010
			REV	FECHA		MODIFICACIÓN											
1	12-12-07	Revisión general-Desvío pique.															
2	10-07	Modificación soldadura															
Vo. Bo. Revisor: H. Castro	Vo. Bo. Jefe Lote de Trabajo: R. Gutiérrez	Versión CAD: 2000i Escala Impresión: 1:1	Fecha: 12-12-07 REVISIÓN: RC HOJA N°: 1 DE 1														



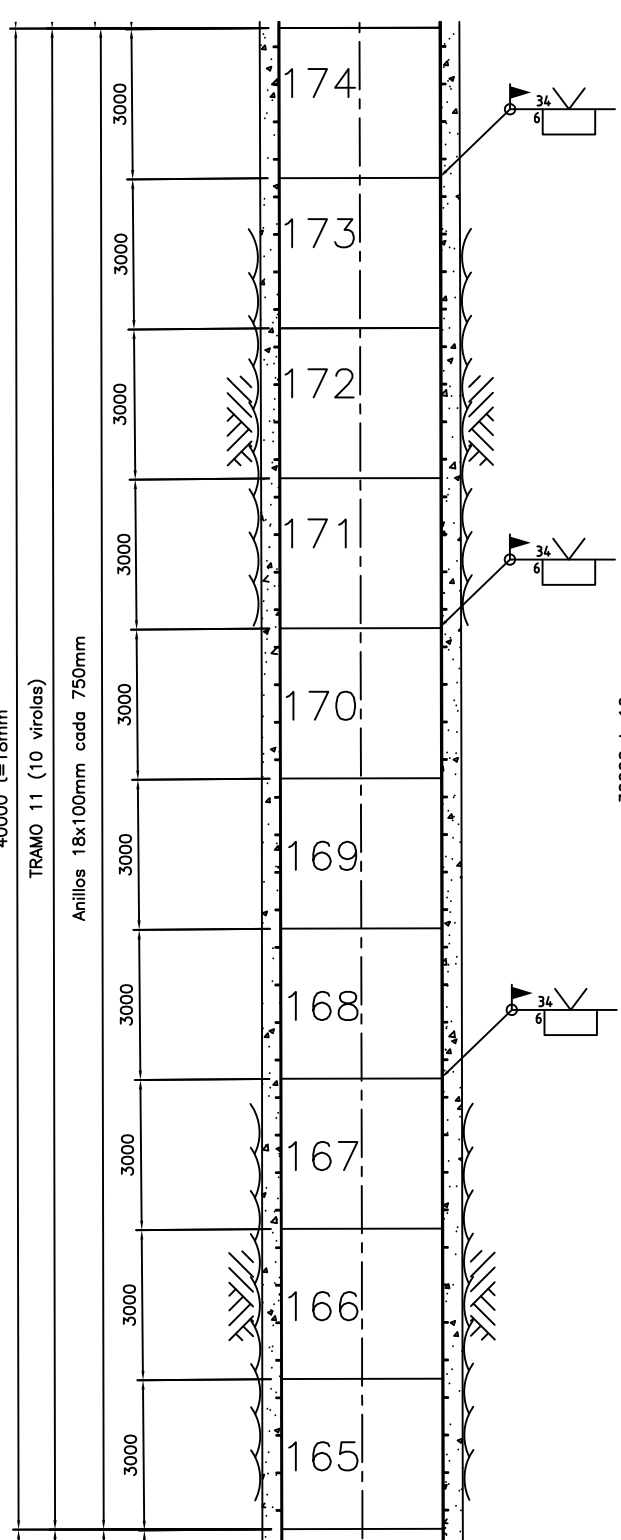
PERFIL (Tramo 11)  
ESCALA A

Empata con el plano  
P-D12-LT4.5-007-010



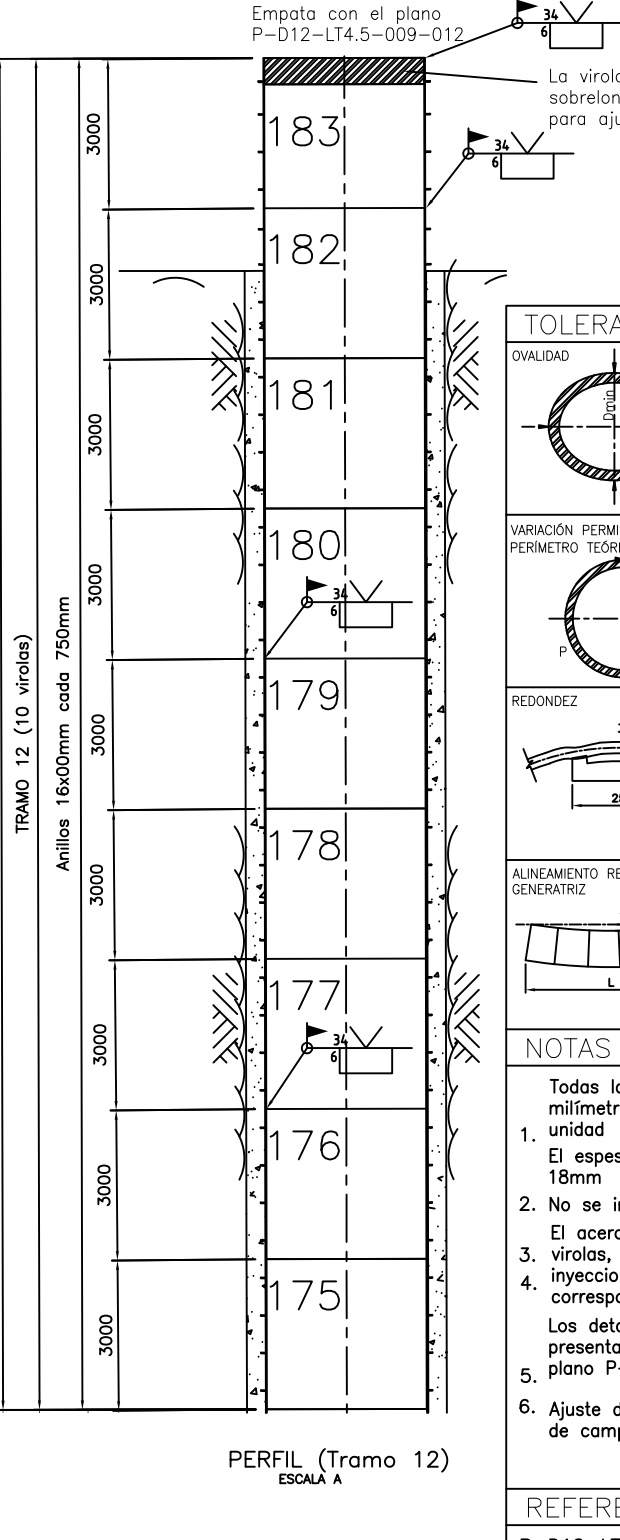
PERFIL (Tramo 11)  
ESCALA A

Empata con el plano  
P-D12-LT4.5-007-010



PERFIL (Tramo 11)  
ESCALA A

Empata con el plano  
P-D12-LT4.5-009-012



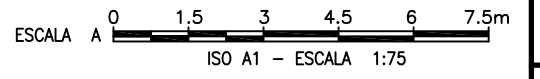
PERFIL (Tramo 12)  
ESCALA A

La virola 183 cuenta con una  
sobrelongitud de 523mm  
para ajuste durante el montaje.

TOLERANCIAS DE FORMA		
 OVALIDAD	Diametro (mm) 3200	$(D_{max} - D_{min}) < 0.5\% D_n$
 VARIACION PERMISIBLE PERIMETRO TEORICO	3200	$\Delta p = 15mm$
 REDONDEZ	3200	$\Delta h < \pm \left[ \frac{2e}{1000} + 20 + 0.5 \right] mm$
 ALINEAMIENTO RESPECTO A LA GENERATRIZ	3200	$\Delta f < \left[ \frac{2}{1000} L \right] mm$

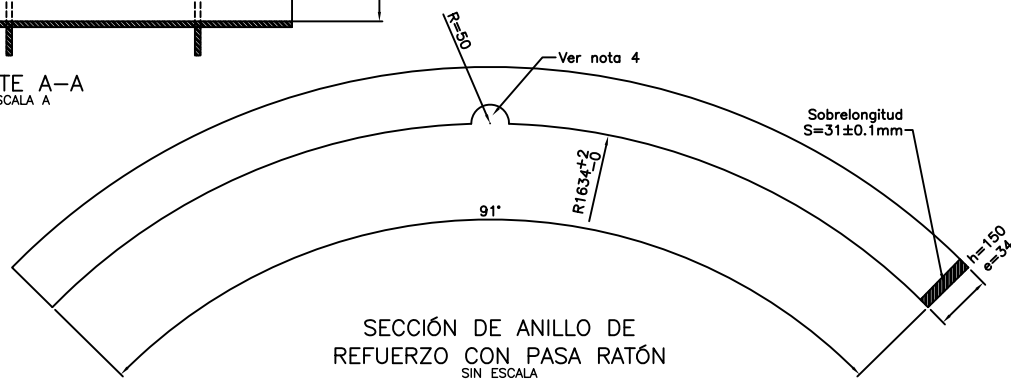
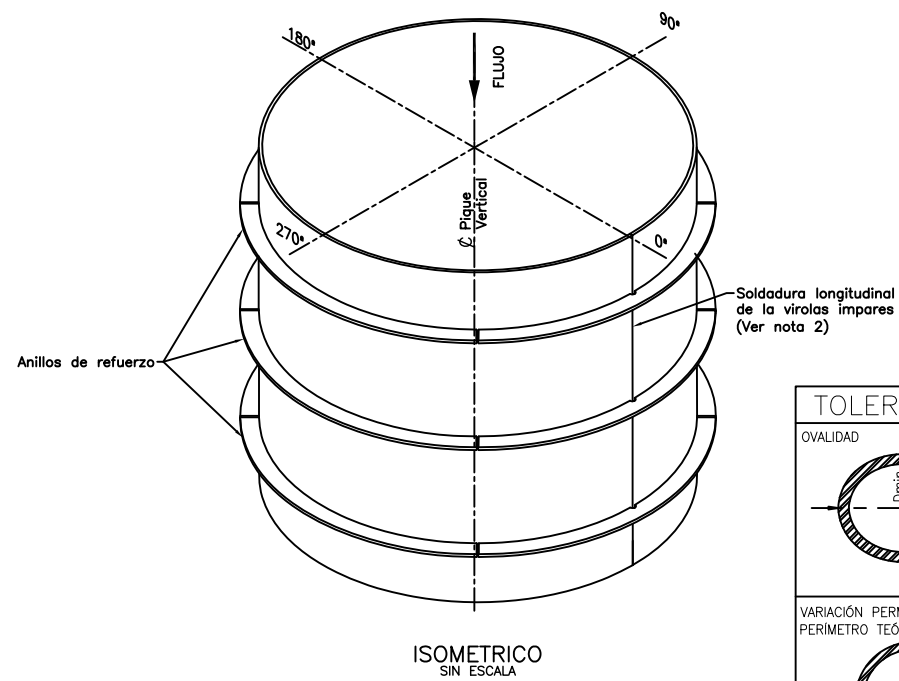
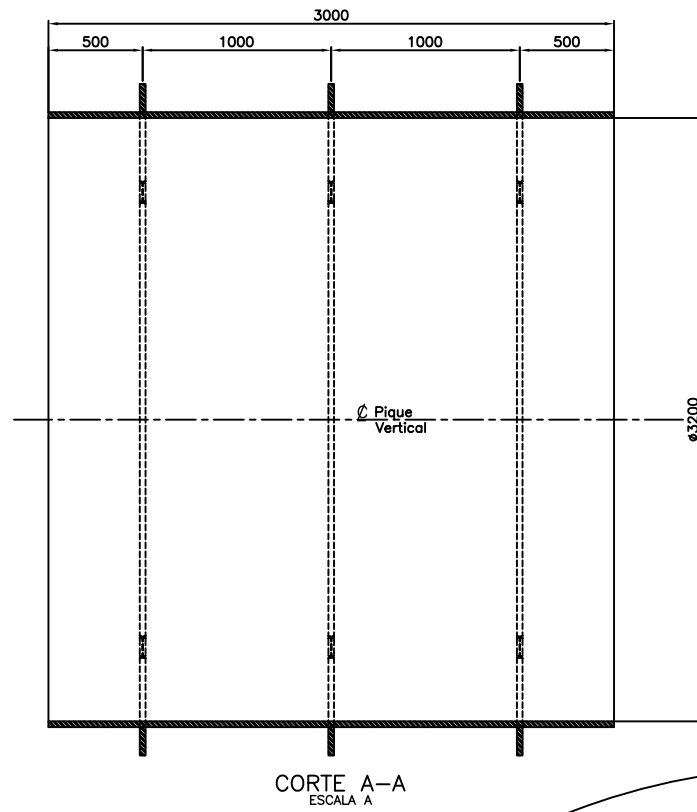
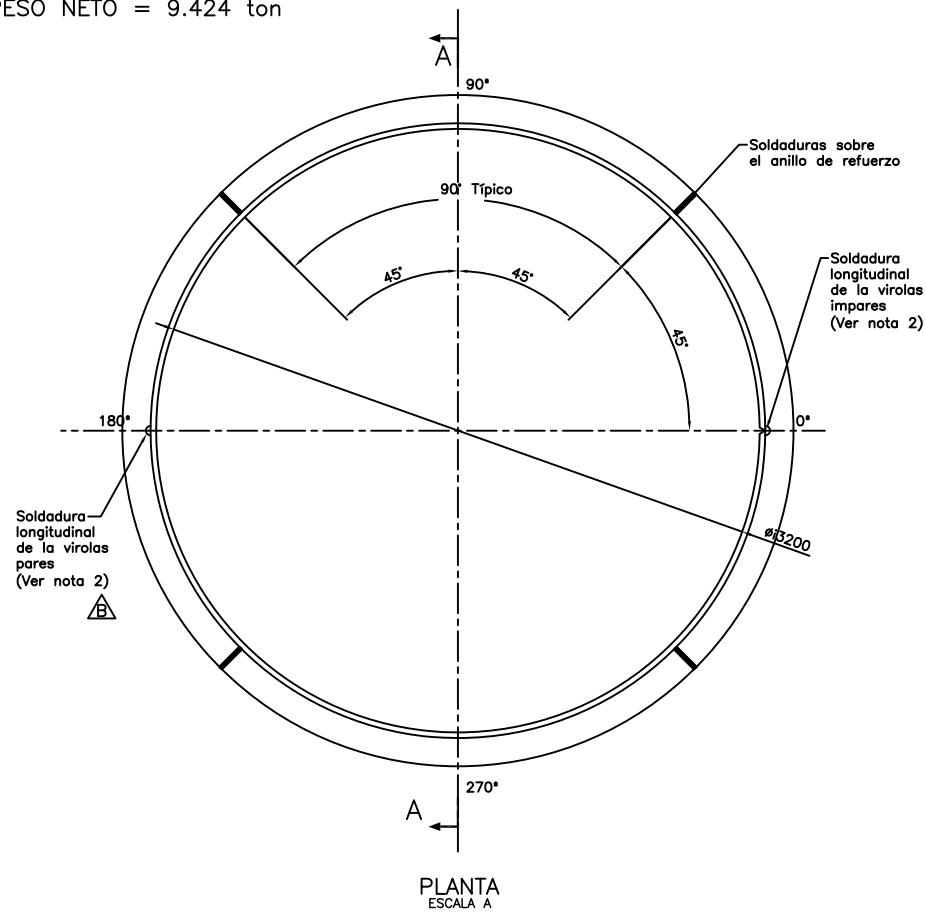
- NOTAS**
- Todas las dimensiones están dadas en milímetros excepto donde se indique otra unidad. El espesor "e" es variable entre 16 y 18mm.
  - No se indican las soldaduras de taller.
  - El acero en que deberán ser fabricadas las virolas, los anillos de refuerzo y los tapones de inyección concreto - roca y concreto acero, corresponde a SUMITEN 780S.
  - Los detalles de biselos y soldaduras que fueron presentados en la revisión 0 se presentan en el plano P-D12-LT4.5-034-057.
  - Ajuste de montaje previsto en las juntas de campo en las virolas 180 a la 183.

- REFERENCIA**
- P-D12-LT4.5-001-004 Blindaje Conjunto general Corte longitudinal
  - P-D12-LT4.5-007-010 Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 102 a 144 Subconjunto
  - P-D12-LT4.5-009-012 Blindaje Codo Superior Virolas Marcas 184 a 190 Subconjunto



LA SUBPROY- INGENIERIA PLANOS INGENIERIA PROYECTOS D12-PIQUE PRESION Y CODOS REINFORZADOS REV. C.V.P-D12-LT4.5-008-011-RC.DWG 01/19/08 09:30

APLICA PARA LAS VIOLAS MARCAS 14 Y 17 A 24  $\triangle$   
 CANTIDAD TOTAL DE VIOLAS = 9  
 ESPESOR DEL MATERIAL = 34mm  
 CANTIDAD DE VIOLAS IMPARES 4  
 CANTIDAD DE VIOLAS PARES 5  
 PESO NETO = 9.424 ton



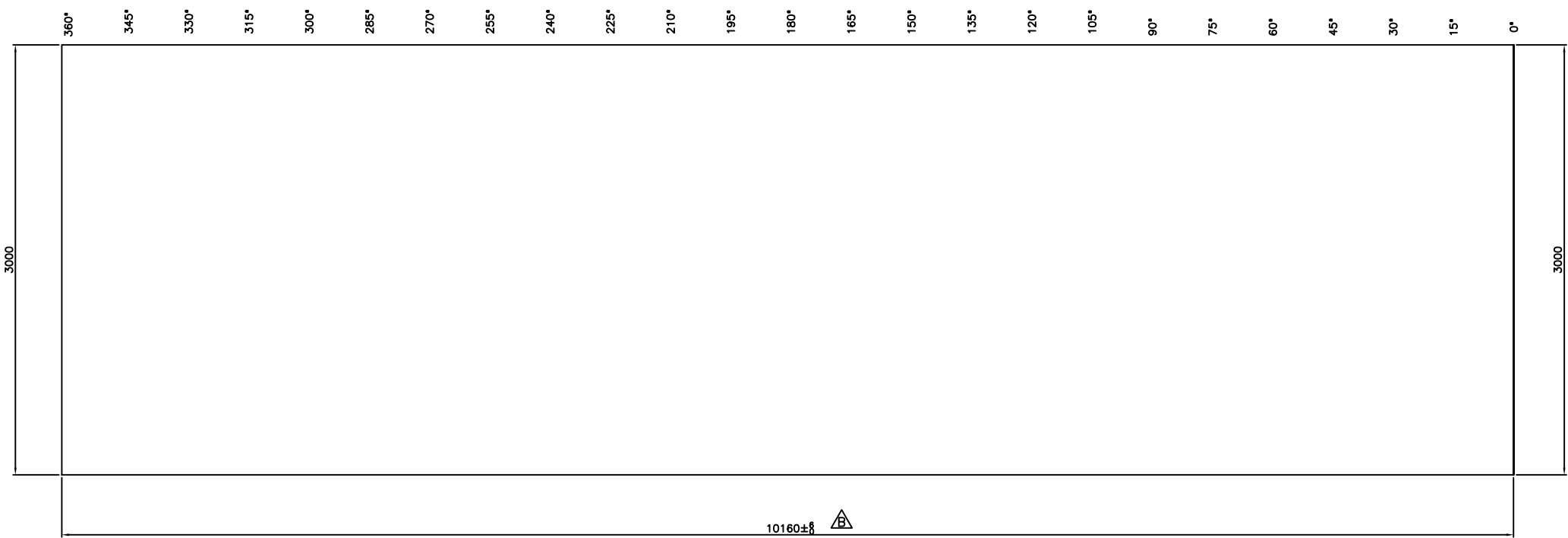
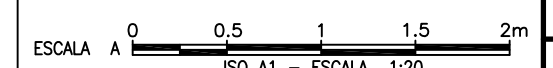
TOLERANCIAS DE FORMA		
OVALIDAD 	Diametro (mm) 3200	$(D_{max} - D_{min}) < 0.5\% D_n$
VARIACIÓN PERMISIBLE PERÍMETRO TEÓRICO 	3200	$\Delta p = 15\text{mm}$
REDONDEZ 	3200	$\Delta h < \pm \left[ \frac{2r}{1000} + 20 + 0.5 \right] \text{mm}$
ALINEAMIENTO RESPECTO A LA GENERATRIZ 	3200	$\Delta f < \left[ \frac{2}{1000} L \right] \text{mm}$

- NOTAS**
1. Todas las dimensiones están dadas en milímetros excepto donde se indique otra unidad
  2. La costura longitudinal de la violas se encuentra ubicada sobre 0° para las violas impares y sobre 180° para la pares.
  3. El acero en que deberán ser fabricadas las violas, los anillos de refuerzo y los tapones de inyección concreto - roca y concreto acero, corresponde a SUMITEN 780S.  $\triangle$
  4. El pasa ratón solo aplica para la sección de anillo que se localiza sobre la costura longitudinal de la violas
  5. Los detalles de biselés y soldaduras que fueron presentados en la revisión 0 se presentan en el plano P-D12-LT4.5-034-057
  6. En el desarrollo no se muestra la sobrelongitud para rolado

**REFERENCIA**

P-D12-LT4.5-001-004 Blindaje pique vertical Conjunto general Corte longitudinal

P-D12-LT4.5-005-008 Blindaje Pique Vertical Violas Marcas 14 y 17 a 24 Subconjunto



10160±8  $\triangle$   
 DESARROLLO  
 ESCALA A

**CELEPSA**  
LIMA - PERU

**ARPL**  
ARPL TECNOLOGIA INDUSTRIAL S.A.

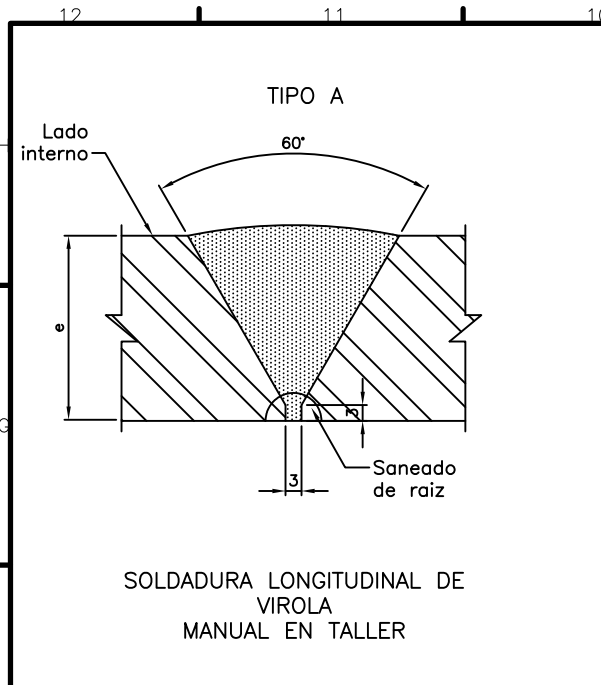
PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL PLATANAL  
 DISEÑO DEFINITIVO Y ASESORÍA TÉCNICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN  
 BLINDAJE PIQUE VERTICAL  
 VIOLA MARCA 14 Y 17 A 24  
 DETALLES

**INGETEC S.A.**  
INGENIEROS CONSULTORES

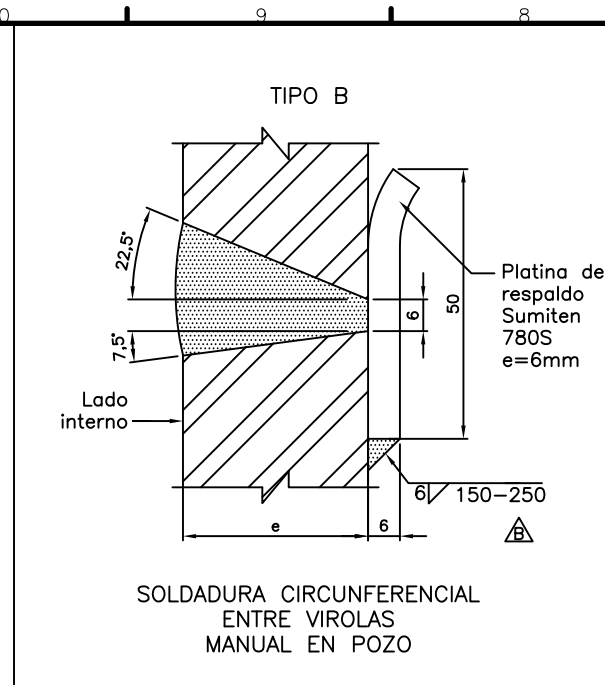
Preparó: H. Novoa	Vo. Bo. Director de Proyecto: F. Amaya
Vo. Bo. Revisor: H. Castro	Vo. Bo. Jefe Lote de Trabajo: R. Gutiérrez

REV	FECHA	MODIFICACIÓN	Vo. Bo. Revisor	Vo. Bo. Jefe Lote de Trabajo	Vo. Bo. Director de Proyecto
	12-12-07	Se anuló violas 15 y 16- desvia pique			
	1-08-07	Revisión general			

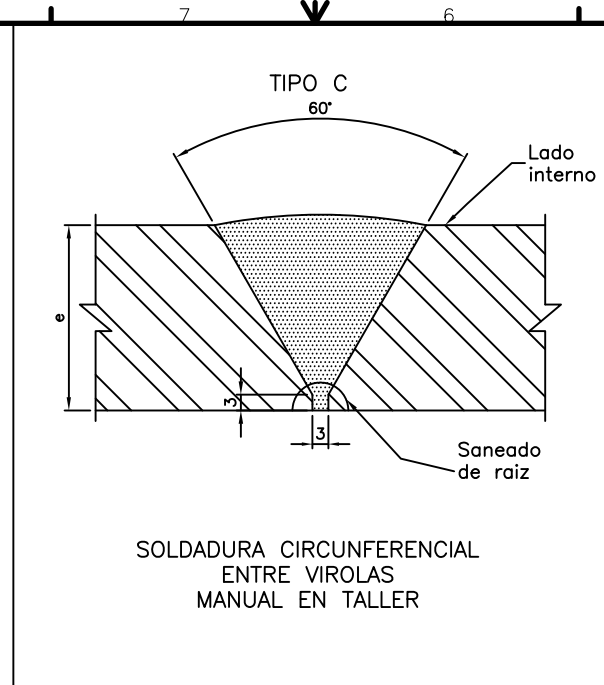
INFORMACIÓN ARCHIVO MAGNÉTICO	Plano No.: P-D12-LT4.5-015-018
Ruta archivo:	Consecutivo Plano: 018
Archivo: P-D12-LT4.5-015-018-RC.DWG	ESCALA: INDICADAS
Dibujó: J. Barreto	FECHA: 12-12-07
Versión CAD: 2000i	REVISIÓN: RC
Escala impresión: 1:1	HOJA N°: 1 DE 1



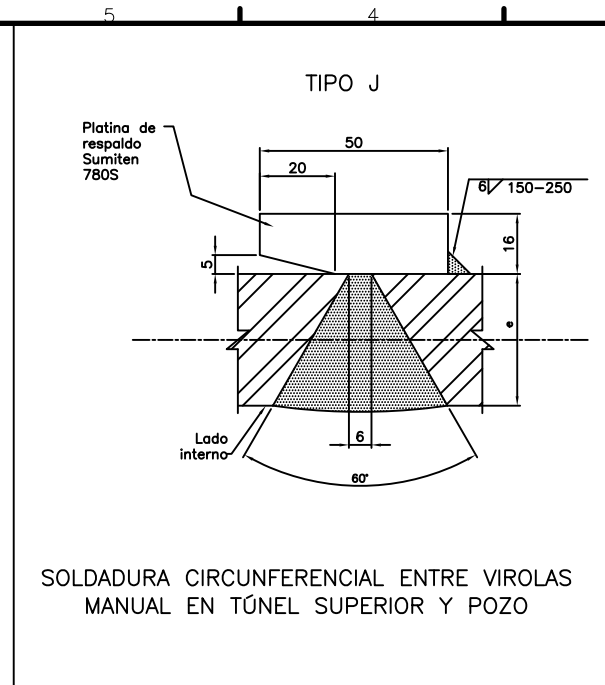
SOLDADURA LONGITUDINAL DE VIROLA MANUAL EN TALLER



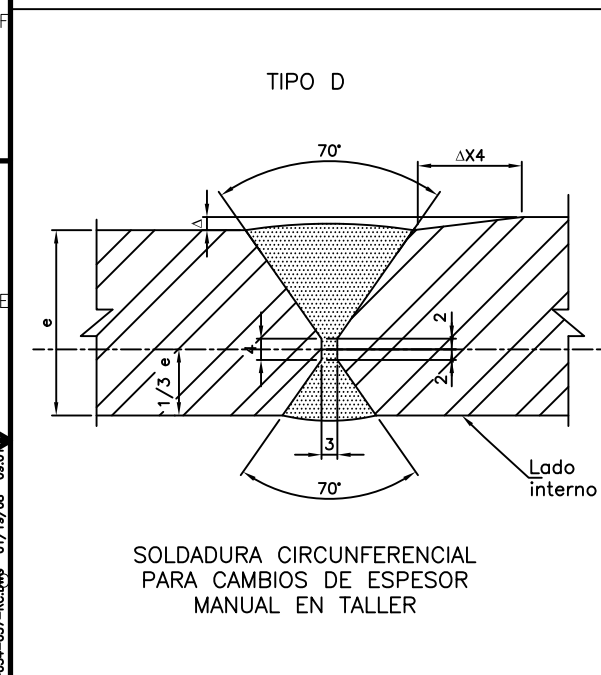
SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL ENTRE VIROLAS MANUAL EN POZO



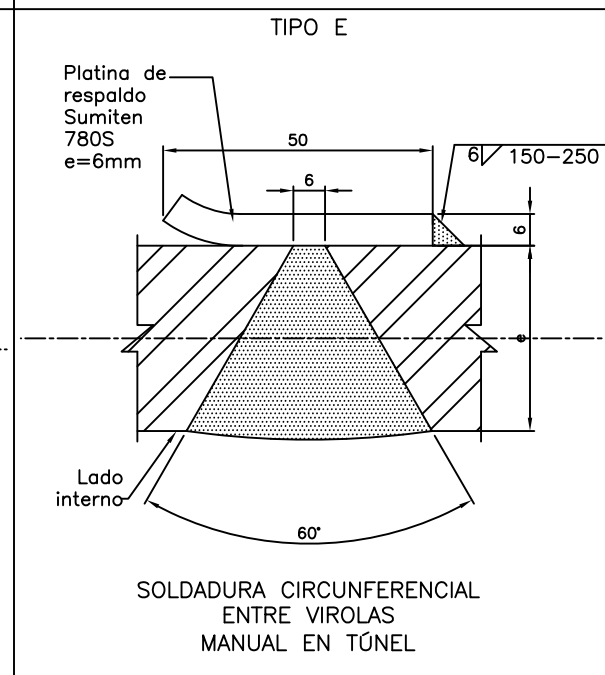
SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL ENTRE VIROLAS MANUAL EN TALLER



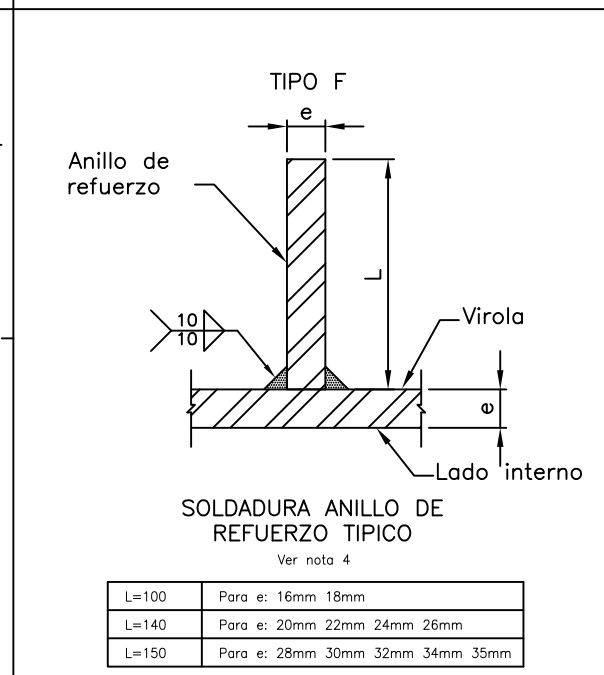
SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL ENTRE VIROLAS MANUAL EN TÚNEL SUPERIOR Y POZO



SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL PARA CAMBIOS DE ESPESOR MANUAL EN TALLER



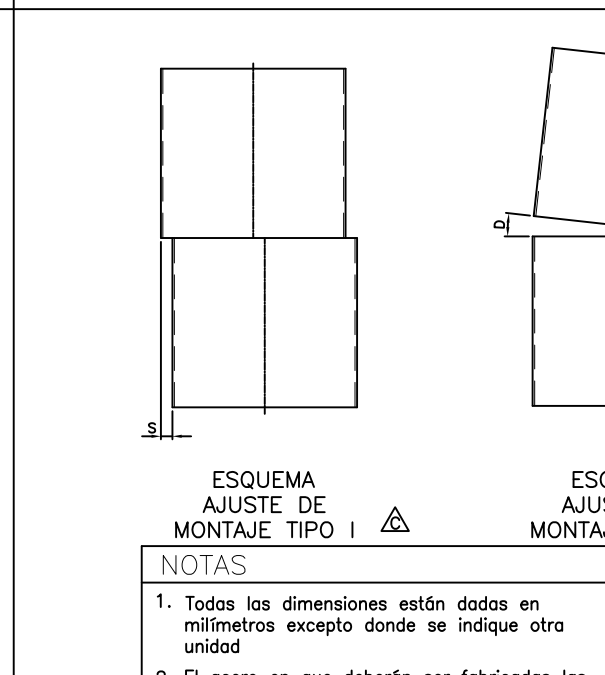
SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL ENTRE VIROLAS MANUAL EN TÚNEL



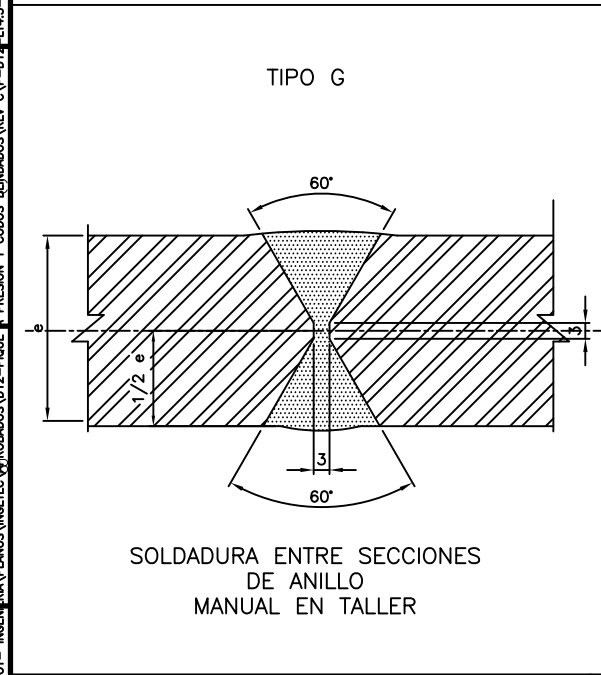
SOLDADURA ANILLO DE REFUERZO TÍPICO

Ver nota 4

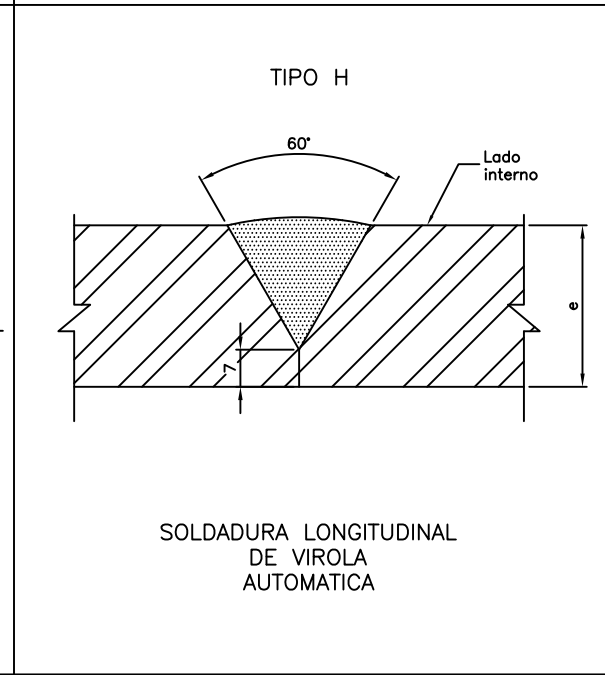
L=100	Para e: 16mm 18mm
L=140	Para e: 20mm 22mm 24mm 26mm
L=150	Para e: 28mm 30mm 32mm 34mm 35mm



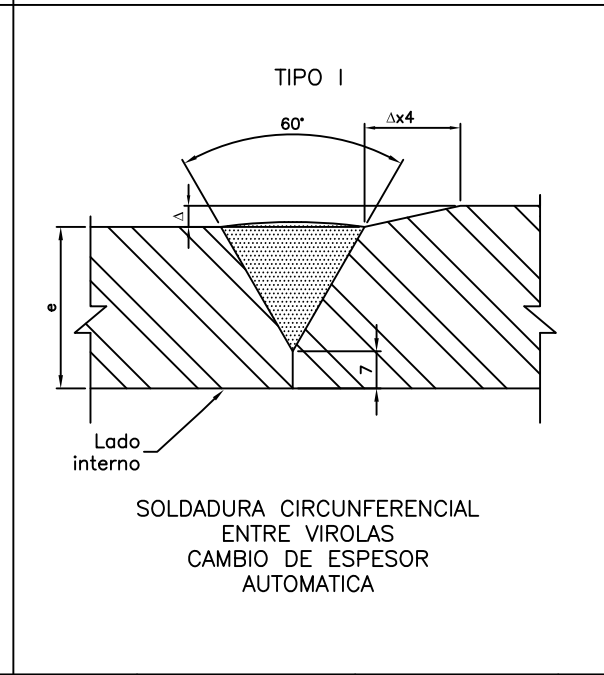
SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL ENTRE VIROLAS CAMBIO DE ESPESOR AUTOMÁTICA



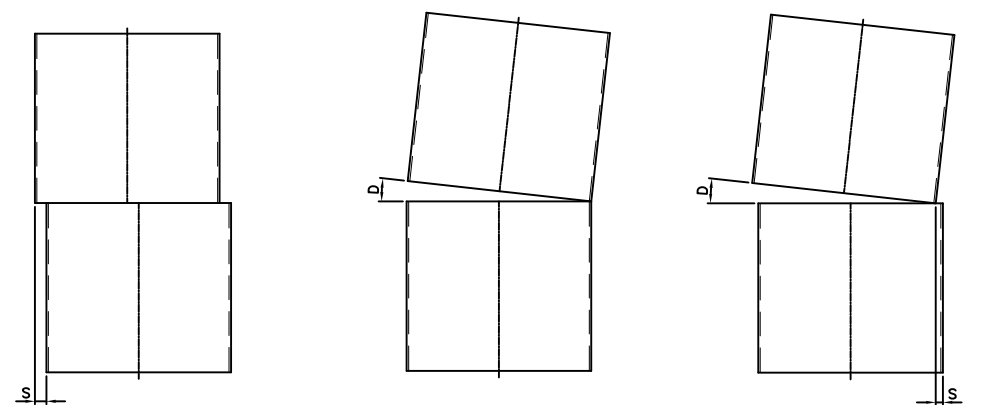
SOLDADURA ENTRE SECCIONES DE ANILLO MANUAL EN TALLER



SOLDADURA LONGITUDINAL DE VIROLA AUTOMÁTICA



SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL ENTRE VIROLAS CAMBIO DE ESPESOR AUTOMÁTICA



ESQUEMA AJUSTE DE MONTAJE TIPO I

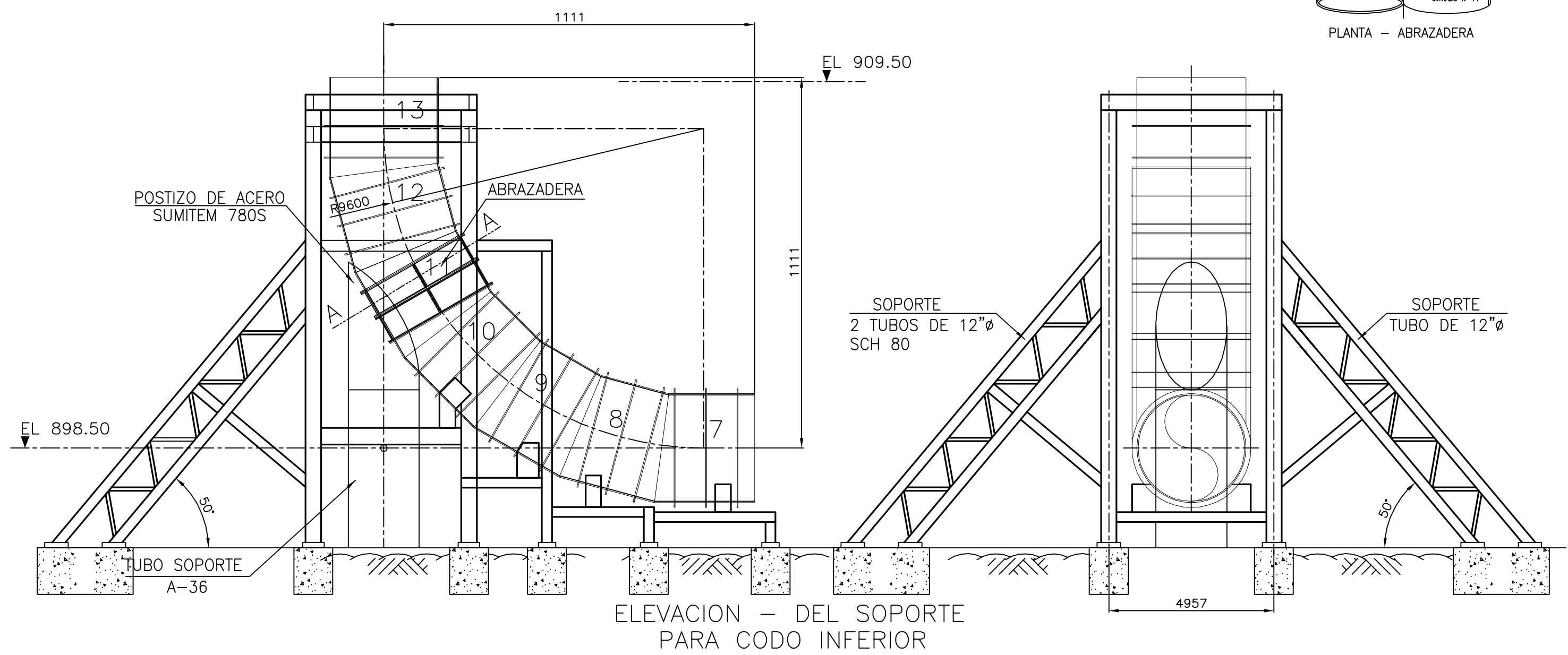
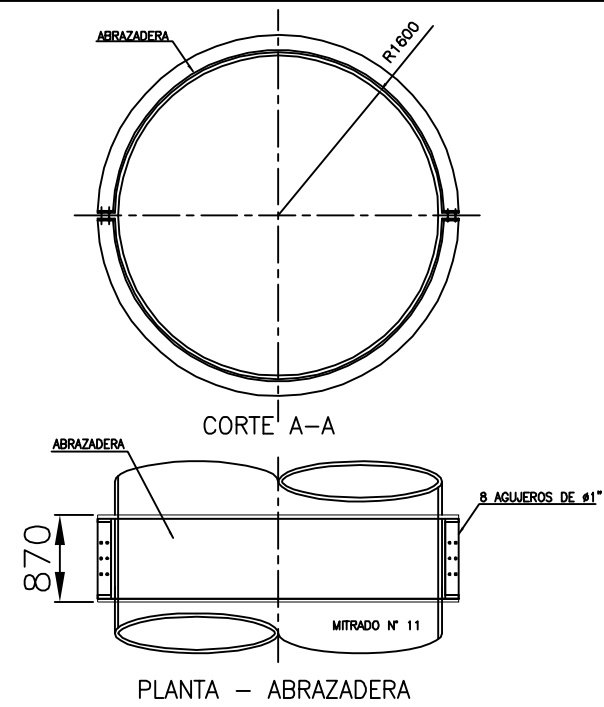
ESQUEMA AJUSTE DE MONTAJE TIPO II

ESQUEMA AJUSTE DE MONTAJE TIPO III

- NOTAS
- Todas las dimensiones están dadas en milímetros excepto donde se indique otra unidad.
  - El acero en que deberán ser fabricadas las virolas, los anillos de refuerzo y los tapones de inyección concreto - roca y concreto acero, corresponde a SUMITEN 780S.
  - Los espesores y soldaduras de los anillos de refuerzo de la TEE Ø3,2m se indican en el plano P-D12-LT4.5-029-051.
  - Excepto para las virolas 203, 204, 205 el espesor de los anillos de refuerzo debe ser igual a el espesor de la virola correspondiente.
  - La resistencia mínima para el material de soldadura corresponde a 110ksi (758 MPa)
- SMAW: A5.5 E110XX  
 SAW: A5.28 F11AXX  
 GMAW: A5.23 ER110S-G  
 FCAW: A5.28 E110XX
- Ajuste de montaje previsto en las juntas de campo.

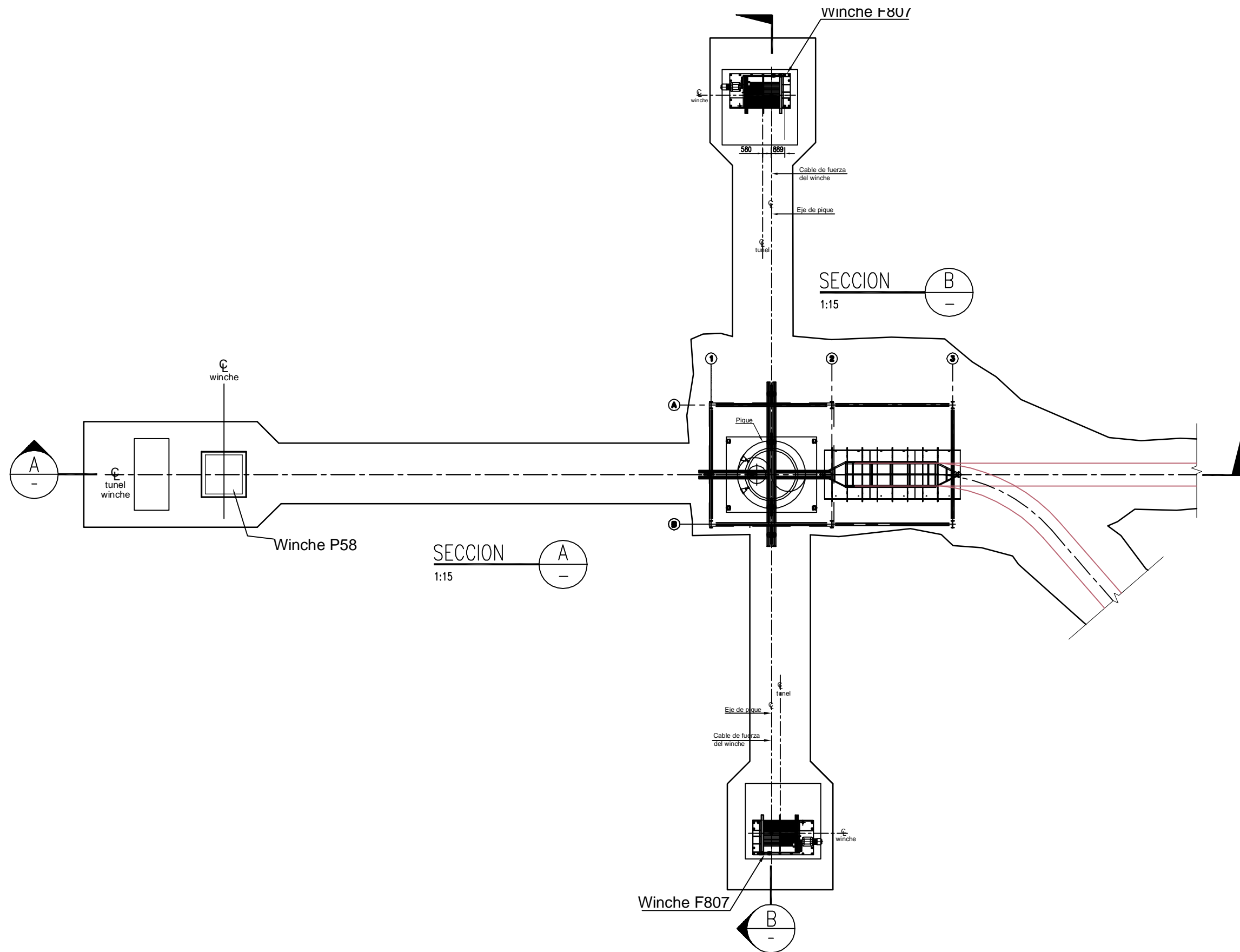
REFERENCIA

P-D12-LT4.5-001-004	Blindaje Conjunto General Corte longitudinal
P-D12-LT4.5-003-006	Blindaje Túnel Inferior Virolas Marcas 2 a 6 Subconjunto
P-D12-LT4.5-004-007	Blindaje Codo Inferior Cortes y detalles
P-D12-LT4.5-005-008	Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 14 a 51 Subconjunto
P-D12-LT4.5-006-009	Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 52 a 101 Subconjunto
P-D12-LT4.5-007-010	Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 102 a 144 Subconjunto
P-D12-LT4.5-008-011	Blindaje Pique Vertical Virolas Marcas 145 a 183 Subconjunto
P-D12-LT4.5-009-012	Blindaje Codo Superior Virolas Marcas 184 a 190 Subconjunto
P-D12-LT4.5-010-013	Blindaje Túnel Superior Virolas Marcas 191 a 201 Subconjunto



				APROBADO POR: J.E.C.	GyM	COMPANIA ELECTRICA EL PLATANAL S. A.                  SUPERVISOR	HOJA 1 de 1
				FECHA: 06-08-2008			PROYECTO: <b>Central Hidroelectrica "El Platanal"</b>
				DISEÑADO POR: J.E.C.	PLANO: <b>SOPORTE ESTRUCTURAL PARA EL CODO INFERIOR</b>	N° DE PROJ. 1606	REV. 0
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	06-08-2008	ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.	NOM.ARCHIVO:
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA			

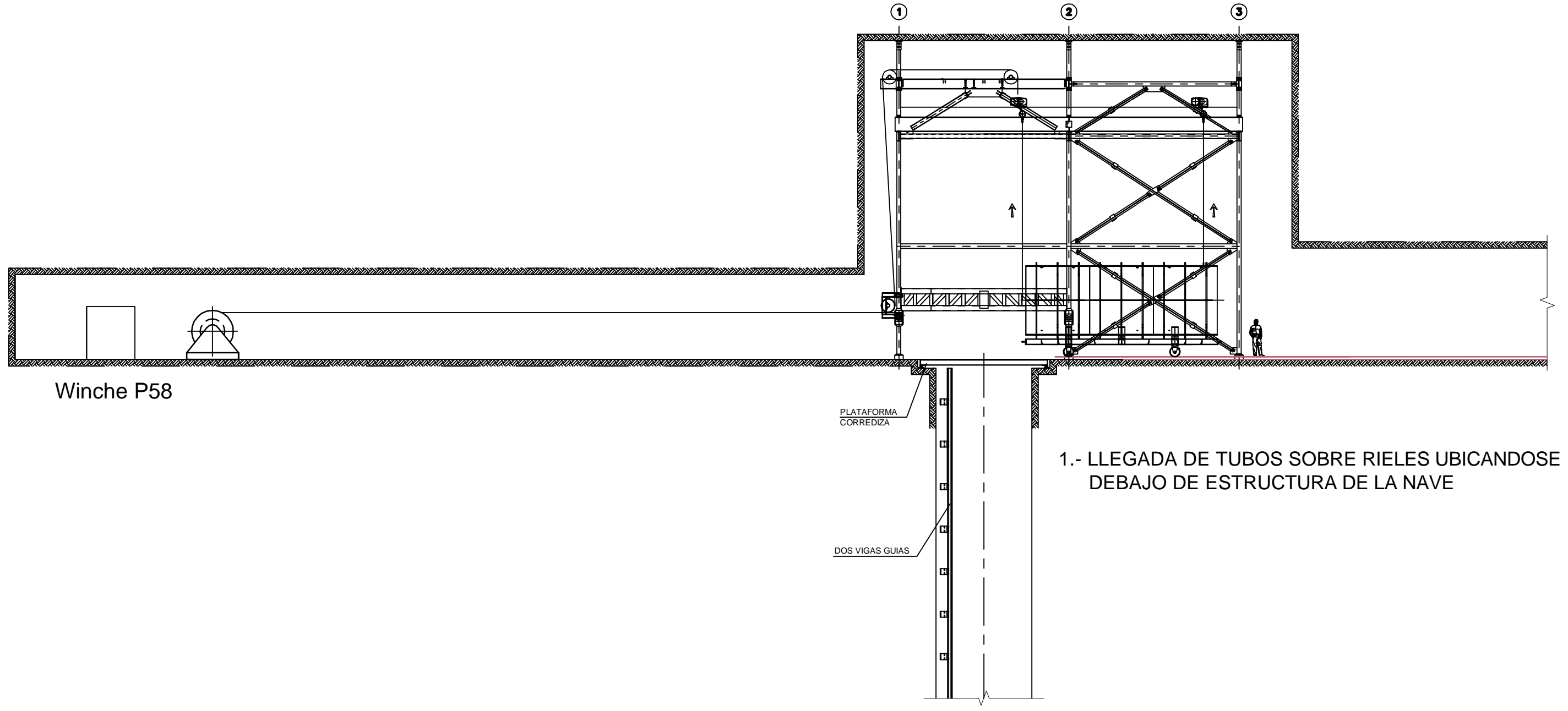




PLANTA - IZAJE DE MANIOBRA PARA INSTALACION DE VIROLAS

ESC 1:50

					APROBADO POR: J.E.C.			HOJA 1 de 1	
					FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal	Nº DE PLANO 1606-GyM-P-009
					DISEÑADO POR: J.E.C.			PLANO: MANIOBRA DE MONTAJE DE VIROLA EN PIQUE - PLANTA	
					FECHA: 13-08-2008			ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	16-07-2008				REV. 0	
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA					



Winche P58

PLATAFORMA  
CORREDIZA

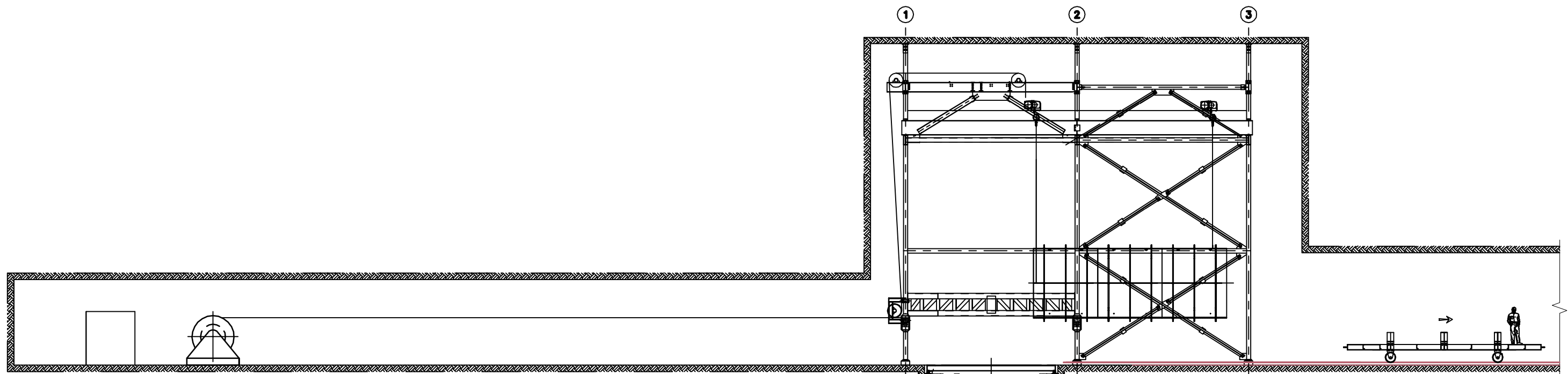
DOS VIGAS GUIAS

1.- LLEGADA DE TUBOS SOBRE RIELES UBICANDOSE  
DEBAJO DE ESTRUCTURA DE LA NAVE

SECCION A  
1:15

PRIMER PASO

					APROBADO POR: J.E.C.	<b>GyM</b>	COMPAÑIA ELECTRICA EL PLATANAL S.A.		HOJA 1 de 1	
					FECHA: 13-08-2008		PROYECTO: C. H. El Platanal	MANIOBRA DE MONTAJE DE VIOLA EN PIQUE		N° DE PLANO 1606-GyM-P-010
					DISERADO POR: J.E.C.		PLANO:			
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008	FECHA: 13-08-2008	ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.	NOM.ARCHIVO:	N° DE PROY. 1606	REV. 0
REV.	DESCRIPCION	REVISO	APROBO	FECHA						



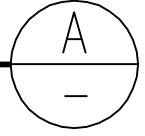
Winche P58

PLATAFORMA  
CORREDIZA

DOS VIGAS GUIAS



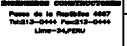
1.- IZAJE DE TUBOS POR GRUAS PUENTE Y SALIDA  
DE TRANSPORTADOR DE TUBOS

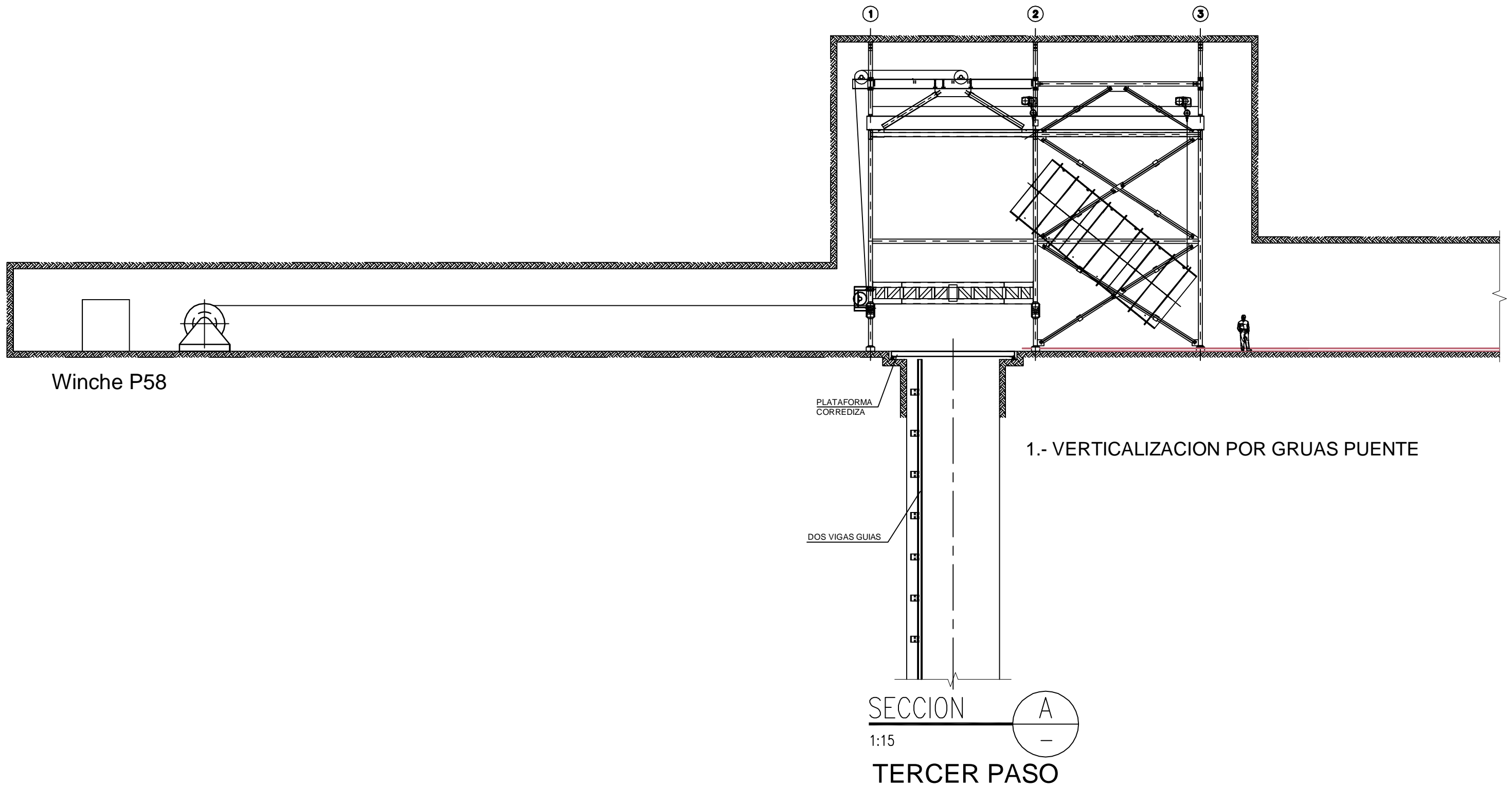
SECCION





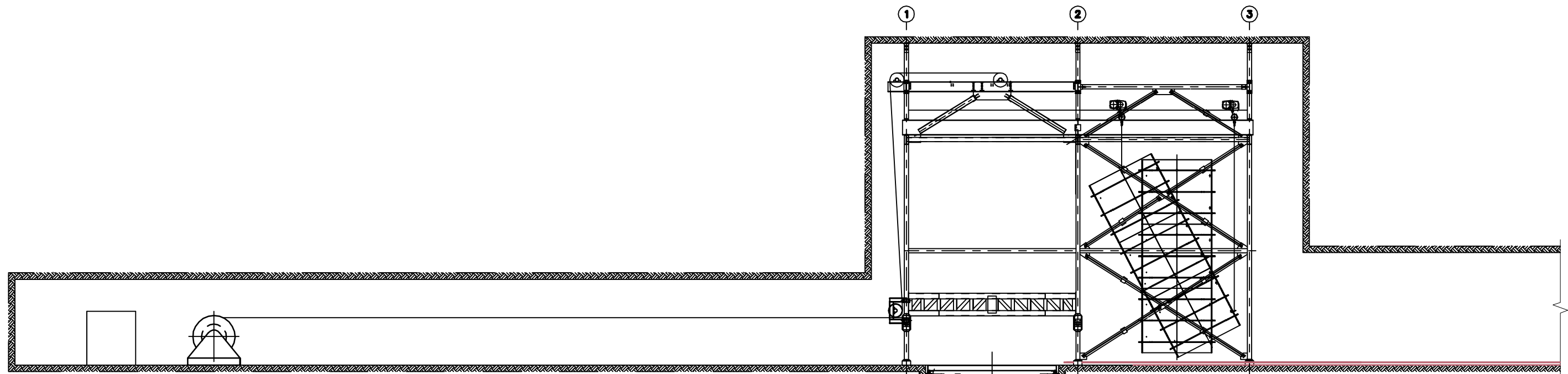
1:15

SEGUNDO PASO

					APROBADO POR: J.E.C.	GyM	 COMPAÑIA ELECTRICA EL PLATANAL S. A. 	HOJA 1 de 1		
					FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal	Nº DE PLANO 1606-GyM-P-011	
					DISEÑADO POR: J.E.C.		PLANO: MANIOBRA DE MONTAJE DE VIROLA EN PIQUE			
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008	FECHA: 13-08-2008		ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.	NOM.ARCHIVO: 1606	Nº DE PROY. 1606
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA						



				APROBADO POR: J.E.C.	GyM	 COMPAÑIA ELECTRICA EL PLATANAL S. A. 	HOJA 1 de 1	
				FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal	N° DE PLANO 1606-GyM-P-012
				DISEÑADO POR: J.E.C.			PLANO: MANIOBRA DE MONTAJE DE VIROLA EN PIQUE	REV. 0
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008	ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.	NOM.ARCHIVO: 1606	N° DE PROY. 1606
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA	FECHA: 13-08-2008			



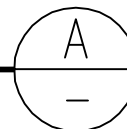
Winche P58

PLATAFORMA  
CORREDIZA

1.- VERTICALIZACION CONCLUIDA

DOS VIGAS GUIAS

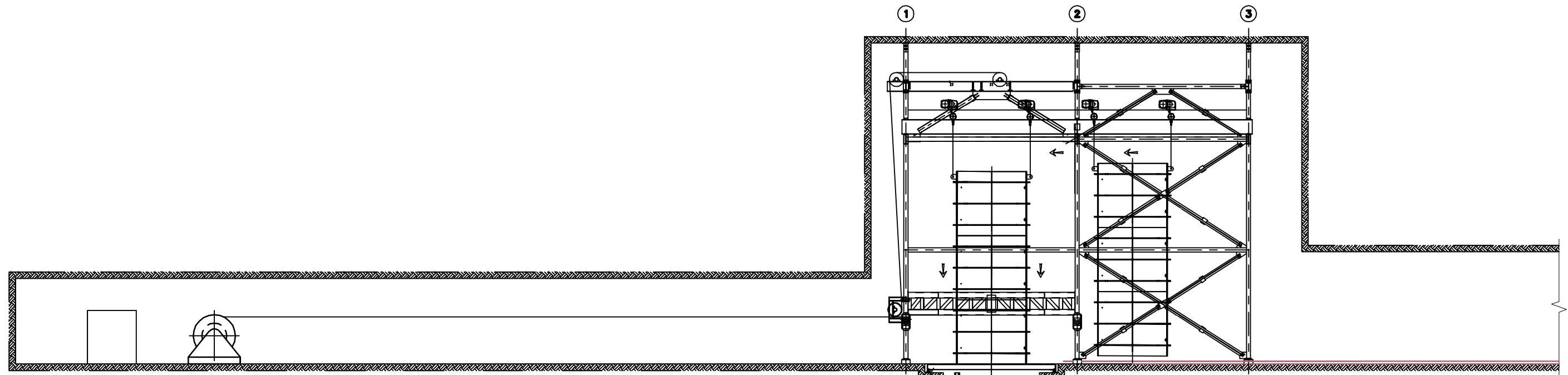
SECCION



1:15

CUARTO PASO

				APROBADO POR: J.E.C.	GyM		HOJA 1 de 1
				FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal
				DISEÑADO POR: J.E.C.		PLANO: MANIOBRA DE MONTAJE DE VIOLA EN PIQUE	
				FECHA: 13-08-2008		ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008			REV. 0
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA			



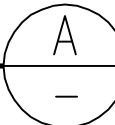
Winche P58

PLATAFORMA  
CORREDIZA

DOS VIGAS GUIAS

- 1.- TRANSPORTE DE VIROLA HACIA LA PLATAFORMA CORREDIZA
- 2.- SE ASIENTA SOBRE LA PLATAFORMA CORREDIZA

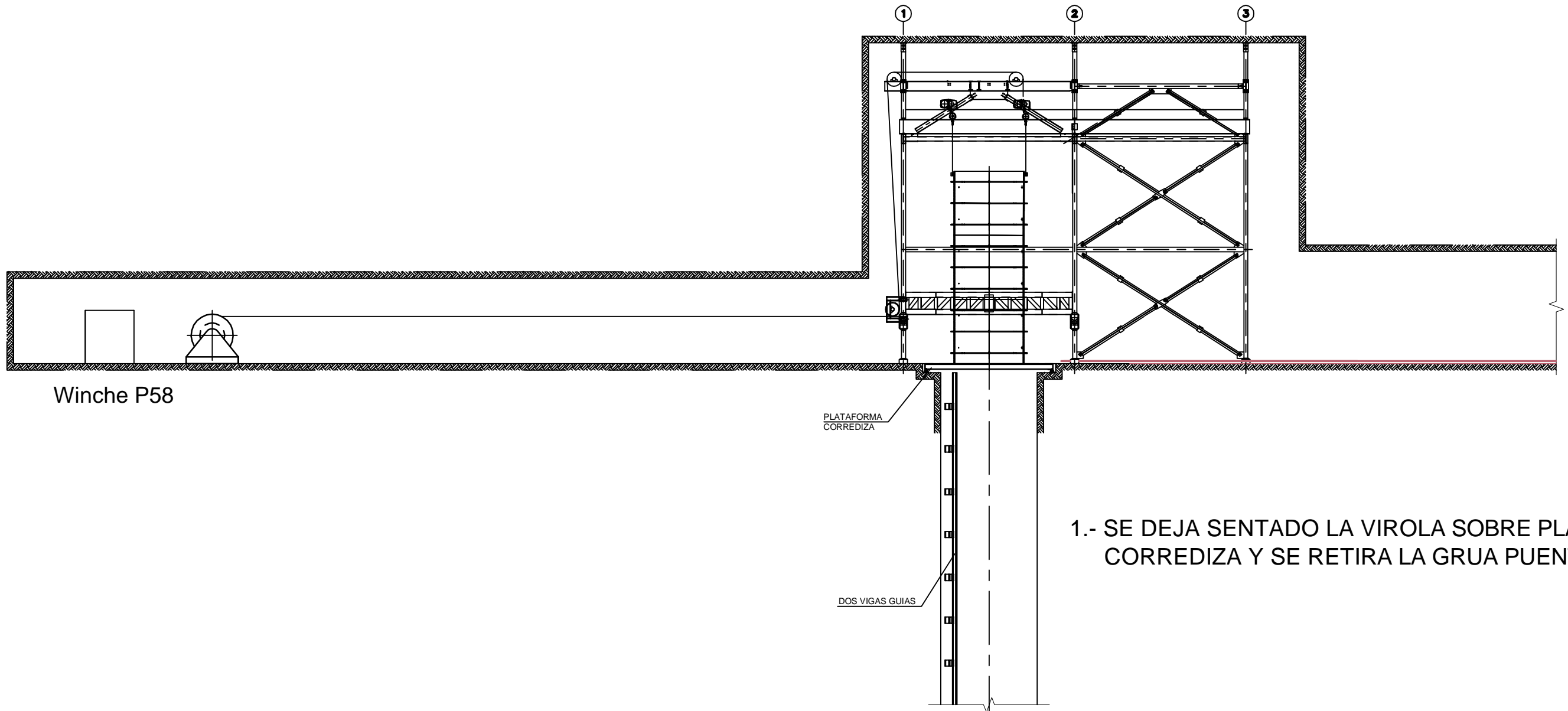
SECCION



1:15

QUINTO PASO

				APROBADO POR: J.E.C. FECHA: 13-08-2008			COMPANIA ELECTRICA EL PLATANAL S. A.		HOJA 1 de 1		
				DISEÑADO POR: J.E.C. FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal PLANO: MANIOBRA DE MONTAJE DE VIROLA EN PIQUE				N° DE PLANO 1606-GyM-P-014
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008			ESCALA:	DIBUJADO:	NOM.ARCHIVO:	N° DE PROY.	REV.
REV.	DESCRIPCION	REVISO	APROBO	FECHA			INDICADA	M.A.E.		1606	0



Winche P58

PLATAFORMA  
CORREDIZA

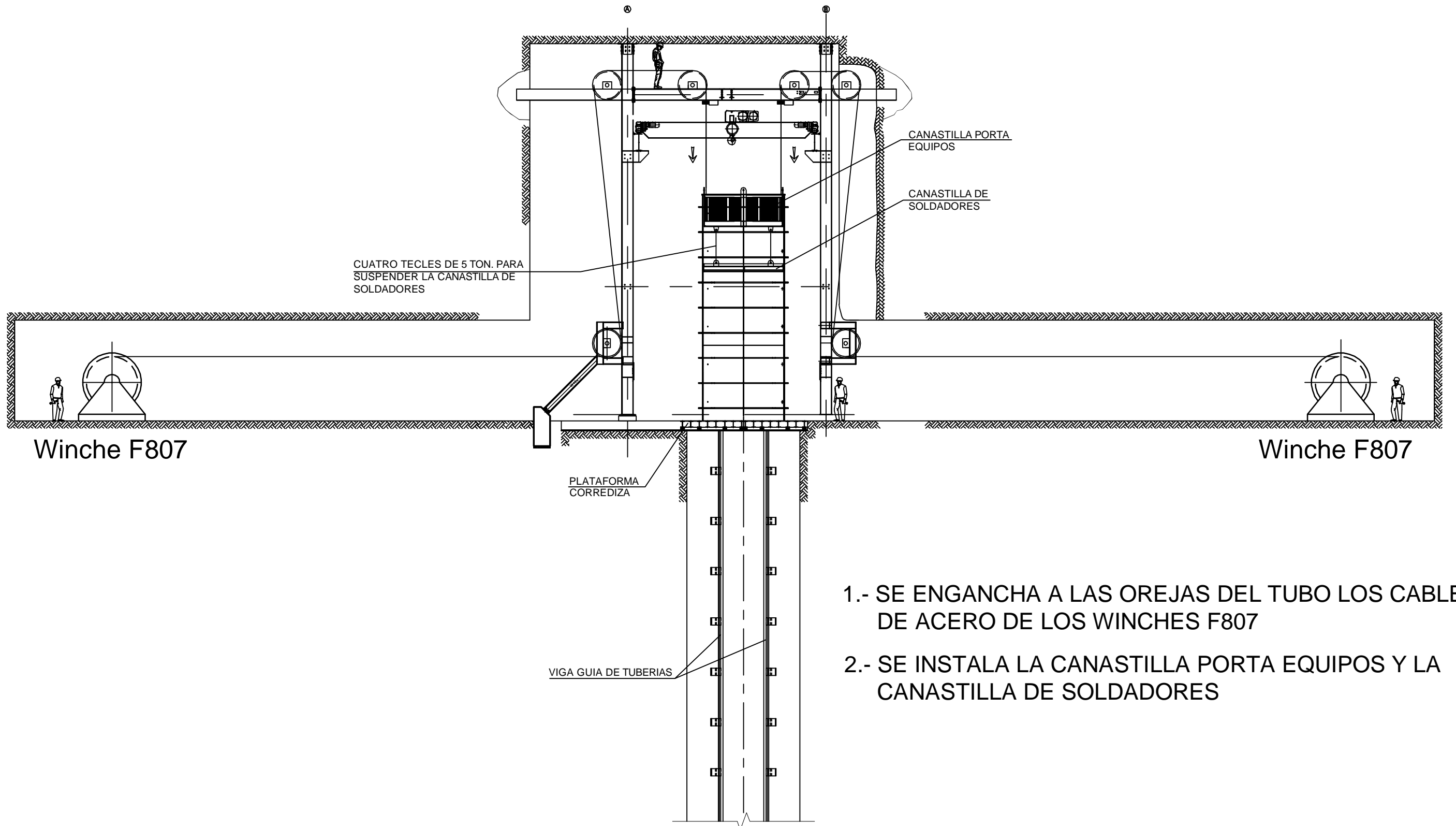
DOS VIGAS GUIAS

1.- SE DEJA SENTADO LA VIOLA SOBRE PLATAFORMA  
CORREDIZA Y SE RETIRA LA GRUA PUENTE

SECCION A  
1:15

SEXTO PASO

					APROBADO POR: J.E.C.	GyM	COMPAÑIA ELECTRICA EL PLATANAL S. A.			HOJA 1 de 1	
					FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal	PLANO: MANIOBRA DE MONTAJE DE VIOLA EN PIQUE		N° DE PLANO 1606-GyM-P-015
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008	DISEÑADO POR: J.E.C.		ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.	NOM.ARCHIVO: 1606	N° DE PROY. 1606	REV. 0
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA	FECHA: 13-08-2008						

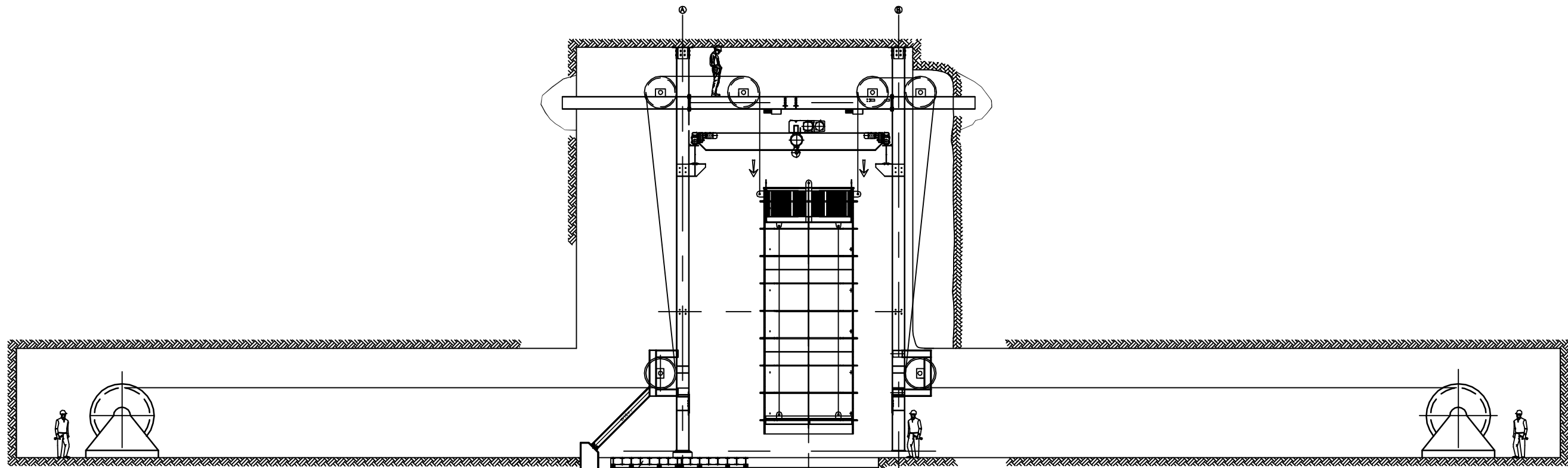


- 1.- SE ENGANCHA A LAS OREJAS DEL TUBO LOS CABLES DE ACERO DE LOS WINCHES F807
- 2.- SE INSTALA LA CANASTILLA PORTA EQUIPOS Y LA CANASTILLA DE SOLDADORES

SECCION B  
1:15  
SEPTIMO PASO

				APROBADO POR: J.E.C.	GyM		HOJA 1 de 1			
				FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal	Nº DE PLANO 1606-GyM-P-016		
				DISEÑADO POR: J.E.C.			PLANO: MANIOBRA DE MONTAJE DE VIOLA EN PIQUE			
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008	FECHA: 13-08-2008	ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.	NOM.ARCHIVO: 1606	Nº DE PROY. 1606	REV. 0
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA	FECHA:					





Winche F807

Winche F807

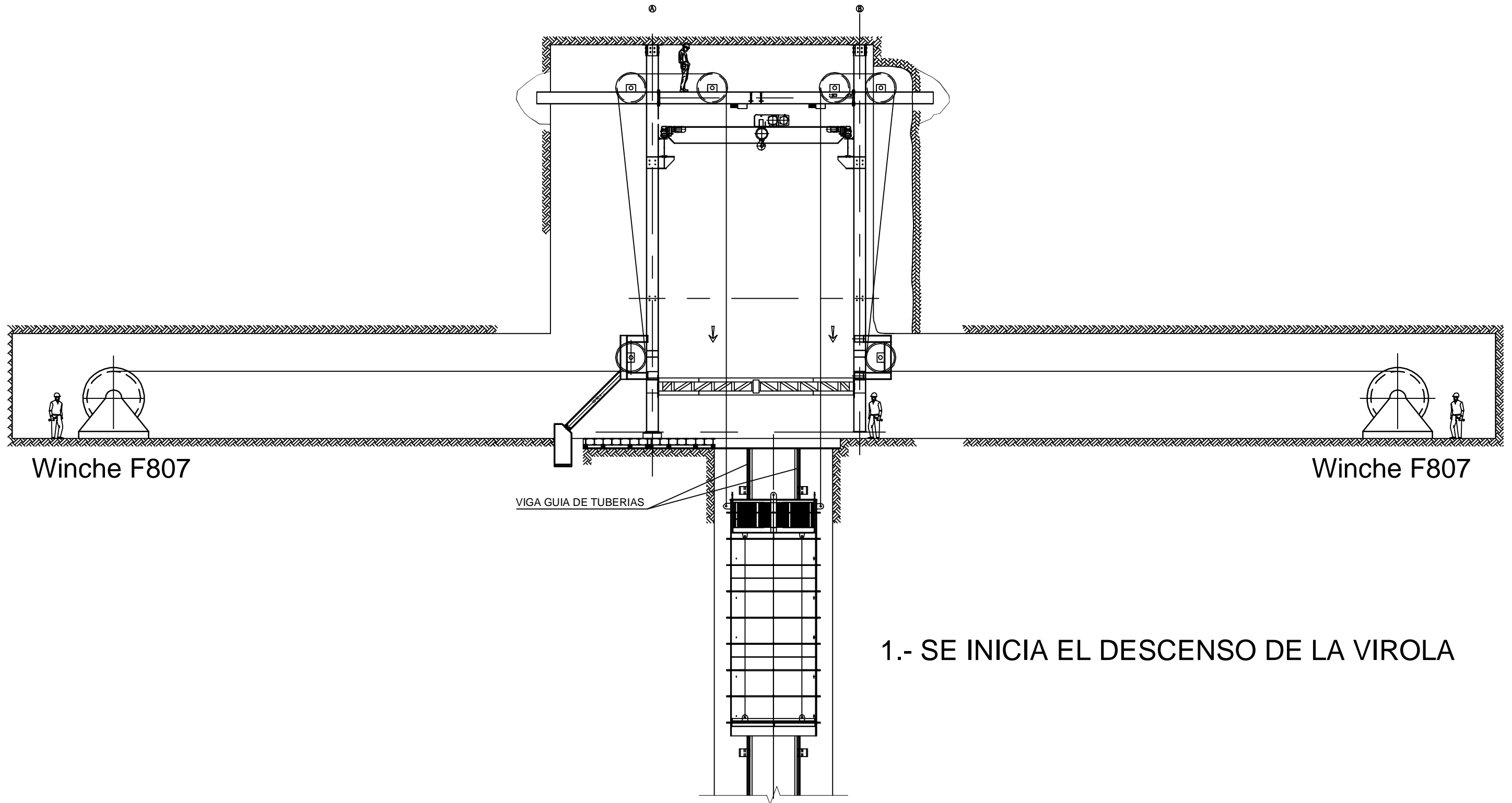
RETIRO DE PLATAFORMA  
CORREDIZA

VIGA GUIA DE TUBERIAS

1.- SE LEVANTA LA VIROLA Y SE DESPLAZA LA PLATAFORMA CORREDIZA  
LIBERANDO EL PIQUE PARA INICIAR EL DESCENSO DE LA VIROLA

SECCION B  
1:15  
OCTAVO PASO

				APROBADO POR: J.E.C.	<b>GyM</b>	COMPAÑIA ELECTRICA EL PLATANAL S. A.		HOJA 1 de 1			
				FECHA: 13-08-2008		PROYECTO: <b>C. H. El Platanal</b>				N° DE PLANO 1606-GyM-P-017	
				DISEÑADO POR: J.E.C.		PLANO: <b>MANIOBRA DE MONTAJE DE VIROLA EN PIQUE</b>				REV. 0	
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008	<small>PROYECTO DE INGENIERIA</small> <small>Planos de la Instalación de los</small> <small>Medios de Transporte de Energía</small> <small>Eléctrica - S.A.P.E.S.</small>		ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.	NOM.ARCHIVO: 1606	N° DE PROJ. 1606	
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA							



Winche F807

Winche F807

VIGA GUIA DE TUBERIAS

1.- SE INICIA EL DESCENSO DE LA VIROLA

SECCION B  
1:15

NOVENO PASO

					APROBADO POR: J.E.C.	GyM	COMPAÑIA ELECTRICA EL PLATANAL S. A.	HOJA 1 de 1		
					FECHA: 13-08-2008			PROYECTO: C. H. El Platanal	PLANO: <b>MANIOBRA DE MONTAJE DE VIROLA EN PIQUE</b>	
					DISEÑADO POR: J.E.C.	<small>           Poder de la Republica 2007            10012-04-0001-1000-0000            1000-24,9800         </small>	ESCALA: INDICADA	DIBUJADO: M.A.E.		
0	APROBADO PARA INFORMACION	J.E.C.	J.E.C.	13-08-2008	FECHA: 13-08-2008					
REV.	DESCRIPCIÓN	REVISO	APROBO	FECHA						



## ANEXO 6

### MANUALES DE EQUIPOS Y ELECTRODOS

# Invertec® V350-PRO

## Processes

Stick, DC TIG, MIG, Pulsed<sup>(1)</sup>,  
Flux-Cored, Gouging

<sup>(1)</sup> Advanced Process model only.

## Product Number

K1728-5, K1728-6, K1728-7  
K1728-13, K1728-8, K2437-2

See back for complete specs

## Input Power

see chart on back

## Input Current at Rated Output

see chart on back

## Rated Output

350A/34V/60% Duty Cycle

## Output Range

5-425A Max OCV: 80V DC

## Weight/Dimensions (H x W x D)

81 lbs. (36.7 kg)

14.8 x 13.3 x 27.8 in.

(373 x 338 x 706 mm)

## Designed Smart. Built Tough.

The multi-process Invertec® V350-PRO is an efficient, lightweight and portable choice for training, fabrication or construction applications. Available in Construction, Factory, Factory (Tweco®) and Advanced Process models, the versatile V350-PRO is ready for almost any welding job in shop or outdoor environments.

## FEATURES

- ▶ **Exceptional Multi-Process Fabrication Welding** -
  - CC - Stick Soft
  - CC - Stick Crisp
  - DC TIG
  - CV - Wire – For MIG and Metal-Cored
  - CV - Innershield® and Outershield® Flux-Cored
  - Arc Gouging – Accessible from All Modes – Plenty of power to handle a 5/16 in (7.9 mm) carbon
- ▶ **All input voltages and frequencies are both single and three phase rated** - No output derating necessary on single phase.
- ▶ **5-425 amp output range** - For all recommended processes from DC TIG to arc gouging.
- ▶ **Input voltage from 208-575 and 50 and 60 Hz operation** - One machine runs on virtually any input power supply.
- ▶ **Touch Start TIG®** - For contamination-free starts.
- ▶ **Low power consumption for energy savings** - 88% efficiency.
- ▶ **Parallel two units** - For 700A carbon arc gouging.
- ▶ **Bright, large digital amp and volt meters are easy to monitor** - Even in sunlight – and presettable for precise procedure control.
- ▶ **Rugged skid and tube handles** - For convenience and added protection.

## APPLICATIONS

- ▶ Metal Fabrication
- ▶ Construction
- ▶ Structural Fabrication
- ▶ Schools and Training Facilities
- ▶ Maintenance and Repair



Shown K1728-6

## RECOMMENDED FEEDERS

- ▶ LF-72
- ▶ LF-74
- ▶ LN-10
- ▶ DH-10
- ▶ LN-25 PRO
- ▶ LN-25 PRO Dual Power

## INPUT



## OUTPUT



## ADVANCED PROCESS MODEL INCLUDES

- ▶ Pulsed MIG – Varies weld current to reduce warping and burnthrough on thin materials.
- ▶ Pulse-On-Pulse® – Controls arc length and heat input to achieve excellent appearance and penetration on aluminum.
- ▶ Power Mode® – Delivers a responsive arc when MIG welding to reduce spatter, improve bead wetting and control penetration. Great for thin steel, stainless, silicon bronze and nickel alloys.



Two Year Extended Warranty Available.



**Construction Model (K1728-5)**

Our lightest, most portable model at a value price for conventional MIG, cored, stick, arc gouging and non-remote output control DC TIG applications.

**Great For:**

- Construction, maintenance or shop welding.

**Compatible with:**

- LN-25 PRO model wire feeders.
- 6-pin and 14-pin MS connector not included.



- 1) Large, bright, easy to read meters
- 2) Local/remote output control
- 3) Mode selection switch
- 4) Negative and Positive Twist Mate® Output Terminals
- 5) Wire Feeder Voltmeter Polarity Switch
- 6) Circuit Breaker Reset Buttons
- 7) On/Off Switch
- 8) Hot Start Control
- 9) Arc Control Knob
- 10) Weld Terminals on or remotely controlled
- 11) Preset Output Amps and Voltage Control
- 12) Thermal Overload Indicator Light

**Factory Model (K1728-6 with Twist Mate® Cable Receptacles) (K1728-13 with Tweco® Cable Receptacles)**

- Adds full remote capabilities and auto-detect local/remote override control.
- Versatile multi-process machine for MIG, cored, stick, TIG and arc gouging applications.
- Optional Advanced Process Panel adds:
  - Pulsed MIG
  - Lincoln Electric Power Mode®
  - Lincoln Electric Pulse-on-Pulse®

**Great For:**

- Construction or large-scale production factory applications.

**Compatible with:**

- LF-72, LF-74, LN-10, DH-10, and LN-25 PRO wire feeders.
- 6-pin and 14-pin MS-type connectors.



- 1) Large, bright, easy to read meters
- 2) Local/remote output control
- 3) Mode selection switch
- 4) Remote Output Control Receptacles – 6- & 14-pin
- 5) Negative and Positive Twist Mate® or Tweco® Output Terminals
- 6) Wire Feeder Voltmeter Polarity Switch
- 7) Circuit Breaker Reset Buttons
- 8) On/Off Switch
- 9) Hot Start Control
- 10) Arc Control Knob
- 11) Weld Terminals on or remotely controlled
- 12) Preset Output Amps and Voltage Control
- 13) Thermal Overload Indicator Light

**Advanced Process Model (K1728-7)**

- Standard Advanced Process Panel adds:
  - Pulsed MIG
  - Lincoln Electric Power Mode®
  - Lincoln Electric Pulse-on-Pulse®
- Standard full remote capabilities and auto-detect local/remote override control.
- Advanced multi-process machine for pulsed MIG, cored, stick, TIG and arc gouging applications.

**Great For:**

- High-end pulsed MIG applications.

**Compatible with:**

- LF-72, LF-74, LN-10, DH-10, and LN-25 PRO wire feeders.
- 6-pin and 14-pin MS-type connectors.



- 1) Large, bright, easy to read meters
- 2) Local/remote output control
- 3) Mode selection switch
- 4) Remote Output Control Receptacles – 6- & 14-pin
- 5) Negative and Positive Twist Mate® Output Terminals
- 6) Wire Feeder Voltmeter Polarity Switch
- 7) Circuit Breaker Reset Buttons
- 8) On/Off Switch
- 9) Arc Control Knob
- 10) Weld Terminals on or remotely controlled
- 11) Preset Output Amps and Voltage Control
- 12) Thermal Overload Indicator Light

*Tweco® is a registered trademark of Thermadyne corporation.*

## SYSTEM SELECTION

### Ready-Pak® Packages

Fully assembled and ready to weld—just add wire and gas.

#### V350-PRO Factory Model / LF-72 Heavy Duty Wire Feeder

(for non-pulsed MIG Welding)

##### Order K2437-2

- V350-PRO Factory Model
- LF-72 Heavy Duty Wire Feeder
- 15 ft. (4.5 m) Magnum® PRO 350 gun and cable assembly w/ .035-.045 in (0.9-1.2 mm) liner.
- Work and Wire Feeder 2/0 Welding Cable Package
- Harris® Flowmeter Regulator and Hose
- Heavy Duty Inverter and Wire Feeder Cart



Shown:  
Inverter® V350-PRO Factory Model/  
LF-72 Heavy Duty Wire Feeder Ready-Pak®

### V350-PRO Inverter Racks

- An ideal system to group several inverter power sources in an industrial portable package. Entire system meets National Electric Code (NEC) Standards.
- Includes Inverter® V350-PRO Factory (Tweco®) Model (K1728-13). This special rack version has all the same features as the factory model with added IP23S rating for outdoor use and Tweco® cable receptacles.

##### Order:

**K2667-1** 4-Pack Inverter Rack with 4 Inverter® V350-PRO Factory (Tweco®) Power Sources

**K2667-2** 6-Pack Inverter Rack with 6 Inverter® V350-PRO Factory (Tweco®) Power Sources



## RECOMMENDED ACCESSORIES TO EXPAND MACHINE CAPABILITIES

### GENERAL OPTIONS



#### Advanced Process Panel

Includes Pulsed MIG, Pulse-On-Pulse® and Power Mode® capabilities. Alpha-numeric display for accurate setting. For V350-PRO Factory Model only.  
**Order K1763-1**



#### Deluxe Adjustable Gas Regulator & Hose Kit

Accommodates CO<sub>2</sub>, Argon, or Argon-blend gas cylinders. Includes a cylinder pressure gauge, dual scale flow gauge and 4.3 ft. (1.3 m) gas hose.  
**Order K586-1**



#### Work and Wire Feeder 2/0 Weld Cable Package

Includes Twist Mate® connectors, work clamps, 15 ft. (4.5 m) work cable and 10 ft. (3.0 m) electrode cable. Rated 350 amps, 60% duty cycle.  
**Order K1803-1**



#### Twist Mate® Cable Plug

For connecting welding cable to output terminal receptacles. For 1/0-2/0 (50-70 mm<sup>2</sup>) cable.  
**Order K852-70**



#### Twist Mate® Cable Plug

For connecting welding cable to output terminal receptacles. For 2/0-3/0 (70-95 mm<sup>2</sup>) cable.  
**Order K852-95**



#### Twist Mate® Cable Receptacle

For connecting welding cable to Twist Mate® Cable Plug.  
**Order K1759-70** for 1/0-2/0 (50-70 mm<sup>2</sup>) cable  
**Order K1759-95** for 2/0-3/0 (70-95 mm<sup>2</sup>) cable



#### Twist Mate® to Lug Adapter

For connection of lugged cable to Twist Mate® connectors. 18 in. (457 mm) long.  
**Order K2176-1**



#### Inverter and Wire Feeder Cart

Rear-wheeled cart includes front casters and no-lift gas bottle platform. Convenient handles allow for easy cable storage while full length side trays store parts and tools. Shipped fully assembled. Small footprint fits through 30 in. (762 mm) door.  
**Order K1764-1**



#### Dual Cylinder Kit

Permits side-by-side mounting of two full size gas cylinders, with easy loading. For use with K1764-1 cart.  
**Order K1702-1**



### STICK OPTIONS

#### Accessory Kit

For stick welding. Includes 35 ft. (10.7 m) 2/0 electrode cable with lug, 30 ft. (9.1 m) 2/0 work cable with lugs, headshield, filter plate, cover plate, work clamp and electrode holder. 400 amp capacity.  
**Order K704**



#### Accessory Kit

For stick welding. Includes 20 ft. (6.1 m) #6 electrode cable with lug, 15 ft. (4.6 m) #6 work cable with lugs, headshield, work clamp, electrode holder and sample pack of mild steel electrode. 150 amp capacity.  
**Order K875**

## RECOMMENDED ACCESSORIES TO EXPAND MACHINE CAPABILITIES



**Remote Output Control**  
Consists of a control box with choice of two cable lengths. Permits remote adjustment of output.  
**Order K857** for 25 ft. (7.6 m)  
**Order K857-1** for 100 ft. (30 m)



**Hand Amptrol®**  
Provides 25 ft. (7.6 m) of remote current control for TIG welding. (6-pin plug connection).  
**Order K963-3**



**Twist Mate® Torch Adapter**  
For connection of PTA-9 or PTA-17V torches (1 piece cable) to power sources without gas passing through the Twist Mate® connection.  
**Order K960-1**



**TIG OPTIONS**  
**Pro-Torch™ TIG Torches**  
A full line of air-cooled and water-cooled torches available. Request Lincoln publication E12.150



**Foot Amptrol®**  
Provides 25 ft. (7.6 m) of remote current control for TIG welding. (6-pin plug connection).  
**Order K870**



**TIG-Mate™ 17V Air-Cooled TIG Torch Starter Kit**  
Get everything you need for TIG welding in one complete easy-to-order kit packaged in its own portable carrying case. Includes: PTA-17V torch, parts kit, Harris® flowmeter/regulator, 10 ft. (3.0 m) gas hose, and work clamp and cable.  
**Order K2265-1**



**TIG Module**  
Portable, high frequency unit with gas valve for TIG welding. Rated at 300 amps/60% duty cycle. Requires TIG Module Control Cable.  
**Order K930-2**



**Arc Start Switch**  
May be used in place of the Foot or Hand Amptrol®. Comes with a 25 ft. (7.6 m) cable. Attaches to the TIG torch for convenient finger control to start and stop the weld cycle at the current set on the machine.  
**Order K814**



**TIG-Mate™ 17V Air-Cooled TIG Torch Starter Kit**  
Get everything you need for TIG welding in one complete easy-to-order kit packaged in its own portable carrying case. Includes: PTA-17 torch, parts kit, Harris® flowmeter/regulator, 10 ft. (3.0 m) gas hose, Twist Mate® adapter, and work clamp and cable.  
**Order K2266-1**



**TIG Module Control Cable**  
(For Factory and Advanced Process Models only) 9-pin connector at the TIG Module to 14-pin MS type connector at the power source. (Contains input power, remote control, contactor control, and ground circuits). For machines having a 14-pin remote control and power receptacle.  
**Order K936-1**



**Invertec® TIG Solenoid Kit**  
Mounts inside the back of the V350-PRO. Switches gas flow in the V350-PRO through the Twist Mate® connector. Includes gas hose and solenoid. [Not compatible with construction and factory (Tweco®) models].  
**Order K1762-2**



**TIG-Mate™ 20 Water-Cooled TIG Torch Starter Kit**  
Get everything you need for TIG welding in one complete easy-to-order kit packaged in its own portable carrying case. Includes: PTW-20 torch, parts kit, Harris® flowmeter/regulator, 10 ft. (3.0 m) gas hose, Twist Mate® adapter, work clamp and cable and 10 ft. (3.0 m) water hose.  
**Order K2267-1**



**TIG Module Control Cable**  
(For Construction Model only) 9-pin connector at the TIG Module to a grounded 115V plug. (Contains input power, and ground circuits). For machines having no remote control capability.  
**Order K936-4**



**Twist Mate® Torch Adapter**  
For connection of Pro-Torch™ TIG torches (1 piece cable) to power sources with gas passing through the Twist Mate® connection. For use with K1762-2.  
**Order K1622-1** for air-cooled PTA-9 or PTA-17 torches.  
**Order K1622-3** for air-cooled PTA-26 torches.  
**Order K1622-4** for water-cooled torches.

## PRODUCT SPECIFICATIONS

Product Name	Product Number	Model	Input Power	Rated Output Current/Voltage/Duty Cycle	Input Current @ Rated Output	Output Range	H x W x D inches (mm)	Net Weight lbs. (kg)
Invertec® V350-PRO	K1728-5	Construction	200-208/230/380-415/	350A/34V/60% 300A/32V/100%	3ph: 50/42/28-26/23/18 1ph: 94/85/54/42/37	5-425A Max OCV: 80V DC	14.8 x 13.3 x 27.8 (376 x 338 x 709)	81 (36.7)
	K1728-6	Factory	460/575/1/3/50/60					
	K1728-7	Advanced Process	208/230/415/					
	K1728-13	Factory (Tweco®)	460/575/1/3/50/60					
	K1728-8	CE	200-220/380-400/ 415-440/1/3/50/60	350A/34V/60% (3ph) 320A/33V/60% (1ph) 300A/32V/100% (3ph) 275A/31V/100% (1ph)	3ph: 48/28-27/26-24 1ph: - 82/55-50/48-45 3ph: 41-37/28-22/22-21 1ph: - 64/44-43/38-35			
LF-72 Ready-Pak®	K2437-2	Factory	200-208/230/380-415/ 460/575/1/3/50/60	350A/34V/60% 300A/32V/100%	3ph: 50/42/28-26/23/18 1ph: 94/85/54/42/37			370 (167.8)

For best welding results with Lincoln Electric equipment, always use Lincoln Electric consumables. Visit [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com) for more details.

### CUSTOMER ASSISTANCE POLICY

The business of The Lincoln Electric Company is manufacturing and selling high quality welding equipment, consumables, and cutting equipment. Our challenge is to meet the needs of our customers and to exceed their expectations. On occasion, purchasers may ask Lincoln Electric for information or advice about their use of our products. Our employees respond to inquiries to the best of their ability based on information provided to them by the customers and the knowledge they may have concerning the application. Our employees, however, are not in a position to verify the information provided or to evaluate the engineering requirements for the particular weldment. Accordingly, Lincoln Electric does not warrant or guarantee or assume any liability with respect to such information or advice. Moreover, the provision of such information or advice does not create, expand, or alter any warranty on our products. Any express or implied warranty that might arise from the information or advice, including any implied warranty of merchantability or any warranty of fitness for any customers' particular purpose is specifically disclaimed.

Lincoln Electric is a responsive manufacturer, but the selection and use of specific products sold by Lincoln Electric is solely within the control of, and remains the sole responsibility of the customer. Many variables beyond the control of Lincoln Electric affect the results obtained in applying these types of fabrication methods and service requirements.

Subject to Change – This information is accurate to the best of our knowledge at the time of printing. Please refer to [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com) for any updated information.

**LINCOLN®**  
**ELECTRIC**  
THE WELDING EXPERTS®



# ProHeat™ 35

## Weld Preheating and Stress Relieving

Issued Feb. 2011 • Index No. IN/11.0

Induction Heating System 

### Quick Specs



#### Applications

Transmission Pipeline—Construction/Repair  
Pipe Fabrication Shops  
Power Piping—Construction/Repair  
Petrochemical—Construction/Repair  
Shipbuilding  
Mining Equipment Maintenance  
Drill Pipe Manufacturing  
Shrink Fit

#### Process

Induction Heating

#### Input Power

460–575 VAC,  
3-Phase, 60 Hz  
400–460 VAC,  
3-Phase, 50/60 Hz

#### Temperature Rating

Storage: -40°C – +60°C  
Operation: -30°C – +50°C

#### Rated Output

35 kW at 100% Duty Cycle, 5–30 KHz

**Input Amperes at Rated Output** 400 V: 60 Amps  
460 V: 50 Amps  
575 V: 40 Amps

**Dimensions** H: 27-1/2 in (699 mm)  
W: 21-3/4 in (552 mm)  
D: 36-3/4 in (933 mm)

**Weight** Net: 227 lb (103 kg) Ship: 265 lb (120 kg)

## The Power of Blue.®

**Easy to install** primary power through panel that does not require removal of sheet metal.

**Multiple output** provides two insulated connectors for air-cooled blankets or liquid-cooled cables.

**Versatile mobility** through a lifting eye or optional running gear designed for construction and maintenance.

**On-board temperature control** provides for manual- or temperature-based programming in a simple-to-learn operator interface.

**Multiple control thermocouple inputs** are available to control on the hottest TC during heating and coolest TC during cooling for uniform heating and quality.

**Open output detection** prevents system operation without a covered output receptacle (cable or protective plug).

**Cable identification system** knows the type of cable attached and limits output to protect cables and blankets.

**Isolation fault protection** provides automatic system shut down should power source output short to ground. A sense lead provides direct feedback to the power source to sense fault condition.

**Low consumable costs.** No fuel costs and minimal insulation costs. Insulation is reusable and may be used 50 times or more, reducing cost of disposal and replacement.

**Uniform heating** is maintained along and through the heat zone by using induction to heat within the material. The surface of the part is not marred by localized conducted heat at higher than specified temperatures.

**Time-to-temperature** is faster than conventional processes due to the method of applying the heat, reducing heating cycle time.

**Improved working environment** is created during welding. Welders are not exposed to open flame, explosive gases and hot elements associated with fuel gas heating and resistance heating.

**High energy-efficient systems** (more than 90% efficient) transfers more energy to the part, decreasing heating times and improving power efficiency (less than 60-amp current draw).

**Easy set-up** is achieved using preheat blankets or flexible heating cables combined with user-friendly insulation blankets.

ProHeat 35  
Liquid-Cooled System shown.



**Operator tutoring system** provides helpful information to optimize coil arrangements for maximum performance.



MADE IN **USA**  
APPLETON, WI **USA**



**Miller Electric Mfg. Co.**  
An Illinois Tool Works Company  
1635 West Spencer Street  
Appleton, WI 54914 USA

**Equipment Sales US and Canada**  
Phone: 866-931-9730  
FAX: 800-637-2315  
International Phone: 920-735-4554  
International FAX: 920-735-4125

**Web Site**  
www.MillerWelds.com



# ProHeat™ 35 Induction Power Source



ProHeat 35 shown with optional running gear.


## Built-In Temperature Controller

The ProHeat 35 Induction Power Source is equipped with a built-in temperature controller. The controller provides for Manual Programming or Temperature Based Programming. Manual programming provides for setting a power level and a time duration. This is beneficial in preheat applications where a part is heated to temperature and the heating device removed. Temperature Based Programming provides the ability to develop procedures for preheat, hydrogen bake-out or stress relieve. Four control thermocouple inputs and two monitoring thermocouple inputs are provided for heating. The control thermocouples are read by the controller which regulate the heat rise based on the hottest thermocouple and cooling based on the coolest thermocouple. This capability helps to insure the heating and cooling rates are not violated during the procedure. The controller is designed to be easily understood and programmed.

## On-Board Diagnostics

The ProHeat 35 Induction Power Source is designed with on-board diagnostics with operator tutoring. Operating parameters are available at the touch of a button. Induction parameters are highly dependent on how the heating system (blanket or cable) is placed on the part to be heated. The ProHeat provides for Limit Conditions where a parameter maximum has occurred. The ProHeat will continue to deliver power, notify the operator and then provide helpful information to increase the output. The ProHeat will also identify Fault Conditions and provide information. The purpose of these capabilities is to provide continuing education of the operator on the use of induction heating equipment and protect the system.

## Specifications (Subject to change without notice.)

Input Power	Output Frequency	Rated Output	Input Amperes at Rated Output	KVA/KW at Rated Output	Dimensions	Weight
460–575 V, 3-Phase, 60 Hz 	5–30 kHz	35 kW at 100% Duty Cycle	50 A, 460 V	39/37	H: 27-1/2 in (699 mm) W: 21-3/4 in (552 mm) D: 36-3/4 in (933 mm)	Net: 227 lb (103 kg) Ship: 265 lb (120 kg)
400–460 V, 3-Phase, 50/60 Hz, CE			40 A, 575 V			

 Certified by Canadian Standards Association to both the Canadian and U.S. Standards.

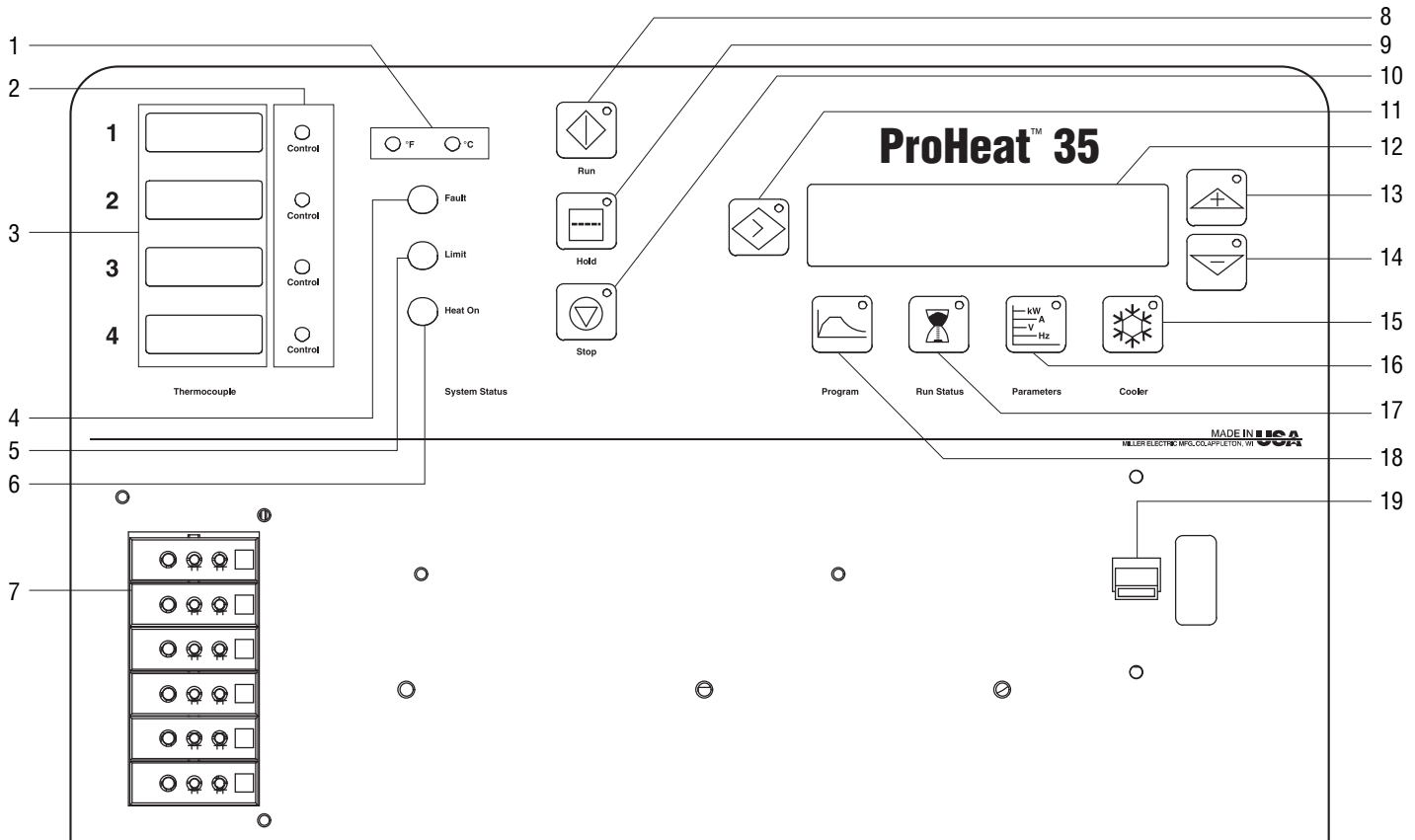
## System Configurations



The ProHeat 35 Induction Power Source is designed with two output connectors for either air-cooled blankets or liquid-cooled cables. This capability requires the use of same size air-cooled blankets or in the case of liquid-cooled systems, the applications must be the same (same size pipe, same program and same coil). The Cable Identification System is able to detect

which type of cables are attached and configures the maximum output for the power source. This helps to protect cables and blankets from exceeding the rated duty cycle. The outputs are protected through insulated connectors or when not in use, a protective output cap. The system will not operate with an exposed output connector.

# Control Panel



When a control panel button is pushed the yellow lamp lights to indicate activation.

1. Temperature Units LEDs (LEDs indicate units for temperature measurements [°F or °C])
2. Control Thermocouple LEDs (LEDs indicate which thermocouples [1–4] are used to control the heating process)
3. TC1–4 Temperature Display (Provides temperature display of thermocouples 1 through 4)
4. Fault LED (LED lights to indicate a system fault condition)
5. Limit LED (LED lights to indicate a system limit condition)
6. Heat On LED (LED lights to indicate the power source output is energized)
7. Thermocouple Input Receptacles (Use receptacles for type K thermocouple inputs)

8. Run Button (Use button to run a heating process)
9. Hold Button (Use button to hold a heating process)
10. Stop Button (Use button to stop a heating process)
11. Cursor Button (Use button to move selection cursor in the 4 x 40 LCD display [item 12])
12. 4 x 40 LCD Display (Displays programming; run status, parameters, fault and limit conditions, and troubleshooting guide)
13. Increase Button (Use button to increase values)
14. Decrease Button (Use button to decrease value)
15. Cooler Button (Use button to turn cooler on and off)
16. Parameter Button (Use button to display “real time” power source operating parameters)
17. Run Status Button (Use button to display “real time” operating status)
18. Program Button (Use button to program the process control)
19. Power Switch (Use switch to turn power source on and off)

# ProHeat™ 35 Air-Cooled Induction System



The Air-Cooled Induction Heating System is specifically designed for preheating applications up to 400°F (204°C). The system can be operated in the Manual Programming mode where a power output is applied to a part for a specified time or in the Temperature Based Programming mode where part temperature is used to control power output. Air-cooled blankets are available for pipe diameters from 8 to 60 inches or in the case of plate, the lengths are from 41 to 205 inches.

## Typical Applications for Air-Cooled Induction Heating Systems

### On-Shore Transmission Pipelines

- Provides uniform heating around the circumference of higher strength pipe.
- Maintains temperature on large diameter, thick wall pipe where heat input from process cannot maintain minimum interpass temperature.
- Eliminates propane costs.

### Off-Shore Transmission Pipelines (Barge)

- Provides uniform heating around the circumference of higher strength pipe.
- Provides rapid time-to-temperature.
- Eliminates propane costs, storage and transportation.
- Eliminates open flame safety hazard on barge.

### Shipbuilding

- Provides uniform rapid heating in plate applications.
- Multiple outputs and up to 4 blankets can heat long joints with minimum machines.
- Provides a safer, friendlier work environment for welders and operators. Personnel are not exposed to open flame, explosive gases or hot heating elements.
- Power efficient compared to resistance heating.

### Mining

- Provides uniform heating on high hardness material to prevent cracking.
- Increases productivity by improving welder environment and maintains temperature.
- Multiple outputs and up to 4 blankets can heat long joints with minimum machines.
- Eliminates propane costs.

## Induction Blanket



Miller's flexible **induction blanket** is the newest innovation in preheat technology from a leader in the welding industry. The flexible, lightweight induction heating blankets come in a variety of sizes and are capable of preheat temperatures up to 400°F (204°C). See Lit. Index No. IN/3.0 for additional information on temperature rating and duty cycle. The blankets easily conform to circular and flat parts and install in a matter of seconds. Manufactured from durable high-temperature materials, flexible induction blankets are designed to withstand the tough

conditions in both industrial and construction applications. Each blanket is supplied with two spare blanket-securing straps and one replaceable **Kevlar® sleeve** which provides added protection against abrasion, cuts and tears, extending blanket life.



## Output Extension Cables and Series Cable Adapter

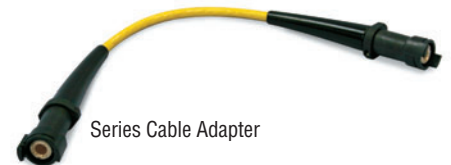


Output Extension Cable

**Output extension cables** are available in 25, 50, and 75 ft (7.6, 15.2, and 22.8 m) lengths and provide interconnection between the power source and flexible induction blanket. This product includes durable twistlock connectors for attachment to the induction blanket. The power source connection is made using an insulated twistlock connector which also identifies the type of heating device to the power source controller (air-cooled or liquid-cooled system). This cable identification system prevents over duty cycling of the heating blanket. A special cable-potting process is utilized at the cable ends

to assure the product withstands the rugged environment experienced in the industrial and construction markets.

The **series cable adapter** is used to combine two blankets in series. This enables one power source and one output cable to be used to create extra heating area using two blankets.



Series Cable Adapter

## Remote On/Off Switch (optional)



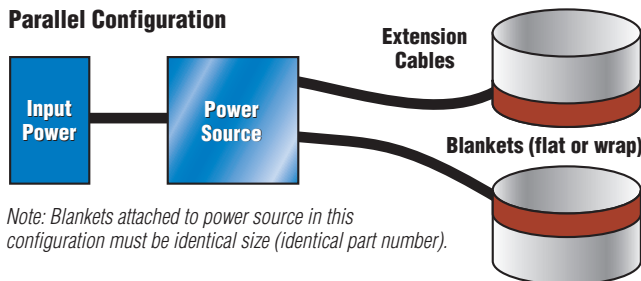
The Miller **remote contactor control** is a simple lightweight control for manually and remotely turning the power source output on and off. It is designed to interface with the ProHeat power source through the 14-contact receptacle.

The simple rocker-style contact switch is mounted in a rugged housing and includes a 25 ft (7.6 m) cable and 14-contact connector.

## Series and Parallel System Configurations

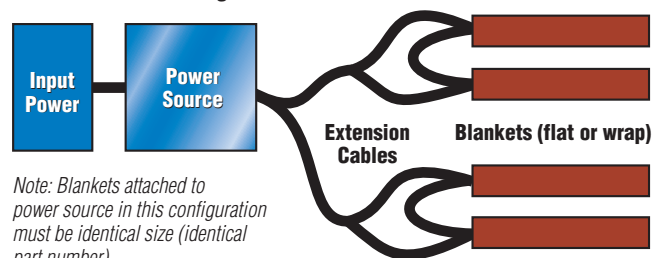
See literature Index No. IN/3.0 Flexible Induction Blankets for more information on air-cooled blanket configurations.

### Parallel Configuration



*Note: Blankets attached to power source in this configuration must be identical size (identical part number).*

### Series Parallel Configuration



*Note: Blankets attached to power source in this configuration must be identical size (identical part number).*

# ProHeat™ 35 Liquid-Cooled Preheat and Stress Relieving Systems



The Liquid-Cooled Induction Heating System is designed for preheating, hydrogen bake-out and stress relieving applications up to 1450°F (788°C). The system can be operated in the Manual Programming mode where a power output is applied to a part for a specified time or in the Temperature Based Programming mode where part temperature is used to control power output. Liquid-cooled heating cables provide a highly versatile tool for preheating a variety of pipe diameters and even flat plate. In general, shorter cables are used for smaller diameter pipe and are easier to handle and set-up. Longer cables are used for larger diameter pipe or small pressure vessels and tanks. Great for preheat applications on geometrics that prevent use of air-cooled blankets.

## Typical Applications for Liquid-Cooled Induction Heating Systems

### Pipe Fabrication Shops

- Provides uniform heating around the circumference of higher strength pipe.
- Reduces set-up time and time-to-temperature in preheat applications.
- Significantly reduces consumable costs.
- Eliminates propane costs.

### Field Construction of Power and Process Piping

- Provides uniform heating around the circumference of higher strength pipe.
- Provides rapid time-to-temperature, reducing total weld cycle time.
- Easy to set-up and operate in preheat applications — welder friendly.
- Reduces consumable costs.

### Shrink Fit

- Expand impellers, flanges, and other interference fit components for removal or installation on a shaft.

### Shipbuilding — Prop Shafts, Piping Systems, Plate (High Duty Cycle/High Temp)

- Provides uniform rapid heating in plate and pipe applications.
- Adaptable to heavy plate applications.
- Provides a safer, friendlier work environment for welders and operators. Personnel are not exposed to open flame, explosive gases or hot heating elements.
- Power efficient compared to resistance heating.

### Mining

- Provides uniform heating on high hardness material to prevent cracking.
- More flexible than air-cooled systems for complex shapes.
- Enables higher preheat temperatures than air-cooled systems.
- Eliminates propane costs.

## Heavy-Duty Induction Cooler



Heavy-duty induction cooler with optional running gear shown attached to bottom of ProHeat 35.

The **heavy-duty induction cooler** is designed with an efficient fin and tube heat exchanger, 2-1/2 gallon rustproof polyethylene tank, high-pressure pump and blower to yield a high cooling capacity.

- The cooler is equipped with a flow sensor/indicator and temperature sensor to provide system reliability.

- External input and output filters are used to remove contaminants from the cooler and cable. Filters are easily accessible for cleaning.
- Cooler is attached to power source and available separately. The cooler can be added to power source at a later date to upgrade from air-cooled to liquid-cooled systems.
- Running gear can be attached to power source or cooler.

### Dimensions

H: 12-3/4 in (324 mm)  
W: 21-1/4 in (540 mm)  
D: 30 in (762 mm)

### Shipping Weight

122 lb (55 kg)

## Output Extension Cables



The **output extension cables** are available to remote the power source up to 75 feet from the work. Insulated quick-connects are used to easily remove and attach the coolant lines. The power source connector securely locks the cable to the power source and insulates the

output connector. The Cable Identification System built into the connector identifies the liquid-cooled systems and permits full power. The cables are flexible for ease of use.

## Liquid-Cooled Heating Cable and Preheat Cable Covers



Liquid-Cooled Heating Cable

The **liquid-cooled heating cable** couples the power to the part to be heated. The silicone hose encloses a special copper conductor specifically designed for carrying high-frequency current to maximize efficiency. The hose also carries the coolant, which cools the conducting wire. The hose is reinforced for strength and durability.



Preheat Cable Cover

**Preheat cable covers** are available to protect the heating cable from slag and molten metal created during welding. The cable covers must be used with the 1/2 in (12.7 mm) preheat insulation up to 650°F (343°C).

## Preheat Insulation and Postweld Heat Treatment Insulation Blankets



Preheat Insulation

Postweld Heat Treatment Insulation Blanket

The insulation is designed to insulate the work for process efficiency, maintain the optimum coupling distance between the coil and the work and protect the liquid-cooled cable from high temperatures.

**Preheat insulation** is provided in strips six or twelve inches wide and ten feet long. Preheat insulation is 1/2 in (12.7 mm) thick due to the lower temperatures of preheating (typically up to 600°F). The insulation is cut to length for the application.

**Postweld heat treatment insulation blankets** are sized and stenciled for the pipe size to be treated. The insulation is sewn into a silica blanket, which provides high durability. 50 thermal cycles or more can be achieved with one blanket. The sewn blanket insulation does not create the dust and particulate associated with insulation. This creates a friendlier environment for the heat-treaters and welders.

## Digital Recorder with Protective Enclosure (Optional)



Digital Recorder

The **digital recorder** is commonly used in stress relieving and critical preheat applications. The recorder stores temperature data based on time. It is not required to perform successful heating applications.

- The recorder is attached to power source top panel or can be removed for office downloads, storage or protection when not in use.
- The recorder power cord plugs into the 110 V auxiliary receptacle on the rear of the ProHeat and the TC cable plugs into the TC receptacle on the rear of the ProHeat.

- Six or twelve temperature (0–10 V) inputs provide temperature data on the heating cycle.
- The recorder is equipped with a touch screen for simple programming and use. The color display permits clear monitoring of the heating process in outdoor environment (direct sunlight).
- Data can be transferred from internal memory to USB memory stick or directly to a PC via a network cable for printing, storage or further analysis. Files are encrypted for quality assurance.
- Simplified software prints recorded information onto 8-1/2 x 11 in size paper for convenient handling.
- The recorder does not require pens, paper or fragile mechanical devices to document the heating cycle.

- **Dimensions**  
H: 14 in (356 mm)  
W: 12 in (305 mm)  
D: 18 in (457 mm)

**Shipping Weight**  
22 lb (10 kg)

## TC Extension Cable



TC Extension Cable

The **thermocouple extension cable** is a simple means of providing thermocouple inputs from the heated part to the power source. The durable 50 ft cable eliminates the cluttered stringing of individual wires to the work. The terminal connection enables six thermocouples to be used with the system.

# Ordering Information

Equipment and Options	Stock No.	Description	Qty.
<b>ProHeat™ 35 with Built-In Temperature Control</b>	<b>#907 271</b> <b>#907 432</b>	460–575 VAC, 3-phase, 60 Hz, 35 kW power source 400–460 VAC, 3-phase, 50/60 Hz, 35 kW power source, <b>CE</b>	
Running Gear	<b>#195 436</b>	For power source or cooler	
Remote Contactor Control	<b>#043 932</b>	Provides remote on/off for power source	
Heavy-Duty Induction Cooler	<b>#951 142</b>	Attaches to power source. Includes case of coolant #300 355	
<b>Temperature Measurement Accessories</b>			
Digital Recorder with Protective Enclosure	<b>#195 374</b> <b>#300 698</b>	6 channel. Includes temperature output cable 12 channel. Includes temperature output cable	
Interconnect Cable	<b>#300 168</b>	Temperature output, 5 ft, used with alternative recorder (not required if ordering #195 374 or #300 698)	
Thermocouple Attachment Unit	<b>#194 959</b>	Welder	
Thermocouple (Welded)	<b>#194 999</b>	Type K thermo. wire, 500 ft	
Thermocouple Connectors (Used with #194 999)	<b>#195 098</b>	Type K, 2-pin male, pkg of 10	
Thermocouple (Contact)	<b>#200 202</b>	Contact thermocouple sensor (for preheat only). 500°F/260°C maximum	
Thermocouple Extension	<b>#194 968</b> <b>#200 201</b>	Cable, ext. 6 pair type K, 50 ft Cable, ext. 25 ft type K, armored	

Air-Cooled Components		Qty.
Output Extension Cables	<b>#195 404</b> <b>#195 405</b> <b>#300 362</b> <b>#195 437</b>	Air-cooled, 25 ft Air-cooled, 50 ft Air-cooled, 75 ft Air-cooled, 28 in series cable adapter
Induction Blankets (Selected based on pipe size or plate length)	<b>#300 336</b> <b>#224 584</b> <b>#300 060</b> <b>#300 061</b> <b>#300 062</b> <b>#300 063</b> <b>#300 087</b> <b>#300 064</b> <b>#300 065</b> <b>#300 066</b> <b>#300 067</b> <b>#300 068</b> <b>#300 069</b> <b>#300 070</b> <b>#300 071</b> <b>#300 072</b> <b>#300 073</b> <b>#300 074</b> <b>#300 075</b> <b>#300 077</b> <b>#300 078</b> <b>#300 079</b> <b>#300 080</b> <b>#194 715</b>	For 60 in pipe (197" x 7.5" with sleeve) For 56 in pipe (185" x 7.5" with sleeve) For 52 in pipe (173" x 7.5" with sleeve) For 48 in pipe (160" x 7.5" with sleeve) For 46 in pipe (154" x 7.5" with sleeve) For 42 in pipe (141" x 7.5" with sleeve) For 40 in pipe (135" x 7.5" with sleeve) For 38 in pipe (129" x 7.5" with sleeve) For 36 in pipe (122" x 7.5" with sleeve) For 34 in pipe (116" x 9.0" with sleeve) For 32 in pipe (110" x 9.0" with sleeve) For 30 in pipe (104" x 9.0" with sleeve) For 28 in pipe (97" x 9.0" with sleeve) For 26 in pipe (91" x 9.0" with sleeve) For 24 in pipe (85" x 9.0" with sleeve) For 22 in pipe (78" x 9.0" with sleeve) For 20 in pipe (72" x 9.0" with sleeve) For 18 in pipe (66" x 9.0" with sleeve) For 16 in pipe (60" x 10.1" with sleeve) For 14 in pipe (53" x 10.1" with sleeve) For 12 in pipe (47" x 10.1" with sleeve) For 10.75 in pipe (45" x 11.3" w/sleeve) For 8.625 in pipe (40" x 13.1" w/sleeve) 29.75" diameter circular w/sleeve
Replacement Blanket Sleeves	<b>#232 453</b> <b>#217 628</b> <b>#200 262</b> <b>#198 670</b> <b>#194 809</b> <b>#198 669</b> <b>#194 814</b> <b>#194 813</b> <b>#194 705</b> <b>#194 812</b> <b>#194 811</b> <b>#198 668</b> <b>#198 667</b> <b>#198 666</b> <b>#194 706</b> <b>#198 665</b> <b>#198 664</b> <b>#194 707</b> <b>#194 887</b> <b>#194 888</b> <b>#194 889</b> <b>#195 338</b> <b>#195 337</b>	For 60 in pipe (205" x 7.5") For 56 in pipe (193" x 7.5") For 52 in pipe (179" x 7.5") For 48 in pipe (166" x 7.5") For 46 in pipe (159" x 7.5") For 42 in pipe (146" x 7.5") For 40 in pipe (140" x 7.5") For 38 in pipe (133" x 7.5") For 36 in pipe (127" x 7.5") For 34 in pipe (120" x 9.0") For 32 in pipe (114" x 9.0") For 30 in pipe (107" x 9.0") For 28 in pipe (100" x 9.0") For 26 in pipe (94" x 9.0") For 24 in pipe (87" x 9.0") For 22 in pipe (81" x 9.0") For 20 in pipe (74" x 9.0") For 18 in pipe (68" x 9.0") For 16 in pipe (62" x 10.1") For 14 in pipe (55" x 10.1") For 12 in pipe (49" x 10.1") For 10.75 in pipe (45" x 11.3") For 8.625 in pipe (41" x 13.1")

Liquid-Cooled Components		Qty.
Output Extension Cables	<b>#300 180</b> <b>#195 402</b> <b>#195 403</b> <b>#300 598</b> <b>#204 877</b>	Liquid-cooled, 10 ft Liquid-cooled, 25 ft Liquid-cooled, 50 ft Liquid-cooled, 75 ft Coolant jumpers
Heavy-Duty Induction Cooler	<b>#195 406</b>	Requires #300 355 coolant
Coolant	<b>#300 355</b>	4 gallons (case)
Heating Cables	<b>#300 045</b> <b>#300 046</b> <b>#300 047</b> <b>#300 049</b>	30 ft 50 ft 80 ft 140 ft
Preheat Covers	<b>#204 611</b> <b>#204 614</b> <b>#204 620</b>	30 ft 50 ft 80 ft
Preheat Insulation	<b>#204 669</b> <b>#195 376</b> <b>#211 474</b> <b>#194 965</b>	Woven silica (1/2" x 6" x 120") Woven silica (1/2" x 6" x 240") Woven silica (1/2" x 12" x 120") High-temperature rope, 1" wide, 50 ft roll
Postweld Heat Treatment Insulation Blankets	<b>#194 947</b> <b>#194 948</b> <b>#195 477</b> <b>#194 949</b> <b>#195 476</b> <b>#194 950</b> <b>#194 951</b> <b>#194 952</b> <b>#194 953</b> <b>#194 954</b> <b>#194 955</b> <b>#194 956</b> <b>#300 449</b> <b>#194 957</b> <b>#194 958</b> <b>#195 502</b> <b>#194 998</b> <b>#207 817</b> <b>#222 228</b> <b>#300 155</b> <b>#300 156</b>	For 2.5 in pipe (12" x 15") For 4 in pipe (12" x 21") For 5 in pipe (12" x 26") For 6 in pipe (12" x 30") For 7 in pipe (18" x 34") For 8 in pipe (18" x 38") For 10 in pipe (18" x 43") For 12 in pipe (18" x 49") For 14 in pipe (18" x 54") For 16 in pipe (18" x 58") For 18 in pipe (24" x 67") For 20 in pipe (24" x 73") For 21 in pipe (24" x 76") For 22 in pipe (24" x 79") For 24 in pipe (24" x 85") For 26 in pipe (24" x 91") For 28 in pipe (24" x 98") For 30 in pipe (24" x 105") For 32 in pipe (24" x 112") For 36 in pipe (24" x 126") For 40 in pipe (24" x 140")

Date:

Total Quoted Price:

Distributed by:





# UNIVERSAL BUG-O-MATIC

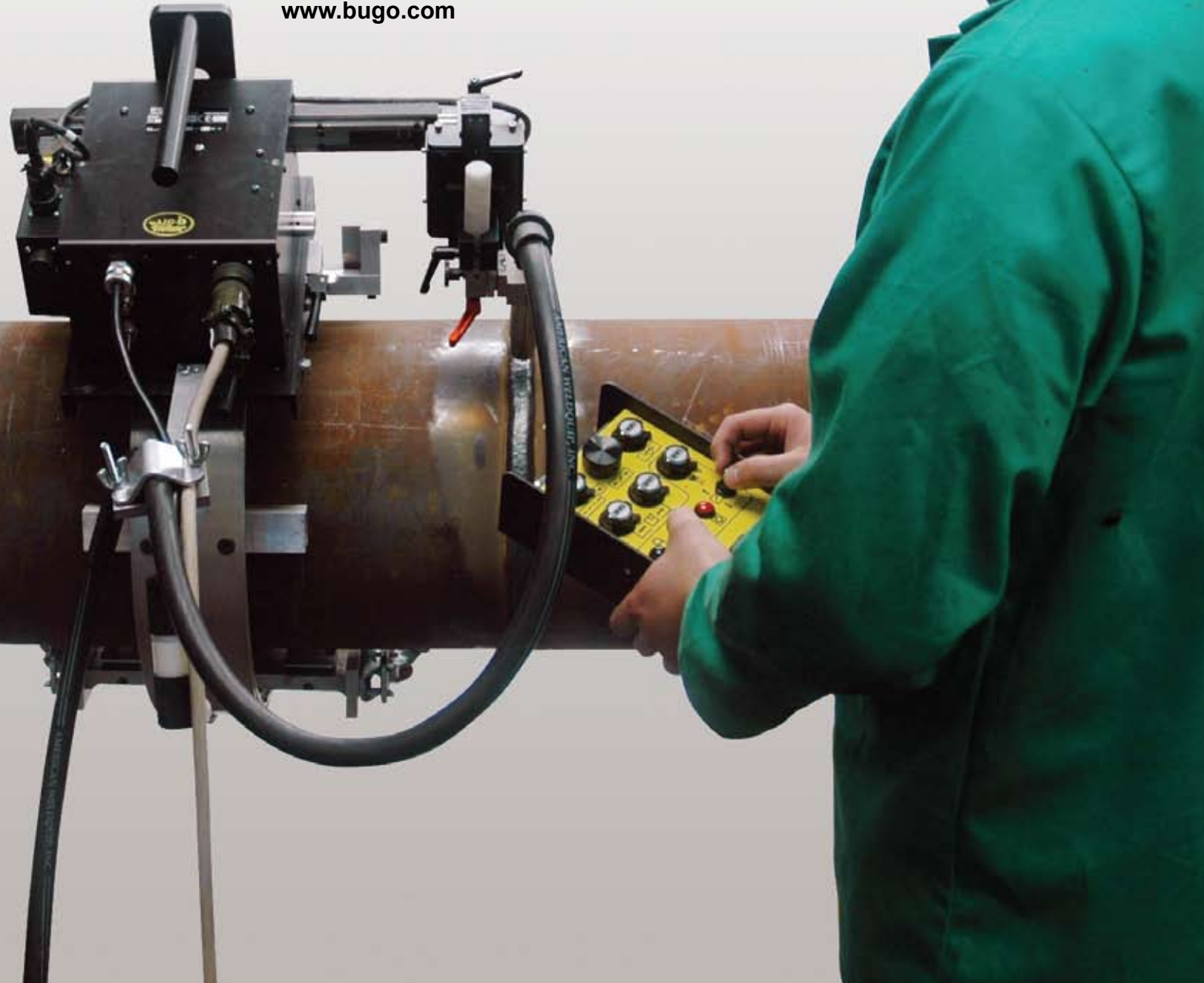
Flexible, Compact Drive and Oscillator  
Combination for Welding in All Positions



## Bug-O Systems

Automated Cutting and Welding Systems

1-412-331-1776  
[www.bugo.com](http://www.bugo.com)





# UNIVERSAL BUG-O-MATIC



The **Universal Bug-O-Matic** (BUG-5700, BUG-5702 and BUG-5704) is a compact unit which combines a powerful drive and precision oscillator all in one housing. The unit is lightweight and can easily be handled by one operator. The machine works in all positions and can be used for vertical and overhead welds. By simply changing the carriage, the unit can work on rigid rail, semi-flex rail, hi-flex rail or complete ring rails. The opening mechanism of the carriage allows the unit to be released or installed anywhere on the rail.

While welding, adjustments can be made to the travel speed, amplitude and oscillation speed as well as dwell left and dwell right. While the machine is welding, the torch can be guided by a separate steering knob. Closed loop feedback and dynamic braking allow the Bug-O-Matic to make precise starts, stops and travel at a constant speed.

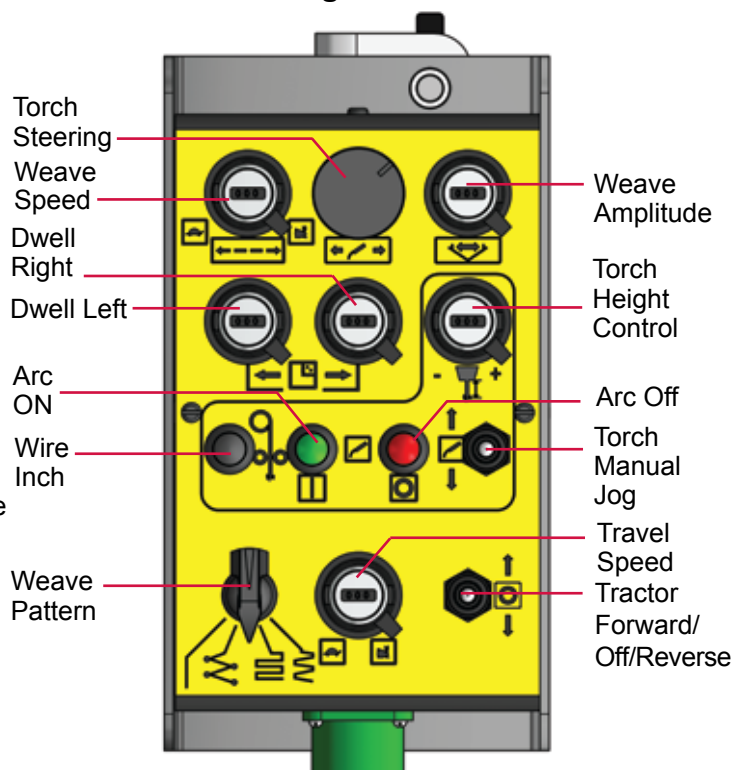
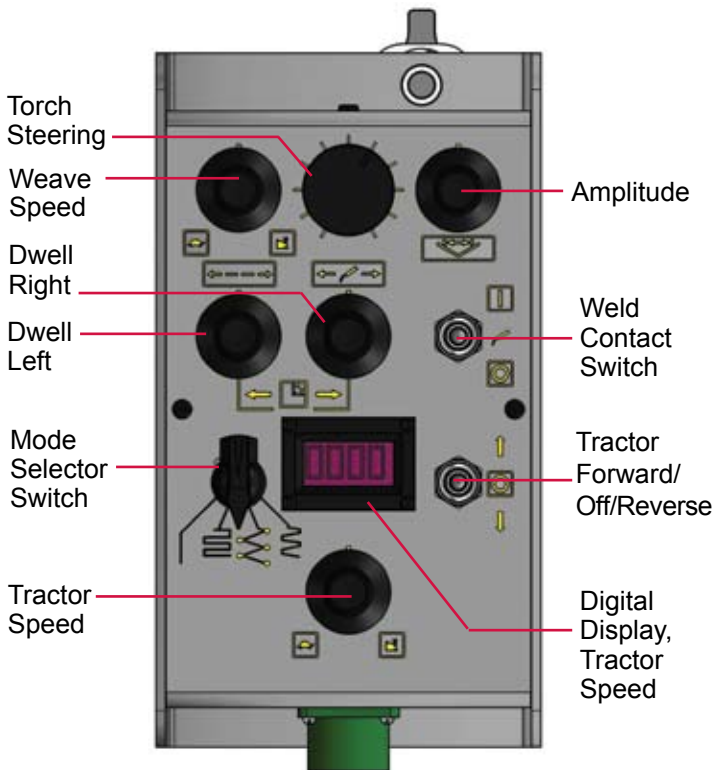
The **Universal Bug-O-Matic with Auto Height Control** (BUG-6550, BUG-6552 and BUG-6554) has the same functions as the Universal Bug-O-Matic but in addition features amperage sensing automatic torch height adjuster which maintains constant torch to work distance. The Height Control features a motorized slide which provides a total of 2" (51 mm) of vertical travel.

## Pendant Control

The Universal Bug-O-Matic features a remote control pendant which allows the operator to run the machine from up to 10 feet (3 m) away. The pendant can be clamped to the machine handle for easy storage or transport.

**Standard Pendant**

**Automatic Height Control Pendant**



## Universal Bugomatic Options

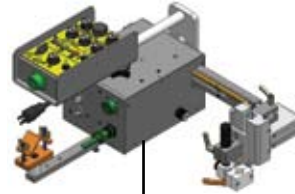
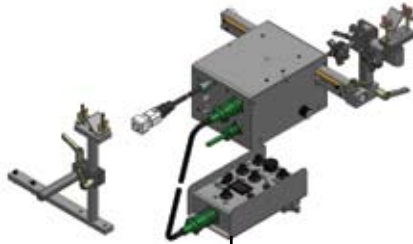
### 1 Control Modules

Standard Universal Bugomatic

**BUG-5700** 120 VAC  
**BUG-5702** 240 VAC  
**BUG-5704** 42 VAC

Universal Bugomatic with Automatic Height Control

**BUG-6550** 120 VAC  
**BUG-6552** 240 VAC  
**BUG-6554** 42 VAC



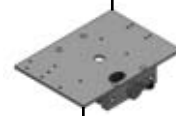
### 2 Carriages



**MPD-1065**  
 12" (305 mm)  
 Releasable Carriage



**BUG-5910**  
 Tube Carriage



**FMD-1105**  
 Hi-Flex Carriage

### 3 Rails



**ARR-1080**  
 Aluminum Rigid Rail 8' (2.37 m)

**ARR-1085**  
 Aluminum Rigid Rail 4' (1.18 m)

**AFR-3000**  
 Semi-Flex Rail 8' (2.37m) - Flex to minimum radius 15' (5 m)

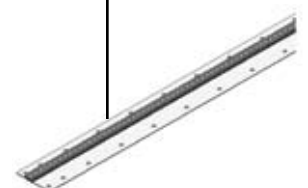


**BRR-1180**  
 Bent Rigid Rail



**BRR-3250-**  
 Bent Ring Rail

Minimum Workpiece Diameter 9" (230 mm)



**FMD-1050**  
 Hi-Flex Rail 57.72" (1.47 mm) - Flex to minimum radius 30" (760 mm)

### 4 Attachments



**ARM-**  
 Magnets



**ARV-**  
 Vacuum Cups



**ARM-2380**  
 Support Bar w/Screw Feet



**ARM-2480**  
 Support Bar w/Magnets



**FMD-**  
 Magnets



**FMD-**  
 Vacuum Cups

For more information on vacuum cups, magnets and rails, please see the corresponding rail page in the "Rails and Attachments" brochure in order to match the correct attachments with your rails.



# UNIVERSAL BUG-O-MATIC

The **Universal Bug-O-Matic** is operator friendly and produces precise accurate welds. The remote pendant allows the operator to produce repeatable welds with pre-set parameters which increases production, improves quality and workers environment.

## Technical Data:

### Universal Bug-O-Matic

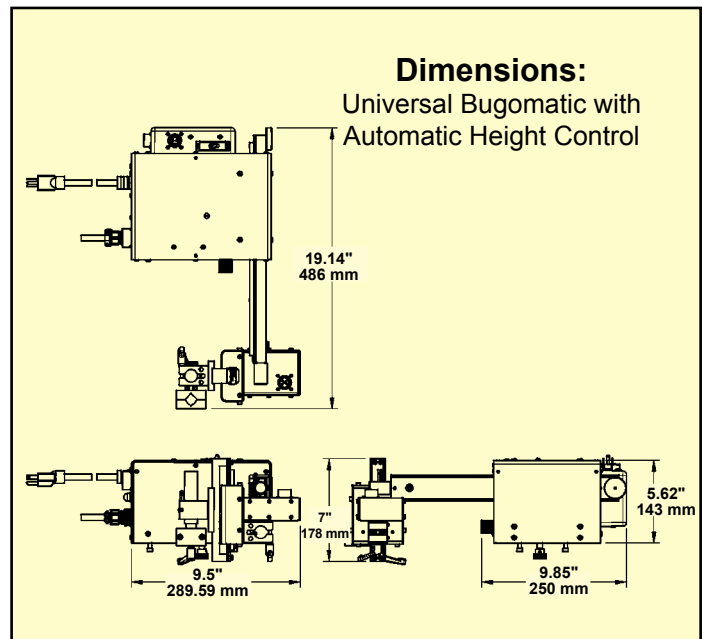
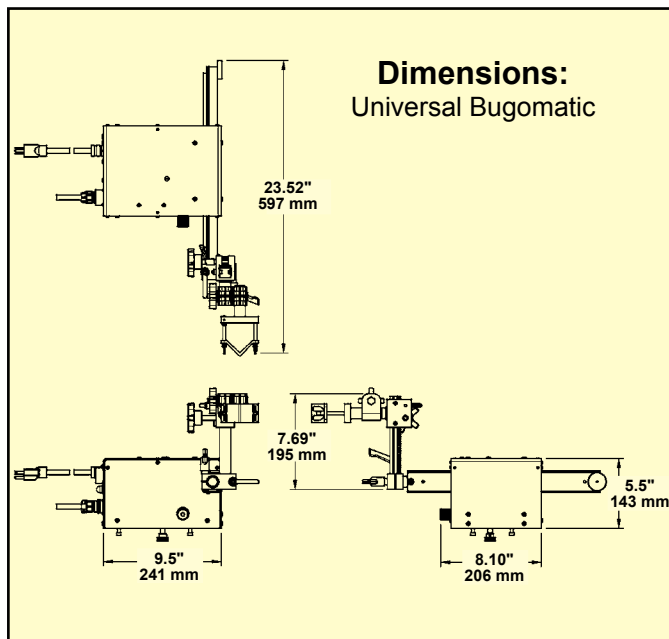
<b>Power Requirements:</b>	BUG-5700 120 VAC/50-60/1 BUG-5702 240 VAC/50-60/1 BUG-5704 42 VAC/50-60/1
<b>Linear Speed:</b>	3-70 ipm (75-1750 mm/m)
<b>Weave Speed:</b>	4-100 ipm (100-2500 mm/m)
<b>Dwell Time:</b>	0-3 seconds, left and right
<b>Weave Width:</b>	0.1-2" (2.5-50 mm)
<b>Steering:</b>	2" (50 mm) left and right of center 4" (100 mm) total
<b>Load Capacity:</b>	30 lbs. (14 kg)
<b>Net Weight:</b>	28 lbs. (13 kg)
<b>Shipping Weight:</b>	33 lbs. (15 kg)

### Universal Bug-O-Matic With Auto Height Control

<b>Power Requirements:</b>	BUG-6550 120 VAC/50-60/1 BUG-6552 240 VAC/50-60/1 BUG-6554 42 VAC/50-60/1
<b>Linear Speed:</b>	3-70 ipm (75-1750 mm/m)
<b>Weave Speed:</b>	4-100 ipm (100-2500 mm/m)
<b>Dwell Time:</b>	0-3 seconds, left and right
<b>Weave Width:</b>	0.1-2" (2.5-50 mm)
<b>Steering:</b>	2" (50 mm) left and right of center 4" (100 mm) total
<b>Load Capacity:</b>	30 lbs. (14 kg)
<b>Net Weight:</b>	36 lbs. (16 kg)
<b>Shipping Weight:</b>	41 lbs. (19 kg)



## Dimensions:



# Tenacito 110 plus

Electrodos y varillas para acero



## Descripción:

Electrodo de bajo hidrógeno de altas propiedades mecánicas.

## Norma Técnica

AWS A5.5 – ASME II - C	DIN EN 499	UNS Number
E11018-G H4	---	---

## Análisis químico del metal depositado

C	Si	Mn	Mo	Cr	Ni	S	P
0.05	0.29	1.28	0.5	0.49	2.31	0.02	0.02

## Características:

- El **Tenacito 110 plus** es un electrodo cuyo revestimiento es de tipo básico, bajo hidrógeno para ser aplicado con corriente continua polaridad al positivo y corriente alterna (80 OCV, mín). Presenta un arco suave con bajo nivel de salpicaduras, escoria fluída de fácil remoción. La punta del electrodo esta grafitado lo que favorece un encendido mucho más rápido del arco. El depósito de soldadura es bastante homogéneo, tiene un bajo nivel de hidrógeno difusible, tiene una excelente calidad radiográfica y presenta una alta resistencia al impacto a bajas temperaturas (-40°C).

## Parámetros de Soldadura:

Diámetro (mm)	Amperaje (A)	Presentación
3,25mm x 350mm	110 – 140	Lata de 20Kg
4,00mm x 350mm	145 – 205	Lata de 20Kg

## Propiedades Mecánicas del Metal Depositado:

Límite Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Energía Impacto a - 40°C Charpy V (J)	Elongación en 2"
670 min	760 min	≥ 60	> 20%

Hidrógeno Difusible (promedio): HD (ml/100g) = 3,45

## Pre calentamiento y Tratamiento Térmico:

- En función del material a soldar, tomando en cuenta la composición química y el espesor del material.

## Aplicaciones:



- Para aceros de alta resistencia a la tracción de hasta 760MPa (110Ksi).
- Para aceros de baja aleación y alta resistencia. Es una soldadura que brinda alta resistencia al impacto en piezas sometidas a bajas temperaturas. Se usa en carcasas de molinos, palas mecánicas, estructuras de maquinaria pesada, etc.
- Para aceros al carbono del tipo : ASTM A514 Gr E, Hardox 400 , Hardox 600 , Weldox 700.

## Recomendaciones para su uso:

- Se recomienda que una vez abierto el envase original , conservar los electrodos en hornos de mantenimiento de soldaduras a una temperatura mínima de 125 °C .
- En caso de que el electrodo se exponga a la humedad , se puede resecar por una vez a 350°C por 2 horas.



SOLDEXSA S.A.

		Laboratorio de Ensayos EXSA.		<b>Reporte de Ensayo</b> Hidrogeno Difusible: Electrodo		Fecha : 2008/08/29	
1. Requerimiento							
Solicitado por :				Soldexsa			
Norma de Uso : AWS A 4.3 <input checked="" type="checkbox"/>				Espécimen AWS <input checked="" type="checkbox"/>			
Material de Aporte: TENACITO 110 Plus				Condición: Re-dried 400°C/2h			
Batch-No.: 07082008E30896-83							
Dimensión: 3.25 x 350 mm							
2. Condiciones de Soldeo							
Fecha:		29.08.2008					
Soldador:		G.Lurch					
Fuente de Poder:		XMT 304 CC/CV					
Tipo de Corriente/ Polaridad		DC+					
Corriente de Soldeo [A]:		120A					
Voltaje Uo/Uc [V]:		70V/24V					
Temperatura [°C]:		20°C					
Humedad Relativa [%]:		82%					
Numero de Especimenes:		1		2			
Peso del espécimen antes de Soldar [g]		134.3265		136.0106			
Peso del espécimen después de Soldar [g]		145.1034		143.7877			
Tiempo entre Soldeo y Baño de enfriamiento [s] :		25		22			
Tiempo entre Baño de enfriamiento y el muestreo [s] :		35		38			
Tiempo de Purga [s]:		30		30			
3. HD-Determinación con GC 7000							
Temperatura de Difusión. [°C] / - tiempo [h]		150°C / 6h					
Operador :		L.Caceres/R.Requejo					
Numero de Muestra :		1		2			
Difusible H2 [ml]		0.3245		0.2683			
Peso del Metal depositado [g]		10.7798		7.7771			
Resultados							
HD [ml/100g]		3.01		3.45			
Average		3.23					
							
				Ing. Ronald Requejo V Jefe Control de Calidad			

## ANEXO 7

# CUADROS Y FLUJOGRAMA DE PROCESO DE SOLDADURA

<b>Cuadro N°1 Cuadro comparativo entre procesos de Soldadura</b>			
<b>REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>PROCESO SMAW</b>	<b>PROCESO SEMIAUTOMATICO GMAW</b>	<b>PROCESO SEMIATOMÁTICO-MECÁNIZADO FCAW</b>
<b>VOLUMEN DE PRODUCCIÓN</b>	Baja tasa de deposición	Buena tasa de deposición	Alta tasa de deposición
<b>REQUERIMIENTOS DE SOLDADURA</b>	Buena calidad de cordones de soldadura, soldadura en todas las posiciones, buena penetración.	Excelente calidad de cordones de soldadura, baja penetración, dificultad para trabajar fuera de posición	Excelente acabado superficial y calidad de cordones de soldadura, buena penetración, soldadura en todas las posiciones
<b>HABILIDADES DE OPERADOR O SOLDADOR</b>	Requiere excelente habilidad del soldador, debe controlar velocidad de soldeo, Angulo de electrodo, distancia de electrodo.	Soldador solo debe controlar avance de torcha, lo que requiere menor habilidad de soldador	Operador solo controla proceso y variables programadas
<b>EQUIPO DE SOLDADURA</b>	Uso de equipo básico de soldadura: maquina de soldar, tenazas	Equipos de soldadura más complejos	Equipo de soldadura semiautomático + sistema mecanizado
<b>ACCESORIOS DE EQUIPOS DE SOLDADURA</b>	No es necesario	Alimentador de alambre, Torcha refrigerada, cooler, consumibles (boquilla, contactor, etc.), flujometro de gas de protección, recipiente con gas de protección.	Los usados en proceso semiautomático + sujetadores para sistema mecanizado
<b>CONDICIONES DEL METAL BASE</b>	Buena limpieza de metal base	Requiere de una excelente limpieza de metal base.	Buena limpieza de material base
<b>IMPLEMENTACION DE PROCESO</b>	Requiere menor tiempo de implementación y capacitación en uso de equipos	Requiere mayor tiempo de implementación de proceso y capacitación en uso de equipos.	Tiempos de implementación altos, debido a capacitación de operarios
<b>AMBIENTE DE TRABAJO</b>	Ideal para trabajo en campo, resistente a ambientes de trabajo agresivos, mayor resistencia de arco de soldadura a las corrientes de viento	Susceptibilidad de arco de soldadura a corrientes de aire, equipos electrónicos menos resistentes a ambientes de trabajo agresivos	Menos susceptibilidad del arco de soldadura a las corrientes de aire, equipo electrónico sensible a polvo y partículas metálicas
<b>REQUERIMIENTOS DE PROTECCIÓN</b>	Equipo de protección convencional para trabajos de soldadura	Mayor intensidad de arco, lo cual requiere equipo de protección más resistente	Alta cantidad de humos lo cual requiere extractor de humos
<b>FLEXIBILIDAD DE APLICACIÓN</b>	Mayor flexibilidad y versatilidad	Proceso menos versátil y flexible por mayor complejidad de equipos	Necesidad de juntas libres de obstáculos para su instalación, lo cual impide su aplicación en superficies complejas
<b>TIEMPO DE ACOMODO DE EQUIPO</b>	Rápida instalación de equipo para reiniciar labores de soldadura, pocas variables de programación (amperaje y voltaje)	Requiere mayor tiempo de instalación de equipos, mayor cantidad de variables de programación (velocidad alimentación de alambre, voltaje, stick out, flujo de gas protector)	Toma mayores tiempos de instalación, fijación y programación de sistema de mecanizado, programación de parámetros de soldadura similares al semiautomático
<b>LIMPIEZA DE CORDÓN DE SOLDADURA</b>	Requiere mayor cuidado en limpieza de escoria entre pasadas de cordones de soldadura, gran cantidad de salpicaduras	No requiere mayor limpieza de cordón de soldadura entre pasadas pues no forma escoria, menos salpicaduras	Requiere limpieza de cordones entre pasadas por formación de escoria, bajas salpicaduras



## Cuadro N°02 LISTA DE SOLDADORES CALIFICADOS CH-G1-EL PLATANAL GyM

Item	Apellidos Y Nombres	Estampa	Numero P No Grupo	Proceso	WPS-GyM	# Reporte RT/Dobles	# WPQ	Posición Calificada	Rango de Posición Calificada	Espesor/ Diam./ Calificado	Código	Fecha de Calificación	Fecha de Expiración	Calificador Autorizado	Taller-Obra	Observaciones
1	TICONA VELASQUEZ RONALD	TVR-W002	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyN-547-08	WPQ-006	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	26-ago-08	22-feb-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyN-636-08	WPQ-018	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	23-sep-08	22-mar-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	PL001-LYR-LIM-QAQC-ITR-112	WPQ-102	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	04-mar-09	31-ago-09	GyM	Electrodo	
2	ALVARADO CHOQUECONDOR FREDDY RONALD	ACHF-W003	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyN-620-08	WPQ-015	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	11-sep-08	10-mar-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyN-600-08	WPQ-008	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	11-sep-08	10-mar-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-075	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
3	CUTIPA APAZA RENE ALBERTO	CAR-W004	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyN-538-08	WPQ-003	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	21-ago-08	17-feb-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyN-637-08	WPQ-017	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	23-sep-08	22-mar-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	PL001-LYR-LIM-QAQC-ITR-112	WPQ-103	2G	F-H, Filete F,H	68mm	ASME sec IX	02-mar-09	29-ago-09	GyM	Electrodo	
4	FLORES MAMANI FREDY ALBERTO	FMF-W005	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyN-619-08	WPQ-016	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	11-sep-08	10-mar-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyN-599-08	WPQ-009	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	11-sep-08	10-mar-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-076	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
5	CALCIN ZELA FREDDY LUIS	CZF-W10	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyN-536-08	WPQ-002	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	19-ago-08	15-feb-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyN-541-08	WPQ-007	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	21-ago-08	17-feb-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	PL001-LYR-LIM-QAQC-ITR-112	WPQ-104	2G	F-H, Filete F,H	68mm	ASME sec IX	02-mar-09	29-ago-09	GyM	Electrodo	
6	QUISPE MORENO JAVIER	QMJ-W11	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyN-688-08	WPQ-030	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	09-oct-08	07-abr-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	PL001-LYR-LIM-QAQC-ITR-112	WPQ-105	2G	F-H, Filete F,H	68mm	ASME sec IX	04-mar-09	31-ago-09	GyM	Electrodo	
7	MAQUERA ARO WALTER	MAW-W12	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyN-687-08	WPQ-029	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	09-oct-08	07-abr-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyN-684-08	WPQ-027	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	07-oct-08	05-abr-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-077	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
8	SOLIS IRRIBARREN JHON	SIJ-W14	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	0021	WPQ-099	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	0012	WPQ-090	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	
9	SOLANO ZERPA LUIS ANGEL	SZL-W18	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	0022	WPQ-100	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	Liquidado
				SMAW	WPS-001	0013	WPQ-091	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-085	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
10	MELO FANARRAGA YAMIR ARAFAT	MFY-W19	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	0023	Rechazado	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	0014	WPQ-092	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-078	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
11	CONDORI CRUZ PAVEL	CCP-W20	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	0015	WPQ-096	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	0016	WPQ-093	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-008	WPQ-086	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
12	CARDENAS SALVADOR JOSE	CSJ-W22	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	17-2009/ISFIM	WPQ-097	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	Liquidado
				SMAW	WPS-001	18-2009/ISFIM	WPQ-094	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	

13	DE LA CRUZ LIÑAN JORGE	DCLJ-W23	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	19-2009/ISFIM	WPQ-098	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	20-2009/ISFIM	WPQ-095	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	28-ene-09	27-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-008	WPQ-087	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
14	AYAVIRI FULGERA FREDY	AFF-W24	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-04	WPQ-056	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	16-ene-09	15-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-17	WPQ-069	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	19-ene-09	18-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-079	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
15	SIPRIAN SIPE MARCOS	SSM-W25	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-05	WPQ-057	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	16-ene-09	15-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-19	WPQ-071	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	20-ene-09	19-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-080	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
16	CARRASCO HILARIO EDGAR	CHE-W26	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-06	WPQ-058	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	16-ene-09	15-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-13	WPQ-065	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	18-ene-09	17-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-081	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
17	CASTILLO HUYTA OSCAR	CHO-W27	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-21	WPQ-073	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	20-ene-09	19-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-18	WPQ-070	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	19-ene-09	18-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-082	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
18	TAPIA MARTINEZ MARCELO JHONY	TMM-W28	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-10	WPQ-062	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	17-ene-09	16-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-12	WPQ-064	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	17-ene-09	16-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-008	WPQ-088	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
19	RAMOS MAGNE ADEMAR FELIX	RMA-W29	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-11	WPQ-063	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	17-ene-09	16-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-15	WPQ-067	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	17-ene-09	16-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-RTE-001/002	WPQ-101	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-mar-09	01-sep-09	GyM	Electrodo	
20	QUISPE CUENCA HERNAN LUIS	QCE-W30	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-08	WPQ-060	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	16-ene-09	15-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-20	WPQ-072	4G	F,O-Filete F,H,O	60mm	ASME sec IX	20-ene-09	19-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-083	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
21	CANQUI CHURA FLORENTINO	CCF-W31	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-07	WPQ-059	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	16-ene-09	15-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-16	WPQ-068	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	19-ene-09	18-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-008	WPQ-089	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
22	QUISPE CUENCA FERNANDO EPIFANIO	QCF-W32	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	GyM-09	WPQ-061	3G	F,V-Filete F,H,V	40mm	ASME sec IX	16-ene-09	15-jul-09	GyM	Electrodo	En Obra
				SMAW	WPS-001	GyM-14	WPQ-066	4G	F,O-Filete F,H,O	40mm	ASME sec IX	17-ene-09	16-jul-09	GyM	Electrodo	
				SMAW	WPS-001	II-HT-071-UTE-007	WPQ-084	2G	F-H, Filete F,H	40mm	ASME sec IX	05-feb-09	04-ago-09	GyM	Electrodo	
23	AMADO ESPINAL PELAYO RAFAEL	AEP-W33	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	PL001-LYR-LIM-QAQC-ITR-130	WPQ-106	2G	F-H, Filete F,H	64mm	ASME sec IX	15-mar-09	11-sep-09	GyM	Electrodo	En Obra
24	AMADO ESPINAL RAMIRO WILFREDO	AER-W34	SUMITEN 780S Norma (JIS, Japan)	SMAW	WPS-001	PL001-LYR-LIM-QAQC-ITR-130	WPQ-107	2G	F-H, Filete F,H	64mm	ASME sec IX	15-mar-09	11-sep-09	GyM	Electrodo	En Obra