

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA DE
TUBERÍAS DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE
CONCENTRADO MEDIANTE SOFTWARE
CAESAR II**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

CARLOS GUTIERREZ MULLISACA

PROMOCION 2007 - II

LIMA-PERU

2 012

Dedicatoria:

En primer lugar a mis padres Hilario y Fermina por su esfuerzo durante mi etapa de estudiante. También a querida esposa por la comprensión y el tiempo de familia prestado para culminar este informe. También agradecer a aquellos compañeros de trabajo que de alguna manera han aportado en el desarrollo de mi trabajo profesional.

Tabla de contenido

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	4
INTRODUCCIÓN	4
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Objetivos	5
1.3 Alcances.....	6
1.4 Justificación.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Introducción al análisis de flexibilidad.....	8
2.2 ¿Por qué hacer un análisis de esfuerzos para tuberías?	8
2.3 Teoría y desarrollo de requerimientos de esfuerzos en tuberías	9
2.3.1 Conceptos de esfuerzos básicos.....	10
2.3.1.1 Esfuerzos normales	11
2.3.1.2 Esfuerzo de corte.....	16
2.3.1.3 Estado tridimensional de esfuerzos en la pared de la tubería	17
2.3.2 Teoría de fallas	21
2.3.2.1 Teoría de Von Mises - corte octaedral	22
2.3.2.2 Teoría Tresca - máximo esfuerzo de corte.....	23
2.3.2.3 Teoría Rankine - máximo esfuerzo	24
2.3.3 Criterio de intensificación del máximo esfuerzo.....	24
2.3.4 Factores de intensificación de esfuerzos.....	26
2.3.4.1 SIFs de código.....	28
2.4 Cumplimiento del código	32

2.4.1	Características de las cargas primarias.....	32
2.4.2	Características de las cargas secundarias.....	33
2.5	Recomendaciones de la ASME B31.11.....	33
2.6	Análisis de vibraciones.....	35
2.6.1	Modos normales de vibración.....	36
2.7	Rango de frecuencias seguras.....	38
2.7.1	Cargas dinámicas armónicas.....	38
2.7.1.1	Pulsación armónica.....	39
2.8	Análisis de fatiga.....	40
2.9	Metodología del análisis de esfuerzos en tuberías.....	42
2.9.1	Recopilación de información.....	42
2.9.2	Selección de líneas a estudiar.....	42
2.9.3	Colocación de restricciones.....	43
2.9.4	Análisis estático.....	43
2.9.4.1	Esfuerzo sostenido.....	43
2.9.4.2	Esfuerzo por expansión.....	43
2.9.4.3	Esfuerzo ocasional.....	44
2.9.5	Cargas en las restricciones.....	45
2.9.6	Desplazamientos.....	45
2.9.7	Cargas sobre boquillas.....	46
2.9.8	Acciones correctivas.....	47
2.9.9	Transferencia de información.....	47
2.10	Métodos para determinar la flexibilidad de un sistema.....	47
2.10.1	Método ASME B31.....	47
2.10.2	Variables que afectan la flexibilidad de una tubería.....	51
2.10.3	Criterios de Comparación de Sistemas de Tuberías.....	52

2.11	Tuberías enterradas	53
2.12	Criterios de diseño mecánico de tuberías para pulpas	57
2.12.1	Generales	57
2.12.2	Criterios para tuberías.....	58
2.13	Criterios para análisis de flexibilidad de tuberías para pulpas.....	60
2.13.1	General.....	60
2.13.2	Requerimientos para estudio de análisis de flexibilidad	61
CAPÍTULO III: BASES DE DISEÑO DEL PROYECTO.....		63
3.1	Límites de batería.....	63
3.2	Definiciones.....	64
3.3	Símbolos y abreviaciones.....	65
3.3.1	Unidades.....	66
3.4	Documentos de referencia.....	67
3.4.1	Documentos técnicos del proyecto.....	67
3.4.2	Archivos de modelos CAESAR II	67
3.5	Códigos y estándares.....	68
3.6	Filosofía de operación	69
3.7	Criterios de diseño	73
3.7.1	Consideraciones generales.....	73
3.7.2	Cálculo de esfuerzos.....	74
3.7.3	Software.....	74
3.8	Información específica para el modelado	74
3.8.1	Materiales	74
3.8.2	Presiones.....	75
3.8.2.1	Presión	75
3.8.3	Temperaturas.....	76

3.8.3.1	Temperatura ambiente.....	76
3.8.3.2	Temperatura de instalación o de referencia	76
3.8.3.3	Temperaturas en tuberías.....	76
3.8.4	Cargas debido a sismo	77
3.8.5	Consideraciones para tanque agitador.....	77
3.8.6	Tramos enterrados.....	78
3.8.7	Cargas admisibles por las bombas	78
3.8.7.1	Bombas centrífugas.....	78
3.8.7.2	Bombas de desplazamiento positivo.....	79
3.9	Fuerza de desbalance	79
3.10	Pesos de válvulas de bola	81
3.11	Coefficiente de rozamiento.....	81
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL ANÁLISIS		82
4.1	Geometría del modelo.....	82
4.2	Análisis de casos de estudio	82
4.2.1	Casos de estudio	82
4.2.2	Casos de cargas para análisis	85
4.3	Resultados	95
4.3.1	Esfuerzos.....	95
4.3.2	Cargas en bridas de bombas centrífugas	95
4.3.2.1	Bridas de succión y descarga	95
4.4	Cargas en bridas de bombas de desplazamiento positivo	96
4.4.1	Bridas de succión y descarga	96
4.5	Cargas en anclajes.....	96
4.6	Cargas en acoplamientos flexibles	97
4.7	Verificación de resonancia.....	97

4.8 Tipos de soportes.....	98
CAPÍTULO V: BASES DE DISEÑO DEL PROYECTO.....	101
CONCLUSIONES.....	104
BIBLIOGRAFIA	106
PLANOS	107

Anexos

Anexo 1: Disposición de nodos

Anexo 2: Esfuerzos admisibles según ASME B31.11

Anexo 3: Información sobre la bomba de desplazamiento positivo

Anexo 4: Fuerzas, momentos y desplazamientos en soportes

Anexo 5: Determinación de los coeficientes sísmicos de la zona

Anexo 6: Memoria de cálculo de los principales soportes

Anexo 7: Estimado de costos del estudio

Lista de figuras

Figura N° 2.1. Tipos de esfuerzos en las tuberías.	11
Figura N° 2.2. Esfuerzo longitudinal.....	12
Figura N° 2.3. Esfuerzo longitudinal por presión interna	12
Figura N° 2.4. Esfuerzo longitudinal por flexión.	13
Figura N° 2.5. Esfuerzo circunferencial o de Hoop.	14
Figura N° 2.6. Esfuerzo radiales.	15
Figura N° 2.7. Esfuerzo cortante.....	16
Figura N° 2.8. Esfuerzo cortante.....	17

Figura N° 2.9. Estado tridimensional de esfuerzos.	18
Figura N° 2.10. Estado tridimensional de esfuerzos.	20
Figura N° 2.11. Prueba de esfuerzo de tensión uniaxial.	21
Figura N° 2.12. Ovalización de una curva bajo momentos externos.	27
Figura N° 2.13. Curvas equivalentes para otro tipo de accesorios de tubería.	29
Figura N° 2.14 Factor de flexibilidad “k”, SIFs y flexibilidad característica “h”.	31
Figura N° 2.15. Obtención de frecuencia natural caso simple.	37
Figura N° 2.16, Grados de libertad de un sistema.	37
Figura N° 2.17, Rango de frecuencias seguras.	38
Figura N° 2.18, Perfil de carga pulsante.	39
Figura N° 2.19. Curva para diseño de fatiga (Figura 5.110.1, ASME VIII Div. 2).	40
Figura N° 2.20. Ejemplo de flexibilidad en un sistema simple.	49
Figura N° 2.21. Cálculo de la distancia entre anclajes.	50
Figura N° 2.22, Tubería sepultada con dimensiones de la zanja.	54
Figura N° 2.23. Coeficientes de carga Cd para tuberías en zanja.	55
Figura N° 2.24. Longitud del anclaje virtual: punto sin movimiento en tubería enterrada.	57
Figura N° 2.25, “Choke station” típica estación de anillos disipadores fijos de presión.	60
Figura N° 3.1. Límites de batería del proyecto.	63
Figura N° 3.2. Vista general de la estación de bombas 2 (PS2).	69
Figura N° 3.3. Equipos principales: tanques, bomba de cargas y PDP’s.	70
Figura N° 4.1. Caso de operación A.	83
Figura N° 4.2. Caso de operación B.	83
Figura N° 4.3. Caso de operación C.	84
Figura N° 4.4. Caso de operación D.	84

Figura N° 4.5. Caso de operación E y F.....	84
Figura N° 4.6. Descarga de PDP: Caso de operación A.	85
Figura N° 4.7. Descarga de PDP: Caso de operación B.	85
Figura N° 4.8. Descarga de PDP: Caso de operación C y D.....	85
Figura N° 4.9. Localización de fuerzas de desbalance y constantes.....	94
Figura N° 4.10. Frecuencias naturales iniciales.	97
Figura N° 4.11. Frecuencias naturales finales.	98
Figura N° 5.1. Estimado de costo para un estudio de flexibilidad.....	103

Lista de tablas

Tabla N° 3.1. Arreglo de los anillos disipadores cerámicos en la PS2	71
Tabla N° 3.2. Set points de las líneas de discos de ruptura de la PS2.....	73
Tabla N° 3.3. Características de la tubería	75
Tabla N° 3.4. Presiones del sistema.....	76
Tabla N° 3.5. Temperatura ambiente.....	76
Tabla N° 3.6. Temperaturas en tuberías.....	77
Tabla N° 3.7. Coeficientes sísmicos máximos.	77
Tabla N° 3.8. Datos para tanque agitador 0362-TKF-0054.....	77
Tabla N° 3.9. Parámetros característicos del terreno.....	78
Tabla N° 3.10. Cargas admisibles para una bomba centrífuga.	79
Tabla N° 3.11. Cargas admisibles para una bomba de desplazamiento positivo	79
Tabla N° 3.12. Fuerza de desbalance en líneas con anillos disipadores.....	79
Tabla N° 3.13. Fuerzas dinámicas.....	80
Tabla N° 3.14. Coeficientes sísmicos máximos.	81
Tabla N° 4.1. Casos de cargas de líneas en succión de la PDP	86

Tabla N° 4.2. Casos de cargas en líneas de succión de la PDP (líneas vacías)	89
Tabla N° 4.3. Casos de cargas en la descarga de la PDP (líneas operando)	89
Tabla N° 4.4. Casos de cargas en la descarga de la PDP (líneas vacías)	92
Tabla N° 4.5. Esfuerzos calculados vs. Esfuerzos admisibles.	95
Tabla N° 4.6. Cargas en brida de succión y descarga de bomba centrífuga.	95
Tabla N° 4.7. Cargas en brida de succión y descarga de la PDP	96
Tabla N° 4.8. Cargas en anclajes	96
Tabla N° 4.9. Cargas en acoples	97
Tabla N° 4.10. Tipo de soportes para líneas antes de la PDP	99
Tabla N° 4.11. Tipo de soportes para líneas a la descarga de la PDP	100

PRÓLOGO

Es evidente que el actual crecimiento económico de nuestro país va de la mano con el crecimiento de los distintos rubros de la industria; es también evidente que los sistemas de tuberías forman buena parte de su sistema productivo, específicamente en el rubro de minería, desde la misma planta concentradora y el transporte del *slurry* (concentrado o relave) a largas distancias, e instalaciones intermedias y estación terminal. Dichas instalaciones deben cumplir los estándares de seguridad en su funcionamiento para salvaguardar la integridad de la inversión y sobre todo la seguridad de las personas directa o indirectamente relacionadas con estos sistemas.

Los sistemas de tuberías deben pasar por un estudio que asegure la disposición confiable de la misma tubería y sus conexiones con equipos estáticos (como los tanques), equipos rotativos (bombas, turbinas, etc.), equipos reciprocantes (bombas, compresores, etc.). Es justamente en este aspecto donde entra a detallar el análisis de flexibilidad.

El análisis de flexibilidad es el estudio de los sistemas de tuberías para que estas trabajen dentro del límite elástico frente a las cargas externas e internas. Entre los principales efectos perjudiciales que las cargas pueden ocasionar podemos mencionar:

Sobresfuerzos en las tuberías, soportes, estructuras y equipos.

Fugas en las conexiones bridadas.

Deformación excesiva en las tuberías y boquilla de equipos.

Resonancia en sistemas sometidos a vibraciones.

Colapso de sistema de tuberías frente a cargas naturales externas (terremotos, viento, oleaje, etc.).

En los últimos años las técnicas y métodos de análisis de flexibilidad en tuberías han ido evolucionando, desde las engorrosas técnicas gráfico analíticas, laboriosos procesos numéricos matriciales, hasta llegar a rutinas automatizadas y analizadas rápidamente por las actuales computadoras.

Este informe trata de un caso real de un sistema de bombeo de concentrado de cobre, con líneas de acero de 8" de diámetro, en cuya disposición de tuberías debe verificarse su flexibilidad.

En el capítulo 1, como antecedente, se hace una breve descripción del sistema en estudio como un componente de un sistema mayor, y se definen los objetivos del estudio del análisis de flexibilidad.

En el capítulo 2, se describe las principales herramientas y conceptos teóricos utilizados en los estudios de la flexibilidad de las tuberías. También se dan criterios de diseño de una estación de bombeo de concentrado; muy importante para efectuar los cambios necesarios en la geometría del sistema de tuberías.

En el capítulo 3, se presenta las bases para el análisis, es decir toda la información necesaria para efectuar correctamente el estudio.

En el capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos en el modelamiento del sistema mediante la aplicación de un software especializado. Se definen los casos de operación, casos ocasionales y las distintas combinaciones a estudiarse de acuerdo a la filosofía de operación de la estación de bombeo. Se define además las normas de diseño a utilizarse en el sistema de tuberías y los distintos equipos.

En los anexos se presentan los planos de arreglos generales y planos P&ID's utilizados para la construcción del modelo, así como también información importante proporcionado por el fabricante de las bombas de desplazamiento positivo.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Se está desarrollando actualmente un proyecto para una producción de mineral de cobre de 140,000 tmspd en el sur del Perú. Se transportará el concentrado de cobre producido hacia la costa. El tramo entre ambas minas utilizará un concentraducto de aproximadamente 215 km de longitud para el transporte del mineral.

La zona del proyecto se ubica en la región de Apurímac, a 260 km de la ciudad del Cusco por carretera, a una altura de 4300 msnm, y Antapaccay que está localizado en la región de Cuzco, a una altura de 4200 msnm.

Este proyecto de transporte de concentrado mediante tuberías a larga distancia se encuentra en etapa de ingeniería básica y de detalle, está planeado alcanzar con éxito la puesta en marcha en 2014.

El concentraducto tendrá una longitud total de 215,2 km de tubería enterrada y a campo traviesa, incluyendo 4 estaciones de monitoreo de presión (en los puntos más altos), este sistema consta de cuatro estaciones de bombeo (una en

el KP 0 y las otras en posiciones intermedia estratégicamente ubicadas) y una estación receptora denominada estación terminal en el KP 215,2.

El concentrado está construido de acero al carbono API 5L X65 con un diámetro exterior de 8,625 pulgadas y espesores de pared variables entre 0,250 pulgadas a 0,469 pulgadas. El concentrado también tiene un recubrimiento interno de HDPE de espesor variable entre 0,250 pulgadas a 0,350 pulgadas en toda su longitud para mitigar la corrosión. La tubería normalmente está enterrada 1,0 metro por debajo del nivel de terreno.

El presente estudio contempla solamente el estudio de la flexibilidad del sistema de tuberías involucrado en una de las estaciones intermedias denominada Estación de Bombeo 2 (PS2).

1.2 Objetivos

- Asegurar la flexibilidad del sistema de tuberías dando cumplimiento a las exigencias del código ASME B31.11, párrafo 1119 "*Expansion and flexibility*", para tramos aéreos de tuberías de concentrado, así como también, cumplir con las exigencias del código ASME B31.3, párrafo 319 "*Piping Flexibility*" para tramos aéreos de tuberías de agua que tengan incidencia directa con las tuberías de concentrado o estén conectadas a equipos principales, en el diseño de la estación de bombeo.
- Definir una distribución óptima de los soportes.
- Estimar y presentar las reacciones sobre los soportes y anclajes.

1.3 Alcances

Los sistemas de tuberías son de gran importancia en el procesamiento de los minerales de la industria minera, en el Perú el transporte de concentrado por líneas de tuberías a largas distancias se hace cada vez una práctica más popular debido a las ventajas técnicas y económicas a largo plazo. Esto hace necesario el uso de grandes bombas de desplazamiento positivo cuyas instalaciones deben reunir la adecuada flexibilidad de tuberías para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos a los cuales se conecta.

Para el caso específico de bombeo de concentrado, las temperaturas no llegan a alcanzar altos valores, sin embargo en combinación con las altas presiones, se hace necesario un estudio adecuado para garantizar que la flexibilidad del sistema se encuentre dentro de márgenes seguros especificados por los fabricantes de los equipos involucrados y la norma aplicable en cada caso.

La ASME B31.11 brinda las pautas necesarias para que los sistemas de transporte de pulpas trabajen de manera segura, estas se complementan con las prácticas seguras de ingeniería utilizadas en experiencia exitosas en diversas partes del mundo.

La verificación de la flexibilidad del sistema se efectuó mediante software especializado.

1.4 Justificación

Los códigos ASME B31.11 y ASME B31.3 exigen que la flexibilidad del sistema de tuberías esté garantizada.

El estudio debe efectuarse para evitar fallas en la tubería por sobreesfuerzos y sobrecargas en los equipos, que podrían sacarlos de servicio, generándose sobre costo en mantenimiento por un mal diseño de las líneas.

El costo de parada en la producción es muy elevado, es imprescindible eliminar en lo posible todas las variables que impliquen paradas injustificadas.

Un correcto diseño implica el cumplimiento de las exigencias de las normas y trabajar bajo las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

Para un correcto desempeño de los soportes para tuberías en las estaciones de bombeo, estas deben ser diseñadas con cargas que consideren las variables de presión y temperatura del fluido, en este caso de concentrado de cobre.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción al análisis de flexibilidad

La conducta de los sistemas puede ser cuantificados por una serie de parámetros físicos, tales como la aceleración, velocidad, desplazamiento, fuerzas internas, momentos, esfuerzos y reacciones externas desarrolladas bajo la aplicación de cargas.

2.2 ¿Por qué hacer un análisis de esfuerzos para tuberías?

Hay muchas razones para hacer un análisis de esfuerzos a un sistema de tuberías, algunas de ellas son:

Mantener la seguridad de las personas, de las instalaciones y del medio ambiente, mediante diseños seguros y confiables.

Mantener los esfuerzos, en las tuberías y accesorios, por debajo de los niveles permisibles establecidos en los códigos.

Mantener las cargas de las boquillas y equipos anexos dentro de valores permisibles de los fabricantes y estándares reconocidos (NEMA SM23, API 610, API 617, etc.).

Mantener los esfuerzos en los recipientes a presión conectados a las tuberías dentro de los niveles permitidos por la ASME sección VIII.

Obtención de las cargas de diseño para dimensionamiento de los distintos soportes y anclajes.

Resolver problemas de cargas dinámicas en las tuberías, tales como la vibración mecánica, golpe de ariete, presión pulsante, cargas de impacto, y descarga de válvulas de seguridad.

Evaluar cargas de fatiga en los sistemas de tuberías.

Ayudar en la optimización de los diseños de tuberías.

2.3 Teoría y desarrollo de requerimientos de esfuerzos en tuberías

Durante el diseño de un sistema de tuberías, el análisis de esfuerzos ocupa un lugar importante, ya que de este dependen el buen funcionamiento y la seguridad de dichas tuberías. Para esto, el ingeniero debe entender tanto el comportamiento de la tubería bajo las cargas impuestas así como los requerimientos regulatorios impuestos por los códigos de diseño estructural de plantas.

Los esfuerzos calculados no son necesariamente los esfuerzos reales como los que se podría medir en una prueba de resistencia de laboratorio, sino más bien estos esfuerzos están basados en ecuaciones específicas las cuales reflejan:

- a. La inclusión o exclusión de cargas de tuberías basado en la selección de una falla específica, lo cual no representa un valor absoluto de esfuerzos, sino más bien un rango de valores.
- b. El tipo de carga. Estas son segregadas y analizadas separadamente como si ocurrieran de manera aislada, aunque en la realidad se presentan simultáneamente.
- c. Las características debido a la configuración de algún accesorio (codo, te, reducción, etc.), lo cual refleja en realidad una disminución en la resistencia por fatiga más que un incremento en el estado actual de esfuerzos.

Cada código es el resultado de un conjunto de experiencias las cuales han sido consolidadas como un conjunto de reglas que tienen como premisa establecer ciertos límites en el diseño de plantas industriales basadas en la seguridad.

A continuación se describen los tipos de esfuerzos que son analizados comúnmente.

2.3.1 Conceptos de esfuerzos básicos

Los esfuerzos pueden agruparse como se muestra en el siguiente esquema:

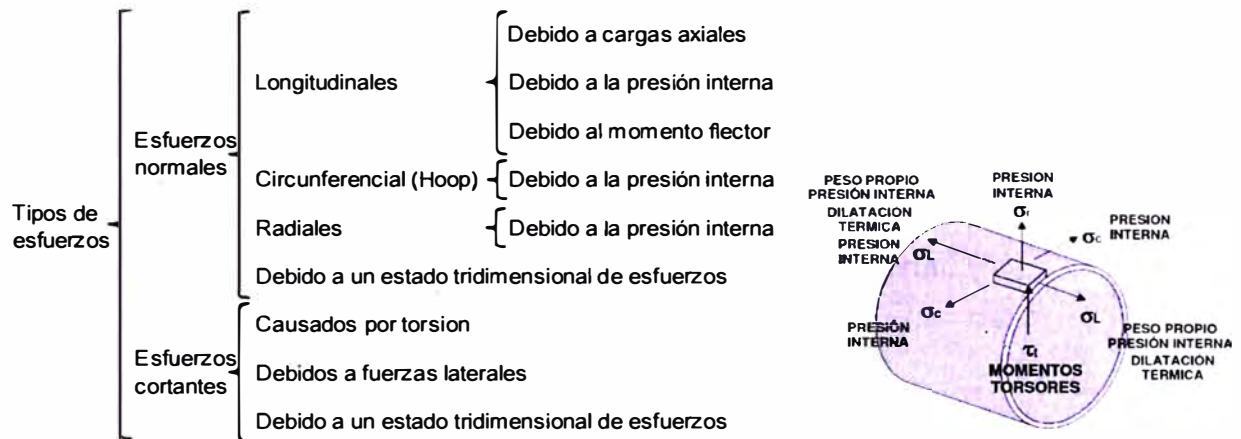


Figura N° 2.1. Tipos de esfuerzos en las tuberías.

2.3.1.1 Esfuerzos normales

Los esfuerzos normales actúan en la dirección normal a la cara del cristal de la estructura del material, y podría ser a tensión o a compresión (de hecho, los esfuerzos normales en tuberías tienden más a la tensión debido a predominante naturaleza de la presión interna como caso de carga). Los esfuerzos normales pueden desarrollarse en más de una dirección y pueden desarrollarse en diferentes tipos de cargas. Para un sistema de tuberías pueden desarrollarse los esfuerzos que a continuación se explican:

A. Esfuerzos Longitudinales

Longitudinales, o axiales, estos esfuerzos normales actúan en forma paralela al eje longitudinal de la tubería, los cuales son ocasionados por una fuerza interna actuando axialmente dentro de la tubería.

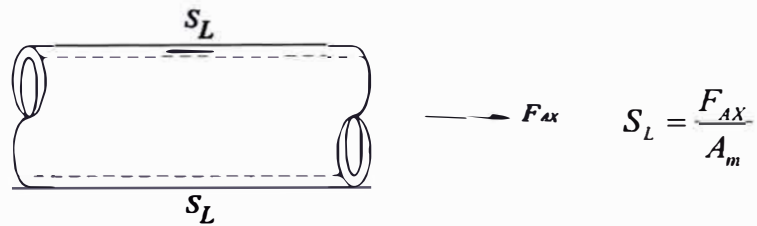


Figura N° 2.2. Esfuerzo longitudinal.

Donde:

S_L = Esfuerzo longitudinal, N/m^2 .

F_{AX} = Fuerza axial actuando en la sección transversal de la tubería, N.

A_m = Área de la sección transversal de la tubería, m^2 .

$$= (d_o^2 - d_i^2) \cdot \pi / 4$$

$$= d_m \cdot \pi / 4$$

d_o = diámetro exterior, m.

d_i = diámetro interior, m.

d_m = diámetro medio $= (d_o + d_i) / 2$

Esfuerzos Longitudinales por presión interna

Los esfuerzos longitudinales debidos a la presión interna se determinan de la siguiente manera;

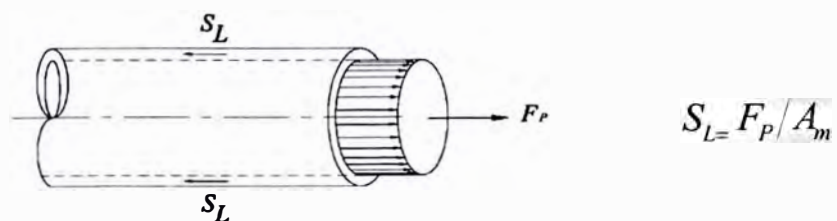


Figura N° 2.3. Esfuerzo longitudinal por presión interna

Donde:

$$F_p = P \times A_i$$

P = Presión interna de diseño, N/m^2 .

A_i = Área interna de la tubería, m^2 .

$$= d_i^2 \cdot \pi/4, \text{ Reemplazando los términos para el área interna del tubo,}$$

las ecuaciones anteriores pueden ser escritas como:

$$S_L = P \cdot d_i^2 / (d_o^2 - d_i^2)$$

$$S_L = P \cdot d_i^2 / (d_o - d_i)(d_o + d_i)$$

$$S_L = P \cdot d_i^2 / [2t(d_o + d_i)]$$

Considerando: $d_o \approx d_i \approx d_m$

Tenemos: $S_L = P \cdot d_i^2 / (4d_m \cdot t)$

Por conveniencia, el esfuerzo longitudinal por presión es aproximado conservadoramente como:

$$S_L = P \cdot d_o / 4 \cdot t$$

Esfuerzos por flexión

Otro componente del esfuerzo normal axial es el que resulta debido a la flexión. El esfuerzo de flexión es cero en el eje neutro de la tubería y tiene una variación lineal a través de la sección desde la fibra externa más comprimida hasta la fibra externa más tensionada.

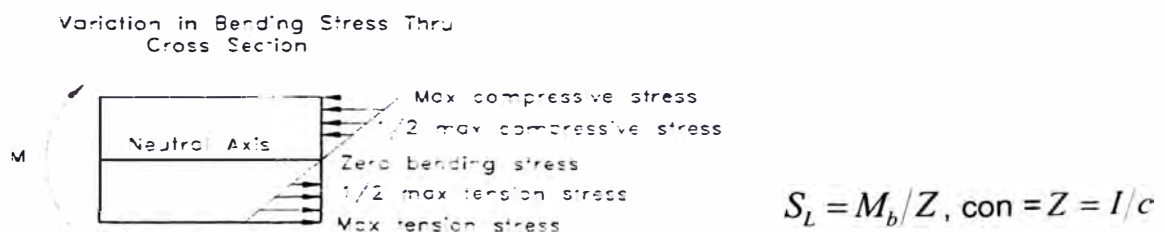


Figura Nº 2.4. Esfuerzo longitudinal por flexión.

Donde:

M_b = Momento flector aplicado (N-m)

c = Distancia radial a cualquier punto de la pared de la tubería (m).

R = Radio externo de la tubería (m).

I = Momento Inercial de la tubería (m⁴).

$$= (d_o^4 - d_i^4) \cdot \pi / 64$$

Z = Módulo de sección de la tubería (m³).

El máximo esfuerzo de flexión ocurrirá cuando “c” sea el máximo posible, es decir sea el radio externo del tubo:

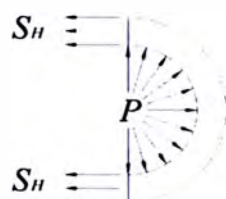
$$S_{L_{\max}} = M_b \cdot R_o / Z$$

Sumando todas las componentes de los esfuerzos normales longitudinales tenemos:

$$S_L = \frac{F_{AX}}{A_m} + \frac{P \times d_o}{4 \times t} + \frac{M_b}{Z}$$

B. Esfuerzos de Hoop

Hay otros esfuerzos normales presentes en la tubería, aplicados en direcciones ortogonales a la dirección axial. Uno de estos esfuerzos, causado por la presión interna es llamado esfuerzo de Hoop. Este esfuerzo actúa en dirección paralela a circunferencia de la tubería. Su magnitud puede ser calculada por la ecuación de Lamé:



$$S_H = \frac{P(r_i^2 + r_o^2/r^2)}{r_o^2 - r_i^2}$$

Figura N° 2.5. Esfuerzo circunferencial o de Hoop.

Donde:

S_H = Esfuerzos de Hoop, N/m^2 .

r_i = Radio interior de la tubería, m.

r_o = Radio exterior de la tubería, m.

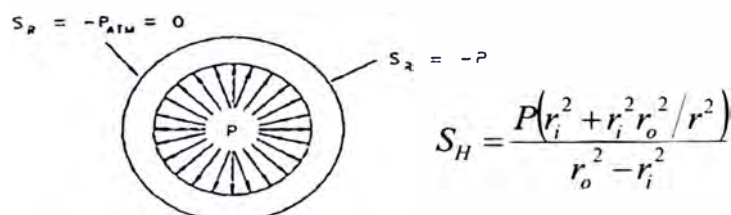
r = posición radial donde el esfuerzo está siendo considerado, m.

De manera conservadora los esfuerzos de Hoop pueden ser calculados por la siguiente expresión:

$$S_H = \frac{P \times d_o}{2t}$$

C. Esfuerzos Radiales

El esfuerzo radial es el tercer tipo de esfuerzo normal presente en la pared de la tubería. Este actúa en dirección ortogonal a la pared de la tubería en forma paralela al radio de la tubería. Los esfuerzos radiales causados por la presión interna, varían desde un esfuerzo igual a la presión interna en la superficie interior de la tubería hasta un esfuerzo igual a la presión atmosférica en la superficie exterior de la tubería. Asumiendo que no hay presión externa el esfuerzo radial puede ser calculado como sigue:



$$S_r = \frac{P(r_i^2 + r_i^2 r_o^2 / r^2)}{r_o^2 - r_i^2}$$

Figura N° 2.6. Esfuerzo radiales.

Donde:

S_R = Esfuerzo radial debido a la presión, N/m^2 .

r = Distancia radial desde donde será calculado el esfuerzo, m.

Es importante resaltar que el esfuerzo radial es cero en el exterior de la tubería, donde los esfuerzos de flexión son máximos. Por esta razón, este tipo de esfuerzo ha sido tradicionalmente ignorado en los análisis de esfuerzos

2.3.1.2 Esfuerzo de corte

Los esfuerzos de corte están aplicados en dirección paralela a la cara del plano de la estructura del cristal del material y tiende a causar un deslizamiento entre las caras de los cristales. Los esfuerzos de cortes pueden ser causados por más de un tipo de carga.

Por ejemplo, los esfuerzos de corte pueden ser causados por fuerzas de corte actuando en la sección transversal del tubo.

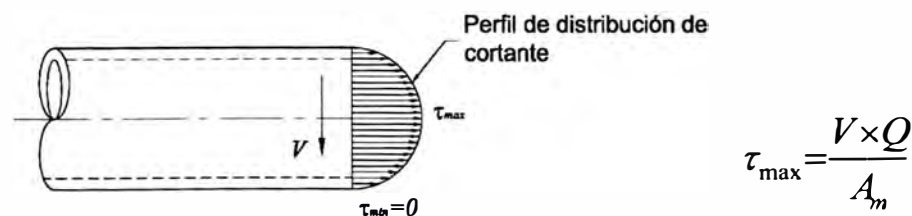


Figura N° 2.7. Esfuerzo cortante.

Donde:

τ_{\max} = esfuerzo cortante máximo, N/m².

V = fuerza cortante, N.

Q = factor de forma por cortante (1.333 para una sección circular)

Los esfuerzos cortantes se distribuyen en tal forma que el máximo se presenta en el eje neutro de la tubería y es cero en la máxima distancia desde el eje neutro.

Debido a que esto es opuesto al caso de los esfuerzos de flexión y que además estos esfuerzos son usualmente pequeños, entonces normalmente son despreciados en los análisis de esfuerzos de tuberías.

Los esfuerzos cortantes también pueden ser causados por cargas torsionales.

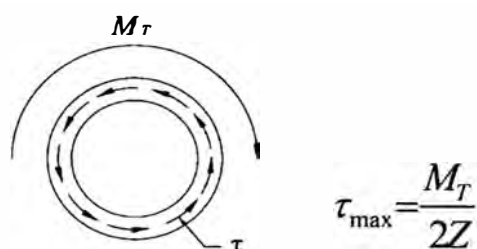


Figura N° 2.8. Esfuerzo cortante.

Donde:

M_T = Momento torsional en la sección transversal de la tubería, N-m.

Sumando las componentes individuales de los esfuerzos cortantes, el máximo esfuerzo en la sección transversal de la tubería es:

$$\tau_{\max} = \frac{V \times Q}{A_m} + \frac{M_T}{2Z}$$

2.3.1.3 Estado tridimensional de esfuerzos en la pared de la tubería

La combinación de los esfuerzos en la pared de la tubería resulta en lo que se conoce como “estado tridimensional de esfuerzos” el cual se puede representar de la siguiente manera:

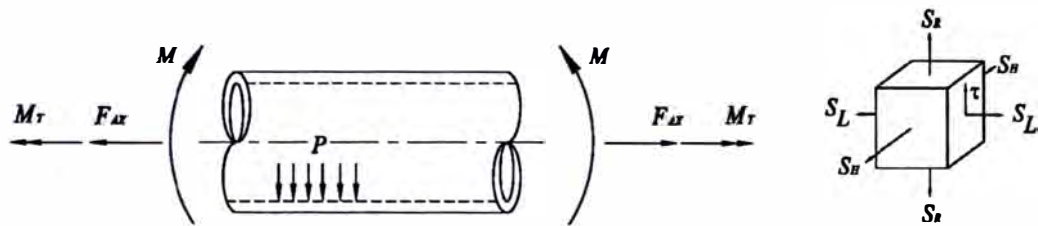


Figura N° 2.9. Estado tridimensional de esfuerzos.

Existe un número infinito de orientaciones para el cubo seleccionado, cada uno con una combinación de esfuerzos normales y tangenciales en sus caras. Por ejemplo, hay una orientación de los ejes ortogonales para el cual el esfuerzo normal es maximizado, y otro para el cual los esfuerzos normales son minimizados (en ambos casos los esfuerzos cortantes son nulos). En aquellas orientaciones el esfuerzo cortante es nulo, el resultado de la componente normal es denominado esfuerzo principal. En los análisis de esfuerzos tridimensionales hay tres componentes que son designadas como S_1 (máximo), S_2 y S_3 (los mínimos). Se debe notar que independientemente de la orientación de los ejes de esfuerzos, la suma ortogonal de los esfuerzos es siempre el mismo:

$$S_L + S_H + S_R = S_1 + S_2 + S_3$$

La inversa de estas orientaciones es tal que la componente de esfuerzos cortantes son maximizado (hay una orientación en el cual el esfuerzo cortante es minimizado, pero este es ignorado simplemente porque la magnitud del mínimo y máximo esfuerzo cortante son lo mismo). Este es llamado apropiadamente como la orientación del máximo esfuerzo cortante. El máximo esfuerzo en un estado tridimensional es igual a la mitad de la diferencia entre el mayor y menor de los esfuerzos principales.

Los valores de los esfuerzos principales y máximo esfuerzo cortante pueden ser determinados mediante el círculo de Mohr. El análisis del círculo de Mohr puede simplificarse al omitirse la componente de los esfuerzos radiales, de tal forma que el estado de esfuerzos es menos complejo (2 dimensiones). Un círculo de Mohr puede desarrollarse dibujando el esfuerzo normal vs el esfuerzo cortante por dos orientaciones conocidas (por ejemplo, el esfuerzo longitudinal vs el corte, el esfuerzo Hoop vs el corte), y construyendo un círculo a través de dos puntos. Las infinitas combinaciones entre esfuerzo normal y cortante se reflejan en el infinito número de posibles orientaciones de los ejes locales de esfuerzos.

Un elemento diferencial en la pared externa de un tubo (cuando el esfuerzo de flexión y torsional son maximizados Los valores de los principales y máximo esfuerzo cortante pueden ser determinados mediante el círculo de Mohr. El análisis del círculo de Mohr puede simplificarse al omitirse la componente de los esfuerzos radiales, de tal forma que el estado de esfuerzos es menos complejo (2 dimensiones). Un círculo de Mohr puede desarrollarse dibujando el esfuerzo normal vs el esfuerzo cortante por dos orientaciones conocidas (por ejemplo, el esfuerzo longitudinal vs el corte, el esfuerzo Hoop vs el corte), y construyendo un círculo a través de dos puntos. Las infinitas combinaciones entre esfuerzo normal y cortante se reflejan en el infinito número de posibles orientaciones de los ejes locales de esfuerzos.

Un elemento diferencial en la pared externa de un tubo (cuando el esfuerzo de flexión y torsional son maximizados mientras que los esfuerzos normales radiales y de corte son nulos) está sujeto a planos de esfuerzos bidimensionales, de

tal forma que los esfuerzos principales en el círculo de Mohr pueden ser computados de la siguiente forma:

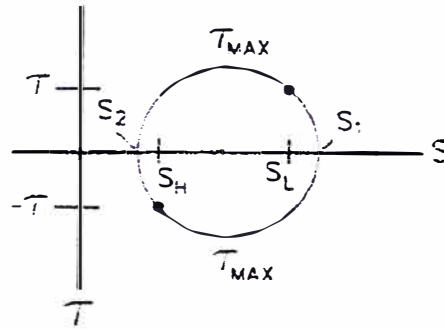


Figura N° 2.10. Estado tridimensional de esfuerzos.

El centro del círculo está en: $(S_L + S_H)/2$

El radio es igual a: $\sqrt{[(S_L - S_H)/2]^2 + \tau^2}$

Por lo tanto, los esfuerzos principales, S_1 y S_2 , son iguales al centro más y menos al radio del círculo, respectivamente. Los esfuerzos principales son calculados así:

$$S_1 = (S_L + S_H)/2 + \sqrt{[(S_L - S_H)/2]^2 + \tau^2}, \text{ y}$$

$$S_2 = (S_L + S_H)/2 - \sqrt{[(S_L - S_H)/2]^2 + \tau^2}$$

El máximo esfuerzo de corte presente en cualquier orientación es igual a $(S_1 - S_2)/2$.

$$\tau_{\max} = (S_1 - S_2)/2 = \sqrt{[(S_L - S_H)/2]^2 + \tau^2}$$

$$\therefore \tau_{\max} = \frac{\sqrt{(S_L - S_H)^2 + 4\tau^2}}{2}$$

2.3.2 Teoría de fallas

Usualmente los esfuerzos calculados son comparados con los permisibles de cada material. Los esfuerzos permisibles de los materiales están relacionados a los esfuerzos uniaxiales determinados en los ensayos de tensión.



Figura N° 2.11. Prueba de esfuerzo de tensión uniaxial.

Hay tres teorías de fallas generalmente aceptadas las cuales pueden ser usadas para predecir la fluencia y falla de los materiales:

1. Teoría de Von Mises - Corte octaedral.
2. Teoría de Tresca - Máximo corte.
3. Teoría de Rankine - Máximo esfuerzo.

Estas teorías relacionan las fallas en un estado arbitrario tridimensional de un material con el esfuerzo a la tensión de los materiales comúnmente utilizados en la industria. La falla uniaxial de un espécimen (o probeta o muestra) puede determinar cuando la deformación plástica ocurrirá.

2.3.2.1 Teoría de Von Mises - corte octaedral

El teorema del esfuerzo octaedral (Von Misses) establece: “La falla de un material ocurre cuando el esfuerzo octaedral resultante de un estado general de esfuerzos, iguala o supera el esfuerzo cortante máximo de un material bajo la condición de fluencia en un ensayo a tracción”.

El esfuerzo de corte octaedral puede calcularse como:

$$\tau_{OCT} = 1/3 \sqrt{(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_1 - S_3)^2}$$

Donde:

τ_{OCT} : Esfuerzo cortante octaedral (N/m²).

S_1 : Esfuerzo normal principal (N/m²).

S_2 : Esfuerzo normal principal (N/m²).

S_3 : Esfuerzo normal principal (N/m²).

S_{yield} : Esfuerzo normal de fluencia (N/m²).

Para un espécimen sometido al ensayo de tensión en su punto de fluencia:

$$S_1 = S_{yield} ; S_2 = S_3 = 0$$

Por lo tanto, el esfuerzo octaedral de corte del espécimen bajo esfuerzo uniaxial de tensión en falla es calculado como:

$$\tau_{OCT} = 1/3 \sqrt{(S_{yield} - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (S_{yield} - 0)^2}$$

$$\tau_{OCT} = \sqrt{2}/3 \cdot S_{yield}$$

Por lo tanto, bajo la teoría de Von Mises:

En un estado tridimensional la deformación plástica ocurre cuando el esfuerzo de corte octaedral supera $\sqrt{2}/3 \cdot S_{yield}$.

2.3.2.2 Teoría Tresca - máximo esfuerzo de corte

Teorema del esfuerzo cortante máximo (Tresca): "La falla de un material ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo resultante de un estado general de esfuerzo, iguala o supera el esfuerzo cortante máximo bajo fluencia en un ensayo a tracción".

El esfuerzo máximo de corte es calculado como:

$$\tau_{\max} = (S_1 - S_3) / 2$$

Donde:

τ_{\max} : Esfuerzo cortante máximo (N/m²).

S_1 : Esfuerzo normal principal (N/m²).

S_2 : Esfuerzo normal principal (N/m²).

S_3 : Esfuerzo normal principal (N/m²).

S_{yield} : Esfuerzo normal de fluencia (N/m²).

Para un espécimen sometido al ensayo de tensión en su punto de fluencia:

$$S_1 = S_{yield} ; S_2 = S_3 = 0$$

Entonces:

$$\tau_{\max} = (S_{yield} - 0) / 2$$

$$\tau_{\max} = S_{\text{yield}} / 2$$

Por lo tanto, bajo la teoría de Tresca:

En un estado tridimensional la deformación plástica ocurre cuando el esfuerzo de corte supera $S_{\text{yield}} / 2$.

2.3.2.3 Teoría Rankine - máximo esfuerzo

Teorema del Esfuerzo Cortante máximo esfuerzo (Rankine): “La falla de un material ocurre cuando el esfuerzo de tensión máximo es igual o supera al esfuerzo de fluencia en un ensayo a tracción uniaxial”.

El máximo esfuerzo es el mayor esfuerzo principal positivo (por definición S_1 es siempre el mayor de los esfuerzos principales).

$$S_1 = S_{\text{yield}} ; S_2 = S_3 = 0$$

Entonces bajo la teoría de Rankine:

En un estado tridimensional la deformación plástica ocurre cuando el máximo esfuerzo principal supera S_{yield} .

2.3.3 Criterio de intensificación del máximo esfuerzo

Muchos de los actuales códigos de tuberías han efectuado una ligera modificación en la teoría de máximo esfuerzo de corte (Tresca) para determinar las fallas relacionadas con la flexibilidad. Como se sabe, la teoría de máximo esfuerzo cortante predice que la falla ocurrirá cuando el máximo esfuerzo cortante de un material sea igual a $S_{\text{yield}} / 2$, el máximo esfuerzo cortante existente en una falla

durante un ensayo de tracción uniaxial. Recordando que el máximo esfuerzo cortante en un material puede obtenerse de la siguiente ecuación:

$$\tau_{\max} = (S_1 - S_3) / 2$$

Para un elemento diferencial en la superficie externa de un tubo, los esfuerzos principales son calculados así:

$$S_1 = (S_L + S_H) / 2 + \sqrt{[(S_L - S_H) / 2]^2 + \tau^2}, \text{ y}$$

$$S_2 \text{ (o } S_3) = (S_L + S_H) / 2 - \sqrt{[(S_L - S_H) / 2]^2 + \tau^2}$$

Por lo tanto, por la teoría de esfuerzo de corte durante el ensayo de tensión uniaxial el máximo esfuerzo de corte en falla es igual a la mitad de esfuerzo de fluencia, entonces el siguiente requerimiento es necesario:

$$\tau_{\max} = \frac{\sqrt{(S_L - S_H)^2 + 4\tau^2}}{2} < S_{\text{yield}} / 2$$

Multiplicando por dos en ambos lados, el cual se entiendo como el doble del esfuerzo cortante máximo, creándose la intensificación de esfuerzo. El criterio de intensificación del máximo esfuerzo, adoptado por la mayoría de los códigos de tuberías, dicta el siguiente requerimiento:

$$\sqrt{(S_L - S_H)^2 + 4\tau^2} < S_{\text{yield}}$$

Notar que cuando calculamos solo la variación de esfuerzos para propósitos de la evaluación de fatiga, las componentes de presión salen fuera de la ecuación.

Si un esfuerzo permisible basado en un adecuado factor de seguridad, el criterio de intensificación de máximo esfuerzo podría expresarse de la siguiente forma (tal como figura en el código B31.3 por ejemplo):

$$\sqrt{S_b^2 + 4S_t^2} < S_A$$

Donde:

S_b : Esfuerzo longitudinal normal debido a la flexión (N/m²).

S_t : Esfuerzo cortante debido a la torsión (N/m²).

S_A : Esfuerzo permisible para el caso de carga (N/m²).

2.3.4 Factores de intensificación de esfuerzos

Los sistemas de tuberías tienen diferentes componentes tales como, las curvas codos, reducciones, tes, válvulas y bridas. Sin embargo en el análisis de flexibilidad se idealizan estos componentes en dos tipos de elementos: una viga recta de tubería y una viga curva de tubería.

Los sistemas de tuberías dependen mucho de la flexibilidad de las curvas para absorber las expansiones térmicas y otras cargas de desplazamiento. Cuando una tubería recta es sometida a flexión esta se comporta como una viga recta donde las fibras externas tienen los máximos esfuerzos, mientras que en una tubería curva sometida a momento tiene un comportamiento diferente, la sección transversal circular empieza a ovalarse en el plano de la curva y también un plano fuera de la curva, tal como se muestra en la siguiente figura.

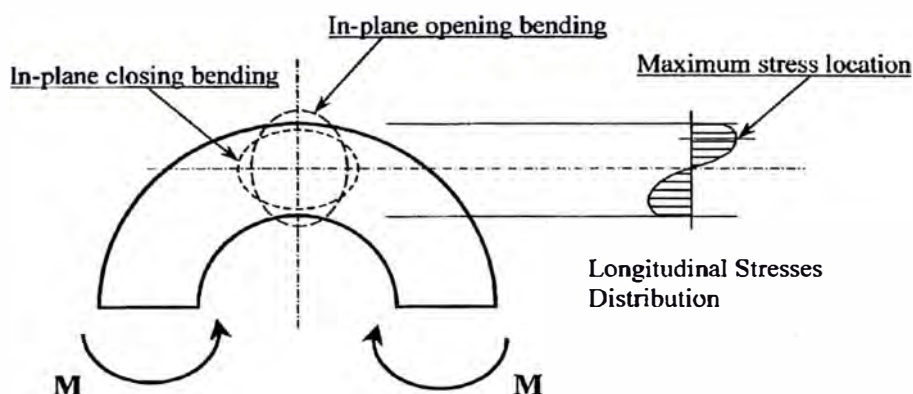


Figura N° 2.12. Ovalización de una curva bajo momentos externos.

(Liang-Chuan (L.C.) Peng; Tsen-Loong (Alvin) Peng).

La tendencia a la ovalización en las curvas de tubería tiene como resultado:

1. **Incremento en la flexibilidad.** La ovalización causa relajación en las fibras externas de la curva, lo que origina que el momento efectivo en la sección de la curva se reduzca. La reducción del momento efectivo de inercia incrementa la flexibilidad con respecto de la curva teóricamente no ovalizada en un factor de:

$$k = 1.65/h$$

Donde k es el factor de flexibilidad y $h = t \cdot R / r_m^2$ es la flexibilidad característica de la curva.

2. **Incremento del esfuerzo longitudinal por flexión.** La relajación de las fibras extremas de la sección de la curva hace que los esfuerzos longitudinales máximos debidos a la flexión aparezcan en otras posiciones distintas de las fibras extremas. El momento resistente se ve reducido por reducción del brazo de momento resistente en la sección transversal del tubo (disminución del módulo de la sección). La relación entre el esfuerzo de flexión efectivo y el teórico es denominado factor de intensificación de esfuerzos (SIF, *Stress Intensification Factor*), el cual se determina así:

$$i = S/(M/Z)$$

Los SIFs teórico longitudinales están relacionados con la flexibilidad característica como:

$$i_{L_i} = 0.84/h^{2/3}$$

3. Creación de un esfuerzo de flexión en la pared circunferencial. El cambio en la sección transversal circular por una forma ovalada se generan altos esfuerzos de flexión en la pared del tubo. Dado que no existen estos esfuerzos en una pared circunferencial, no se tiene una comparación directa con la flexión en una sección ovalada. Por ello por conveniencia, el esfuerzo es comparado con un esfuerzo de flexión en una sección circunferencial como se muestra en la siguiente ecuación:

$$i_{C_i} = 1.8/h^{2/3}, \text{ para una flexión en el plano de elemento.}$$

$$i_{C_o} = 1.5/h^{2/3}, \text{ para una flexión fuera del plano de elemento.}$$

El factor de flexibilidad dado en el punto 1 es utilizado por los códigos ASME para ambos planos de flexión (en el plano y fuera del plano). Los SIFs teóricos dados en los puntos 2 y 3 son utilizados únicamente para tuberías de propósito nuclear. Para otros códigos de tuberías, la ASME utiliza la mitad de los valores teóricos indicados.

2.3.4.1 SIFs de código

Al principio la mayor preocupación eran los esfuerzos generados por la expansión térmica. Pero la falla ocurría por los esfuerzos de expansión

autolimitadora debido a la fatiga por operaciones repetidas. Por lo tanto, los SIFs deberían validarse las pruebas de fatiga. Después de muchas pruebas e investigaciones, Markl's¹ y otros encontraron que los SIFs eran consistentes con los calculados teóricamente para una tubería perfectamente homogénea y pulida. Sin embargo al efectuarse las pruebas con tuberías comerciales se encontró un factor de 2 en contra del tubo pulido y homogéneo; la diferencia se debe a la uniones soldados, efecto de sujeción a puntos fijos y menor perfección en la homogeneidad del tubo comercial. Considerando el $SIF=1$ para una tubería comercial, el SIF de los para una curva será la mitad de los valores teóricamente calculados:

$$\text{SIF en el plano de flexión} \quad : i_i = 0.9/h^{2/3}$$

$$\text{SIF fuera del plano de flexión} \quad : i_c = 0.75/h^{2/3}$$

Pero estas son ecuaciones para curvas, para otros componentes, Markl utilizó curvas equivalentes para encontrar los SIFs correspondientes, tal como se muestra en la siguiente figura:

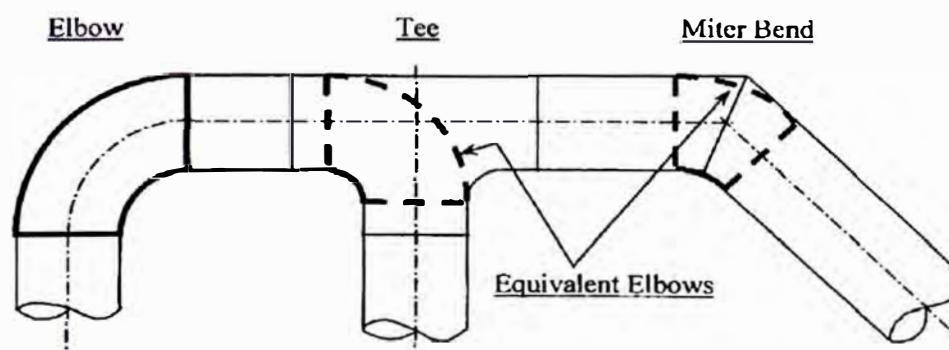


Figura Nº 2.13. Curvas equivalentes para otro tipo de accesorios de tubería.
(Liang-Chuan (L.C.) Peng; Tsen-Loong (Alvin) Peng).

1 "Fatigue Test of welding Elbows and Comparable Double Mitre Bends", 1947. "Fatigue Tests and on Flanged Assemblies", 1950."Fatigue Tests of Piping Components", 1952.

Los códigos ASME han adoptado los resultados de estos trabajos, tal es el caso de la ASME B31.11 (Figura 1119.4(c)) (1), cuyos factores de intensificación de esfuerzos (SIF), características de flexibilidad "h" y factor de flexibilidad "k", están resumidos en la Figura N° 2.14.


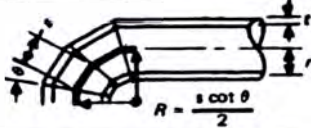
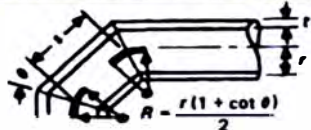

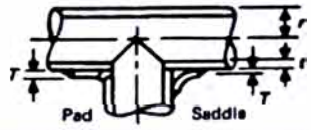
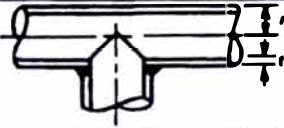
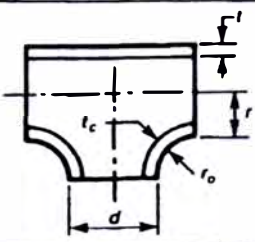
Description	Flexibility Factor, k	Stress Intensification Factor		Flexibility Characteristic, h	Sketch
		i_i [Note (1)]	i_o [Note (2)]		
Welding elbow, [Notes (3), (4), (5), (6), (7)] or pipe bend	$\frac{1.65}{h}$	$\frac{0.9}{h^{1/2}}$	$\frac{0.75}{h^{1/2}}$	$\frac{R}{r^2}$	
Closely spaced miter bend, [Notes (3), (4), (5), (7)] $s < r(1 + \tan \theta)$	$\frac{1.52}{h^{1/2}}$	$\frac{0.9}{h^{1/2}}$	$\frac{0.75}{h^{1/2}}$	$\frac{\cot \theta}{2} \frac{ts}{r^2}$	
Widely spaced miter bend, [Notes (3), (4), (7), (8)] $s \geq r(1 + \tan \theta)$	$\frac{1.52}{h^{1/2}}$	$\frac{0.9}{h^{1/2}}$	$\frac{0.75}{h^{1/2}}$	$\frac{1 + \cot \theta}{2} \frac{t}{r}$	
Welding tee [Notes (3), (4)] per ASME B16.9	1	$0.75i_o + 0.25$	$\frac{0.9}{h^{1/2}}$	$4.4 \frac{t}{r}$	
Reinforced tee [Notes (3), (4), (9)] with pad or saddle	1	$0.75i_o + 0.25$	$\frac{0.9}{h^{1/2}}$	$\frac{(t + \frac{1}{2} T)^{3/2}}{t^{1/2} r}$	
Unreinforced fabricated tee [Notes (3), (4)]	1	$0.75i_o + 0.25$	$\frac{0.9}{h^{1/2}}$	$\frac{t}{r}$	
Extruded welding tee [Notes (3), (4), (11)] $r_o \geq 0.05d$ $t_c < 1.5t$	1	$0.75i_o + 0.25$	$\frac{0.9}{h^{1/2}}$	$\left(1 + \frac{r_o}{r}\right) \frac{t}{r}$	
Butt welded joint, reducer, or welding neck flange	1	1.0	...	...
Double welded slip-on flange	1	1.2	...	...
Fillet welded joint (single welded), or single welded slip-on flange	1	1.3	...	...
Lapped flange (with ANSI 316.9 lap-joint stub)	1	1.6	...	...
Threaded pipe joint, or threaded flange	1	2.3	...	...
Corrugated straight pipe, or corrugated or creased bend [Note (10)]	5	2.5	...	...

Figura N° 2.14 Factor de flexibilidad “k”, SIFs y flexibilidad característica “h”.
(ASME B31.11, 2003)

2.4 Cumplimiento del código

Los trabajos de investigación de Markl sobre el problema de fatiga, seguida de la teoría de fallas, dirigieron los estudios de flexibilidad a la identificación de los problemas en el diseño de sistema de tuberías. En todo estudio de la flexibilidad de un sistema de tuberías se hace necesario el cumplimiento de los respectivos códigos aplicables. En términos generales estos códigos exigen la evaluación de 2 tipos de cargas, las cuales no deben generar falla en el sistema:

1. Cargas primarias: originadas por las cargas sostenidas.
2. Cargas secundarias: originadas por las cargas de expansión.

2.4.1 Características de las cargas primarias

1. Son usualmente por fuerzas constantes en el tiempo: gravedad, presión, fuerza de resortes, etc.).
2. No son auto limitantes, cuando la deformación plástica se inicia, esta continua hasta que una fuerza la equilibre (ya sea por un cambio de las condiciones de contorno externas o por endurecimiento del material), o hasta que falle la sección transversal.
3. Por naturaleza no son cíclicas (cíclicas son aquellas como la pulsación o variación de presión, el cual presenta características de carga primaria y secundaria).
4. Los límites permisibles de los esfuerzos primarios estos definidos por la teoría de fallas desarrollados por Von Mises, Tresca o Rankine hacia el esfuerzo de fluencia (punto de inicio de la deformación plástica).

5. Causan grandes deformaciones plásticas y rupturas. La falla puede ocurrir por la simple aplicación directa de la carga, lo cual implica la aplicación directa de la presión de diseño (Hoop stress).

2.4.2 Características de las cargas secundarias

1. Usualmente implican desplazamientos por expansión térmica, movimientos impuestos a punto de anclaje, asentamientos, vibraciones, etc.
2. Son cargas auto limitadas, estas cargas tienden siempre a disiparse a medida que la deformación progresa por fluencia o deflexión.
3. Son cargas típicamente cíclicas por naturaleza (excepto el asentamiento).
4. Los límites permisibles se basan en modos de falla cíclica y de fatiga.
5. La simple aplicación de estas cargas no implica una falla. Fallas catastróficas pueden ocurrir después de un número de aplicaciones de la carga. Aun si un sistema haya trabajado por varios años no significa que el sistema haya sido diseñado satisfactoriamente por cargas secundarias.

2.5 Recomendaciones de la ASME B31.11

En el cálculo se consideraron las premisas fijadas en el Código ASME B31.11 – párrafo 1119 “Expansión y Flexibilidad”, en el cual se establece que deben ser investigados los efectos de los esfuerzos y reacciones ocasionadas por la expansión, en todos los puntos significativos de la instalación.

El código restringe los máximos esfuerzos admisibles por el sistema de tuberías a las siguientes condiciones:

1. La sumatoria de los esfuerzos combinados por expansión, esfuerzo longitudinal por presión interior y tensión de flexión por efecto de las cargas propias del sistema (como peso de la tubería y del fluido) será menor al 90 % de la tensión de fluencia mínima especificada del material. $\Sigma[S_E+S_{Lp}+S_{P(cargas)}] \leq 0.90 \text{ SMYS}$. Caso 1 para las cargas bajo régimen de “Operación” (OPE).
2. La sumatoria de los esfuerzos longitudinales por presión interior y esfuerzos por flexión debido a cargas externas (como el propio peso de la tubería, del fluido contenido) no deberán superar el 72% de la tensión admisible (S_a), donde la tensión admisible es el 75% de la tensión de fluencia, esto equivale al 54% de la tensión de fluencia mínima especificada del material. $\Sigma[S_{b(cargas)}+S_{Lp}] \leq 0.54 \text{ SMYS}$. Caso 2 para las cargas bajo régimen “Sostenido” (SUS).
3. La tensión axial combinada no deberá superar el 72% de la tensión de fluencia mínima especificada del material. $SE \leq 0.72 \text{ SMYS}$. Caso 3 para las cargas provocadas por la “Expansión Térmica” (EXP).
4. La sumatoria de los esfuerzos combinados por expansión, esfuerzo longitudinal por presión interior y tensión de flexión por efecto de las cargas propias del sistema y externas (como el sismo), será menor al 88% de la tensión de fluencia mínima especificada del material. $\Sigma[S_E+S_{Lp}+S_{b(cargas)}] \leq 0.88 \text{ SMYS}$. Caso 4 para las cargas bajo régimen de “Ocasional” (OCC)

En resumen los criterios para cada caso son:

S_{adm} : Esfuerzo admisible

S_{yield} : Esfuerzo de fluencia mínimo del material

Límite de cargas operacionales : $S_{adm} \leq 0.90 \cdot S_{yield}$

Límite de cargas sostenidas : $S_{adm} \leq 0.54 \cdot S_{yield}$

Límite de cargas por expansión térmica : $S_{adm} \leq 0.72 \cdot S_{yield}$

Límite de cargas ocasionales : $S_{adm} \leq 0.88 \cdot S_{yield}$

2.6 Análisis de vibraciones

El movimiento vibratorio o vibración, es la variación de la configuración de un sistema respecto al tiempo, alrededor de una posición de equilibrio estable. Generalmente las variaciones deben ser relativamente pequeñas, porque fuera de ellas dejan de tener validez la mayoría de las hipótesis asumidas para su estudio.

En la industria casi todos los equipos y las estructuras están sometidos a vibración. Podemos clasificar a dichos sistemas como sometidos a vibraciones libres y forzadas.

Las vibraciones libres, ocurre cuando sobre el sistema no existen acciones (fuerzas y momentos) directamente aplicadas a lo largo del tiempo. En otras palabras un sistema oscilará libremente cuando las fuerzas externas aplicadas se anulan, y las frecuencias de vibración son denominadas frecuencias naturales, los cuales son propiedades del sistema, que solamente dependen de su masa y su rigidez.

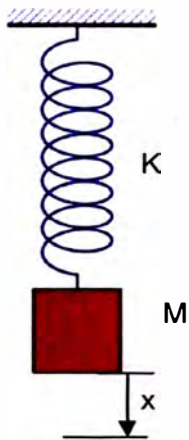
Las vibraciones forzadas, son aquellas vibraciones producidos por agentes externos. El sistema se ve obligado a vibrar a la frecuencia del agente externo, denominado "frecuencia de excitación". Cuando la frecuencia de excitación coincide con una de las frecuencias naturales se producen el fenómeno de resonancia, el cual produce oscilaciones de amplitudes peligrosas.

2.6.1 Modos normales de vibración

Los modos normales de vibración o naturales de vibración son tantos como grados de libertad tenga el sistema (ver Figura N° 2.15) La vibración libre de un sistema es el resultado de la superposición de todos sus modos de vibración. Para el caso de una vibración forzada del tipo armónico tendrá una frecuencia igual al de la excitación, mientras que la máxima amplitud de sus grados de libertad se presenta a las frecuencias naturales del sistema (fenómeno de resonancia).

Para el caso más simple de una masa sujeta por un resorte, la ecuación que gobierna su movimiento es:

Modal Extraction / Eigen Solution – the “Start of It All”



$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(t)$$

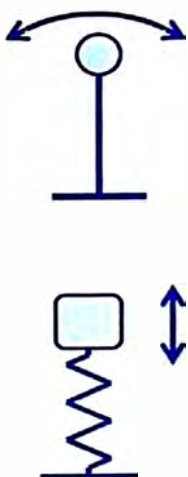
let $C = 0$
 $F(t)$ be harmonic
 so $x = A \sin \omega t$
 $\ddot{x} = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x$
 $-\omega^2 Mx + Kx = F(t)$
 let $F(t) = 0$
 $(K - M\omega^2)x = 0$
 so $x = 0$
 or $K - M\omega^2 = 0$
 $\omega = \sqrt{K/M}$

- ω is the angular frequency (radians/second) of this free oscillation
- There is a matching “shape” to this oscillation
- There is no magnitude to this shape
- This is important: Think of a mode of vibration (the ω & mode shape pair) as a single degree of freedom system

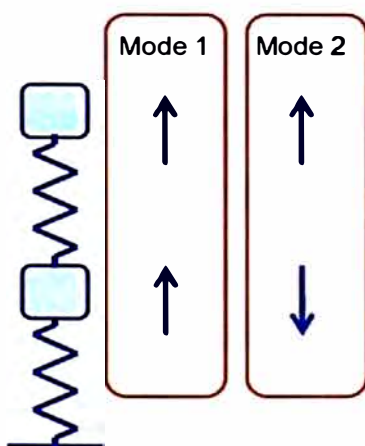
Figura N° 2.15. Obtención de frecuencia natural caso simple.

Fuente: Webinar COADE, Harmonic Analysis in CAESAR II, 30 enero 2012.

Two examples of a One Degree of Freedom (DOF) System



A two DOF System



An n DOF System

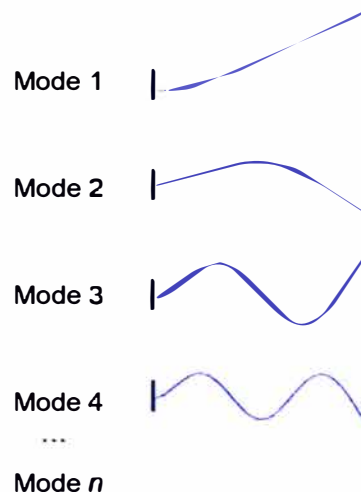


Figura N° 2.16, Grados de libertad de un sistema.

Fuente: Webinar COADE, Harmonic Analysis in CAESAR II, 30 enero 2012.

Rango de frecuencias seguras

Para que los sistemas de tuberías trabajen en un rango seguro de frecuencias con respecto de la frecuencia de excitación, la frecuencia del sistema debe de estar fuera del rango comprendido por 0.5 a 1.5 veces la frecuencia natural, tal como se ilustra en la siguiente imagen:

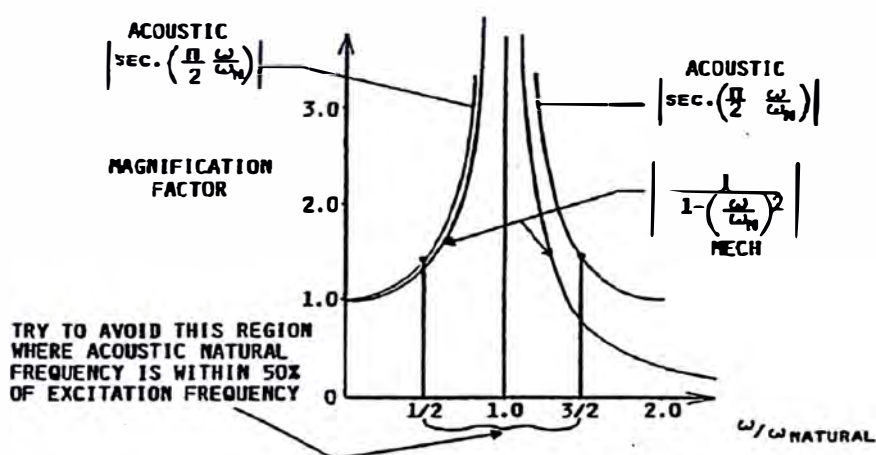


Figura N° 2.17, Rango de frecuencias seguras.

Fuente: COADE, *curso CAESAR II* dictado en julio 2010.

2.7.1 Cargas dinámicas armónicas

Este tipo de cargas cambian de magnitud y/o dirección siguiendo el perfil de una función seno. La carga puede ser descrita por una función de la siguiente forma:

$$F_{(t)} = A + B \cdot \text{sen}(Ct + D)$$

Donde:

$F_{(t)}$: Magnitud de la fuerza en función del tiempo (N).

A : Fuerza inicial (N).

B : Variación del máximo y mínimo (N).

C : Frecuencia angular (rad/s)

D : Angulo de fase (rad/s).

2.7.1.1 Pulsación armónica

Durante la operación de bombas reciprocantes, el fluido es comprimido por pistones impulsados por un eje cigüeñal. Estas causan un cambio cíclico (vs tiempo) en la presión del fluido y algunos puntos específicos del sistema. Si el fluido presurizado está entre un par de codos opuestos, este crea una presión de desbalance en el sistema. Desde que el cambio del balance de presión cambia con el ciclo de la bomba, la fuerza de desbalance también cambia (la frecuencia del ciclo de la fuerza muy probablemente será un múltiplo del ciclo de operación del equipo, definida por el numero de pistones y velocidad de rotación del cigüeñal). La presión pulsante viaja con el fluido a lo largo de todo el sistema hasta la condición de estado estable. La magnitud de la carga puede variar, los ciclos de la carga podría ser distinto, dependiendo de la velocidad del fluido, distancia del par de codos desde el equipo, y la longitud de los brazos entre pares de codos.

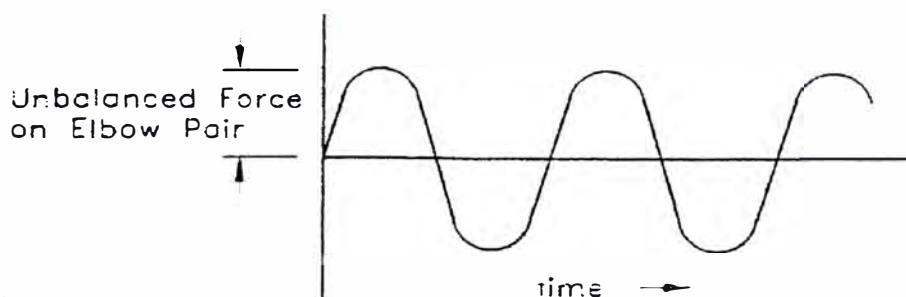


Figura N° 2.18, Perfil de carga pulsante.

Para este tipo de cargas hay que tener presente también que la velocidad a la que el pulso viaja en la tubería es la del sonido, el cual se determina con la siguiente expresión:

$$c = \sqrt{\frac{E_f}{\rho_f \left(1 + \frac{E_f \cdot D_i}{E_a \cdot t}\right)}}$$

2.8 Análisis de fatiga

Los materiales sufren endurecimiento por aplicación de cargas cíclicas, cada material tiene un comportamiento distinto a otro en cuanto a su capacidad de absorber los esfuerzos generados. Existen curvas de disminución de esfuerzos en función de los ciclos denominados “curvas de fatiga”, para el caso específico de tuberías la norma ASME B31.3 en su párrafo k304.8, entrega una metodología para estimar el esfuerzo admisible según la curva de fatiga aplicable al material según la norma ASME VIII división 2 *Pressure Vessel Code*, como lo muestra la siguiente figura:

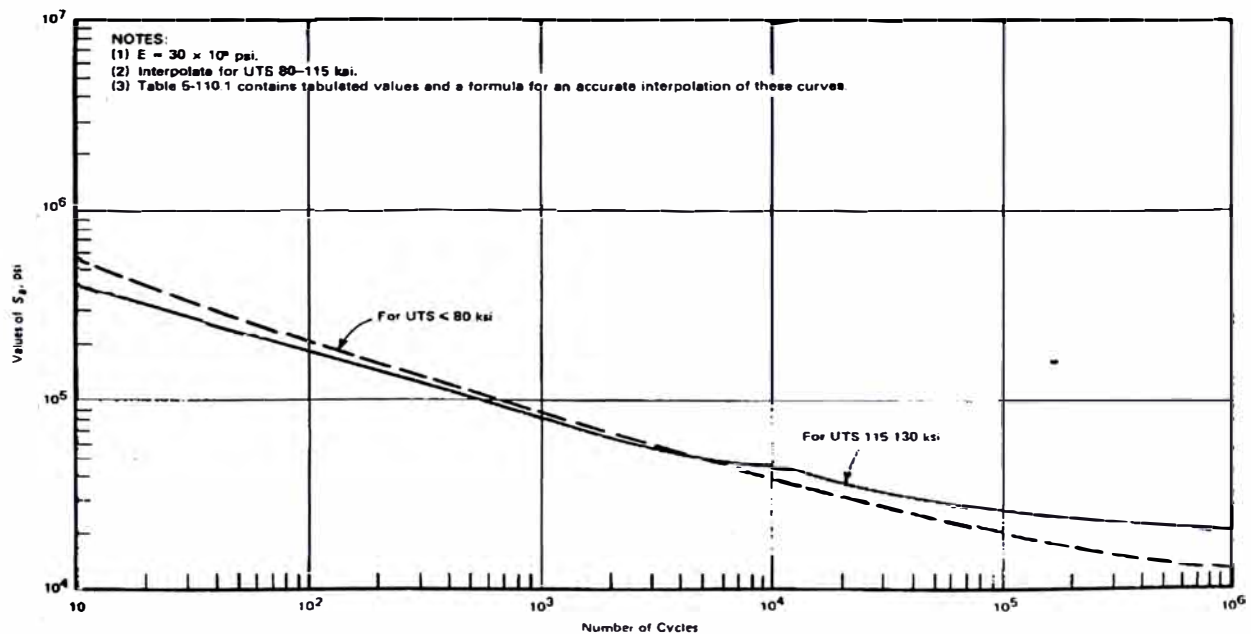


Figura N° 2.19. Curva para diseño de fatiga (Figura 5.110.1, ASME VIII Div. 2).

Para acero al carbono, baja aleación, serie 4XX, aceros de alta aleación y alta tensión para temperaturas que no superen los 700 °F (371 °C). Fuente: Manual Caesar II, capítulo 6 *Technical Discussions*, página 6.48. (1).

Caesar II, tiene incorporada en su librería la curva de la figura 5-110.1, el cual se muestra a continuación:

```

* ASME SECTION VIII DIVISION 2 FATIGUE CURVE
* FIGURE 5-110.1
* DESIGN FATIGUE CURVES FOR CARBON, LOW ALLOY, SERIES 4XX,
* HIGH ALLOY AND HIGH TENSILE STEELS FOR TEMPERATURES NOT
* EXCEEDING 700 F
* FOR UTS <= 80 KSI
*
0.5000000 - STRESS MULTIPLIER (PSI); ALSO CONVERTS AMPLITUDE
TO FULL RANGE
*
      10      580000.0
     100      205000.0
    1000       83000.0
   10000       38000.0
  100000       20000.0
 500000       13500.0
1000000       12500.0
      0         0.0
*

```

2.9 Metodología del análisis de esfuerzos en tuberías

La realización de un análisis de flexibilidad en un sistema de tuberías es un trabajo que supone el manejo de muchos conceptos y, sobre todo, mucha información por lo que el analista debe tener siempre presente los siguientes pasos que eviten la pérdida de información o errores en el estudio.

2.9.1 Recopilación de información

Se necesitan una serie de datos para realizar el análisis de flexibilidad como son la morfología del sistema, las condiciones de operación y diseño, información de posibles puntos dónde poder soportarse, las cargas admisibles en boquillas de equipos, los desplazamientos iniciales en determinados equipos, los pesos de válvulas e instrumentos y normas con las que debe trabajar.

Estos datos se obtendrán de los diagramas de tuberías e instrumentos (P&ID's), de las listas de líneas, de los modelos de tuberías, de los planos isométricos, de las especificaciones del proyecto concreto, de los planos de equipos y de los planos de estructuras.

Es importante que el analista se familiarice con esta información al iniciarse el proyecto ya que será imprescindible a la hora de realizar sus estudios posteriores.

2.9.2 Selección de líneas a estudiar

Estas se seleccionan de acuerdo a lo descrito en el punto 2.12.

2.9.3 Colocación de restricciones

Según los criterios de disposición de soportes y con los planos de estructuras, se realizará una disposición preliminar de restricciones que será validada o no por los resultados del análisis.

2.9.4 Análisis estático.

Tras los pasos anteriores se realizará el análisis del sistema. En caso de tratarse de sistemas que necesitan cálculo formal, los informes que deben ser verificados son los siguientes:

2.9.4.1 Esfuerzo sostenido.

Si existe falla del material por esfuerzo sostenido, el soportado alrededor del punto de falla es insuficiente. Si soportando suficientemente la tubería sigue fallando el esfuerzo sostenido, se tratará de un mal dimensionado de la tubería para la presión de operación, por lo que habrá que comunicárselo a los responsables de materiales para que verifiquen sus cálculos de espesores o en todo caso cambiar el espesor y reportarlo.

El rango aceptable para los esfuerzos sostenidos para asegurar el buen estado del sistema y evitar un exceso de soportes, oscila entre 75% y 80% del S_h (esfuerzo básico permisible a la temperatura de evaluación del material).

2.9.4.2 Esfuerzo por expansión

Si se produce una falla del material por esfuerzos de expansión, el sistema no es lo suficientemente flexible. En ese caso habrá que comprobar en qué puntos

se produce la falla y estudiar si se puede dar más flexibilidad al sistema con la modificación de las restricciones ya que puede ser que la colocación de guías demasiado cerca de los codos impida que el sistema absorba sus desplazamientos.

Si sigue fallando, se puede recurrir a cambiar el módulo de elasticidad del material en frío por el módulo en caliente.

En caso de que estas soluciones no den resultado, será necesario un cambio de diseño en la línea que aumente su flexibilidad, aumentando los brazos, usando lazos de expansión o con juntas de expansión si el proyecto lo permite.

Para el caso de tuberías para concentrado está permitido el uso de juntas Victaulic del tipo flexible o en todo caso de junta tipo Dresser, pero solo para líneas clase ASME 150.

El rango aceptable para los esfuerzos de expansión se sitúa por debajo del 85% o el 90% del S_a (esfuerzo máximo admisible para los esfuerzos secundarios).

2.9.4.3 Esfuerzo ocasional

Si existe falla del material por este esfuerzo será necesario añadir restricciones que lo aminoren.

Por lo general, si el efecto ocasional se trata de viento será necesario añadir guías y si se trata de sismo suele ser necesario añadir algún anclaje direccional o stop.

La evaluación de los efectos ocasionales se realiza en condiciones de operación y analizando las consecuencias de cada efecto ocasional de forma

individual ya que, según la norma ASME B31.11, no se evalúan dobles contingencias que llevarían a sobredimensionar los elementos de forma excesiva.

2.9.5 Cargas en las restricciones

Se chequearán las cargas en las restricciones tanto en la prueba hidrostática, operación, diseño y casos de cargas ocasionales.

Se debe verificar que la línea se apoya en todos los puntos de soporte y, en caso de no ser así, analizar en qué caso de carga es y si es asumible (hay soportes que solo apoyan en prueba hidrostática pero son imprescindibles para ese caso de carga).

Es necesario chequear también que las cargas no sean excesivas en los apoyos y en las guías, ya que posteriormente se deberán diseñar los soportes que van a materializar esas restricciones.

En caso de no poderse evitar unas cargas elevadas se indicará especialmente para que se tenga en cuenta en el diseño de los elementos que materializarán su posterior soportado.

2.9.6 Desplazamientos

El informe de desplazamientos es necesario evaluarlo tanto para el caso de cargas sostenidas como para los casos de operación y diseño.

Aunque la seguridad del material se confirma al realizar las comprobaciones anteriores, existen criterios para establecer unos desplazamientos máximos, sobre

todo en lo que respecta al desplazamiento vertical que puede producir pandeo excesivo en tramos de tubería horizontales.

En cuanto al desplazamiento horizontal se debe asegurar que la expansión térmica de las líneas no provocará choques con estructuras u otros elementos que creen restricciones no previstas. También será necesario evitar que haya choques entre líneas paralelas haciendo previsiones de los casos más desfavorables en operación que pudiesen darse para este efecto.

2.9.7 Cargas sobre boquillas

De los informes obtenidos anteriormente del análisis estático se deberán analizar con mayor detalle las cargas sobre las boquillas de los equipos conectados a la línea analizada. Estas cargas no deberán superar los valores considerados como admisibles por las normas o por el fabricante.

Si las cargas son excesivas deberá probarse un cambio en las restricciones planteadas a la línea como primera solución y, si con el diseño actual es imposible rebajar las fuerzas sobre el equipo, deberá plantearse un cambio en el diseño de la línea para mejorar su flexibilidad y por tanto rebajar las cargas en las conexiones.

En determinados casos con un nivel de criticidad alto se podrá plantear al fabricante un refuerzo en su equipo para aumentar las cargas admisibles en las conexiones al mismo.

2.9.8 Acciones correctivas

Fruto del análisis y de las comprobaciones mencionadas anteriormente, es posible que sean necesarias unas acciones correctivas que se han ido mencionando en cada punto en el que pudiera surgir algún problema a solucionar. Es el caso de los cambios de diseño, uso de lazos, uso de juntas de expansión, cambios en la orientación y posición de equipos.

La modificación de la posición u orientación de los equipos se tomará como último recurso ya que la implantación de los equipos se realiza en una fase muy temprana del proyecto y es complicada una aprobación en la modificación de esa posición por cuestiones de flexibilidad.

2.9.9 Transferencia de información

Del análisis de flexibilidad se extrae una información que es necesario comunicar a otras disciplinas involucradas en el proyecto.

Se trata de las cargas sobre los puntos de soporte, tipo de restricciones en cada punto de soporte, cargas en las boquillas de los equipos y su comparación con las admisibles a modo de aprobación, y acciones correctivas a realizar antes de validar la línea por flexibilidad y dar el visto bueno para el diseño de los soportes.

2.10 Métodos para determinar la flexibilidad de un sistema

2.10.1 Método ASME B31

De acuerdo a los códigos ANSI/ASME B31 para tuberías a presión, no se requerirá de un análisis formal para un sistema de tuberías cuando:

El sistema es un duplicado o reemplazo de otro, sin cambios significativos, que está operando con un historial de servicio satisfactorio.

El sistema puede ser evaluado como adecuado mediante experticia, por comparación con otros sistemas evaluados previamente.

El sistema es del mismo diámetro, no tiene más de dos puntos de anclaje, sin restricciones intermedias, está diseñado esencialmente para un servicio no cíclico (menos de 7000 ciclos totales) y satisface las limitaciones del criterio aproximado expresado en la siguiente fórmula empírica:

$$\frac{D * Y}{(L - U)^2} \leq K$$

Donde:

D = Diámetro nominal de la tubería, pulg. (mm) (Según ASME B-31.1)

Diámetro exterior de la tubería, pulg. (mm) (Según ASME B-31.3)

Y = desplazamiento total a ser absorbidos por el sistema, pulg. (mm).

L = Longitud desarrollada entre los dos anclajes, pies (m).

U = Distancia, en línea recta, uniendo los dos anclajes, pies (m).

K = 0,03 (unidades Inglesas)

= 208,3 (unidades SI)

ADVERTENCIA SOBRE LA FÓRMULA

Los códigos ANSI/ASME B31 hacen la siguiente advertencia:

"No puede ofrecerse una prueba general de que esta ecuación tendrá resultados precisos o consistentemente conservadores. No es aplicable a sistemas bajo condiciones cíclicas severas. Debe utilizarse con prudencia en configuraciones tales como lazos de expansión en U de lados desiguales ($L/U > 2,5$) o trayectos aserrados ("dientes de sierra", poco usual en líneas de pulpa) casi rectos, o para tuberías de gran diámetro y paredes delgadas, o donde desplazamientos externos (diferentes a la dirección que une los puntos de anclaje) constituyen una gran parte del desplazamiento total. No hay garantía de que las reacciones terminales sean aceptablemente bajas aun cuando el sistema de tuberías cumpla con las limitaciones de la fórmula".

Ejemplo de aplicación

En la Figura N° 2.20 se considera un sistema de tuberías de 12" D.N, sch STD, con temperatura de operación de 350°F, material A106 Gr. B. Determinar si requiere análisis formal.

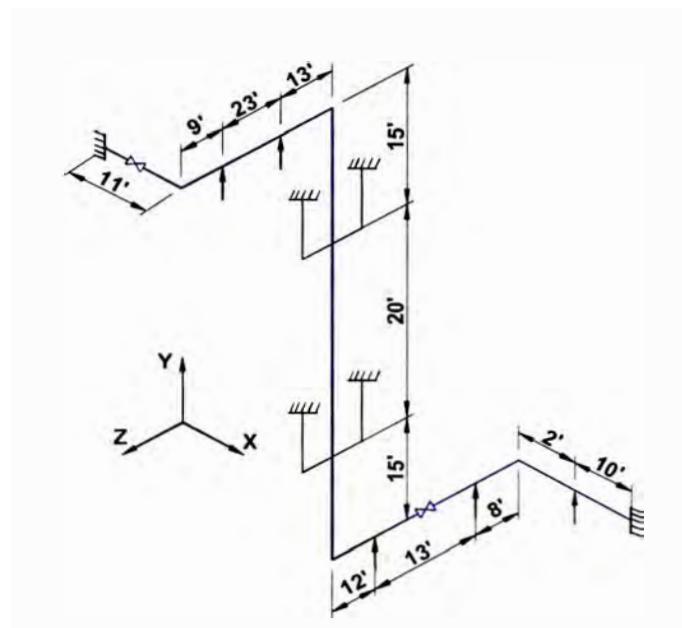


Figura N° 2.20. Ejemplo de flexibilidad en un sistema simple.

$$\frac{D \cdot Y}{(L - U)^2} \leq 0.03$$

Diámetro exterior: $D = 12.75 \text{ in}$

Longitud total: $L = 11' + 45' + 50' + 33' + 12' = 151'$

Desplazamiento:

Para una temperatura de 350°F , y un material de acero al carbón, el coeficiente de expansión térmica será, $\alpha = 2.26 \text{ in}/100\text{ft}$, ver pág. 232 de ANSI/ASME B31.3.

$$Y = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

$$Y = \sqrt{(23 \text{ ft} \cdot 2.26 \text{ in}/100 \text{ ft})^2 + (50 \text{ ft} \cdot 2.26 \text{ in}/100 \text{ ft})^2 + (78 \text{ ft} \cdot 2.26 \text{ in}/100 \text{ ft})^2}$$

$$Y = \sqrt{0.5198^2 + 1.13^2 + 1.7628^2} = 2.16 \text{ in}$$

En la Figura N° 2.21, se muestra la manera de determinar (U), la distancia recta entre los anclajes.

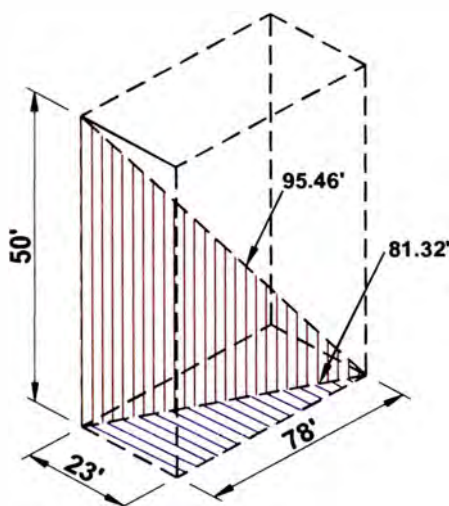


Figura N° 2.21. Cálculo de la distancia entre anclajes.

$U = 95.46 \text{ ft}$.

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\frac{12.75 \times 2.16}{(151 - 95.46)^2} = 0.00893 \leq 0.03$$

De acuerdo a lo anterior podemos concluir que el sistema tiene suficiente flexibilidad y no requiere análisis formal por cualquiera de los métodos convencionales conocidos dentro del medio de análisis de esfuerzos.

2.10.2 Variables que afectan la flexibilidad de una tubería

Las variables que afectan la flexibilidad de una tubería son:

Diámetro: A mayor diámetro, mayor rigidez de la tubería, por lo tanto, la tubería es menos flexible.

Expansión térmica: A mayor expansión térmica mayor es la deformación por absorber, por lo tanto afecta negativamente a la flexibilidad del sistema. Esta está afectada por:

Distancia entre anclajes: a mayor distancia entre anclajes o boquillas, mayor expansión a absorber, por lo tanto menor flexibilidad

Temperatura: a mayor temperatura, mayor expansión térmica, por lo tanto menor flexibilidad.

Coeficiente de dilatación: materiales con más grandes coeficientes de dilatación tienen mayores expansiones térmicas, por lo tanto menor flexibilidad.

Movimientos de las boquillas por asentamiento de equipos: a mayores valores de asentamiento de equipos, mayor deformación, por lo tanto menor flexibilidad.

Longitud perpendicular a la expansión térmica: a mayor longitud perpendicular menores deformaciones por lo tanto mayor flexibilidad.

2.10.3 Criterios de Comparación de Sistemas de Tuberías

¿Cuándo dos sistemas se consideran equivalentes o representativos?

- Dos sistemas son equivalentes o representativos cuando del análisis de flexibilidad de uno de ellos podemos inferir la flexibilidad del otro.
- Cuando tienen una configuración geométrica similar y están conectados a equipos similares.
- Cuando están conectados a un equipo similar y poseen una geometría similar, difiriendo en alguna de las siguientes variables:
- La temperatura es menor: En este caso, si la línea que trabaja a mayor temperatura es flexible, la de menor temperatura también lo es.
- El diámetro es menor: En este caso, si la línea de mayor diámetro es flexible, la de menor diámetro también lo es.
- La distancia entre anclajes (U) es menor y la longitud perpendicular (L_p) es igual: En este caso, si la línea con mayor distancia entre anclajes es flexible, la de menor distancia también lo es.
- La longitud perpendicular (L_p) es mayor y la distancia entre anclajes (U) es igual: En este caso, si la línea con menor longitud perpendicular es flexible, la de mayor longitud perpendicular también lo es.
- Pueden aplicarse la combinación de los ítems 2.1 hasta 2.4, siempre que sean ambos a mejorar la flexibilidad del sistema.

Ejemplo: Si se tiene que analizar una línea similar (parecida geométricamente y conectada a un mismo tipo de equipo) a otra ya analizada, pero ésta tiene menor diámetro y mayor L_p , entonces, se puede concluir diciendo que si la línea de mayor diámetro y menor L_p es flexible y cumple con los requerimientos

del ASME B-31, la que se está analizando (por comparación) es mucho más flexible y por lo tanto también cumple con los requerimientos del ASME B-31.

2.11 Tuberías enterradas

Las tuberías enterradas tienen características especiales a considerarse en el análisis de flexibilidad. Toda línea aérea al enterrarse llega a tener a cierta distancia un punto de anclaje, un punto donde teóricamente no existe movimiento, la distancia hasta este punto es denominado longitud de anclaje virtual o "VAL" (de las siglas en ingles de: *virtual anchor lenght*).

El anclaje virtual se genera por equilibrio entre las fuerzas de deformación (ocasionadas por presión y temperatura) y el rozamiento de la tierra, por tal motivo el cálculo de dicha longitud es función de los parámetros característicos del terreno y del material de la tubería.

Un ejemplo ilustrara mejor esta idea:

Diseñar la siguiente tubería subterránea. La profundidad del cubrimiento = H = 3 pies; el ancho de la trinchera = 2 pies 6 pulgadas; el material es ASTM A53 grado B; el mínimo esfuerzo de fluencia especificado es 35,000 psi a 145°F. El diámetro exterior de la tubería incluyendo aislamiento es 12".

Asumir que el coeficiente de fricción entre la tubería y el terreno es 0.3. La densidad de la arcilla saturada del terreno $\omega = 100 \text{ lb/pie}^3$.

La tubería contiene aceite combustible #613 API con una gravedad específica de 1.2.

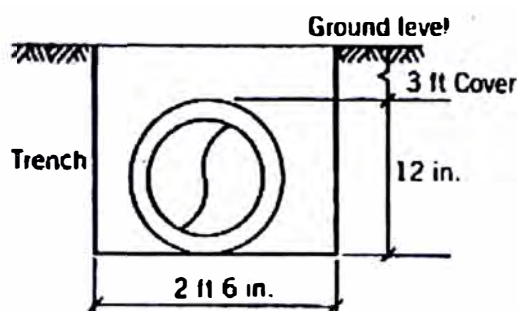


Figura N° 2.22, Tubería sepultada con dimensiones de la zanja.

1. Calcular la resistencia a la fricción F_f .
2. Calcular la fuerza térmica F_t , después calcular el esfuerzo longitudinal S_L .
3. Encontrar el punto de ningún movimiento, el cual es $F_f = F_t$.

Primero, calcular la carga en la tubería desde el relleno W_c .

$$W_c = \text{carga sobre tubería, libras/ pie} = C_d \cdot \omega \cdot B_d^2$$

Donde

$$C_d = \text{coeficiente de carga} = \frac{1 - e^{-2 \cdot k \cdot \mu' \cdot \left(\frac{H}{B_d}\right)}}{2 \cdot k \cdot m'}$$

Donde

k = Relación de presión unitaria lateral entre presión unitaria vertical.

μ' = coeficiente de fricción entre el material de relleno y la zanja $\leq \mu$, donde

μ es el coeficiente de fricción interna del relleno.

H = altura del relleno arriba del tope de tubería, pies.

B_d = ancho horizontal de la trinchera, pies.

Los valores del coeficiente de carga C_d pueden ser tomados del diagrama en la siguiente figura:

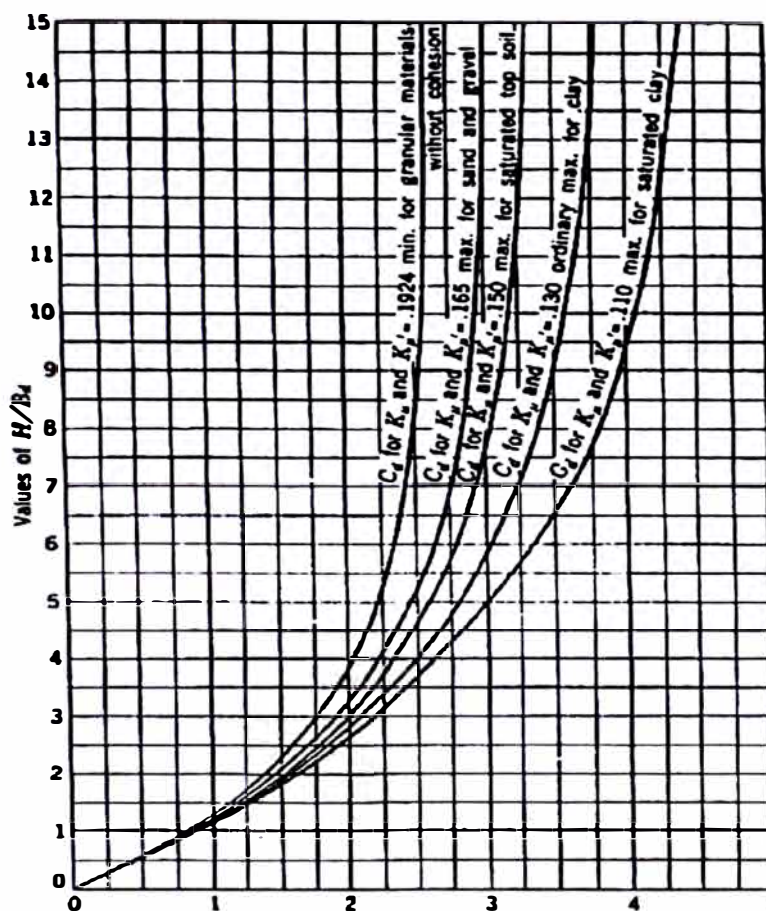


Figura N° 2.23. Coeficientes de carga C_d para tuberías en zanja.

Fuente: *Introduction to Pipe Stress Analysis*, página 147 (1).

Paso 1. Cálculo de resistencia de fricción (unidades lb/pie):

Permita que W_c = carga sobre tubería desde el relleno negando el movimiento de la carga.

Usando la fórmula de Marston: $C_d \cdot \omega \cdot B_d^2$

Donde

C_d = coeficiente de carga. Se lee en la gráfica anterior.

$W_c = 1,0 \times 100 \times 2,5 \times 2,5 = 625$ lb/pie

$C_d = 1$ para $H/B_d = 1,2$

ω = densidad del terreno = 100 lb/pie³

B_d = ancho horizontal de la trinchera, $2,5$ pies.

Peso del fluido = (peso de agua) gravedad específica = $(21.69) \cdot 1.2 = 26$ lb/pie

Peso aislamiento = 5,38 lb/pie

Peso tubería de metal = 28,55 lb/pie

Peso total de la tubería = $625 + 26 + 5.38 + 28.55 = 685$ lb/pie

Factor de resistencia = $\mu \times (\text{peso total}) = 0,3 (685) = 205.5$ lb/pie

Paso 2 y 3. Punto de ningún movimiento:

La fuerza de fricción se opone a la fuerza térmica; en el punto de ningún movimiento, la fuerza de fricción es igual a la fuerza de expansión térmica.

$$\text{Esfuerzo longitudinal} = S_L = E\alpha(T_2 - T_1) - \nu P \left(\frac{D - 2t}{2t} \right)$$

Donde:

$E = 27,9 \times 10^6$ psi

$\nu =$ relación de Poisson = 0,3

$D = 8,625$ pulg.

$\alpha =$ coeficiente lineal de expansión térmica

$T_2 = 145^\circ\text{F}$

$T_1 = 80^\circ\text{F}$

$t = 0,322$ pulg.

$P = 300$ psig

La ecuación de esfuerzo longitudinal proviene del código de tubería B31.4, sección 419.6.4 del código de transporte de líquidos. Esta ecuación es para tubería sujeta, en este caso a causa de la tubería subterránea:

$$= 27,9 \times 10^6 (6,5 \times 10^{-6}) (145 - 80) - 0,3 \times 300 \times (8,625 - 2 \times 0,322) / (2 \times 0,322)$$

$$= 11\,787 - 0,3 (3\,717) = 10\,669 \text{ psi}$$

La fuerza de expansión térmica $F_f = S_L \times (\text{Área de metal}) = 10\,669 \text{ psi} \times (8,4 \text{ pulg}^2) = 89\,625 \text{ lb}$.

La distancia del punto de ningún movimiento desde el punto de entierro será $= 89625/205.5 = 436 \text{ pies}$, tal como se ilustra en la siguiente imagen:

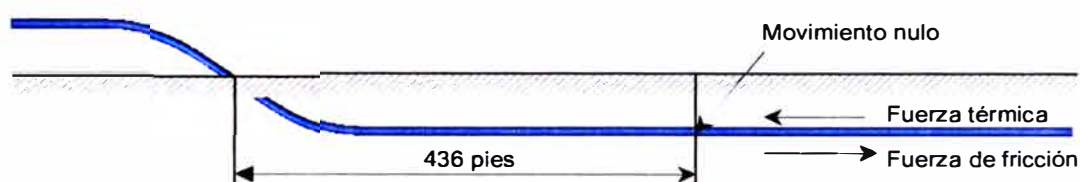


Figura N° 2.24. Longitud del anclaje virtual: punto sin movimiento en tubería enterrada.

Fuente: *Introduction to Pipe Stress Analysis*, página 148 (1).

2.12 Criterios de diseño mecánico de tuberías para pulpas

2.12.1 Generales

Los diseños permitirán la instalación de los nuevos equipos con mínimas pérdidas de producción.

- Todos los diseños deberán considerar la estandarización de componentes.
- El diseño de todas las instalaciones deberá considerar los adecuados medios de acceso, salidas y vías de evacuación.
- El diseño de las instalaciones deberá ser seguro para el personal de operación y mantenimiento, así como no contaminante.
- El diseño considerará el mínimo impacto posible al medio ambiente debido a la operación de los equipos.

- Uso de tecnología industrialmente probada en instalaciones similares, particularmente respecto de válvulas, actuadores y equipos de bombeo. No se aceptarán prototipos.

2.12.2 Criterios para tuberías

Los criterios para el diseño de las instalaciones de tuberías se regirán de acuerdo a las recomendaciones de la ASME B31.11 para el caso de transporte de concentrado y la ASME B31.3 para el caso de instalaciones agua, transporte de aire y de fluido hidráulico.

- Las tuberías de proceso deberán ser instaladas en soportes metálicos sobre cimentación adecuada o estructuras (racks de tuberías). La instalación de tuberías en trincheras o túneles podrán ser consideradas como opcionales, sólo en casos justificados.
- La última válvula de bloqueo, la cual tendrá el rating de mayor presión. Todos los cambios de clase serán mostrados en los planos de tuberías y P&ID's.
- Los flujómetros deberán ser instalados entre dos tramos rectos. Un tramo recto aguas arriba y un tramo recto aguas abajo del flujómetro, ambos tramos rectos deberán considerar las longitudes recomendadas por el proveedor del instrumento.
- Para proteger el sistema de tuberías del golpe de ariete (*water hammer*), el diseño y la ingeniería a realizar deberá considerar la utilización de discos de ruptura, válvulas de cierre lento, supresores de onda, válvulas de alivio y válvulas de vacío de acuerdo al análisis de transiente.

- Para las tuberías de pulpa que no superen la Clase 150, según ASME, se permite el uso de acoples "Victaulic".
- En lo posible el diseño deberá evitar los puntos bajos y zonas de decantación de pulpa.
- El uso de codos no está permitido, sólo se permite el uso de curvas de radio mínimo de cinco veces el diámetro nominal (5D). Si por limitaciones de espacio se requiere el uso de curvas 3D, este deberá ser justificado previamente antes de su inclusión en el diseño.
- Todas las líneas de pulpa deberán de estandarizar la longitud de spool de acuerdo a la limitación propia de la fabricación y colocación de los recubrimientos internos contra la erosión.
- En general, para cualquier arranque de tubería se da preferencia al uso de la te estándar, luego al tubo extruido, conexiones weldolets solo hasta las 3" y finalmente a los arranques con placas de refuerzo como última alternativa.
- Las placas de refuerzo, deben ser calculadas de acuerdo a la ASME B31.11 para tuberías de pulpa y la ASME B31.3 para el caso de tuberías para agua. Esta placa debe ser un refuerzo circular completo.
- Para el servicio de pulpa, sólo se permite arranques en 90° a la tubería principal. Se deberá privilegiar el uso de te estándares. Sólo se permite el uso de weldolets reforzados hasta 3". Se deberá evitar el uso de arranques con placas de refuerzo. El uso de piezas extruidas deberá ser evaluado y aprobado antes de su inclusión al diseño



Figura N° 2.25, “Choke station” típica estación de anillos disipadores fijos de presión.

2.13 Criterios para análisis de flexibilidad de tuberías para pulpas

2.13.1 General

Los siguientes criterios son establecidos para el estudio formal de un sistema de tuberías, los valores y recomendaciones están siempre a criterios del ingeniero a cargo del análisis de flexibilidad.

- Los sistemas de tuberías deben ser siempre lo más flexible posible, sin embargo por cuestiones de sismicidad de la zona se debe limitar los desplazamientos y esfuerzos en valores razonables.
- Los efectos dinámicos producidos por impactos, vibraciones y otros deben ser considerados en el diseño
- Los sistemas deben ser estáticamente evaluados. Un estudio dinámico en el sistema de tuberías podría ser necesario para mecanismos

reciprocantes cuando un golpe de ariete pueda ser considerado, estas condiciones deben ser evaluadas.

- En lo posible las uniones flexibles deben evitarse.
- Las conexiones bridadas deben ser verificadas por el método de presiones equivalentes.
- Los diseños siempre deben considerar las máximas condiciones de seguridad para construcción y escenarios de operación.

2.13.2 Requerimientos para estudio de análisis de flexibilidad

Todos los sistemas que al menos tengan una de las siguientes características, son potenciales candidatos para un estudio formal del análisis de flexibilidad, aunque se deja a criterio del especialista en flexibilidad la selección de los sistemas a estudiar.

- Todos los sistemas clasificados como de alta presión o a criterio de ingeniero de análisis de flexibilidad.
- Sistema de tuberías conectadas a equipos sensibles, como por ejemplo bombas centrífugas.
- Todos los sistemas considerados como críticos en el proyecto.
- Todos los sistemas que el ingeniero de flexibilidad considere necesarios.
- Todas las tuberías de diámetro mayores a 24" conectados a tanques con asentamientos que puedan generar esfuerzos no admisibles en la tubería o la boquilla del tanque.
- Todas las líneas con mecanismos para aliviar presiones (válvula de alivio, válvula de seguridad, disco de ruptura, etc.).

- Todas las líneas sujetas a desplazamientos que puedan causar esfuerzos sobre los niveles admisibles, por ejemplo: *tie-in*, desplazamientos diferenciales con estructuras.
- Toda tubería de 24" de diámetro o mayor que bajo criterios del ingeniero de flexibilidad pueda causar fuerzas y momentos de desbalance de importante magnitud en los soportes.
- Tuberías sujetas a condiciones cíclicas severas, identificadas por el ingeniero de flexibilidad.
- Todas aquellas líneas que tengan juntas de expansión.
- Todas aquellas líneas que puedan ser afectadas por el golpe de ariete.
- Tuberías de 20" de diámetro o mayor, con longitudes superiores a 100m, independientemente de su condición de temperatura.
- Tuberías de 16" de diámetro o mayor, con longitudes superiores a 200m, independientemente de su condición de temperatura.
- Todas las tuberías enterradas deben ser evaluadas, partiendo desde el sistema aéreo hasta la posición del anclaje virtual.

CAPÍTULO III BASES DE DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 Límites de batería

Los límites de batería del análisis de flexibilidad de la estación de bombeo está definido por:

Aguas arriba: anclaje a la entrada a estación de bombeo.

Aguas abajo: anclaje a la salida de la estación de bombeo.

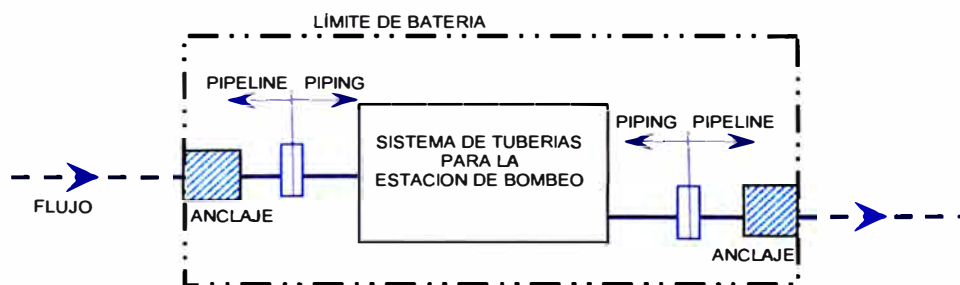


Figura N° 3.1. Límites de batería del proyecto.

Cabe resaltar que para propósitos de cálculo, se hace necesario modelar un tramo de la tubería enterrada, hasta lograr un anclaje virtual en ambos extremos de la estación de bombeo, con el fin de determinar la magnitud de los anclajes de entrada y salida de estación.

Las líneas de agua de proceso y de sello no están dentro del alcance del análisis de flexibilidad, salvo aquellas líneas vinculas directamente con las líneas de pulpa.

3.2 Definiciones

- Densidad del fluido : Masa de fluido por unidad de volumen (kg / m^3).
- Gravedad específica (GE) : Relación entre la densidad del fluido y la densidad del agua ($1000 \text{ kg} / \text{m}^3$). Para el caso de líquidos.
- Presión de operación : Se refiere a la presión de diseño, máxima y mínima interna, ocasionada por el fluido que circula en la tubería.
- Temperatura del metal : Se refiere la temperatura de la pared metálica de la tubería.
- Coeficiente de Poisson : Propiedad física del material de la tubería según ASME B31.11 párrafo 1119.6.3.
- Coeficiente de expansión : Propiedad física del material de la tubería según ASME B31.11 párrafo 1119.6.1.
- Módulo de elasticidad : Propiedad física del material de la tubería según ASME B31.11 párrafo 1119.6.2.
- Temperatura de referencia : Se refiere a la temperatura de instalación del sistema de tuberías.
- Temperatura del metal : Se refiere la temperatura de la pared metálica de la tubería.
- Suelo : Se refiere al material de terreno usado para cubrir la tubería.
- Tapada : Se refiere a la altura de relleno sobre la tubería enterrada.
- Tipo de Suelo : Se refiere a la condición de material del terreno según estudio de suelos.

- **Peso Específico del suelo** : Se refiere a la propiedad física del suelo según al estudio de suelos.
- **Coef. de fricción tubería-suelo** : Coeficiente adimensional que expresa la oposición que ofrecen la tubería y el suelo.
- **Ángulo de corte** : Se refiere a la propiedad física del suelo según al estudio de suelos.

3.3 Símbolos y abreviaciones

Las siguientes abreviaciones aplican en este documento:

- CP : *Charge Pump* (Bomba de carga). Referida a la bomba centrífuga horizontal para concentrado que alimenta a la PDP.
- F : Fuerza de desbalance.
- Fr : Fuerza resultante.
- FX : Fuerza en la dirección "X".
- FY : Fuerza en la dirección "Y".
- FZ : Fuerza en la dirección "Z".
- g : Aceleración de la gravedad.
- HP : Presión hidrostática.
- EXP : Cargas de expansión.
- OPE : Cargas de operación.
- OCC : Cargas ocasionales.
- mcp : Metros de columna de pulpa.
- Mr : Momento resultante.
- MX : Momento en la dirección "X".
- MY : Momento en la dirección "Y".
- MZ : Momento en la dirección "Z".
- P : Presión de operación.

- PDP *Piston Displacement Positive* (bomba de desplazamiento positivo por pistón). Referida a la bomba principal de alta presión (clase ASME 1500) el cual descarga al concentrado a varios kilómetros hasta la siguiente estación.
- S_a : Esfuerzo admisible.
- S_b : Tensión debido a cargas del sistema.
- S_{adm} : Esfuerzo admisible.
- SE : Tensión debido a expansión.
- S_{Lp} : Tensión longitudinal debido a presión interior.
- SMYS Tensión de fluencia mínima especificada (*Specified minimum yield strength*).
- SUS : Cargas sostenidas.
- S_{yield} : Esfuerzo de fluencia mínimo del material
- T : Temperatura de operación
- U1 : Vector de carga másica uniforme (carga sísmicas en el eje X)
- U2 : Vector de carga de másica uniforme (carga sísmicas en el eje Y)
- U3 : Vector de carga de másica uniforme (carga sísmicas en el eje Z)
- W : Peso de la tubería con fluido
- WNC : Peso de la tubería vacía
- WW : Peso de la tubería con agua

3.3.1 Unidades

En el desarrollo de todos los planos y documentos se utilizará el Sistema Internacional de Unidades (SI) y en aquellos casos que sean convenientes se indicará en el Sistema Inglés entre paréntesis a excepción de la designación del diámetro nominal y espesor de las tuberías que se realizará en pulgadas.

3.4 Documentos de referencia

3.4.1 Documentos técnicos del proyecto

Para el desarrollo de este estudio se modeló la instalación a partir de la geometría definida en los documentos de diseño, con la inclusión de los tramos enterrados y aéreos de conformidad con los siguientes documentos:

1. Especificación Técnica para condiciones de Sitio del Proyecto.
2. Bases de Diseño Hidráulico.
3. Diagrama de Proceso y Flujo.
4. Especificación técnica de Materiales para tuberías, Válvulas y accesorios.
5. Planos P&ID – Estación de bombeo.
6. Arreglo General- Estación de Bombeo.
7. Bases de Diseño para Tuberías del Proyecto.
8. Diseño de Anillos Disipadores.
9. Lista de Líneas.
10. Plano P&ID – Estación de bombeo-Agua de Proceso y Agua de Sello.

3.4.2 Archivos de modelos CAESAR II

Por la complejidad del sistema de tuberías de la estación de bombeo es necesario trabajar con varios modelos, los cuales son:

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. PUMP STATION 2.C2 | Operación de líneas de succión de la PDP. |
| 2. PUMP STATION 2 VACÍO.C2 | Líneas de succión de PDP vacías (casos térmicos extremos). |
| 3. PS2-PDP Descarga OPE.C2 | Operación de líneas de descarga de PDP. |

4. PS2-PDP Descarga VACÍO.C2 Líneas de descarga de PDP vacías (casos térmicos extremos).

3.5 Códigos y estándares

El desarrollo de esta memoria de cálculo está basado en las normas y documentos que se detallan a continuación:

ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASME B31.11	Slurry Transportation Piping Systems
ASME B31.3	Process Piping
API	American Petroleum Institute
API 5L	Specification for Line Pipe
API 610	Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical, And Gas Industry Services
API 650	Welded Steel Tanks for Oil Storage
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASTM A53	Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
NTP. E-030	Norma Técnica Peruana, Diseño Sismo Resistente
IBC	International Building Code
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASCE 7 05	Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

3.6 Filosofía de operación

Para entendimiento de la filosofía de operación se hace necesario tener a la mano los planos de proceso e instrumentación (P&D's), ver sección de planos de este documento.

Estación de bombeo cuenta con un tanque agitador de almacenamiento y anillos disipadores.

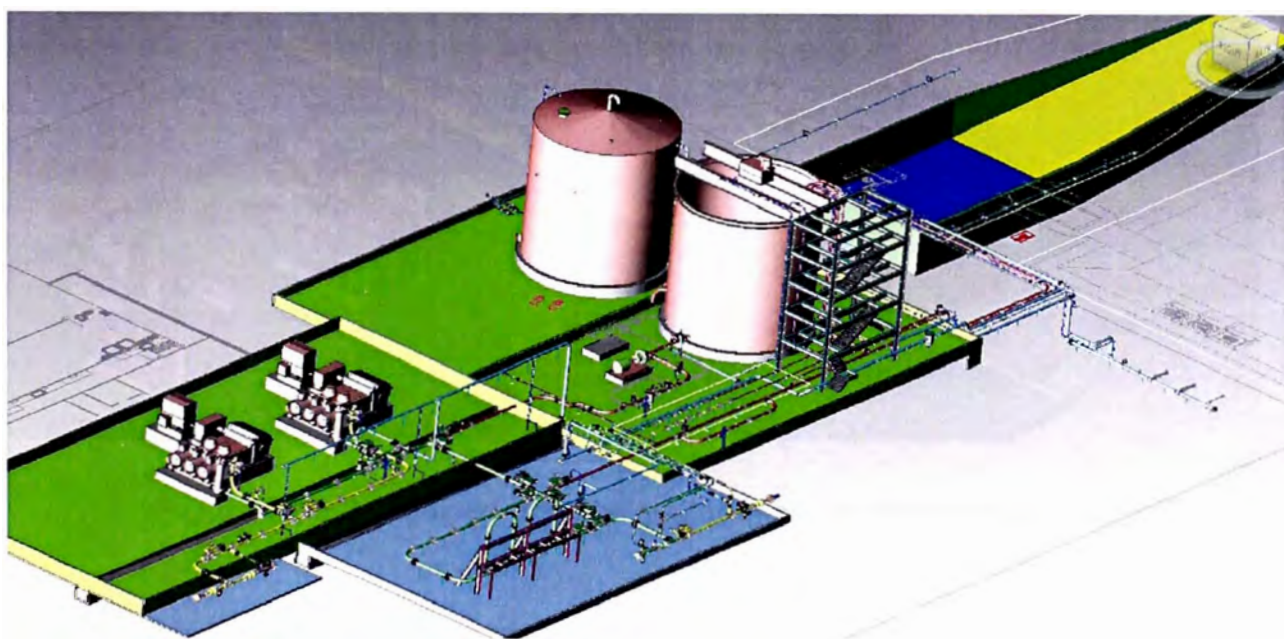


Figura N° 3.2. Vista general de la estación de bombas 2 (PS2).

La estación de bombeo (PS2) está instalada para proporcionar la cabeza hidráulica para el transporte de la pulpa a la estación de bombeo intermedia 3 (PS3), ubicada 41.9 km aguas abajo.

La PS2 está ubicada en el KP 83.85 a una elevación de 3,643 msnm. El principal equipamiento en esta instalación está conformado por un tanque agitador de almacenamiento de pulpa 0362-TKF-0054 que proporciona un volumen útil de

668 m³ (85% de la capacidad útil), dos (una en operación y una en espera) bombas centrífugas de carga de pulpa con velocidad variable 0362-PPS-0100 & 0101, y dos (una en operación y una en espera) bombas de desplazamiento positivo, de diafragma de pistón y con velocidad variable 0362-PPP-003 & 004.

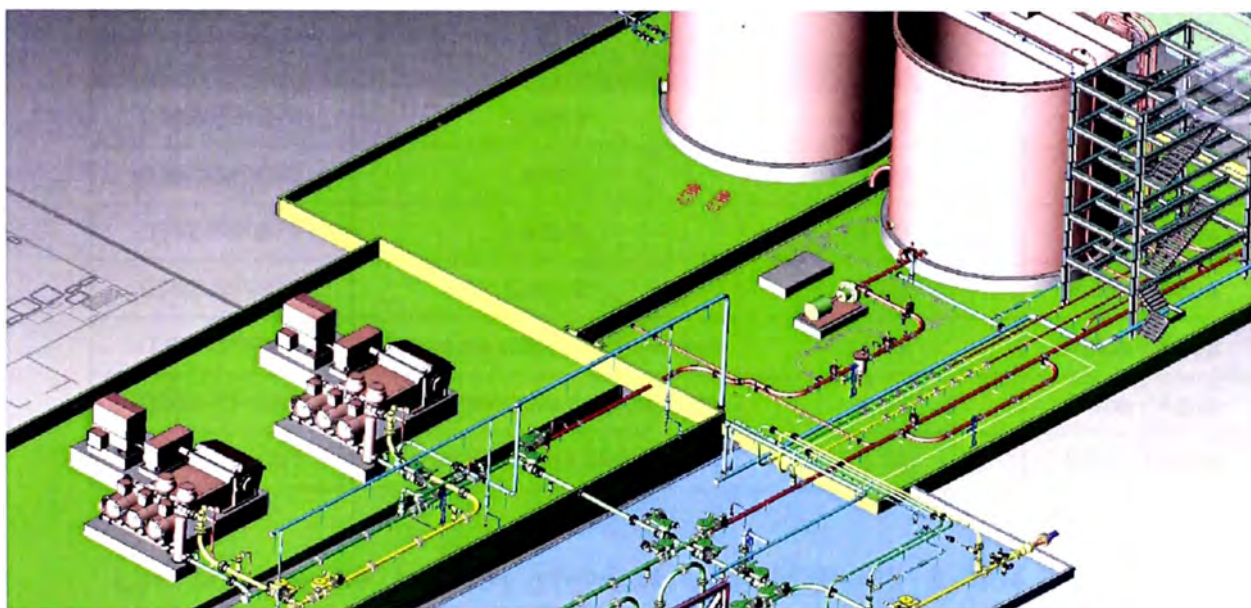


Figura N° 3.3. Equipos principales: tanques, bomba de cargas y PDP's.

Aguas arriba del tanque agitador de almacenamiento 0362-TKF-0054 se ha instalado una línea bypass (8"-0362-CT-01555-L9T0IQ-N) que contiene dos lazos de anillos variables y tres anillos disipadores fijos con la finalidad de proporcionar un medio para controlar la resistencia y prevenir que se produzca flujo con superficie libre aguas arriba de la estación. Los anillos disipadores son utilizados cuando lotes de agua están siendo bombeados en la Sección 1 del concentraducto (desde la PS1 hasta la PS2). Dos discos cerámicos están instalados en cada lazo vertical de anillos variables de acuerdo a la Tabla N° 2.2. El ramal de anillos disipadores (línea bypass), que contiene los lazos verticales de anillos variables y los anillos disipadores fijos, puede ser aislado de la línea principal cuando no se

requiera disipación o para fines de mantenimiento mediante el cierre de las válvulas HV-05624 y HV-05621 (la válvula de sello HV-5620 se cierra después de que la válvula de desgaste HV-5621 haya sido cerrada).

Tabla N° 3.1. Arreglo de los anillos disipadores cerámicos en la PS2

Etiqueta del anillo disipador	Ubicación	Diámetro interno (pulg.)	Servicio
0362-SP-074	Lazo 1	1.50	Agua
0362-SP-075	Lazo 1	1.50	Agua
0362-SP-076	Lazo 2	1.70	Pulpa / Agua
0362-SP-077	Lazo 2	1.70	Pulpa / Agua
0362-SP-079	Ramal de anillos disipadores	1.70	Pulpa / Agua
0362-SP-080	Ramal de anillos disipadores	1.80	Pulpa / Agua
0362-SP-081	Ramal de anillos disipadores	2.10	Pulpa / Agua

Las bombas de la línea principal 0362-PPP-003 & 004 son de clase ANSI/ASME 900 en el lado de succión.

Las tuberías y válvulas desde la entrada de la estación hasta la segunda válvula de cierre (HV-05613) tienen la capacidad de la clase ANSI 1,500. Aguas abajo hasta la brida del distribuidor de succión de las bombas de la línea principal (0362-PPP-003 & 004), las tuberías y válvulas de la estación tienen la capacidad de la clase ANSI 900. El equipamiento y tuberías del área de las bombas de carga (0362-PPS-0100 & 0101) tienen la capacidad de la clase ANSI 150. Desde la brida de descarga de las bombas de la línea principal (0362-PPP-003 & 004), las tuberías y válvulas tienen la capacidad de la clase ANSI 1,500.

La pulpa recibida en esta estación desde la PS1 puede alimentar directamente al distribuidor de la succión de las bombas de la línea principal 0362-PPP-003 & 004 a través de la línea 8"-0362-CT-01551-L9T0IQ-N, o alternativamente puede ser descargada en el tanque de almacenamiento de pulpa 0362-TKF-0054 a través de la línea 8"-0362-CT-01556-L1T0IJ-N. Si se selecciona la segunda opción, entonces una de las bombas de carga (0362-PPS-0100 / 0101) transferirá la pulpa desde el tanque de almacenamiento 0362-TKF-0054 hacia la bomba de la línea principal (0362-PPP-003 / 004), con el flujo y a la presión requeridos (NPSHr).

La pulpa o el agua que llega a la PS2 también puede ser dirigida a la piscina para drenaje de pulpa 0362-SUL-0010 o hacia la piscina para agua de proceso 0362-PND-002, respectivamente, a través de la línea 8"-0362-WP-01579-C1E2A-N, actuando las válvulas HV-05631, HV-05641 y HV-05642

Dos líneas de discos de ruptura (4"-0362-CT-01559-LJT0IQ-N y 4"-0362-CT-01564-L9T0IQ-N) son utilizadas para proteger la estación de bombeo intermedia PS2, descargando ambas en el tanque de almacenamiento de pulpa 0362-TKF-0054. La primera (0362-SP-0068) protege a la estación de la sobrepresión por transientes en el concentraducto debido a una parada con el peor caso de interface pulpa – agua. La segunda (0362-SP-0069) protege el trayecto de los lazos de anillos disipadores y las válvulas asociadas de la sobrepresión. Los set points de los discos de ruptura están detallados en la Tabla N° 3.2.

Tabla N° 3.2. Set points de las líneas de discos de ruptura de la PS2

Etiqueta del disco de ruptura	Set point		Capacidad de la clase ASME
	(kPa)	(psi)	
0362-SP-0068	18 140	2 631	1 500
0362-SP-0069	14 458	2 097	900

El suministro de agua de proceso a la PS2 es realizada por otros y está fuera de los límites de batería (Conexión 0362-2001).

Las tuberías, válvulas y accesorios de la estación han sido diseñados para la instalación de un receptor de raspatubos 0362-CGX-002 y un lanzador de raspatubos 0362-CGX-003 cuando sea requerido. El receptor de raspatubos 0362-CGX-0002 será operado a través de la apertura de la válvula 0362-V-2285 y el cierre de la válvula HV-05625 (la válvula HV-5613 permanece abierta y la válvula HV-5620 permanece cerrada), y el lanzador de raspatubos 0362-CGX-003 será operado a través de la apertura de la válvula 0362-V-2284 y el cierre de la válvula HV-05682.

3.7 Criterios de diseño

3.7.1 Consideraciones generales

Sobre la base del análisis de flexibilidad del conjunto de tuberías que componen el sistema proyectado de impulsión de concentrado, se determina si las dimensiones y forma adoptada en el diseño de la instalación son adecuadas para minimizar las tensiones que se generan sobre las tuberías y demás componentes, a causa de las cargas que actúan sobre las mismas. Las más comunes de estas cargas son aquellas que ocurren debido al arranque o parada de equipos,

variaciones en el flujo dentro del sistema, ocurrencia de sismos, diferencia de temperatura de los materiales entre la etapa de construcción e instalación vacía y períodos de operación en que esta se encuentra llena y con fluido circulando.

Se desarrolla un análisis estático equivalente para incluir los efectos sísmicos.

En las interfaces de tubería aérea y enterrada se consideró un anclaje para restringir desplazamientos excesivos en la interface.

3.7.2 Cálculo de esfuerzos

De acuerdo a lo detallado en la sección 2.5, los esfuerzos límites son los siguientes:

Límite de cargas operacionales : $S_{adm} \leq 0.90 \cdot S_{yield}$

Límite de cargas sostenidas : $S_{adm} \leq 0.54 \cdot S_{yield}$

Límite de cargas por expansión térmica : $S_{adm} \leq 0.72 \cdot S_{yield}$

Límite de cargas ocasionales : $S_{adm} \leq 0.88 \cdot S_{yield}$

3.7.3 Software

Todos los cálculos de flexibilidad se han desarrollado utilizando el programa computacional CAESAR II, versión 5.30.

3.8 Información específica para el modelado

3.8.1 Materiales

Los materiales de la tubería en la Estación de Bombeo 2 son los siguientes:

Tabla N° 3.3. Características de la tubería

Clase de material	Diám.	Clase ASME	SCH espesor	Revestimiento interior	Sobrespesor por corrosión	Material de tubería
LJT0IQ	10"	1500	0,719"	Poliuretano 18 mm	0 mm	API 5L X52
LJT0IQ	8"	1500	0,562"	Poliuretano 12 mm	0 mm	API 5L X52
LJT0IQ	4"	1500	0,337"	Poliuretano 8 mm	0 mm	API 5L X52
L9T0IQ	8"	900	0,375"	Poliuretano 12 mm	0 mm	API 5L X52
L9T0IQ	6"	900	SCH 80 (0,432)	-	1,6 mm ⁽¹⁾	ASTM A53-Gr. B
L9T0IQ	4"	900	0,203"	Poliuretano 8 mm ⁽¹⁾	0 mm ⁽²⁾	API 5L X52
L9T0IQ	2"	900	0,218"	-	1,6 mm	ASTM A53-Gr. B
C1T3I	3"	150	STD (0,216")	-	1,6 mm	ASTM A53-Gr. B
C1E2A	8"	150	STD (0,280")	-	1,6 mm	ASTM A53-Gr. B
C1E2A	6"	150	STD (0,280")	-	1,6 mm	ASTM A53-Gr. B
C1E2A	3"	150	STD (0,216")	-	1,6 mm	ASTM A53-Gr. B

1. Para líneas de inyección de agua a líneas de pulpa.
2. Para líneas después de los discos de ruptura no cuenta con revestimiento interno, de acuerdo a la referencia N° 4. De manera conservadora se considera un sobrespesor por corrosión de 1,6 mm, solo para propósitos del análisis de flexibilidad.

Densidad del poliuretano : 1 250 kg/m³

Densidad de la goma natural : 1 210 kg/m³

Densidad del HDPE : 955 kg/m³

3.8.2 Presiones

3.8.2.1 Presión

El sistema de impulsión de la PS2 considera una presión de operación y prueba según el cuadro siguiente:

Tabla N° 3.4. Presiones del sistema.

Clase de material	Diám.	Clase ASME	Presión de operación [kPa]	Prueba hidrostática [kPa]
LJT0IQ	10"	1500	19 542	38 438
LJT0IQ	8"	1500	19 542	38 438
LJT0IQ	4"	1500	19 542 / 19 047	38 438
L9T0IQ	8"	900	15 181	23 097
L9T0IQ	6"	900		23 097
L9T0IQ	4"	900	15 181	23 097
L9T0IQ	2"	900	1,6 mm	23 097
L1T0IJ	8"	150	610	3 103
L1T0IJ	6"	150	610	3 103
L1T0IJ	4"	150	472 / 1 092	3 103
C1T3I	3"	150	1,6 mm	3 103
C1E2A	8"	150	1,6 mm	3 103
C1E2A	6"	150	1,6 mm	3 103
C1E2A	3"	150	1,6 mm	3 103

3.8.3 Temperaturas

3.8.3.1 Temperatura ambiente

De acuerdo a la referencia N° 1, las temperaturas de medio ambiente son las siguientes:

Tabla N° 3.5. Temperatura ambiente.

Mínima	Media	Máxima
-9 °C	7 °C	22 °C

3.8.3.2 Temperatura de instalación o de referencia

De acuerdo a la referencia N° 8, la temperatura de instalación o de referencia a considerar es de 7°C.

3.8.3.3 Temperaturas en tuberías

Tabla N° 3.6. Temperaturas en tuberías.

Tramo	Instalación (°C)	Operación normal (°C)		Máxima eventual línea vacía (°C)		Mínima eventual línea vacía (°C)	
		Día cálido	Día frío	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Tramo aéreo	7	22	5	21	50	0	-12
Tramo enterrado	7	22	5	15	15	-3	-3

3.8.4 Cargas debido a sismo

Las instalaciones se encuentran ubicadas en la zona 2 de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones-NTP E-030 Diseño Sismo Resistente.

En el análisis se considera siempre sismo vertical actuando con sismo horizontal, tal como se muestra en los casos de carga sísmica reportados más adelante en este documento.

Tabla N° 3.7. Coeficientes sísmicos máximos.

Dirección	U
Transversal	0,214
Vertical	0,127
Longitudinal	0,214

Los detalles de cálculos de estos coeficientes pueden verse en el Anexo 4.

3.8.5 Consideraciones para tanque agitador

Para la verificación de las cargas admisibles del tanque agitador 0362-TKF-0054, se han hecho bajo las recomendaciones norma API 650. La información de la hoja de datos de este equipo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 3.8. Datos para tanque agitador 0362-TKF-0054.

Parámetro	Valor
Dimensiones del tanque	Díam. 10m ⁽¹⁾ x Altura : 11m

Parámetro	Valor
Espesor de pared del tanque	0.5" ⁽²⁾
Diámetro de boquilla	10"
Refuerzo	en el tanque
Altura de boquilla	350 mm
Altura de fluido	10.6m
Coefficiente de expansión térmica del acero	$11,7 \times 10^{-6} \text{ mm}/(\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$

1. Corresponde al diámetro interno del tanque.
2. Valor estimado bajo consideraciones de la API 650, el valor definitivo debe calcularse por el Fabricante.

3.8.6 Tramos enterrados

Para modelar las propiedades del terreno se ha utilizado la interfaz "*Buried Pipe Modeler*" propia del software Caesar II.

El tipo de terreno es arenoso y sus principales parámetros están indicados en la siguiente tabla:

Tabla N° 3.9. Parámetros característicos del terreno

Ítem	Parámetro	Valor	Unidad
1	Coefficiente de fricción	0,5	-
2	Densidad del suelo	1800	kg/m ³
3	Altura de relleno sobre la parte superior de la tubería	1000	mm
4	Ángulo de fricción	30	°
5	Factor de sobrecarga por compactación (>1)	8	-
6	Factor de desplazamiento a la fluencia (>0)	0,015	-
7	Coefficiente de expansión térmica	11, 214	L/L/°C
8	Cambio de temperatura. Instalación-Operación	8 / 10	°C

3.8.7 Cargas admisibles por las bombas

3.8.7.1 Bombas centrífugas

De acuerdo a la norma API 610, una bomba centrífuga 8"x6" tiene las siguientes cargas admisibles en las bridas. Sin embargo los valores finales de las

cargas admisibles de este equipo deben de ser proporcionados por el Proveedor del equipo.

Tabla N° 3.10. Cargas admisibles para una bomba centrífuga.

Tag de bomba	Lado	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
0362-PPS-0100	Succión (8")	4890	3780	3110	3530	1760	2580
	Descarga (6")	3110	2940	2050	2300	1180	1760

3.8.7.2 Bombas de desplazamiento positivo

No se cuenta con los valores de carga admisible para las bombas de desplazamiento positivo. La verificación de estas bridas se efectuará una vez que el Proveedor de la bomba proporcione estas cargas admisibles.

Tabla N° 3.11. Cargas admisibles para una bomba de desplazamiento positivo

Tag de bomba	Lado	FX (N).	FY (N).	FZ (N).	MX (Nm).	MY (Nm).	MZ (Nm).
0362-PPP-0003 0362-PPP-0004	Succión (8")	10,000	10,000	10,000	15,000	15,000	15,000
	Descarga (8")	10,000	10,000	10,000	15,000	15,000	15,000

3.9 Fuerza de desbalance

De acuerdo a la referencia N° 9, para una concentración máxima en peso de 62% (SG=1.92) se tienen las siguientes fuerzas en los anillos disipadores:

Tabla N° 3.12. Fuerza de desbalance en líneas con anillos disipadores

Tag	Clase ASME	Diám. Interno de tubo (mm)	Diám. anillo (pulg.)	Area (m ²)	Caída de presión		Fuerza (N)
					(mcp)	(kPa)	
0362-SP-0074	900	176,03	1,4	0,0233	119	1167	27248
0362-SP-0075	900	176,03	1,4	0,0233	119	1167	27248
0362-SP-0076	900	176,03	1,6	0,0230	67	1262	29071
0362-SP-0077	900	176,03	1,6	0,0230	67	1262	29071

Tag	Clase ASME	Diám. Interno de tubo (mm)	Diám. anillo (pulg.)	Área (m ²)	Caída de presión		Fuerza (N)
					(mcp)	(kPa)	
0362-SP-0078	900	176,03	VACANCIA				
0362-SP-0079	900	176,03	1,7	0,0229	51	961	21968
0362-SP-0080	900	176,03	1,8	0,0227	41	772	17524
0362-SP-0081	900	176,03	2,1	0,0221	20	377	8325
0362-SP-0082	1500	97,18	1,8	0,0058	158	2976	17187
0362-SP-0083	1500	97,18	1,8	0,0058	158	2976	17187
0362-SP-0084	1500	97,18	1,8	0,0058	158	2976	17187
0362-SP-0085	1500	97,18	1,8	0,0058	158	2976	17187
0362-SP-0086	1500	97,18	1,8	0,0058	158	2976	17187
0362-SP-0087	1500	97,18	2,0	0,0054	99	1865	10051
0362-SP-0088	1500	97,18	2,2	0,0050	63	1187	5891
0362-SP-0089	900	103,99	1,8	0,0069	158	2976	20387
0362-SP-0090	900	103,99	1,8	0,0069	158	2976	20387
0362-SP-0091	900	103,99	1,8	0,0069	158	2976	20387
0362-SP-0092	900	103,99	1,8	0,0069	158	2976	20387
0362-SP-0093	900	103,99	2,0	0,0065	99	1865	12056
0362-SP-0094	900	103,99	2,2	0,0060	63	1187	7167
0362-SP-0095	150	178,72	2,0	0,0000	27	509	11726
0362-SP-0096	150	178,72	2,2	0,0226	18	339	7673

Adicionalmente y de acuerdo a información del Proveedor de la bomba de desplazamiento positivo, se debe considerar fuerzas causadas por las pulsaciones residuales del damper de succión y descarga de la bomba y aplicadas en cada cambio de dirección de flujo, la magnitud de esta fuerza se indica en la siguiente tabla:

Tabla N° 3.13. Fuerzas dinámicas

PS2:

Connection	Dynamic force
Outlet 8" 1500lbs	22560 N
Inlet 8" 900lbs	10673 N

3.10 Pesos de válvulas de bola

Tabla N° 3.14. Coeficientes sísmicos máximos.

Tipo	Clase ASME	Diámetro nominal	Peso válvula (kg)	Peso de actuador (kg)
Actuada eléctricamente	150	8"	3260	4100
	600	6"	2880	4250
		8"	5890	8150
	900	6"	3470	5720
		8"	7780	12110
1500	8"	11550	18420	
Manuales	150	2"	230	-
		3"	450	-
		4"	510	-
		6"	2030	-
		8"	3260	-
	300	3"	680	-
	600	2"	360	-
		3"	870	-
		4"	1070	-
		6"	2880	-
		8"	5890	-
	900	2"	300	-
		3"	830	-
		4"	1230	-
		6"	3470	-
		8"	7780	-
	1500	2"	300	-
		3"	740	-
		8"	11550	-

3.11 Coeficiente de rozamiento

El coeficiente de rozamiento utilizado para contacto acero-acero es de 0.3.

En caso de contacto de tubería de acero y concreto se utilizará el valor de 0.4.

CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL ANÁLISIS

4.1 Geometría del modelo

Con los planos de arreglo general se procede a la construcción del modelo tridimensional de la estación de bombeo.

4.2 Análisis de casos de estudio

4.2.1 Casos de estudio

Succión de la PDP:

Caso A: operación a presión máxima en estado estable (pipeline a PDP).

Caso B: operación a presión máxima en loops hasta tanque el agitador.

Caso C: operación con presión máxima eventual y apertura de discos de ruptura.

Caso D: operación con presión máxima desde tanque agitador-bomba de carga hasta succión de PDP.

Caso E: caso con líneas vacías a temperatura de metal mínima.

Caso F: caso con líneas vacías a temperatura de metal máxima.

Descarga de la PDP:

Caso A: operación a presión máxima en estado estable, con una bomba operando.

Caso B: operación con presión máxima con lanzador de raspabombos operando con una sola bomba.

Caso C: caso con líneas vacías a temperatura de metal mínima.

Caso D: caso con líneas vacías a temperatura de metal máxima.

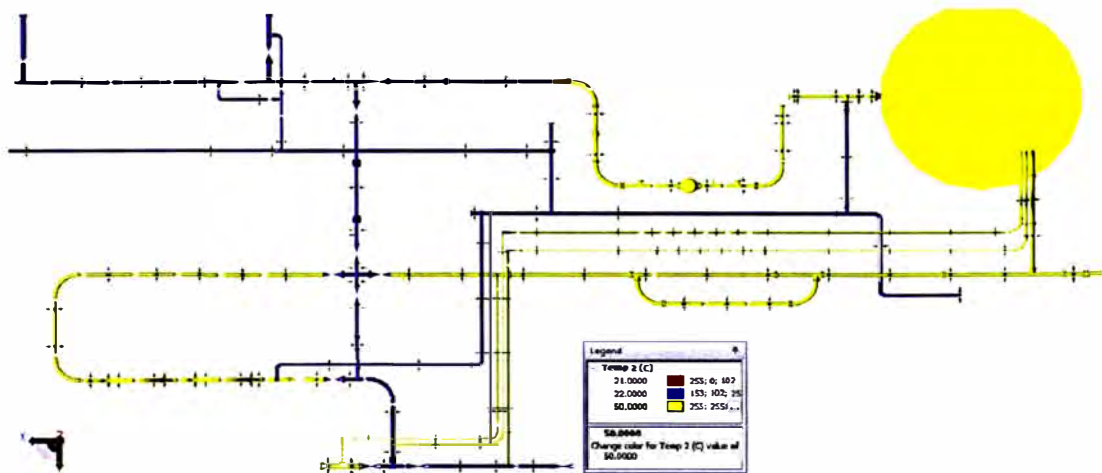


Figura N° 4.1. Caso de operación A.

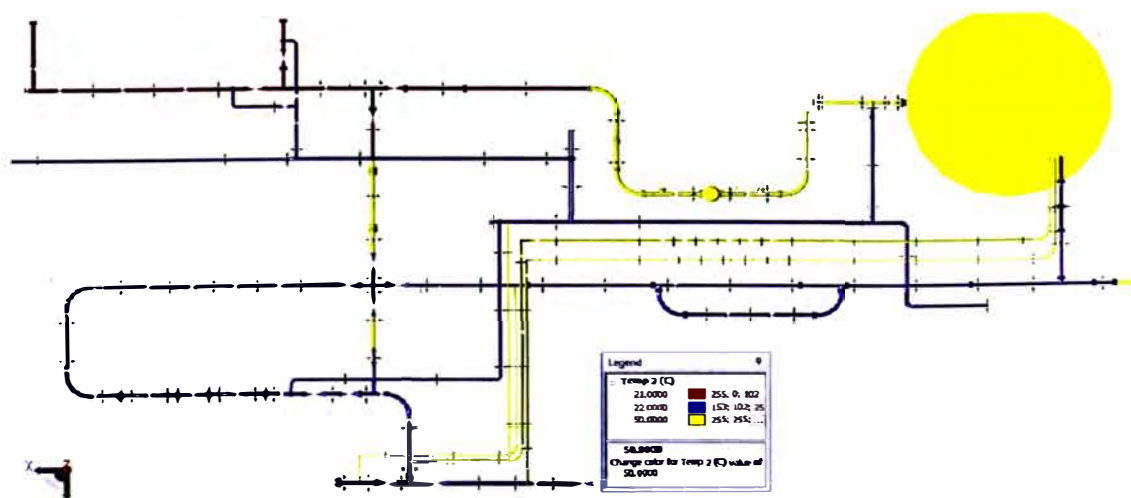


Figura N° 4.2. Caso de operación B.

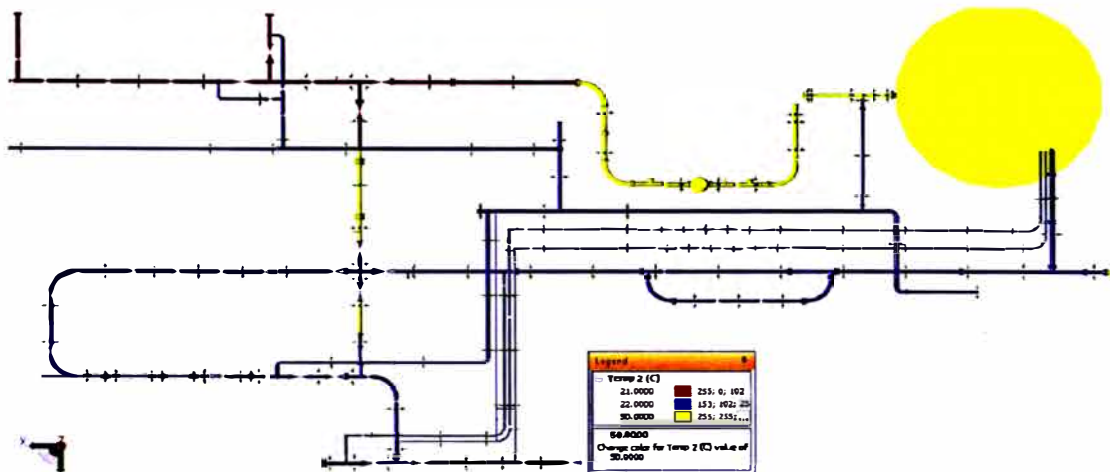


Figura Nº 4.3. Caso de operación C.

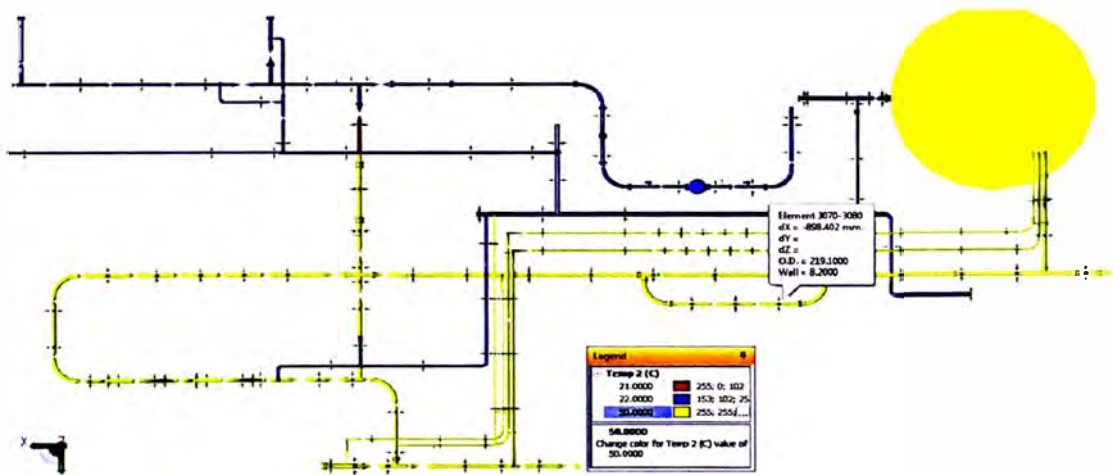


Figura Nº 4.4. Caso de operación D.

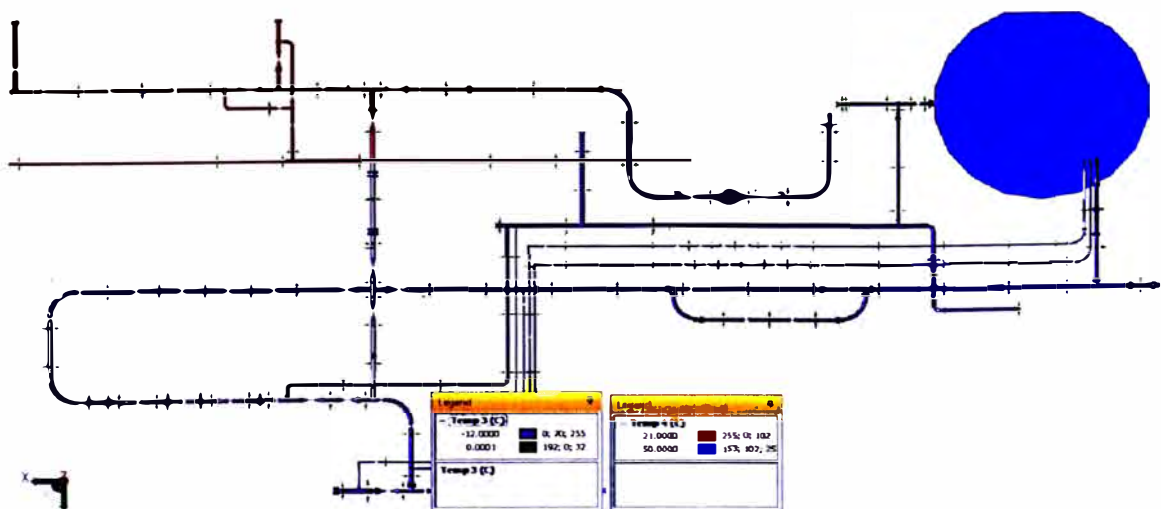


Figura Nº 4.5. Caso de operación E y F.



Figura N° 4.6. Descarga de PDP: Caso de operación A.

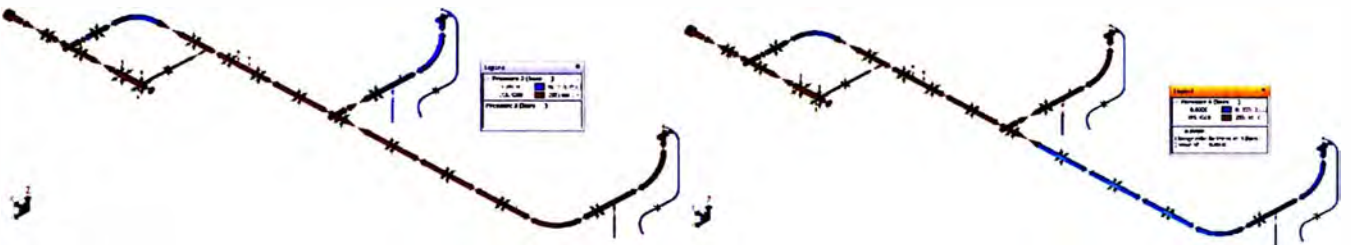


Figura N° 4.7. Descarga de PDP: Caso de operación B.

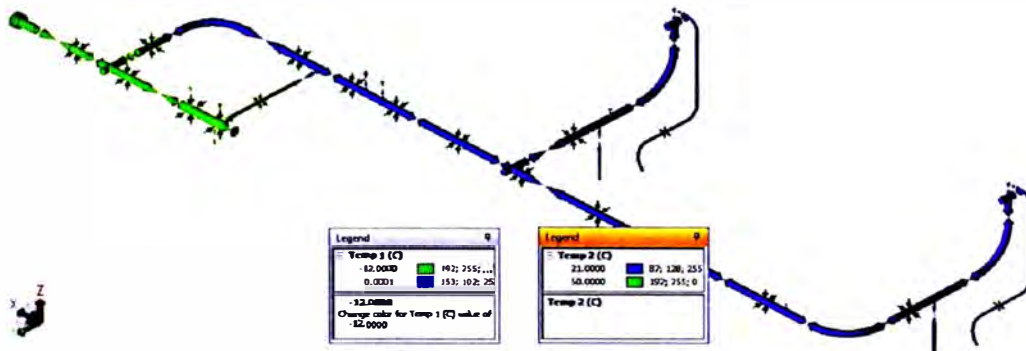


Figura N° 4.8. Descarga de PDP: Caso de operación C y D.

4.2.2 Casos de cargas para análisis

En base a los casos de análisis y las condiciones de operación se construyeron los casos de carga de interés para la modelación, los cuales se detalla en las siguientes tablas:

Tabla N° 4.1. Casos de cargas de líneas en succión de la PDP

Ítem	Combinación de carga	Tipo	Descripción
L1	WW+HP	HYD	Prueba hidrostática
L2	W+T1+P1	OPE	Operación normal (día frío), caso A.
L3	W+T2+P1	OPE	Operación normal (día cálido), caso A.
L4	W+T3+P2+F1+F3	OPE	Operación normal (día frío), caso B.
L5	W+T4+P2+F1+F3	OPE	Operación normal (día cálido), caso B.
L6	W+T5+P3	OPE	Operación normal (día frío), caso C.
L7	W+T6+P3	OPE	Operación normal (día cálido), caso C.
L8	W+T7+P4+F1+F2+F3	OPE	Operación normal (día frío), caso D.
L9	W+T8+P4+F1+F2+F3	OPE	Operación normal (día cálido), caso D.
L10	W+P1	SUS	Sostenido con presión de operación, caso A.
L11	W+P2+F1+F3	SUS	Sostenido con presión de operación, caso B.
L12	W+P3	SUS	Sostenido con presión de operación, caso C.
L13	W+P4+F1+F2+F3	SUS	Sostenido con presión de operación, caso D.
L14	W+T1+P1+U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L15	W+T1+P1+U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L16	W+T1+P1-U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L17	W+T1+P1-U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L18	W+T1+P1+U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L19	W+T1+P1+U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L20	W+T1+P1-U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L21	W+T1+P1-U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L22	W+T2+P1+U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L23	W+T2+P1+U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L24	W+T2+P1-U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L25	W+T2+P1-U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L26	W+T2+P1+U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L27	W+T2+P1+U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L28	W+T2+P1-U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L29	W+T2+P1-U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso A.
L30	W+T3+P2+F1+F3+U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L31	W+T3+P2+F1+F3+U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L32	W+T3+P2+F1+F3-U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L33	W+T3+P2+F1+F3-U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L34	W+T3+P2+F1+F3+U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L35	W+T3+P2+F1+F3+U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L36	W+T3+P2+F1+F3-U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L37	W+T3+P2+F1+F3-U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L38	W+T4+P2+F1+F3+U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L39	W+T4+P2+F1+F3+U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L40	W+T4+P2+F1+F3-U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L41	W+T4+P2+F1+F3-U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L42	W+T4+P2+F1+F3+U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L43	W+T4+P2+F1+F3+U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L44	W+T4+P2+F1+F3-U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L45	W+T4+P2+F1+F3-U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso B.
L46	W+T5+P3+U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.

Ítem	Combinación de carga	Tipo	Descripción
L47	W+T5+P3+U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L48	W+T5+P3-U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L49	W+T5+P3-U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L50	W+T5+P3+U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L51	W+T5+P3+U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L52	W+T5+P3-U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L53	W+T5+P3-U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L54	W+T6+P3+U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L55	W+T6+P3+U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L56	W+T6+P3-U1+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L57	W+T6+P3-U1-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L58	W+T6+P3+U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L59	W+T6+P3+U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L60	W+T6+P3-U2-U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L61	W+T6+P3-U2+U3	OPE	Operación + sismo, caso C.
L62	L14-L2	OCC	Sismo, caso A
L63	L15-L2	OCC	Sismo, caso A
L64	L16-L2	OCC	Sismo, caso A
L65	L17-L2	OCC	Sismo, caso A
L66	L18-L2	OCC	Sismo, caso A
L67	L19-L2	OCC	Sismo, caso A
L68	L20-L2	OCC	Sismo, caso A
L69	L21-L2	OCC	Sismo, caso A
L70	L22-L3	OCC	Sismo, caso A
L71	L23-L3	OCC	Sismo, caso A
L72	L24-L3	OCC	Sismo, caso A
L73	L25-L3	OCC	Sismo, caso A
L74	L26-L3	OCC	Sismo, caso A
L75	L27-L3	OCC	Sismo, caso A
L76	L28-L3	OCC	Sismo, caso A
L77	L29-L3	OCC	Sismo, caso A
L78	L30-L4	OCC	Sismo, caso B.
L79	L31-L4	OCC	Sismo, caso B.
L80	L32-L4	OCC	Sismo, caso B.
L81	L33-L4	OCC	Sismo, caso B.
L82	L34-L4	OCC	Sismo, caso B.
L83	L35-L4	OCC	Sismo, caso B.
L84	L36-L4	OCC	Sismo, caso B.
L85	L37-L4	OCC	Sismo, caso B.
L86	L38-L5	OCC	Sismo, caso B.
L87	L39-L5	OCC	Sismo, caso B.
L88	L40-L5	OCC	Sismo, caso B.
L89	L41-L5	OCC	Sismo, caso B.
L90	L42-L5	OCC	Sismo, caso B.
L91	L43-L5	OCC	Sismo, caso B.
L92	L44-L5	OCC	Sismo, caso B.
L93	L45-L5	OCC	Sismo, caso B.
L94	L46-L6	OCC	Sismo, caso C.

Ítem	Combinación de carga	Tipo	Descripción
L95	L47-L6	OCC	Sismo, caso C.
L96	L48-L6	OCC	Sismo, caso C.
L97	L49-L6	OCC	Sismo, caso C.
L98	L50-L6	OCC	Sismo, caso C.
L99	L51-L6	OCC	Sismo, caso C.
L100	L52-L6	OCC	Sismo, caso C.
L101	L53-L6	OCC	Sismo, caso C.
L102	L54-L7	OCC	Sismo, caso C.
L103	L55-L7	OCC	Sismo, caso C.
L104	L56-L7	OCC	Sismo, caso C.
L105	L57-L7	OCC	Sismo, caso C.
L106	L58-L7	OCC	Sismo, caso C.
L107	L59-L7	OCC	Sismo, caso C.
L108	L60-L7	OCC	Sismo, caso C.
L109	L61-L7	OCC	Sismo, caso C.
L110	L10+L62	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L111	L10+L63	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L112	L10+L64	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L113	L10+L65	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L114	L10+L66	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L115	L10+L67	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L116	L10+L68	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L117	L10+L69	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L118	L10+L70	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L119	L10+L71	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L120	L10+L72	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L121	L10+L73	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L122	L10+L74	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L123	L10+L75	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L124	L10+L76	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L125	L10+L77	OCC	Sostenido + sismo, caso A.
L126	L11+L78	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L127	L11+L79	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L128	L11+L80	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L129	L11+L81	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L130	L11+L82	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L131	L11+L83	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L132	L11+L84	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L133	L11+L85	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L134	L11+L86	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L135	L11+L87	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L136	L11+L88	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L137	L11+L89	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L138	L11+L90	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L139	L11+L91	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L140	L11+L92	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L141	L11+L93	OCC	Sostenido + sismo, caso B.
L142	L12+L94	OCC	Sostenido + sismo, caso C.

Ítem	Combinación de carga	Tipo	Descripción
L143	L12+L95	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L144	L12+L96	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L145	L12+L97	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L146	L12+L98	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L147	L12+L99	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L148	L12+L100	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L149	L12+L101	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L150	L12+L102	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L151	L12+L103	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L152	L12+L104	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L153	L12+L105	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L154	L12+L106	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L155	L12+L107	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L156	L12+L108	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L157	L12+L109	OCC	Sostenido + sismo, caso C.
L158	L2-L10	EXP	Expansión térmica T1, caso A.
L159	L3-L10	EXP	Expansión térmica T2, caso A.
L160	L4-L11	EXP	Expansión térmica T3, caso B.
L161	L5-L11	EXP	Expansión térmica T4, caso B.
L162	L6-L12	EXP	Expansión térmica T5, caso C.
L163	L7-L12	EXP	Expansión térmica T6, caso C.
L164	L8-L13	EXP	Expansión térmica T7, caso D.
L165	L9-L13	EXP	Expansión térmica T8, caso D.

Tabla N° 4.2. Casos de cargas en líneas de succión de la PDP (líneas vacías)

Ítem	Carga	Tipo	Descripción
L1	WW+HP	HYD	Prueba hidrostática
L2	WNC+T1	OPE	Operación tubería vacía a temperatura mínima (Caso E).
L3	WNC+T2	OPE	Operación tubería vacía a temperatura máxima (Caso F).
L4	WNC	SUS	Sostenido de tubería vacía, caso E y F.
L5	L3-L2	EXP	Expansión térmica, máximo rango

Tabla N° 4.3. Casos de cargas en la descarga de la PDP (líneas operando)

Ítem	Carga	Tipo	Descripción
L1	WW+HP	HYD	Prueba hidrostática
L2	W+T1+P1	OPE	Operación normal (día frío), caso A
L3	W+T2+P1	OPE	Operación normal (día cálido), caso A
L4	W+T3+P2	OPE	Operación normal (día frío), caso A
L5	W+T4+P2	OPE	Operación normal (día cálido), caso A
L6	W+T5+P3	OPE	Operación normal (día frío), caso B

Ítem	Carga	Tipo	Descripción
L7	W+T6+P3	OPE	Operación normal (día cálido), caso B
L8	W+T7+P4	OPE	Operación normal (día frío), caso B
L9	W+T8+P4	OPE	Operación normal (día cálido), caso B
L10	W+P1	SUS	Sostenido con presión de operación, caso A
L11	W+P2	SUS	Sostenido con presión de operación, caso A
L12	W+P3	SUS	Sostenido con presión de operación, caso B
L13	W+P4	SUS	Sostenido con presión de operación, caso B
L14	W+T1+P1+U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L15	W+T1+P1+U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L16	W+T1+P1-U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L17	W+T1+P1-U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L18	W+T1+P1+U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L19	W+T1+P1+U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L20	W+T1+P1-U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L21	W+T1+P1-U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L22	W+T2+P1+U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L23	W+T2+P1+U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L24	W+T2+P1-U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L25	W+T2+P1-U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L26	W+T2+P1+U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L27	W+T2+P1+U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L28	W+T2+P1-U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L29	W+T2+P1-U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L30	W+T3+P2+U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L31	W+T3+P2+U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L32	W+T3+P2-U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L33	W+T3+P2-U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L34	W+T3+P2+U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L35	W+T3+P2+U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L36	W+T3+P2-U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L37	W+T3+P2-U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día frío), caso A
L38	W+T4+P2+U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L39	W+T4+P2+U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L40	W+T4+P2-U1+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L41	W+T4+P2-U1-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L42	W+T4+P2+U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L43	W+T4+P2+U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L44	W+T4+P2-U2+U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L45	W+T4+P2-U2-U3	OPE	Operación normal + sismo (día cálido), caso A
L46	L14-L2	OCC	Sismo, caso A
L47	L15-L2	OCC	Sismo, caso A
L48	L16-L2	OCC	Sismo, caso A
L49	L17-L2	OCC	Sismo, caso A
L50	L18-L2	OCC	Sismo, caso A
L51	L19-L2	OCC	Sismo, caso A
L52	L20-L2	OCC	Sismo, caso A
L53	L21-L2	OCC	Sismo, caso A
L54	L22-L3	OCC	Sismo, caso A

Ítem	Carga	Tipo	Descripción
L55	L23-L3	OCC	Sismo, caso A
L56	L24-L3	OCC	Sismo, caso A
L57	L25-L3	OCC	Sismo, caso A
L58	L26-L3	OCC	Sismo, caso A
L59	L27-L3	OCC	Sismo, caso A
L60	L28-L3	OCC	Sismo, caso A
L61	L29-L3	OCC	Sismo, caso A
L62	L30-L4	OCC	Sismo, caso A
L63	L31-L4	OCC	Sismo, caso A
L64	L32-L4	OCC	Sismo, caso A
L65	L33-L4	OCC	Sismo, caso A
L66	L34-L4	OCC	Sismo, caso A
L67	L35-L4	OCC	Sismo, caso A
L68	L36-L4	OCC	Sismo, caso A
L69	L37-L4	OCC	Sismo, caso A
L70	L38-L5	OCC	Sismo, caso A
L71	L39-L5	OCC	Sismo, caso A
L72	L40-L5	OCC	Sismo, caso A
L73	L41-L5	OCC	Sismo, caso A
L74	L42-L5	OCC	Sismo, caso A
L75	L43-L5	OCC	Sismo, caso A
L76	L44-L5	OCC	Sismo, caso A
L77	L45-L5	OCC	Sismo, caso A
L78	L10+L46	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L79	L10+L47	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L80	L10+L48	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L81	L10+L49	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L82	L10+L50	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L83	L10+L51	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L84	L10+L52	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L85	L10+L53	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L86	L10+L54	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L87	L10+L55	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L88	L10+L56	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L89	L10+L57	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L90	L10+L58	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L91	L10+L59	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L92	L10+L60	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L93	L10+L61	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L94	L11+L62	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L95	L11+L63	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L96	L11+L64	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L97	L11+L65	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L98	L11+L66	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L99	L11+L67	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L100	L11+L68	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L101	L11+L69	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L102	L11+L70	OCC	Sostenido + sismo, caso A

Ítem	Carga	Tipo	Descripción
L103	L11+L71	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L104	L11+L72	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L105	L11+L73	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L106	L11+L74	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L107	L11+L75	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L108	L11+L76	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L109	L11+L77	OCC	Sostenido + sismo, caso A
L110	L2-L10	EXP	Expansión térmica T1, caso A
L111	L3-L10	EXP	Expansión térmica T2, caso A
L112	L4-L11	EXP	Expansión térmica T3, caso A
L113	L5-L11	EXP	Expansión térmica T4, caso A
L114	L6-L12	EXP	Expansión térmica T5, caso B
L115	L7-L12	EXP	Expansión térmica T6, caso B
L116	L8-L13	EXP	Expansión térmica T7, caso B
L117	L9-L13	EXP	Expansión térmica T8, caso B

Tabla N° 4.4. Casos de cargas en la descarga de la PDP (líneas vacías)

Ítem	Carga	Tipo	Descripción
L1	WW+HP	HYD	Prueba hidrostática
L2	WNC+T1	OPE	Operación tubería vacía a temperatura mínima (Caso C)
L3	WNC+T2	OPE	Operación tubería vacía a temperatura máxima (Caso D)
L4	WNC	SUS	Sostenido de tubería vacía, caso C y D
L5	L3-L2	EXP	Expansión térmica, máximo rango

Donde:

P1 : Presiones de operación de líneas.

T1 : Temperaturas para operación normal (día frío).

T2 : Temperaturas para operación normal (día cálido).

T3 : Temperatura mínima

T4 : Temperatura máxima

F1 : Fuerza de desbalance en los anillos cerámicos de 8" en zona de

loops. Ver Figura N° 4.9.

F2 : Fuerza de desbalance en los anillos cerámicos de 4" en líneas con disco de ruptura. Ver Figura N° 4.9.

F3 : Fuerza de desbalance en choques cerámicos, línea 8"-0362-CT-01568-L1T0IJ. Ver Figura N° 4.9.

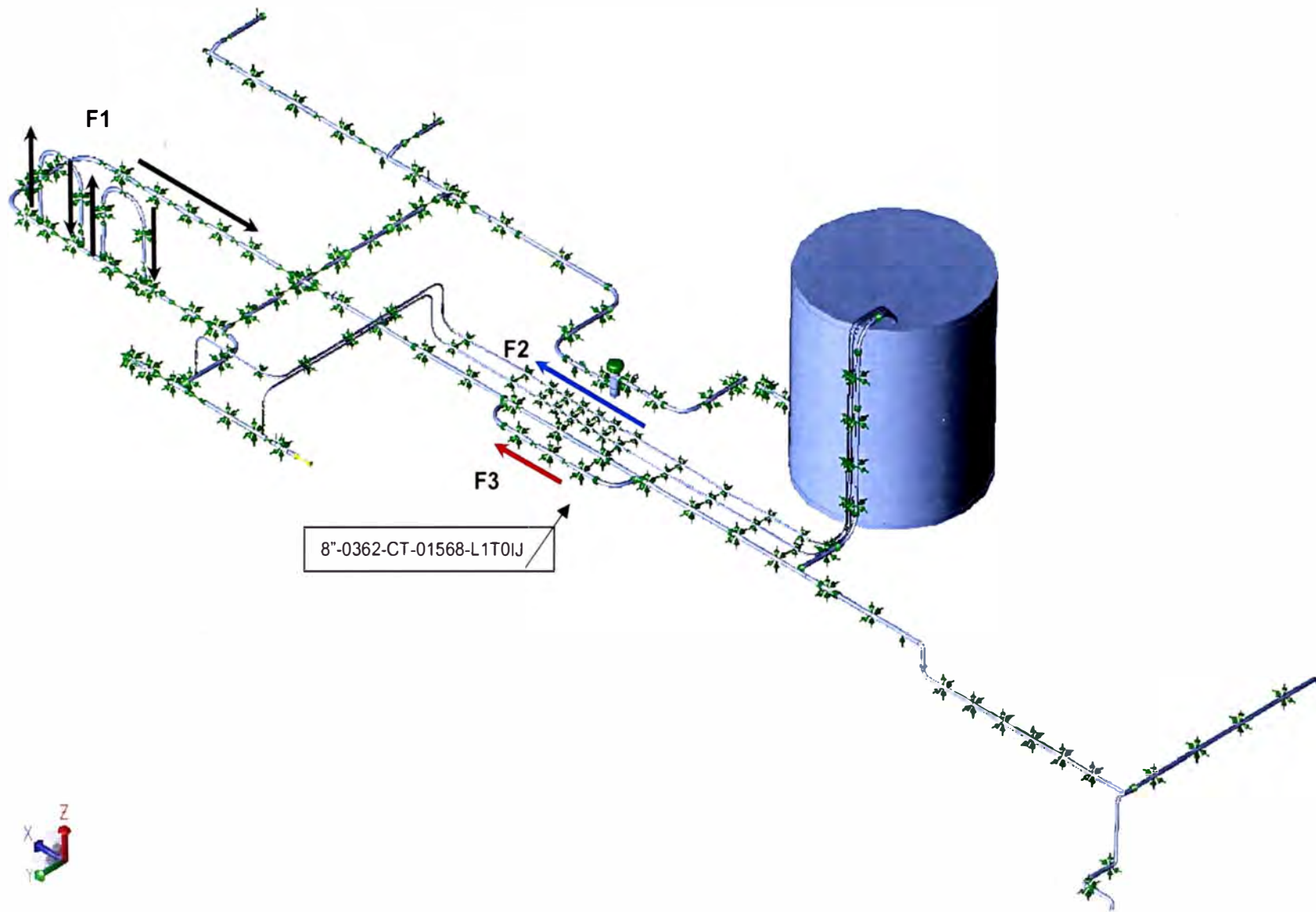


Figura N° 4.9. Localización de fuerzas de desbalance y constantes.

4.3 Resultados

El resumen de los esfuerzos generados y su comparación con los valores admisibles del código ASME B31.11 se reportan en el Anexo 2.

Las cargas y momentos en las líneas se reportan en el Anexo 3.

4.3.1 Esfuerzos

Los esfuerzos resultantes del cálculo, en los diferentes casos y cargas estudiadas, son comparados con los esfuerzos admisibles según el código ASME B31.11, y se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.5. Esfuerzos calculados vs. Esfuerzos admisibles.

Caso de carga N°	Esfuerzo máximo calculado (kPa)	Esfuerzo máximo permisible (kPa)	Porcentaje (%)	ASME B31.11
Líneas en la succión de la PDP:				
(EXP) L106=L5-L4, Caso 106, Nodo 1870	192 975,7	257 765,9	74,9	Cumple
Líneas de descarga de la PDP:				
(EXP) L53=L3-L2, Caso 53, Nodo 1240	181 911,9	258 145,3	70,5	Cumple

4.3.2 Cargas en bridas de bombas centrifugas

4.3.2.1 Bridas de succión y descarga

Tabla N° 4.6. Cargas en brida de succión y descarga de bomba centrifuga.

Tag	Carga	Lado	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
0362-PPS-0100	Admisible	Succión	-4890	-3780	3110	-3530	-1760	2580
		Descarga	-3110	-2940	2050	2300	-1180	1760
	Calculada	Succión	1735	-247	796	0	330	94
		Descarga	-1011	144	-1330	-590	0	561
	Factor de uso	Succión	35%	7%	25%	0%	19%	4%
		Descarga	33%	5%	65%	26%	0%	32%

Las cargas admisibles indicadas en la Tabla N° 20, corresponden a las indicadas en la norma API 610.

En todos los casos las cargas sobre las bridas de la bomba son menores a las permisibles. La brida de descarga es exigida en un 65% por una fuerza vertical hacia abajo (-Z); y en el lado de succión, la brida esta exigida al 35% por una fuerza lateral positiva (+X).

4.4 Cargas en bridas de bombas de desplazamiento positivo

4.4.1 Bridas de succión y descarga

Tabla N° 4.7. Cargas en brida de succión y descarga de la PDP

Tag	Carga	Lado	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
--	Admisible	Succión	10000	27000	10000	15000	15000	15000
		Descarga	10000	27000	10000	15000	15000	15000
0362-PPP-0003	Calculada	Succión	5512	-21386	-13373	-9151	-497	-6223
		Descarga	3986	-6969	-11928	-9613	-5085	-1811
0362-PPP-0004	Calculada	Succión	4880	-5432	-5261	-3738	-322	-9055
		Descarga	-2452	-9104	-13733	-12345	-1836	949

4.5 Cargas en anclajes

Para los soportes y anclajes se tiene las siguientes cargas:

Tabla N° 4.8. Cargas en anclajes

Nodo	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
10 ⁽¹⁾	-54712	-2650	-9028	-2553	3872	-1701
2060 ⁽²⁾	29012	2520	-7041	968	-2750	-1132

1 Nodo correspondiente al anclaje a la entrada de la estación.

2 Nodo correspondiente al anclaje a la salida de la estación.

Cargas en acoplamiento flexibles

Tabla N° 4.9. Cargas en acoples

Nodo	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)
16000	-867	0	-664	-0,01	-3,72	-0,01
16540	-1631	350	-1268	-0,15	0,00	0,00
16620	0	400	1346	-1,23	0,02	-0,07

4.7 Verificación de resonancia

Para la verificación de que el sistema no posee vibraciones resonantes, se consideró:

Rango de frecuencia de excitación: 5 -----> 57 SPM

Numero de pistones: 3

Obteniendo como parámetro referencial: 0.25 -----> 2,95 Hz.

Considerando la morfología inicial del sistema obtenemos las siguientes frecuencias naturales:

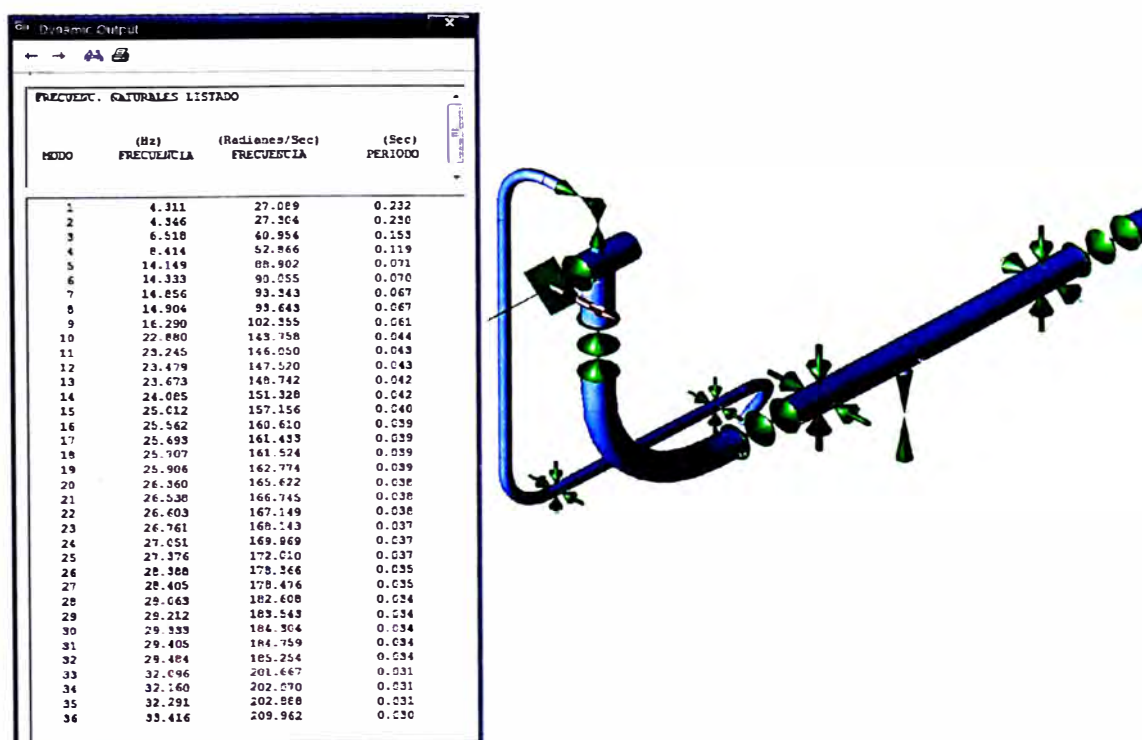


Figura N° 4.10. Frecuencias naturales iniciales.

Teniendo en cuenta que para equipos mecánicos la frecuencia del sistema debe estar 50% por encima o debajo de la frecuencia de excitación, tendríamos un problema, por ello verificando donde es que dicha frecuencia predomina, se nota que las descargas de las válvulas de alivio debe haber una eliminación de grado de libertad, por ello se mueve un soporte guía en la vertical, tal como lo muestra la siguiente imagen.

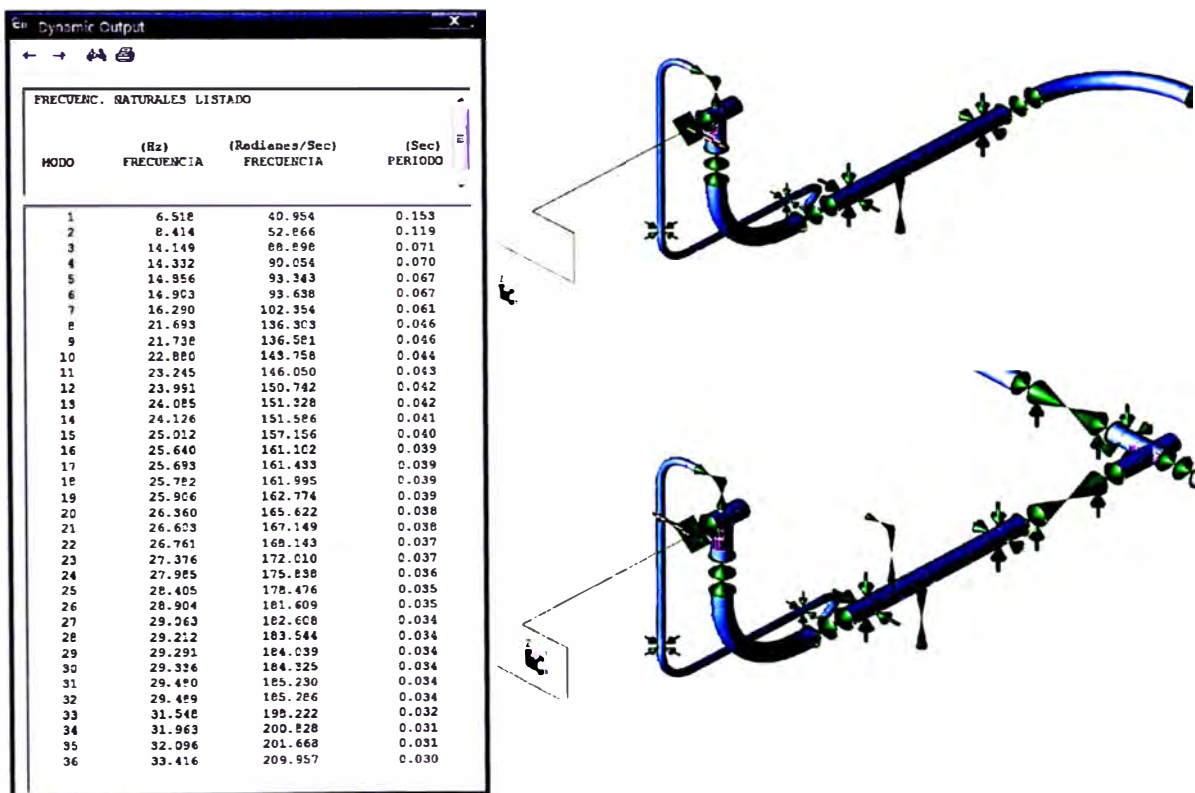


Figura N° 4.11. Frecuencias naturales finales.

4.8 Tipos de soportes

En el lado de líneas en la succión de la PDP se tienen 136 soportes para líneas de concentrado y 32 soportes para de líneas de agua vinculadas directamente a las líneas de concentrado. Los tipos se detallan en la Tabla N° 24.

Las cargas para estos soportes están detalladas en el Anexo 4

Tabla N° 4.10. Tipo de soportes para líneas antes de la PDP

Tipo de soporte	Nodo	Cantidad	Descripción
ANC	10	1	Anclaje, restricción total en los 6 grados de libertad
GUIA(0)	-	91	Guía y restricción vertical (positiva y negativa) sin gaps
GUIA(10)	3330 6620	2	Guía con gap 10mm y restricción vertical (positiva y negativa)
GUIA(12)	1620	1	Guía con gap 12mm y restricción vertical (positiva y negativa)
GUIA(3)	530 745 820 890 1040 1060 1840 1900 2240 2290 4585 5350 5360 6330 6560 7370 15880 15960 15980	19	Guía con gap 3mm y restricción vertical (positiva y negativa)
GUIA(5)	330 980 1630 4530 4545	5	Guía con gap 5mm y restricción vertical (positiva y negativa)
GUIA(6)	855 865	2	Guía con gap 6mm y restricción vertical (positiva y negativa)
LIM(12)	1560	1	Guía con 3mm de gap, restricción vertical (positiva y negativa) y axial con 12mm de gap
VICTAULIC	16000 16540 16620	3	Acople flexible Victaulic
Z	7710	1	Restricción vertical positiva y negativa sin gaps
+Z	4605 4720 5280 14030	4	Restricción vertical positiva sin gap
Soportes de líneas de agua vinculadas a líneas de concentrado			
GUIA(0)		28	Guía y restricción vertical (positiva y negativa) sin gaps
GUIA(5)	18160	1	Guía con gap 5mm y restricción vertical (positiva y negativa)
+Z, GUIA(0)	22590	2	Guía sin gap y restricción vertical (positiva)
+Z, GUIA(3)	22570	1	Guía con gap 3mm y restricción vertical (positiva)
+Z	5950	1	Restricción vertical positiva sin gap

Tabla N° 4.11. Tipo de soportes para líneas a la descarga de la PDP

Tipo de soporte	Nodo	Cantidad	Descripción
GUIA (0)	-	17	Guía y restricción vertical (positiva y negativa) sin gaps
GUIA (3)	1230 1260	2	Guía con gap 3mm y restricción vertical (positiva y negativa)
ANC	2060	1	Anclaje, restricción total en los 6 grados de libertad

Para identificar la posición de estos soportes, anclajes y los acoples, ver

Anexo 1.

CAPÍTULO V COSTOS

El objetivo de este capítulo, es básicamente dar a conocer el costo aproximado del estudio de flexibilidad para la estación de bombeo estudiada en los capítulos anteriores.

Desde el principio de este documento se hablo de la importancia del estudio de la flexibilidad de un sistema de tuberías para asegurara la integridad de los mismo y que probablemente alguna falla de un importante línea matriz, equipo principal, el ataque progresivo fuerzas periódicas, fuerzas ocasionadas por fenómenos naturales, o fuerzas térmicas pueden detener el sistema productivo y representar grandes pérdidas económicas por paradas. Es por ello que es importante efectuar un análisis de flexibilidad de los sistemas de tuberías importantes. En tal sentido, este estudio implica una inversión en su ejecución, el cual involucra costos de personal especializado, software, instalaciones y gastos administrativos.

Teniendo presente el costo de las distintas partes del sistema, cuya adquisición, montaje y mantenimiento involucra mucha inversión:

- Bomba de desplazamiento positivo (2 unidades),
- Bomba centrífuga para pulpas (1 unidad),
- Spools o carretes bridados con revestimiento interno de poliuretano,

- Soportes primarios (sea este de concreto o metálico),
- Soportes secundarios (generalmente metálico),
- Válvulas de bola y de cuchilla.

Es evidente que el diseño de una estación de esta magnitud de inversión y sobre todo de producción (concentrado de cobre) amerita un estudio de flexibilidad para cumplir con los rangos seguros que el código ASME B31.11 aplicable para este caso exige.

Para un estudio de ingeniería de este tipo, representa horas hombre del personal involucrado. Estos costos están en función del grado de complejidad del sistema en estudio, de su nivel de variación durante el desarrollo de la ingeniería hasta su morfología final, el tiempo de uso del software especializado y revisiones técnicas de especialistas.

La Figura N° 5.1 muestra un resumen del costo estimado para el análisis de flexibilidad para la instalación estudiada en este documento. Los detalles de los costos están en el Anexo 7.

PRESUPUESTO ESTIMADO PARA ESTUDIO DE INGENIERIA

Análisis de Flexibilidad para estación de bombeo 2 (PS2)

PRESUPUESTO NOVIEMBRE 2012	COSTO LABOR	GASTOS REEMBOLSABLES	Otros	ASC 6.5%	EM 6.5%	TOTAL USD
PROJECT ADMINISTRATION						
Gerencia del Proyecto	1,620			105		1,725
Administración de Contratos	540			35		575
Control de Proyecto	630			41		671
Control de Documentos	360			23		383
Administración del Proyecto	270			18		288
Visita a Campo	1,260			82		1,342
INGENIERIA	23,700			1,541		25,241
SOFTWARE			2,000		130	2,130
GASTOS REEMBOLSABLES		820			53	873
TOTALES	\$ 28,380	\$ 820	\$ 2,000	\$ 1,845	\$ 183	\$ 33,228

PRESUPUESTO DE HORAS HOMBRE	HORAS HOMBRE TOTAL	RESUMEN DE ACTIVIDADES Y/O ENTREGABLES
PROJECT ADMINISTRATION		
Gerencia del Proyecto	18	
Administración de Contratos	9	
Control de Proyecto	9	
Control de Documentos	9	
Administración del Proyecto	9	
Visita a Campo	18	
INGENIERIA	356	11
TOTAL	428	11

NOTAS																															
1) Los precios están en dólares americanos 2) Los precios no incluyen IGV 3) Validez de la oferta 30 días																															
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Nombre:</td> <td colspan="2">Análisis de Flexibilidad</td> </tr> <tr> <td>Cliente:</td> <td colspan="2">Concentrate Pipeline</td> </tr> <tr> <td>Servicios:</td> <td colspan="2">Ingeniería</td> </tr> <tr> <td>Rev. No.:</td> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rev. Fecha:</td> <td>10-nov-11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trazador:</td> <td>PM</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Revisado:</td> <td>PM1, PM2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aprobado:</td> <td>PM1</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Número de Estimación</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Presupuesto-001</td> </tr> </table>	Nombre:	Análisis de Flexibilidad		Cliente:	Concentrate Pipeline		Servicios:	Ingeniería		Rev. No.:	C		Rev. Fecha:	10-nov-11		Trazador:	PM		Revisado:	PM1, PM2		Aprobado:	PM1		Número de Estimación			Presupuesto-001		
Nombre:	Análisis de Flexibilidad																														
Cliente:	Concentrate Pipeline																														
Servicios:	Ingeniería																														
Rev. No.:	C																														
Rev. Fecha:	10-nov-11																														
Trazador:	PM																														
Revisado:	PM1, PM2																														
Aprobado:	PM1																														
Número de Estimación																															
Presupuesto-001																															

Item	Valor
Todas las tarifas y cargos son válidos hasta	31 de Diciembre de 2011
En lo sucesivo, todas las tarifas y cargos estarán sujetos a revisión	Semestral
Los impuestos nacionales e internacionales incluidos en todas las tarifas y cargos	No Incluidos
Cargos por apoyo administrativo (ASC)	6.5% del costo del trabajo
Margen de gastos (EM) – aplicable a los desembolsos de Proyectos	6.50%
Margen de gastos para sub-consultores	6.50%

Figura N° 5.1. Estimado de costo para un estudio de flexibilidad.

CONCLUSIONES

Los esfuerzos en el sistema cumplen con el código ASME B31.11. No existen sobreesfuerzos en las líneas de la estación de bombeo. El mayor esfuerzo registrado está en el nodo 1870 en un 74.9 % del esfuerzo permisible de acuerdo al código.

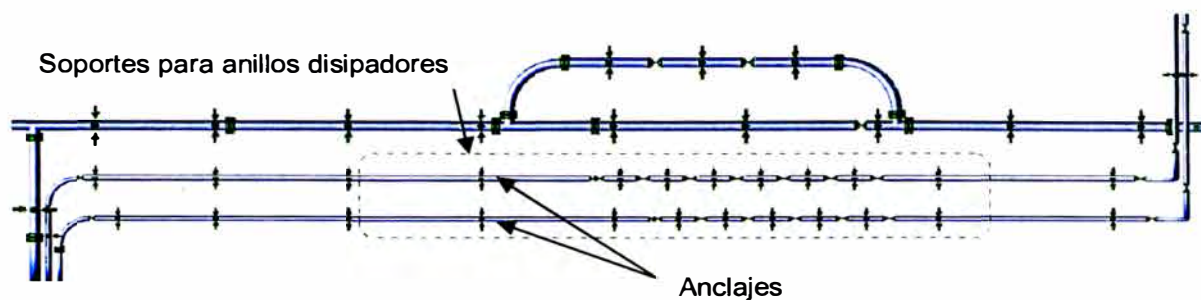
Las cargas sobre las bridas de la bomba 0362-PPS-0100, han sido analizadas bajo la norma API 610 y cumplen satisfactoriamente las condiciones exigidas. Ver Tabla N° 20.

No se cuenta con los valores de carga admisible para las bombas de desplazamiento positivo. La verificación de estas bridas se efectuará una vez que el Proveedor de la bomba proporcione estas cargas admisibles.

Se han considerado acoples Victaulic los que absorberán los desplazamientos axiales originados por las diversas cargas de operación, tanto en la succión y descarga de la bomba de carga 0362-PPS-0100. La holgura para cada uno de estas juntas es de 3.2 mm (1/8") en la dirección axial.

Se hace uso de un acople Victaulic para reducir las cargas en la boquilla del tanque agitador, de tal forma que las cargas en ésta cumplan la norma API 650.

En las líneas con anillos disipadores de presión se producen fuerzas de desbalance, por ello se requerirá de anclajes en cada una de ellas. Las cargas de diseño de estos están definidas en el Anexo 4.



La carga final del anclaje a la salida de la estación de bombeo PS2 se obtendrá al simularse el tramo enterrado (Nodo 8030 de las líneas de descarga de la PDP).

Todas las características de los distintos tipos de soportes y holguras necesarias están indicadas en las Tablas N° 24 y 25. La ubicación de estos se detalla en el Anexo 1.

Las cargas mostradas en el nodo 17810 (Anexos 3 y 4), correspondiente a la base del tanque agitador, es solo referencial, dado que no considera las cargas ocasionadas por la estructura, el agitador, cargas dinámicas del fluido, etc.

BIBLIOGRAFIA

1. **Sam Kannapa, P.E.** *Introduction to pipe stress analysis*. Knoxville : Wiley Interscience-Jhon Wiley and sons, 1985.
2. **Liang-Chuan (L.C.) Peng; Tsen-Loong (Alvin) Peng.** *Pipe Stress Engineering*. Houston, Texas, USA : ASME Press.
3. *COADE Pipe Stress Analysis Seminar Notes*. **COADE, Engineering Physics Corporation**. Houston, Texas-USA : s.n., 1993.
4. **Gere, James M.** *Mecánica de Materiales*. Sexta. s.l. : Thomson.
5. **Paul R. Smith, P.E., Thomas J. Van Laan, P.E.** *Piping and Pipe Support System-Design an engineering*. s.l. : McGraw-Hill Book Company, 1987. pág. 333. ISBN 0-07-058931-3.
6. **ASME B31.11.** *Slurry Transportation Piping System*. 2002-revision of ASME B31.11-1989. New York : ASME, 2003. pág. 70.
7. *Antamina's Copper and Zinc Concentrate Pipeline Incorporates Advanced Technologies*. **Ron H. Derammelaere, Dr. George Shou - PSI, USA**.
8. **Diehl, David.** *Harmonic Analysis in CAESAR II*. Intergraph, 30 enero 2012.
9. **Diehl, David.** *CAESAR II: Calculating Modes of Vibration*. Intergraph, 26 mayo 2011.

PLANOS

EQUIPMENT SYMBOLS

SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION
	CENTRIFUGAL PUMP		VERTICAL SUMP PUMP		OPEN TANK WITH OVERFLOW		FLOOR SUMP		PLANT AIR VESSEL
	MAINLINE POSITIVE DISPLACEMENT SLURRY PUMP		VERTICAL TURBINE PUMP (WET PIT TYPE)		CONE ROOF TANK		ROTATING SCREEN		ELECTRIC FIXED SPEED MOTOR
	POSITIVE DISPLACEMENT SEAL WATER PUMP		SUBMERSIBLE PUMP		SPLITTER BOX OR CONCENTRATE DISTRIBUTOR WITH OVERFLOW		COOLING WATER TOWER/PUMPS		ADJUSTABLE FREQUENCY DRIVE
	AIR COMPRESSOR W/INLET AIR FILTER AND SILENCER		AXIAL FAN		SLURRY TANK WITH AGITATOR		EMERGENCY SHOWER AND EYEWASH STATION		AIR OR HYDRAULIC CYLINDER
	METERING OR PROPORTIONING PUMP		DRYER		POND		DISTRIBUTOR		X-RAY ANALYZER
			SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS						EMERGENCY GENERATOR
									JOB CRANE
									BRIDGE CRANE W/AUX. HOOK
									HOIST & TROLLEY
									GANTRY CRANE
									BELT CONVEYOR
									TRUCK CRANE

PIPING SYMBOLS

SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION	SYMBOLS	DESCRIPTION
	SOURCE EQUIPMENT OR PROCESS		EXISTING FACILITIES		HOSE CONNECTION		MANUAL SHIPPING POINT		CHECK VALVE
	CONNECTOR N		ALTERNATE PIPELINE FLOW		CAP (THREADED)		OPEN DRAIN		GATE VALVE
	SOURCE DWG		EQUIPMENT PACKAGE: ALL PIPING, VALVES, INSTRUMENTS, ETC. WITHIN THIS PACKAGE SUPPLIED BY VENDOR OR FURNISHED OR ASSOCIATED EQUIPMENT		CAP (WELDED)		MOISTURE TRAP		GATE VALVE (NORMALLY CLOSED)
	DESTINY EQUIPMENT OR PROCESS		INDICATES ITEM FURNISHED WITH ASSOCIATED EQUIPMENT (OUTSIDE OF EQUIPMENT PACKAGE BOUNDARY)		PLUG		INLET AIR FILTER		GLOBE VALVE
	DESTINY DWG		CONCENTRIC REDUCER		BLIND FLANGE		DIRECT CONNECTION PROCESS BLOCK VALVE		GLOBE VALVE (NORMALLY CLOSED)
	CONNECTOR N		ECCENTRIC REDUCER		VICTAULIC COUPLING		RUBBER HOSE (PROCESS PIPING)		BALL VALVE
	REFERENCE P&ID OR DRAWING		ECCENTRIC REDUCER (FOR SLURRY)		DRESSER COUPLING		RUBBER HOSE (NON-PROCESS PIPING)		BALL VALVE (NORMALLY CLOSED)
	MAIN FLOW (ARROW INDICATES FLOW DIRECTION-TYPICAL)		ISOLATION FLANGE		BLIND SPACER (OPEN)		RUPTURE DISK		PLUG VALVE
	SECONDARY OR INTERMITTENT FLOW		VACUUM BREAKER		BLIND SPACER (CLOSED)		RUPTURE DISK (VACUUM)		PLUG VALVE (NORMALLY CLOSED)
	EXISTING PIPE		BASKET STRAINER		SPECTACLE BLIND (NORMALLY OPEN)		AIR SUPPLY		BUTTERFLY VALVE
	FUTURE PIPE		Y-TYPE STRAINER		EXPANSION JOINT		PG BARS		BUTTERFLY VALVE (NORMALLY CLOSED)
	JACKETED PIPE		SLURRY BASKET STRAINER		DIAPHRAGM SEAL		ATMOSPHERIC VENT		KNIFE GATE, SLIDE GATE OR BLAST GATE
	INSULATED PIPE		TEMPORARY STRAINER				PULSATION DAMPENER (SURGE ARRESTOR)		KNIFE GATE, SLIDE GATE OR BLAST GATE (NORMALLY CLOSED)
	INSULATED PIPE, ELECTRIC TRACED								DIAPHRAGM VALVE
	AUSENCO-SUPPLIER INTERFACE								DIAPHRAGM VALVE (NORMALLY CLOSED)
	ABOVEGROUND/UNDERGROUND TRANSITION								VEE BALL OR CAM VALVE
	CHANGE OF SPECIFICATION OR PIPING CLASS								VEE BALL OR CAM VALVE (NORMALLY CLOSED)
	CHANGE OF SYSTEM								NEEDLE VALVE
	SLOPE DOWNWARD								NEEDLE VALVE (NORMALLY CLOSED)
	TI-E-IN FOR FACILITY								LEVEL CONTROL VALVE
									PINCH VALVE
									PINCH VALVE (NORMALLY CLOSED)
									ANGLE VALVE
									ANGLE VALVE (NORMALLY CLOSED)
									THREE WAY VALVE (F-FAILED POSITION)
									FOUR WAY VALVE (F-FAILED POSITION)
									FLANGED END CONNECTION
									THREADED END CONNECTION
									LO- LOCKED OPEN
									LC- LOCKED CLOSED
									NO- NORMALLY OPEN
									NC- NORMALLY CLOSED
									FO- FAIL OPEN
									FC- FAIL CLOSED
									FL- FAIL LAST
									HP- HIGH PRESSURE END
									BD- BIDIRECTIONAL
									QUICK OPENING FLANGE
									BACKFLOW PREVENTER WITH DRAIN
									START-UP STRAINER (TEMPORARY)
									VARIABLE ORIFICE VALVE
									VARIABLE ORIFICE VALVE (NORMALLY CLOSED)

REV. N°	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRA.	REV.	SUP/REV.	E. MAN.	P. MAN.
14/10/11		ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED					
06/07/11		ISSUED FOR CONSTRUCTION	J.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.
14/06/11		RE-ISSUED FOR CLIENT APPROVAL	J.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.
15/04/11		ISSUED FOR CLIENT APPROVAL	J.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.
14/04/11		RE-ISSUED FOR INTERNAL REVIEW (REPLACE DRAW N° DWG-PI-015)	R.M.G.	C.H.	P.M.	P.M.	P.M.
22/12/10		ISSUED FOR INTERNAL REVIEW	E.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.

DRAWING N°	REFERENCE DRAWINGS

NOTES:

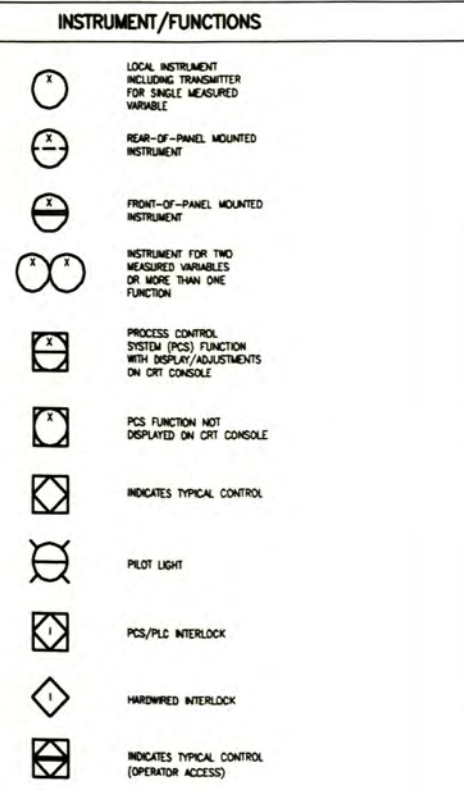
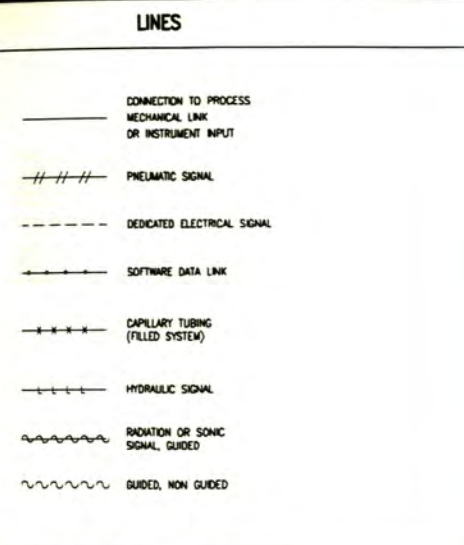
SIGN.	NAME	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE
		14/10/11	14/10/11	14/10/11	14/10/11	14/10/11	14/10/11
		DRAWN	REVIEWED	SUP. / REV.	ENG. MANAGER	PROJECT MANAGER	APPROVED
							APPROVED
							CLIENT
		SCALE	NONE	FORMAT	A1		

**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING
PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM
EQUIPMENT AND PIPING
SYMBOLS**

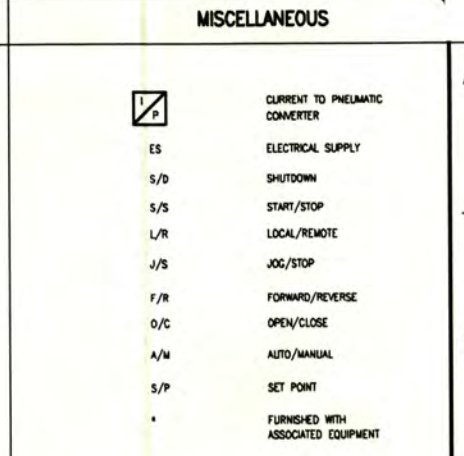
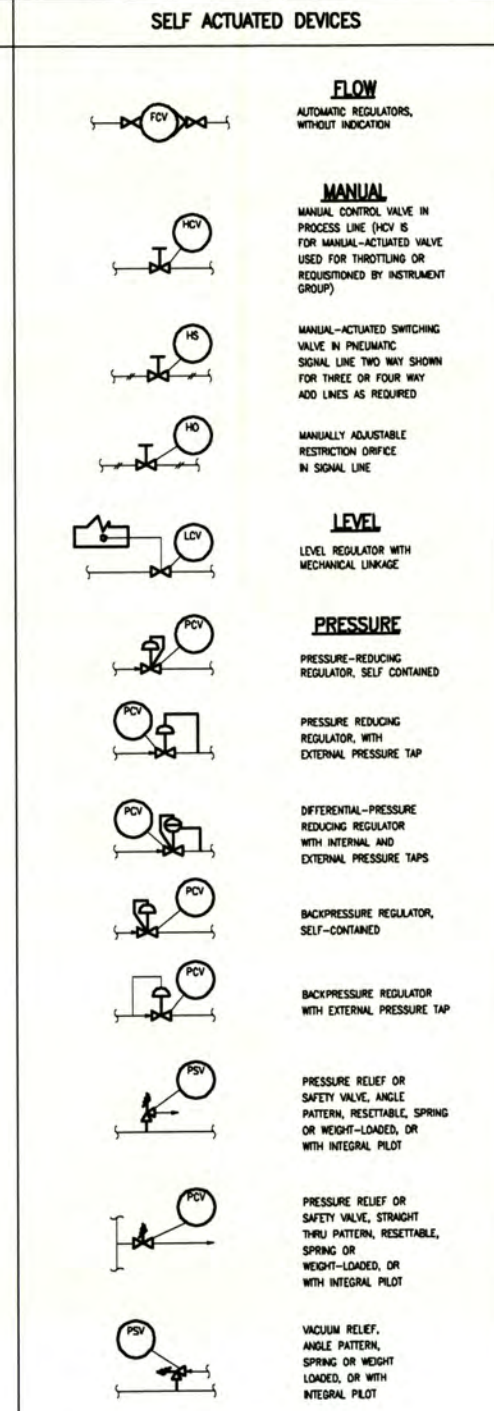
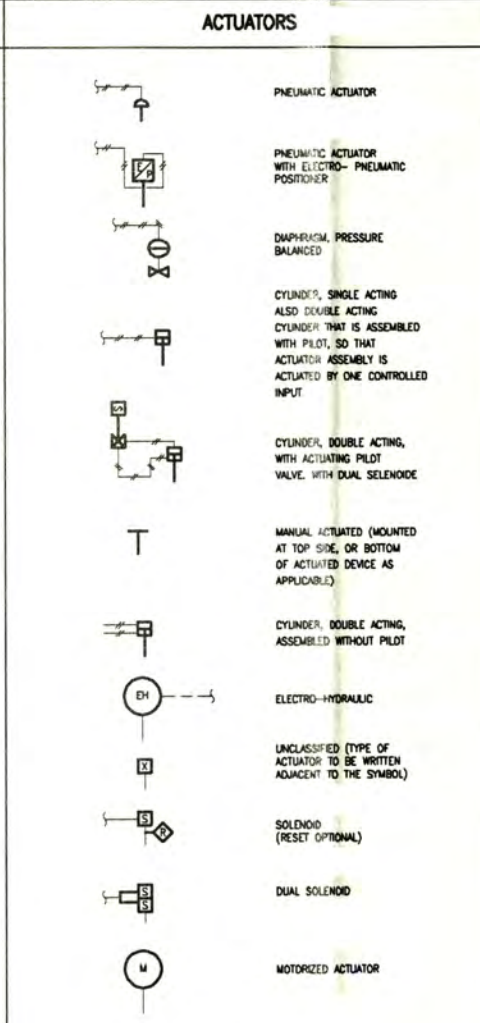
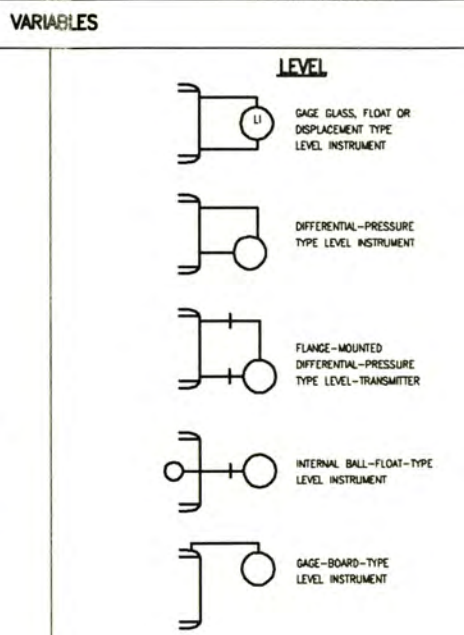
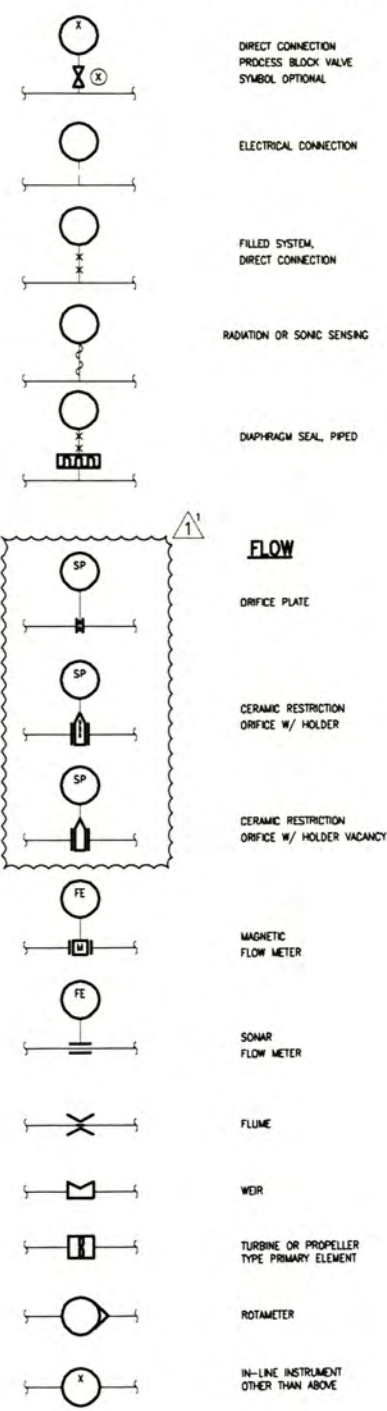
CONTRACT N°: _____ WORK PACKAGE: _____

JOB NUMBER: _____ DRAWING N°: DWG-PI-002 REV. 4

CLIENT N°: _____



TYPICAL CONNECTION - ANY VARIABLE



REV. N°	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRA.	REV.	SUP/REV.	E. MAN.	P. MAN.
1	14/10/11	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED					
2	06/07/11	ISSUED FOR CONSTRUCTION	J.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.
3	14/06/11	RE-ISSUED FOR CLIENT APPROVAL	J.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.
4	15/04/11	ISSUED FOR CLIENT APPROVAL	J.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.
5	14/04/11	RE-ISSUED FOR INTERNAL REVIEW (REPLACE DRAW N° DWG-PH015)	E.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.
6	22/12/10	ISSUED FOR INTERNAL REVIEW	E.C.	C.G.	C.H.	P.M.	P.M.

DRAWING N°	REFERENCE DRAWINGS

NOTES:

--	--	--	--	--	--	--	--

SIGN.	NAME	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE
		14/10/11	14/10/11	14/10/11	14/10/11	14/10/11	14/10/11
		DRAWN	REVIEWED	SUP. / REV.	ENG. MANAGER	PROJECT MANAGER	APPROVED
							CLIENT

SCALE: NONE FORMAT: A1

**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING
PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM
EQUIPMENT AND PIPING
SYMBOLS**

CONTRACT N°: WORK PACKAGE:

JOB NUMBER: DRAWING N°: DWG-PI-002 REV

CLIENT N°:

0362-ZMW-0014
EMERGENCY SHOWER AND EYEWASH STATION

0362-TKF-0054
STORAGE TANK
DIA: 10 m / H: 11 m (NOTE 5)
LINE STORAGE: 668 m³

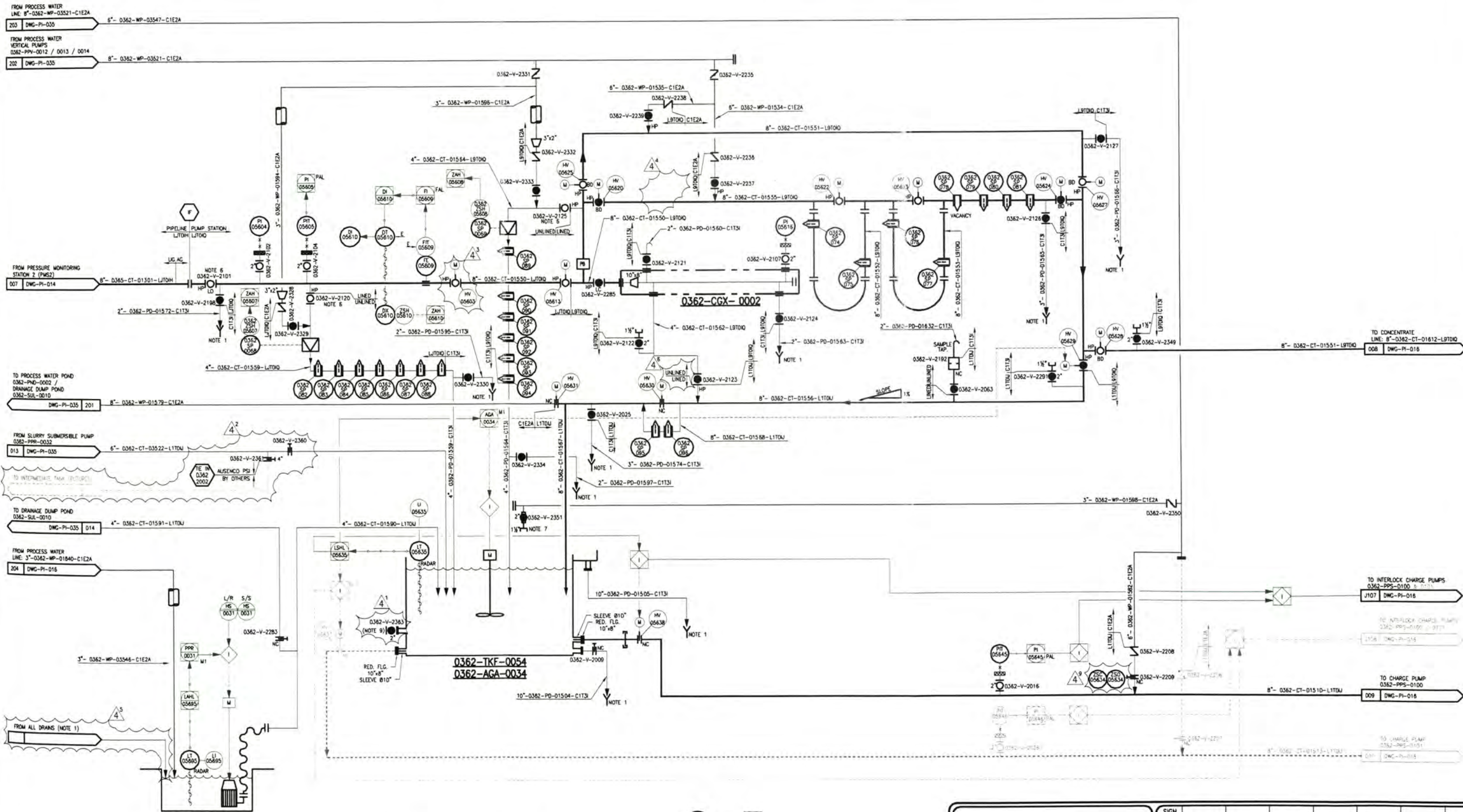
0362-AGA-0034
AGITATOR
POWER: 75 kW

0362-CGX-0002
PG RECEIVER

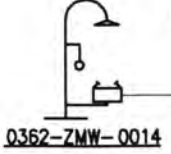
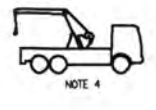
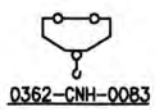
0362-CNH-0083
TROLLEY & HOIST
MINIMUM LIFTING CAPACITY: 2 t
LIFT HEIGHT: 4.5 m
POWER CONSUMPTION: 3 kW

0362-SUL-0009
SUMP
MINIMUM CAPACITY: 8 m³

0362-PPR-0031
SUMP PUMP
CAPACITY: 50 m³/h @ 25 msc
POWER CONSUMPTION: 11 kW



0362-PPR-0031
0362-SUL-0009



REV. N°	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRA.	REV.	SUP/REV. E. MAN.	P. MAN.
1	17/04/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED				
2	10/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED				
3	06/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED				
4	29/12/11	ISSUED FOR GENERAL MODIFICATION				
5	14/10/11	ISSUED FOR CONSTRUCTION				
6	14/06/11	RE-ISSUED FOR CLIENT APPROVAL				
7	15/04/11	ISSUED FOR CLIENT APPROVAL				

DRAWING N°	REFERENCE DRAWINGS
	INSTRUMENT IDENTIFICATION SYMBOLS
	EQUIPMENT AND PIPING SYMBOLS
	ABBREVIATIONS AND DESIGNATIONS

NOTES: 1. ALL DRAINS TO STATION PAD, STATION PAD CURBED AND SLOPED TO LOW POINT TRENCH AND SUMP.
2. FOR CONTROL DETAILS SEE BECHTEL DRAWING N° XXXXXX.
3. ALL DRAINS, VENTS, SAMPLE TAP AND INSTRUMENT BALL VALVES, HAVE HP ON HEADER PIPE SIDE.
4. FOR MAINTENANCE WILL USE TRUCK CRANE 5 t.
5. STORAGE TANK HEIGHT INCLUDES A FREEBOARD.
6. VALVE MUST HAVE A BLOCKING SYSTEM.
7. HOSE - WATER SERVICE CONNECTION.
8. TO PREVENT ICE FORMATION IN ABOVE GROUND PIPING (OUTSIDE OF BUILDING)
PROCESS WATER 4° USE INSULATION / SEAL WATER 52° USE INSULATION AND HEAT TRACING.
9. SAMPLER POINT.

SIGN.					
NAME					
DATE	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12
	DRAWN	REVIEWED	SUP. / REV.	ENG. MANAGER	PROJECT MANAGER
					APPROVED
					APPROVED
					CLIENT
SCALE	NONE	FORMAT	A1		

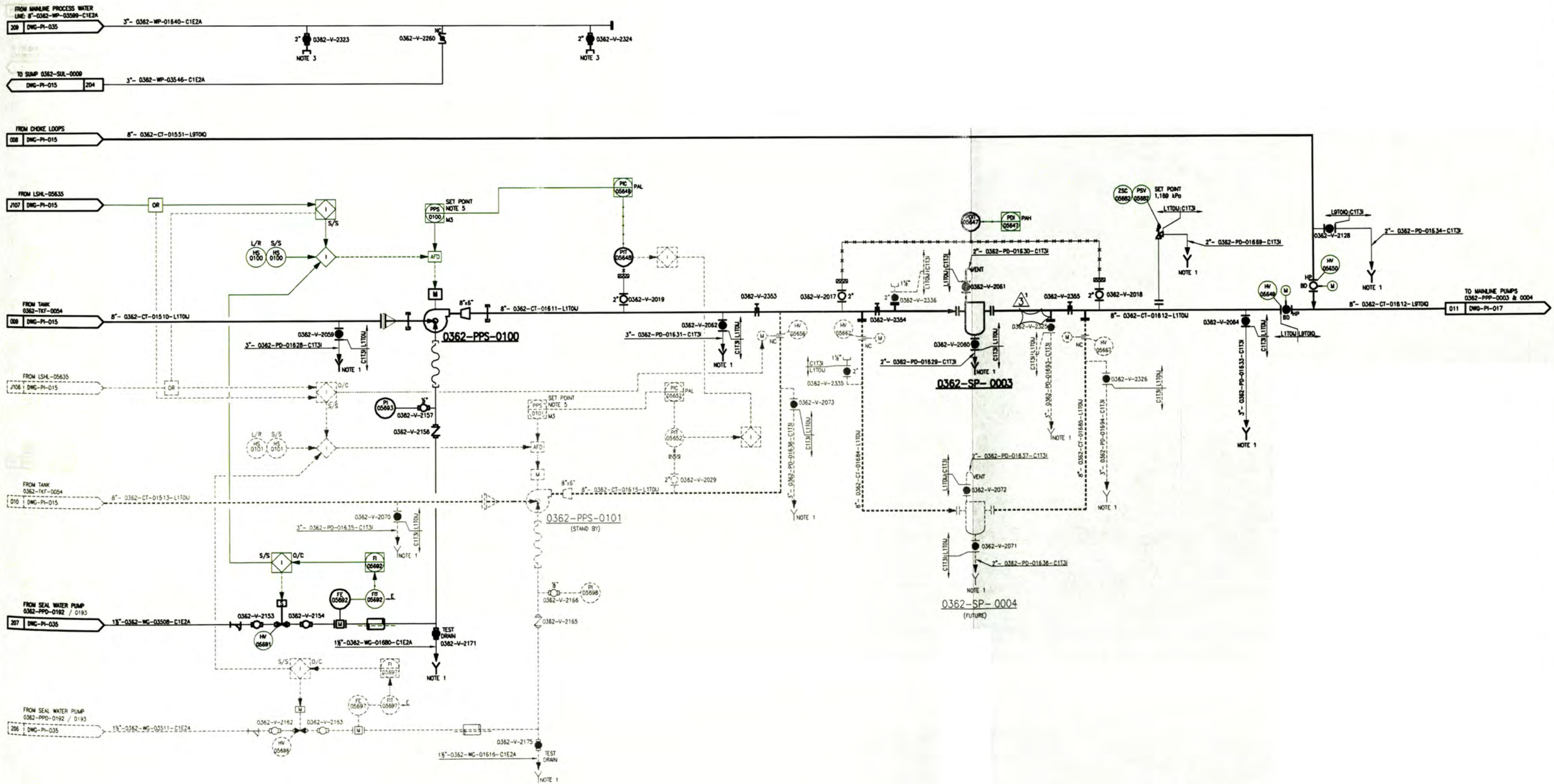
CONCENTRATE PIPELINE BASIC & DETAILED ENGINEERING					
PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM PUMP STATION 2 CHOKE LOOPS & STORAGE TANK					
CONTRACT N°: DWG-PI-015			WORK PACKAGE:		
JOB NUMBER:		DRAWING N°: DWG-PI-015		REV. 4	
CLIENT N°:					

0362-PPS-0100 & 0101

CHARGE PUMP
CAPACITY: 170.1 m³/h @ 45 mca
POWER CONSUMPTION: 71 kW

0362-SP-0003 & 0004

SLURRY BASKET STRAINERS
3 mm OPDING



REV. N°	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRA.	REV.	SUP/REV.	E. MAN.	P. MAN.
1	10/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED					
2	06/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED					
3	29/12/11	ISSUED FOR GENERAL MODIFICATION					
4	14/10/11	ISSUED FOR CONSTRUCTION					
5	14/06/11	RE-ISSUED FOR CLIENT APPROVAL					
6	15/04/11	ISSUED FOR CLIENT APPROVAL					

DRAWING N°	REFERENCE DRAWINGS
	INSTRUMENT IDENTIFICATION SYMBOLS
	EQUIPMENT AND PIPING SYMBOLS
	ABBREVIATIONS AND DESIGNATIONS

NOTES:

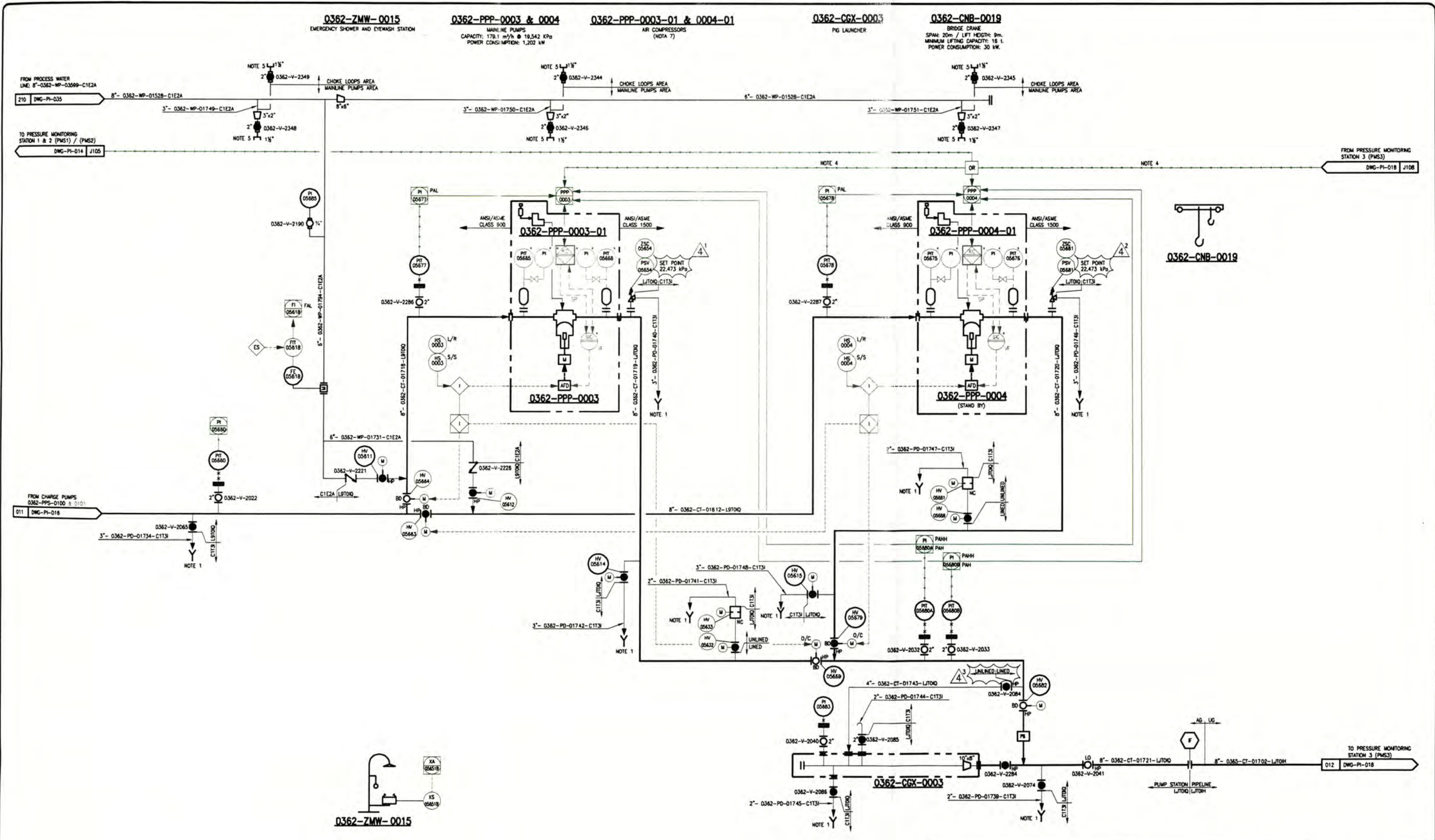
1. ALL DRAINS TO STATION PAD, STATION PAD CURBED AND SLOPED TO LOW POINT TRENCH AND SLUMP.
2. FOR CONTROL DETAILS SEE RECHTEL DRAWING N° 100000.
3. HOSE - WATER SERVICE CONNECTION.
4. ALL DRAINS, VENTS, SAMPLE TAP AND INSTRUMENT BALL VALVES, HAVE HP ON HEADER PIPE SIDE.
5. THIS CONTROL LOOP MUST PROVIDE ADEQUATE SUCTION PRESSURE TO THE MAINLINE PUMPS.
6. TO PREVENT ICE FORMATION IN ABOVE GROUND PIPING (OUTSIDE OF BUILDING), PROCESS WATER 6^4 USE INSULATION / SEAL WATER 6^2 USE INSULATION AND HEAT TRACING.

SIGN.					
NAME		DATE		DATE	
		17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12
DRAWN	REVIEWED	SUP. / REV.	ENL. MANAGER	PROJECT MANAGER	APPROVED
					APPROVED
SCALE		NONE		FORMAT A1	
				CLIENT	

**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

**PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM
PUMP STATION 2
CHOKER LOOPS & STORAGE TANK**

CONTRACT N°: DWG-PI-015	WORK PACKAGE:
JOB NUMBER:	DRAWING N°: DWG-PI-015
	CLIENT N°:



REV. #	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRA.	REV.	SUP/REV.	E. MAN.	P. MAN.
1	17/04/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED					
2	10/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED					
3	06/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED					
4	29/12/11	ISSUED FOR GENERAL MODIFICATION					
5	14/10/11	ISSUED FOR CONSTRUCTION					
6	14/06/11	RE-ISSUED FOR CLIENT APPROVAL					
7	15/04/11	ISSUED FOR CLIENT APPROVAL					

DRAWING N°	REFERENCE DRAWINGS
	INSTRUMENT IDENTIFICATION SYMBOLS
	EQUIPMENT AND PIPING SYMBOLS
	ABBREVIATIONS AND DESIGNATIONS

- NOTES:**
- ALL DRAINS TO STATION PAD, STATION PAD CURBED AND SLOPED TO LOW POINT TRENCH AND SLUMP.
 - FOR CONTROL DETAILS SEE BECHTEL DRAWING N° XXXX.
 - ALL DRAINS, VENTS, SAMPLE TAP AND INSTRUMENT BALL VALVES, HAVE HP ON HEADER PIPE SIDE.
 - FIBER OPTIC COMMUNICATION.
 - HOSE - WATER SERVICE CONNECTION.
 - TO PREVENT ICE FORMATION IN ABOVE GROUND PIPING, (OUTSIDE OF BUILDING), PROCESS WATER ≤ 4" USE INSULATION, / SEAL WATER ≤ 2" USE INSULATION AND HEAT TRACING.
 - MAINLINE PUMPS FURNISHED WITH AIR COMPRESSORS.

SIGN.	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE
	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12
	DRAWN	REVIEWED	SUP. / REV.	ENG. MANAGER	PROJECT MANAGER	APPROVED	APPROVED
SCALE NONE						FORMAT A1	
CLIENT							

**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

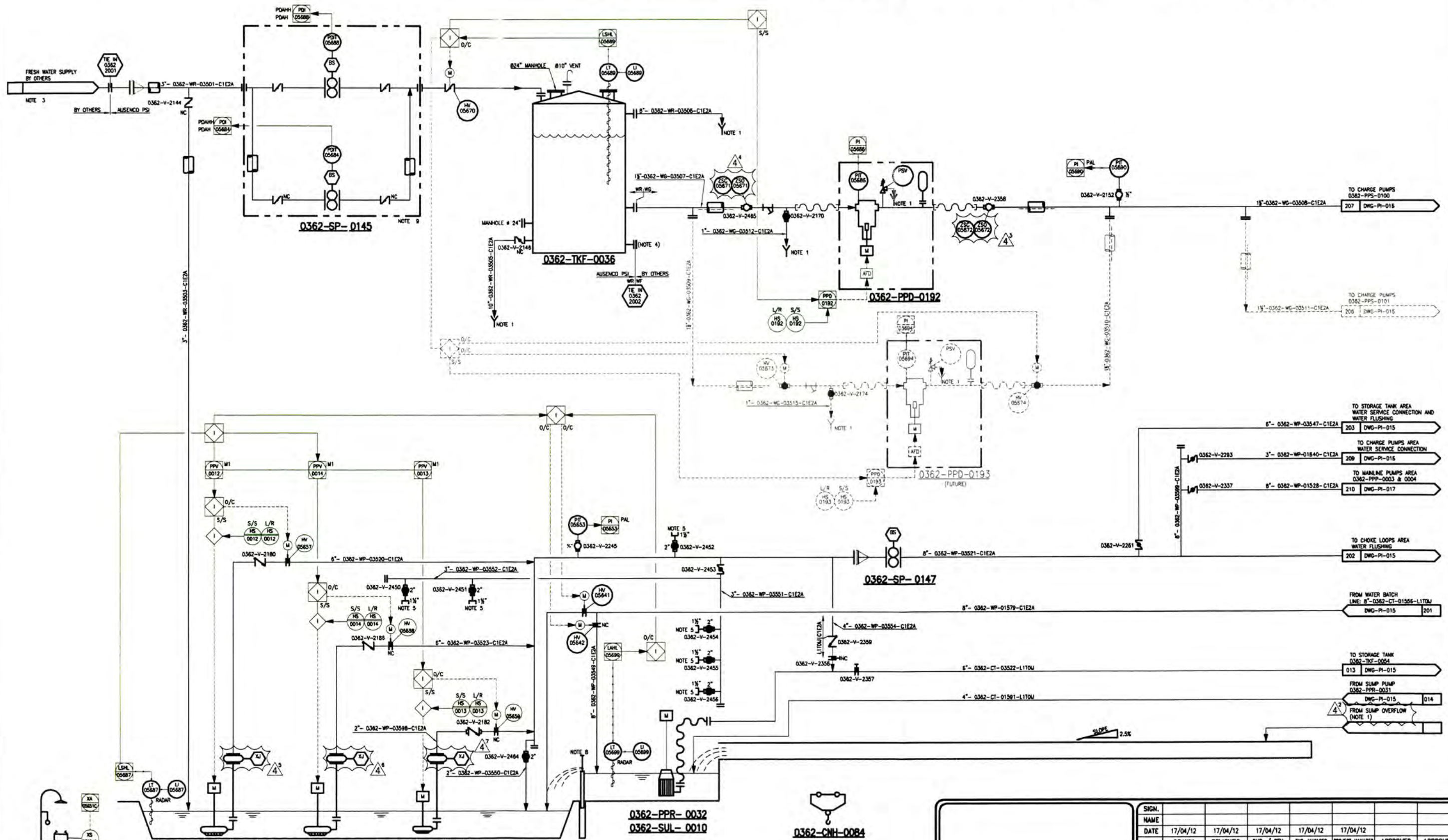
**PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM
PUMP STATION 2
MAINLINE PUMPS**

CONTRACT N°: _____ WORK PACKAGE: _____

JOB NUMBER: _____ DRAWING N°: _____ REV. 4

CLIENT N°: _____

0362-SP-0147 PROCESS WATER BASKET STRAINER
0362-SP-0145 FRESH WATER DUPLEX BASKET STRAINER
0362-ZMW-0016 EMERGENCY SHOWER AND EYEWASH STATION
0362-PPV-0012 & 0013 PROCESS WATER VERTICAL PUMPS
 CAPACITY: 177.8 m³/h @ 40 mwc
 POWER CONSUMPTION: 27 kW
0362-PPV-0014 PROCESS WATER VERTICAL PUMPS
 CAPACITY: 20 m³/h @ 35 mwc
 POWER CONSUMPTION: 3 kW
0362-PND-0002 PROCESS WATER POND
 CAPACITY: 2,500 m³
0362-PPR-0032 SLURRY SUBMERSIBLE PUMP
 CAPACITY: 100 m³/h @ 25 mwc
 POWER CONSUMPTION: 22 kW
0362-SUL-0010 DRAINAGE DUMP POND
 CAPACITY: 1000 m³
0362-TKF-0036 FRESH WATER TANK
 DIA: 10 m H: 11 m
 CAPACITY: 707 m³
 (NOTE 6)
0362-PPD-0192 & 0193 SEAL WATER PUMPS
 CAPACITY: 5 m³/h @ 105 mwc
 POWER CONSUMPTION: 2 kW
0362-CNH-0084 TROLLEY & HOIST
 MINIMUM LIFTING CAPACITY: 2 t
 LIFT HEIGHT: 6.5 m
 POWER CONSUMPTION: 5 kW

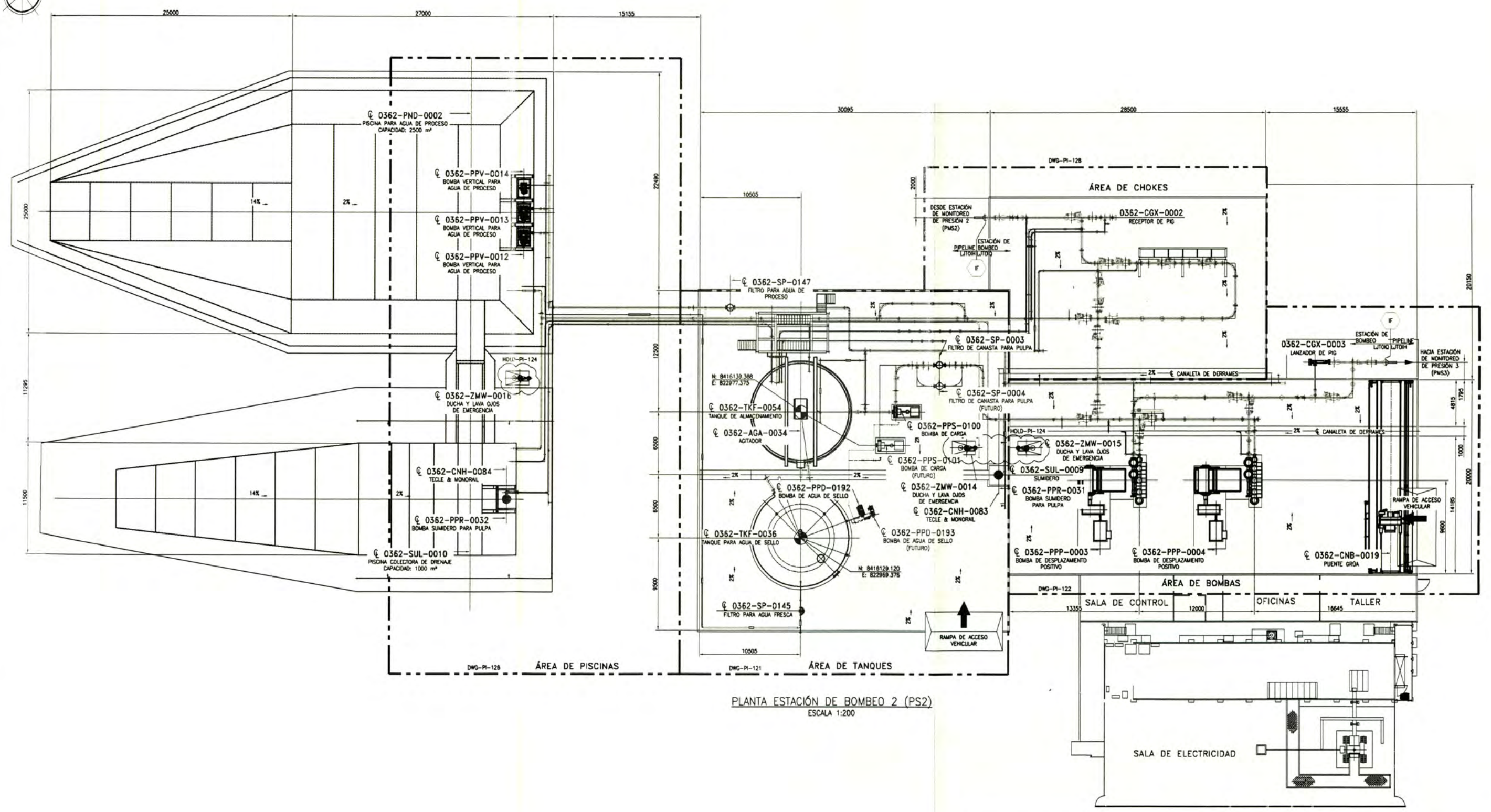


REV. #	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRA.	REV.	SUP/REV. E. MAN.	P. MAN.
1	17/04/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED				
2	10/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED				
3	06/02/12	ISSUED FOR CHANGE AS INDICATED				
4	29/12/11	ISSUED FOR GENERAL MODIFICATION				
5	14/10/11	ISSUED FOR CONSTRUCTION				
6	14/06/11	RE-ISSUED FOR CLIENT APPROVAL				

DRAWING #	REFERENCE DRAWINGS
	INSTRUMENT IDENTIFICATION SYMBOLS
	EQUIPMENT AND PIPING SYMBOLS
	ABBREVIATIONS AND DESIGNATIONS

NOTES:
 1. ALL DRAINS TO STATION PAD, STATION PAD CURBED AND SLOPED TO LOW POINT TRENCH AND SLUMP.
 2. FOR CONTROL DETAILS SEE BECHTEL DRAWING # XXXXX.
 3. FRESH WATER SUPPLY: Q=50 m³/h, P=198 kPa
 4. FIRE WATER SUPPLY.
 5. HOSE - WATER SERVICE CONNECTION.
 6. TANK HEIGHT INCLUDES A FREEBOARD.
 7. TO PREVENT ICE FORMATION IN ABOVE GROUND PIPING (OUTSIDE OF BUILDING)
 PROCESS WATER $\le 4''$ USE INSULATION / SEAL WATER $\le 2''$ USE INSULATION AND HEAT TRACING.
 8. GATE INVERTED DESIGN ACCORDING TO CML DESIGN BASIS.
 9. VALVES AND PDI TO BE SUPPLIED WITH EQUIPMENT

SIGN.									
DATE	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12	17/04/12				
DRAWN		REVIEWED		SUP. / REV.		ENG. MANAGER		PROJECT MANAGER	
SCALE	NONE		FORMAT		A1		CLIENT		
CONCENTRATE PIPELINE BASIC & DETAILED ENGINEERING PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM PUMP STATION 2 PROCESS WATER & SEAL WATER									
CONTRACT #:					WORK PACKAGE:				
JOB NUMBER:					DRAWING #:				
					CLIENT #:				



PLANTA ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2)
ESCALA 1:200

LISTA DE PENDIENTES
HOLD-PI-124 PENDIENTE UBICACIÓN DE DUCHA Y LAVAJOS DE ACUERDO AL ANÁLISIS DE RIESGO.

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY.	REVISÓ	SUP/REV.	J. ING.	G. PROY.
1	03/02/12	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN					
2	27/10/11	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE					
3	08/08/11	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA					

PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO - PLANTA
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - TANQUES - PLANTA
	P&ID PUMP STATION 2 - MAINLINE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHARGE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHOKE LOOPS & STORAGE TANK
	ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) PLATAFORMA
	CONCENTRADO PLANTA Y PERFIL DE KP 81+000 A KP 84+000

NOTAS:
 1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
 2. CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
 3. LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
 4. ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3643.560 m.s.n.m.
 5. LA ORIENTACIÓN Y ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACIÓN SON REFERENCIALES Y DEBERÁN SER VERIFICADAS POR BECHTEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACIÓN.
 6. PARA LA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS XXXXX.

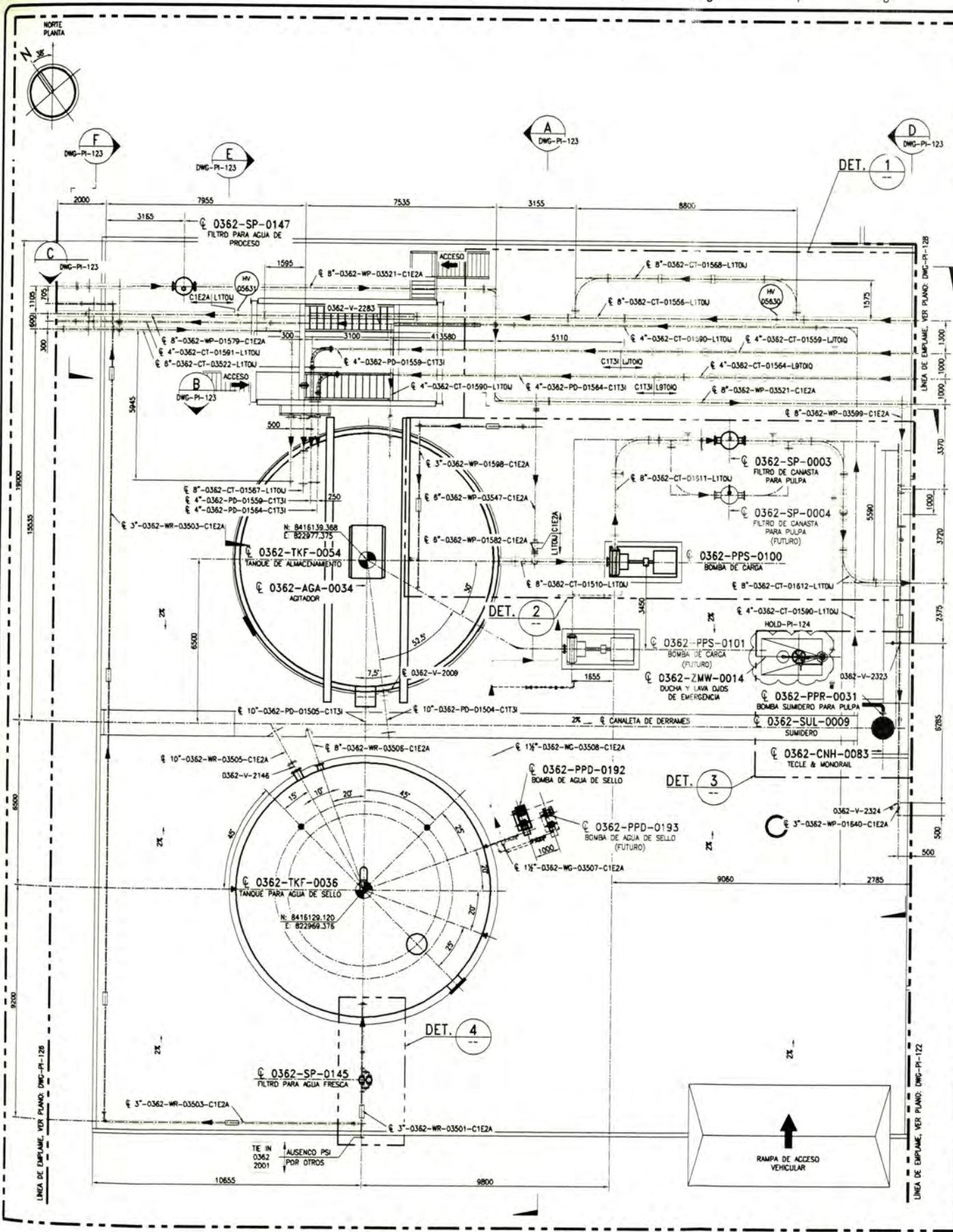
FIRMA	NOMBRE	FECHA	PROYECTO	REVISÓ	SUP. / REV.	JEFE INGENIERIA	GERENTE PROYECTO	APROBÓ	APROBÓ
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							

ESCALA INDICADA FORMATO A1 CLIENTE

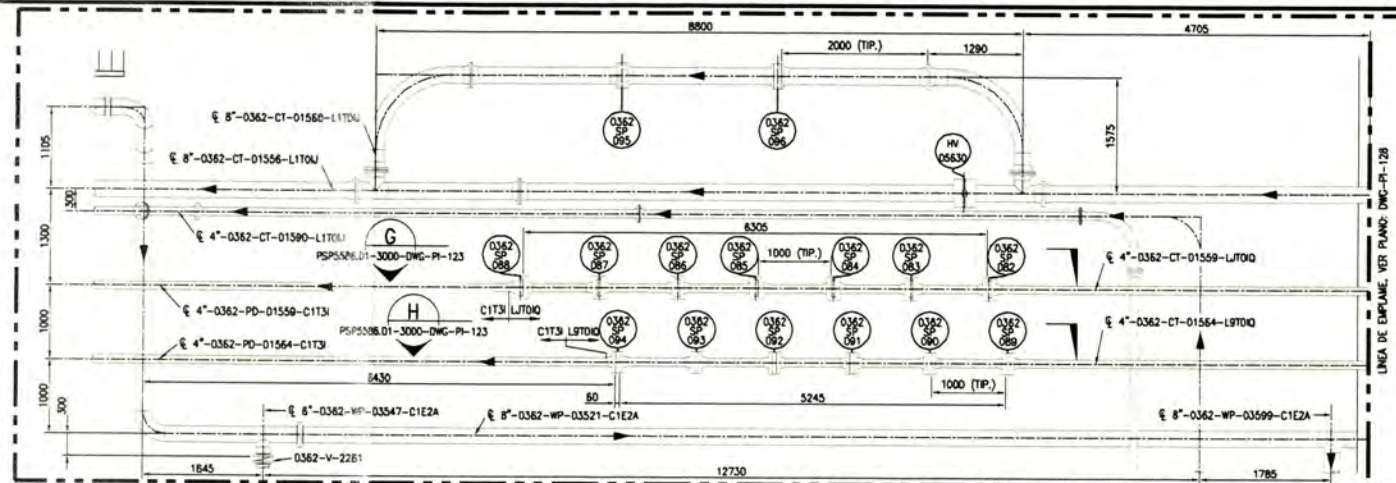
**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

**ARREGLO GENERAL
ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2)
PLANTA**

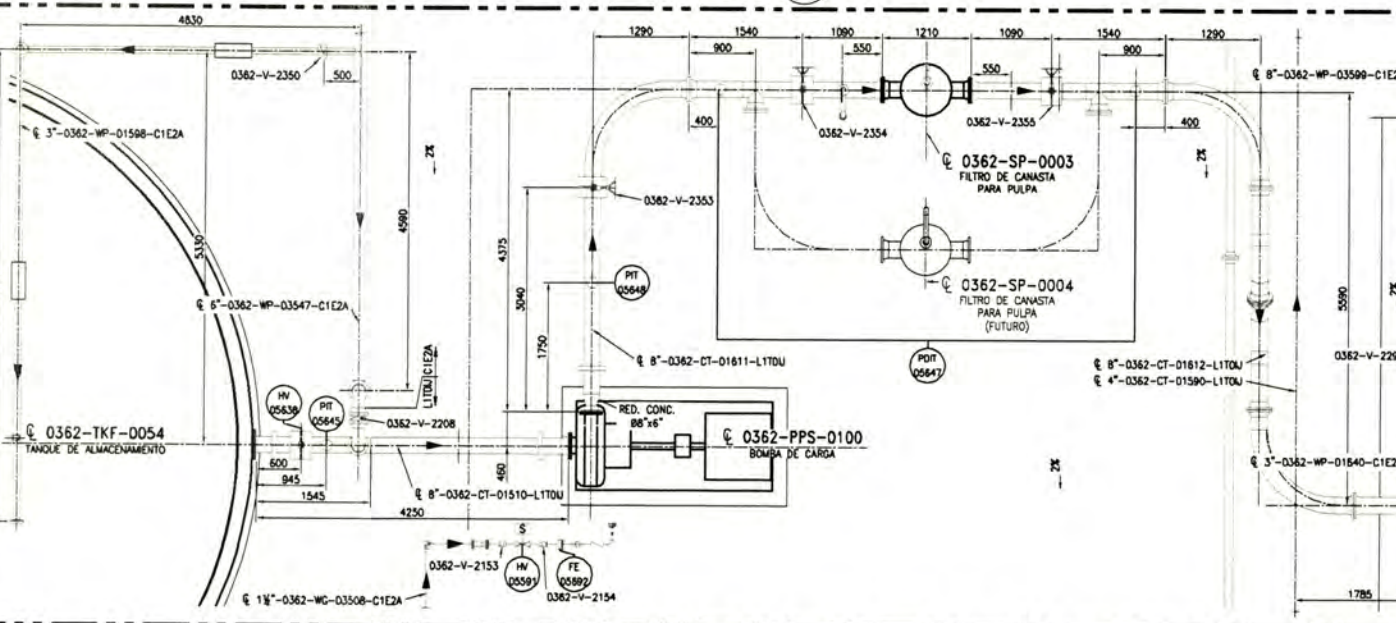
CONTRATO N°: PROYECTO N°: N° TRABAJO: PLANO N°: DWG-PI-120 REV. 0



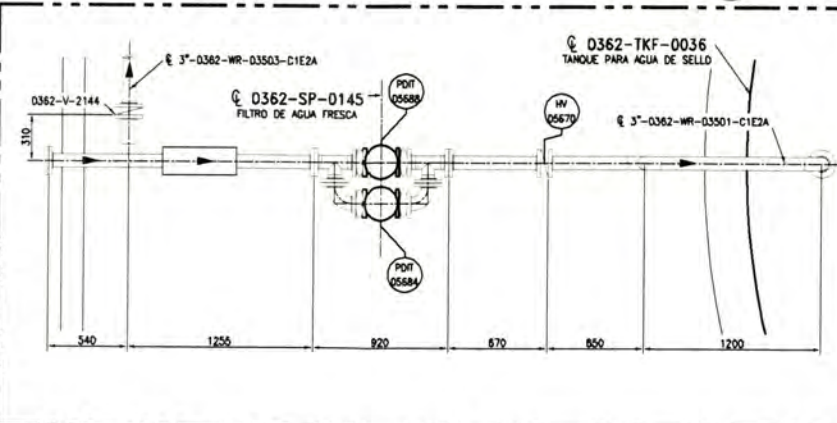
PLANTA - ÁREA DE TANQUES
ESCALA 1:100



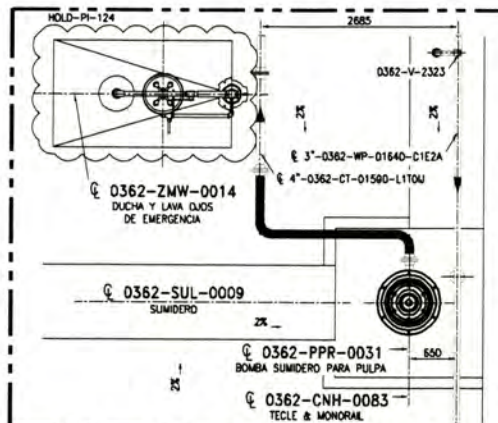
DETALLE 1
ESCALA 1:50



DETALLE 2
ESCALA 1:50



DETALLE 4
ESCALA 1:25



DETALLE 3
ESCALA 1:50

LISTA DE PENDIENTES
HOLD-PI-124 PENDIENTE UBICACION DE DUCHA Y LAVAJOS DE ACUERDO AL ANALISIS DE RIESGO.

REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	PROY.	REVISO	SUP/REV. J. ING. G. PROY.
03/02/12		EMITIDO PARA CONSTRUCCION			
27/10/11		EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE			
08/08/11		EMITIDO PARA REVISION INTERNA			

PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
	ARREGLO GENERAL - ESTACION DE BOMBEO 2 (PS2) - BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO - PLANTA
	ARREGLO GENERAL - ESTACION DE BOMBEO 2 (PS2) - TANQUES - SECCIONES
	P&ID PUMP STATION 2 - MAINLINE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHARGE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHOKE LOOPS & STORAGE TANK
	ESTACION DE BOMBEO 2 (PS2) PLATAFORMA

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACION CONTRARIA.
2. CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
3. LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERAN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
4. ELEVACION LOCAL +0.000 = 3843.580 m.s.n.m.
5. DETALLE DE AMILLOS DESPACHADORES REFERIRSE A PLANO PPS5588.01-3000-DWG-PI-210
6. LA ORIENTACION Y ELEVACION SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACION SON REFERENCIALES Y DEBERAN SER VERIFICADOS POR BED-TEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACION.
7. PARA UBICACION DE SOPORTES VER PLANOS: XXXXXX.

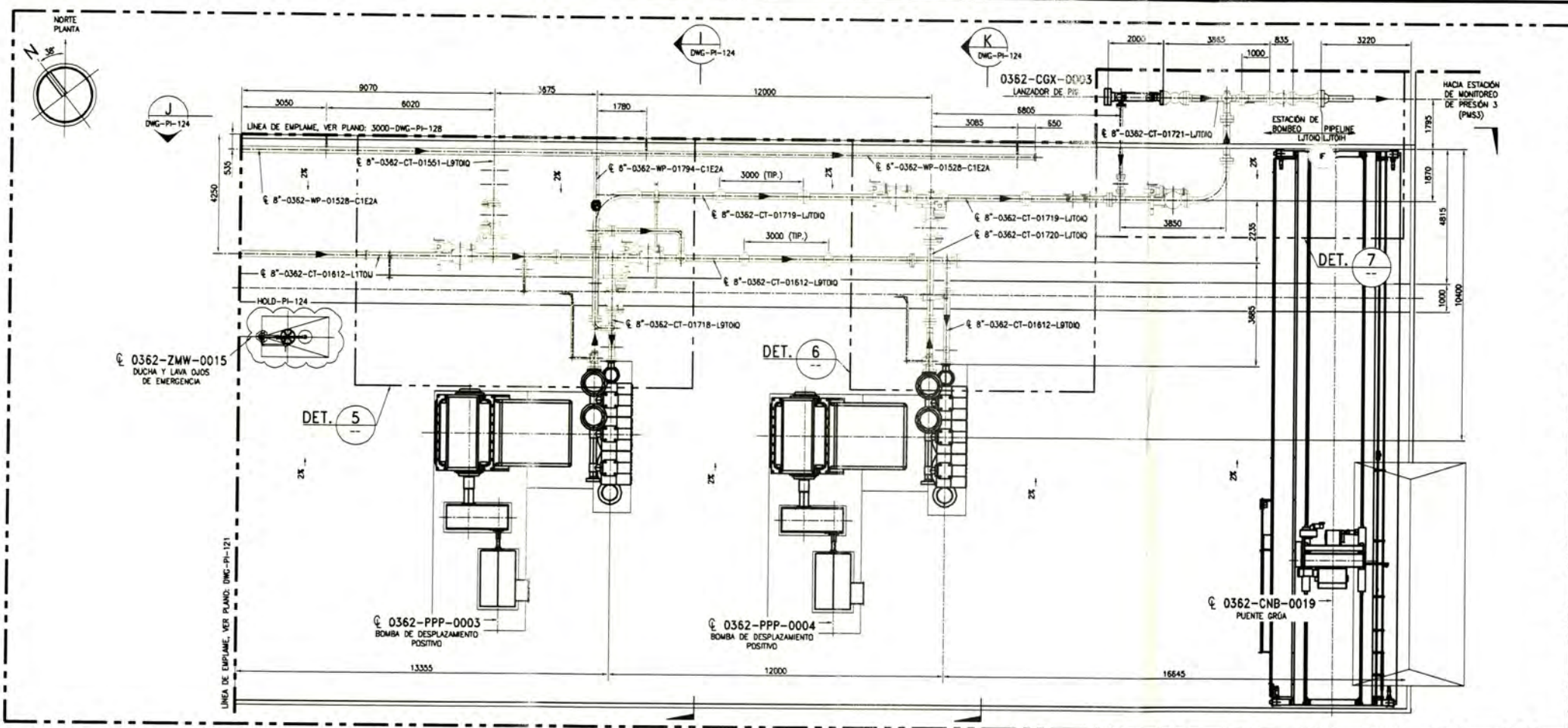
FIRMA	NOMBRE	FECHA	PROYECTO	REVISO	SUP. / REV.	JEFE INGENIERIA	BERNIE PROYECTO	APROBO	APROBO
		03/02/12							

ESCALA INDICADA: A1
FORMATO: A1

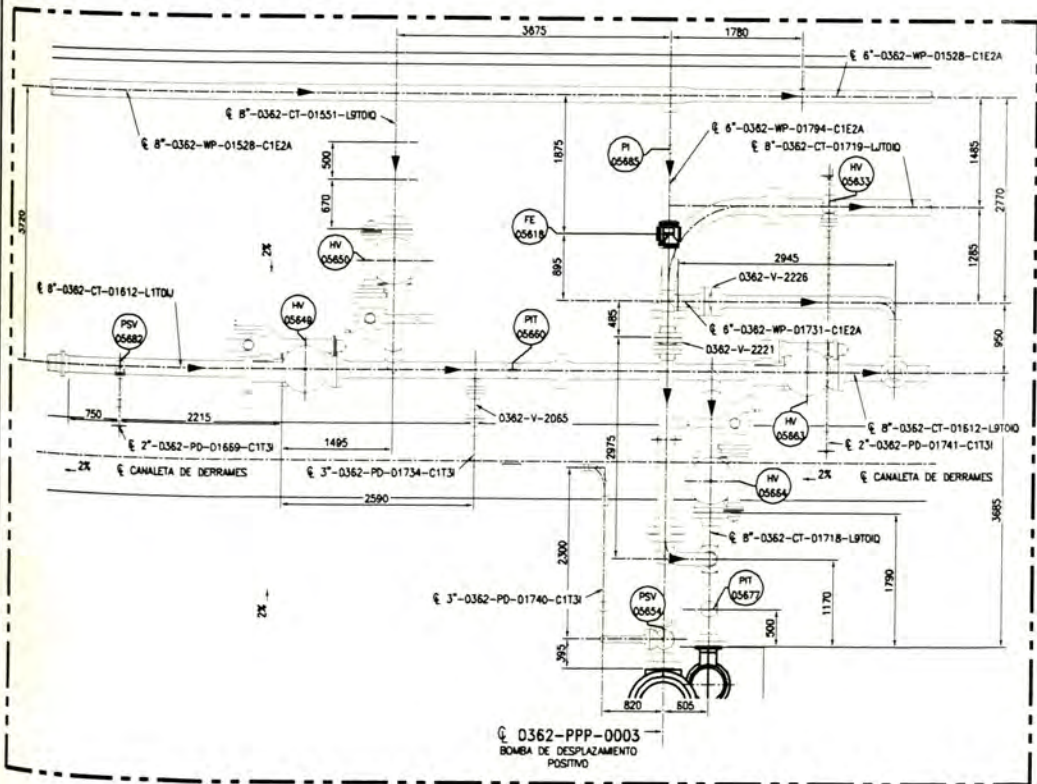
CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING

ARREGLO GENERAL
ESTACION DE BOMBEO 2 (PS2)
TANQUES-PLANTA

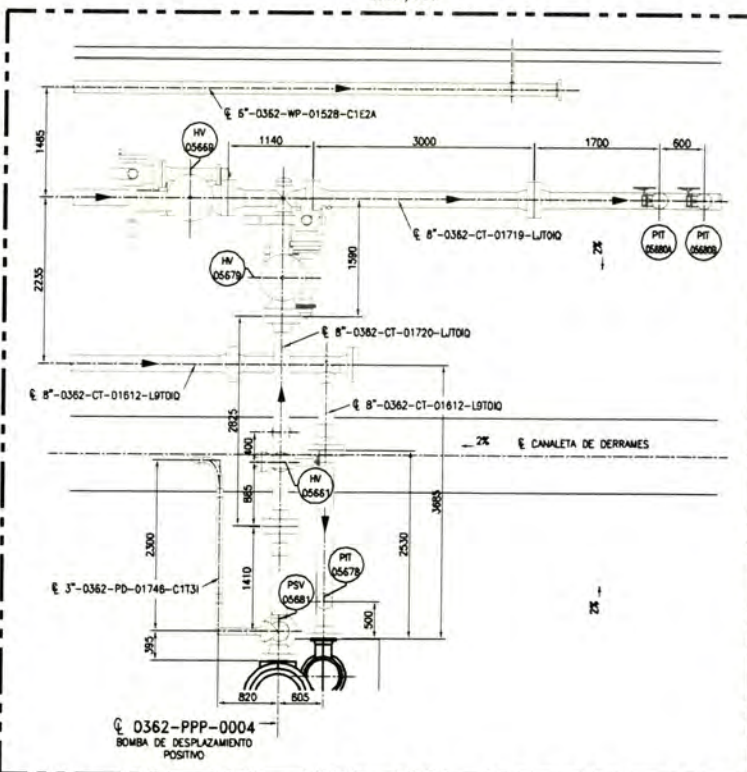
CONTRATO N°: _____ PROYECTO N°: _____
N° TRABAJO: _____ PLANO N°: DWG-PI-121
N° CLIENTE: _____



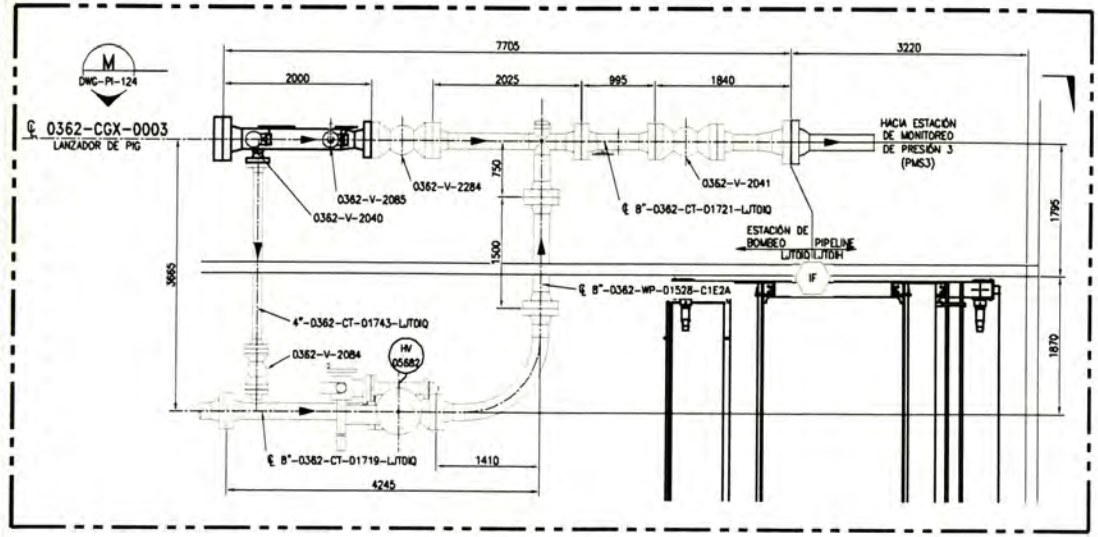
PLANTA - ÁREA DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
ESC:1/100



DETALLE 5
ESCALA 1:50



DETALLE 6
ESCALA 1:50



DETALLE 7
ESCALA 1:50

LISTA DE PENDIENTES

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY.	REVISÓ	SUP./REV.	J. ING. S. PROY.
03/02/12		EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN				
27/10/11		EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE				
08/08/11		EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA				

PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBO 2 (PS2) - BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO - PLANTA	
ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBO 2 (PS2) - TANQUES - PLANTA	
P&ID PUMP STATION 2 - MAINLINE PUMPS	
P&ID PUMP STATION 2 - CHARGE PUMPS	
P&ID PUMP STATION 2 - CHOKO LOOPS & STORAGE TANK	
ESTACIÓN DE BOMBO 2 (PS2) PLATAFORMA	
CONCENTRADO PLANTA Y PERFIL DE KP B1+000 A KP B4+000	

NOTAS:

- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
- CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
- LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
- ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3643.560 m.s.n.m.
- LA ORIENTACIÓN Y ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACIÓN SON REFERENCIALES Y DEBERÁN SER VERIFICADOS POR BECHTEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACIÓN.
- PARA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS: XXXXXX.

FIRMA	NOMBRE	FECHA	PROYECTÓ	REVISÓ	SUP. / REV.	JEFE INGENIERÍA	SECRETARÍA PROYECTO	APROBÓ	APROBÓ
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							

ESCALA INDICADA FORMATO A1 CLIENTE

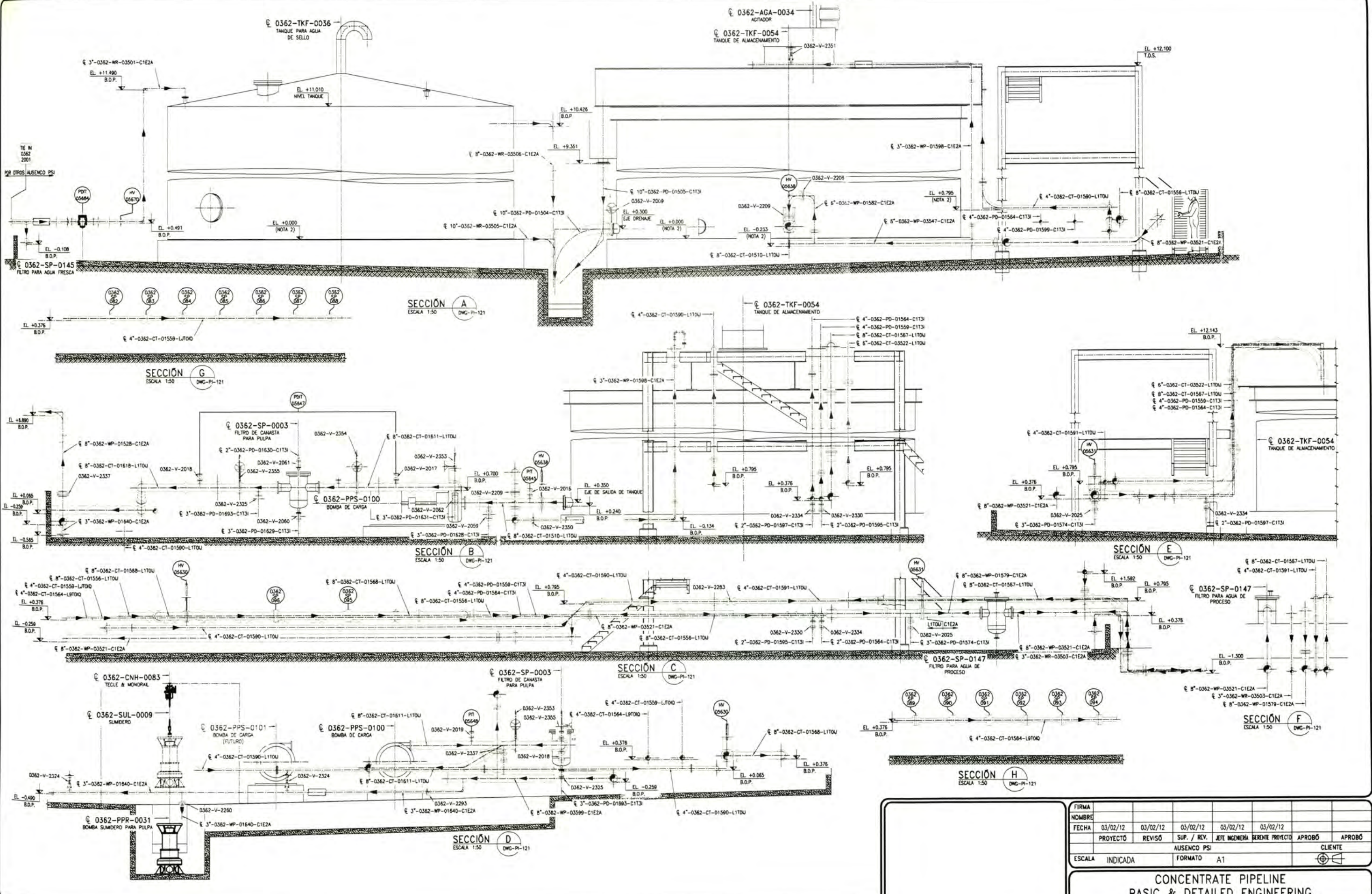
**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

**ARREGLO GENERAL
ESTACIÓN DE BOMBO 2 (PS2)
BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO-PLANTA**

CONTRATO N°: PROYECTO N°:

N° TRABAJO: PLANO N°: DWG-PI-122

N° CLIENTE:



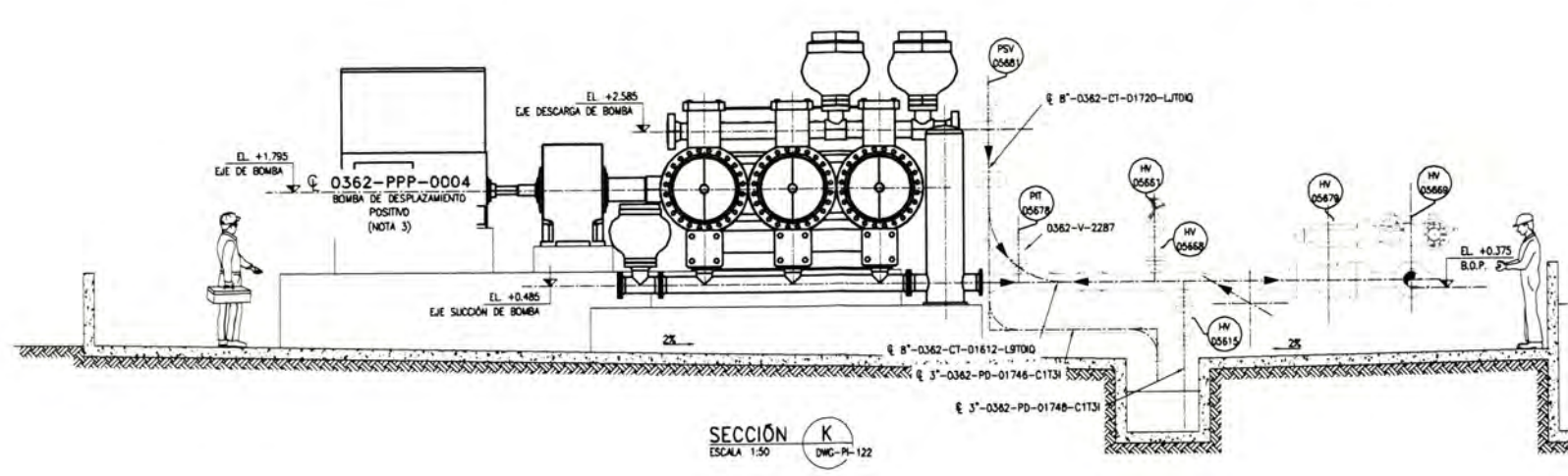
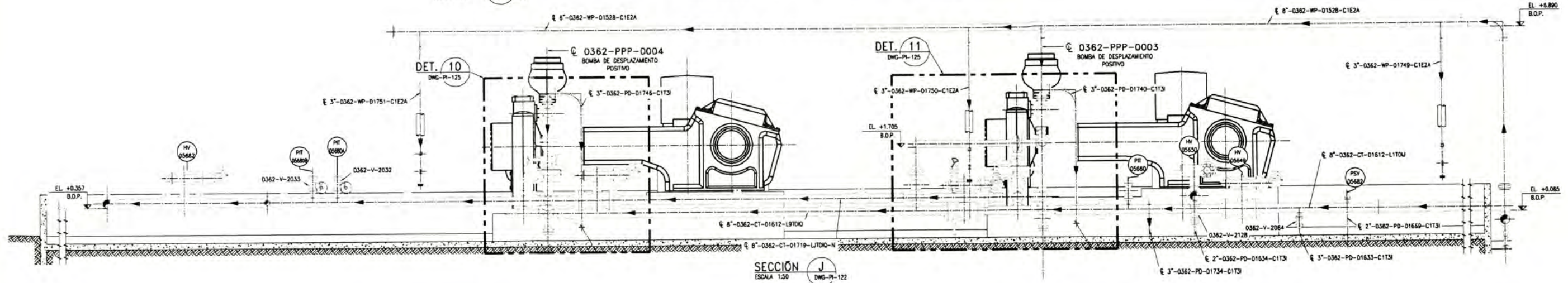
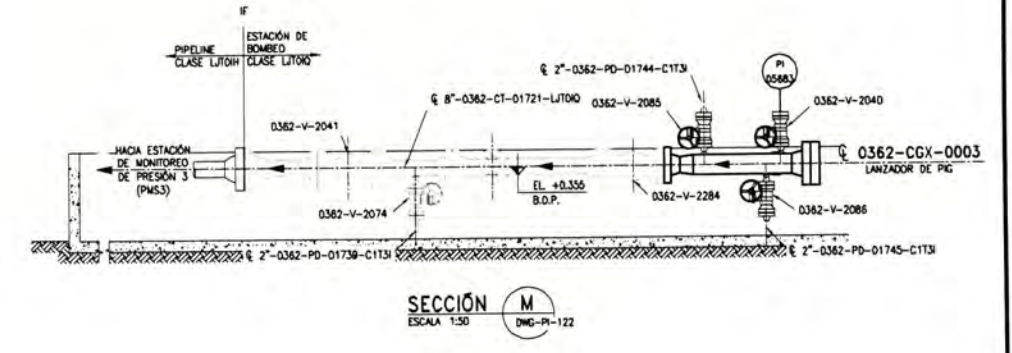
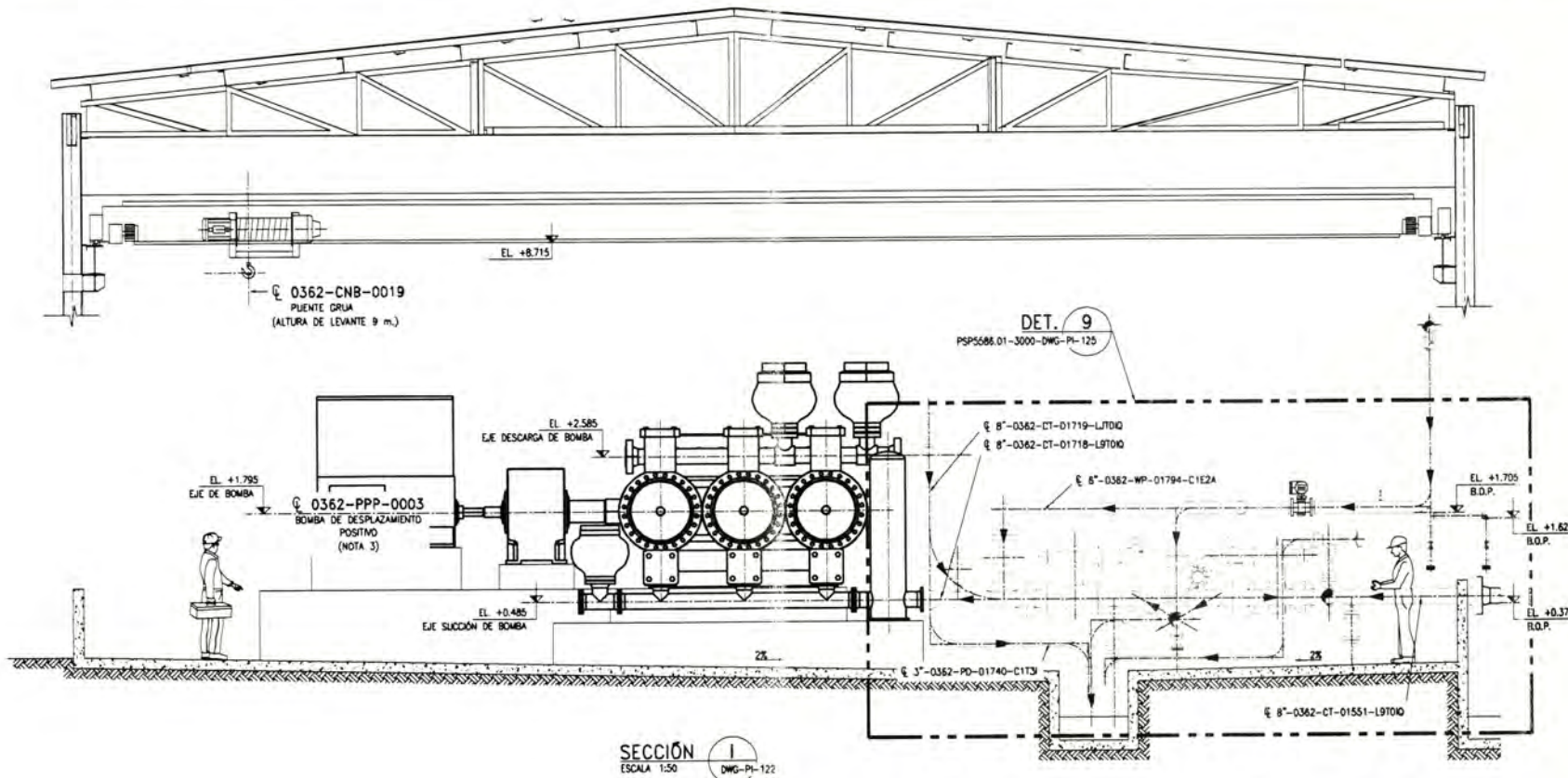
REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY.	REVISÓ	SUP/REV.	J. ING.	E. PROY.
	03/02/12	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN					
	27/10/11	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE					
	08/08/11	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA					

PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO - PLANTA
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - TANQUES - PLANTA
	P&ID PUMP STATION 2 - MAINLINE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHARGE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHOKE LOOPS & STORAGE TANK
	ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) PLATAFORMA
	CONCENTRADO PLANTA Y PERFIL DE KP 81+000 A KP 84+000

- NOTAS:**
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
 - CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
 - LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
 - ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3.643.560 m.s.n.m.
 - DETALLE DE ANILLOS DISIPADORES REFERIRSE A PLANO PPS5088.01-3000-DWG-PI-210
 - LA ORIENTACIÓN Y ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACIÓN SON REFERENCIALES Y DEBERÁN SER VERIFICADOS POR BECHTEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACIÓN.
 - PARA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS: XXXXX.

SECCIÓN A		SECCIÓN B		SECCIÓN C		SECCIÓN D	
SECCIÓN G		SECCIÓN E		SECCIÓN F		SECCIÓN H	

FIRMA NOMBRE: _____ FECHA: 03/02/12 03/02/12 03/02/12 03/02/12 03/02/12 PROYECTO REVISÓ SUP. / REV. JEFE INGENIERIA BECHTEL PROYECTO APROBÓ APROBÓ ESCALA INDICADA FORMATO A1 CLIENTE							
CONCENTRATE PIPELINE BASIC & DETAILED ENGINEERING ARREGLO GENERAL ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) TANQUES-SECCIONES							
CONTRATO N°:				PROYECTO N°:			
N° TRABAJO:		PLANO N°: DWG-PI-123		REV		0	
N° CLIENTE:							



REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY.	REVISÓ	SUP/REV. J. ING. G. PROY.
1	03/02/12	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN			
2	27/10/11	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE			
3	08/08/11	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA			

PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO - PLANTA
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - TANQUES - PLANTA
	P&ID PUMP STATION 2 - MAINLINE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHARGE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHOKO LOOPS & STORAGE TANK
	ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) PLATAFORMA
	CONCENTRADO PLANTA Y PERFIL DE KP B1+000 A KP B4+000

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
2. CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
3. LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
4. ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3643.560 m.s.n.m.
5. LA ORIENTACIÓN Y ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACIÓN SON REFERENCIALES Y DEBERÁN SER VERIFICADOS POR RECHTEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACIÓN.
6. PARA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS: XXXXX.

FIRMA		FECHA		PROYECTO		REVISÓ		SUP. / REV.		JEFE INGENIERIA		GERENTE PROYECTO		APROBÓ		APROBÓ	
ESCALA		INDICADA		FORMATO		A1											

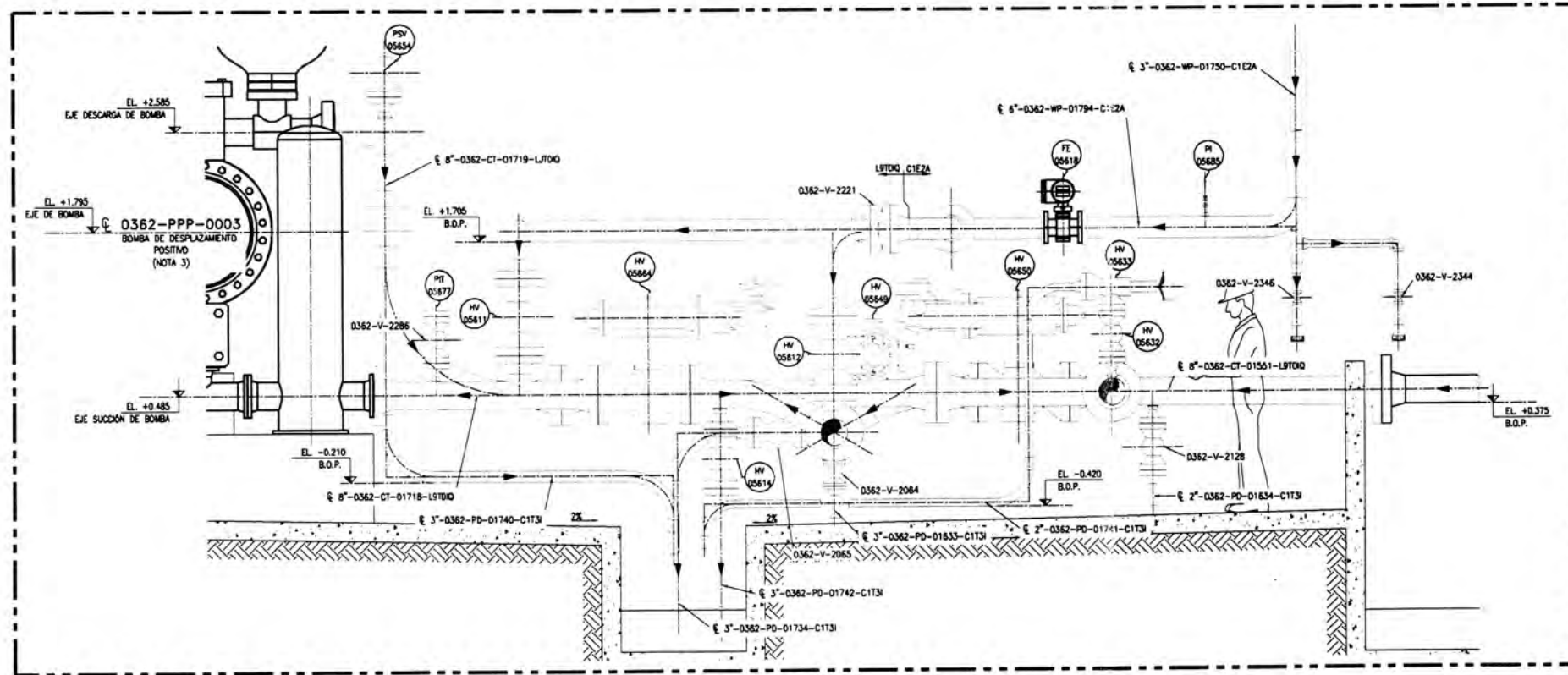
**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

**ARREGLO GENERAL
ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2)
BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO**

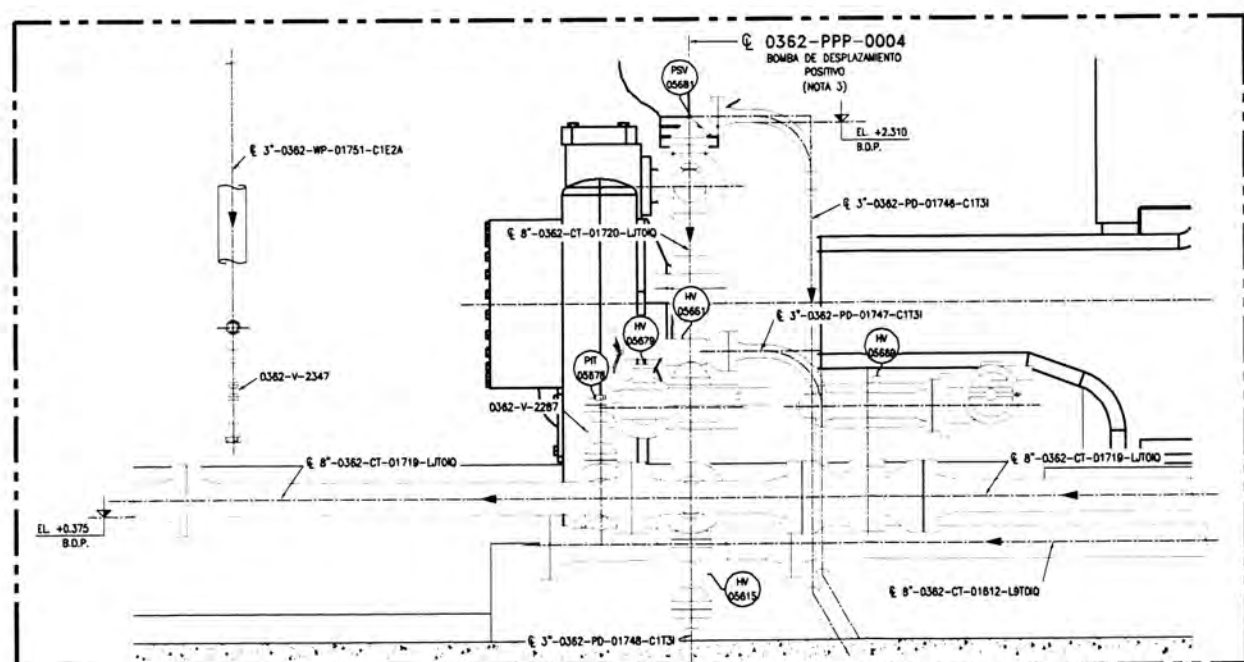
CONTRATO N°: _____ PROYECTO N°: _____

N° TRABAJO: _____ PLANO N°: DWG-PI-124

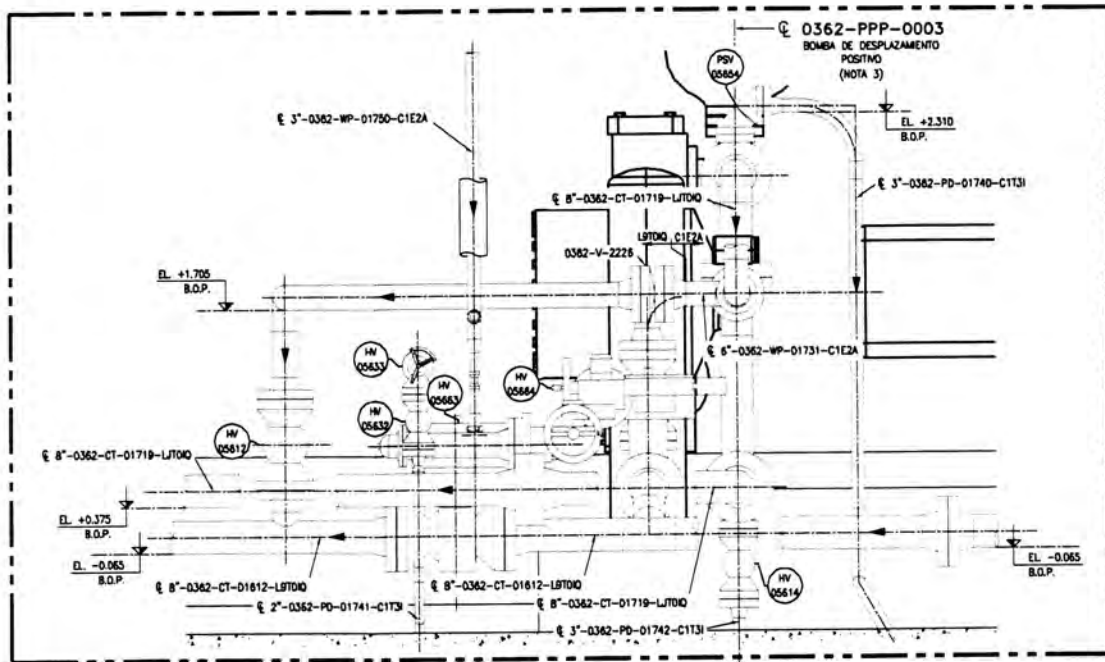
N° CLIENTE: _____



DETALLE 9
ESCALA 1:25 DWG-PI-124



DETALLE 10
ESCALA 1:25 DWG-PI-124



DETALLE 11
ESCALA 1:25 DWG-PI-124

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY.	REVISÓ	SUP/REV.	J. ING.	D. PROY.
03/02/12		EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN					
27/10/11		EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE					
08/08/11		EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA					

PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
	P&ID PUMP STATION 2 - MAINLINE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHARGE PUMPS
	P&ID PUMP STATION 2 - CHOKE LOOPS & STORAGE TANK
	ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) PLATAFORMA
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO - SECCIÓN

- NOTAS:
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
 2. CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
 3. LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
 4. ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3843.580 m.s.n.m.
 5. LA ORIENTACIÓN Y ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACIÓN SON REFERENCIALES Y DEBERÁN SER VERIFICADOS POR BECHTEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACIÓN.
 6. PARA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS XXXXX.

FIRMA	NOMBRE	FECHA	PROYECTO	REVISÓ	SUP. / REV.	JEFE INGENIERÍA	BERENTE PROYECTO	APROBÓ	APROBÓ
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							
		03/02/12							

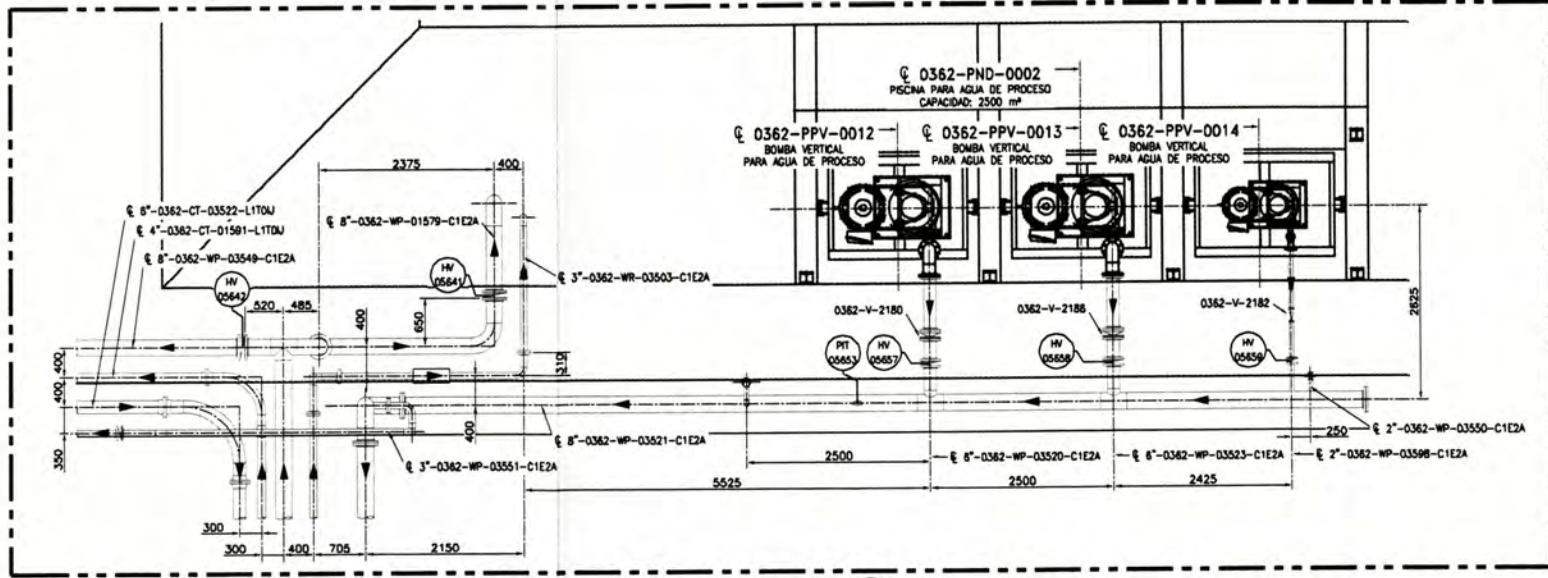
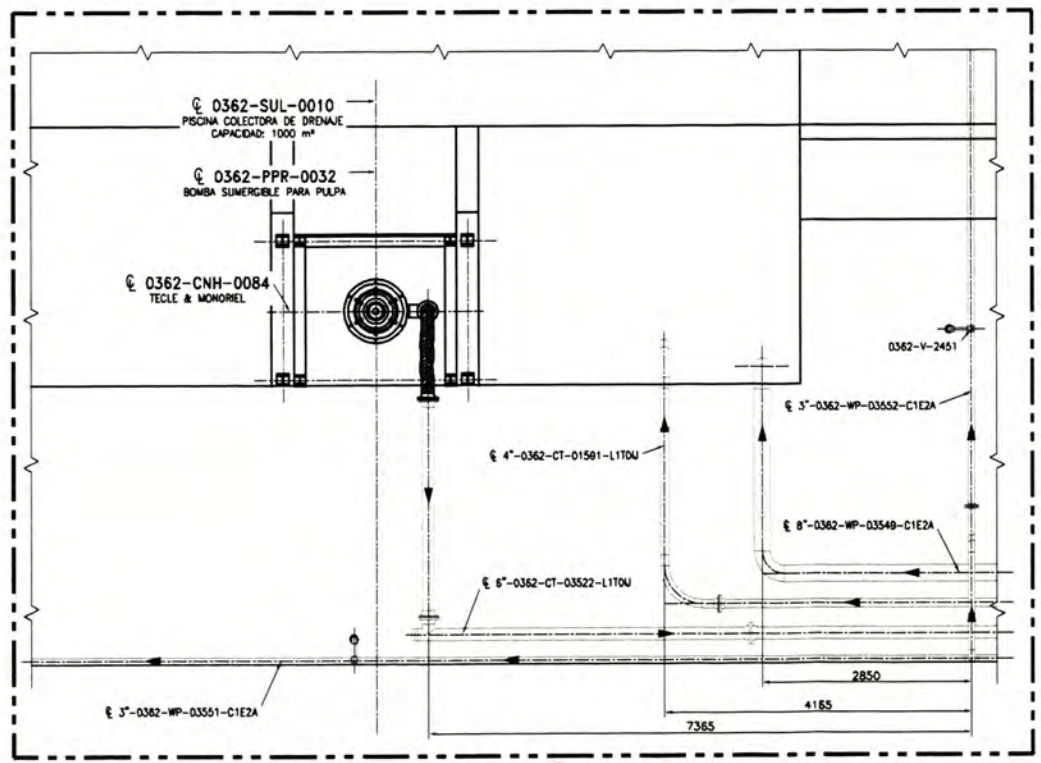
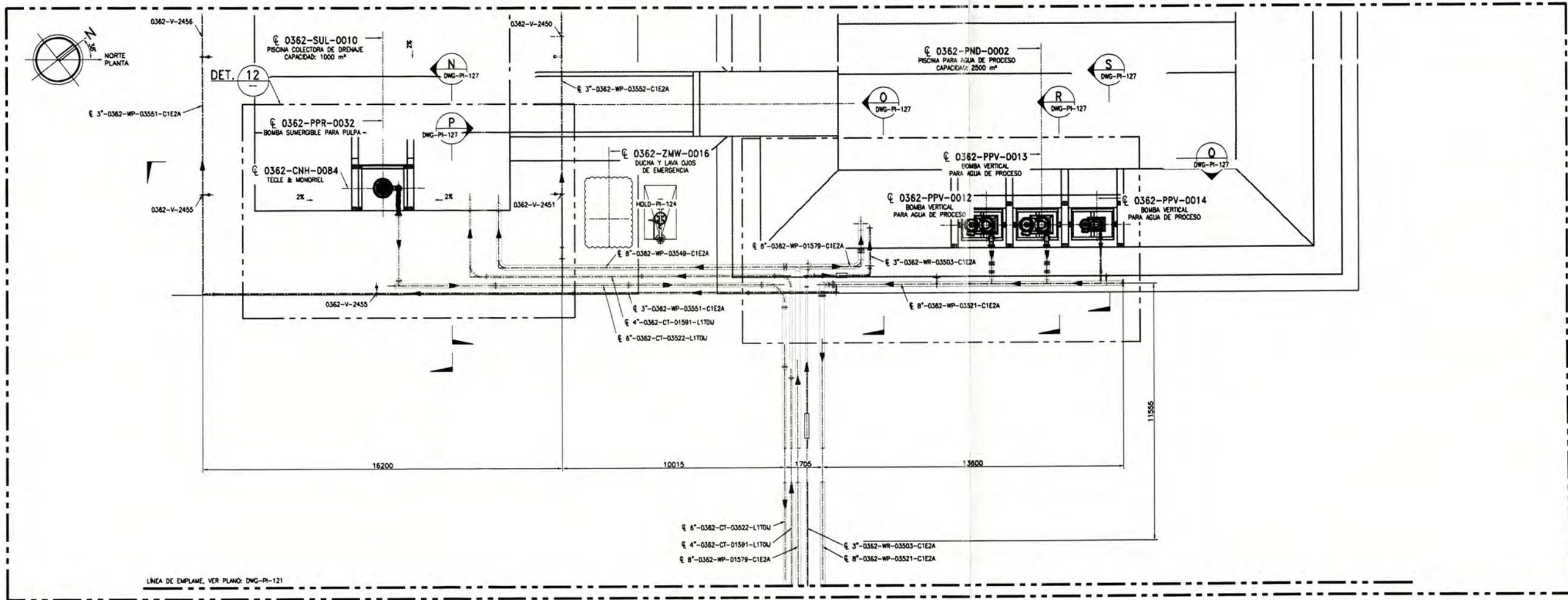
ESCALA INDICADA AUSENCO PSI FORMATO A1 CLIENTE

**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

**ARREGLO GENERAL
ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2)
DETALLES**

CONTRATO N°: PROYECTO N°: PLANO N°: DWG-PI-125

N° TRABAJO: N° CLIENTE:



LISTA DE PENDIENTES
HOLD-PI-124 PENDIENTE UBICACIÓN DE DUCHA Y LAVA OJOS DE ACUERDO AL ANÁLISIS DE RIESGO.

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY.	REVISÓ	SUP/REV.	J. ING.	S. PROY.
03/02/12		EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN					
27/10/11		EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE					
08/08/11		EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA					

PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - BOMBAS SUL Y NET. - SECCIONES
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - TANQUES - PLANTA
	ARREGLO GENERAL - ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - PLANTA
	ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) - PROCESS WATER & SEAL WATER
	ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2) PLATAFORMA

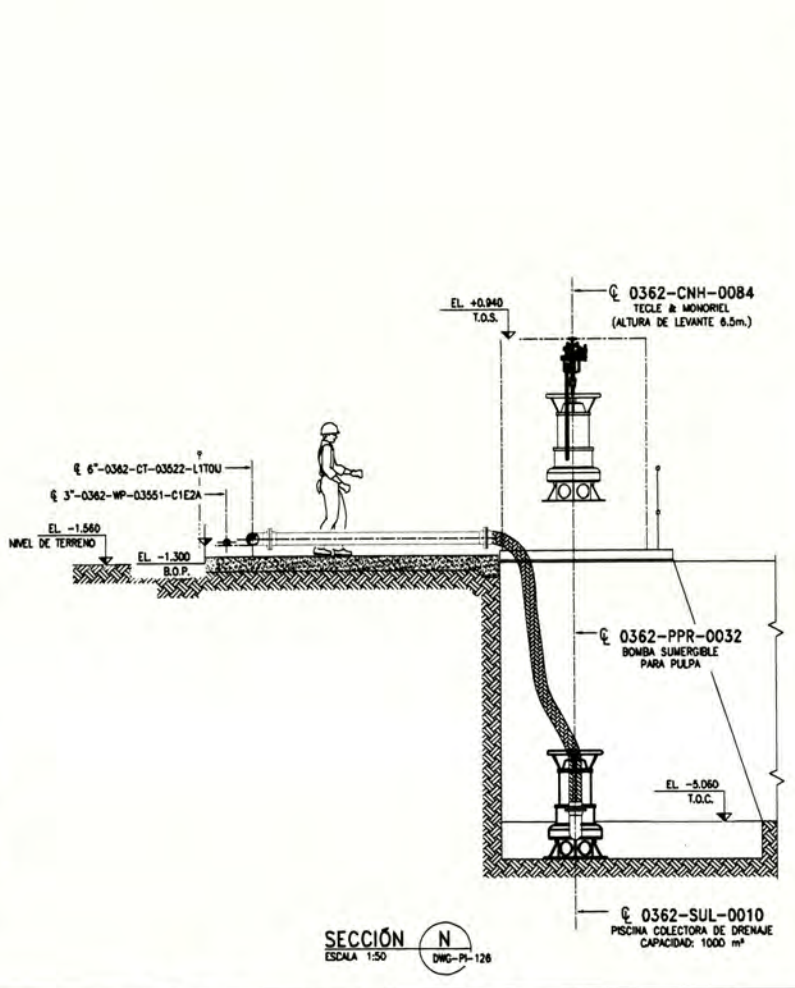
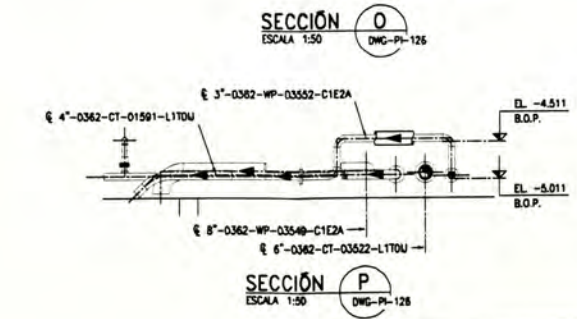
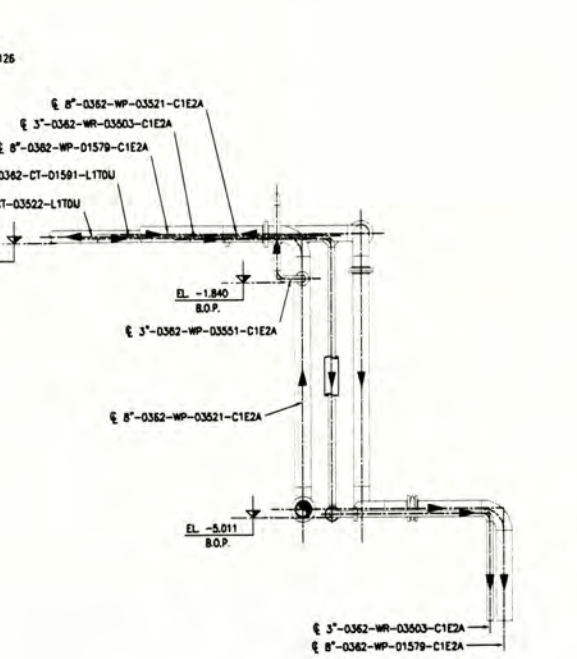
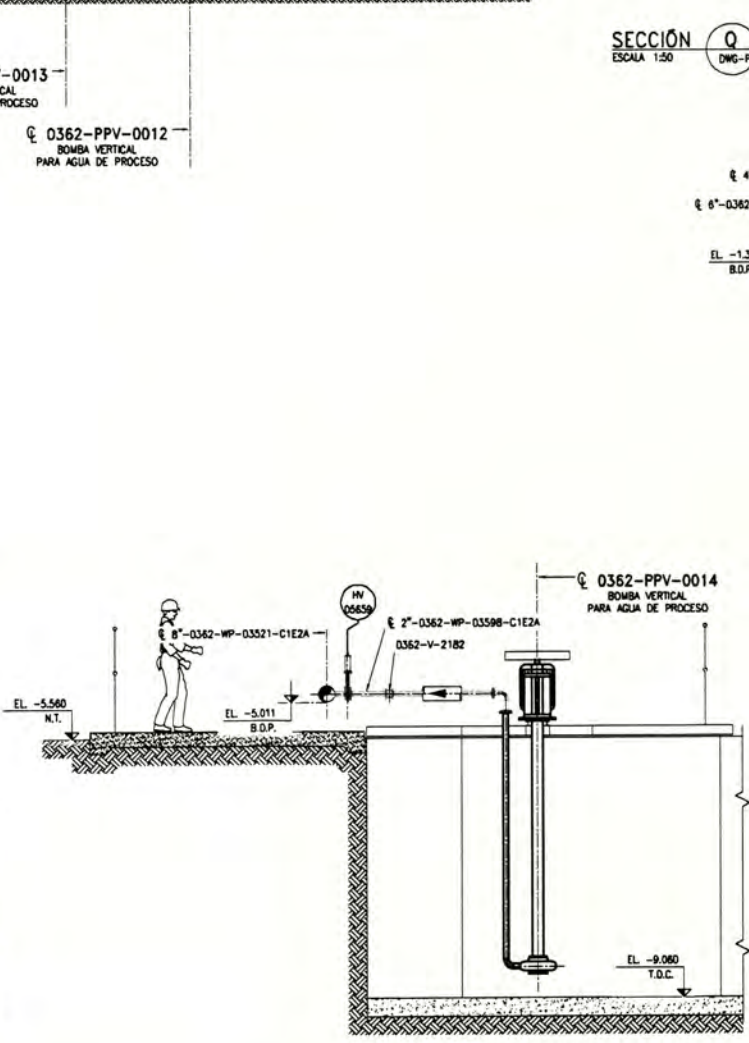
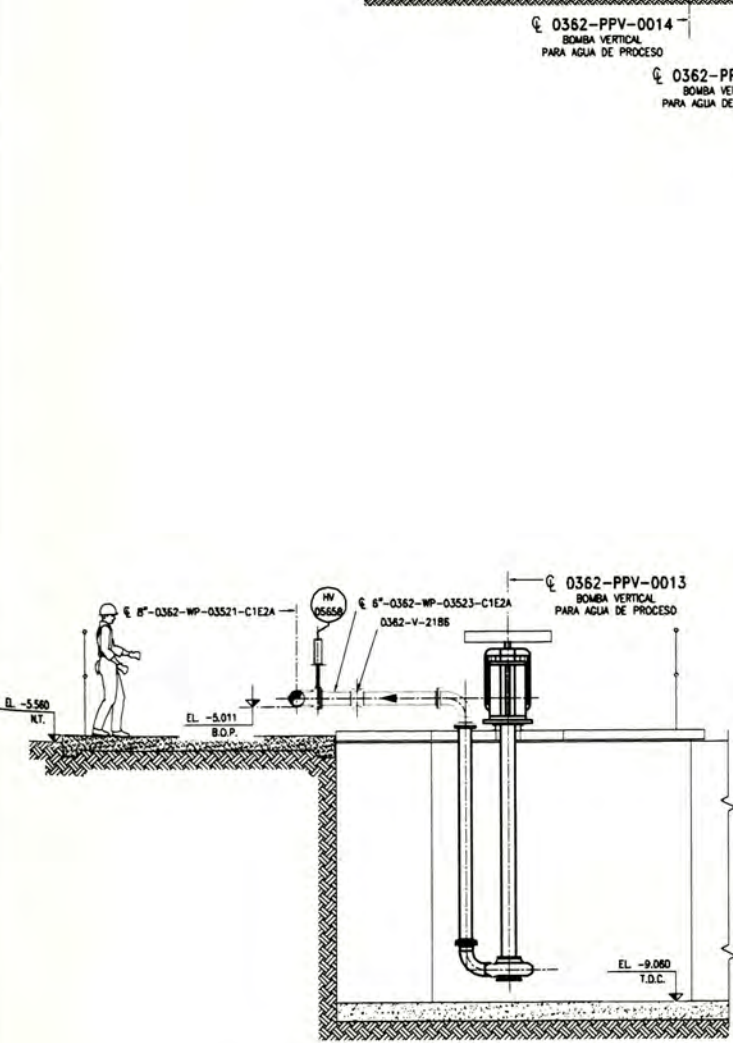
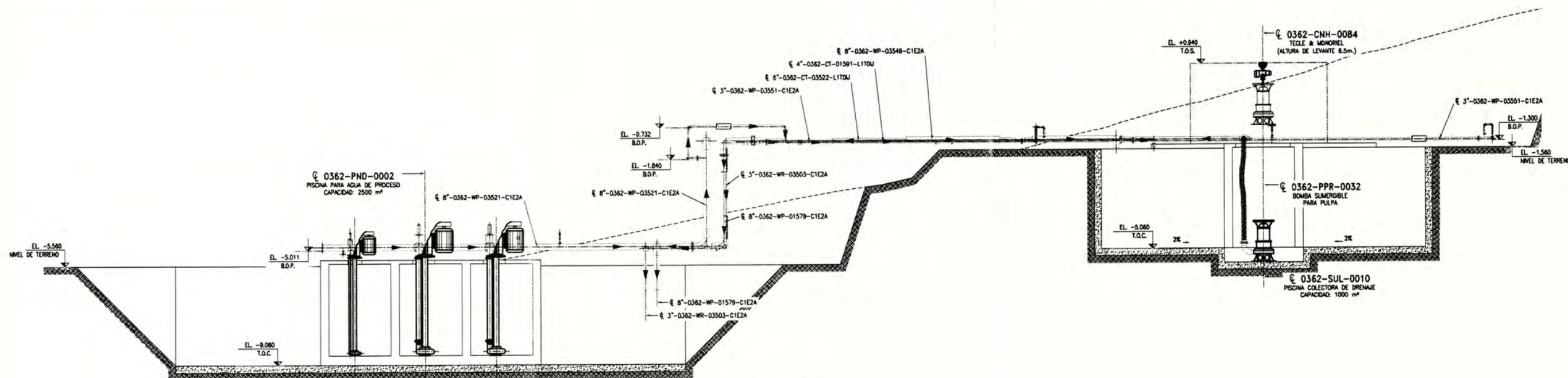
- NOTAS:**
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
 - CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE CONCENTRADO = 0.000m.
 - LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
 - ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3643.500 msnm.
 - LA ORIENTACIÓN Y ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACIÓN SON REFERENCIALES Y DEBERÁN SER VERIFICADOS POR BECHTEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACIÓN.
 - PARA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS: XXXXXX.

FIRMA		FECHA		PROYECTO		REVISÓ		SUP. / REV.		JEFE INGENIERIA		GERENTE PROYECTO		APROBÓ		APROBÓ	
ESCALA		INDICADA		AUSENCO PSI		FORMATO		A1									

**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

**ARREGLO GENERAL
ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2)
BOMBA SUMERGIBLE Y VERTICALES-PLANTA**

CONTRATO N°: _____ PROYECTO N°: _____
N° TRABAJO: _____ PLANO N°: DWG-PI-126
N° CLIENTE: _____



03/02/12	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN
27/10/11	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE
08/08/11	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA

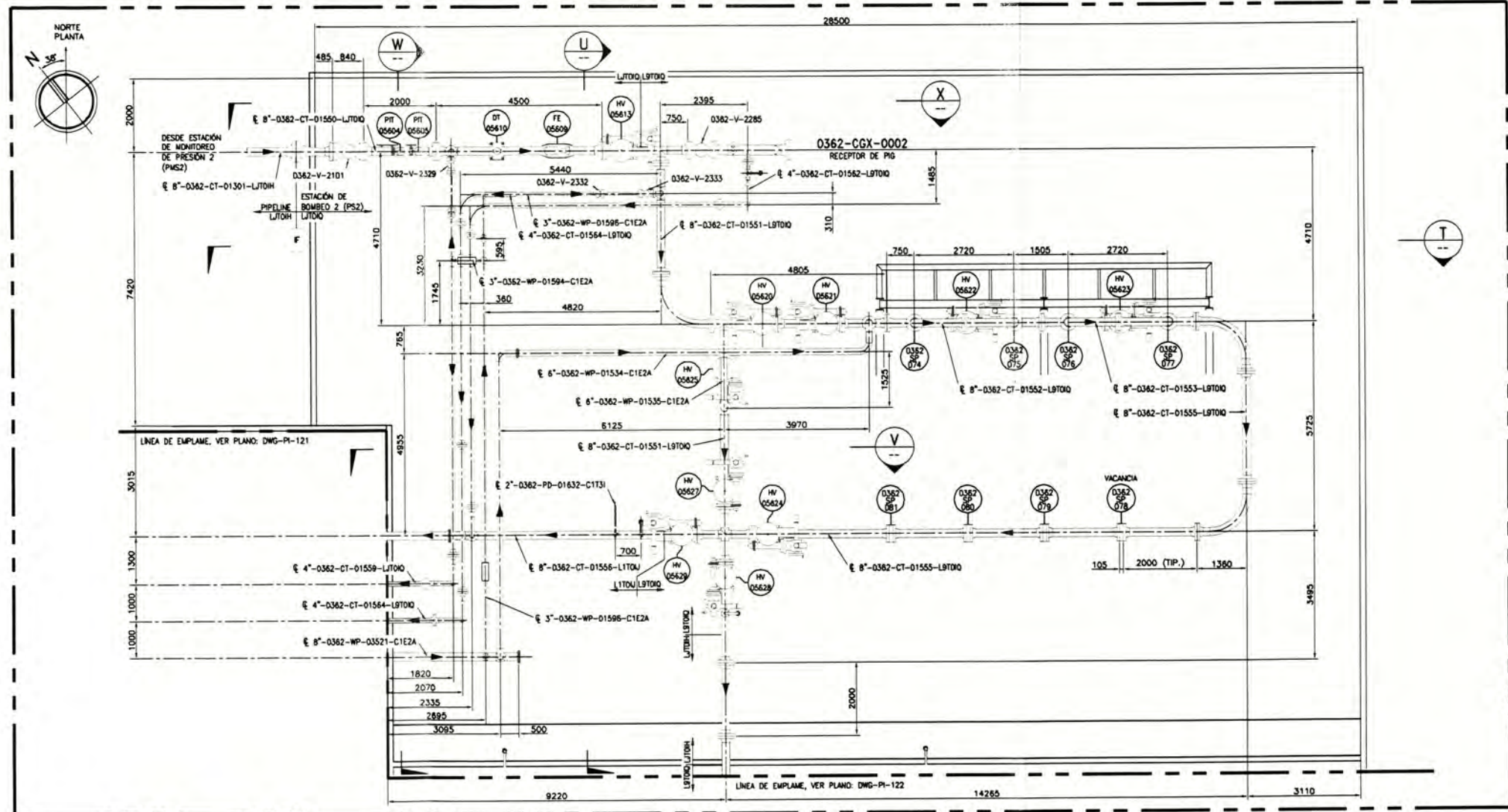
NOTAS:
 1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
 2. CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
 3. LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
 4. ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3643.560 mm.
 5. LA ORIENTACIÓN Y ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACIÓN SON REFERENCIALES Y DEBERÁN SER VERIFICADOS POR BECHTEL DE ACUERDO CON EL DISEÑO CIVIL FINAL DE LA ESTACIÓN.
 6. PARA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS: XXXXX.

FIRMA		NOMBRE	
03/02/12	03/02/12	03/02/12	03/02/12
PROYECTO	REVISÓ	SUP. / REV.	JEFE INGENIERIA
AUSENCO PSI		CLIENTE	
ESCALA	INDICADA	FORMATO	A1

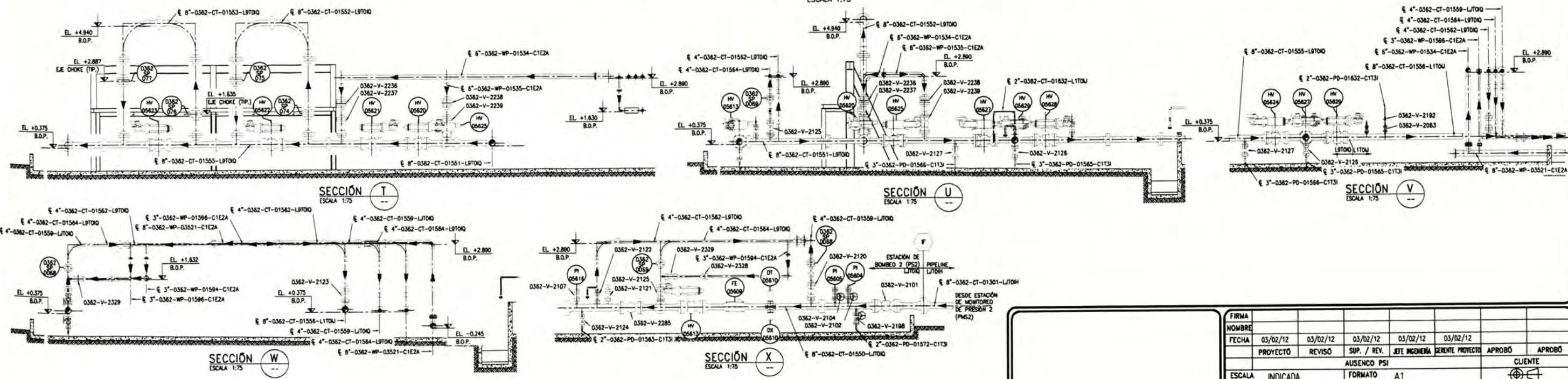
CONCENTRATE PIPELINE
 BASIC & DETAILED ENGINEERING
 ARREGLO GENERAL
 ESTACIÓN DE BOMBEO 2 (PS2)
 BOMBAS SUMERGIBLES Y VERTICALES-SECCIONES

CONTRATO N°: _____ PROYECTO N°: _____
 N° TRABAJO: _____ PLANO N°: DWG-PI-127
 N° CLIENTE: _____

REV 0



PLANTA - ÁREA DE ANILLOS DISIPADORES
ESCALA 1:75



REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY.	REVISÓ	SUP/REV.	J. ING.	G. PROY.	PLANO N°	DOCUMENTOS DE REFERENCIAS
03/02/12		EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN							
27/10/11		EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE							
08/08/11		EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA							

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
2. CONSIDERAR COMO NIVEL REFERENCIAL PARTE SUPERIOR DE LOSA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO = 0.000m.
3. LAS DIMENSIONES DE TODOS LOS EQUIPOS SERÁN VERIFICADOS CON PLANOS DE VENDEDOR.
4. ELEVACIÓN LOCAL +0.000 = 3643.560 msnm.
5. DETALLE DE ANILLOS DISIPADORES REFERIRSE A PLANO PPS588.01-3000-DWG-PI-210.
6. PARA UBICACIÓN DE SOPORTES VER PLANOS: XXXXX.

FIRMA		FECHA		PROYECTO		REVISÓ		SUP. / REV.		Jefe Ingeniería		Gerente Proyecto		Aprobó		Aprobó	
ESCALA		INDICADA		FORMATO		A1											

**CONCENTRATE PIPELINE
BASIC & DETAILED ENGINEERING**

**ARREGLO GENERAL
ESTACION DE BOMBEO 2 (PS2)
ANILLOS DISIPADORES - PLANTA Y SECCIONES**

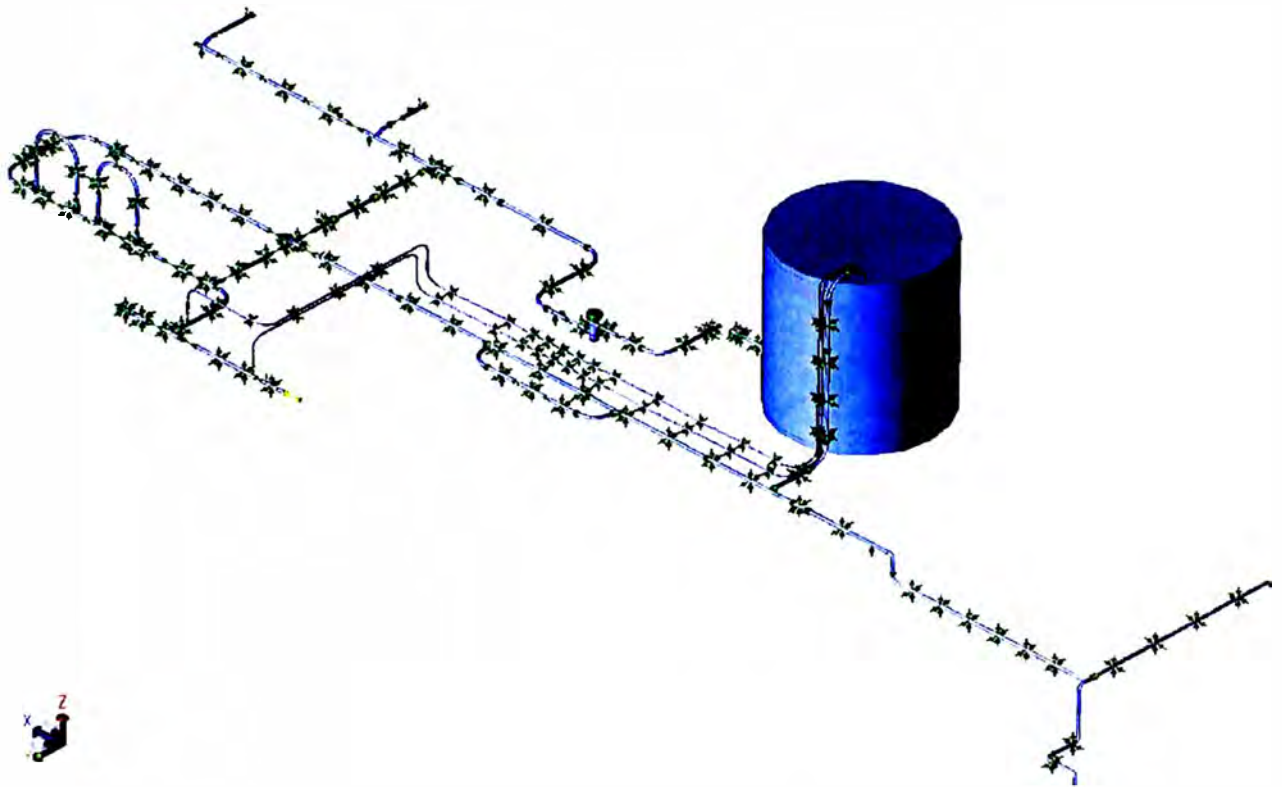
CONTRATO N°:	PROYECTO N°:
N° TRABAJO:	PLANO N°: DWG-PI-128
	N° CLIENTE:

REV 0

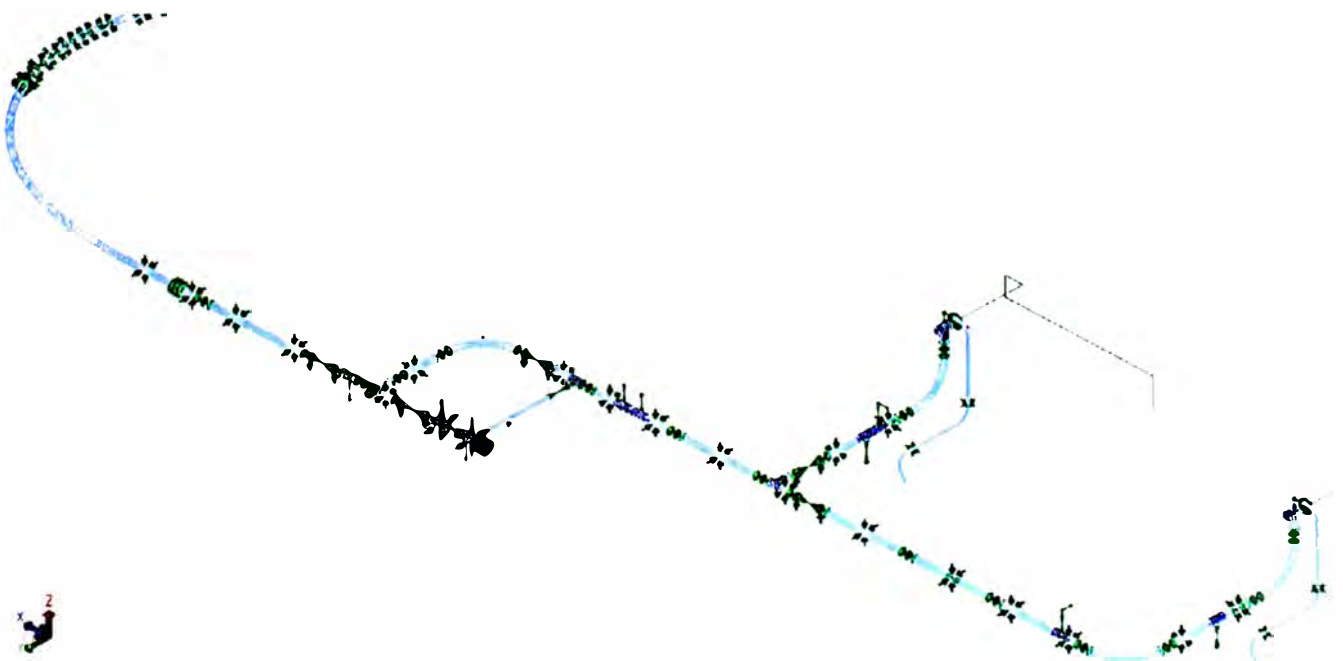
ANEXOS

ANEXO 1: DISPOSICIÓN DE NODOS

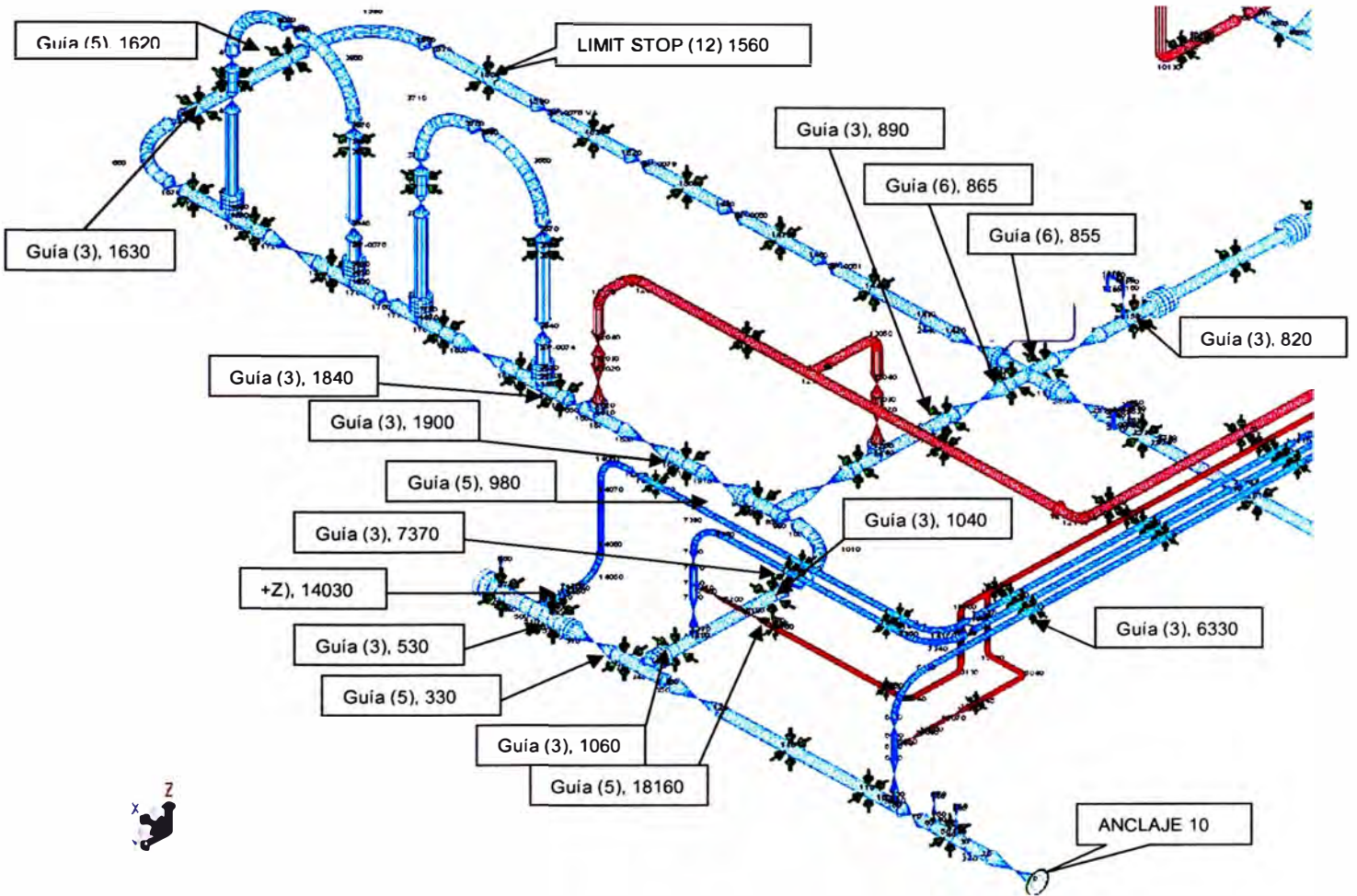
Isométrico de líneas antes de la PDP



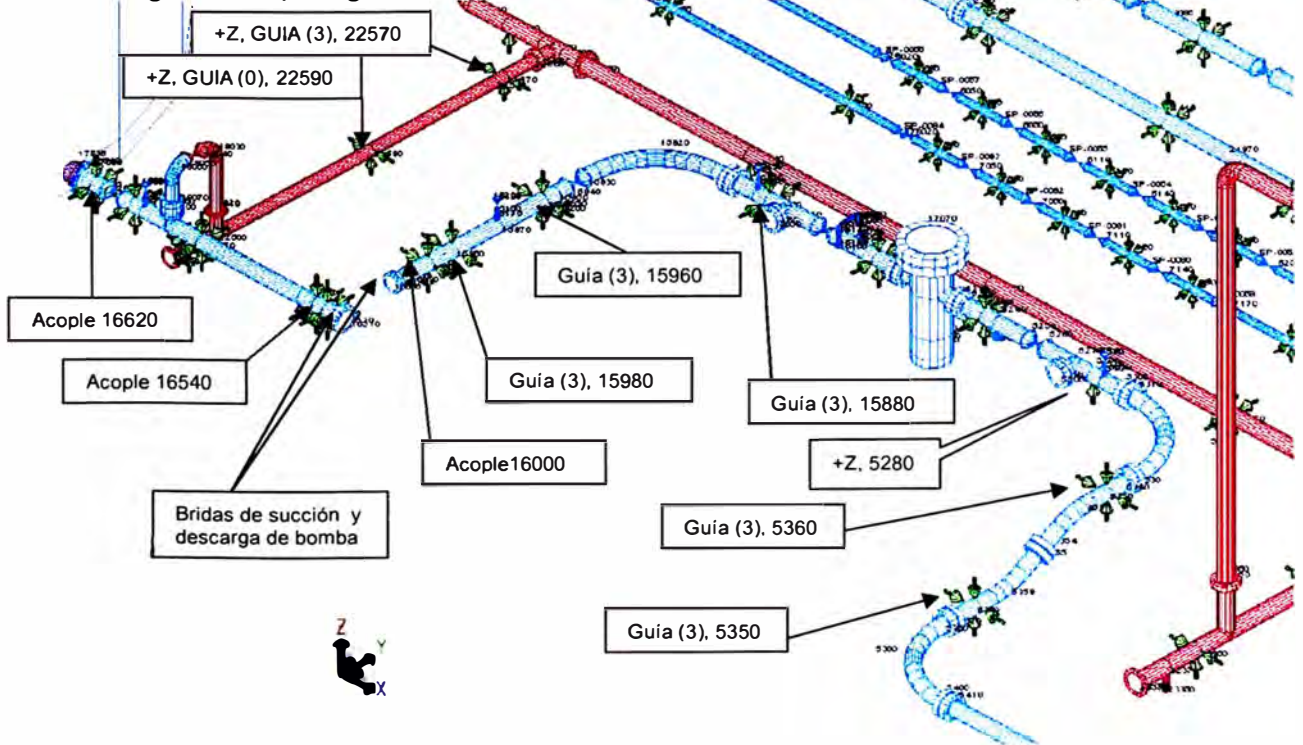
Isométrico de líneas después de la PDP



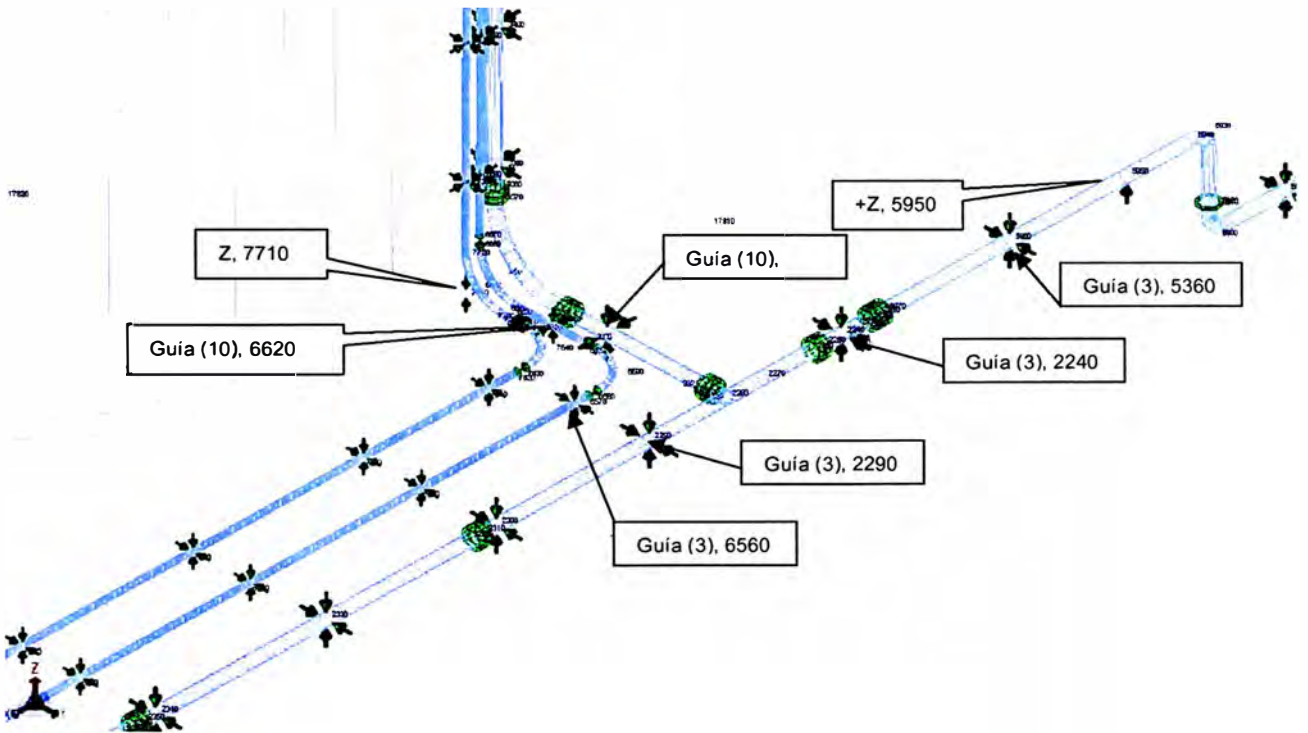
Zona de loops



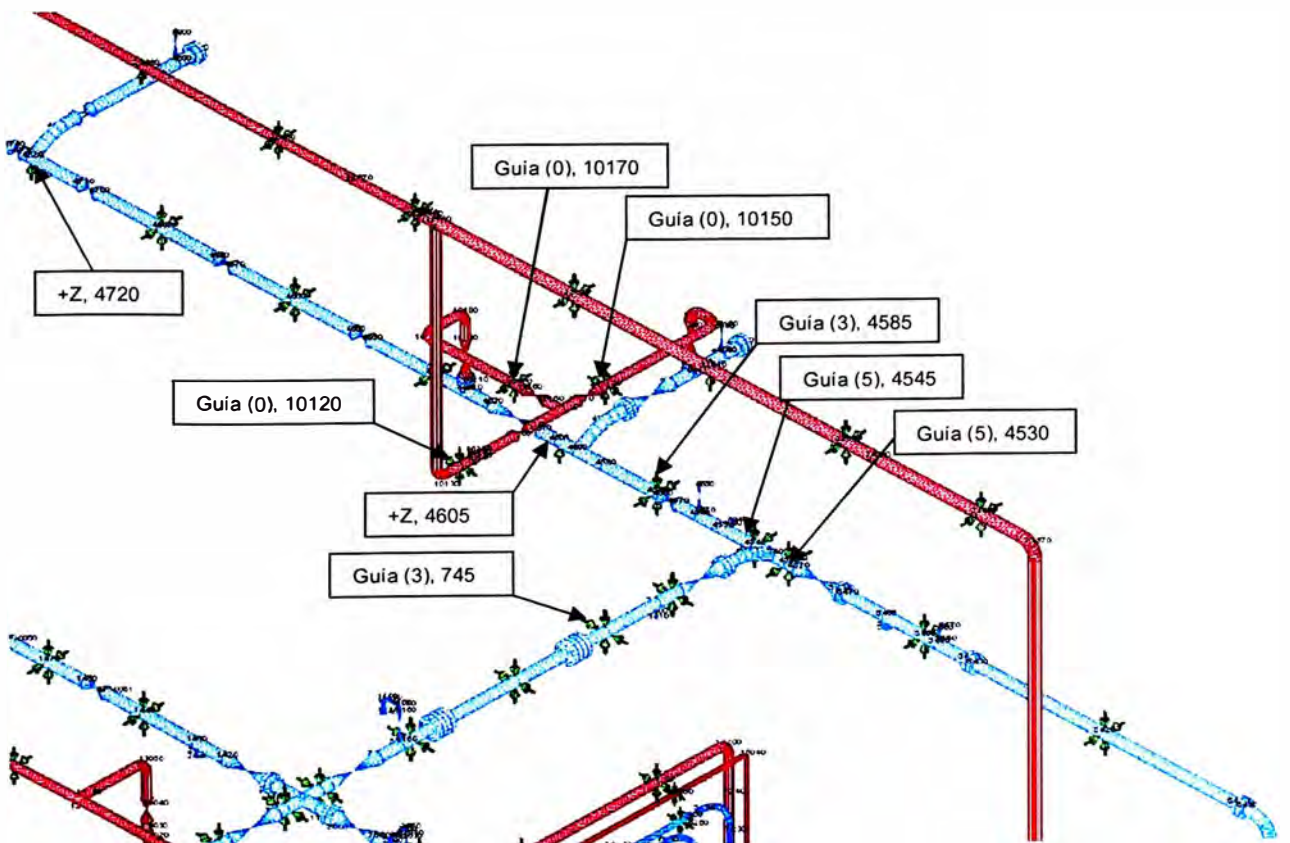
Descarga de tanque agitador



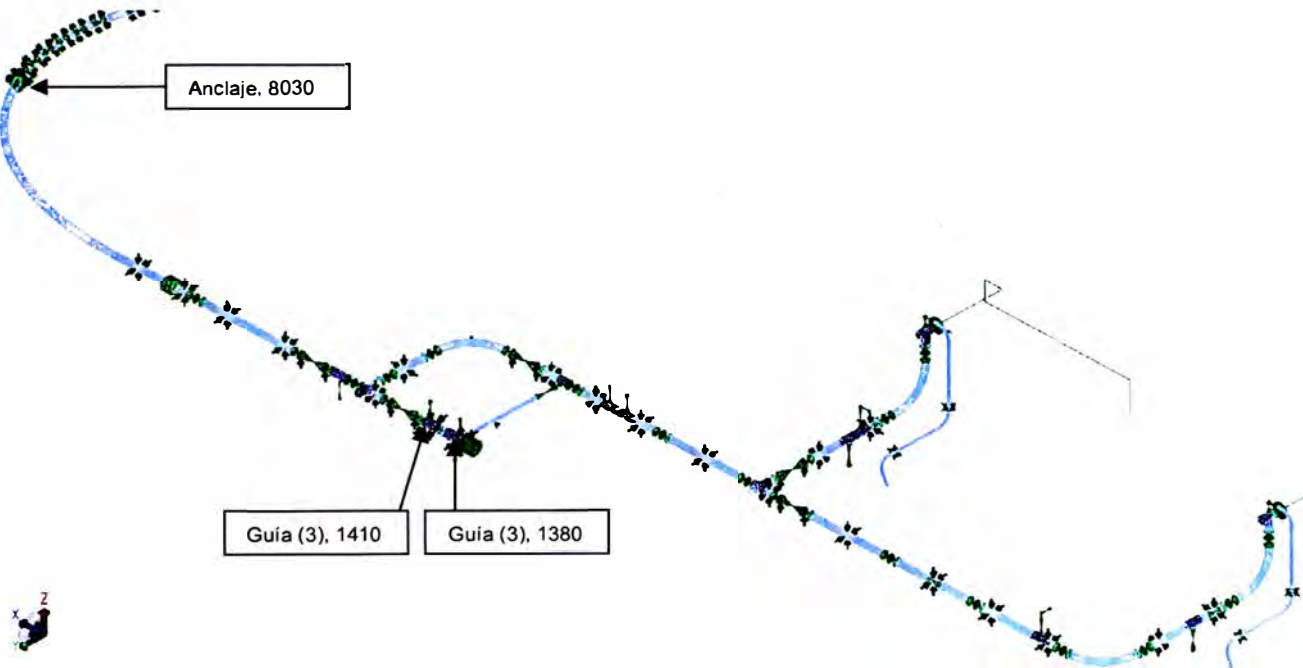
Zona de descarga a tanque agitador



Líneas de succión en la PDP



Lineas de descarga en la PDP



ANEXO 2: ESFUERZOS ADMISIBLES SEGÚN ASME B31.11

CAESAR II 2011 SP1 Ver.5.30.01, (Build 110228) Date: JUL 2, 2012 Time: 8:50
Job: G:\00-UNI 2012 TITULO\00- INFORME\32 MODEL...PUMP STATION 2
Licensed To: PSI PERU S.A.C. - ID #23931
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases-

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP
CASE 2 (OPE) W+T1+P1
CASE 3 (OPE) W+T2+P1
CASE 4 (OPE) W+T3+P2+F1
CASE 5 (OPE) W+T4+P2+F1
CASE 6 (OPE) W+T5+P3+F2+F3
CASE 7 (OPE) W+T6+P3+F2+F3
CASE 8 (OPE) W+T7+P4
CASE 9 (OPE) W+T8+P4
CASE 10 (SUS) W+P1
CASE 11 (SUS) W+P2+F1
CASE 12 (SUS) W+P3
CASE 13 (SUS) W+P4+F1+F2+F3
CASE 14 (OPE) W+T1+P1+U1+U3
CASE 15 (OPE) W+T1+P1+U1+U3
CASE 16 (OPE) W+T1+P1+U1+U3
CASE 17 (OPE) W+T1+P1+U1+U3
CASE 18 (OPE) W+T1+P1+U2+U3
CASE 19 (OPE) W+T1+P1+U2+U3
CASE 20 (OPE) W+T1+P1+U2+U3
CASE 21 (OPE) W+T1+P1+U2+U3
CASE 22 (OPE) W+T2+P1+U1+U3
CASE 23 (OPE) W+T2+P1+U1+U3
CASE 24 (OPE) W+T2+P1+U1+U3
CASE 25 (OPE) W+T2+P1+U1+U3
CASE 26 (OPE) W+T2+P1+U2+U3
CASE 27 (OPE) W+T2+P1+U2+U3
CASE 28 (OPE) W+T2+P1+U2+U3
CASE 29 (OPE) W+T2+P1+U2+U3
CASE 30 (OPE) W+T3+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 31 (OPE) W+T3+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 32 (OPE) W+T3+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 33 (OPE) W+T3+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 34 (OPE) W+T3+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 35 (OPE) W+T3+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 36 (OPE) W+T3+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 37 (OPE) W+T3+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 38 (OPE) W+T4+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 39 (OPE) W+T4+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 40 (OPE) W+T4+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 41 (OPE) W+T4+P2+U1+U3+F1+F3
CASE 42 (OPE) W+T4+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 43 (OPE) W+T4+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 44 (OPE) W+T4+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 45 (OPE) W+T4+P2+U2+U3+F1+F3
CASE 46 (OPE) W+T5+P3+U1+U3
CASE 47 (OPE) W+T5+P3+U1+U3
CASE 48 (OPE) W+T5+P3+U1+U3
CASE 49 (OPE) W+T5+P3+U1+U3
CASE 50 (OPE) W+T5+P3+U2+U3
CASE 51 (OPE) W+T5+P3+U2+U3
CASE 52 (OPE) W+T5+P3+U2+U3
CASE 53 (OPE) W+T5+P3+U2+U3
CASE 54 (OPE) W+T6+P3+U1+U3
CASE 55 (OPE) W+T6+P3+U1+U3
CASE 56 (OPE) W+T6+P3+U1+U3
CASE 57 (OPE) W+T6+P3+U1+U3
CASE 58 (OPE) W+T6+P3+U2+U3
CASE 59 (OPE) W+T6+P3+U2+U3
CASE 60 (OPE) W+T6+P3+U2+U3
CASE 61 (OPE) W+T6+P3+U2+U3
CASE 110 (OCC) L110=L10+L62
CASE 111 (OCC) L111=L10+L63
CASE 112 (OCC) L112=L10+L64
CASE 113 (OCC) L113=L10+L65
CASE 114 (OCC) L114=L10+L66
CASE 115 (OCC) L115=L10+L67
CASE 116 (OCC) L116=L10+L68
CASE 117 (OCC) L117=L10+L69
CASE 118 (OCC) L118=L10+L70
CASE 119 (OCC) L119=L10+L71
CASE 120 (OCC) L120=L10+L72
CASE 121 (OCC) L121=L10+L73
CASE 122 (OCC) L122=L10+L74
CASE 123 (OCC) L123=L10+L75
CASE 124 (OCC) L124=L10+L76
CASE 125 (OCC) L125=L10+L77
CASE 126 (OCC) L126=L11+L78
CASE 127 (OCC) L127=L11+L79
CASE 128 (OCC) L128=L11+L80
CASE 129 (OCC) L129=L11+L81
CASE 130 (OCC) L130=L11+L82
CASE 131 (OCC) L131=L11+L83
CASE 132 (OCC) L132=L11+L84
CASE 133 (OCC) L133=L11+L85
CASE 134 (OCC) L134=L11+L86
CASE 135 (OCC) L135=L11+L87
CASE 136 (OCC) L136=L11+L88
CASE 137 (OCC) L137=L11+L89
CASE 138 (OCC) L138=L11+L90
CASE 139 (OCC) L139=L11+L91
CASE 140 (OCC) L140=L11+L92
CASE 141 (OCC) L141=L11+L93
CASE 142 (OCC) L142=L12+L94
CASE 143 (OCC) L143=L12+L95

CASE 144 (OCC) L144=L12+L96
CASE 145 (OCC) L145=L12+L97
CASE 146 (OCC) L146=L12+L98
CASE 147 (OCC) L147=L12+L99
CASE 148 (OCC) L148=L12+L100
CASE 149 (OCC) L149=L12+L101
CASE 150 (OCC) L150=L12+L102
CASE 151 (OCC) L151=L12+L103
CASE 152 (OCC) L152=L12+L104
CASE 153 (OCC) L153=L12+L105
CASE 154 (OCC) L154=L12+L106
CASE 155 (OCC) L155=L12+L107
CASE 156 (OCC) L156=L12+L108
CASE 157 (OCC) L157=L12+L109
CASE 158 (EXP) L158=L2-L10
CASE 159 (EXP) L159=L3-L10
CASE 160 (EXP) L160=L4-L11
CASE 161 (EXP) L161=L5-L11
CASE 162 (EXP) L162=L6-L12
CASE 163 (EXP) L163=L7-L12
CASE 164 (EXP) L164=L8-L13
CASE 165 (EXP) L165=L9-L13

Piping Code: Multiple Codes
B31.11 = B31.11-2002, May 30, 2003
B31.3 = B31.3-2008, December 31, 2008

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 1 (HYD) WW+HP

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 1 (HYD) WW+HP
CodeStressRatio (%): 80.8 @Node 30090
Code Stress: 325803.3 Allowable: 403352.3
Axial Stress: 303033.1 @Node 30011
Bending Stress: 39245.5 @Node 40
Torsion Stress: 5350.0 @Node 20130
Hoop Stress: 624712.2 @Node 30011
3D Max Intensity: 682944.6 @Node 30011

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 2 (OPE) W+T1+P1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 2 (OPE) W+T1+P1
OPE Stress Ratio (%): 25.3 @Node 6620
OPE Stress: 54856.8 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 77474.2 @Node 5929
Torsion Stress: 5501.0 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.1 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 3 (OPE) W+T2+P1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 3 (OPE) W+T2+P1
OPE Stress Ratio (%): 33.3 @Node 2280
OPE Stress: 72276.8 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 151536.1 @Node 5930
Torsion Stress: 9135.3 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338415.7 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 4 (OPE) W+T3+P2+F1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 4 (OPE) W+T3+P2+F1
OPE Stress Ratio (%): 25.3 @Node 6620
OPE Stress: 54856.8 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 53503.9 @Node 6620
Torsion Stress: 5475.6 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.1 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 5 (OPE) W+T4+P2+F1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 5 (OPE) W+T4+P2+F1
OPE Stress Ratio (%): 26.4 @Node 6620
OPE Stress: 57265.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 117709.0 @Node 1870
Torsion Stress: 11386.8 @Node 12049
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338415.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 6 (OPE) W+T5+P3+F2+F3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 6 (OPE) W+T5+P3+F2+F3
OPE Stress Ratio (%): 10.4 @Node 17810
OPE Stress: 22553.7 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 52042.2 @Node 6620
Torsion Stress: 5470.3 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.7 @Node 30011

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 7 (OPE) W+T6+P3+F2+F3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 7 (OPE) W+T6+P3+F2+F3
OPE Stress Ratio (%): 17.5 @Node 4540
OPE Stress: 56239.3 Allowable: 322207.3
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 88238.0 @Node 20110
Torsion Stress: 8638.5 @Node 7430
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.1 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 8 (OPE) W+T7+P4

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 8 (OPE) W+T7+P4
OPE Stress Ratio (%): 25.3 @Node 6620
OPE Stress: 54856.8 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 25221.5 @Node 17860
Bending Stress: 79156.5 @Node 5929
Torsion Stress: 5501.3 @Node 20130
Hoop Stress: 52186.1 @Node 17820
3D Max Intensity: 82281.5 @Node 5929

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 9 (OPE) W+T8+P4

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 9 (OPE) W+T8+P4
OPE Stress Ratio (%): 55.0 @Node 340
OPE Stress: 177250.8 Allowable: 322207.3
Axial Stress: 31232.8 @Node 30063
Bending Stress: 173248.0 @Node 340
Torsion Stress: 15849.8 @Node 7430
Hoop Stress: 52186.1 @Node 17820
3D Max Intensity: 177249.2 @Node 340

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 10 (SUS) W+P1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 10 (SUS) W+P1
CodeStress Ratio (%): 76.5 @Node 30090
Code Stress: 185172.7 Allowable: 242011.4
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 49663.7 @Node 40
Torsion Stress: 5351.3 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.7 @Node 30011

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 11 (SUS) W+P2+F1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 11 (SUS) W+P2+F1
CodeStress Ratio (%): 76.5 @Node 30090
Code Stress: 185166.2 Allowable: 242011.4
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 49655.7 @Node 40
Torsion Stress: 5349.2 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.7 @Node 30011

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 12 (SUS) W+P3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 12 (SUS) W+P3
CodeStress Ratio (%): 76.5 @Node 30090
Code Stress: 185172.7 Allowable: 242011.4
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 49663.7 @Node 40
Torsion Stress: 5351.3 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.7 @Node 30011

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 13 (SUS) W+P4+F1+F2+F3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 13 (SUS) W+P4+F1+F2+F3
CodeStress Ratio (%): 62.3 @Node 6620
Code Stress: 81187.7 Allowable: 130310.9
Axial Stress: 75512.5 @Node 7030
Bending Stress: 93107.3 @Node 860
Torsion Stress: 5402.8 @Node 20118
Hoop Stress: 52186.1 @Node 17820
3D Max Intensity: 93201.4 @Node 860

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 14 (OPE) W+T1+P1+U1+U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 14 (OPE) W+T1+P1+U1+U3
OPE Stress Ratio (%): 35.9 @Node 6620
OPE Stress: 78022.9 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 103051.3 @Node 20110
Torsion Stress: 14372.8 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.1 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 15 (OPE) W+T1+P1+U1-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 15 (OPE) W+T1+P1+U1-U3
OPE Stress Ratio (%): 42.7 @Node 6620
OPE Stress: 92806.5 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 102870.3 @Node 20110
Torsion Stress: 14445.4 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.2 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 16 (OPE) W+T1+P1+U1+U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 16 (OPE) W+T1+P1+U1+U3
OPE Stress Ratio (%): 35.3 @Node 6620
OPE Stress: 76591.7 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 82015.8 @Node 860
Torsion Stress: 8820.2 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 17 (OPE) W+T1+P1+U1-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 17 (OPE) W+T1+P1+U1-U3
OPE Stress Ratio (%): 42.0 @Node 6620
OPE Stress: 91303.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 90239.8 @Node 6620
Torsion Stress: 8797.2 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.0 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 18 (OPE) W+T1+P1+U2+U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 18 (OPE) W+T1+P1+U2+U3
OPE Stress Ratio (%): 35.9 @Node 6620
OPE Stress: 77896.3 Allowable: 217184.8

Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 79287.0 @Node 6380
Torsion Stress: 9020.9 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338418.5 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 19 (OPE) W+T1+P1+U2-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 19 (OPE) W+T1+P1+U2-U3
OPE Stress Ratio (%): 42.7 @Node 6620
OPE Stress: 92681.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 91353.1 @Node 6620
Torsion Stress: 9078.6 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338418.7 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 20 (OPE) W+T1+P1-U2-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 20 (OPE) W+T1+P1-U2-U3
OPE Stress Ratio (%): 42.0 @Node 6620
OPE Stress: 91261.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 89998.2 @Node 6620
Torsion Stress: 7200.0 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338426.0 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 21 (OPE) W+T1+P1-U2+U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 21 (OPE) W+T1+P1-U2+U3
OPE Stress Ratio (%): 35.2 @Node 6620
OPE Stress: 76519.0 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 75576.0 @Node 6620
Torsion Stress: 7126.3 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338424.6 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 22 (OPE) W+T2+P1+U1+U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 22 (OPE) W+T2+P1+U1+U3
OPE Stress Ratio (%): 32.1 @Node 2280
OPE Stress: 69804.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 119340.0 @Node 5930
Torsion Stress: 11595.9 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 23 (OPE) W+T2+P1+U1-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 23 (OPE) W+T2+P1+U1-U3
OPE Stress Ratio (%): 38.5 @Node 6620
OPE Stress: 83556.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 117382.8 @Node 5929
Torsion Stress: 11558.4 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 24 (OPE) W+T2+P1-U1+U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 24 (OPE) W+T2+P1-U1+U3
OPE Stress Ratio (%): 44.0 @Node 2280
OPE Stress: 95515.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 153767.7 @Node 20110
Torsion Stress: 20120.1 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.0 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 25 (OPE) W+T2+P1-U1-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 25 (OPE) W+T2+P1-U1-U3
OPE Stress Ratio (%): 48.4 @Node 2280
OPE Stress: 105010.9 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 153922.0 @Node 20110
Torsion Stress: 20041.4 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 26 (OPE) W+T2+P1+U2+U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 26 (OPE) W+T2+P1+U2+U3
OPE Stress Ratio (%): 43.1 @Node 6380
OPE Stress: 138831.1 Allowable: 322207.3
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 138159.2 @Node 6380
Torsion Stress: 14016.5 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338423.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 27 (OPE) W+T2+P1+U2-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 27 (OPE) W+T2+P1+U2-U3
OPE Stress Ratio (%): 44.6 @Node 6380
OPE Stress: 143682.8 Allowable: 322207.3
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 143009.3 @Node 6380
Torsion Stress: 13976.5 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338424.3 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 28 (OPE) W+T2+P1-U2-U3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 28 (OPE) W+T2+P1-U2-U3
OPE Stress Ratio (%): 37.5 @Node 6620
OPE Stress: 81474.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 104606.8 @Node 5929
Torsion Stress: 15693.6 @Node 20118

Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338419.3 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 29 (OPE) W+T2+P1-U2+U3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 29 (OPE) W+T2+P1-U2+U3
OPE Stress Ratio (%): 31.0 @Node 2280
OPE Stress: 67423.3 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 106373.8 @Node 5929
Torsion Stress: 15735.3 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338418.6 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 30 (OPE) W+T3+P2+U1+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 30 (OPE) W+T3+P2+U1+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 35.9 @Node 6620
OPE Stress: 78022.9 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 101431.7 @Node 860
Torsion Stress: 12197.3 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.1 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 31 (OPE) W+T3+P2+U1-U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 31 (OPE) W+T3+P2+U1-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 42.7 @Node 6620
OPE Stress: 92806.5 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 101358.4 @Node 860
Torsion Stress: 12284.7 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.3 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 32 (OPE) W+T3+P2-U1+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 32 (OPE) W+T3+P2-U1+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 35.3 @Node 6620
OPE Stress: 76591.7 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 83614.5 @Node 860
Torsion Stress: 8819.4 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.0 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 33 (OPE) W+T3+P2-U1-U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 33 (OPE) W+T3+P2-U1-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 42.0 @Node 6620
OPE Stress: 91303.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 90239.8 @Node 6620
Torsion Stress: 8796.5 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.1 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 34 (OPE) W+T3+P2+U2+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 34 (OPE) W+T3+P2+U2+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 35.9 @Node 6620
OPE Stress: 77896.3 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 94340.5 @Node 860
Torsion Stress: 10287.4 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338418.3 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 35 (OPE) W+T3+P2-U2-U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 35 (OPE) W+T3+P2-U2-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 42.7 @Node 6620
OPE Stress: 92681.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 94232.3 @Node 860
Torsion Stress: 10374.4 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338418.4 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 36 (OPE) W+T3+P2-U2-U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 36 (OPE) W+T3+P2-U2-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 42.0 @Node 6620
OPE Stress: 91261.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 95993.9 @Node 860
Torsion Stress: 8914.7 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338426.3 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 37 (OPE) W+T3+P2-U2+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 37 (OPE) W+T3+P2-U2+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 35.2 @Node 6620
OPE Stress: 76519.0 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 95975.2 @Node 860
Torsion Stress: 8825.0 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338424.9 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 38 (OPE) W+T4+P2+U1+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 38 (OPE) W+T4+P2+U1+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 31.7 @Node 6620
OPE Stress: 68821.4 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 107388.4 @Node 860
Torsion Stress: 8817.8 @Node 12049
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.0 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 39 (OPE) W+T4+P2+U1-U3+F1+F3

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 39 (OPE) W+T4+P2+U1-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 38.5 @Node 6620
OPE Stress: 83556.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 107536.9 @Node 1870
Torsion Stress: 8857.4 @Node 12049
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.9 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 40 (OPE) W+T4+P2-U1+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 40 (OPE) W+T4+P2-U1+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 30.7 @Node 6620
OPE Stress: 66581.4 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 121253.4 @Node 1870
Torsion Stress: 13606.3 @Node 12049
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.1 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 41 (OPE) W+T4+P2-U1-U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 41 (OPE) W+T4+P2-U1-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 30.7 @Node 6620
OPE Stress: 66581.4 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 123544.4 @Node 1870
Torsion Stress: 13651.9 @Node 12049
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338414.0 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 42 (OPE) W+T4+P2+U2+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 42 (OPE) W+T4+P2+U2+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 44.5 @Node 910
OPE Stress: 96625.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 132767.8 @Node 6380
Torsion Stress: 13707.4 @Node 12049
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338424.4 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 43 (OPE) W+T4+P2+U2-U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 43 (OPE) W+T4+P2+U2-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 44.5 @Node 910
OPE Stress: 96586.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 137593.4 @Node 6380
Torsion Stress: 13736.7 @Node 12049
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338424.8 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 44 (OPE) W+T4+P2-U2-U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 44 (OPE) W+T4+P2-U2-U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 37.5 @Node 6620
OPE Stress: 81474.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 110225.1 @Node 1870
Torsion Stress: 10401.7 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338418.9 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 45 (OPE) W+T4+P2-U2+U3+F1+F3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 45 (OPE) W+T4+P2-U2+U3+F1+F3
OPE Stress Ratio (%): 30.7 @Node 6620
OPE Stress: 66670.6 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
Bending Stress: 107936.3 @Node 1870
Torsion Stress: 10439.0 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338418.3 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 46 (OPE) W+T5+P3+U1+U3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 46 (OPE) W+T5+P3+U1+U3
OPE Stress Ratio (%): 17.2 @Node 4780
OPE Stress: 55355.7 Allowable: 322207.3
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 78385.9 @Node 40
Torsion Stress: 11820.3 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.8 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 47 (OPE) W+T5+P3+U1-U3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 47 (OPE) W+T5+P3+U1-U3
OPE Stress Ratio (%): 21.7 @Node 7780
OPE Stress: 47097.1 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 93380.4 @Node 40
Torsion Stress: 11901.5 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.9 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 48 (OPE) W+T5+P3-U1+U3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 48 (OPE) W+T5+P3-U1+U3
OPE Stress Ratio (%): 14.9 @Node 17810
OPE Stress: 32413.7 Allowable: 217184.8
Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
Bending Stress: 81084.2 @Node 860
Torsion Stress: 8820.2 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 338413.8 @Node 30090
CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 49 (OPE) W+T5+P3-U1-U3
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 49 (OPE) W+T5+P3-U1-U3
OPE Stress Ratio (%): 21.7 @Node 7780
OPE Stress: 47097.1 Allowable: 217184.8

Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
 Bending Stress: 87390.3 @Node 6620
 Torsion Stress: 8797.2 @Node 19030
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338413.8 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 50 (OPE) W+T5+P3+U2+U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 50 (OPE) W+T5+P3+U2+U3
 OPE Stress Ratio (%): 23.3 @Node 910
 OPE Stress: 50514.0 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
 Bending Stress: 87837.9 @Node 6380
 Torsion Stress: 6307.1 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338419.8 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 51 (OPE) W+T5+P3+U2-U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 51 (OPE) W+T5+P3+U2-U3
 OPE Stress Ratio (%): 23.0 @Node 910
 OPE Stress: 50058.3 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
 Bending Stress: 94604.7 @Node 6380
 Torsion Stress: 6325.4 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338420.1 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 52 (OPE) W+T5+P3-U2-U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 52 (OPE) W+T5+P3-U2-U3
 OPE Stress Ratio (%): 33.5 @Node 910
 OPE Stress: 72671.5 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
 Bending Stress: 87217.3 @Node 6620
 Torsion Stress: 6145.0 @Node 20130
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338424.0 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 53 (OPE) W+T5+P3-U2+U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 53 (OPE) W+T5+P3-U2+U3
 OPE Stress Ratio (%): 32.8 @Node 910
 OPE Stress: 71177.1 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 154276.2 @Node 30063
 Bending Stress: 72750.7 @Node 6620
 Torsion Stress: 4981.1 @Node 20130
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338422.8 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 54 (OPE) W+T6+P3-U1+U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 54 (OPE) W+T6+P3-U1+U3
 OPE Stress Ratio (%): 21.6 @Node 4540
 OPE Stress: 69459.4 Allowable: 322207.3
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 92659.5 @Node 340
 Torsion Stress: 7541.8 @Node 7430
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338413.8 @Node 30122
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 55 (OPE) W+T6+P3-U1-U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 55 (OPE) W+T6+P3-U1-U3
 OPE Stress Ratio (%): 21.7 @Node 7780
 OPE Stress: 47097.1 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 105002.0 @Node 340
 Torsion Stress: 7811.1 @Node 7430
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338413.8 @Node 30122
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 56 (OPE) W+T6+P3-U1+U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 56 (OPE) W+T6+P3-U1+U3
 OPE Stress Ratio (%): 18.6 @Node 4540
 OPE Stress: 59983.2 Allowable: 322207.3
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 123561.3 @Node 20110
 Torsion Stress: 17165.5 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338413.8 @Node 30122
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 57 (OPE) W+T6+P3-U1-U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 57 (OPE) W+T6+P3-U1-U3
 OPE Stress Ratio (%): 21.7 @Node 7780
 OPE Stress: 47097.1 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 124038.6 @Node 20110
 Torsion Stress: 17121.3 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338413.8 @Node 30122
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 58 (OPE) W+T6+P3-U2+U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 58 (OPE) W+T6+P3-U2+U3
 OPE Stress Ratio (%): 37.7 @Node 910
 OPE Stress: 81911.2 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 125461.8 @Node 340
 Torsion Stress: 10044.4 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338421.0 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 59 (OPE) W+T6+P3-U2-U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 59 (OPE) W+T6+P3-U2-U3
 OPE Stress Ratio (%): 37.7 @Node 910
 OPE Stress: 81774.6 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 131114.1 @Node 340
 Torsion Stress: 10186.9 @Node 7430
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338421.3 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 60 (OPE) W+T6+P3-U2-U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 60 (OPE) W+T6+P3-U2-U3
 OPE Stress Ratio (%): 28.7 @Node 7780
 OPE Stress: 62245.1 Allowable: 217184.8
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 87096.9 @Node 340
 Torsion Stress: 11967.4 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338421.9 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 61 (OPE) W+T6+P3-U2+U3
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 61 (OPE) W+T6+P3-U2+U3
 OPE Stress Ratio (%): 23.6 @Node 4540
 OPE Stress: 76191.5 Allowable: 322207.3
 Axial Stress: 149937.7 @Node 30011
 Bending Stress: 77124.1 @Node 6380
 Torsion Stress: 12006.8 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 338421.0 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 110 (OCC) L110=L10+L62
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 110 (OCC) L110=L10+L62
 CodeStress Ratio (%): 53.1 @Node 1050
 Code Stress: 112720.1 Allowable: 212358.5
 Axial Stress: 152816.7 @Node 30090
 Bending Stress: 89940.6 @Node 860
 Torsion Stress: 10033.4 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 364051.5 @Node 30099
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 111 (OCC) L111=L10+L63
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 111 (OCC) L111=L10+L63
 CodeStress Ratio (%): 55.3 @Node 30090
 Code Stress: 218022.7 Allowable: 394388.9
 Axial Stress: 152714.5 @Node 30090
 Bending Stress: 89600.3 @Node 860
 Torsion Stress: 10105.9 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 371263.7 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 112 (OCC) L112=L10+L64
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 112 (OCC) L112=L10+L64
 CodeStress Ratio (%): 53.4 @Node 1050
 Code Stress: 113419.0 Allowable: 212358.5
 Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
 Bending Stress: 70717.5 @Node 6620
 Torsion Stress: 8468.2 @Node 19030
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 344277.8 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 113 (OCC) L113=L10+L65
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 113 (OCC) L113=L10+L65
 CodeStress Ratio (%): 54.6 @Node 1050
 Code Stress: 115934.6 Allowable: 212358.5
 Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
 Bending Stress: 85137.1 @Node 6620
 Torsion Stress: 8445.3 @Node 19030
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 344062.9 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 114 (OCC) L114=L10+L66
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 114 (OCC) L114=L10+L66
 CodeStress Ratio (%): 66.4 @Node 910
 Code Stress: 140908.4 Allowable: 212358.5
 Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
 Bending Stress: 103320.7 @Node 6380
 Torsion Stress: 4681.4 @Node 20118
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 355870.6 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 115 (OCC) L115=L10+L67
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 115 (OCC) L115=L10+L67
 CodeStress Ratio (%): 66.1 @Node 910
 Code Stress: 140366.3 Allowable: 212358.5
 Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
 Bending Stress: 109518.4 @Node 6380
 Torsion Stress: 5421.7 @Node 20130
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 362249.8 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 116 (OCC) L116=L10+L68
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 116 (OCC) L116=L10+L68
 CodeStress Ratio (%): 65.4 @Node 910
 Code Stress: 138940.8 Allowable: 212358.5
 Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
 Bending Stress: 94071.3 @Node 6380
 Torsion Stress: 5880.0 @Node 20130
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 362434.5 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 117 (OCC) L117=L10+L69
 Highest Stresses: (KPa)LOADCASE 117 (OCC) L117=L10+L69
 CodeStress Ratio (%): 65.2 @Node 910
 Code Stress: 138407.3 Allowable: 212358.5
 Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
 Bending Stress: 96160.3 @Node 6380
 Torsion Stress: 4713.3 @Node 20130
 Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
 3D Max Intensity: 355974.3 @Node 30090
 CODE STRESS CHECK PASSED :LOADCASE 118 (OCC) L118=L10+L70

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 118 (OCC) L118=L10+L70
CodeStress Ratio (%): 54.4 @Node 1050
Code Stress: 115442.6 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 74637.2 @Node 6620
Torsion Stress: 5738.0 @Node 10190
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 353042.4 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 119 (OCC) L119=L10+L71

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 119 (OCC) L119=L10+L71
CodeStress Ratio (%): 54.3 @Node 1050
Code Stress: 115317.4 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 84289.5 @Node 6620
Torsion Stress: 6880.3 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 357647.8 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 120 (OCC) L120=L10+L72

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 120 (OCC) L120=L10+L72
CodeStress Ratio (%): 58.8 @Node 1050
Code Stress: 124904.7 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 90789.2 @Node 860
Torsion Stress: 9891.8 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 344531.0 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 121 (OCC) L121=L10+L73

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 121 (OCC) L121=L10+L73
CodeStress Ratio (%): 59.1 @Node 1050
Code Stress: 125594.9 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 89857.5 @Node 860
Torsion Stress: 9813.1 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 347996.6 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 122 (OCC) L122=L10+L74

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 122 (OCC) L122=L10+L74
CodeStress Ratio (%): 64.1 @Node 910
Code Stress: 136150.0 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 72918.2 @Node 6620
Torsion Stress: 5396.4 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 355054.0 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 123 (OCC) L123=L10+L75

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 123 (OCC) L123=L10+L75
CodeStress Ratio (%): 64.0 @Node 910
Code Stress: 135891.8 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 83064.4 @Node 6620
Torsion Stress: 6566.8 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 358174.2 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 124 (OCC) L124=L10+L76

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 124 (OCC) L124=L10+L76
CodeStress Ratio (%): 67.3 @Node 910
Code Stress: 142826.1 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 1283189 @Node 6380
Torsion Stress: 7014.0 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 358823.4 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 125 (OCC) L125=L10+L77

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 125 (OCC) L125=L10+L77
CodeStress Ratio (%): 67.2 @Node 910
Code Stress: 142769.7 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 131131.5 @Node 6380
Torsion Stress: 5843.7 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 359462.4 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 126 (OCC) L126=L11+L78

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 126 (OCC) L126=L11+L78
CodeStress Ratio (%): 54.1 @Node 1050
Code Stress: 114931.4 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 153458.4 @Node 30090
Bending Stress: 115206.4 @Node 860
Torsion Stress: 8605.2 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 366317.6 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 127 (OCC) L127=L11+L79

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 127 (OCC) L127=L11+L79
CodeStress Ratio (%): 55.8 @Node 30090
Code Stress: 220121.8 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 153355.7 @Node 30090
Bending Stress: 115131.7 @Node 860
Torsion Stress: 8692.6 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 373369.4 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 128 (OCC) L128=L11+L80

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 128 (OCC) L128=L11+L80
CodeStress Ratio (%): 52.0 @Node 1050
Code Stress: 110436.1 Allowable: 212358.5

Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 98049.8 @Node 860
Torsion Stress: 8466.7 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 343599.3 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 129 (OCC) L129=L11+L81

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 129 (OCC) L129=L11+L81
CodeStress Ratio (%): 53.2 @Node 1050
Code Stress: 112871.9 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 97984.7 @Node 860
Torsion Stress: 8443.8 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 345804.8 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 130 (OCC) L130=L11+L82

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 130 (OCC) L130=L11+L82
CodeStress Ratio (%): 52.1 @Node 6380
Code Stress: 164106.7 Allowable: 315047.2
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 106669.6 @Node 860
Torsion Stress: 6695.3 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 356865.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 131 (OCC) L131=L11+L83

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 131 (OCC) L131=L11+L83
CodeStress Ratio (%): 54.1 @Node 6380
Code Stress: 170486.6 Allowable: 315047.2
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 109963.2 @Node 6380
Torsion Stress: 6782.4 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 363799.0 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 132 (OCC) L132=L11+L84

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 132 (OCC) L132=L11+L84
CodeStress Ratio (%): 53.4 @Node 30090
Code Stress: 210626.6 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 110397.4 @Node 860
Torsion Stress: 6313.6 @Node 14230
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 363957.6 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 133 (OCC) L133=L11+L85

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 133 (OCC) L133=L11+L85
CodeStress Ratio (%): 51.6 @Node 30090
Code Stress: 203594.0 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 110426.6 @Node 860
Torsion Stress: 6311.4 @Node 14230
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 356951.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 134 (OCC) L134=L11+L86

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 134 (OCC) L134=L11+L86
CodeStress Ratio (%): 57.6 @Node 1050
Code Stress: 122249.1 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 74637.2 @Node 6620
Torsion Stress: 5709.1 @Node 10190
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 350158.7 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 135 (OCC) L135=L11+L87

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 135 (OCC) L135=L11+L87
CodeStress Ratio (%): 57.6 @Node 1050
Code Stress: 122215.2 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 84289.5 @Node 6620
Torsion Stress: 6546.9 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 354964.3 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 136 (OCC) L136=L11+L88

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 136 (OCC) L136=L11+L88
CodeStress Ratio (%): 55.8 @Node 1050
Code Stress: 118585.9 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 70124.9 @Node 7420
Torsion Stress: 8020.0 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 343770.5 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 137 (OCC) L137=L11+L89

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 137 (OCC) L137=L11+L89
CodeStress Ratio (%): 55.8 @Node 1050
Code Stress: 118541.9 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 79300.3 @Node 6620
Torsion Stress: 7997.0 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 346168.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 138 (OCC) L138=L11+L90

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 138 (OCC) L138=L11+L90
CodeStress Ratio (%): 52.5 @Node 1050
Code Stress: 111498.1 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 72918.2 @Node 6620
Torsion Stress: 5028.0 @Node 20130

Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 353987.8 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 139 (OCC) L139=L11+L91

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 139 (OCC) L139=L11+L91
CodeStress Ratio (%): 52.6 @Node 1050
Code Stress: 111626.9 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 83064.4 @Node 6620
Torsion Stress: 6201.1 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 356207.6 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 140 (OCC) L140=L11+L92

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 140 (OCC) L140=L11+L92
CodeStress Ratio (%): 59.6 @Node 6380
Code Stress: 187853.6 Allowable: 315047.2
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 127565.0 @Node 6380
Torsion Stress: 6636.4 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 357062.8 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 141 (OCC) L141=L11+L93

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 141 (OCC) L141=L11+L93
CodeStress Ratio (%): 60.6 @Node 6380
Code Stress: 190774.5 Allowable: 315047.2
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 130484.4 @Node 6380
Torsion Stress: 5466.9 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 354485.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 142 (OCC) L142=L12+L94

Highest Stress es: (KPa) LOADCASE 142 (OCC) L142=L12+L94
CodeStress Ratio (%): 53.0 @Node 30090
Code Stress: 209208.7 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 153507.9 @Node 30090
Bending Stress: 76822.2 @Node 40
Torsion Stress: 8515.8 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 366495.1 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 143 (OCC) L143=L12+L95

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 143 (OCC) L143=L12+L95
CodeStress Ratio (%): 55.9 @Node 30090
Code Stress: 220293.1 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 153405.1 @Node 30090
Bending Stress: 91816.7 @Node 40
Torsion Stress: 8596.9 @Node 20118
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 373535.2 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 144 (OCC) L144=L12+L96

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 144 (OCC) L144=L12+L96
CodeStress Ratio (%): 55.9 @Node 1050
Code Stress: 118707.7 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 83152.6 @Node 860
Torsion Stress: 8468.2 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 343368.4 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 145 (OCC) L145=L12+L97

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 145 (OCC) L145=L12+L97
CodeStress Ratio (%): 57.0 @Node 1050
Code Stress: 121030.8 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 84754.8 @Node 6620
Torsion Stress: 8445.3 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 346394.3 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 146 (OCC) L146=L12+L98

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 146 (OCC) L146=L12+L98
CodeStress Ratio (%): 51.7 @Node 30090
Code Stress: 203759.0 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 93753.2 @Node 6380
Torsion Stress: 4388.6 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 357091.8 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 147 (OCC) L147=L12+L99

Highest Stress es: (KPa) LOADCASE 147 (OCC) L147=L12+L99
CodeStress Ratio (%): 53.5 @Node 30090
Code Stress: 210841.6 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 100554.4 @Node 6380
Torsion Stress: 5556.2 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 364146.1 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 148 (OCC) L148=L12+L100

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 148 (OCC) L148=L12+L100
CodeStress Ratio (%): 53.5 @Node 30090
Code Stress: 210992.6 Allowable: 394388.9
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 105676.2 @Node 6380
Torsion Stress: 6025.9 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 364334.4 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 149 (OCC) L149=L12+L101

Highest Stress es: (KPa) LOADCASE 149 (OCC) L149=L12+L101
CodeStress Ratio (%): 53.4 @Node 6380
Code Stress: 168322.8 Allowable: 315047.2
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 107675.4 @Node 6380
Torsion Stress: 4862.0 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 357207.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 150 (OCC) L150=L12+L102

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 150 (OCC) L150=L12+L102
CodeStress Ratio (%): 65.5 @Node 1050
Code Stress: 139195.1 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 78122.4 @Node 7420
Torsion Stress: 6019.5 @Node 6649
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 351165.0 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 151 (OCC) L151=L12+L103

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 151 (OCC) L151=L12+L103
CodeStress Ratio (%): 65.6 @Node 1050
Code Stress: 139284.2 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 88449.1 @Node 6620
Torsion Stress: 6629.7 @Node 6649
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 355911.5 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 152 (OCC) L152=L12+L104

Highest Stress es: (KPa) LOADCASE 152 (OCC) L152=L12+L104
CodeStress Ratio (%): 53.5 @Node 14250
Code Stress: 113532.5 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 90235.9 @Node 860
Torsion Stress: 8025.1 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 344228.7 @Node 30099

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 153 (OCC) L153=L12+L105

Highest Stress es: (KPa) LOADCASE 153 (OCC) L153=L12+L105
CodeStress Ratio (%): 53.4 @Node 14250
Code Stress: 113361.2 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 90101.7 @Node 860
Torsion Stress: 8002.2 @Node 19030
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 346602.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 154 (OCC) L154=L12+L106

Highest Stress es: (KPa) LOADCASE 154 (OCC) L154=L12+L106
CodeStress Ratio (%): 57.4 @Node 1050
Code Stress: 121952.2 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 77351.4 @Node 6380
Torsion Stress: 5123.7 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 354331.9 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 155 (OCC) L155=L12+L107

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 155 (OCC) L155=L12+L107
CodeStress Ratio (%): 57.5 @Node 1050
Code Stress: 122203.1 Allowable: 212358.5
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 87675.3 @Node 6620
Torsion Stress: 6296.8 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 356885.0 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 156 (OCC) L156=L12+L108

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 156 (OCC) L156=L12+L108
CodeStress Ratio (%): 57.1 @Node 6380
Code Stress: 179931.5 Allowable: 315047.2
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 119712.4 @Node 6380
Torsion Stress: 6759.0 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 357730.4 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 157 (OCC) L157=L12+L109

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 157 (OCC) L157=L12+L109
CodeStress Ratio (%): 58.0 @Node 6380
Code Stress: 182687.9 Allowable: 315047.2
Axial Stress: 150159.4 @Node 30011
Bending Stress: 122467.3 @Node 6380
Torsion Stress: 5589.8 @Node 20130
Hoop Stress: 309558.3 @Node 30011
3D Max Intensity: 354839.7 @Node 30090

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 158 (EXP) L158=L2+L10

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 158 (EXP) L158=L2+L10
CodeStress Ratio (%): 23.2 @Node 5929
Code Stress: 74260.6 Allowable: 320362.5
Axial Stress: 5574.6 @Node 2460
Bending Stress: 74260.6 @Node 5929
Torsion Stress: 4339.4 @Node 20118
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 77244.8 @Node 5929

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 159 (EXP) L159=L3+L10

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 159 (EXP) L159=L3+L10
CodeStress Ratio (%): 48.2 @Node 5929
Code Stress: 154370.3 Allowable: 320362.5

Axial Stress: 31232.8 @Node 30063
Bending Stress: 154370.2 @Node 5929
Torsion Stress: 10228.3 @Node 20118
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 158702.2 @Node 5929

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 160 (EXP) L160=L4-L11

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 160 (EXP) L160=L4-L11
CodeStress Ratio (%): 16.8 @Node 2510
Code Stress: 29264.0 Allowable: 173747.9
Axial Stress: 4116.7 @Node 30063
Bending Stress: 41873.6 @Node 1870
Torsion Stress: 4192.4 @Node 12049
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 42410.4 @Node 1870

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 161 (EXP) L161=L5-L11

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 161 (EXP) L161=L5-L11
CodeStress Ratio (%): 42.5 @Node 1870
Code Stress: 109635.3 Allowable: 257765.9
Axial Stress: 31232.8 @Node 30063
Bending Stress: 108483.2 @Node 1870
Torsion Stress: 11266.7 @Node 12049
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 110004.4 @Node 1870

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 162 (EXP) L162=L4-L12

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 162 (EXP) L162=L4-L12
CodeStress Ratio (%): 21.9 @Node 2370
Code Stress: 38114.4 Allowable: 173747.9
Axial Stress: 74211.1 @Node 7040
Bending Stress: 42296.9 @Node 5929
Torsion Stress: 3304.6 @Node 20118

Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 74211.2 @Node 7040

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 163 (EXP) L163=L7-L12

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 163 (EXP) L163=L7-L12
CodeStress Ratio (%): 28.2 @Node 20110
Code Stress: 88585.9 Allowable: 314436.6
Axial Stress: 73970.0 @Node 7040
Bending Stress: 88584.8 @Node 20110
Torsion Stress: 9247.8 @Node 20118
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 90527.8 @Node 20110

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 164 (EXP) L164=L8-L13

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 164 (EXP) L164=L8-L13
CodeStress Ratio (%): 52.3 @Node 2510
Code Stress: 90819.8 Allowable: 173747.9
Axial Stress: 74050.5 @Node 7040
Bending Stress: 120790.9 @Node 860
Torsion Stress: 6635.0 @Node 7430
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 123689.7 @Node 860

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 165 (EXP) L165=L9-L13

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 165 (EXP) L165=L9-L13
CodeStress Ratio (%): 62.7 @Node 340
Code Stress: 161664.2 Allowable: 257765.9
Axial Stress: 77990.2 @Node 7030
Bending Stress: 176892.5 @Node 5929
Torsion Stress: 14762.2 @Node 20118
Hoop Stress: 0.0 @Node 20
3D Max Intensity: 182061.3 @Node 5929

ANEXO 3: INFORMACIÓN SOBRE LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

 <p>GEHO® PD Slurry Pumps</p>	<p>To Bechtel Chile Ltda Proposal No. 11-JS-028 QR1</p>	<p>Excellent Minerals Solutions</p> 
---	---	---

Revision 1 dated March 24th, 2011

2.5 Pump performance

Each pump will meet the following performance requirements:

	Pump station			
	PS 1	PS 2	PS 3	PS 4
Pump rated capacity	: 199 m ³ /h	199 m ³ /h	199 m ³ /h	199 m ³ /h
Allowable operating region	: 8.8 - 100 %	8.8 - 100 %	8.8 - 100 %	8.8 - 100 %
Allowable operating region	: 5 - 57 spm	5 - 57 spm	5 - 57 spm	5 - 57 spm
Pump rated discharge pressure	: 23,656 kPa	19,924 kPa	22,859 kPa	20,303 kPa
Volumetric efficiency	: 90 %	90 %	90 %	90 %
Rated stroke rate @ normal capacity	: 51 spm	51 spm	51 spm	51 spm
Rated stroke rate @ max. capacity	: 57 spm	57 spm	57 spm	57 spm
Mechanical efficiency	: 95 %	95 %	95 %	95 %
Rated pump shaft power @ max capacity	: 1,351 kW	1,148 kW	1,313 kW	1,170 kW
Power at overpressure alarm @ max capacity	: 1,419 kW	1,206 kW	1,379 kW	1,229 kW
NPSH required	: 247 kPa abs	247 kPa abs	247 kPa abs	247 kPa abs
Maximum allowable suction pressure	: 2,000 kPa	6,000 kPa	2,000 kPa	2,000 kPa
Estimated peak-to-peak pulsations	: < 3 %	< 3 %	< 3 %	< 3 %
Bearing life time Lh10 (as per AFBMA std. 11)	: > 100,000 h	> 100,000 h	> 100,000 h	> 100,000 h
Estimated max. sound pressure level	: Approx. 85 dB(A)	Approx. 85 dB(A)	Approx. 85 dB(A)	Approx. 85 dB(A)

The mentioned dimensions and weights are applicable for all pumps:

Estimated shipping weight per pump	: Approx. 117,000 kg
Estimated weight of heaviest part for erection	: Approx. 45,000 kg
Estimated weight of heaviest part for maintenance	: Approx. 3,000 kg (for normal maintenance) Approx. 14,000 kg (crankshaft)
Estimated dimensions of largest part for erection (L x W x H)	: Approx. 4,900 x 3,800 x 2,500 mm
Estimated dimensions of largest part for normal maintenance (∅ x L)	: Approx. 1,200 x 650 mm

Weir Minerals Netherlands b.v.

P.O. Box 249, 5900 AE Venlo
 The Netherlands
 Egtenrayseweg 9, NL-5928 PH Venlo
 4495

Tel: +31(0)77 3895200
 Fax: +31(0)77 3824844
 Email: weir@weiminerals.com
www.weiminerals.com

Excellent
 Minerals
 Solutions

**VENDOR DOCUMENT IDENTIFICATION**

Sales order no.	201447
Pump type	TZPM 2000
Document title	Foundation Load data
Revision	0
EPSN document code	201447-FLD

CLIENT DOCUMENT IDENTIFICATION

P.O. No.	
Purchaser	
Project	
DDR no.	
Client document code	
Client	
Pumptype	TZPM 2000
Site	Apurimac region
Pump serial no. PS1 : 12201447A/1-2	
Pump serial no. PS2 : 12201447B/3-4	
Pump serial no. PS3 : 12201447C/5-6	
Pump serial no. PS4 : 12201447D/7-8	

SUBMISSION STATUS

0	16-feb-12	for approval	MM
Issue	Date	Description of issue	Sign.

Foundation loading data

The loading on the foundation/piping and on the individual anchors are caused by:

- a. pump dead weight
- b. internal unbalanced masses (reciprocating parts)
- c. internal torque transmitted between the gearbox shaft and pump crankshaft
- d. external nozzle loadings on the pump
- e. unbalance masses in suction and discharge header (pressure pulsations after dampening)

a. Weights as indicated on the pump outline drawing 814.201447.00. Pump weight is approx.

	pump	drive train
PS1	68.000 kg	23.000 kg
PS2	68.000 kg	21.000 kg
PS3	68.000 kg	23.000 kg
PS4	68.000 kg	23.000 kg

b. We have calculated the dynamic loads using general guidelines as defined in 'Design of structures and foundations for vibrating machines' based on the unbalanced reciprocating mass inside the pump power end.

- Primary forces: 0 N
- Secondary forces: 0 N
- Primary couples: 51678 Nm
- Secondary couples: 8749 Nm

Dynamic forces are 0 N because the three cranks are positioned at an angle of 120°, the crankshaft is considered to be in balance.

Other calculated values are rather low because of the low pump speed (59 rpm)
 For this reason we recommend to design the foundation based on the static weights only and increase the static weight with a ratio of 1.5 for the pump and 1.75 for the drive train to consider the dynamic forces during start up and operation.

c. The torque with the pump operating at max. operating pressure between gearbox and power end is fluctuating between: PS1 174,5 kNm and 270,1 kNm.

- PS2 143,2 kNm and 220,1 kNm.
- PS3 167,6 kNm and 259,5 kNm.
- PS4 143,6 kNm and 222,4 kNm.

Given the width of the gearbox base (2056 mm) this results in a vertical force fluctuating between:

- PS1 84,9 kN and 131,4 kN.
- PS2 69,6 kN and 107,1 kN.
- PS3 81,5 kN and 126,2 kN.
- PS4 69,8 kN and 108,2 kN.

Assuming this load is taken by the two outside anchors the vertical load for each individual anchor is 65,7 kN.

d. For pump design purpose following external nozzle loadings have been assumed and considered:

Connection	Max Force	Max moment
Discharge DN250 PN160	10 kN	15 kNm
Suction DN250 PN16	10 kN	15 kNm

These resulting forces and moments are the allowable forces and moments in any direction, including the most critical direction.

Actual external nozzle loadings are to be determined by the designer of the piping configuration.

e. In case multiple pumps are arranged on a common suction or discharge header there will be a risk of resonance interaction in the piping connecting these pumps. If so required we can offer to review the piping layout to determine if such interaction can occur. In case of no interaction between multiple pumps, the piping connected to each individual pump is still subjected to the forces caused by the residual pulsation level in the pump suction/discharge dampeners. The piping supports and its foundations close the pump inlet and outlet connections have to be designed to take following forces (in the direction of each pipe section).

PS1:

Connection	Dynamic force
Outlet 8" 1500lbs	27638 N
Inlet 8" 150lbs	1171 N

PS2:

Connection	Dynamic force
Outlet 8" 1500lbs	22560 N
Inlet 8" 900lbs	10673 N

PS3:

Connection	Dynamic force
Outlet 8" 1500lbs	26566 N
Inlet 8" 900lbs	11467 N

PS4:

Connection	Dynamic force
Outlet 8" 1500lbs	22796 N
Inlet 8" 600lbs	8160 N

Applicable frequencies:

Pump 0,25 – 2,95 Hz

Motor PS1 157 – 1853 rpm

Motor PS2 158 – 1833 rpm

Motor PS3 157 – 1853 rpm

Motor PS4 157 – 1853 rpm

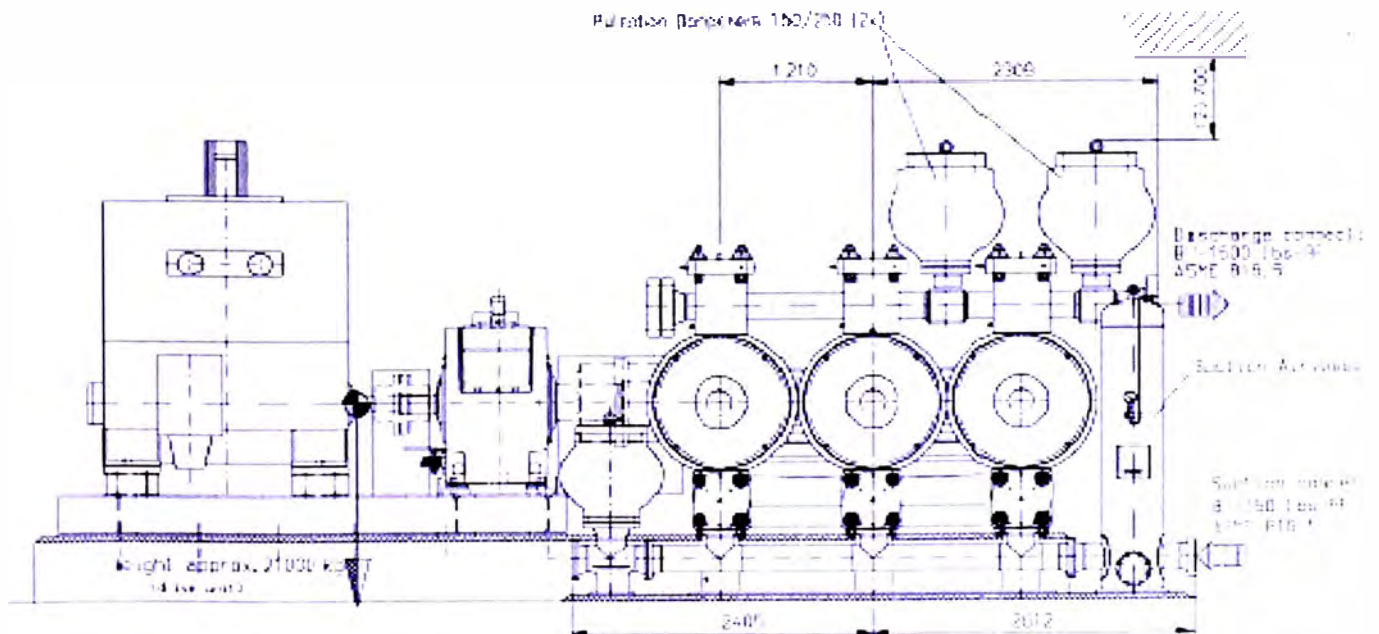
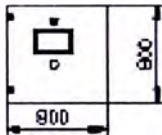
Hoist capacity for normal maintenance work 3000 kg

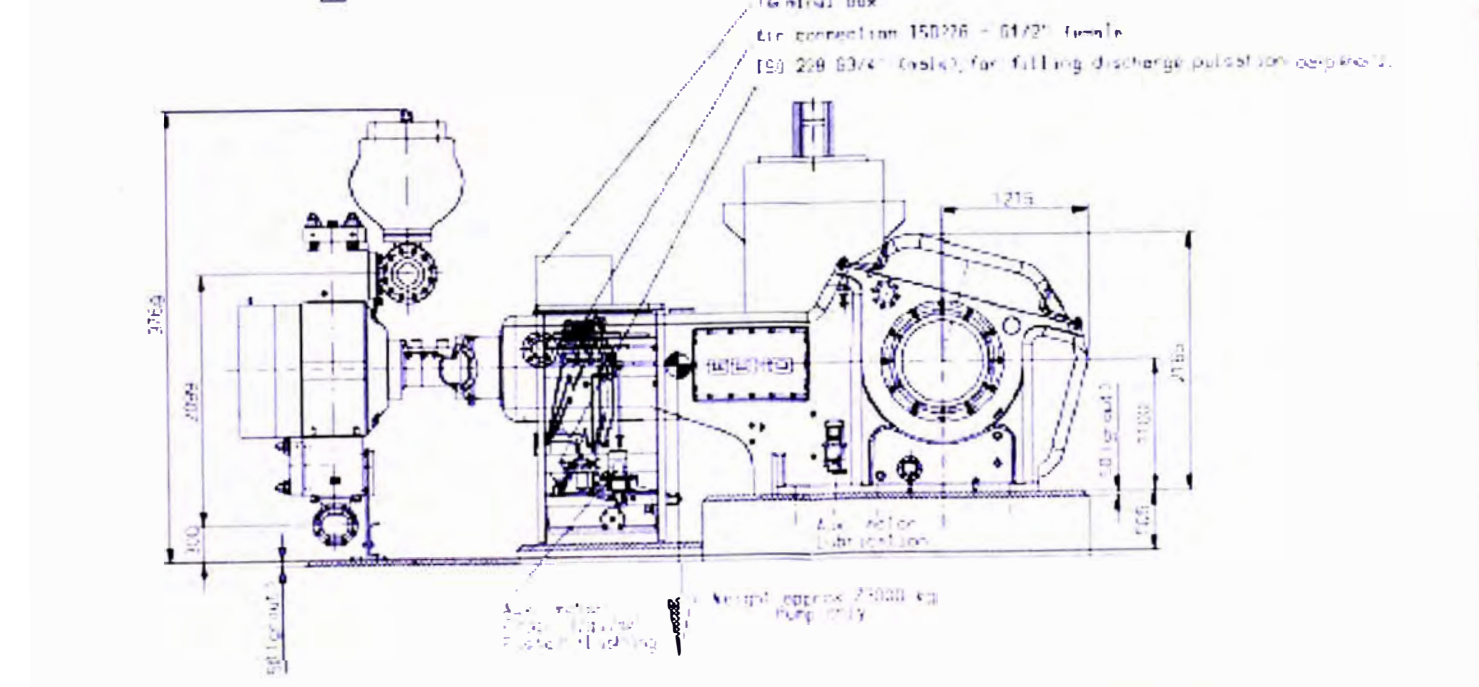
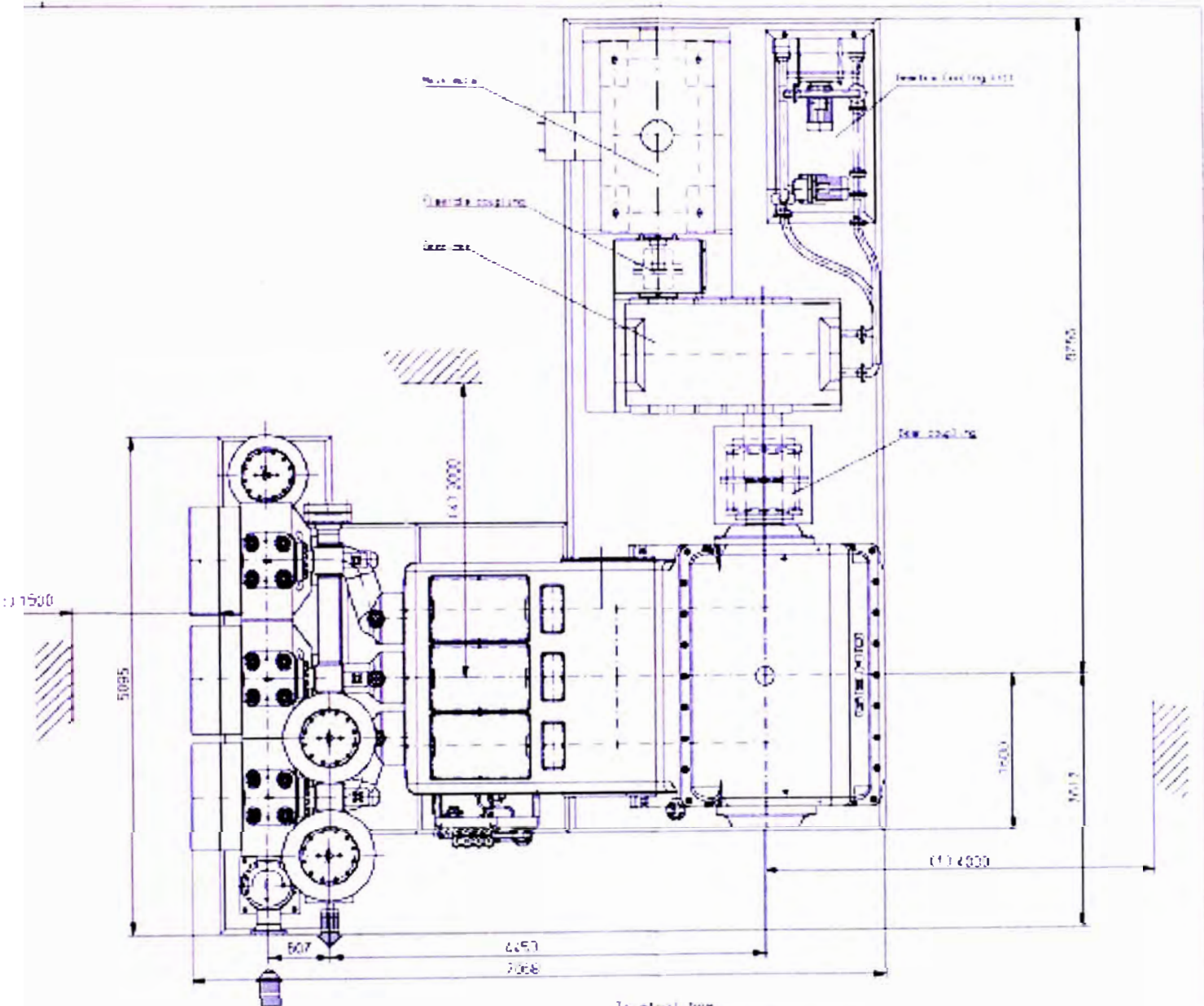
- (1) Minimum distance for dismantling of the crankshaft (1400kg).
- (2) Minimum distance for dismantling of the pulsation dampener (1500kg).
- (3) Free distance for removing diaphragm housing cover (2500kg)
- (4) Free distance for removing propelling liquid tank (500kg).

PISTON DIAPHRAGM PUMP
TYPE TZRK 3000

TYPICAL DRAWING ! NOT FOR CONSTRUCTION

PLC-Control box
230V/50Hz/1ph
to be located adjacent
to the pump





Rev.	Change	Date	By	Check

Project: ...
 Drawing No: ...
 Scale: ...
 Date: ...

GEHO
 22 Sunny Ridge

...
 ...
 ...

ANEXO 4: FUERZAS, MOMENTOS Y DESPLAZAMIENTOS EN SOPORTES

RESUMEN DE CARGAS EN SOPORTES PARA DISEÑO LINEAS DE SUCCION

TIPO DE SOPORTE	NODO	FX N	FY N	FZ N	MX N.m	MY N.m	MZ N.m	DX mm	DY mm	DZ mm	FR Ton	FR (tal) Ton	FR Ton	MR Ton-m	D mm
ANC / (y ()	10	-54712	-2650	-9028	-2553	3872	-1701	0	0	0	-0.02	5.58	5.8	0.4	0.0
Z/Y (y ()	50	4548	6461	-9711				0.021	0	0	-0.09	0.75	1.2	0.0	0.9
Z/Y (y ()	110	4471	-10138	-6440				1.77	0	0	-0.06	1.13	1.2	0.0	1.6
Z/Y (y ()	115	9880	25412	-9181				2.575	0	0	-0.04	2.77	2.0	0.0	2.6
Z/Y (5 0000y ()	330	-4547	-4119	-15067				4.316	3.666	0	-1.63	0.45	1.7	0.0	5.8
Z/Y (y ()	480	2992	4331	-6088				5.632	0	0	-0.62	0.52	0.8	0.0	5.8
Y/Z (y ()	530	1140	-923	-3806				5.08	1.638	0	-0.39	0.12	0.4	0.0	5.3
Z/X (y ()	730	-9511	-4319	-9817				0	-4.914	0	-1.00	1.06	1.1	0.0	4.0
Z/X (3 0000y ()	745	767	-1024	-6413				0.567	-4.723	0	-0.65	0.20	0.7	0.0	4.7
Z/X (y ()	780	-6874	3168	-4745				0	-3.818	0	-0.48	0.76	0.8	0.0	3.6
Z/X (3 0000y ()	820	-10553	-3472	-9032				-3	-2.784	0	-0.02	1.14	1.3	0.0	4.1
Z/X (6 0000y ()	855	-31206	8518	-15757				-6	-1.853	0	-1.61	3.31	3.5	0.0	6.1
Z/X (6 0000y ()	885	-3783	3302	-12724				-6.061	-1.514	0	-1.30	0.30	1.4	0.0	6.0
Z/X (3 0000y ()	890	22863	5620	-8662				3	-1.59	0	-0.87	2.37	2.5	0.0	3.4
Z/X (y ()	920	-27441	12526	-18086				0	2.476	0	-1.84	3.07	3.4	0.0	2.5
Z/Y (5 0000y ()	980	3380	3228	-12072				-3.312	3.524	0	-1.23	0.57	1.3	0.0	4.7
Z/X (3 0000y ()	1040	-2079	-1772	-7121				-2.451	2.065	0	-0.73	0.22	0.8	0.0	3.6
Z/X (3 0000y ()	1080	20264	6777	-8600				3	3.672	0	-0.68	2.18	2.3	0.0	4.7
Z/Y (y ()	1440	-4060	-6488	-7807				7.864	0	0	-0.78	0.78	1.1	0.0	7.9
Z/Y (y ()	1470	1245	-1511	-2866				8.842	0	0	-0.29	0.19	0.3	0.0	6.6
Z/Y (y ()	1500	2553	4217	-4531				9.829	0	0	-0.46	0.48	0.7	0.0	9.8
Z/Y (y ()	1530	3064	-8029	-2871				10.817	0	0	-0.29	0.87	0.9	0.0	10.8
Z/Y (3 0000y X(12	1580	-2031	-1612	-6829				11.926	-2.214	0	-0.70	0.21	0.7	0.0	12.1
Z/X (12 0000y ()	1820	-2124	-1488	-7096				9.317	-1.293	0	-0.72	0.23	0.6	0.0	9.4
Z/X (5 0000y ()	1830	18239	-4921	-3390				5	-1.283	0	-0.35	1.92	1.9	0.0	5.0
Z/Y (y ()	1880	-7763	16478	-17732				3.364	0	0	-1.81	1.71	2.1	0.0	3.4
Z/Y (y ()	1710	13027	-7419	-41844				2.728	0	0	-4.27	1.35	4.5	0.0	2.7
Z/Y (y ()	1740	8273	3731	-24877				1.926	0	0	-2.52	0.02	2.8	0.0	1.9
Z/Y (y ()	1790	14024	-2817	-47561				0.796	0	0	-4.85	1.43	5.1	0.0	0.8
Z/Y (y ()	1820	-6379	9488	14328				-0.991	0	0	1.46	1.17	1.7	0.0	1.0
Z/Y (3 0000y ()	1840	8977	-4247	-29972				-1.393	0.532	0	-3.08	0.62	3.2	0.0	1.4
Z/Y (3 0000y ()	1900	4487	6708	-15433				-2.723	3	0	-1.67	0.75	1.8	0.0	3.9
Z/Y (3 0000y ()	2240	-1885	986	-6315				-13.897	1.83	0	-0.64	0.19	0.7	0.0	13.9
Z/Y (3 0000y ()	2290	-1660	3810	2333				-12.352	3	0	0.24	0.42	0.5	0.0	12.6
Z/Y (y ()	2300	-3275	6642	-4640				-11.133	0	0	-0.47	0.74	0.9	0.0	11.1
Z/Y (y ()	2330	-1889	-3339	-3133				-9.99	0	0	-0.32	0.39	0.5	0.0	10.0
Z/Y (y ()	2340	-3498	-6866	-4992				-9.579	0	0	-0.51	0.78	0.9	0.0	9.8
Z/Y (y ()	2400	-1829	2701	-3508				-9.143	0	0	-0.36	0.33	0.5	0.0	9.1
Z/Y (y ()	2410	-1529	2024	-3092				-8.711	0	0	-0.32	0.26	0.4	0.0	6.7
Z/Y (y ()	2440	-3560	-5397	-6473				-8.276	0	0	-0.66	0.06	0.9	0.0	6.3
Z/Y (y ()	2475	-1782	-2828	-3425				-7.828	0	0	-0.35	0.34	0.5	0.0	7.8
Z/Y (y ()	2480	2627	-2635	-6908				-7.387	0	0	-0.70	0.38	0.6	0.0	7.4
Z/Y (y ()	2515	-2074	-1635	-6987				-6.946	0	0	-0.61	0.26	0.6	0.0	6.9
Z/Y (y ()	2530	4325	-8871	-6148				-6.57	0	0	-0.63	1.00	1.2	0.0	6.6
Z/Y (y ()	3010	-3824	7793	-5952				-9.324	0	0	-0.61	0.88	1.0	0.0	9.3
Z/Y (y ()	3040	-1359	-4230	670				-9.687	0	0	0.07	0.45	0.5	0.0	9.7
Z/Y (y ()	3070	-3808	7214	-5940				-9.993	0	0	-0.61	0.82	1.0	0.0	10.0
Z/X (10 0000y ()	3330	-6850	6590	-24633				-8.056	2.554	0	-2.51	0.75	2.8	0.0	8.2
Y/X (y ()	3380	-4532	-10138	-3336				0	0	-5.707	-0.34	1.03	1.1	0.0	5.7
Y/X (y ()	3400	1160	-2807	-1086				0	0	-6.182	-0.11	0.30	0.3	0.0	6.2
Y/X (y ()	3410	-996	4697	-1523				0	0	-6.707	-0.16	0.48	0.5	0.0	6.7
Y/X (y ()	3440	3057	-6029	-1828				0	0	-7.226	-0.19	0.61	0.8	0.0	7.2
Y/X (y ()	3650	-12557	3254	4051				0	0	1.323	0.41	1.28	1.3	0.0	1.3
Y/X (y ()	3740	13698	-2468	4109				0	0	1.26	0.42	1.40	1.5	0.0	1.3
Y/X (y ()	3950	-9777	2253	3004				0	0	1.233	0.31	1.00	1.0	0.0	1.2
Y/X (y ()	4040	17070	2337	5123				0	0	1.345	0.52	1.74	1.8	0.0	1.3
Z/Y (5 0000y ()	4530	-3703	-4268	-14311				-1.725	-4.846	0	-1.46	0.44	1.5	0.0	4.9
Z/Y (5 0000y ()	4645	-5285	-18320	-6366				-1.604	-5	0	-0.55	1.04	2.0	0.0	5.1
Z/Y (3 0000y ()	4685	1418	1515	-5278				-1.263	-1.821	0	-0.54	0.16	0.6	0.0	2.2
+Z/Y (y ()	4605	4439	4612	-15621				1.173	0.736	0	-1.59	0.48	1.7	0.0	1.3
Z/Y (y ()	4640	4975	4892	-12168				1.579	0	0	-1.24	0.71	1.4	0.0	1.6
Z/Y (y ()	4865	2115	-2703	-4455				2.067	0	0	-0.45	0.35	0.8	0.0	2.1
Z/Y (y ()	4880	2920	4137	-5671				2.521	0	0	-0.58	0.52	0.8	0.0	2.5
+Z/Y (y ()	4720	-2135	1988	-7280				2.977	0.668	0	-0.74	0.22	0.8	0.0	3.0
ANC / (y ()	4800	4884	-5432	-5262	-3740	-324	-9070	0	0	0	-0.54	0.61	0.8	1.0	0.0
ANC / (y ()	5080	5512	-21395	-13392	-9196	-406	-6223	0	0	0	-1.37	2.19	2.6	1.0	0.0
Z/Y (y ()	5230	4013	5455	-8824				4.434	0	0	-0.90	0.00	1.1	0.0	4.4
+Z/Y (y ()	5280	1611	1588	-5378				4.072	1.412	0	-0.55	0.00	0.8	0.0	4.1
Z/X (3 0000y ()	5350	-2408	636	-2527				-3	-2.543	0	-0.26	0.25	0.3	0.0	3.2
Z/X (3 0000y ()	5380	-2831	1731	-6879				-3	-3.682	0	-0.70	0.00	0.7	0.0	4.4
Z/Y (y ()	5420	-2587	-2682	-5892				-2.851	0	0	-0.60	0.00	0.7	0.0	2.9
Z/Y (y ()	5480	-4517	-9650	-5574				-2.206	0	0	-0.57	1.00	1.2	0.0	2.2
Z/Y (y ()	5860	-1291	629	-3894				-5.367	0	0	-0.40	0.00	0.4	0.0	5.4
Z/Y (y ()	5880	-3526	-1116	-11104				-4.45	0	0	-1.13	0.38	1.2	0.0	4.5
+Z/Y (y ()	5850	4248	-298	-14188				-16.22	-0.696	3.873	-1.45	0.43	1.5	0.0	16.6
Z/ Guide (y ()	5880	-3197	3121	9508				-15.267	0	0	0.97	0.38	1.0	0.0	15.3
Z/Y (y ()	6030	-15792	-510	-52134				-1.186	0	0	-5.31	1.61	5.8	0.0	1.2
Z/Y (y ()	6080	-15214	147	-50571				-0.746	0	0	-5.16	1.65	5.4	0.0	0.7
Z/Y (y ()	6090	-15423	-256	-51156				-0.58	0	0	-5.21	1.67	5.4	0.0	0.6
Z/Y (y ()	6120	-15403	248	-51103				0.658	0	0	-5.21	1.67	5.4	0.0	0.7
Z/Y (y ()	6150	-15346	-286	-50894				1.106	0	0	-5.19	1.66	5.4	0.0	1.1
Z/Y (y ()	6180	-15661	525	-51802				1.573	0	0	-5.28	1.60	5.5	0.0	1.6
Z/Y (y ()	6210	-15420	-546	-50944				2.438	0	0	-5.19	1.67	5.4	0.0	2.4
Z/Y (y ()	6220	1655	-1241	-4497				4.327	0	0	-0.48	0.20	0.5	0.0	4.3
Z/X (y ()	6310	1722	1092	-2689				0	-5.107	0	-0.27	0.20	0.3	0.0	5.1
Z/X (y ()	6320	-777	-626	-1308				0	-3.685	0	-0.13	0.10	0.2	0.0	3.7
Z/X (3 0000y ()	6330	422	-557	-1859				2.153	-2.264	0	-0.19	0.06	0.2	0.0	2.4
Z/Y (y ()	6530	-15464	337	-51222				-2.499	0	0	-5.22	1.68	5.5	0.0	2.5

TIPO DE SOPORTE	NODO	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm	DY mm	DZ mm	FR Ton	FR (rel) Ton	FR Ton	MR Ton-m	D mm
Z / Y (3 0000y (	6560	-621	1167	1344				-6 51	3	0	0.14	0.13	0.2	0.0	7.1
Z / X (10 0000y (	6620	-1762	2076	-7108				-4 77	2 583	0	-0.72	0.22	0.6	0.0	5.1
Y / X (y (	6680	-856	-2361	-875				0	0	-5 836	-0.09	0.24	0.3	0.0	5.6
Y / X (y (	6600	376	-445	-206				0	0	-6 308	-0.02	0.05	0.1	0.0	6.3
Y / X (y (	6720	-307	1264	-396				0	0	-6 828	-0.04	0.13	0.1	0.0	6.8
Y / X (y (	6730	913	-1693	-511				0	0	-7 344	-0.05	0.17	0.2	0.0	7.3
Z / Y (y (	7030	15308	184	-50842				-0 452	0	0	-5.18	1.56	5.4	0.0	0.5
Z / Y (y (	7060	-15297	-177	-50814				0 366	0	0	-5.18	1.56	5.4	0.0	0.4
Z / Y (y (	7090	-56	187	-50827				0 778	0	0	-5.18	1.56	5.2	0.0	0.8
Z / Y (y (	7120	-15315	-209	-50840				1 191	0	0	-5.18	1.56	5.4	0.0	1.2
Z / Y (y (	7150	15386	349	-51037				1 632	0	0	-5.20	1.57	5.4	0.0	1.6
Z / Y (y (	7180	-15491	-388	-51248				2 358	0	0	-5.22	1.58	5.5	0.0	2.4
Z / Y (y (	7185	1035	-873	-2832				4 245	0	0	-0.20	0.13	0.3	0.0	4.2
Z / X (y (	7285	1157	870	-2559				0	-5 426	0	-0.26	0.14	0.3	0.0	5.4
Z / X (y (	7270	-547	-494	-1121				0	-4 241	0	-0.11	0.08	0.1	0.0	4.2
Z / X (y (	7300	504	-507	-1236				0	-2 819	0	-0.13	0.07	0.1	0.0	2.8
Z / X (y (	7310	-1331	734	-1306				0	-1 396	0	-0.13	0.14	0.2	0.0	1.4
Z / Y (y (	7360	-977	2899	-1463				-1 249	0	0	-0.15	0.30	0.3	0.0	1.2
Z / Y (3 0000y (	7370	-242	198	-845				-1 891	-1 275	0	-0.09	0.03	0.1	0.0	1.7
Z / Y (y (	7580	-15383	-230	-51051				-1 056	0	0	-5.20	1.57	5.4	0.0	1.1
Z / Y (y (	7585	15395	242	-51075				-2 36	0	0	-5.21	1.57	5.4	0.0	2.4
Z / Y (y (	7590	-15419	-276	-51157				-3 772	0	0	-5.21	1.57	5.4	0.0	3.8
Z / Y (y (	7600	369	377	-862				-5 184	0	0	-0.09	0.05	0.1	0.0	5.2
Z / Y (y (	7610	-1157	1963	-2019				-6 219	0	0	-0.21	0.23	0.3	0.0	6.2
Z / Y (y (	7710	1323	-1809	-6702				-1 77	-1 397	0	-0.68	0.20	0.7	0.0	2.1
Y / X (y (	7730	-1286	-1230	0				0	0	0 536	0.00	0.17	0.2	0.0	0.5
Y / X (y (	7740	658	-698	209				0	0	1 589	0.02	0.08	0.1	0.0	1.6
Y / X (y (	7770	-399	1346	404				0	0	2 766	0.04	0.14	0.1	0.0	2.8
Y / X (y (	7780	974	-1750	-525				0	0	3 045	-0.05	0.18	0.2	0.0	3.9
Z / Guide (y (	10050	-4994	-3172	-6908				0	-0 311	0	-0.70	0.00	0.6	0.0	0.3
Z / Guide (y (	10120	978	4614	-14775				0	0 512	0	-1.51	0.48	1.6	0.0	0.5
Z / Guide (y (	10170	2083	3465	-5380				0 36	0	0	-0.55	0.11	0.6	0.0	0.4
Z / Guide (y (	12080	-1093	-2013	-2599				2 899	0	0	-0.26	0.22	0.3	0.0	2.9
Z / Guide (y (	12110	-1018	1568	-2753				0 826	0	0	-0.28	0.19	0.3	0.0	0.8
Z / Guide (y (	12170	-11411	3053	-2651				0	1 238	0	-0.27	1.17	1.2	0.0	1.2
Z / Guide (y (	12180	2069	-744	1172				0	-1 427	0	0.12	0.23	0.2	0.0	1.4
Z / Guide (y (	12190	-1527	-2071	-5978				0	-2 85	0	-0.61	0.26	0.6	0.0	2.9
+Z / (y (	14030	333	419	-1662				-7 665	8 88	0	-0.17	0.05	0.2	0.0	11.7
Z / Guide (y (	14110	-836	-807	-2244				2 851	0	0	-0.23	0.11	0.2	0.0	2.9
Z / Guide (y (	14120	310	-497	-727				1 286	0	0	-0.07	0.05	0.1	0.0	1.3
Z / Guide (y (	14130	-1006	3483	-979				-0 698	0	0	-0.10	0.36	0.4	0.0	0.7
Z / Guide (y (	14160	-1367	677	-1226				0	-0 433	0	-0.12	0.15	0.2	0.0	0.4
Z / Guide (y (	14190	497	-494	-1217				0	-1 573	0	-0.12	0.07	0.1	0.0	1.8
Z / Guide (y (	14200	-1892	1078	-2089				0	-2 982	0	-0.21	0.21	0.3	0.0	3.0
Z / Guide (y (	15045	655	-418	-1115				0	-1 136	0	-0.11	0.07	0.1	0.0	1.1
Z / Y (y (	15630	3439	-3429	-9064				4 789	0	0	-0.92	0.40	1.0	0.0	4.6
Z / Y (3 0000y (	15660	-1455	1451	-4922				5 148	0 899	0	-0.50	0.15	0.5	0.0	5.1
Z / X (3 0000y (	15960	-4265	-1736	-6120				3	-2 82	0	-0.62	0.46	0.7	0.0	3.4
Z / X (3 0000y (	15980	217	-263	881				-0 647	-3 532	0	0.09	0.03	0.1	0.0	3.5
Z / Guide (y +UM (3	16000	-867	0	-664				-0 013	-3 721	-0 012	-0.07	0.00	0.1	0.0	3.7
ANC / (y (	16030	-1011	144	-1330	-590		561	0	0	0	-0.14	0.10	0.2	0.1	0.0
ANC / (y (	16510	1734	-247	793		329	94	0	0	0	0.08	0.18	0.2	0.0	0.0
Guide / Z (y -UM (16	16540	-1631	350	-1268				-0 145	0	0 002	-0.13	0.17	0.2	0.0	0.1
Z / Y (y (	16550	-821	671	-2591				1 374	0	0	-0.26	0.11	0.3	0.0	1.4
Z / Y (y (	16570	1847	-2540	-3884				-0 772	0	0	-0.40	0.32	0.5	0.0	0.8
Z / Y (y (	16595	-2207	-2690	-5939				-0 824	0	0	-0.61	0.34	0.7	0.0	0.9
Z / Guide (y +UM (3	16820	10	400	1346				-1 23	0 019	-0 069	0.14	0.04	0.1	0.0	1.2
ANC / (y (	17810	4381588	4381271	*****	*****	24867928	828	0	0	0	#####	446.65	*****	*****	0.0
NOZZLE DEFINICIÓN	17836	-256	144	-1027		-296	109	2 429	0 039	-0 121	-0.10	0.03	0.1	0.0	2.4
ANC / (y (	17850	130	-270	-749		200	-61	2 548	0 027	-0 09	-0.08	0.03	0.1	0.0	2.5
Z / Guide (y (	18050	449	307	-690				0	-4 877	0	-0.07	0.05	0.1	0.0	4.9
Z / Guide (y (	18060	-173	-256	-729				0	-3 457	0	-0.07	0.03	0.1	0.0	3.5
Z / Guide (y (	18070	201	204	-619				0	-2 038	0	-0.06	0.03	0.1	0.0	2.0
Z / Guide (y (	18080	-265	-483	-1416				0	1 962	0	-0.14	0.05	0.2	0.0	2.0
Z / Guide (y (	18150	684	1175	-1099				-1 001	0	0	-0.11	0.14	0.2	0.0	1.0
Z / Guide (5 0000y (	18160	-312	-281	-1042				1 436	3 248	0	-0.11	0.03	0.1	0.0	3.5
X / Z (y (	20030	1131	1549	-4123				0	-8 731	0	-0.42	0.20	0.5	0.0	6.7
X / Z (y (	20040	1742	887	-1671				0	-7 308	0	-0.17	0.20	0.2	0.0	7.3
X / Z (y (	20050	3935	-1898	-3915				0	-5 684	0	-0.40	0.44	0.5	0.0	5.9
X / Z (y (	20060	-19893	-5975	-4666				-3	-4 452	0	-0.48	2.12	2.1	0.0	5.4
X / Z (y (	20140	2033	-3522	-10250				0	-0 78	0	-1.04	0.11	1.1	0.0	0.6
Y / Z (y (	20160	-2080	6379	-4034				-2 416	0	0	-0.41	0.08	0.6	0.0	2.4
Z / Y (y (	20200	-3940	10230	-5447				-9 701	0	0	-0.56	0.11	1.1	0.0	9.7
Z / Y (y (	20210	-2088	3273	-4068				-8 327	0	0	-0.41	0.08	0.6	0.0	6.3
Z / Y (y (	20220	1101	-1241	-2773				-7 204	0	0	-0.28	0.11	0.3	0.0	7.2
Z / Y (y (	20230	-879	510	-2423				-6 286	0	0	-0.25	0.10	0.3	0.0	6.3
+Z / Guide (y (	20680	1301	1706	-3415				7 281	0	0	-0.35	0.21	0.4	0.0	7.3
+Z / Guide (3 0000y (	20680	-1263	-953	-4273				5 834	1 729	0	-0.44	0.19	0.5	0.0	5.9
Z / Guide (y (	20720	1637	4336	-3442				3 948	0	0	-0.35	0.46	0.5	0.0	3.9
+Z / (y (	20730	956	-948	-3191				2 067	-1 407	0	-0.33	0.10	0.3	0.0	2.3
+Z / (y (	20740	1061	-821	-3643				-2 283	2 523	0	-0.37	0.10	0.4	0.0	2.8
+Z / (y (	20800	-748	-597	-2550				-4 152	2 699	0	-0.26	0.08	0.3	0.0	4.2
+Z / Guide (y (	20830	-8214	2764	-3152				0	3 917	0	-0.32	0.98	1.0	0.0	3.9
+Z / (y (	20990	-1033	-1149	-3954				2 711	4 333	0	-0.40	0.12	0.4	0.0	4.6
Z / Guide (y (	20990	437	831	-1047				1 287	0	0	-0.11	0.09	0.1	0.0	1.3
Z / Guide (y (	21980	-6144	-1461	19708				-2 973	0	0	2.01	0.64	2.1	0.0	3.0
Z / Guide (y (	22000	2688	-1046	-8614				-2 487	0	0	-0.88	0.28	0.9	0.0	2.5
+Z / (y (	22010	-823	-726	-2742				-2 003	0 223	0 13	-0.28	0.08	0.3	0.0	2.0
Z / Guide (y (	22020	1251	1238	-3334				-1 519	0	0	-0.34	0.15	0.4	0.0	1.5
Z / Guide (y (	22060	2135	776	7008				2 007	0	0	0.71	0.22	0.7	0.0	2.0
Z / Guide (y (	22080	668	-840	-1614				2 493	0	0	-0.16	0.10	0.2	0.0	2.5
+Z / (y (	22090	915	615	-3055				2 98	-0 808	0	-0.31	0.09	0.3	0.0	3.0
Z / Guide (y (	22100	1196	978	-3068				3 964	0	0	-0.31	0.15	0.3	0.0	4.0
+Z / (y (	22120	-241	-143	-803				4 441	0 812	0	-0.08	0.02	0.1	0.0	4.4
+Z / Guide (3 0000y (	22350	4869	1548	-8723				3	2 041	0 358					

RESUMEN DE CARGAS EN SOPORTES PARA DISEÑO LINEAS DE DESCARGAS

TIPO DE SOPORTE	NODO	FX N	FY N	FZ N	MX N.m	MY N.m	MZ N.m	DX mm	DY mm	DZ mm	FR (let) Ton	FR Ton	MR Ton-m	D mm	
Z/Y (V 0)	25	4678	3298	-6329				0.000	1.985	-0.000	-0.65	0.58	0.9	0.0	2.0
Z/Y (V 0)	80	10495	-15896	-23667				1.575	-0.000	-0.000	-2.41	1.94	2.7	0.0	1.6
Z/Y (V 0)	125	2645	-3929	5516				1.293	-0.000	0.000	0.56	0.47	0.7	0.0	1.3
Z/Y (V 0)	150	2346	1716	-6320				1.062	0.000	-0.000	-0.64	0.29	0.7	0.0	1.1
Z/Y (V 0)	180	-1621	2443	-3214				0.733	0.000	-0.000	-0.33	0.30	0.4	0.0	0.7
Z/Y (V 0)	220	-7429	15908	-13425				-0.456	0.000	-0.000	-1.37	1.64	2.0	0.0	0.5
Z/Y (V 0)	250	-2494	-1502	-6888				-0.728	-0.000	-0.000	-0.70	0.29	0.8	0.0	0.7
Z/Y (V 0)	280	-1762	-2654	-3904				-1.165	-0.000	-0.000	-0.40	0.37	0.5	0.0	1.2
Z/Y (V 0)	310	-4310	7835	-7564				-1.602	0.000	-0.000	-0.77	0.91	1.1	0.0	1.6
Z/Y (V 0)	375	-13462	-3525	-12015				-0.000	-0.080	-0.000	-1.22	1.88	1.8	0.0	0.1
ANC / (V 0)	580	3399	-6396	-9653	-8368	-4234	-1586	0.000	-0.000	-0.000	-0.98	0.68	1.0	1.0	0.0
Z/X (V 0)	730	5286	-5451	-13041				0.000	-0.317	-0.000	-1.33	0.76	1.5	0.0	0.3
ANC / (V 0)	820	1885	-8521	-11003	-10969	-1247	551	0.000	-0.000	-0.000	-1.12	0.82	1.1	1.1	0.0
Z/Y (V 0)	1025	-5504	9615	-8779				-1.893	0.000	-0.000	-0.89	1.13	1.4	0.0	1.9
Z/Y (V 0)	1065	-4254	-6496	-9513				-1.039	-0.000	-0.000	-0.97	0.79	1.2	0.0	1.0
Z/Y (3.0000) / (6.0000)	1230	2439	939	-8434				-3.444	1.382	-0.000	-0.86	0.26	0.9	0.0	3.7
Z/Y (3.0000) / (6.0000)	1260	2052	-1214	-7051				-2.951	1.019	-0.000	-0.72	0.22	0.8	0.0	3.1
Z/X (V 0)	1525	-9285	2871	308				-0.000	0.671	0.000	0.03	0.99	1.0	0.0	0.7
Z/X (V 0)	1745	116	164	-566				0.000	0.571	-0.000	-0.06	0.02	0.1	0.0	0.6
Z/X (V 0)	1945	114	162	-566				0.000	0.505	-0.000	-0.06	0.02	0.1	0.0	0.5
ANC / (V 0)	2060	29012	2520	-7041	968	-2750	-1132	0.000	0.000	-0.000	-0.72	2.96	3.0	0.3	0.0

ANEXO 5: DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES SÍSMICOS DE LA ZONA

Seismic Design

Determine S_s from 0.2 s and S_1 from 1 s. for site class B.

REPORT 07-1118-0027 ON

$S_s = 0.951$ g

$S_1 = 0.304$ g

Adjust accelerations for other site classes

$S_{MS} = F_a S_s$; F_a from Table 11.4-1

$S_{M1} = F_v S_1$; F_v from Table 11.4-2

Note that F_a and F_v are 1.0 for site class B.

Site Class = B

TL = 16 s

Table 11.4-1 Site Coefficient, F_s

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE _R) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_s .

Table 11.4-2 Site Coefficient, F_1

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE _R) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-8 Period				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	See Section 11.4.7				

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_1 .

$$\begin{aligned} F_a &= 1 \\ F_v &= 1 \\ S_{MS} &= 0.951 \\ S_{M1} &= 0.304 \end{aligned}$$

Determine design spectral response acceleration parameters

$$S_{DS} = (2/3) S_{MS}$$

$$S_{D1} = (2/3) S_{M1}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 0.634 \\ S_{D1} &= 0.203 \end{aligned}$$

Horizontal Seismic Load

$$V_h = C_s W \quad W: \text{Total dead load plus applicable portions of other loads}$$

$$C_s = \frac{0.4 \cdot a_p \cdot S_{DS}}{R_p / I} (1 + 2 \cdot z / h)$$

$$\begin{aligned} R_p &= 3.5 && R: \text{response modification factor;} \\ I &= 1 && I: \text{the importance factor} \\ a_p &= 1 && a_p: \text{Component amplification factor} \\ z &= 3.9 \text{ m} && z: \text{height of attachment to structure} \\ h &= 4 \text{ m} && h: \text{height of structure} \\ C_s &= 0.21 \end{aligned}$$

$$C_{s \max} = 1.6 \cdot S_s \cdot I$$

$$C_{s \max} = 0.32$$

and not less than $C_s = 0.3 I S_{DS}$.

$$C_{s \min} = 0.3 I S_{DS}$$

$$C_{s \min} = 0.190$$

Then:

$$C_s = 0.214$$

Vertical Seismic Load

$$V_v = C_v W \quad W: \text{Total dead load plus applicable portions of other loads}$$

$$C_v = 0.2 S_{DS}$$

$$C_v = 0.127$$

ANEXO 6: MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS PRINCIPALES SOPORTES

Los elementos de acero serán diseñados usando el método de tensiones admisibles según Manual AISC ASD 89.

En esta memoria se han utilizado planillas de cálculo utilizando las siguientes fórmulas:

Compresión de placas

$$\text{Si } KL/r < C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} \rightarrow F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2 \cdot C_c^2}\right] \cdot F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8 \cdot C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8 \cdot C_c^3}}$$

$$\text{Si } KL/r > C_c \rightarrow F_a = \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot E}{23 \cdot (KL/r)^2}$$

Tracción de placas

$$F_t = 0.6 \cdot F_y$$

Corte en placas

$$F_v = 0.4 \cdot F_y$$

Flexión en placas

$$F_b = 0.75 \cdot F_y \cdot \frac{b \cdot e^2}{6}$$

Corte en Soldadura

$$Q_{análisis} \leq Q_{adm} = 0.4 \cdot F_{EXX} \cdot \frac{\text{ancho filete}}{\sqrt{2}} \cdot \text{longitud cordón};$$

Limite de relación de ancho y espesor para elementos sometidos a compresión

Se utilizaron las siguientes formulas para elementos compactos,

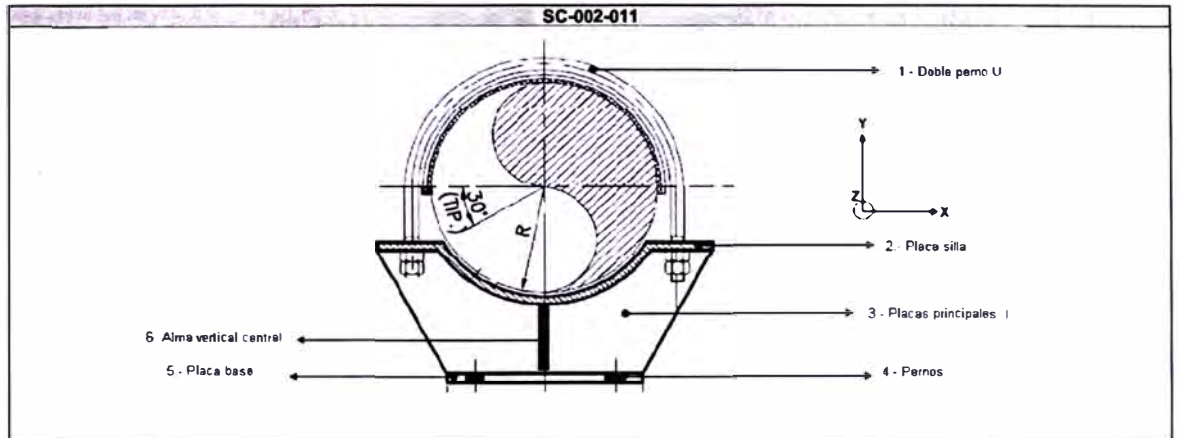
$$b/t \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}} \text{ para alas no atiesadas (flanges) de elementos con sección H.}$$

$$b/t \leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \text{ para almas atiesadas (webs) en compresión por flexión.}$$

Esbeltez por corte.

La siguiente formula se utilizo para los elementos sometidos a corte, para evitar la reducción de corte por pandeo de compresión en corte.

$$h/t_w \leq \frac{380}{\sqrt{F_y}}$$



CODIGO SC-002-011 **Ø** **(in)**

GENERAR TABLA RESUMEN

1.- PERNOS U

Criterio de Diseño

Fuerza en dirección Y sometido a tracción (perno).

Propiedades

Material A36

f_y [kg/cm ²]	=	2531
F_u [kg/cm ²]	=	4080

Datos

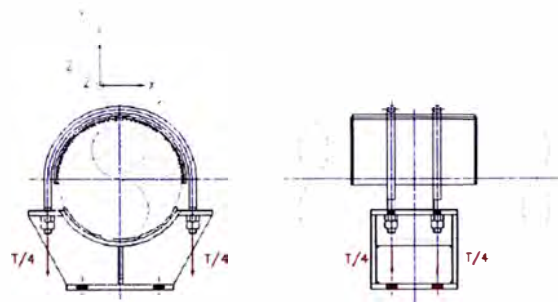
Número de pernos/lado	=	2
Número total de pernos	=	4
Diámetro perno P [cm]	=	2.2
% Area útil perno [%]	=	80

Cálculos

Tracción

T [ton]	=	4.1
$F_y +$ [ton]	=	28.7
F_z [ton]	=	

$T = 0.33 F_u \cdot A \cdot \%$
 $F_y + = \#pernos \cdot T$



Resumen

F_x [ton]	=	-
$F_y -$ [ton]	=	-
$F_y +$ [ton]	=	28.7
F_z [ton]	=	-

2.- PLACA SILLA

Criterio de Diseño

Fuerza en dirección Y sometido a flexión

Propiedades

Material A36

f_y [kg/cm ²]	=	2531
F_u [kg/cm ²]	=	4080

Datos

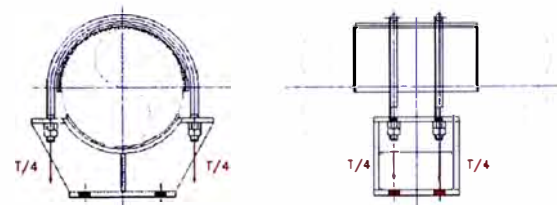
Número de pernos/lado	=	2
Número total de pernos	=	4
Espesor placa L [cm]	=	1.0

Cálculos

Flexión

T [ton]	=	2.0
$F_y +$ [ton]	=	8.1

$T = (0.6 f_y L^2 / 3) \cdot \#areas \text{ flexión unitario}$
 $F_y + = \#areas \text{ de flexión} \cdot T$



Resumen

F_x [ton]	=	-
$F_y -$ [ton]	=	-
$F_y +$ [ton]	=	8.1
F_z [ton]	=	-

3.- PLACAS PRINCIPALES

Criterio de Diseño

Fuerza en dirección X sometido a corte
Fuerza en dirección Y sometido a compresión

Propiedades

Material	A36		
	f_y [kg/cm ²]	=	2531
	F_u [kg/cm ²]	=	4080

Datos

Número de placas		=	2
Dist. centro-base A	[cm]	=	24.5
Espesor placa L	[cm]	=	1.0
Esp. placa base K	[cm]	=	1.2
Altura placa h	[cm]	=	12.4
Radio (r + L)	[cm]	=	12.6
Distancia V2	[cm]	=	14
Angulo Alfa	[°]	=	60.0
Angulo Beta	[°]	=	30
Mod. Elasticidad E	[kg/cm ²]	=	2100000
	K	=	1

Cálculos

Corte

Ancho de corte ac	[cm]	=	4.6
Q	[ton]	=	4.7
F_x	[ton]	=	9.3

Compresión

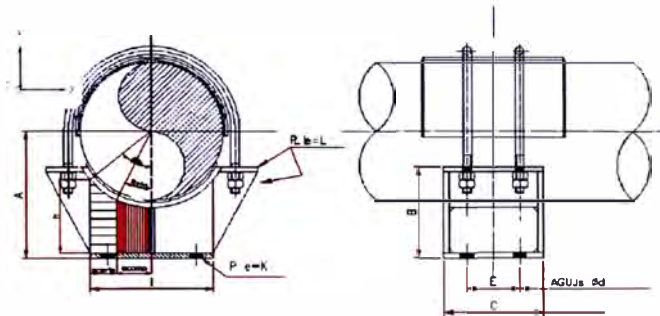
Ancho de compresión acom	[cm]	=	12.6
Radio de giro r	[cm]	=	3.6
Esbitez K·h / r		=	3.5
Cc		=	128.0

Como la Esbitez < Cc =>

F_a	[kg/cm ²]	=	1508.9
P	[ton]	=	19.0
F_y	[ton]	=	19.0

Resumen

F_x	[ton]	=	9.3
F_y	[ton]	=	19.0
$F_y +$	[ton]	=	-
F_z	[ton]	=	-



$$h = A - [(r+L)\cos(\text{Beta}) + K]$$

Alfa = aseno(F/(r+L)) si es menor a 60°
sino es 60°.
Beta=Alfa/2

$$Q = 0.4 f_y \text{ Area}$$

$$F_x = \# \text{ en corte } Q$$

$$r = h / 12^{(0.5)}$$

$$\text{Esbitez} = K \cdot h / r$$

$$C_c = (2 \pi^2 E / f_y)^{(0.5)}$$

$$F_a = [1 - (K h / r)^2 / (2 C_c^2)] \cdot f_y / [5/3 + 3(K h / r) / (8 C_c) - (K h / r)^3 / (8 C_c^3)]$$

$$P = F_a \text{ Area}$$

$$F_y = P$$

4.- PERNOS INFERIORES

Criterio de Diseño

Fuerza en dirección Y sometido a tracción (perno).
Fuerza en X pernos sometidos a tracción.
Fuerza en Z pernos sometidos a tracción.

Propiedades

Material	A36		
	f_y [kg/cm ²]	=	2531
	F_u [kg/cm ²]	=	4080

Datos

Número de pernos/lado		=	2
Número total de pernos		=	4
Diámetro perno P	[cm]	=	2.2
% Area útil perno	[%]	=	80
Altura A	[cm]	=	24.5
Distancia pernos J	[cm]	=	20
Distancia pernos E	[cm]	=	10

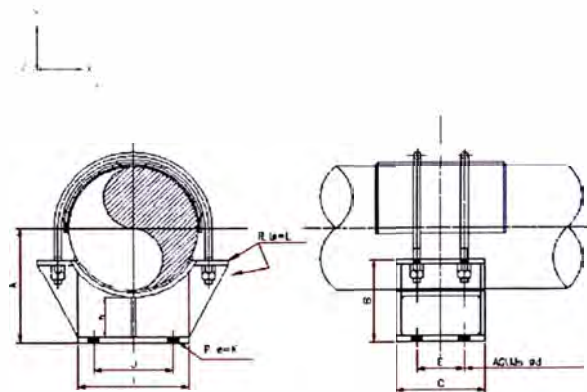
Cálculos

Tracción

T	[ton]	=	4.1
$F_y +$	[ton]	=	16.4
F_x	[ton]	=	13.4
F_z	[ton]	=	3.3

Corte

Q	[ton]	=	3.7
$F_y +$	[ton]	=	-
F_x	[ton]	=	7.4
F_z	[ton]	=	7.4



$$F_y + = \# \text{pernos} \cdot T$$

por momento maximo = J · T / A · # pernos/lado

$$\text{por momento maximo} = E \cdot T / A \cdot \# \text{pernos/lado}$$

$$T = 0.33 F_u \cdot A \cdot \%$$

$$F_y + = \# \text{pernos} \cdot T$$

$$T = 0.3 F_u \cdot A \cdot \%$$

$$T = 0.3 F_u \cdot A \cdot \%$$

Resumen

Fx (ton)	=	7.4
Fy - (ton)	=	-
Fy + (ton)	=	16.4
Fz (ton)	=	3.3

6.- ALMA VERTICALCENTRAL

Criterio de Diseño

Fuerza en dirección Z sometido a corte placa y soldadura

Propiedades

Material	A36		
	fy [kg/cm2]	=	2531
	Fu [kg/cm2]	=	4080
Soldadura			
	Electrodo	=	E60XX
	Fexx [kg/cm2]	=	4218
	Factor de seguridad FS	=	2

Datos

Dist. centro-base A	[cm]	=	24.5
Espesor placa L	[cm]	=	1.0
Esp. placa base K	[cm]	=	1.2
Altura placa h	[cm]	=	10.7
Ancho de placa C	[cm]	=	19.5
Radio (r + L)	[cm]	=	12.8
# de cord. de sold. en placa		=	2
Mod. Elasticidad E	[kg/cm2]	=	2100000
	K	=	1

Cálculos

Corte - Alma

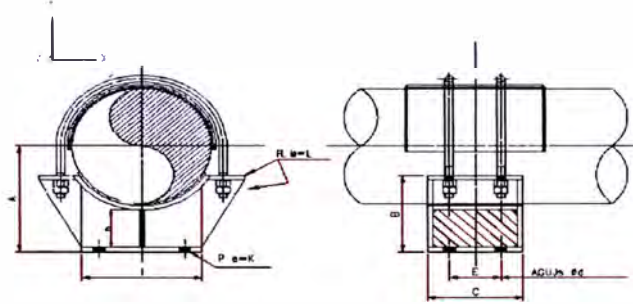
Q	[ton]	=	19.7
Fz	[ton]	=	39.5

Corte - Soldadura

Ancho de filete sold.	[cm]	=	0.5
Longitud de cordón	[cm]	=	19.5
Q	[ton]	=	4.4
Fz	[ton]	=	8.7

Resumen

Fx (ton)	=	-
Fy - (ton)	=	-
Fy + (ton)	=	-
Fz (ton)	=	8.7



$Q = 0.4 f_y A$
 $Fz = \# \text{ en corte } \cdot Q$

Segun tabla J2.4 (AISC 1989)

$Q = 0.3 F_{exxx} (\text{ancho filete} \cdot \text{longitud de cordón}) / FS$
 $Fz = \# \text{ cordones} \cdot Q$

9.- Aplastamiento tubería

Criterio de Diseño - en base a AWWA M11 - 1989 - Capítulo 7

Fuerza en dirección Y sometido a aplastamiento

Propiedades

Material cañería	A53 Gr B		
	fy [kg/cm2]	=	2531

Datos

diametro	[in]	=	8
Espesor final ef	[cm]	=	0.431
Radio r	[cm]	=	38.7
Angulo Garna silla	[°]	=	120.0
Angulo pemos U	[°]	=	180.0

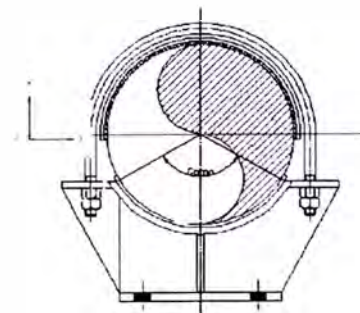
Cálculos

Aplastamiento

36000 [psi]

0.17 [in]
 15.24 [in]

cañería
 cañería
 cañería
 cañería



k	=	0.0164	$k = 0.02 - 0.00012 (A - 90)$
P [lb]	=	14053.2	$P = f_y \cdot L^2 / (k \cdot \ln(r/ef))$
P [ton]	=	6.4	
Fy - [ton]	=	6.4	Fy - = P
k	=	0.0062	$k = 0.02 - 0.00012 (A - 90)$
P [lb]	=	25051.4	$P = f_y \cdot L^2 / (k \cdot \ln(r/ef))$
P [ton]	=	11.4	
Fy + [ton]	=	11.4	Fy - = P

Resumen

Fx [ton]	=	-
Fy - [ton]	=	6.4
Fy + [ton]	=	11.4
Fz [ton]	=	-

RESUMEN FINAL

Cargas Admisibles			
SC-002-011			
8 [in]			
Fx [ton]	Fy - [ton]	Fy + [ton]	Fz [ton]
7.4	6.4	8.1	3.3

SC-010-011



CODIGO	SC-010-011	8	[in]
---------------	-------------------	----------	-------------

1.- GUÍA INFERIOR

Criterio de Diseño

Fuerza en dirección X sometido a corte (placa y soldadura inferior)
 Fuerza en dirección Y sometido a corte-flexión placa superior
 y Momento-Tracción placa inferior, soldadura placa superior e inferior

Propiedades

Material	A36		
	f_y [kg/cm ²]	=	2531
	F_u [kg/cm ²]	=	4080
Soldadura			
	Electrodo	=	E70XX
	F_{exx} [kg/cm ²]	=	4921
	Factor de seguridad FS	=	2

Datos

Espesor placa PL1	[cm]	=	1	
Ancho de placa L	[cm]	=	15	
Largo placa Lp	[cm]	=	4	
ancho de filete h	[cm]	=	0.8	
# de placas		=	1	
# de cord. de sold. en placa		=	1	
altura punto de acción fuerza	[cm]	=	0.75	0.75*PL1

Cálculos

Corte - Flexión Placa Superior

Q	[ton]	=	15.2	$Q = 0.4 \cdot f_y \cdot A$
T	[ton]	=	0.9	$T = [0.6 \cdot f_y \cdot L \cdot PL1^2 / (6 \cdot Lp)]$
$F_y +$	[ton]	=	0.9	$F_y + = \# \text{ placas} \cdot T$ (se elige el menor valor entre Q y T)

Tracción - Placa Inferior

T1	[ton]	=	22.8	$T1 = 0.6 \cdot f_y \cdot L \cdot PL1$
T2	[ton]	=	122.4	$T2 = 0.5 \cdot F_u \cdot L \cdot PL1$
$F_y +$	[ton]	=	22.8	$F_y + = \# \text{ placas} \cdot T$ (se elige el menor valor entre T1 y T2)

Corte - Placa Inferior

Q	[ton]	=	15.2	$Q = 0.4 \cdot f_y \cdot A$
F_x	[ton]	=	15.2	$F_x = \# \text{ placas en corte} \cdot Q$ (# placas en corte = 1)

Flexión fuerza vertical- Soldadura Placa Superior

Longitud de cordón	[cm]	=	15	
Fb	[ton]	=	0.6	$Fb = [0.6 \cdot F_{exx} \cdot L \cdot h^2 / (6 \cdot Lp \cdot FS)]$
$F_y +$	[ton]	=	0.6	$F_y + = \# \text{ sold en corte} \cdot Fb$

Flexión fuerza vertical- Soldadura Placa Inferior

Longitud de cordón	[cm]	=	15	
Fb	[ton]	=	0.5	$Fb = [0.6 \cdot F_{exx} \cdot L \cdot h^2 / (6 \cdot (Lp+PL1) \cdot FS)]$
$F_y +$	[ton]	=	0.5	$F_y + = \# \text{ sold en corte} \cdot Fb$

Flexión fuerza horizontal - Soldadura Placa Inferior

Longitud de cordón	[cm]	=	15	
Fb	[ton]	=	3.1	$Fb = [0.6 \cdot F_{exx} \cdot L \cdot h^2 / (6 \cdot (\text{altura_punto}) \cdot FS)]$
F_x	[ton]	=	3.1	$F_x = \# \text{ sold en corte} \cdot Fb$

Resumen

F_x	[ton]	=	3.1
$F_y -$	[ton]	=	-
$F_y +$	[ton]	=	0.5
F_z	[ton]	=	-

RESUMEN FINAL

Cargas Admisibles			
SC-010-011			
8 [in]			
F_x	$F_y -$	$F_y +$	F_z
[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
3.1	0.0	0.5	0.0

ANEXO 7: ESTIMADO DE COSTOS DEL ESTUDIO

Entregables

Propuesta de Ingeniería	DISC.	TIPO	CANT.	HORAS	TOTAL	ESP D	PM	ENG D	ENG D	SUP G	SUP C	AOM C	ADM C	TOTAL
						LAB4	LB01	LC05	LC04	LD06	LD05	LD04	LE03	
Ítems						150	90	70	60	60	35	40	30	USD
ADMINISTRACIÓN														
Gerencia del Proyecto	PM	NA	1	18	18		18							1,620.00
Administración de Contratos	AD	NA	1	9	9					9				540.00
Control de Proyecto	CRT	NA	1	9	9			9						630.00
Control de Documentos	DCC	NA	1	9	9							9		360.00
Administración del Proyecto	PA	NA	1	9	9								9	270.00
Visita a campo	ING	ACT	1	18	18			18						1,260.00
Subtotal			6		72									4,680.00
INGENIERÍA														
Revisión Técnica	ME	ACT	1	27	27	27								4,050.00
Líder de Disciplina	ME	ACT	1	27	27			27						1,890.00
Ingeniero (especialista)	ME	DOC	1	275	275			275						16,500.00
Proyectista	DWG	ACT	1	18	18						18			630.00
Revisión interdisciplina (Líderes de disciplina)	ENG	ACT	1	9	9			9						630.00
Subtotal			5		356									23,700.00
TOTAL			11		428	27	18	63	275	9	18	9	9	28,380.00

Gastos reembolsables

Análisis de Flexibilidad para estación de bombeo 2 (PS2)

GASTOS REEMBOLSABLES

Conceptual	Descripción	Cantidad	Unidades	Costo Unitario \$	Total \$	Comentarios
	Seguros	1	c/u	\$ 100	\$ 100	
	Camioneta (visita a campo)	2	días	\$ 150	\$ 300	Incluye chofer
	Exámenes Médicos	1	c/u	\$ 50	\$ 50	
	Hoteles	1	noche x persona	\$ 50	\$ 50	1 persona
	Viáticos (visita a campo)	2	días x persona	\$ 35	\$ 70	1 personas por 3 días
	Comunicaciones	1	Cant.	\$ 50	\$ 50	Llamadas telefónicas
	Traslados Locales/taxis	0	Ida y vuelta	\$ 50	\$ -	Aeropuerto a Casa
	Otros	1	Cant.	\$ 200	\$ 200	Gastos no estimados
					\$ 820	