

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

## DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

ESTUDIO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN DEL EPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN EDÉN) Y DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN QUE PERMITA OPTIMIZAR LA PRESIÓN Y EL CAUDAL, ASÍ COMO MEJORAR EL CONTROL Y OPERACIÓN DEL SISTEMA.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

EDISON DAVID YANCHAPAXI NOVILLO

DIRECTOR: ING. PATRICIO RIOFRÍO

CODIRECTOR: ING. JUAN PABLO ALCOSER

Sangolquí, 2010 – 11



## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “ESTUDIO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN DEL EPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN EDÉN) Y DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN QUE PERMITA OPTIMIZAR LA PRESIÓN Y EL CAUDAL, ASÍ COMO MEJORAR EL CONTROL Y OPERACIÓN DEL SISTEMA” fue realizado en su totalidad por Edison David Yanchapaxi Novillo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

Ing. Patricio Riofrío

**DIRECTOR**

---

Ing. Juan Pablo Alcoser

**CODIRECTOR**

Sangolquí, 10-11-15



## LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

ESTUDIO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN DEL EPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN EDÉN) Y DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN QUE PERMITA OPTIMIZAR LA PRESIÓN Y EL CAUDAL, ASÍ COMO MEJORAR EL CONTROL Y OPERACIÓN DEL SISTEMA.

ELABORADO POR:

---

Edison David Yanchapaxi Novillo

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

---

Ing. Emilio Tumipamba

Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica



## **DEDICATORIA**

Dedico esta gran labor realizada a mi familia y a mi amada novia quienes incondicionalmente me han brindado el apoyo necesario para culminar una etapa más en esta carrera de la vida.

**Edison Yanchapaxi Novillo.**



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme sabiduría, salud y vida para poder culminar mi carrera universitaria.

A la Carrera de Ingeniería Mecánica por haberme guiado por el camino del conocimiento científico y técnico con una gran cuota de humanidad.

A Petroamazonas por haberme dado la oportunidad de ser parte de su gran grupo de profesionales al servicio del país.

A mis directores por ser guías fundamentales para culminar una de mis metas.

**Edison Yanchapaxi Novillo.**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	iii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	v
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
NOMENCLATURA	xxv
ÍNDICE DE ANEXOS	xxix
RESUMEN	xxxii
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES</b>	
1.1 <b>Introducción</b>	1
1.2 <b>Antecedentes</b>	1
1.2.1 Definición del problema	2
1.3 <b>Objetivos</b>	6
1.3.1 General	6
1.3.2 Específicos	7
1.4 <b>Justificación e importancia</b>	7
1.5 <b>Alcance</b>	9

## **CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO**

<b>2.1 Historia del campo EPF</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Agua de formación</b>	<b>13</b>
2.2.1 Composición del agua de formación	14
2.2.2 Calidad del agua de formación	15
2.2.3 Químicos para inyección	15
2.2.4 Producción de agua de formación	16
<b>2.3 Pozos reinyectores</b>	<b>19</b>
<b>2.4 Bombas de agua</b>	<b>21</b>
2.4.1 Sistemas de bombas de agua	26
2.4.2 Bombas verticales de turbina	27
2.4.3 Bombas centrífugas horizontales	30
<b>2.5 Válvulas</b>	<b>30</b>
<b>2.6 Tubería de agua</b>	<b>36</b>
2.6.1 Sistemas de tubería en serie	36
2.6.2 Sistema de tubería en paralelo	38
2.6.3 Accesorios	39
<b>2.7 Pérdidas en tubería</b>	<b>40</b>
<b>2.8 Sistemas SCADA</b>	<b>43</b>

## **CAPÍTULO 3 ESTUDIO Y VALORACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN DE EPF**

<b>3.1 Levantamiento del inventario técnico</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Categorización y diferenciación de las máquinas</b>	<b>54</b>
<b>3.3 Tanques de almacenamiento de agua</b>	<b>55</b>
3.3.1 Código de diseño	56
3.3.2 Características técnicas originales	57
3.3.3 Presión de cabeza de tanques	59
3.3.4 Problemas habituales	59
3.3.5 Valoración técnica de los tanques de almacenamiento de agua	60
<b>3.4 Estudio específico de las bombas tipo Booster</b>	<b>61</b>
3.4.1 Características técnicas y rangos de trabajo ideales	62
3.4.2 Presión real de entrada y salida	66
3.4.3 Caudal de entrada y salida	66
3.4.4 Características reales de trabajo	67
3.4.5 Curvas características reales	69
3.4.6 Problemas frecuentes	75
3.4.7 Soluciones implementadas a problemas frecuentes	75
3.4.8 Valoración técnica de sistema de bombas Booster	76
<b>3.5 Estudio de las bombas tipo Disposal</b>	<b>77</b>

3.5.1	Características técnicas y rangos de trabajo ideales	78
3.5.2	Presión real de entrada y salida	81
3.5.3	Caudal de entrada y salida	81
3.5.4	Características reales de trabajo	82
3.5.4.1	Curvas características reales	84
3.5.5	Problemas frecuentes	93
3.5.6	Soluciones implementadas a problemas frecuentes	93
3.5.7	Valoración técnica del sistema de bombas Disposal	94
3.6	<b>Estudio de la tubería y accesorios</b>	95
3.6.1	Códigos de diseño	96
3.6.2	Integridad de la tubería	96
3.6.2.1	Niveles de corrosión	96
3.6.2.2	Inspección física detallada de la tubería y accesorios	97
3.6.2.3	Clasificación de accesorios	99
3.6.3	Valoración técnica de la tubería y accesorios	100
3.7	<b>Estudio de las válvulas del sistema</b>	100
3.7.1	Tipos de válvulas	101
3.7.2	Válvulas de choque	104
3.7.2	Valoración técnica de las válvulas del sistema	105
3.8	<b>Estudio de los inyectores</b>	105
3.8.1	Presiones de inyección	106
3.8.2	Valoración técnica de los inyectores	106

3.9	<b>Estudio de los pozos reinyectores</b>	107
3.9.1	Valoración técnica de los pozos reinyectores	108

## **CAPÍTULO 4 SOLUCIONES PARA EL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN**

4.1	<b>Planteamiento de soluciones</b>	109
4.2	<b>Análisis de soluciones</b>	114
4.2.1	Análisis de factibilidad	115
4.2.2	Análisis costo/beneficio	117
4.3	<b>Selección de la solución óptima</b>	120

## **CAPÍTULO 5 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA**

5.1	<b>Diseño</b>	121
5.1.1	Cálculo del diseño	124
5.1.2	Planos del diseño	159

## **CAPÍTULO 6 SIMULACIÓN Y VALORACIÓN DE METAS DE PORCENTAJE DEL SISTEMA IMPLANTADO LA SOLUCIÓN ÓPTIMA**

6.1	<b>Simulación mediante software</b>	161
6.1.1	Simulación mediante software del sistema actual	163
6.1.2	Cálculo de pérdidas	168
6.1.2.1	Pérdidas en el cabezal 1	168
6.1.2.2	Pérdidas en el cabezal 2	169
6.1.3	Simulación mediante software del sistema	173

implantado la solución óptima	
6.1.4 Cálculo de pérdidas	181
6.1.4.1 Pérdidas en el cabezal 1	181
6.1.4.2 Pérdidas en el cabezal 2	182
6.1.4.3 Pérdidas en el cabezal 3	183
6.2 Valoración de metas de porcentaje de presión y caudal	187
 <b>CAPÍTULO 7 ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO</b>	
7.1 Flujos presupuestados	191
7.2 Análisis costo / beneficio	195
7.3 VAN	195
7.4 TIR	196
7.5 Punto de equilibrio	196
 <b>CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1 Conclusiones	199
8.2 Recomendaciones	202
 <b>BIBLIOGRAFÍA</b>	 205

## ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Resumen de producción anual de agua de formación en EPF	17
2.2	Intervalos anuales y porcentajes de aumento de agua de formación	17
3	Inventario técnico de los componentes del sistema de reinyección	48
3.1	Categorización y diferenciación de los elementos del sistema de Reinyección	55
3.2	Características de diseño del tanque T-204	57
3.3	Características de diseño del tanque T-205	58
3.4	Características originales de fabrica bombas Booster	63
3.5	Características originales de fabrica bombas Booster	63
3.6	Características del motor eléctrico que impulsa a la bomba Booster	64
3.7	Presión de succión y descarga de las bombas Booster	66
3.8	Caudal de entrega de las bombas Booster	67
3.9	Presión diferencial y caudal de las bombas Booster	67
3.10	NPSH requerido, Caudal y velocidad angular del eje principal De las bombas Booster	68
3.11	Punto de operación de las bombas Booster y desviación del BEP	76
3.12	Características técnicas y rangos de trabajo ideales de las bombas Disposal	78
3.13	Características del motor eléctrico que impulsa a las bombas Disposal	79
3.14	Presión en la succión y descarga de las bombas Disposal	81
3.15	Caudal de entrega de las bombas Disposal	81
3.16	Diferencial de presión y caudal de entrega de las bombas Disposal	82
3.17	NPSH requerido, caudal de entrega y velocidad angular del eje Principal de las bombas Disposal	83
3.18	Punto de operación y desviación del BEP de las bombas Disposal	95
3.19	Líneas de tubería y velocidad de corrosión	97
3.20	Puntos críticos de corrosión	98
3.21	Detalle y ubicación de accesorios de tubería	99
3.22	Presiones de inyección en los pozos	106
3.23	Indicis de inyectividad y caudales máximos de recepción de Los pozos	107
4.1	Etapas de trabajo para la implementación de la solución1	116

4.2	Tabla de calificación de la Solución 1 y Solución 2	120
6.1	Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 1 calculadas en la simulación	166
6.2	Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 2 calculadas en la simulación	168
6.3	Hoja de cálculo de pérdidas del cabezal 1 del sistema actual	168
6.4	Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal 2 del sistema actual	170
6.5	Resumen de Pérdidas del sistema actual	170
6.6	Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 1 calculadas en la simulación	176
6.7	Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 2 calculadas en la simulación	178
6.8	Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 3 calculadas en la simulación	181
6.9	Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal 1 del sistema implantado La solución óptima	181
6.10	Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal 2 del sistema implantado La solución óptima.	182
6.11	Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal 3 del sistema implantado La solución óptima.	183
6.12	Resumen de pérdidas en el sistema implantado la solución	184
6.13	Resumen de resultados de la simulación y de las hojas de cálculo	187
6.14	Capacidad estimada del sistema de reinyección implantado La solución	189
6.13	Capacidad del sistema de reinyección actual	189
6.15	Metas de porcentaje de la implementación de la solución	191
7.1	Costos de Materia prima del proyecto	192
7.2	Costos de Materia de Prefabricación, Instalación, Desmontaje y Montaje	122
7.3	Inversión del proyecto	193
7.4	Ingresos de EPF	193
7.5	Egresos de EPF	193
7.6	Flujos Presupuestados	194
7.7	Relación Beneficio/Costo	195

7. 8	Valor actual Neto	196
7. 9	Punto de equilibrio expresado en dinero	197
7. 10	Punto de equilibrio expresado en barriles anuales	198



## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Esquema General del sistema de Reinyección del EPF	3
1.2	Sistema de Reinyección de EPF	5
2.1	Ubicación del Bloque 15	11
2.2	Plano de Planta del EPF	12
2.3	Tendencia de la producción de agua de formación en EPF	17
2.4	Diagrama de un pozo Reinyector	20
2.5	Punto de operación de una bomba	22
2.6	Sello Mecánico	23
2.7	Bomba Centrífuga	24
2.8	Curvas de Rendimiento de una bomba	25
2.9	Sistemas de bombas paralelo	26
2.10	Sistema de bombas en serie	27
2.11	Bomba vertical de turbina con el motor por encima	29
2.12	Válvula de bola típica	32
2.13	Válvula de bola con retención basculante	33
2.14	Válvula de bola de tres vías	33
2.15	Vista transversal de una válvula de aguja y resistor variable	34
2.16	Válvula de mariposa	35
2.17	Sistema de tubería en serie	37
2.18	Sistema en paralelo con dos ramas	38
2.19	Sistema en paralelo con tres ramas	39
2.20	Arquitectura típica del sistema HMI/ SCADA	44
2.21	Software HMI/SACADA	45
3.1	Tanque de almacenamiento de agua de formación T-204	56
3.2	Tanque de almacenamiento de agua de formación T-205	56
3.3	Datos de placa tanque T-204	57
3.4	Datos de placa tanque T-205	58
3.5	Diagrama del sistema de bombas Booster y la confiabilidad del Sistema	62
3.6	Placa de una bomba Booster 2000 GPM	63
3.7	Placa de una bomba Booster 1900 GPM	64
3.8	Placa de un motor vertical eléctrico General Electric	64
3.9	Curvas de Desempeño	65

3.10	Curva Real de la Bomba Booster P - 206	70
3.11	Curva Real de la Bomba Booster P - 208	71
3.12	Curva Real de la Bomba Booster P - 209	72
3.13	Curva Real de la Bomba Booster P - 210	73
3.14	Curva Real de la Bomba Booster P - 217	74
3.15	Sello Mecánico y Procedimiento de medición del juego radial	76
3.16	Diagrama del sistema de bombas Disposal y la confiabilidad Del sistema	78
3.17	Placa de una bomba Disposal	79
3.18	Placa de un motor eléctrico	79
3.19	Curva de Desempeño de la P – 270	84
3.20	Curva de Desempeño de la P – 275	85
3.21	Curva de Desempeño de la P – 280	86
3.22	Curva de Desempeño de la P – 285	87
3.23	Curva de Desempeño de la P – 290	88
3.24	Curva de Desempeño de la P – 295	89
3.25	Curva de Desempeño de la P – 300	90
3.26	Curva de Desempeño de la P – 305	91
3.27	Curva de Desempeño de la P – 310	92
3.28	Sello Mecánico y Lado Acople	94
3.29	Interfaces y equipo ultrasonido de medición de espesores	96
3.30	Lubricación de la válvula VLV-2058	101
3.31	Válvula de bola con actuador y accionamiento mecánico	101
3.32	Válvula Check	102
3.33	Válvulas FV a la descarga de las a) Bombas Disposal b) Bombas Booster	103
3.34	Conjunto de válvulas de compuerta “Árbol de navidad”	103
3.35	Válvula de choque B6 (nueva cambiada el 8 de mayo del 2010)	104
3.36	Conjunto de válvulas de compuerta “Árbol de navidad”	106
4.1	Válvula de bola de 16” y puntos de desplazamiento	110
4.2	Ubicación del cabezal2 el desplazamiento de válvulas (Solución1)	110
4.3	Recorrido de la Tubería	111
4.4	Recorrido de la Tubería dentro del Pad B	111
4.5	Sección de la tubería común entre la válvula de choque B-07 y B-05	112

4.6	Sección de la tubería común entre la válvula de choque B-07 y B-05 (Sistema de reinyección actual)	112
4.7	Esquema general de la Solución 1	113
4.8	a) tubería de descarga b) Ubicación de la válvula de control c) Ubicación del medidor digital de caudal y Presión	114
4.9	Esquema General de la Solución 2	114
5.1	Línea de tubería nueva (cabezal 2)	121
5.2	Secciones de tubería que forman parte del diseño	122
5.3	Tramos de tubería enterrada	123
6.1	Tramo de tubería considerado para la simulación y el cálculo de Pérdidas de energía del sistema de reinyección actual	162
6.2	Tramo de tubería considerado para la simulación y el cálculo de Pérdidas de energía del sistema implantado la solución	162
6.3	Diseño del cabezal1 en Pipe flow Expert	163
6.4	Ingreso de datos de las bombas Disposal	164
6.5	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 1	164
6.6	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 1	165
6.7	Solución del cabezal 1, resultados (número de Reynolds, perdidas)	165
6.8	Diseño del cabezal 2 en Pipe flow Expert	166
6.9	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 2	167
6.10	Resultados de la simulación del cabezal 2	167
6.11	Diseño del cabezal 1 en Pipe flow Expert	173
6.12	Ingreso de datos de las bombas Disposal	174
6.13	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal1	174
6.14	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal1	175
6.15	Solución del cabezal1, resultados (número de Reynolds, perdidas)	175
6.16	Diseño del cabezal2 en Pipe flow Expert	176
6.17	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal2	177
6.18	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal2	177
6.19	Solución del cabezal 2, resultados (número de Reynolds, perdidas)	178
6.20	Diseño del cabezal 3 en Pipe flow Expert	179
6.21	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 3	179
6.22	Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabeza 3	180
6.23	Solución del cabezal 3, resultados (número de Reynolds, perdidas)	180



## NOMENCLATURA

Bbl	Barriles (crudo, Agua) por día
BPD	Barriles de agua inyectados por día
MBPD	Miles Barriles (crudo, Agua) por día
ppm	Partes por millón
PSI	Unidad de presión (Libras/Pulgada <sup>2</sup> )
EPF	Facilidades de Producción Edén
PAD	Plataforma
GPM	Galones por minuto
RPM	Revoluciones por minuto
USD	Dólares americanos
ISO	Organización internacional de estandarización
ASME	Asociación Americana de ingenieros Mecánicos
CPF	Facilidades de Producción Coca
RPI	Índice Relativo de Taponamiento
gl	Galones
bps	Bites por segundo
API	Instituto Americano de Petróleo
Pc	Presión de cabeza
N	Nivel de líquido
Q	Caudal
N2	Número de revoluciones por minuto
NPSH	Limite de presión de succión
PRO	Punto real de operación de una bomba
BEP	Punto de mejor eficiencia de la curva de la bomba
P	Presión
T	Temperatura
E	Eficiencia de la junta
tf	Tolerancia de fabricación
C	Corrosión Permisible
D	Diámetro
S	Esfuerzo Máximo Permisible

t	Espesor de la tubería
tm	Espesor Mínimo Requerido
tn	Espesor nominal
d	Diámetro interno
z	Módulo de sección
I	Inercia de la sección
w	Peso
L	Longitud
Mb	Momento de flexión
Mt	Momento Torsional
i	Factor de intensificación de esfuerzos
Sb	Esfuerzos de flexión
St	Esfuerzo torsional
SE	Esfuerzos equivalentes
SA	Esfuerzos admisibles
Sc	Esfuerzo básico permisible del material a temp. Amb.
Sh	Esfuerzo básico permisible del material a temp. Oper.
f	Factor de reducción de esfuerzos
Sb1	Esfuerzos de flexión por cargas sostenidas
Slp	Esfuerzo longitudinal por presión
SL	Esfuerzos longitudinales
Me	Momento resultante por cargas ocasionales
Se	Esfuerzo flexionante debido a cargas ocasionales
FS	Factor de seguridad
x	Ecuación de los tres momentos ( $x=0$ )
M	Momento de flexión
Sy	Esfuerzo de fluencia del material
tnh	Espesor nominal de cabeza
Dh	Diámetro exterior del cabezal
Eh	Factor de la junta
Db	Diámetro exterior del ramal de tubería

Tnb	Espesor nominal del ramal
Tnr	Espesor del refuerzo
$\beta$	Angulo entre el cabezal y el ramal
Sr	Esfuerzo máximo permisible
Tmh	Espesor mínimo requerido por el cabezal
Tmb	Espesor mínimo requerido por el ramal
L1	Longitud efectiva removida del cabezal
A1	Área de refuerzo requerida
A1	Área de refuerzo requerida por presión
A2	Área resultante del exceso de espesor cabezal
A3	Área resultante del exceso de espesor ramal
Aa	Área de la soldadura del refuerzo
Ab	Área del cordón de soldadura
Ac	Área perteneciente al refuerzo
A4	Área de de los componentes metálicos zona de ref.
LT	Longitud total del refuerzo
Fy	Esfuerzo de fluencia del material
R x,y	Radio de inercia de la sección alrededor del x, y
$\lambda_p$	Parámetro de compactibilidad del patín de un perfil I
rp	relación entre ancho y espesor del patín de un perfil
$\lambda_a$	Parámetro de compactibilidad del alma de un perfil I
ra	relación entre altura y espesor del alma de un perfil
k	factor de longitud efectiva
Fe	Elasticidad crítica de pandeo
Fcr	Esfuerzo crítico
Pn	Carga permisible
Pu	Carga ultima
$\phi_c$	Relación demanda Capacidad
Sx	Modulo de sección
J	Momento polar de inercia
Lp	Longitud limitante
Lr	Longitud limitante
Mn	Momento nominal
Mmax	Momento máximo de flexión

Mu	Momento máximo aplicable a la viga
A	Área de la tubería
V	Velocidad del fluido
$\rho$	Densidad
$\eta$	Viscosidad dinámica
Nr	Número de Reynolds
ft	Factor de fricción
R	Resistencia de los accesorios de tubería
K	Factor de resistencia
hl2	Pérdidas menores de energía
hl1	Pérdidas de energía por fricción
HT	Pérdidas totales

## ÍNDICE DE ANEXOS

1. Análisis físico-químico del agua de formación.
2. Análisis de calidad del agua de formación.
3. Lista de chequeo de inspección de tanques.
4. Informe de fiscalización de tanques por parte de la DNH T-204/EPF.
5. Tablas de calibración del tanque de almacenamiento de agua de formación. T-204.
6. Plan para control de desgastes internos en bombas de inyección.
7. Análisis de confiabilidad del sistema de reinyección de agua de formación de EPF.
8. Gráfico de costos por barril de Petroamazonas.
9. Planos del diseño.
10. Carta de conformidad de Petroamazonas.



## RESUMEN

EL proyecto presentado en este documento, tiene como objetivo realizar un estudio del sistema de reinyección de agua de formación de la planta EPF, además con los resultados que proporcione este realizar un análisis de la situación actual del sistema y diseñar una solución que permita optimizar tanto la presión como el caudal de reinyección, además que facilite el control y operación del sistema.

La necesidad principal para realizar este proyecto es el aumento paulatino de producción de agua de formación, por tal motivo se realizó un estudio y análisis al sistema de reinyección, además se diseño una solución para optimizar el caudal y la presión de reinyección. La solución consta de mantenimiento de equipos rotativos, desplazamiento de estos dentro del sistema, seccionamiento del cabezal de descarga de las bombas centrífugas horizontales en tres partes y el diseño de una línea de tubería que dirige el agua de formación desde el cabezal de descarga de un grupo de tres bombas centrífugas horizontales hasta los pozos reinyectores, con sus respectivas estructuras de soporte para el caso de las tubería aérea y el recubrimiento externo para evadir cargas ocasionales en el caso de la tubería enterrada. En el caso de los otros dos grupos de bombas centrífugas horizontales direccionan el fluido hasta los pozos reinyectores por medio de líneas de tubería ya existentes en el sistema actual.

El tratamiento que se da al agua de formación por medio del sistema de reinyección y por medio de los químicos como son el antiescala, anticorrosivo y clarificante, es de gran ayuda para evitar la contaminación del medio ambiente.

El proyecto está previsto para ser instalado en el Oriente Ecuatoriano, en el cantón Francisco de Orellana ubicado en la provincia de Orellana, razón por la cual los beneficiados son los pobladores del cantón, la planta EPF, así como la flora y la fauna de la región.

Por estas razones es que el presente es de gran relevancia y cuando Petroamazonas lo implemente se obtendrán buenos resultados.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

Petroamazonas forma parte del estado ecuatoriano el cual cuenta con grandes riquezas petroleras, se rige a reglas estrictas implantadas por el Ministerio Energía y Medio Ambiente, además la empresa cuenta con un sistema de protección ambiental que la hizo acreedora de la certificación internacional ISO 14001, con el fin de evitar daños ecológicos y medio ambientales en la conducción, exploración y explotación del petróleo. Mediante las facilidades de producción se separa el hidrocarburo en gas, crudo y agua de formación, siendo esta última altamente contaminante por su composición físico – química, de tal manera que su dispersión en ríos o esteros causa la muerte de la flora y fauna, además que su nivel de producción aumenta paulatinamente, por consecuencia es necesario que el agua de formación sea reinyectada en pozos teniendo en cuenta que previo a esta acción se la debe someter a un determinado tratamiento.

Por las razones expuestas Petroamazonas ha pedido que se realice un estudio del sistema de reinyección actual de una de sus facilidades de producción específicamente de EPF (Facilidades de Producción Edén), para determinar ciertos parámetros que pueden influir en el desempeño del sistema con el propósito de encontrar anomalías que den las pautas para corregirlas o en su defecto características favorables para lograr la optimización del sistema.

### **1.2 Antecedentes**

En el proceso de la extracción de petróleo no solo se presenta hidrocarburo sino viene acompañado de agua de formación, gas y sólidos disueltos. Con el pasar del tiempo la producción de agua tiene un aumento progresivo, la rapidez con la que se efectúa este aumento depende de las condiciones de cada pozo y yacimiento en particular.

Por la alta relación de movilidad que existe entre los fluidos en un yacimiento se presenta tempranamente el agua de formación la cual se encuentra altamente contaminada, la misma que por normas internacionales no se puede arrojar a la superficie por que causaría un gran daño ambiental.

Por consecuencia la alternativa más óptima es la reinyección del agua de formación, que en el caso de EPF el volumen de reinyección diario sobrepasa los 260000 BPD. La importancia de efectuar una eficiente reinyección se fundamenta en controlar y dar un tratamiento adecuado al agua de formación para evitar el daño al medio ambiente.

El estudio detallado de los componentes más relevantes del sistema de reinyección es de vital importancia para encontrar anomalías las cuales permitirán preveer, dar una pauta de soluciones que darán mayor tiempo de vida útil al sistema y cumplir con los objetivos diarios de reinyección de agua de formación.

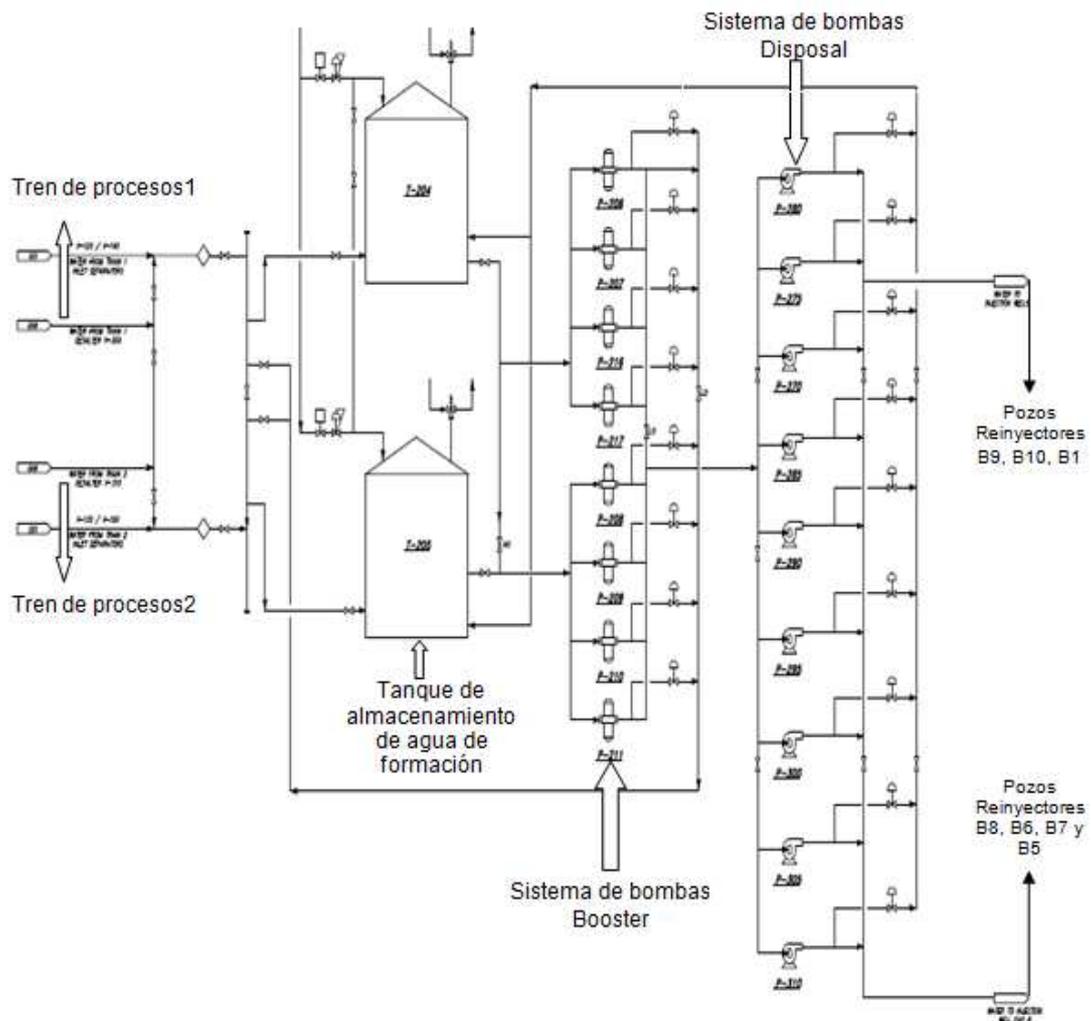
### **1.2.1 Definición del problema**

El tratamiento que Petroamazonas facilita al agua de formación consta de un sistema de reinyección el cual es un método muy utilizado en los campos petroleros por su bajo impacto ambiental.

De la extracción del hidrocarburo de los pozos productores de EPF, los mismos que se encuentran ubicados en los siguientes Pads: A, B, C, D, E, F, K, J, G, de donde se obtiene la mezcla formada por crudo, gas y agua que es llevada hacia la planta de procesos por medio de redes de tubería. En los pozos productores se inyectan los químicos antiescala para evitar la formación de incrustaciones y anticorrosivo para mantener la integridad de la tubería a lo largo de su recorrido.

En la planta se realiza el trabajo de la separación del crudo, gas y agua, mediante dos trenes de procesos que se observan en la figura 1.1, el primero

cuenta dos separadores trifásicos denominados dentro de la planta como V-120 y V-140 cuya capacidad de proceso en ambos casos es de 110000 BPD de hidrocarburo. Por medio de las características constructivas de los separadores y características físicas de los fluidos componentes, se logra la separación del gas, crudo y agua, esta última al encontrarse por debajo del colchón de crudo se la direcciona por medio de tubería desde cada separador hasta el tanque de almacenamiento de fondo plano denominado T-204, el gas se dirige hacia los tanques de almacenamiento. El gas se direcciona hacia el Fuel gas system, el cual elimina los condensados del mismo para que sea utilizado como combustible de los generadores de energía que posee la planta y por otra parte sea quemado en el flare o también denominado mechero.



**Figura 1.1** Esquema General del sistema de Reinyección del EPF

**Fuente:** Petroamazonas

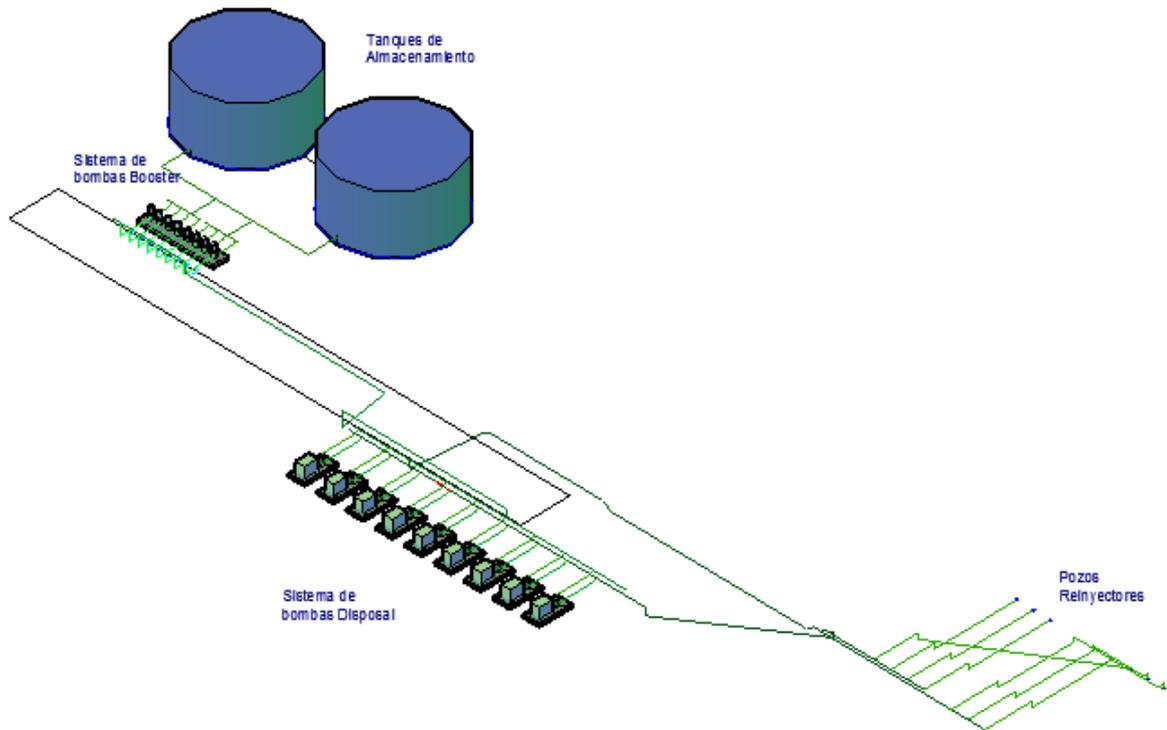
El crudo procesado mediante los separadores trifásicos todavía contiene un cierto porcentaje de agua, así que este se direcciona hacia un deshidratador electrostático denominado V-300 que tiene una capacidad de tratamiento de 50000 BPD de hidrocarburo, este mediante placas coalescentes logra que el fluido se encuentre en un estado laminar y por el campo eléctrico producido dentro del deshidratador se logra la separación del porcentaje de agua existente en el crudo y de igual manera el agua al encontrarse debajo del crudo se dirige por medio de tubería hacia el tanque de almacenamiento T-204.

El segundo tren de procesos consta de dos deshidratadores denominados V-130 y V-150 y de un deshidratador electrostático denominado V-310. El proceso de separación del agua y el crudo es exactamente igual que el del primer tren de procesos, la única diferencia es que el agua que se separa del crudo en los equipos anteriormente mencionados, se direcciona por medio de tubería hacia el tanque de almacenamiento de fondo plano denominado T-205. En los tanques de almacenamiento el agua se encuentra con aproximadamente 45 ppm de crudo.

A partir de los tanques de almacenamiento anteriormente mencionados empieza el proceso de reinyección de agua de formación. Ver figura 1.2.

Dentro de los tanques se mantiene aproximadamente un nivel de 16 pies de agua de formación, en condiciones normales de trabajo del sistema de reinyección, este nivel puede subir máximo hasta 30 pies. Además los tanques poseen bandejas de recuperación del crudo que ha logrado pasar de los separadores y de los deshidratadores.

El agua de formación proveniente de los dos trenes de procesos es almacenada con el fin de mantener un nivel adecuado dentro de los tanques, y así para proveer al fluido la presión adecuada para que no se produzca cavitación en los dos grupos de bombas centrifugas verticales, también denominadas Booster, estas se encuentran localizadas a continuación de los tanques de almacenamiento.



**Figura 1.2** Sistema de Reinyección de EPF

El primer grupo está formado por las bombas Booster P-208, P-209, P-210, P-211, el segundo grupo está formado por las bombas Booster P-206, P-207, P-216, P-217. El agua de formación que llega a la succión de las bombas tiene un promedio de presión de 6 PSI y la presión que se tiene a la descarga de cada bomba es de aproximadamente 55 PSI.

Del sistema primario de bombas se tienen apagadas tres bombas, las cuales tienen como objetivo relevar a una bomba cuando sea necesario realizar el mantenimiento y sea necesario pararla, o a su vez se las pone en marcha de acuerdo al requerimiento de caudal de reinyección. La finalidad que tiene este sistema de bombas en paralelo es aumentar la presión de agua de formación para cumplir con los requerimientos de funcionamiento en la succión de las bombas centrífugas horizontales que se encuentran a continuación, además proporcionar el caudal necesario para la reinyección.

El sistema que se encuentra ubicado a continuación de las bombas Booster consta de nueve bombas centrífugas horizontales en paralelo (Disposal), estas comparten la misma tubería de succión, lo contrario sucede con la tubería de descarga ya que es compartida únicamente entre dos grupos, el primero por las bombas P-280, P-275, P-270 y el segundo por las bombas P-285, P-290, P-295, P-300, P-305 y P-310. La función principal de las bombas centrífugas horizontales es la de proporcionar una presión de 2500 PSI al agua de formación.

El cabezal de descarga del primer grupo de bombas direcciona el agua de formación hacia los pozos reinyectores B9, B10 y B1 por otro lado el segundo grupo de bombas direcciona el agua de formación por medio de tubería hacia los pozos B8, B7, B6 y B5.

Es necesario señalar que el caudal que es enviado a los pozos reinyectores, regulado mediante válvulas de choque de acuerdo a su porcentaje de apertura.

Se ha identificado varias falencias en el control y operación del sistema actual, específicamente de las bombas centrífugas horizontales, las cuales se encuentran trabajando en distintos puntos de operación lo que perjudica en la eficiencia del sistema hablando en términos de caudal de reinyección diaria.

De esta manera es necesario que se diseñe una solución que permita optimizar presión, el caudal así como mejorar el control y operación del sistema para que al transcurrir del tiempo el crecimiento de la producción de agua de formación no se convierta en una situación adversa para la operación normal de sistema.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

- Realizar un estudio del sistema de reinyección de agua de formación del EPF, plantear soluciones que permitan optimizar la presión, el caudal, así como mejorar el control y operación del sistema, seleccionar la más

adecuada y diseñarla, además realizar una valoración de metas de porcentaje de incremento de presión y caudal del sistema.

### **1.3.2 Específicos**

- Categorizar y diferenciar los componentes del sistema de reinyección de agua de formación, mediante un inventario técnico.
- Realizar un estudio del funcionamiento, control y operación del sistema actual de reinyección de agua de formación.
- Plantear soluciones para el sistema de reinyección de agua de formación que permitan un incremento de presión y caudal del sistema, además presten un mejor control y operación del mismo.
- Analizar la factibilidad y el costo beneficio de las soluciones.
- Seleccionar y diseñar la solución mas adecuada.
- Realizar el cálculo de pérdidas en el sistema actual de reinyección y también del sistema ya implementado la solución diseñada mediante una hoja electrónica de cálculo.
- Simular mediante un software el sistema actual y el sistema implantado la solución diseñada.
- Realizar una valoración de metas de porcentaje, de incremento de presión y caudal del sistema implantado la solución diseñada.

### **1.4 Justificación e importancia**

El estudio del sistema de reinyección de agua de formación, es una de las bases para garantizar la correcta operación y funcionamiento del mismo, ya que Petroamazonas específicamente la planta EPF se esmera por cumplir con los niveles de producción y reinyección de agua de formación que tiene como objetivo diario, siendo en la actualidad 260000 BPD, rigiéndose a normas internacionales tales como ISO 9001:2000, ISO 14001:2004 & OHSAS 18001:1999.

La planta EPF tiene un tiempo de funcionamiento aproximado de ocho años en los cuales su producción de agua de formación a aumentado en los últimos cuatro años un promedio de 10 % anual por lo que el sistema de reinyección debe encontrarse en condiciones y requerimientos óptimos para manejar

mayores niveles de reinyección de agua de formación, la misma que contiene factores contaminantes los cuales al trabajar como un sistema abierto harían un daño fatal a la flora y fauna, de esta manera se necesita implementar una solución al sistema para que esté en la capacidad de trabajar en condiciones diferentes a las que actualmente lo está haciendo, siendo una de esta las razones por la cual se justifica este proyecto.

La planta de procesos EPF esta automatizada, teniendo bajo control estricto de su operación y funcionamiento 90% y en el 10% restantes se realiza el control por medio operadores de planta, en el caso específico del sistema de reinyección de agua de formación, el sistema de Bombas tipo Disposal no tiene un control del flujo a la salida de cada una de las bombas de las que está compuesto, de esta manera no se puede determinar con claridad cual es el rango de desempeño de las bombas, de tal manera que si se implementa un mejor control específicamente en el lugar detallado se puede reducir costos de mantenimiento correctivo, se mantendrá estable los niveles de reinyección ya que las bombas reducirán los daños y paros al trabajar dentro de los parámetros nominales.

Los niveles de reinyección de cada inyector son controlados mediante las válvulas de choque, de esta manera llega a ser uno de los elementos más importantes del sistema ya que mediante estas de acuerdo a su porcentaje de apertura se controla el flujo que se debe inyectar para llegar a cumplir el objetivo diario, de esta manera teniendo un control más adecuado que el actual, se puede tener mayor exactitud en el cumplimiento del objetivo diario de reinyección de agua de formación.

Para la parte productiva como financiera el estudio del sistema de reinyección de agua de formación, la selección y el diseño de una solución para la optimización del sistema, concederá un mejor control y desempeño del sistema de bombas Disposal y aumento de la capacidad de reinyección cuando PETROAMAZONAS E.P. la implemente, además es importante por las siguientes razones:

- Al tener trabajando las bombas dentro de los parámetros nominales se reducirán los costos de mantenimiento correctivo, de esta manera se alargara la vida útil y por consecuencia aumentará la productividad de las mismas.
- Al controlar los niveles de reinyección de mejor manera y aumentando la capacidad del sistema se cumplirá con mayor facilidad y exactitud los objetivos diarios de reinyección de agua de formación.
- Se realizará el estudio con la finalidad de encontrar diferentes factores que intervienen para que el sistema no trabaje en su máximo nivel de productividad y eficiencia de tal manera que se podrá prever posibles daños los cuales reducen el tiempo de vida útil del mismo y no tener que recurrir una inversión grande en un mantenimiento correctivo.

El garantizar la correcta operación del sistema de reinyección de agua de formación, con proyección a mejorar su desempeño es importante por que es una manera de preservar la flora y fauna.

## **1.5 Alcance**

Realizar un estudio del sistema de reinyección de agua de formación del EPF, con los resultados del mismo dar una valoración técnica del sistema. Plantear dos soluciones que permitan optimizar la presión, el caudal, así como mejorar el control y operación del sistema. Analizar la factibilidad de cada solución planteada, concluyendo con la selección de la solución más acorde con la situación actual del sistema de reinyección.

Diseñar la solución seleccionada rigiéndose a normas del campo específico a desarrollar, además parámetros de diseño y construcción internos de Petroamazonas. Para poder verificar si el diseño es el óptimo se realizará la simulación mediante software del sistema actual y del sistema implantado la solución diseñada, concluyendo con una valoración de metas de porcentaje de incremento de caudal y presión de reinyección. Por último se realizará el análisis Económico – Financiero del diseño realizado.

El estudio y valoración técnica de las Bombas, válvulas, inyectores y líneas de tuberías, se realizara con datos obtenidos en campo además también con estudios y antecedentes previos relacionados con el desempeño de los equipos realizados por el departamento de Mantenimiento Mecánico en el caso específico de las bombas, además con datos e información proporcionada por el departamento de Operaciones específicamente de la sala de control de la planta y además con información proporcionada los demás departamentos que forman parte de la planta EPF.

Cuando PETROAMAZONAS E.P. implemente la solución seleccionada y propiamente diseñada, se garantizará un mejor control y operación del sistema de reinyección, además de que el crecimiento progresivo de la producción de agua de formación no será un limitante para la operación normal del sistema teniendo en cuenta que se verá también como resultado un aumento de presión y caudal en el sistema.

El proyecto está dentro de la línea de investigación de la ESPE (Materiales y tecnologías de producción).

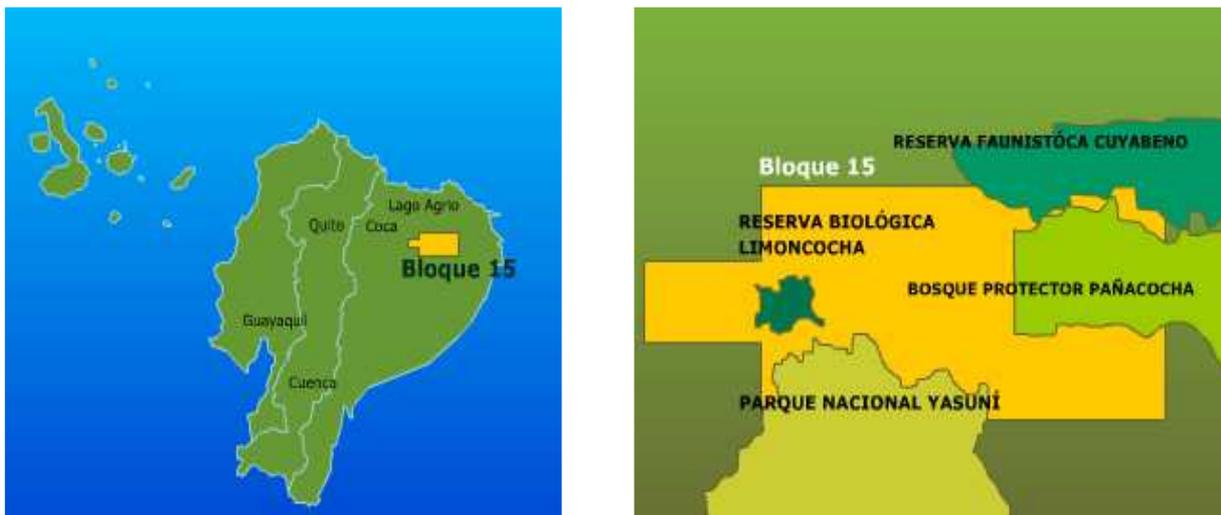
## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Historia del campo EPF

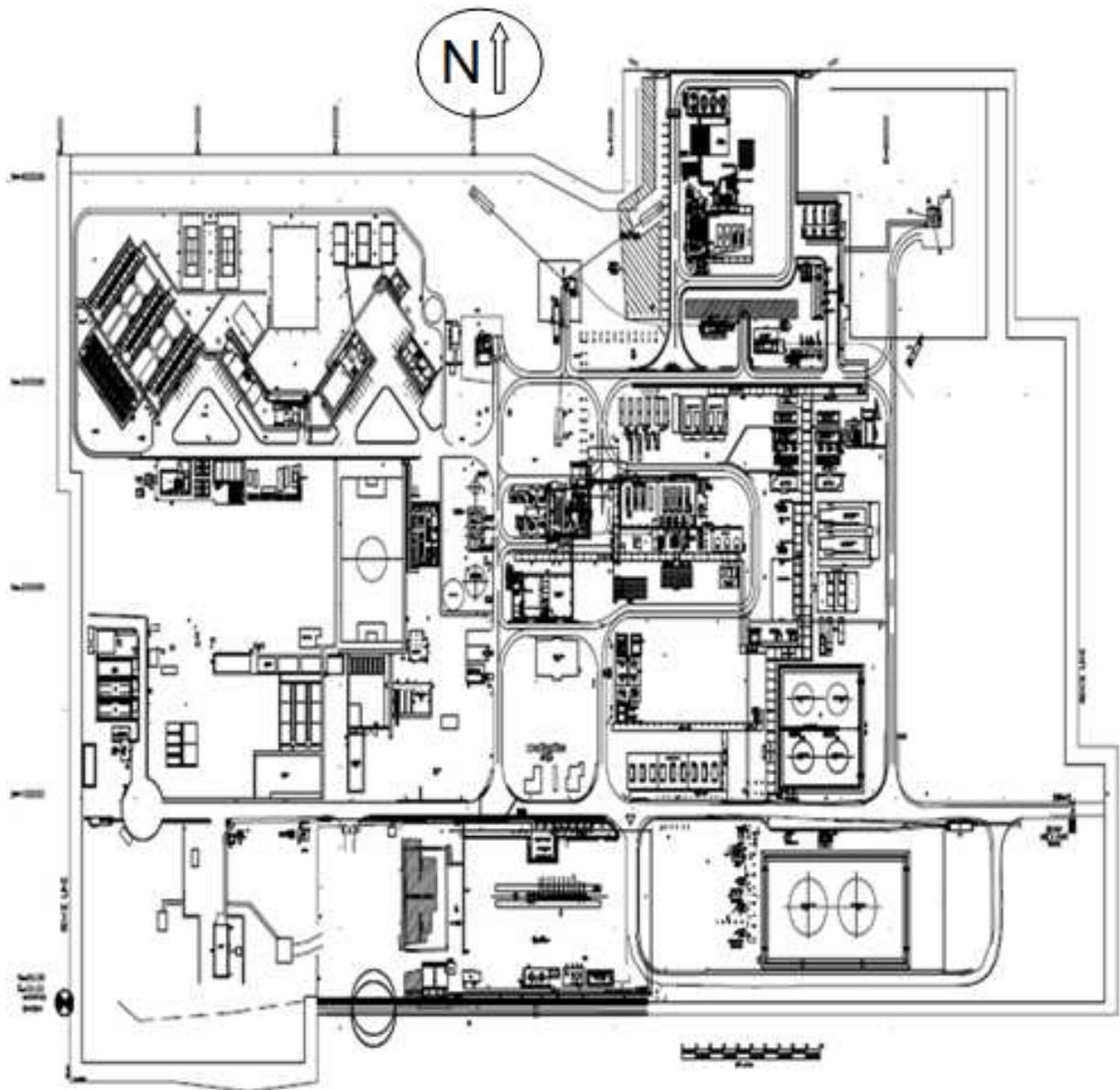
El bloque 15 fue operado desde un inicio por Occidental Petroleum Corporation (OXY) empresa multinacional extranjera dedicada a la exploración, explotación y producción del petróleo, el 25 de enero de 1985 se firmó un contrato de prestación de servicios con el estado. En un inicio empezó a producir con la planta CPF, con la política de producir más en el menor tiempo posible.

El proyecto EPF surgió en la necesidad de aumentar la capacidad de producción, construyendo otra planta que se encuentre situada cerca de los pozos productores explorados con anterioridad, la planta se encuentra ubicada en la provincia de Orellana, Cantón Francisco de Orellana, Parroquia El Edén, aproximadamente a 100 kilómetros en dirección Sur Oeste de la ciudad del Coca y cuenta con una extensión de 30,7 hectáreas. En la figura 2.1 se detalla la ubicación del boque 15 con respecto a todo el Ecuador y además sus límites dentro de la provincia donde se encuentra ubicado. En la planta además de los equipos, existen las instalaciones para que el personal de trabajo habite con normalidad. Ver figura 2.2.



**Figura 2.1** Ubicación del Bloque 15

**Fuente:** Petroamazonas



**Figura 2.2** Plano de Planta del EPF

**Fuente:** Departamento de construcciones del EPF

En el año 2000 sin autorización del Ministerio de Energía y Minas, Occidental transfirió el 40% de sus concesiones a la compañía Encana de Canadá. Este hecho es recogido en el numeral 11 del Art. 74 de la Ley de Hidrocarburos como causal para que se rescinda el contrato y toda la infraestructura se devuelva a la empresa nacional sin costo alguno para ésta. Tras descubrirse esta situación e investigar a Occidental, el Procurador General del Estado denunció irregularidades diarias que cometía la empresa norteamericana que ameritaban la suspensión de la empresa y la cancelación del contrato.

En el mes de septiembre del año 2002 empezó a operar la planta EPF, la cual fue diseñada para producir 45000 BPD con un solo tren de procesos, pero la empresa Occidental arranco la operación con una cantidad de producción de petróleo mucho menor al porcentaje total para la que fue diseñada, a esta fecha el litigio entre la empresa norteamericana y el estado ecuatoriano seguía su curso normal.

El 15 de mayo del 2006, el Ministro de Energía y Minas, de aquel entonces Iván Rodríguez, declaró la caducidad del contrato con la empresa transnacional Occidental Petroleum Corporation (OXY) que operaba en el bloque 15 del Oriente Ecuatoriano, extrayendo más de 100.000 barriles de petróleo por día, una tercera parte de lo que explotan las empresas transnacionales.

A continuación del problema suscitado tomo el mando del bloque 15 la organización denominada UB15 la cual mantuvo la producción estable en la planta EPF manteniendo las certificaciones internacionales ISO 9001:2000, ISO 14001:2004 & OHSAS 18001:1999.

A partir 7 de abril del 2008 Petroamazonas Ecuador S.A., toma el mando siendo una sociedad anónima ecuatoriana, cuyo capital pertenece en su totalidad a empresas del sector público ecuatoriano.

Finalmente El 6 de Abril del 2010 el Presidente Rafael Correa mediante decreto ejecutivo N° 315 emitido la fecha mencionada, creó la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador, “EP Petroamazonas”, como una persona de derecho público con personalidad jurídica, patrimonio propio dotada de autonomía presupuestaria, financiera, económica, administrativa y de gestión”, la cual se encuentra a cargo del las facilidades EPF y CPF.

## **2.2 Agua de formación**

El petróleo se extrae de una formación, junto a este salen a la superficie agua y gas, de ahí su nombre de agua de formación. Siendo esta de naturaleza ácida,

salobre o ámbar la cual tenderá a corroer el metal y el equipo en contacto con ella.

El crudo y el agua forman emulsiones muy difíciles de tratar de tal manera que se realiza un tratamiento químico para poder enviar el crudo limpio al oleoducto. El agua de formación por naturaleza está saturada con alto niveles de compuestos o sales incrustantes, la cuales causan una obstrucción al flujo normal del agua a través de las tuberías a lo largo del sistema de reinyección.

De tal manera que se necesita que se realice un análisis físico – químico y de calidad del agua de formación para que de esta manera se determine los químicos y la cantidad de estos que se debe inyectar para que el agua de formación llegue a los pozos con características físicas y químicas controladas, las cuales no causaran taponamiento en las arenas receptoras del pozo reinector y se mantenga en buen estado la integridad de la tubería.

Además mediante otro análisis que se realiza al agua de formación se controla la cantidad de partes por millón de crudo, cuya muestra es tomada a la salida de los separadores trifásicos con la finalidad de cuidar los equipos del sistema de reinyección, siendo los resultados del mismo muy útiles para los operadores que deben estar regulando constantemente el nivel del colchón de agua en los separadores, además la cantidad de crudo en el agua de formación es regulada por la Dirección Nacional de Hidrocarburos, organismo el cual ha impuesto que 50 ppm de crudo debe ser la cantidad máxima que contenga el agua de formación a ser inyectada en los pozos .

### **2.2.1 Composición del agua de formación**

La composición del agua se determina mediante un análisis físico – químico el cual en la planta EPF la empresa QUIMIPAC se encarga de realizarlo. Mediante este análisis se determina la tendencia corrosiva e incrustante del agua, de esta manera con los resultados del mismo se puede determinar si la cantidad de químicos que se inyecta diariamente en las plataformas petroleras

es la adecuada o si necesita un refuerzo en la entrada a la planta o a la salida de los deshidratadores y separadores trifásicos.

Los parámetros que se miden en este análisis son: el pH, la alcalinidad, CO<sub>2</sub>, Hierro Total, Sulfatos (SO<sub>4</sub>), Bario (Ba), Acido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), Análisis de Salinidad, Dureza Total, de Dureza Cálctica, Dureza Magnésica, Magnesio, Calcio, Bicarbonatos.

El laboratorio químico de acuerdo a los parámetros anteriormente mencionados emite una cualificación al nivel incrustante del agua de formación que puede ser leve, moderada, severa. (Ver Anexo 1)

### **2.2.2 Calidad del agua de formación**

Con el análisis de calidad del agua de formación se determina la cantidad de sólidos que presenta el agua, además con los resultados que proporciona este análisis se determina la cantidad de químicos que se debe inyectar en lugares específicos, para poder controlar los sólidos y por consecuencia evitar el taponamiento de las arenas receptoras en los pozos reinyectores.

La muestra de agua que se toma es analizada y con los resultados el laboratorio químico emite una cualificación del índice relativo de taponamiento el cual puede ser excelente, muy bueno, aceptable, cuestionable, esto depende de cuantos sólidos presente la muestra de agua tomada. (Ver Anexo 2)

### **2.2.3 Químicos para inyección**

- **Antiescala**

Este químico evita que se formen sólidos a lo largo de la tubería.

- **Lugar de inyección.-** Plataformas (PADS)
- **Volumen de inyección.-** 250 gl/día
- **Nombre Comercial.-** MX-593

- **Anticorrosivo**

La función de este inhibidor de corrosión es formar una película orgánica en la superficie de la tubería que evita que se deteriore el material por consecuencia de un ataque electroquímico de su entorno.

- **Lugar de inyección.-** Plataformas (PDAS)
- **Volumen de inyección.-** 278 gl/día
- **Nombre comercial.-** PROTERQUIM 1176

- **Clarificante:**

En la planta se inyecta dos Clases de clarificante los cuales tienen su función, su cantidad y lugar de inyección definidos. La primera clase de clarificante se utiliza como Coagulador y la segunda clase se utiliza como Floculador.

- **Lugar de inyección.-** Recibidores 117 y 118
- **Volumen de inyección.-** 13 gl/día de clarificante puro
- **Nombre comercial.-** TRETOLITE RBW 6060 WATER CLARIFIER

- **Clarificante de Clase II :**

- **Lugar de inyección.-** Separadores V-120 y V-130
- **Volumen de inyección.-** 6 gl/día de clarificante puro
- **Nombre comercial y Características.-** RBW503

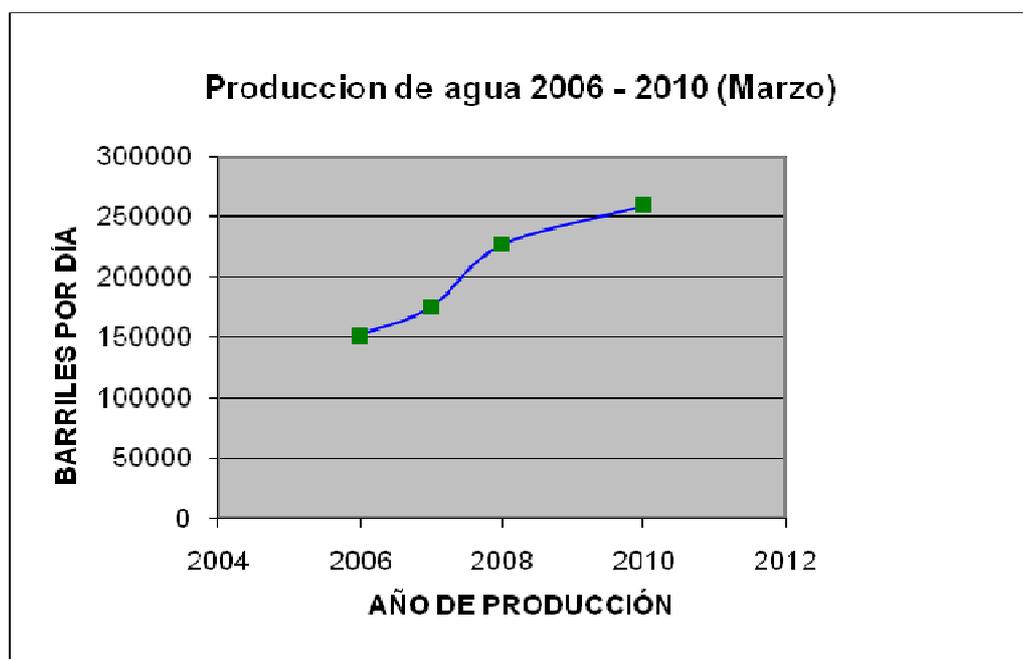
## **2.2.4 Producción de agua de formación**

La producción de agua de formación se caracteriza por su progresivo crecimiento (Ver Tabla 2.1) y su relación directamente proporcional con el tiempo de vida de los pozos productores. Existe una relación inversamente proporcional, entre la producción de agua con la producción de crudo, como se observa en la figura 2.3.

En la tabla 2.2 se presenta el porcentaje de aumento de producción de agua de formación por año que se ha presentado en la planta EPF.

**Tabla 2.1** Resumen de producción anual de agua de formación en EPF

	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>
<b>BPD</b>	152000	175000	227000	260000



**Figura 2.3** Tendencia de la producción de agua de formación en EPF

**Tabla 2.2** Intervalos anuales y porcentajes de aumento de agua de formación.

<b>Periodo</b>	<b>Porcentaje %</b>
2006 – 2007	13,14
2007 – 2008	22.90
2008 – 2010	12.69
2006 – 2010	41,53

• Reporte de Producción diaria de Petroamazonas



SUMARIO DE OPERACIONES  
PRODUCCION Y PERFORACION

Página 1 de 3  
Fecha de Impresión:  
02/04/2010 08:02:44

PRODUCCION - 01/04/2010

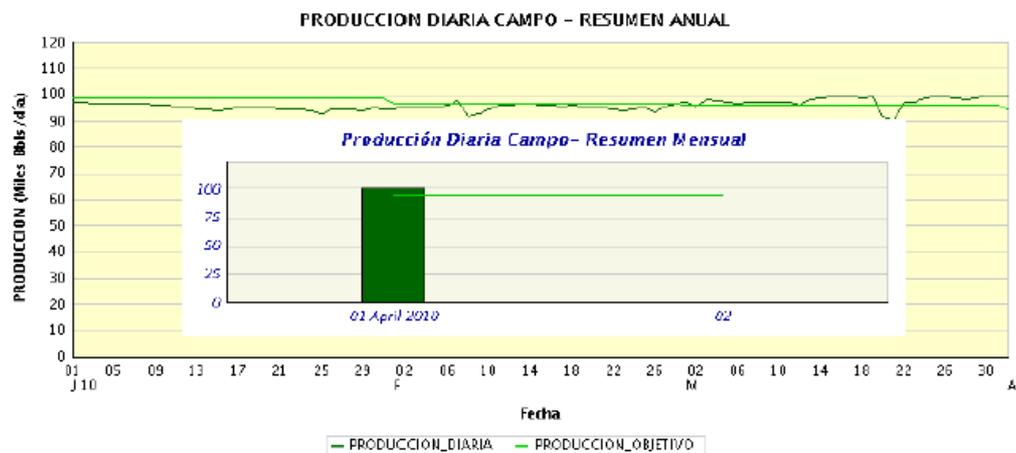


PRODUCCION CAMPO			
	REAL (Bbls/día)	OBJETIVO (Bbls/día)	REAL / OBJETIVO (%)
DIARIO	100,057	94,772	105.58
ANUAL (YTD)	96,225	97,184	99.01

PRODUCCION CAMPO - PROMEDIO MENSUAL		
MES	REAL (Bbls/día)	OBJETIVO (Bbls/día)
ENE-10	95,394	98,624
FEB-10	95,447	96,876
MAR-10	97,636	96,281
ABR-10	100,057	94,772

PRODUCCION POR CAMPO													
CAMPO	ILY							EDEN YUTURI			TOTAL CAMPO		
	INDI	LIMO	YANA	PAKA N	PAKA S	YANK	PAÑAYACU	TOTAL	EDEN	DUMBIQUE	TOTAL	01/04/2010	AYER
PETROLEO (Bbls/día)	6,983	13,748	12,022	111	5,492	3,140	415	41,909	58,148	0	58,148	100,057	100,004
AGUA (Bbls/día)	150,042	35,756	14,518	1,054	2,201	1,041	1,203	205,817	261,864	0	261,864	467,681	
GAS (MPCS/día)	4,183	2,023	1,674	7	372	520	52	8,831	7,434	0	7,434	16,265	
Corte de agua (%)	95.6	72.2	54.7	90.5	28.6	24.8	74.4	83.1	81.8	0	105.7	82.4	
GRADO API	20.7	24.0	20.5	19.0	23.7	19.6	28.9		19.5				

BOMBEO DIARIO A OLEODUCTO						FISCALIZADO	
PUNTOS DE FISCALIZACION			LIMO	CPF	Total ILY	Total EDEN	01/04/2010
SOTE (Bbls/día)			13,630	26,396	40,026	24,673	64,699
OCP (Bbls/día)			0	0	0	32,998	32,998
GRADO API			24.1	20		19.8	
TOTAL BOMBEADO (Bbls)						97,697	
TOTAL STOCK TANQUES (Bbls)						955	
TOTAL STOCK EN TRANSITO (Bbls)						-1	
TOTAL CONSUMO (Bbls)						1,404	



## 2.3 Pozos reinyectores

Los Pozos reinyectores en diferentes facilidades son de distintos orígenes ya que se suelen utilizar los pozos productores que han salido de operación para reinyectar agua de otras formaciones o a su vez como es el caso del EPF se planificó la construcción de los pozos con la finalidad de reinyectar el agua de formación proveniente de sus plataformas.

En el Oriente ecuatoriano el petróleo se encuentra en la formación Napo donde tenemos la arena tipo M-1 a 2356 m., tipo U a 2750 m., tipo T a 3050 m. La reinyección de agua de formación se realiza a la altura de las arenas tipo M-1.

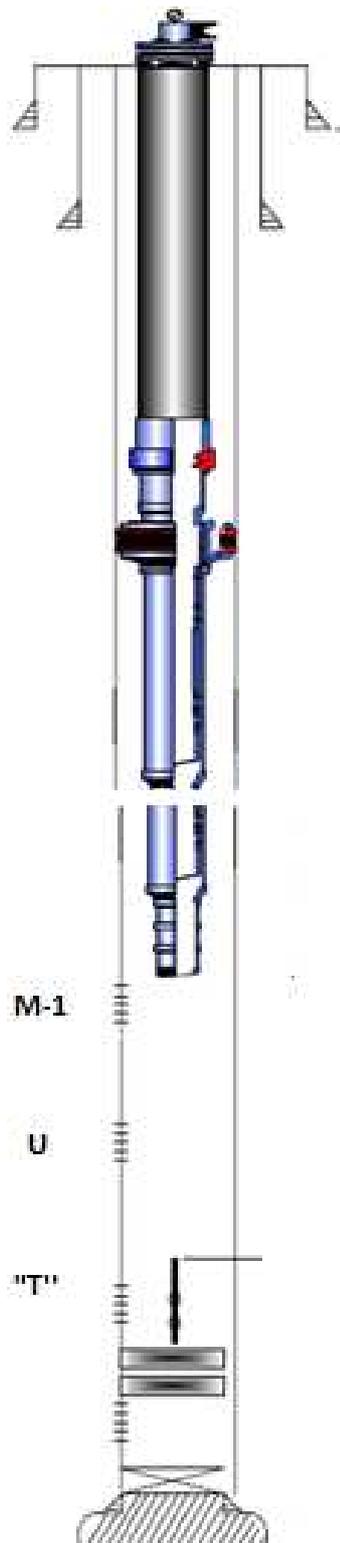
### **Tipos de arenas:**

**M-1.-** Son areniscas delgadas altamente permeables que contiene crudo pesado y viscoso, que se producen por empuje de agua lateral y de fondo.

**U:** Está representada por areniscas cuarzosas, hialina, ocasionalmente microconglomerática. Varía de grano grueso a medio, descrita como granodecreciente, con estratificación cruzada y festoneada.

**T:** Está compuesta por arenisca cuarzosa blanca, grano decreciente, con niveles conglomeráticos microconglomeráticos, que gradan hasta arenisca de grano medio a fino y muy fino. La mayoría de estudios asignan a estas areniscas un ambiente fluvial.

- Diagrama de Pozo Reinyector



**Figura 2.4** Diagrama de un pozo Reinyector

**Fuente:** Petroamazonas

## 2.4 Bombas de agua

- **Principio de funcionamiento**

Una bomba es un ejemplo común de dispositivo mecánico que añade energía a un fluido. Un motor eléctrico o algún otro aditamento importante impulsan un eje rotatorio en la bomba. Entonces, la bomba aprovecha esta energía y la transmite al fluido, lo que provoca el movimiento de este y el incremento de su presión.

- **Potencia de las bombas**

La potencia se define como la rapidez a la que se realiza un trabajo. En la mecánica de fluidos se considera que la potencia es la rapidez con la que se transfiere energía.

- **Eficiencia mecánica de las bombas**

El término eficiencia se utiliza para denotar la relación de la potencia transmitida por la bomba al fluido a la potencia que se suministra a la bomba. Debido a las pérdidas de energía por fricción en los componentes de la bomba, fricción del fluido y turbulencia excesiva en esta, no toda la potencia de entrada se transmite al fluido. El valor de la eficiencia mecánica de las bombas no solo depende del diseño de estas, si no también de las condiciones en que operan, en particular de la carga total y del flujo volumétrico. En las bombas centrífugas utilizadas sobre todo para transferir o hacer circular líquidos, la eficiencia va de 50 a 85%. A continuación se presenta la relación para el cálculo de la eficiencia mecánica de una bomba.

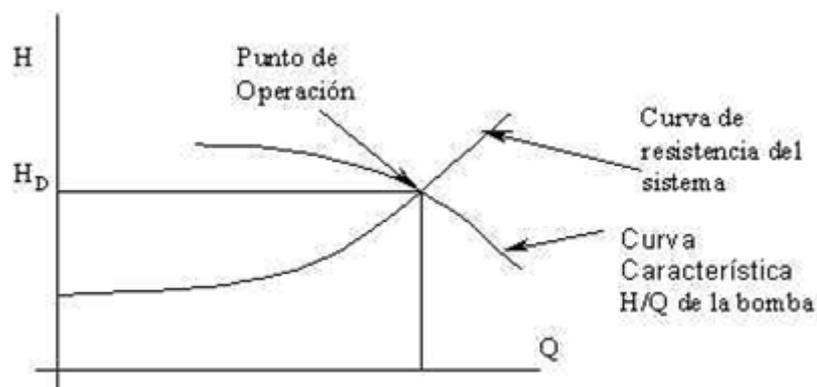
$$\eta_{mec} = \frac{W_{requerida}}{W_{mecanica}}$$

- **Carga de succión neta positiva requerida**

Un factor importante por considerar en la aplicación de una bomba es la carga de succión neta positiva que se requiere (NPSHR), esta se relaciona con la presión de entrada de la bomba.

- **Punto de operación de una bomba**

Se define como el flujo volumétrico que enviara una bomba cuando se instale en un sistema dado. La carga total que desarrolla la bomba se determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico. La curva de rendimiento de la bomba es la grafica del flujo volumétrico que la bomba distribuye como función de la carga total, y a la que está sujeta por el sistema del que forma parte. Ver Figura 2.5.



**Figura 2.5** Punto de operación de una bomba

**Fuente:** Mecánica de fluidos Robert Mott

- **Sellos mecánicos de bombas.**

El aspecto físico de los sellos mecánicos puede variar, pero todos tienen un mismo principio de funcionamiento. Las superficies obturadoras están ubicadas en un plano perpendicular a la flecha y generalmente consisten en dos superficies con alto grado de pulido que se deslizan una sobre otra estando conectadas una a la flecha y la otra a la parte estacionaria de la bomba. Ver figura 2.6.

El sello completo se logra en los miembros fijos, las superficies pulidas o sobrepuestas, se mantienen en contacto continuo por un resorte, forman un sello hermético entre los miembros giratorio y estacionario con perdidas por fricción muy pequeñas. Cuando el sello es nuevo, el escurrimiento es despreciable y puede de hecho considerarse que no existe. La amplia

variación en diseño de sellos deriva de los muchos métodos que se usan para dar flexibilidad a la montura de los sellos. Un sello mecánico es similar a un cojinete porque requiere un espacio libre de movimiento preciso con una película de líquido entre las caras. La lubricación y enfriamiento proporcionados por esta película reduce el desgaste como lo hace también la selección de materiales apropiados para las caras del sello.

Los sellos pueden usarse en bombas que manejan líquidos que contienen sólidos si éstos se retienen para que no se metan entre las caras del sello o interfieran con la flexibilidad de la montura.

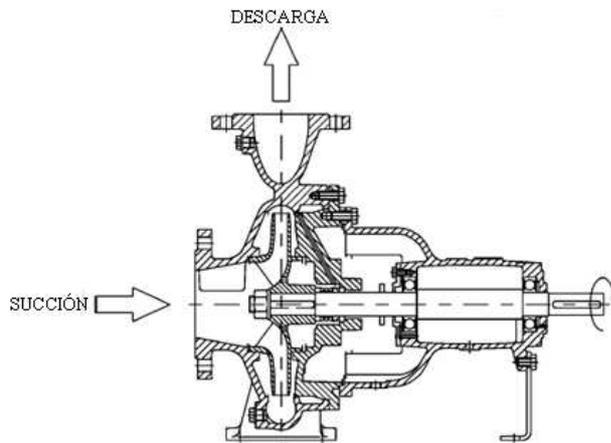


**Figura 2.6** Sello Mecánico

**Fuente:** [www.flexaseal.com](http://www.flexaseal.com)

- **Bombas Centrífugas.**

Las bombas centrífugas se caracterizan por llevar a cabo la transformación de energía por medio de un elemento móvil denominado impulsor, rodete o turbina, que gira dentro de otro elemento estático denominado cuerpo o carcasa de la bomba. Ambos disponen de un orificio anular para la entrada del líquido. Cuando el impulsor gira, comunica al líquido una velocidad y una presión que se añade a la que tenía a la entrada. Ver figura 2.7.



**Figura 2.7** Bomba Centrífuga

**Fuente:** [www.lehide.com](http://www.lehide.com)

- **Propiedades de una bomba centrífuga.**

- Caudal uniforme sin pulsaciones.
- La presión o altura de elevación disminuye a medida que aumenta el caudal. En general, a partir del punto de funcionamiento, cuando se cierra la válvula de regulación de la tubería de impulsión aumenta la presión y se reduce la potencia. Sin embargo, las bombas de alta velocidad específica (impulsor semi-axial o hélice) no cumplen esta norma general.
- La altura, medida en metros de columna de líquido a la que eleva una bomba es independiente de la naturaleza del líquido y, por tanto, la altura a la que impele una bomba es la misma, prescindiendo de la influencia que ejerce la viscosidad.
- La potencia absorbida por la bomba es proporcional al peso específico del líquido elevado.
- El par requerido para el arranque de una bomba centrífuga es pequeño y la potencia absorbida durante su funcionamiento de

régimen es continua y libre de sobrecargas, cuando la altura no varía y no hay perturbaciones ajenas a la bomba en la aspiración.

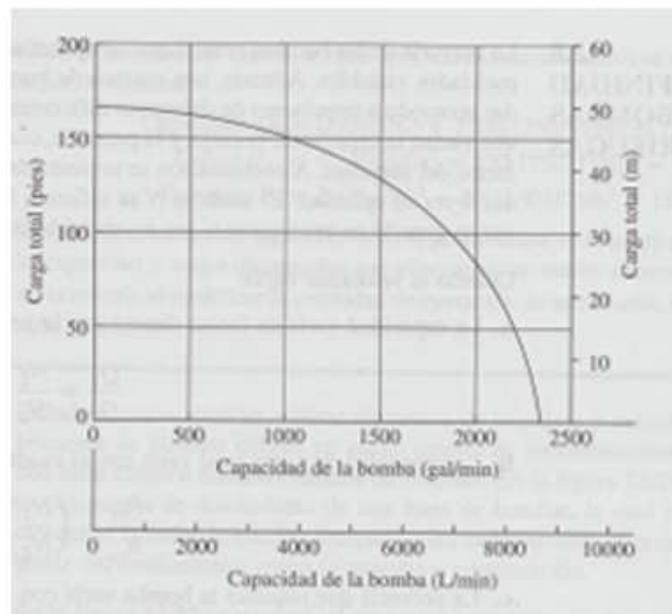
- **Datos de Rendimiento de una bomba centrífuga**

Debido a que las bombas centrífugas no son de tipo de desplazamiento positivo existe una dependencia fuerte entre la capacidad y la presión que se debe desarrollar la bomba. Esto hace que la medición de su rendimiento sea algo complicada.

La curva de rendimiento total común (Ver figura 2.8) grafica la carga total sobre la bomba versus la capacidad o descarga. La carga total se calcula con la ecuación de la energía, esta representa la cantidad de energía que se agrega a una unidad de peso del fluido conforme pasa por la bomba.

La relación para el cálculo del rendimiento de una bomba centrífuga es la siguiente:

$$n_t = \frac{P_h}{N} \times 100\%$$



**Figura 2.8** Curvas de Rendimiento de una bomba

**Fuente:** Mecánica de fluidos Robert Mott

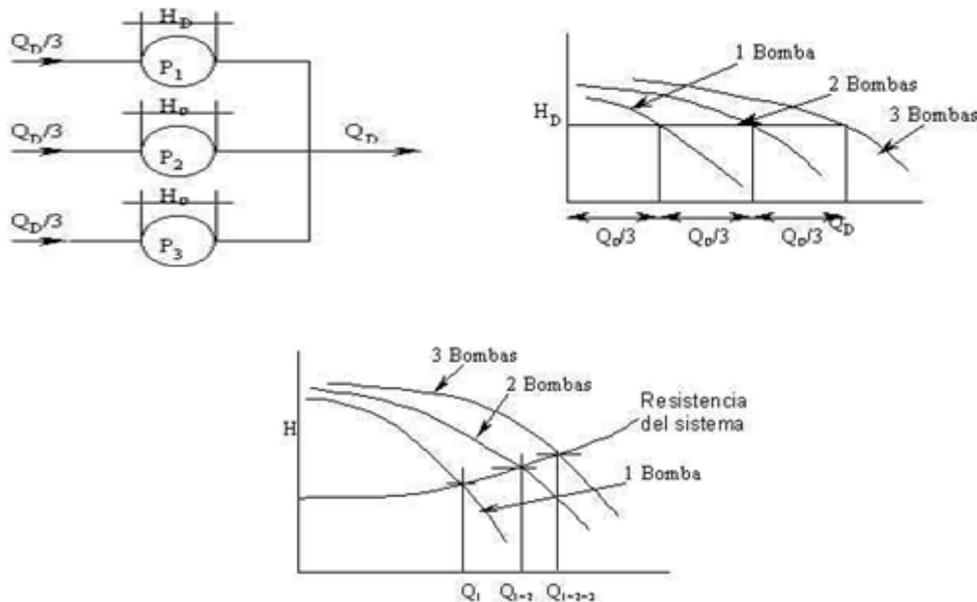
- **Datos del fabricante de bombas centrífugas**

Debido a que es posible utilizar diámetros de impulsor y velocidades distintos, los fabricantes de bombas cubren un rango amplio de requerimientos de capacidad y carga con unos cuantos tamaños básicos de bombas.

### 2.4.1 Sistemas de bombas de agua

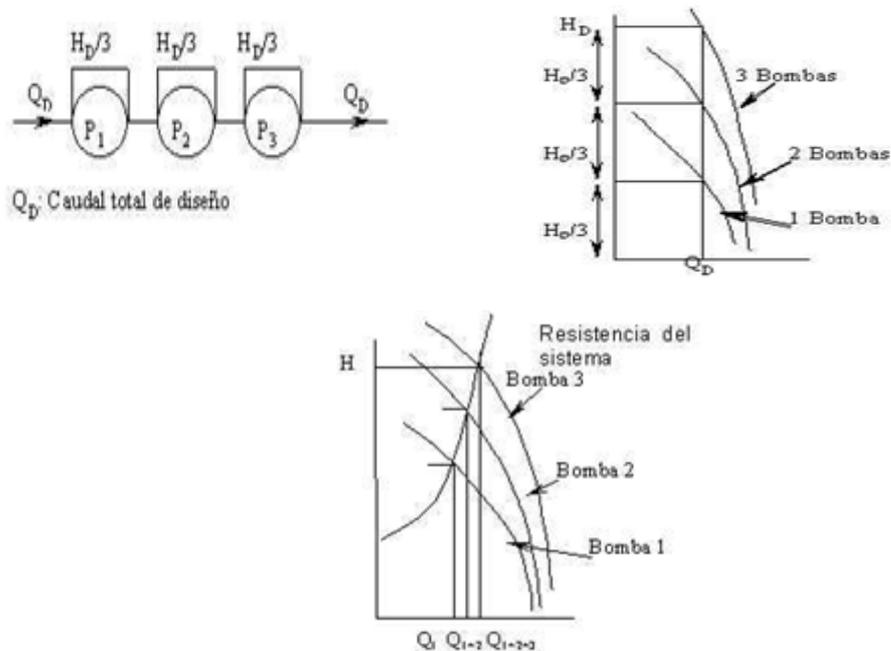
En la práctica se suelen instalar varias bombas en paralelo o en serie, por razones de economía. En el caso de la conexión en paralelo (Ver figura 2.9), las bombas transportan fluido a una tubería de presión común. Condición para ello es que las bombas utilizadas alcancen en todos los casos la misma altura de elevación. Las conexiones en paralelo tienen la ventaja de que cuando la demanda es pequeña sólo trabaja una bomba, conectándose más bombas según aumenta el caudal a transportar.

En la conexión en serie (Ver figura 2.10) se disponen una a continuación de otra bomba que transportan caudales iguales. Esta disposición permite superar grandes alturas de elevación y es con frecuencia más económica que el uso de una sola bomba con una gran altura de elevación.



**Figura 2.9** Sistemas de bombas paralelo

Fuente: [www.eia.edu.co](http://www.eia.edu.co)



**Figura 2.10** Sistema de bombas en serie

Fuente: [www.eia.edu.co](http://www.eia.edu.co)

## 2.4.2 Bombas verticales de turbina

Entre las bombas sumergidas, las más importantes son las llamadas de pozo profundo, de sondeo o de turbina vertical, que fueron desarrolladas para la explotación de pozos, perforaciones y sondeos de diámetro reducido. Esta circunstancia limita forzosamente la altura por etapa, lo que conduce al concepto de bombas multicelulares para reducir el espacio. Ver figura 2.11.

El impulsor de aspiración simple, puede ser radial o diagonal, según las condiciones de servicio y su construcción cerrada o semiabierta. Los impulsores semiabiertos, sin embargo aparte de su mayor empuje axial, hasta el 50% mayor, requieren un ajuste vertical más cuidadoso durante el montaje.

El conjunto de difusores del cuerpo de bomba y la tubería de impulsión, cuelgan del cabezal sobre el que va montado el motor, constituyendo el codo de desviación de la impulsión. A veces, los difusores se recubren interiormente de un esmalte especial que disminuye la rugosidad de la fundición y las pérdidas hidráulicas consiguientes, aumentando el rendimiento, dotando de

una cierta uniformidad a las distintas unidades, lográndose una mejor resistencia a la corrosión y a la abrasión.

La construcción de estas bombas permite montar el número de etapas deseado, que puede llegar a 20 o más, añadiendo simplemente difusores e impulsores semejantes uno sobre otro, lo que dota de cierta elasticidad a las aplicaciones, con las consiguientes ventajas de estandarización, disponibilidad de repuestos, etc., no obstante, estas bombas participan de las desventajas mencionadas para las bombas verticales sumergidas, por ser caras y exigir costes de mantenimiento elevados.

Las bombas verticales de turbina han llegado a un grado de perfección notable con rendimientos altos y determinadas ventajas hidráulicas, aunque empezaron siendo empleadas exclusivamente para riego en pozos y perforaciones, sus aplicaciones industriales aumentan cada vez más, siendo en la actualidad más numerosas que las agrícolas, por lo que la denominación de bombas de pozo profundo va desapareciendo para adaptarse a la de bombas de turbina vertical.



**Figura 2.11** Bomba vertical de turbina con el motor por encima.

**Fuente:** [www.water.flowserve.com](http://www.water.flowserve.com)

### **2.4.3 Bombas centrífugas horizontales**

En este tipo de bombas el eje y el motor están a la misma altura. La bomba no debe trabajar en seco y necesita el líquido a ser bombeado como lubricante entre anillos rozantes, rodete y entre empaquetadura y eje. Antes de poner en marcha este tipo de bombas deben quedar cebadas por no ser auto-transpirantes. Este proceso puede ser bastante complejo si la bomba no trabaja en carga y colocada por encima del nivel del líquido.

- **Ventajas de las bombas centrífugas horizontales**
  - Constructivamente más baratas que las verticales.
  - Su mantenimiento y conservación es sencillo y económico.
  - El desmontaje de la bomba se puede hacer sin necesidad de hacer el desmontaje del motor.
  - Fácil de instalar.

## **2.5 Válvulas**

Las válvulas se emplean para iniciar, detener y controlar la cantidad de fluido, mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son uno de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20000 PSI (140 Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500 °F (815 °C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto, en otras las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

- **Válvula de Control**

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como

un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

- **Partes de una válvula de control**

- **Actuador**

El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuación. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte.

Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula, corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 PSI en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 PSI, produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

- **Cuerpo de válvula**

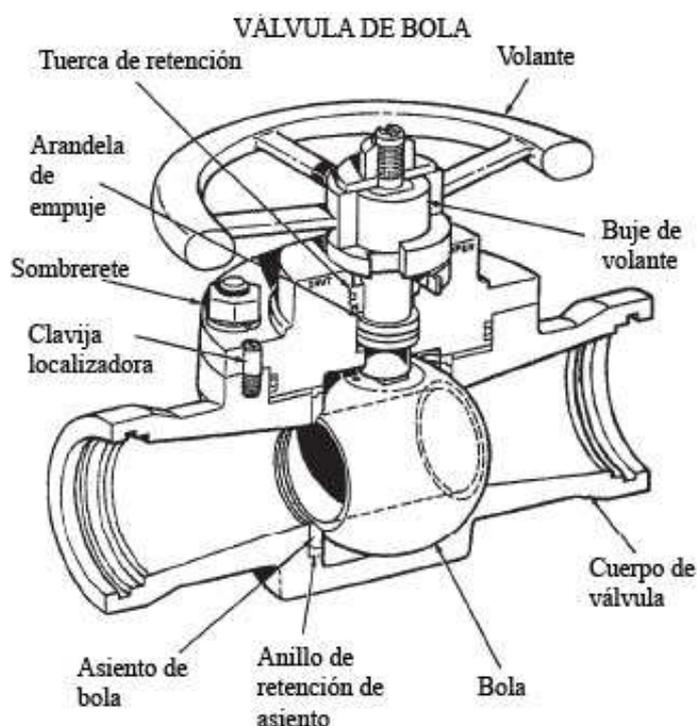
El cuerpo está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

- **Clases de válvulas**

- **Válvulas de bola**

Una válvula de bola, conocida también como de "esfera", es un mecanismo que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. Ver figura 2.12.

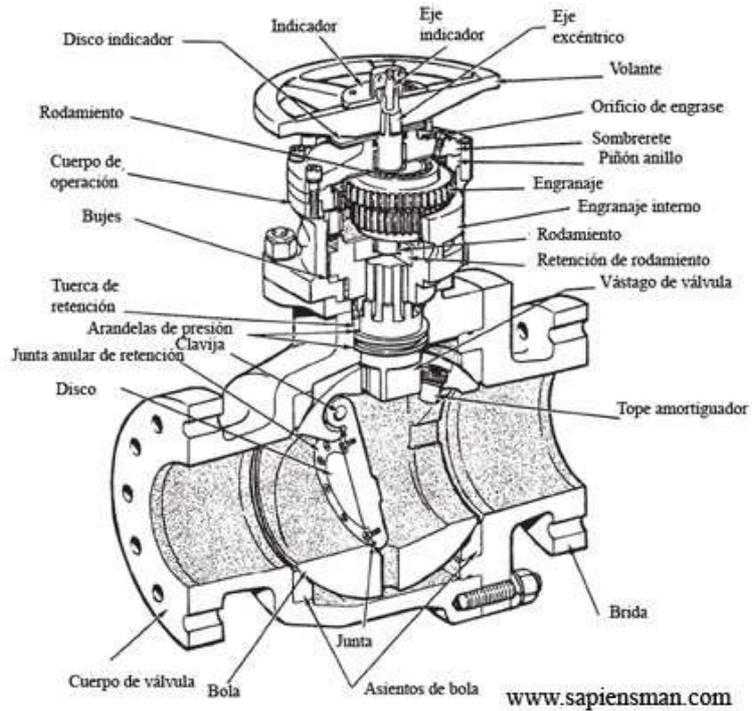
Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida.



**Figura 2.12** Válvula de bola típica

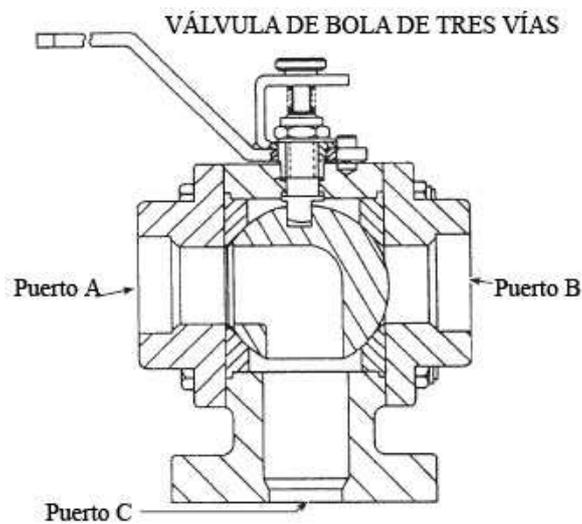
**Fuente:** [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

La mayoría de válvulas de bola son de tipo de acción rápida. Requieren solamente de una vuelta de 90 grados para abrir o cerrar totalmente la válvula, sin embargo muchas son accionadas por engranes planetarios. Este tipo de engranes permite el uso de una fuerza relativamente pequeña en el volante de parte del operario para hacer funcionar a una válvula bastante grande, sin embargo este sistema aumenta en el tiempo operativo del accionamiento de la válvula. Algunas válvulas de bola también contienen una retención basculante (Ver figura 2.13), situada dentro de la bola para dar a la válvula una característica de la válvula de retención.



**Figura 2.13** Válvula de bola con retención basculante  
**Fuente:** [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

Además de los tipos de válvulas citadas anteriormente existen válvulas de bola de tres vías (Ver figura 2.14), que sirven para suministrar el líquido de una sola fuente a un componente u otro en un sistema de dos componentes.

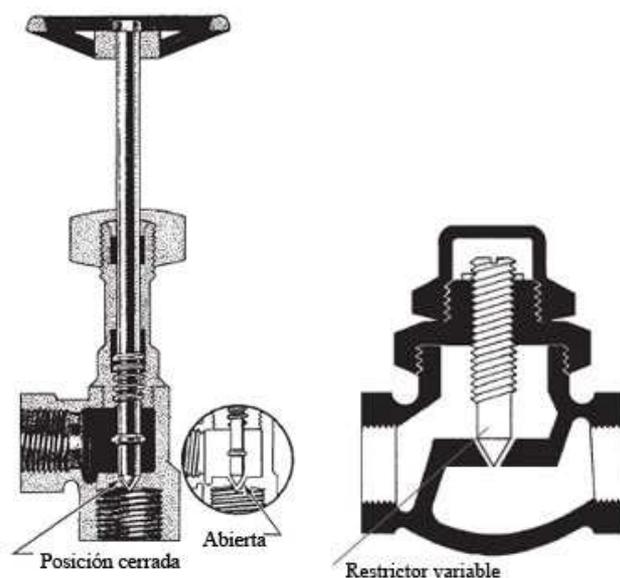


**Figura 2.14** Válvula de bola de tres vías  
**Fuente:** [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

### ○ Válvulas de aguja

Esta clase de válvula tiene un punto afilado largo en el extremo del vástago de la misma. La forma cónica del elemento de la válvula permite una superficie mucho mas pequeña que en el asiento que el de la válvula de globo y es mas conveniente como válvula reguladora. Las válvulas de aguja (Ver figura 2.15) se utilizan para regular el flujo en manómetros delicados, los que se pueden dañar por repentinas variaciones por el líquido bajo presión. Las válvulas de aguja son además utilizadas para controlar en el extremo de un ciclo de trabajo, donde es deseable que el movimiento se llevado a un alto y en otros puntos donde sean necesarios ajustes exactos del flujo y donde se desee un pequeño régimen.

Aunque muchas válvulas de aguja son utilizadas en los sistemas fluidos de potencia, sean del tipo manual, las modificaciones de este tipo de válvula son de uso frecuente como restrictores variables. Este régimen proporcionara un tiempo deseado de operación para un subsistema particular. Puesto que este tipo de válvula se puede ajustar para cumplir los requisitos de un sistema particular, puede ser utilizado en una variedad de sistemas.



**Figura 2.15** Vista transversal de una válvula de aguja y resistor variable

**Fuente:** [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

- **Válvulas de Mariposa**

Estas válvulas son de baja presión y diseño sencillo, solíéndose usar para controlar el flujo y regularlo. Ver figura 2.16.

Se caracterizan por ser de operación rápida, ya que solo necesita un cuarto de vuelta para pasar de la posición de cerrado a la posición de abierto, teniendo además una pequeña caída de presión dado a que no alteran la dirección del fluido.



**Figura 2.16** Válvula de mariposa

**Fuente:** [www.ksb.com](http://www.ksb.com)

Son utilizadas en todos los servicios con agua, exceptuando aquellos en los que sea necesario un estrangulamiento extremo, dado a que el desgaste excesivo del forro interior acorta la vida de la válvula, éste forro suele ser un elastómero. Suelen ser adecuadas para servicios corrosivos y para instalaciones en las que se quiera conseguir ahorros importantes, a causa de su simplicidad de diseño y a su limitación de superficie de contacto con el fluido. Solamente tres componentes están en contacto con el fluido: forro, disco y eje, por lo que solo estas partes han de ser resistentes a la corrosión.

- **Válvulas de retención (Check)**

Las válvulas de retención están destinadas a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra. Hay tres tipos

básicos de válvulas de retención: válvulas de retención de columpio, de elevación y de mariposa.

- **Válvulas de retención del columpio.**

Esta válvula tiene un disco sujetado con una bisagra que se abre por completo con la presión en la tubería y se cierra cuando se interrumpe la presión y empieza la circulación inversa. Existen dos diseños: uno en "Y" que tiene una abertura de acceso en el cuerpo para el esmerilado fácil del disco sin desmontar la válvula de la tubería y un tipo de circulación en línea recta que tiene anillos de asiento reemplazables.

- **Válvulas de retención de elevación.**

Una válvula de retención de elevación es similar a la válvula de globo, excepto que el disco se eleva con la presión normal de la tubería y se cierra por gravedad y la circulación inversa.

## **2.6 Tubería de agua**

La tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto.

Actualmente, los materiales más comunes con los que se fabrican tubos para la conducción de agua son: cobre, PVC, polipropileno, PEAD y acero.

### **2.6.1 Sistemas de tubería en serie**

Un sistema de tubería en serie (Ver figura 2.17) es aquel donde el fluido sigue una trayectoria única a través de él. El análisis de sistemas en serie puede ser Clasificado de la siguiente manera:

○ **Clase I.-**

El sistema está definido por completo en términos del tamaño de las tuberías, los tipos de pérdidas menores presentes y el flujo volumétrico del fluido del sistema.

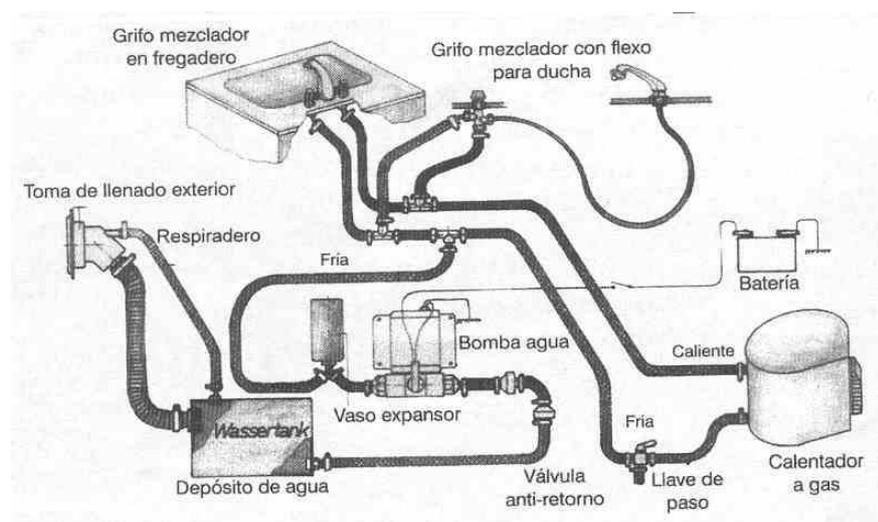
El objetivo común es calcular la presión en algún punto de interés, para determinar la carga total de la bomba o encontrar la elevación de una fuente de fluido, con el fin de producir un flujo volumétrico que se desea o ciertas presiones en puntos seleccionados del sistema.

○ **Clase II.-**

El sistema esta descrito por completo en términos de sus elevaciones, tamaños de tubería, válvulas y acoplamientos, y la caída de presión permisible en puntos clave del sistema. Se desea conocer el flujo volumétrico del fluido que podría conducir un sistema dado.

○ **Clase II.-**

Se conoce el arreglo general del sistema, así como el flujo volumétrico que se quiere. Ha de calcularse el tamaño de la tubería que se requiere para conducir un flujo volumétrico dado de cierto fluido.



**Figura 2.17** Sistema de tubería en serie

**Fuente:** Mecánica de fluidos Robert Mott

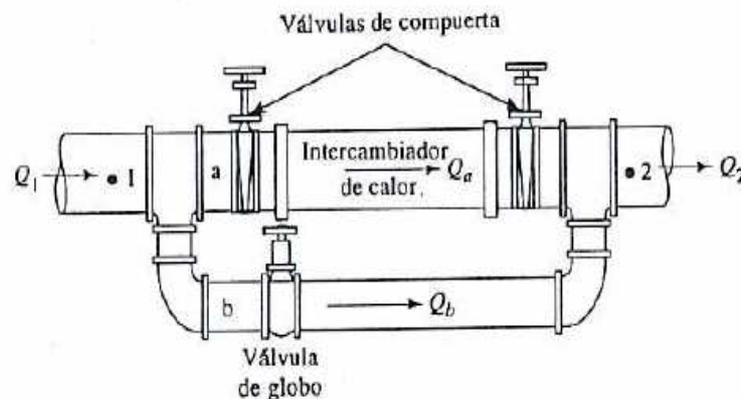
## 2.6.2 Sistema de tubería en paralelo

Los sistemas de tubería en paralelo son aquellos en los que existe más de una trayectoria que el fluido puede recorrer para llegar de un punto de origen a otro de destino. Existen varios tipos de tubería en paralelo que se describen a continuación:

- **Sistemas con dos ramas.-**

Un sistema común de tubería en paralelo incluye dos ramas. La rama inferior se agrega para evitar que alguna cantidad de fluido pase por el intercambiador de calor, lo que permitiría que el fluido continuara mientras se de mantenimiento al equipo (Ver figura 2.18). El análisis de este tipo de sistema es relativamente sencillo y directo, aunque es común que se requieran ciertas iteraciones.

Debido a que se desconocen las velocidades, los factores de fricción también son desconocidos. Los sistemas en paralelo que tienen más de dos ramas son más complejos, por que hay muchas cantidades desconocidas que ecuaciones que relacionen las incógnitas.

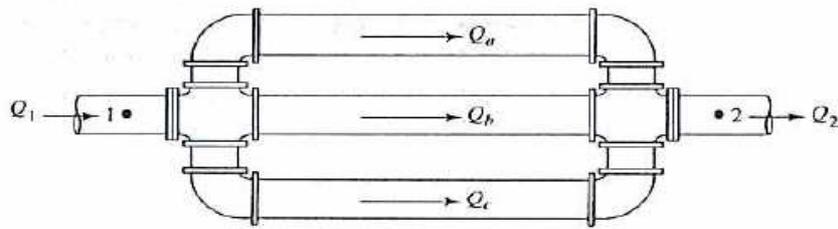


**Figura 2.18** Sistema en paralelo con dos ramas

**Fuente:** Mecánica de fluidos Robert Mott

- **Sistemas con tres o más ramas.-**

Cuando un sistema de flujo en tubería tiene tres ramas o mas, se les denomina red. Las redes son indeterminadas por que hay más factores desconocidos que ecuaciones independientes que los relacionen. Ver figura 2.19.



**Figura 2.19** Sistema en paralelo con tres ramas

**Fuente:** Mecánica de fluidos Robert Mott

### 2.6.3 Accesorios

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso. Entre los tipos más comunes se detalla a continuación.

#### **Bridas.-**

Son accesorios para conectar tuberías con equipos (Bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc.). La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado.

#### **Codos.-**

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tanto grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías. Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la Prefabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son:

- Codos estándar de 45°
- Codos estándar de 90°
- Codos estándar de 180°

#### **Tes.-**

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y cédula, se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.

Existen en dos tipos que son de diámetros iguales o te de recta. Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

Las tes existen en diámetros desde ¼" " hasta 72". Se fabrican de distintos materiales como acero al carbono, acero inoxidable, galvanizado, etc. También se instalan como juntas para instalar líneas de tubería, esto se puede hacer mediante procedimiento de rosca embutible-soldable o soldable a tope.

### **Reducción.-**

Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías. Existen los siguientes tipos de reducciones:

- Estándar concéntrica: es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.
- Estándar excéntrica: es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.

La aleación de la que están hechas puede ser al carbono, acero al porcentaje de cromo, acero inoxidable, etc. La junta es el tipo de instalación a través de juntas roscables, embutibles soldables y soldables a tope.

### **Empaquetadura.-**

Es un accesorio utilizado para realizar sellados en juntas mecanizadas existentes en líneas de servicio o plantas en proceso.

## **2.7 Pérdidas en tuberías**

### **Pérdidas por fricción en el flujo laminar.**

Cuando existe flujo laminar el fluido parece moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea un esfuerzo cortante entre las capas. Se pierde energía del fluido por la acción de las

fuerzas de fricción que hay que vencer, y que son producidas por el esfuerzo cortante. Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y los parámetros del sistema de flujo.

### **Pérdidas por fricción en el flujo turbulento.**

Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente utilizar la ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a fricción. El flujo turbulento es caótico y varía en forma constante. Por estas razones, para determinar el número adimensional  $f$  (factor de fricción adimensional) debemos recurrir a datos experimentales.

Además pruebas han demostrado que dicho número adimensional depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería.

### **Pérdidas menores ( $h_L$ )**

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por un codo, expansión o contracción de la sección de flujo, o por una válvula. Por lo general los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia  $K$ .

- **Expansión súbita**

Conforme un fluido pasa de una tubería pequeña a otra más grande a través de una expansión súbita, su velocidad disminuye de manera abrupta, lo que ocasiona turbulencia, que a su vez genera pérdida de energía. La cantidad de turbulencia, y por tanto de la pérdida depende de la razón de los tamaños de las dos tuberías.

- **Pérdida en la salida**

Conforme el fluido pasa de una tubería a un depósito o tanque grande, su velocidad disminuye hasta casi cero.

- **Caídas de presión por accesorios**

Cuando los fluidos circulan en curvas, accesorios, etc. Pero el método más sencillo es considerar cada accesorio o válvula como equivalente a una longitud determinada de tubo recto. Esto permite reducir las pérdidas en los tubos, las válvulas o accesorios aun denominador común: la longitud equivalente del tubo de igual rugosidad relativa.

### **Ecuación General de la Energía**

Otros factores que influyen en la ecuación además de las pérdidas menores son los dispositivos que se encuentren agregando energía ( $h_A$ ) o a su vez quitando esta ( $h_R$ ) del fluido que recorre a lo largo de un sistema de tubería. A continuación se presenta la ecuación general de la energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

## **2.8 Sistemas SCADA**

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora.

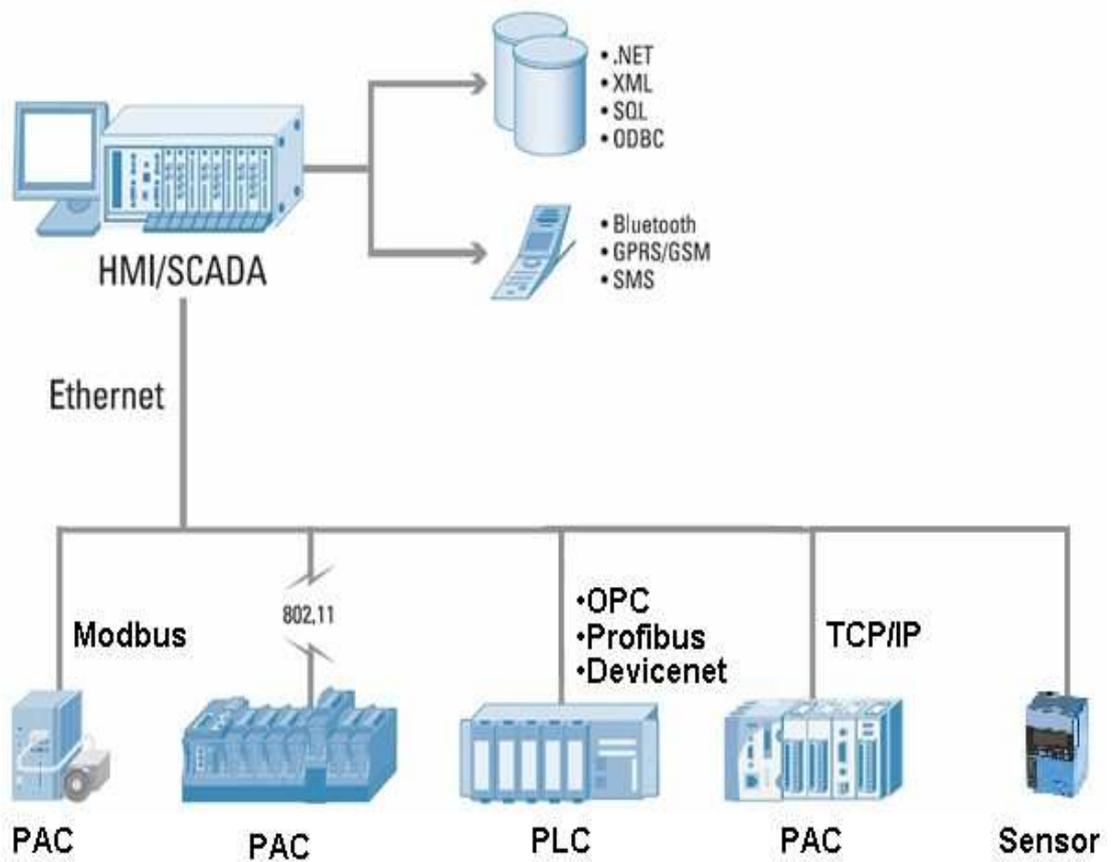
Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

El operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN (Ver figura 2.20). Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc.

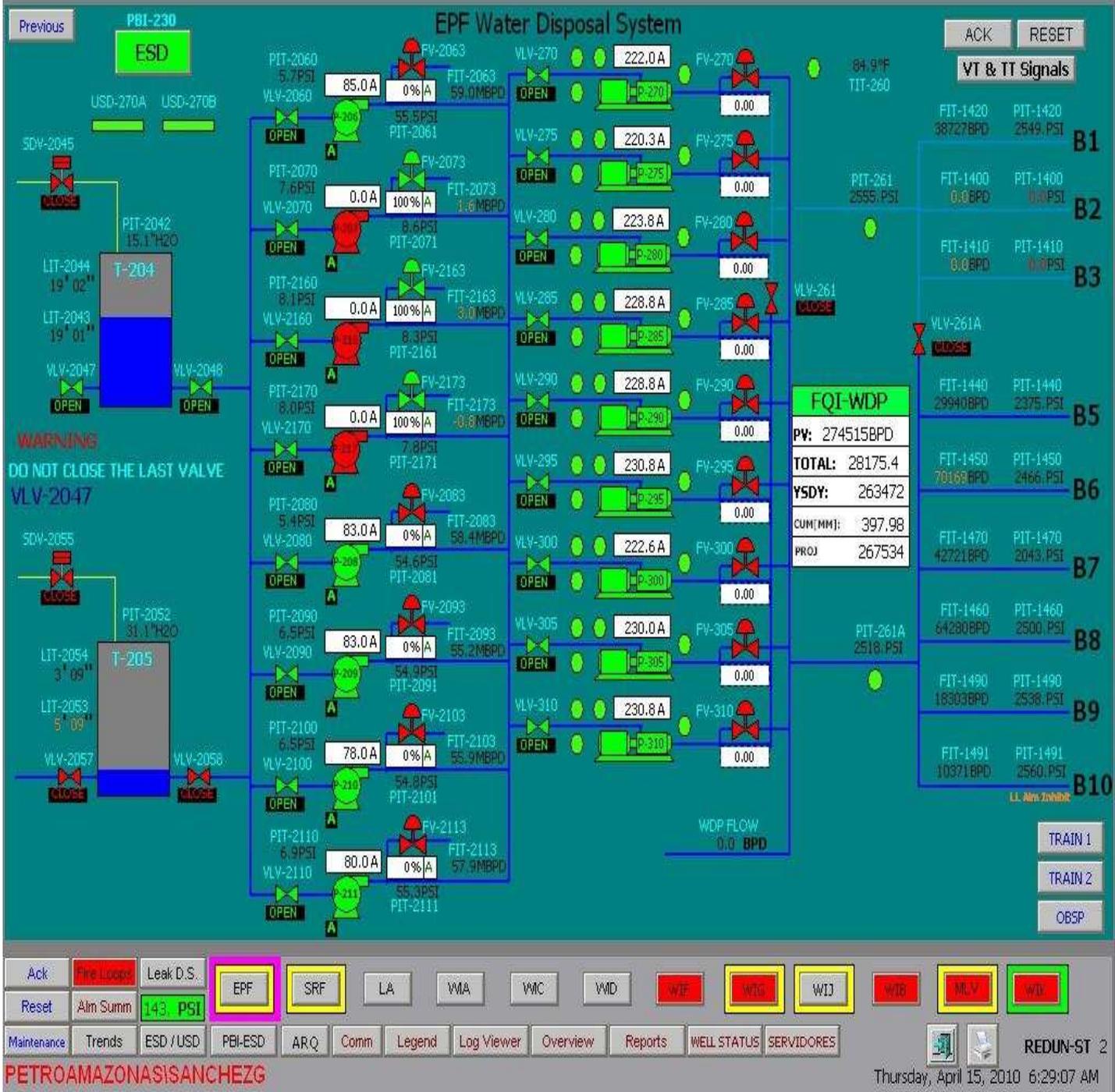
Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

En la planta EPF se tiene una sala de control en donde se encuentran ubicadas las computadoras mediante las cuales se maneja toda la planta, el software e interfaz que manejan los operadores de la planta es el que se observa en la figura 2.21.



**Figura 2.20** Arquitectura típica del sistema HMI/ SCADA

**Fuente:** National Instruments



**Figura 2.21** Software HMI/SACADA  
**Fuente:** Petroamazonas (Sala De Control)



## **CAPÍTULO 3**

### **ESTUDIO Y VALORACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN DE EPF**

En el presente capítulo se realiza el estudio de los equipos y componentes del sistema de reinyección de agua de formación de la planta EPF, para lo cual en primera instancia se levanta el inventario técnico para poder identificar cada uno de los equipos y determinar cuáles son los más relevantes dentro del sistema para profundizar en el estudio de estos.

Con el estudio realizado al finalizar cada sección se procede a dar una valoración técnica de la situación en la que se encuentra trabajando cada uno de los equipos y componentes del sistema, teniendo como referencia para comparar las condiciones en las iniciales de cada uno de estos, además de normas específicas y rangos de trabajo recomendados por el fabricante.

#### **3.1 Levantamiento del inventario técnico**

Por medio del inventario que se presenta a continuación se clasifica cada uno de los componentes del sistema de reinyección, se enumeran por la ubicación que tienen en el recorrido que realiza el agua de formación desde los tanques de almacenamiento hasta los pozos reinyectores.

El inventario cuenta con una descripción breve de cada componente, su respectivo código o tag que tiene dentro de la planta y con una descripción de sus características de placa las cuales en EPF no cuentan con un registro, de tal manera que facilita el desarrollo del proyecto en el momento de identificar un componente, aproximadamente la ubicación, secuencia e importancia que tiene dentro del sistema de reinyección.

Para el diseño o implementación de cualquier equipo o componente el inventario técnico sirve de guía para la selección de equipos y accesorios ya que deben tener las mismas características que los ya existentes por razones de armonía en el diseño de la planta y condiciones de trabajo.

**Tabla 3** Inventario técnico de los componentes del sistema de reinyección.

<b>INVENTARIO TÉCNICO</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Detalle</b>	<b>Código de referencia</b>	<b>Características</b>
1	Tanque de almacenamiento	T – 204	Acero de los andes, Código de Diseño: API 650, Año de const: 2004; Ø26761mm,Hn: 13109, Cap. Nominal: 45000BBL, PD: 1PSI
2	Válvula de Bola	VLV-2047	Ø 24" A2-2R, actuador
3	Válvula de Bola	VLV-2048	Ø 30" A2-2R, actuador
4	Tanque de almacenamiento	T – 205	Acero de los andes, Código de Diseño: API 650, Año de const: 2004; Ø26761mm,Hn: 13109 Cap. Nominal: 45000BBL, PD: 1PSI
5	Válvula de Bola	VLV-2057	Ø 24" A2-2R, actuador
6	Válvula de Bola	VLV-2058	Ø 30" A2-2R, actuador
7	Válvula de Bola	V1	Ø 30"
8	Bomba Booster	P-211	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps,12x16x15, GPM: 1900, RPM: 1780. TDH: 107 ft
9	Motor Eléctrico	MB1	Motor Vertical General electric motors HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
10	Válvula de bola	VLV-2110	Ø12" A2-2R
11	Válvula antiretorno	Check1	Ø 8" A25R, BODY: WCB, Class: 150
12	Válvula de bola		Ø 8" A2-2R
13	Válvula FV	FV-2113	Ø 6", 1/2" A6S
14	Bomba Booster	P-210	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps, 12x16x15, GPM: 1900, RPM: 1780. TDH: 112 ft
15	Motor Eléctrico	MB2	Motor Vertical General electric motors HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
16	Válvula de bola	VLV-2100	Ø12" A2-2R
17	Válvula antiretorno	Check2	Ø 8" A25R, BODY: WCB, Class: 150
18	Válvula de bola		Ø 8" A2-2R
19	Válvula FV	FV-2103	Ø 6", 1/2" A6S
20	Bomba Booster	P-209	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps, 12x16x15, GPM: 1900, RPM: 1780. TDH:

			107 ft
21	Motor Eléctrico	MB3	Motor Vertical General electric motors HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
22	Válvula de bola	VLV-2090	Ø12" A2-2R
23	Válvula antiretorno	Check3	Ø 8" A25R, BODY: WCB, Class: 150
24	Válvula de bola		Ø 8" A2-2R
25	Válvula FV	FV-2093	Ø 6", 1/2" A6S
26	Bomba Booster	P-208	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps, 12x16x15, GPM: 2000, RPM: 1780. TDH: 107 ft
27	Motor Eléctrico	MB4	Motor Vertical General electric motors HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
28	Válvula de bola	VLV-2080	Ø12" A2-2R
29	Válvula antiretorno	Check4	Cameron Ø 8" A25R
30	Válvula de bola		Ø 8" A2-2R
31	Válvula FV	FV-2083	Ø 6", 1/2" A6S
32	Bomba Booster	P-217	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps, 12x16x15, GPM: 1900, RPM: 1780. TDH: 107 ft
33	Motor Eléctrico	MB5	Motor Vertical General electric motors HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
34	Válvula de bola	VLV-2170	Ø12" A2-2R
35	Válvula antiretorno	Check5	Dresser, Ø 8" A25R, BODY:
36	Válvula de bola		Ø 6", 1/2" A6S WCC, Class: 150
37	Válvula FV	FV-2173	Baro Companies Ø 8" A2-2R
38	Bomba Booster	P-216	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps, 12x16x15, GPM: 2000, RPM: 1780. TDH: 107 ft
39	Motor Eléctrico	MB6	Motor Vertical General electric motors HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
40	Válvula de bola	VLV-2160	Ø12" A2-2R
41	Válvula antiretorno	Check6	Dresser, Ø 8" A25R, BODY: WCC, Class: 150
42	Válvula de bola		Baro Companies Ø 8" A2-2R
43	Válvula FV	FV-2163	Ø 6", 1/2" A6S
44	Bomba Booster	P-207	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps, 12x16x15, GPM: 1900, RP: 1780. TDH: 112 ft
45	Motor Eléctrico	MB7	Motor Vertical General electric motors

			HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
46	Válvula de bola	VLV-2070	Ø12" A2-2R
47	Válvula antiretorno	Check7	Dresser, Ø 8" A25R, BODY: WCC, Class: 150
48	Válvula de bola		Baro Companies Ø 8" A2-2R
49	Válvula FV	FV-2073	Ø 6", 1/2" A6S
50	Bomba Booster	P-206	Bomba de turbina Vertical Afton Pumps, 12x16x15, GPM: 1900, RPM: 1780. TDH: 112 ft
51	Motor Eléctrico	MB8	Motor Vertical General electric motors HP: 100, AMP: 118, RPM: 1780, Phase: 3
52	Válvula de bola	VLV-2060	Ø12" A2-2R
53	Válvula antiretorno	Check8	Dresser, Ø 8" A25R, BODY: WCC, Class: 150
54	Válvula de bola		Alecto, Ø 8" A2-2R, Clase: 150
55	Válvula FV	FV-2063	Ø 6", 1/2" A6S
56	Válvula de bola		Diamond Gear Co. Grove, 24"x20", Class: 150
57	Válvula de bola		EDEEN Italy Ø 24"
58	Válvula de bola		Ø 24"
59	Bomba Disposal	P-270	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
60	Motor eléctrico	MD1	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
61	Válvula de Bola	VLV – 270	Ø 8" G2J
62	Válvula antiretorno	Check 9	Ø 6", G5J
63	Válvula de Bola		Ø 6" G2J
64	Válvula FV	FV – 270	Ø 2"
65	Bomba Disposal	P-275	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
66	Motor eléctrico	MD2	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
67	Válvula de Bola	VLV – 275	Ø 8" G2J
68	Válvula antiretorno	Check 10	Ø 6", G5J
69	Válvula de Bola		DYNATORQUE Ø 6" G2J
70	Válvula FV	FV – 280	Ø 2"
71	Bomba Disposal	P-280	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12,

			GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
<b>72</b>	Motor eléctrico	MD3	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
<b>73</b>	Válvula de Bola	VLV – 270	Ø 8" G2J
<b>74</b>	Válvula antiretorno	Check 11	Ø 6", G5J
<b>75</b>	Válvula de Bola		KC OK Ø 6" G2J
<b>76</b>	Válvula FV	FV – 280	Ø 2"
<b>77</b>	Bomba Disposal	P-285	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
<b>78</b>	Motor eléctrico	MD4	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
<b>79</b>	Válvula de Bola	VLV – 285	Ø 8" G2J
<b>80</b>	Válvula antiretorno	Check 12	Ø 6", G5J
<b>81</b>	Válvula de Bola		Ø 6" G2J
<b>82</b>	Válvula FV	FV – 285	Ø 2"
<b>83</b>	Bomba Disposal	P-290	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
<b>84</b>	Motor eléctrico	MD5	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
<b>85</b>	Válvula de Bola	VLV – 290	Ø 8" G2J
<b>86</b>	Válvula antiretorno	Check 13	Ø 6", G5J
<b>87</b>	Válvula de Bola		KF, Ø 6" G2J, 6x4, Clase 1500
<b>88</b>	Válvula FV	FV – 290	Ø 2"
<b>89</b>	Bomba Disposal	P-295	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
<b>90</b>	Motor eléctrico	MD6	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
<b>01</b>	Válvula de Bola	VLV – 295	Ø 8" G2J
<b>92</b>	Válvula antiretorno	Check 14	Ø 6", G5J
<b>93</b>	Válvula de Bola		DYNATORQUE, Ø 6" G2J
<b>94</b>	Válvula FV	FV – 295	Ø 2"
<b>95</b>	Bomba Disposal	P-300	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
<b>96</b>	Motor eléctrico	MD7	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase:

			3, RPM: 3580
<b>97</b>	Válvula de Bola	VLV – 300	Ø 8" G2J
<b>98</b>	Válvula antiretorno	Check 15	Ø 6", G5J
<b>99</b>	Válvula de Bola		Ø 6" G2J
<b>100</b>	Válvula FV	FV – 300	Ø 2"
<b>101</b>	Bomba Disposal	P-305	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
<b>102</b>	Motor eléctrico	MD8	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
<b>103</b>	Válvula de Bola	VLV – 305	Ø 8" G2J
<b>104</b>	Válvula antiretorno	Check 16	Ø 6", G5J
<b>105</b>	Válvula de Bola		DYNATORQUE, Ø 6" G2J
<b>106</b>	Válvula FV	FV – 305	Ø 2"
<b>107</b>	Bomba Disposal	P-310	Bomba horizontal Sulzer, Size: 6x8x12, GPM: 1000, RPM: 3560, HEAD: 5954 FT
<b>108</b>	Motor eléctrico	MD9	Motor Horizontal Reliance Electric, HP:2000, AMP:245, Volts: 4000, Phase: 3, RPM: 3580
<b>109</b>	Válvula de Bola	VLV – 310	Ø 8" G2J
<b>110</b>	Válvula antiretorno	Check 17	Ø 6", G5J, Class: 1500
<b>111</b>	Válvula de Bola		Ø 6" G2J
<b>112</b>	Válvula FV	FV – 310	Ø 2"
<b>113</b>	Válvula de bola	VLV-261	Ø 16" , actuador
<b>114</b>	Válvula de bola		Ø 16" , accionamiento manual
<b>115</b>	Válvula de choque	B-08	
<b>116</b>	Válvula antiretorno	Check 18	Pipe Line Valves, Ø10" G5J, Class 1500, T: 350
<b>117</b>	Válvula de bola		JMC, Ø 10" G2J
<b>118</b>	Válvula de choque	B-07	
<b>119</b>	Válvula antiretorno	Check 19	TULSA, Ø 10", Class 1500, T: 350
<b>120</b>	Válvula de bola		Ø 10"
<b>121</b>	Válvula de choque	B-06	
<b>122</b>	Válvula antiretorno	Check 20	Pipe Line Valves, Ø 10"G5J, Class 1500, T: 350
<b>123</b>	Válvula de bola		JMC, Ø 10" G2J
<b>124</b>	Válvula de choque	B-05	
<b>125</b>	Válvula antiretorno	Check 21	Pipe Line Valves, Ø 10"G5J, Class 1500, T: 350

<b>126</b>	Válvula de bola		JMC, Ø 10" G2J
<b>127</b>	Válvula de choque	B-01	Marcador de porcentaje de apertura visible
<b>128</b>	Válvula antiretorno	Check 22	Ø 10", Class 1500, 10"
<b>129</b>	Válvula de bola		Ø 10"
<b>130</b>	Válvula de choque	B-03	Marcador de porcentaje de apertura visible
<b>131</b>	Válvula antiretorno	Check 23	Ø 10", Class 1500, 10"
<b>132</b>	Válvula de bola		Ø 10"
<b>133</b>	Válvula de choque	B-02	Marcador de porcentaje de apertura visible
<b>134</b>	Válvula antiretorno	Check 24	Ø 10", Class 1500, 10"
<b>135</b>	Válvula de bola		Ø 10"
<b>136</b>	Válvula de bola	VL 261	Ø 16", Class 1500
<b>137</b>	Válvula de Compuerta	Win 7	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>138</b>	Válvula de Compuerta	VC 7	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>139</b>	Válvula de Compuerta	Master 7	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>140</b>	Válvula de Compuerta	Win 5	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>141</b>	Válvula de Compuerta	Master 5	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>142</b>	Válvula de Compuerta	Win 6	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>143</b>	Válvula de Compuerta	Master 6	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>144</b>	Válvula de Compuerta	Win 1	BB Gray gate Size 7 1/16"
<b>145</b>	Válvula de Compuerta	Master 1	BB Gray gate Size 7 1/16"
<b>146</b>	Válvula de Compuerta	Win 8	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>147</b>	Válvula de Compuerta	VC 8	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>148</b>	Válvula de Compuerta	Master 8	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>149</b>	Válvula de Compuerta	Win 9	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>150</b>	Válvula de Compuerta	VC 9	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000,

	Compuerta		API 64, Body: A487
<b>151</b>	Válvula de Compuerta	Master 9	Valveworks USA Size 7 1/16", WP: 3000, API 64, Body: A487
<b>152</b>	Válvula de Compuerta	Win 10	Trimmed in compliance with NACE Size 6 3/8", WP: 5000, API 64
<b>153</b>	Válvula de Compuerta	VC 10	FMC Size 6 3/8", WP: 3000, API 64
<b>154</b>	Válvula de Compuerta	Master 10	Trimmed in compliance with NACE Size 6 3/8", WP: 5000, API 64

### **3.2 Categorización y diferenciación de las máquinas**

El sistema de reinyección de agua de formación de EPF, cuenta con elementos y máquinas los cuales desempeñan una función específica de acuerdo a sus características de fabricación y diseño.

A continuación se procede a clasificar, categorizar y diferenciar a cada uno de los componentes que forman parte del sistema de acuerdo a la influencia que tienen en el desempeño diario del sistema de reinyección de agua de formación. Ver tabla 3.1.

La categorización que se da al grupo de elementos es con respecto a su influencia dentro del funcionamiento del sistema de reinyección, a continuación se detalla cada categoría:

- 1.- Fundamental
- 2.-Muy importante
- 3.-Importante
- 4.-Complementario

**Tabla 3.1** Categorización y diferenciación de los elementos del sistema de reinyección

<b>Categoría</b>	<b>Clase</b>	<b>Tipo</b>	<b>Función</b>
<b>1</b>	<b>Tanques</b>		
		Almacenamiento	Almacenar el agua proveniente del tren 1, tren 2 de procesos y proporcionar una determinada presión a la succión de las bombas Booster
<b>2</b>	<b>Bombas</b>		
		Booster	Proporcionar la presión necesaria para la succión de las bombas Booster y optimizar el caudal en el cabezal de descarga
		Disposal	Elevar la presión del agua de formación para la reinyección de la misma en los pozos reinyectores.
<b>3</b>	<b>Válvulas</b>		
		Choque	Regular el caudal de reinyección
		Win	Permitir o evitar el paso del agua hacia la cabeza del inyector.
		Master	Permitir o evitar el paso del agua hacia el pozo reinyector
		Bola	Permitir o evitar el paso del agua en un tramo de tubería
		Antirretorno	Regula el paso del agua en un solo sentido.
		FV	Aliviar la línea de descarga de las bombas en el caso de que exista una sobre presión
<b>4</b>	<b>Tubería y accesorio</b>		Conducir el agua de formación desde los tanques hacia los pozos reinyectores

### **3.3 Tanques de almacenamiento de agua**

El sistema de reinyección cuenta con dos tanques de almacenamiento de agua los cuales se les denomina T-204 y T-205 (Ver figura 3.1 y 3.2) los mismos que mediante líneas de tubería son receptores del agua proveniente de los dos trenes de procesos con que cuenta la planta EPF.



**Figura 3.1** Tanque de almacenamiento de agua de formación T-204



**Figura 3.2** Tanque de almacenamiento de agua de formación T-205

### **3.3.1 Código de diseño**

El Instituto Americano de Petróleo (API) está dedicado para el diseño de tanques atmosféricos sobre superficie. En el caso de los tanques de almacenamiento de agua de formación del EPF el código específico con el cual están diseñados es el API 650, el mismo que está basado en el conocimiento y experiencia de fabricantes y usuarios de tanques de almacenamiento soldados de varios tamaños y capacidades.

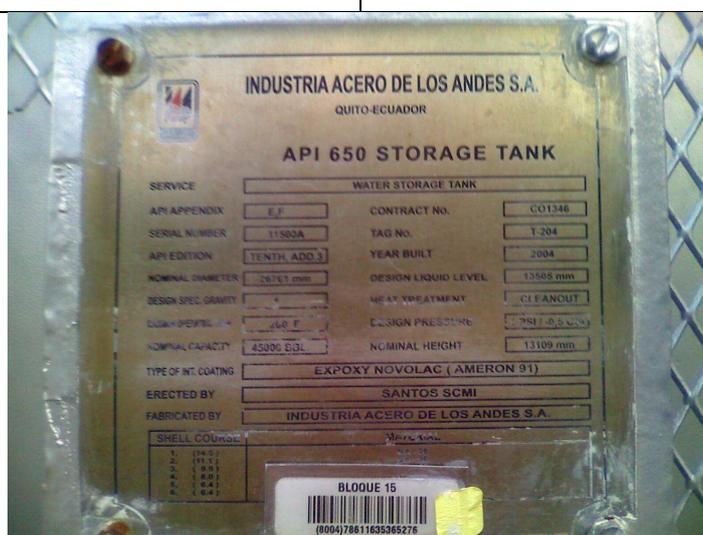
La edición utilizada por la empresa “Industria Acero de Los Andes” en el año 2004 fue la décima, adenda número 3. Se debe señalar que en los datos de placa señalan también que se tomaron en cuenta los apéndices E y F del

código esto agrega la consideración de factores sísmicos y características de diseño de tanques sometidos a pequeñas presiones. Con los antecedentes presentados se puede definir que los tanques se encuentran diseñados y construidos con parámetros dentro del alcance del código anteriormente señalado y sus limitaciones.

### 3.3.2 Características técnicas originales

**Tabla 3.2** Características de diseño del tanque T-204

<b>Diámetro Nominal</b>	26761 mm
<b>Nivel de diseño del líquido</b>	13505 mm
<b>Temperatura máxima de operación</b>	200 °F
<b>Gravedad específica de diseño de líquido almacenado</b>	1
<b>Capacidad nominal</b>	45000 Bbl
<b>Altura nominal</b>	13109 mm
<b>Presión de diseño</b>	1 PSI / -0.5 PSI
<b>Tipo de Revestimiento</b>	EXPOXY NOVOLAC (AMERON 91)
<b>Edificado por</b>	Santos SCMI
<b>Fabricado por</b>	Industria Acero de los Andes
<b>Espesor original de piso</b>	8mm
<b>Espesor original de anillo 1</b>	14.5 mm
<b>Espesor original de techo</b>	6.35
<b>Sobrespesor corrosión</b>	1.6 mm (1/16 plg)
<b>Protección Catódica interna</b>	25 ánodos de sacrificio de aluminio
<b>Sistema de recuperación de crudo</b>	Skimmer flotante



**Figura 3.3** Datos de placa tanque T-204

Tabla N°3.3 Características de diseño del tanque T-205

<b>Diámetro Nominal</b>	26761 mm
<b>Nivel de diseño del líquido</b>	13505 mm
<b>Temperatura máxima de operación</b>	200 °F
<b>Gravedad específica de diseño de liquido almacenado</b>	1
<b>Capacidad nominal</b>	45000 Bbl
<b>Altura nominal</b>	13109 mm
<b>Presión de diseño</b>	1 PSI / -0.5 PSI
<b>Tipo de Revestimiento</b>	EXPOXY NOVOLAC (AMERON 91)
<b>Edificado por</b>	Santos SCMI
<b>Fabricado por</b>	Industria Acero de los Andes
<b>Espesor original de piso</b>	8mm
<b>Espesor original de anillo 1</b>	14.5 mm
<b>Espesor original de techo</b>	6.35
<b>Sobrespesor corrosión</b>	1.6 mm (1/16 plg)
<b>Protección Catódica interna</b>	25 ánodos de sacrificio de aluminio
<b>Sistema de recuperación de crudo</b>	Skimmer flotante

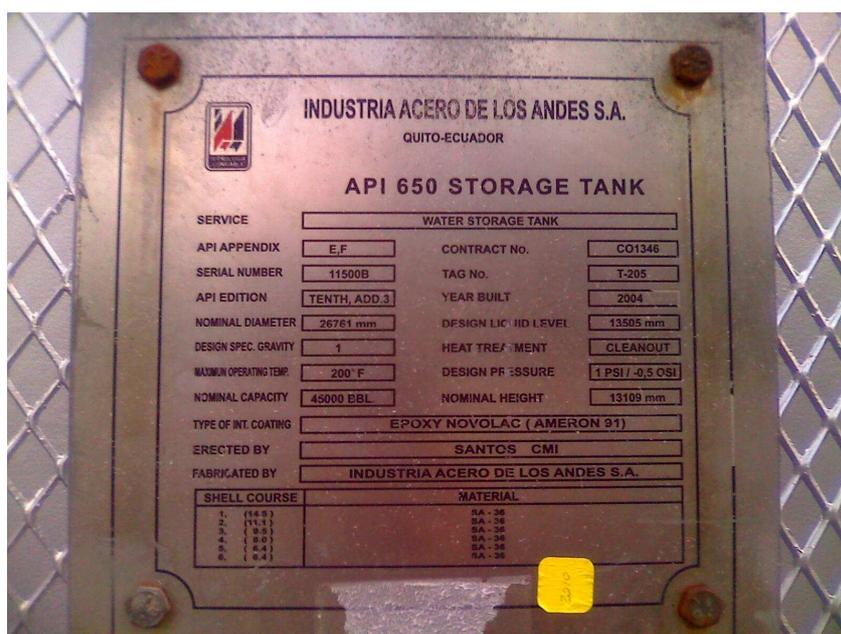


Figura 3.4 Datos de placa tanque T-205

### 3.3.3 Presión de cabeza de tanques

La presión que es generada por la columna de agua de formación almacenada en los tanques es denominada presión de cabeza, de tal manera que el nivel del líquido en el tanque es importante para que genere una presión suficiente a la salida de los tanques y no descienda hasta 1 PSI en su recorrido hasta la succión de las bombas Booster ya que si llega a ocurrir dicho descenso las bombas se apagan o se alarman a 1.5 PSI de acuerdo a los sensores de presión PSL y PSSL. En la sala de control se procura mantener el líquido a una altura promedio de 16 pies valor con el cual se puede calcular una presión teórica de salida en cada tanque como se detalla a continuación:

Densidad del agua de formación con 8000 ppm de salinidad:

$$\rho := 1000 \cdot 2.2075 \cdot 0.3048^3$$

$$\rho = 62.509 \quad \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

Presión de cabeza de una pulgada de agua de formación:

$$P_{c1} := \frac{\rho}{1728} \quad \text{Ecuación 3.1 (Robert Moot, sexta ed. Pág. 70)}$$

$$P_{c1} = 0.036 \quad \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \quad (\text{PSI}) \quad 1 \text{ plg de Agua de formación}$$

Nivel del líquido

$$N := 16 \text{ Pies}$$

$$N1 := N \cdot 12$$

$$N1 = 192 \quad \text{plg}$$

Presión de cabeza de los Tanques T-204 y T-205

$$P_c := N1 \cdot P_{c1}$$

$$P_c = 6.945 \quad \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \quad (\text{PSI})$$

### 3.3.4 Problemas habituales

Los problemas que habitualmente se presentan en los tanques se detallan a continuación:

- Socavados de la soldadura.
- Presencia de hidrocarburos en el techo.
- Corrosión leve en accesorios del techo.
- Pérdida u deterioro de la capa de pintura.
- Disminución de espesor en las paredes, pisos y techo por diversos factores.

Hay que señalar que el departamento de integridad mecánica realiza inspecciones visuales semestralmente para de esta manera determinar las acciones de mantenimiento que se deben realizar y aplicando dichas acciones alargar el tiempo de vida de los tanques. Por otra parte también se realizan mediciones de espesores de piso, pared y techo de los tanques de acuerdo con procedimientos establecidos por la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH), este es otro instrumento que sirve para detectar posibles fallos, además determinar acciones de mantenimiento. (Ver Anexo 3 y 4)

### **3.3.5 Valoración técnica de los tanques de almacenamiento de agua**

Ambos tanques al tener un tiempo de funcionamiento aproximado de seis años hasta la presente fecha, además de tener recomendaciones de mantenimiento en los informes realizados por el departamento de integridad mecánica y el mal funcionamiento de recuperación de crudo se vio la necesidad de realizar un mantenimiento a los tanques de tal manera que se suspendió el trabajo en primera instancia del tanque T-204 y seguidamente al T-205 para realizar el mantenimiento de los mismos. A continuación se detalla las acciones realizadas en los tanques y las características que variaron en los mismos.

#### **Tanque de almacenamiento de Agua de Formación T-204**

Las acciones de mantenimiento y modificaciones aplicadas en el tanque desde el mes de junio hasta el mes de noviembre fueron las siguientes:

- Limpieza interna
  - Retiro de sedimentos y sólidos
  - Sand Blasting

- Pintura interior y exterior
- Retiro de skimmer interno y colocación de una bandeja de recolectora de crudo a 19 pies alrededor de todo el tanque.

A continuación se realizó la calibración del tanque de tal manera que la capacidad aproximada es 45993.6 BBL. (Ver Anexo 5)

### **Tanque de almacenamiento de Agua de Formación T-205**

Las acciones de mantenimiento y modificaciones aplicadas en el tanque desde el mes de noviembre del 2009 hasta el mes de abril del 2010 fueron las siguientes:

- Limpieza interna
  - Retiro de sedimentos y sólidos
  - Sand Blasting
- Pintura interior y exterior
- Retiro de skimmer interno y colocación de tres bandejas de recolectoras de crudo a 19 pies.

En conclusión con las acciones de mantenimiento y modificaciones realizadas hasta el mes de abril del 2010 en los tanques se tiene un mejor manejo de la recuperación de crudo además que la integridad de los tanques se encuentra en óptimas condiciones, de tal manera que la operación diaria de los mismos no tiene ningún inconveniente y esta garantizada para los próximos 2 años tiempo en el cual se debe realizar una inspección de acuerdo al programa IBR (Inspección Basada en Riesgo) realizado por el departamento de Integridad Mecánica y se determine en que condiciones se encuentra el tanque a esa fecha.

## **3.4 Estudio específico de las bombas tipo Booster**

### **Descripción de la situación actual del sistema:**

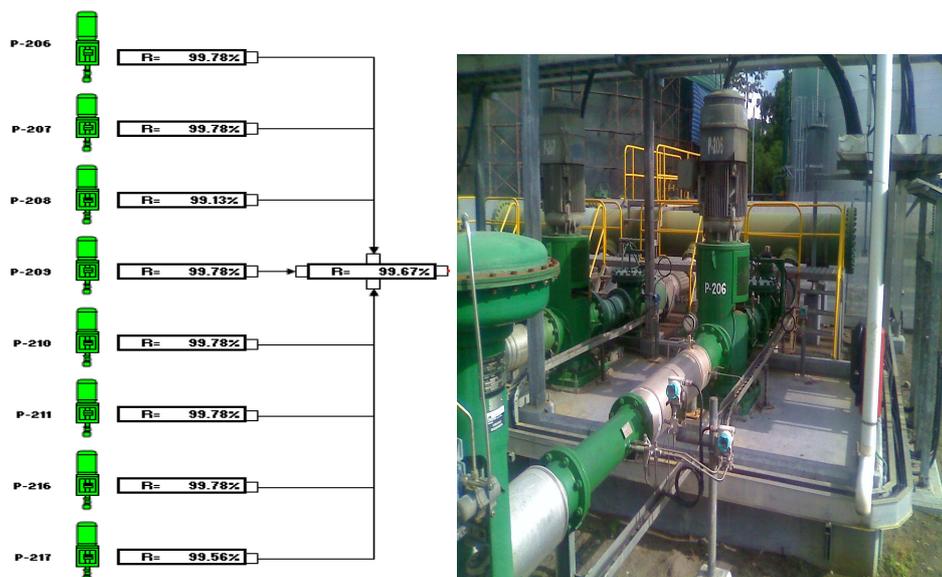
El sistema de bombas Booster tiene la misión de optimizar la tubería de descarga de cada una de las bombas que lo componen en su totalidad, además de elevar la presión del agua de formación proveniente de los tanques

de almacenamiento de una presión de 5.5 aproximadamente hasta una presión de 55 PSI con el objetivo de cumplir y sobrepasar la presión de succión requerida por las bombas Disposal.

Hay que señalar que en la actualidad tres de las ocho bombas funcionan como auxiliares de tal manera que solo trabajan cinco, en el caso que entre en mantenimiento una de estas se las intercambia con una de las auxiliares de tal manera que el estudio se realiza a las bombas que se encuentran trabajando con normalidad.

Se denomina bomba al conjunto formado por una bomba hidráulica y a un motor eléctrico vertical el cual impulsa al eje dotándole de la velocidad angular necesaria para impulsar el fluido a la descarga.

El sistema de bombas Booster está dispuesto como se ilustra en la figura 3.5.



**Figura 3.5** Diagrama del sistema de bombas Booster y la confiabilidad del sistema y bomba Booster P-206

**Fuente:** Petroamazonas (Departamento de Predictiva)

### 3.4.1 Características técnicas y rangos de trabajos ideales

Las bombas que actualmente forman parte del sistema y se encuentran trabajando son: P-217, P-210, P-209, P-207, P-208.

**Características de Fabrica:**

Las bombas Booster P-210, P-209, P-217, P-207, P-211 tienen las siguientes características originales de fábrica:

**Tabla 3.4** Características originales de fabrica bombas Booster

<b>Tamaño</b>	12x16x15
<b>Capacidad</b>	2000 GPM
<b>Velocidad Angular</b>	1780 RPM
<b>TDH</b>	107 Feet H2O
<b>Marca</b>	Afton Pumps
<b>Temperatura Máxima</b>	200 °F



**Figura 3.6** Placa de una bomba Booster 2000 GPM

A diferencia de las bombas anteriormente mencionadas la P-208 y la bomba P-216 tienen las siguientes características originales de fábrica. Ver figura 3.7.

**Tabla 3.5** Características originales de fabrica bombas Booster

<b>Tamaño</b>	12x16x15
<b>Capacidad</b>	1900 GPM
<b>Velocidad Angular</b>	1780 RPM
<b>TDH</b>	112 Feet H2O
<b>Marca</b>	Afton Pumps
<b>Temperatura</b>	200 °F

Máxima



Figura 3.7 Placa de una bomba Booster 1900 GPM

El motor eléctrico que impulsa a las bombas tiene las siguientes características:

Tabla 3.6 Características del motor eléctrico que impulsa a la bomba Booster.

<b>Potencia</b>	100 HP
<b>Velocidad Angular</b>	1780
<b>Amperaje</b>	118 A
<b>Factor de Potencia</b>	85
<b>Fases</b>	3
<b>Frecuencia</b>	60 HERTZ
<b>Factor de Servicio</b>	1.15
<b>Marca</b>	General Electric Motors & industrial Systems

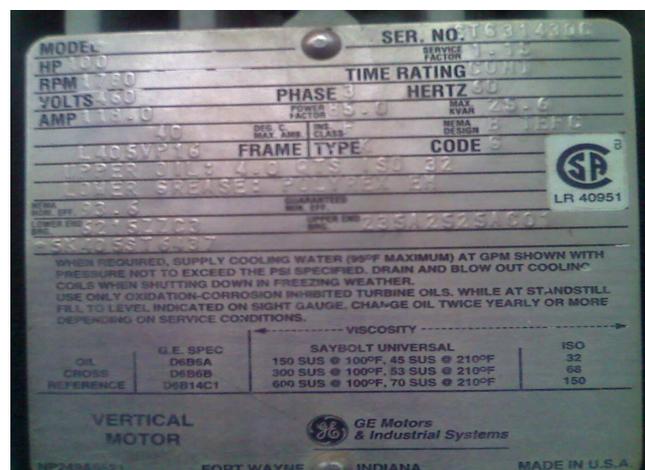
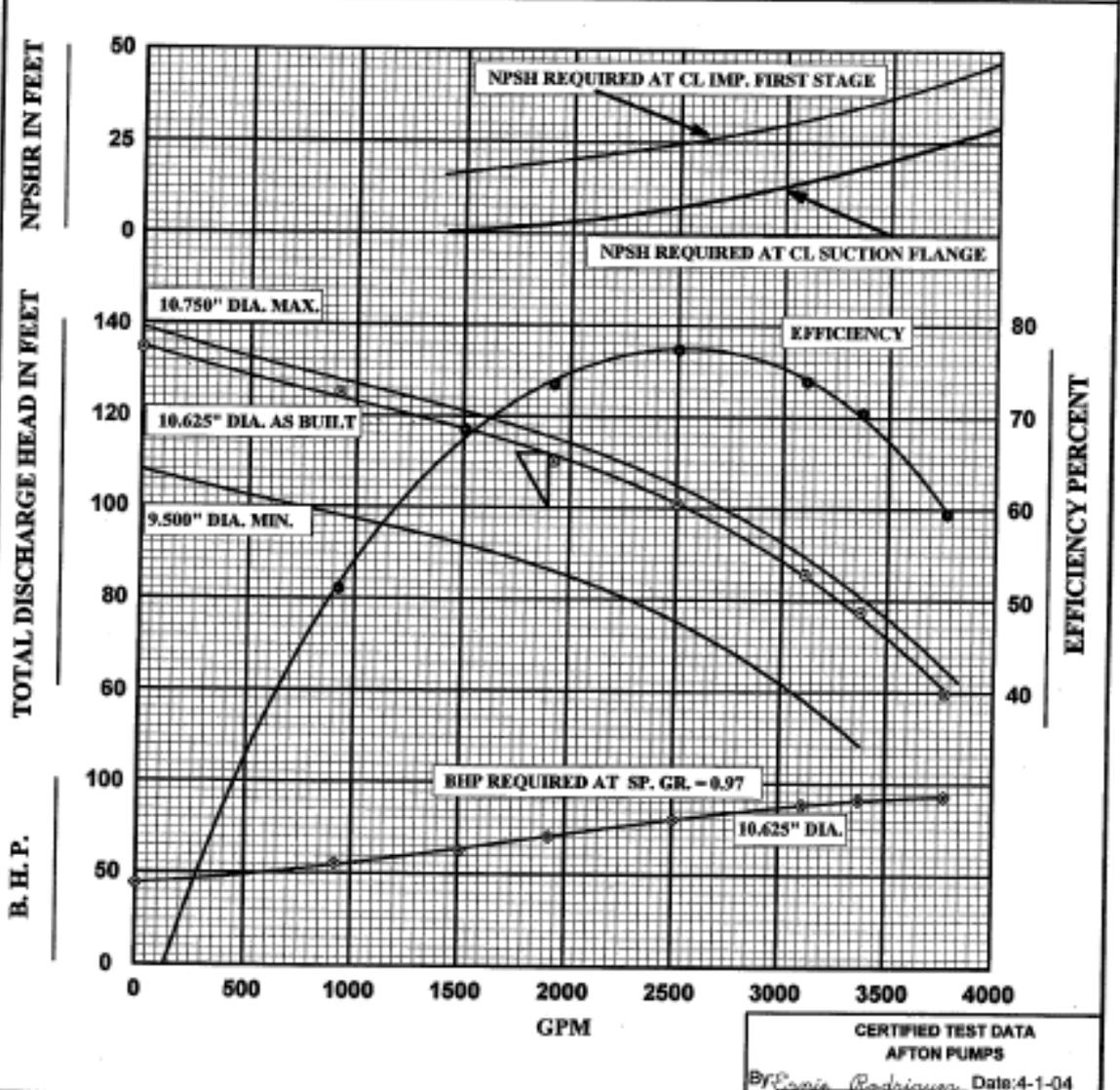


Figura 3.8 Placa de un motor vertical eléctrico General Electric

TYPE: <b>MPV</b>	U.S.	CURVE NO.: <b>42513</b>
IMP(S): 316 SS BAL. HOLES: No	W.R. CLR.: API	SIZE: 12x16x15 - 1 Stage
WR MATL.: TOP: N/A	STD. SEAL SIZE: 1.500"	R.P.M.: 1780
BTM: 420 SS (H)	IMP. TYPE: CLOSED - 15PDCH - 1 Stage	EYE AREA: 43.4 IN <sup>2</sup>
CSE/BWL(S): 316 SS	IMP. PATT. NO.: 27-293-115-143	N <sub>s</sub> : 2930 N <sub>ss</sub> : 8050
WR MATL.: TOP: N/A	CS/BWL PAT. NO.: 27-293-123-143	WR <sup>2</sup> : 3.898 LB.FT <sup>2</sup> /STG.
BTM: 316 SS		SHAFT O.D.: 2.250"



CUSTOMER DATA:

ITEM NO.: 68020600	G.P.M.: 1900	T.D.H.: 112 FL	SP. GR.: 0.97	NPSH <sub>a</sub> : 11 FL @ CL of Suct. Nozzle
--------------------	--------------	----------------	---------------	--

DOC NO.: 42513 .INR

**Figura 3.9** Curvas de Desempeño

Fuente: O & M Manual Water Transfer Pump (Afton Pumps, Inc.)

### 3.4.2 Presión real de entrada y salida

La recopilación de datos es realizada en el campo mediante medidores de Caudal FIT, de Presión PIT y además se toma datos del sistema de control automático de la planta Scada HMI, llegando a concluir que los datos que se toma en cuenta por su precisión son los que se proporciona en la sala de control ya que los medidores FIT se encuentran descalibrados.

A continuación se presentan los datos obtenidos:

**Tabla 3.7** Presión de succión y descarga de las bombas Booster

Bomba	Psucción [PSI]	Psucción [FEET H <sub>2</sub> O]	Pdescarga [PSI]	Pdescarga [FEET H <sub>2</sub> O]
P-211	7.1	16.9	7	16.7
P-210	5.2	12.4	53.7	127.8
P-209	5.2	12.4	54.1	128.8
P-208	4.3	10.2	53.8	128.1
P-217	5.7	13.6	54.2	129
P-216	7.4	17.6	7.3	17.4
P-207	6.9	16.4	7.8	18.6
P-206	4.5	10.4	54.5	129.8

Se puede identificar claramente las bombas auxiliares se encuentran apagadas ya que la presión de descarga es la misma que presión de succión por el fluido que se encuentra empaquetado dentro de cada bomba auxiliar.

### 3.4.3 Caudal de entrada y salida

El caudal de agua de formación que llega es proporcional al nivel que se tenga de agua en los tanques teniendo en cuenta que el cabezal de descarga es común para todas las bombas, lo contrario ocurre en la succión ya que se forman dos cabezales independientes, el primero lo comparten las bombas: P-211, P-210, P-209, P-208 y el segundo cabezal las bombas restantes. De tal manera que en el primer cabezal de succión trabajan tres bombas y en el segundo trabajan dos bombas en las condiciones de trabajo actuales del sistema.

A continuación se Presentan los valores de caudal para cada bomba:

**Tabla 3.8** Caudal de entrega de las bombas Booster

<b>Bomba</b>	<b>Q descarga</b> [MBPD]	<b>Q descarga</b> [GPM]
P-211	-0.9	0
P-210	51.5	1502.1
P-209	52.5	1531.2
P-208	55.7	1624.6
P-217	49	1429.2
P-216	3.9	113.8
P-207	0.9	26.3
P-206	55.6	1621.7

### 3.4.4 Características reales de trabajo

Puntos Reales de Operación de las bombas que se encuentran en funcionamiento.

**Tabla 3.9** Presión diferencial y caudal de las bombas Booster

<b>Detalle</b>	<b>TDH</b> [FEET H2O]	<b>Q</b> [GPM]
P-210	115.4	1502.1
P-209	116.4	1531.2
P-208	117.9	1624.6
P-217	115.4	1429.2
P-206	119.4	1621.7

### Velocidad angular

En el sistema de bombas Booster no existen instrumentos de medición y control de velocidad angular del motor eléctrico y del caudal de descarga en cada una de las bombas, de tal manera que se procede a utilizar las leyes de afinidad para el cálculo de la velocidad angular ya que se tiene los datos del punto de mayor eficiencia (BEP) y serán útiles como datos de partida para la aplicación de las leyes de afinidad.

## Leyes de Afinidad aplicadas a bombas Booster

### Datos definidos por el fabricante

Q1 := 1900 GPM      N1 := 1780 RPM      NPSH1 := 2 Feet H2O

### Características de Operación Real

Q2 := 1502.1 GPM

$$N2 := \frac{N1 \cdot Q2}{Q1} = 1.407 \times 10^3 \quad \text{RPM} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$NPSH2 := \frac{NPSH1}{\left(\frac{N1}{N2}\right)^2} = 1.25 \quad \text{Pies de H2O} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

### Porcentaje de diferencia entre el caudal nominal y el caudal real de operación

$$\text{Porcentaje} := \frac{Q1 - Q2}{Q1} \cdot 100 = 20.942 \quad \% \quad \text{Ecuación 3.5}$$

**Tabla 3.10** NPSH requerido, Caudal y velocidad angular del eje principal de las bombas Booster

#### Resumen de Resultados

Bomba	NPSH2	Q2	N2
	[FEET H2O]	[GPM]	[RPM]
<b>P-210</b>	1.25	1502.1	1407
<b>P-209</b>	1.3	1531.2	1434
<b>P-208</b>	1.5	1624.6	1522
<b>P-217</b>	1.1	1429.2	1339
<b>P-206</b>	1.4	1621.7	1519

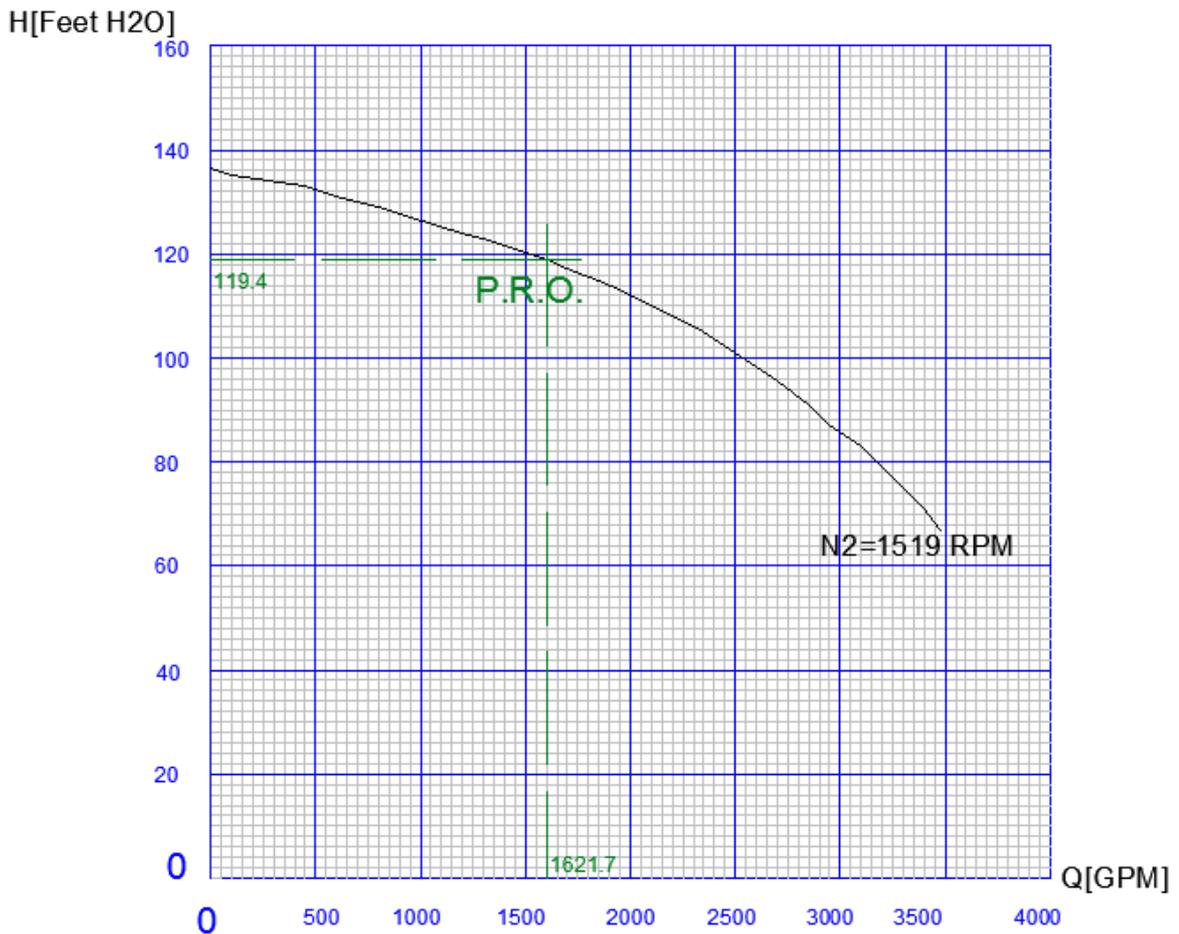
### **3.4.5 Curvas características reales**

Para el dibujo de las curvas reales de desempeño de las bombas es considerado el Punto de Real de Operación (P.R.O.) que se detalla en la sección 3.4.2 para cada bomba, punto al cual se proyecta la curva desde el punto de mayor eficiencia (B.E.P.) proporcionado por el fabricante. La necesidad de proyectar la curva nació por las limitaciones que tiene el sistema para poder medir, controlar el caudal de descarga en porcentaje y medir la velocidad angular la cual gira el eje principal de la bomba.

El método de representación de las curvas utilizado también se justifica ya que el diámetro del impulsor no ha sido cambiado y lo que varía son únicamente las revoluciones a la que está girando el motor, además que la aplicación de métodos como el de extrapolación no es posible ya que solo se tiene los datos de partida de una condición de trabajo.

Hay que señalar que los datos con los que se trabaja para esquematizar las curvas son reales e intrínsecamente están tomadas en cuenta las pérdidas por el diseño hidráulico y las pérdidas por fricción.

A continuación se presentan las curvas de desempeño real de cada bomba Booster:



**Figura N 3.10** Curva Real de la Bomba Booster P - 206

**Condiciones de trabajo real del motor:**

**Amperaje:** 84 A

**Velocidad Angular:** 1519 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

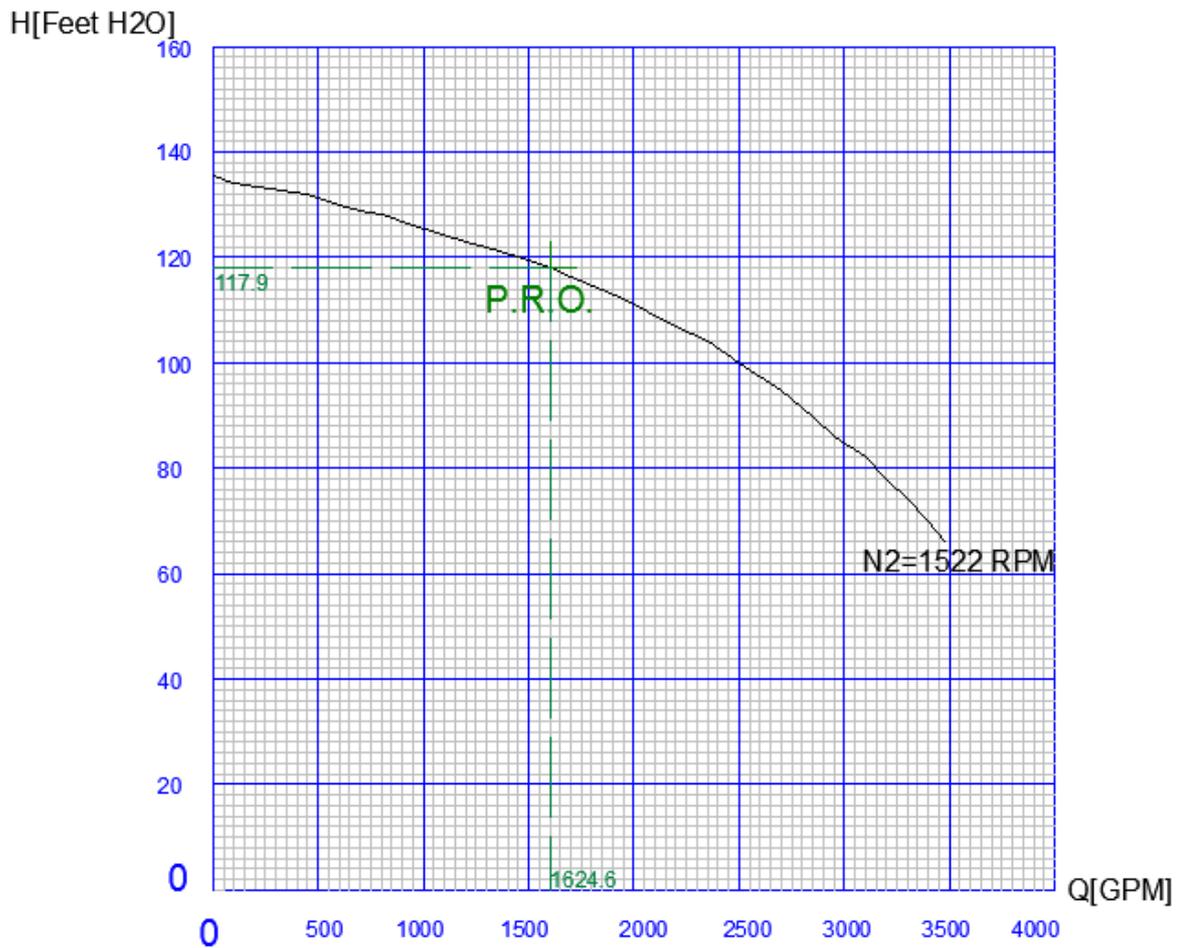
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 1.4 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 1621.7 [GPM]

**TDH:** 119.4 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-206 se encuentra trabajando en un 69.5% de eficiencia con respecto a la curva de eficiencia emitida por el fabricante.



**Figura 3.11** Curva Real de la Bomba Booster P - 208

**Condiciones de trabajo real del motor:**

**Amperaje:** 82 A

**Velocidad Angular:** 1522 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

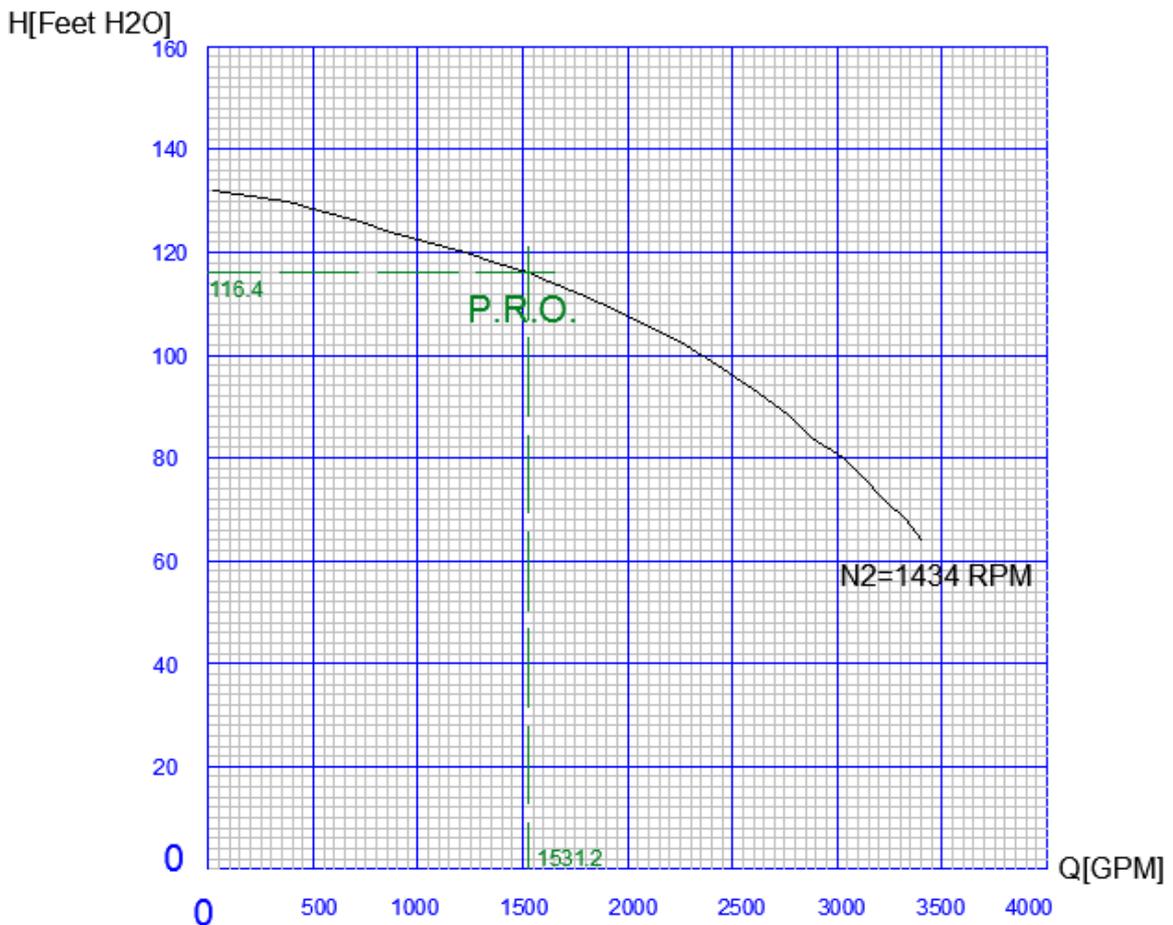
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 1.5 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 1624.6 [GPM]

**TDH:** 117.9 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-208 se encuentra trabajando en un 69% de eficiencia con respecto a la curva de eficiencia emitida por el fabricante.



**Figura 3.12** Curva Real de la Bomba Booster P - 209

**Condiciones de trabajo real del motor:**

**Amperaje:** 81 A

**Velocidad Angular:** 1434 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

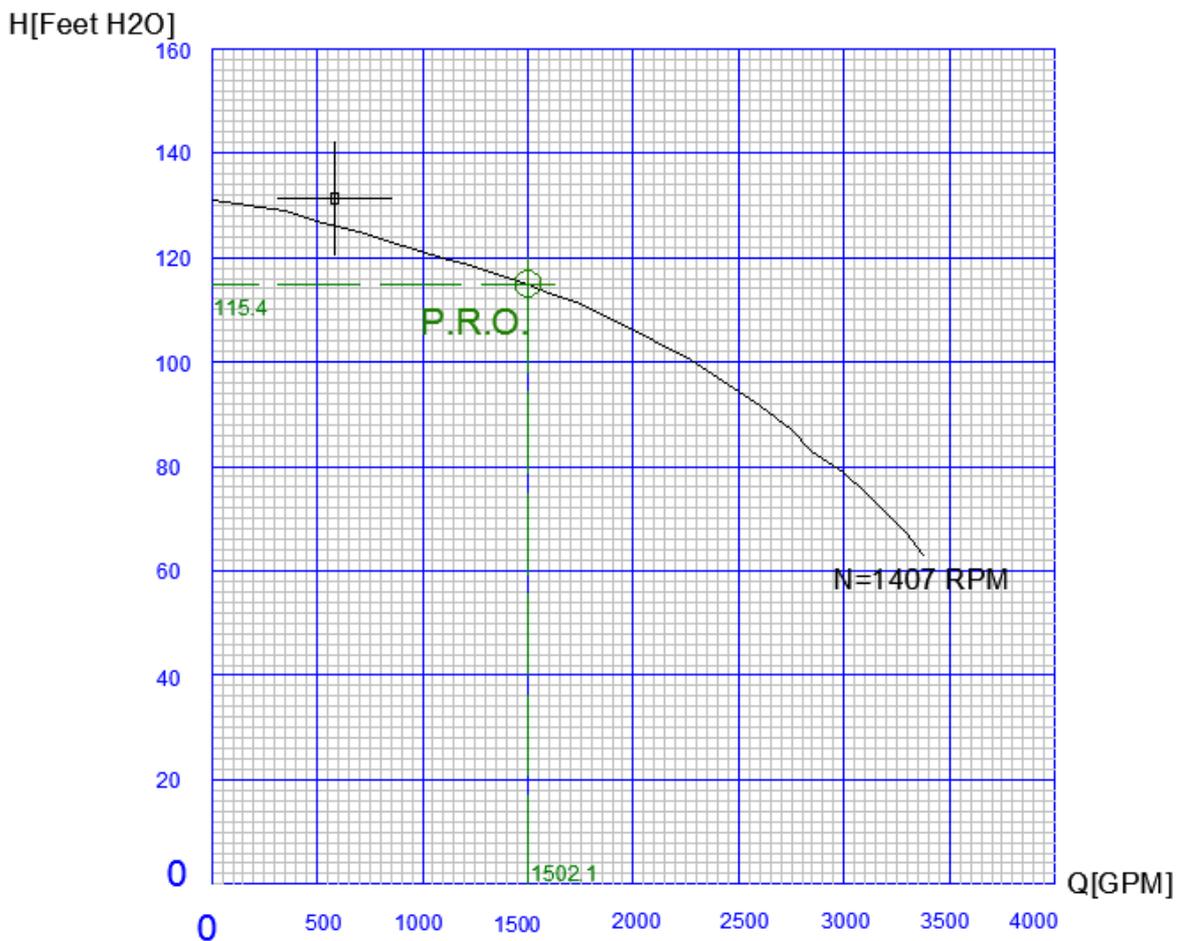
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 1.3 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 1531.2 [GPM]

**TDH:** 116.4 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-209 se encuentra trabajando en un 68.5 % de eficiencia con respecto a la curva de eficiencia emitida por el fabricante.



**Figura 3.13** Curva Real de la Bomba Booster P - 210

**Condiciones de trabajo real del motor:**

**Amperaje:** 76 A

**Velocidad Angular:** 1407 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

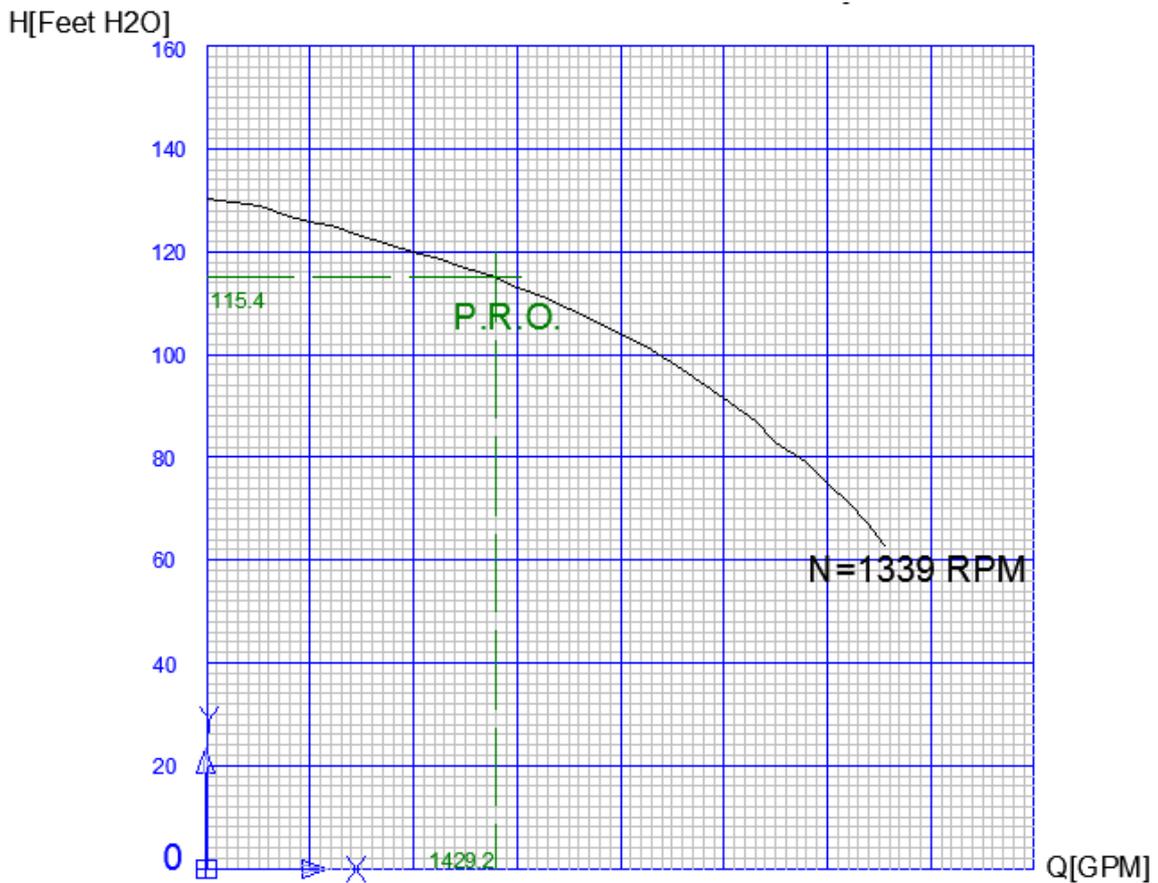
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 1.25 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 1502.1 [GPM]

**TDH:** 115.4 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-210 se encuentra trabajando en un 68% de eficiencia con respecto a la curva de eficiencia emitida por el fabricante.



**Figura 3.14** Curva Real de la Bomba Booster P - 217

**Condiciones de trabajo real del motor:**

**Amperaje:** 82 A

**Velocidad Angular:** 1339 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 1.1 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 1429.2 [GPM]

**TDH:** 115.4 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-217 se encuentra trabajando en un 67.5 % de eficiencia con respecto a la curva de eficiencia emitida por el fabricante.

### **3.4.6 Problemas frecuentes**

El sistema de bombas Booster al tener un sistema de recirculación automático utilizado para protección de baja presión en la succión, además de estar sobre dimensionado no presenta generalmente problemas de consideración grave. El departamento de mantenimiento mecánico de EPF procura erradicar los mantenimientos correctivos aplicando métodos y acciones preventivas como análisis de vibraciones, análisis de puntos calientes con cámaras termograficas.

En general los modos de falla que se presentan son los siguientes:

- Vibraciones fuera de los rangos normales debido a desgastes internos como por ejemplo el desgaste de rodamientos donde se aloja el eje principal
- Desalineamiento del eje principal
- Cavitación debida a taponamiento del estrainer

### **3.4.7 Soluciones implementadas a problemas frecuentes.**

Se realiza un ensayo y análisis de vibraciones con una frecuencia de 20 días con el equipo AZIMA-DLI y el software Experta Alert que proporciona resultados que son reflejados en acciones de mantenimiento ingresadas al software especializado "MAXIMO" el cual genera un plan programado de mantenimiento.

Las acciones que son generadas por los análisis de mantenimiento y que además son realizadas son las siguientes:

- Medición del juego axial y radial de los ejes principales de las bombas (Ver figura 3.15) paralelamente a esto es necesario el cambio del sello mecánico debido a que el desmontaje provoca desalineamiento en las caras del mismo, de tal manera es necesario que se lo lleve a reparar para que ocupe el puesto de auxiliar y sea ocupado cuando sea necesario.



**Figura 3.15** Sello Mecánico y Procedimiento de medición del juego radial

- Lubricación en elementos móviles de la bomba
- Limpieza del Estrainer

### 3.4.8 Valoración técnica del sistema de bombas Booster

El sistema al contar con ocho bombas tiene una capacidad nominal de bombeo de 15400 GPM. En la actualidad se tiene tres bombas como auxiliares en caso de que una de ellas entre en proceso de mantenimiento se pone en línea una auxiliar de tal manera que se cuenta con una capacidad nominal de 9600 GPM.

Se puede observar en la sección 3.4.1 la curva de desempeño individual de las bombas Booster y comparando el punto real de trabajo con el punto de mejor eficiencia recomendado por el fabricante se tiene la siguiente desviación en porcentaje para cada bomba:

**Tabla 3.11** Punto de operación de las bombas Booster y desviación del BEP

<b>Bomba</b>	<b>Q (GPM)</b>	<b>Desviación %</b>
<b>P-210</b>	1502.1	20.94
<b>P-209</b>	1531.2	19.41
<b>P-208</b>	1624.6	14.49
<b>P-217</b>	1429.2	24.78
<b>P-206</b>	1621.7	14.65

Como se observa en la tabla 3.11 la desviación en dos bombas sobrepasa el 20 % esto nos indica que se encuentran trabajando en rangos fuera de lo recomendado, pero al determinar que las velocidades angulares a las cuales están girando son menores en todos los casos que la nominal que son 1780 RPM no se tiene problemas con las subidas de amperajes en los motores. Se puede concluir que con el programa y acciones de mantenimiento que se está realizando además de las condiciones actuales y los objetivos de reinyección diarios que se tiene en la actualidad, se encuentra trabajando en un 80 % de su capacidad comparada con el valor nominal de caudal de las cinco bombas que trabajan normalmente y a un 50 % de la capacidad del sistema con 8 bombas.

Hay que señalar que en el momento que aumenten la producción de agua de formación se tiene a disposición las tres bombas auxiliares aptas para trabajar y aumentar la capacidad de bombeo del sistema de bombas Booster.

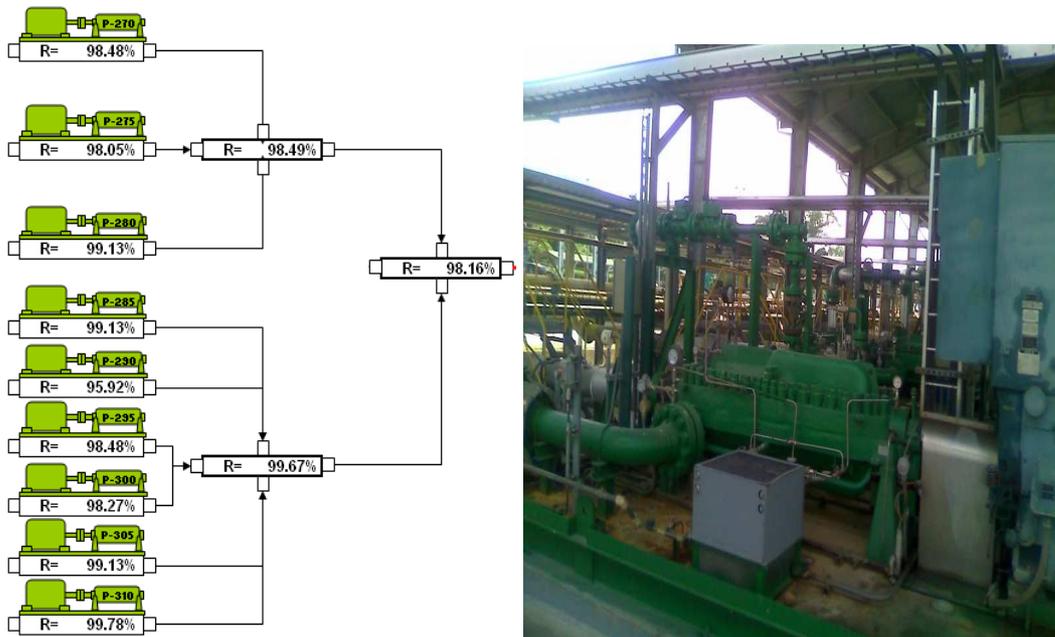
### **3.5 Estudio de las bombas tipo Disposal**

El sistema de bombas Disposal también llamado “Sistema de inyección” cumple la misión de elevar la presión del agua de formación desde 50 PSI hasta una presión de 2600 PSI para poder inyectar el agua sin problema en los pozos de reinyección ubicados en el Pad B.

El presente sistema cuenta con nueve bombas Centrífugas horizontales las cuales se encuentran en operación constante, se debe señalar que se denomina bomba al conjunto formado por una bomba centrífuga horizontal multietapa y a un motor eléctrico horizontal el cual impulsa al eje de la bomba.

El cabezal de succión de la tubería es común para todas las bombas del sistema y el cabezal de descarga está seccionado en dos cabezales el primero trabaja con tres bombas y el segundo con seis bombas.

El sistema de bombas Disposal se encuentra dispuesto como se indica en la figura 3.16.



**Figura 3.16** Diagrama del sistema de bombas Disposal y la confiabilidad del sistema y bomba P-280

### 3.5.1 Características técnicas y rangos de trabajos ideales

El sistema de Reinyección cuenta con las bombas P-270, P275, P-280, P-285, P-290, P-295, P-300, P-305, P-310. El fabricante recomienda rangos y condiciones de trabajo para que su tiempo de vida útil no se vea afectado.

A continuación se presentan las características y condiciones de trabajo recomendadas por el fabricante. Ver figura 3.17.

**Tabla 3.12** Características técnicas y rangos de trabajo ideales de las bombas Disposal

<b>Tamaño</b>	6x8x12
<b>Capacidad</b>	1000 GPM
<b>Cabeza</b>	5954 feet H <sub>2</sub> O
<b>Velocidad Angular</b>	3560 RPM
<b>Temperatura</b>	180 °F
<b>Marca</b>	Sulzer Pumps
<b>Número de Etapas</b>	12



Figura 3.17 Placa de una bomba Disposal

El motor que impulsa a la bomba tiene las características detalladas en la tabla 3.13, recopiladas de la placa del motor como se observa en la figura 3.18.

Tabla 3.13 Características del motor eléctrico que impulsa a las bombas Disposal

Potencia	2000 HP
Velocidad angular	3580 RPM
Voltaje	4000 Volts
Amperaje	245 A
Número de Fases	3
Marca	Reliance Electric

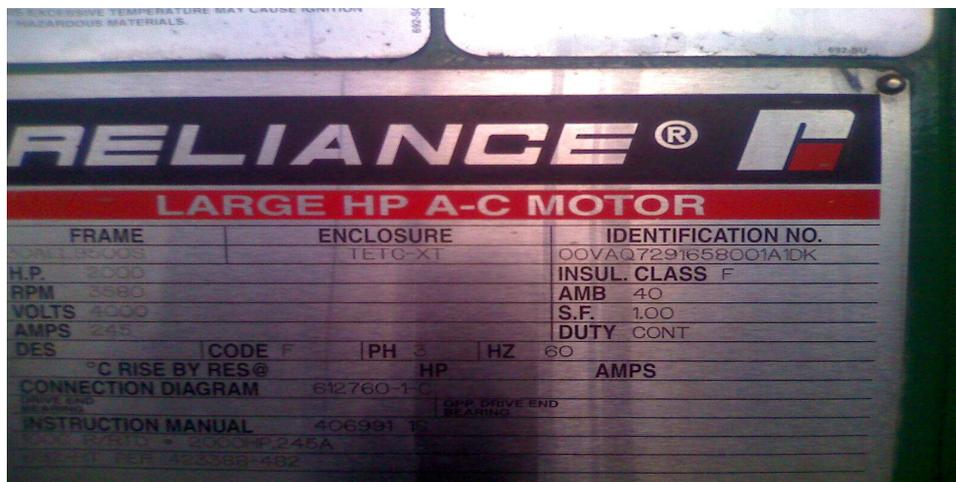
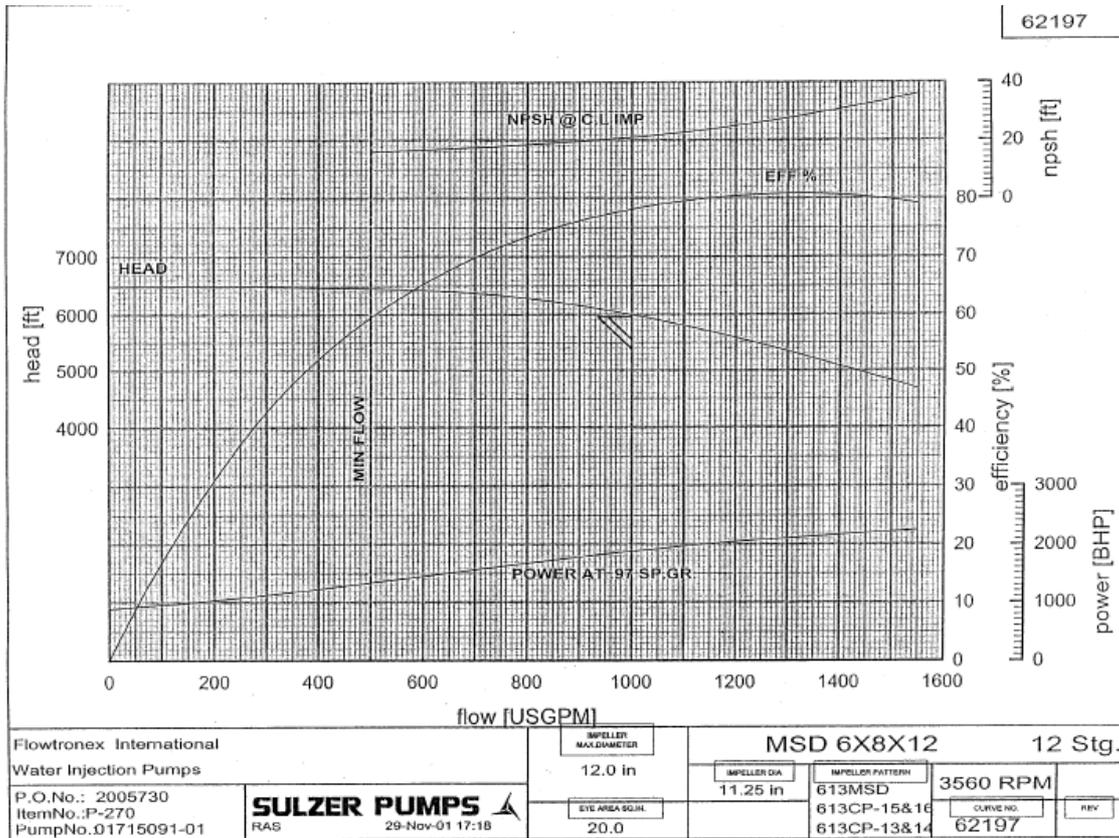


Figura 3.18 Placa de un motor eléctrico

**Curvas Características y resultados de pruebas de desempeño emitidas por el fabricante.**



**CERTIFIED TEST PERFORMANCE**



PUMP SIZE & TYPE		STG	CUSTOMER								PUMP TESTED			
MSD 6X8X12		12	Flowtronex International								01715091-01			
PURCHASE ORDER NO.:		2005730		CUSTOMER ITEM NO.:						P-270				
FIELD	SPEED	T.D.H.	FLOW	EFF	SP GR	AREA	DISCH ID	SUCT ID	TEST BY	DATE	START	STOP		
1	3560	5954.0	1000.0	78.0	0.970	20.0 sq.in	5.189 in	7.981 in	BV/CS	28-Nov-01	9:30AM	11:30AM		
CONDITIONS		RPM	ft	USGPM	%	TEST MOTOR: HM-29-3600								
STG	IMPELLER PATTERN			VANES	IMP MAX DIA	* IMP TEST DIA								
1	613MSD			5	12.0 in	11.38 in								
2-10	613CP-15&16			5	12.0 in	11.38 in								
11-12	613CP-13&14			5	12.0 in	11.38 in		* TRIM AFTER TEST TO 11.25" DIA						
POINT NO.	SPEED rpm	CAPACITY		Hv	DISCH	SUCT	T.D.H	POWER		* AT FIELD SPEED/SP.GR.				
		A5 6in VENTURI lb./sq.in	USGPM					MOTOR IN BHP	PUMP IN BHP	PUMP EFF %	FLOW USGPM	T.D.H. ft	POWER BHP	H2O Temp. °F
1	3594	0.00	0.00	0.00	2988.6	46.3	6796.7	1085.3	978.0	0.0	0.0	6488.0	887.1	73.6
2	3593	0.86	502.7	0.74	2971.2	42.5	6758.9	1557.5	1463.5	58.7	491.2	6455.7	1325.6	55.3
3	3588	1.93	759.7	1.70	2910.4	42.9	6620.2	1874.7	1774.1	71.6	743.4	6340.0	1613.8	58.6
4	3585	3.41	1008.9	2.99	2757.4	43.0	6269.5	2156.9	2047.7	78.0	988.3	6015.7	1868.5	61.4
5	3583	8.33	1579.0	7.32	2151.0	44.6	4875.3	2580.4	2455.9	79.1	1547.6	4683.3	2247.1	70.9
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12	BEARING TEMPS DEGREE F.													
13	FLOW	502.7	759.7	1008.9	1579.0									
14	D.E Bearing	119.0	129.0	135.0	139.0									
15	T.E Bearing	142.0	152.0	158.0	161.0									

SULZER PUMPS US  
PORTLAND OREGON  
DATED: 28-Nov-2001  
SEE CURVE: 62197  
PAGE 1 OF 3

CERTIFIED BY: *Ralph Start*

### 3.5.2 Presión real de entrada y salida

Los datos presentados a continuación mediante la tabla 3.14 son tomados del Plan de Desgaste de las bombas de reinyección realizado por el departamento de Mantenimiento predictivo. (Ver anexo 6)

**Tabla 3.14** Presión en la succión y descarga de las bombas Disposal

	Psucción		Pdescarga	
	[PSI]	[FEET H2O]	[PSI]	[FEET H2O]
<b>P-270</b>	50.00	119	2650.00	6309.5
<b>P-275</b>	52.00	123.8	2650.00	6309.5
<b>P280</b>	52.00	123.8	2500.00	5952.4
<b>P-285</b>	51.00	121.4	2600.00	6190.5
<b>P-290</b>	52.00	123.8	2500.00	5952.4
<b>P-295</b>	52.00	123.8	2700.00	6428.6
<b>P-300</b>	52.00	123.8	2600.00	6190.5
<b>P-305</b>	48.00	114.3	2600.00	6190.5
<b>P-310</b>	52.00	123.8	2600.00	6190.5

### 3.5.3 Caudal de entrada y salida

Los datos presentados a continuación, mediante la tabla 3.15, son tomados del Plan de Desgaste de las bombas de reinyección realizado por el departamento de Mantenimiento predictivo ya que se en campo y en el sistema SCADA HMI no se cuenta con un medidor de flujo a la descarga de las bombas de tal manera que los datos obtenidos en el estudio fueron por medio de medidores ultrasónicos de caudal. (Ver Anexo 6)

**Tabla 3.15** Caudal de entrega de las bombas Disposal

	Q descarga	
	[BPD]	[GPM]
<b>P-270</b>	20800.00	606.7
<b>P-275</b>	23900.00	697.7
<b>P280</b>	24700.00	720.4
<b>P-285</b>	32650.00	952.3
<b>P-290</b>	33900.00	988.7
<b>P-295</b>	33800.00	985.8
<b>P-300</b>	25850.00	753.9
<b>P-305</b>	31600.00	921.7
<b>P-310</b>	34700.00	1012.1

### 3.5.4 Características reales de trabajo

El sistema opera con un diseño hidráulico adaptado a las condiciones que se han venido presentando por el aumento de producción paulatino de agua de formación de tal manera que el sistema originalmente empezó con un determinado número de bombas menor al actual ya que se a implementado bombas al mismo diseño hidráulico inicial de tal manera que en la actualidad de acuerdo a las condiciones en las que opera el sistema de bombas Disposal se tiene los siguientes puntos de operación individual:

**Tabla 3.16** Diferencial de presión y caudal de entrega de las bombas Disposal

	<b>TDH</b>	<b>Q</b>
	<b>[FEET H<sub>2</sub>O]</b>	<b>[GPM]</b>
<b>P-270</b>	6190.5	606.7
<b>P-275</b>	6185.7	697.7
<b>P280</b>	5828.6	720.4
<b>P-285</b>	6069.1	952.3
<b>P-290</b>	5828.6	988.7
<b>P-295</b>	6304.8	985.8
<b>P-300</b>	6066.7	753.9
<b>P-305</b>	6076.2	921.7
<b>P-310</b>	6066.7	1012.1

#### **Velocidad Angular:**

El sistema no cuenta con un medidor de velocidad de tal manera como recomienda el manual de la Marca Sulzer Pump en la sección 2.2.2.4 calcular las características por medio de datos emitidos por el fabricante por medios las leyes de afinidad.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de velocidad angular para una bomba Disposal, y en la tabla 3.17 se presenta NPSH requerido, caudal de entrega y velocidad angular del eje principal de las bombas Disposal.

## Leyes de Afinidad aplicadas a bombas Disposal

### Datos definido por el fabricante

$$N1 := 3560 \text{ RPM}$$

$$NPSH1 := 22 \text{ Feet H}_2\text{O}$$

### Características de Operación Real

$$N2 := \frac{N1 \cdot Q2}{Q1} = 2.16 \times 10^3 \text{ RPM} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$NPSH2 := \frac{NPSH1}{\left(\frac{N1}{N2}\right)^2} = 8.098 \text{ Feet H}_2\text{O} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

### Porcentaje de diferencia entre el caudal nominal y el caudal real de operación

$$\text{Porcentaje} := \frac{Q1 - Q2}{Q1} \cdot 100 = 39.33 \text{ \%} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

**Tabla 3.17** NPSH requerido, caudal de entrega y velocidad angular del eje principal de las bombas Disposal

#### Resumen de Resultados

Bomba	NPSH2	Q2	N2
	[FEET H <sub>2</sub> O]	[GPM]	[RPM]
<b>P-270</b>	8.1	606.7	2160
<b>P-275</b>	10.7	697.7	2484
<b>P280</b>	11.4	720.4	2565
<b>P-285</b>	19.9	952.3	3390
<b>P-290</b>	21.5	988.7	3520
<b>P-295</b>	21.4	985.8	3509
<b>P-300</b>	12.5	753.9	2684
<b>P-305</b>	18.7	921.7	3281
<b>P-310</b>	22.5	1012.1	3603

### 3.5.4.1 Curvas características reales

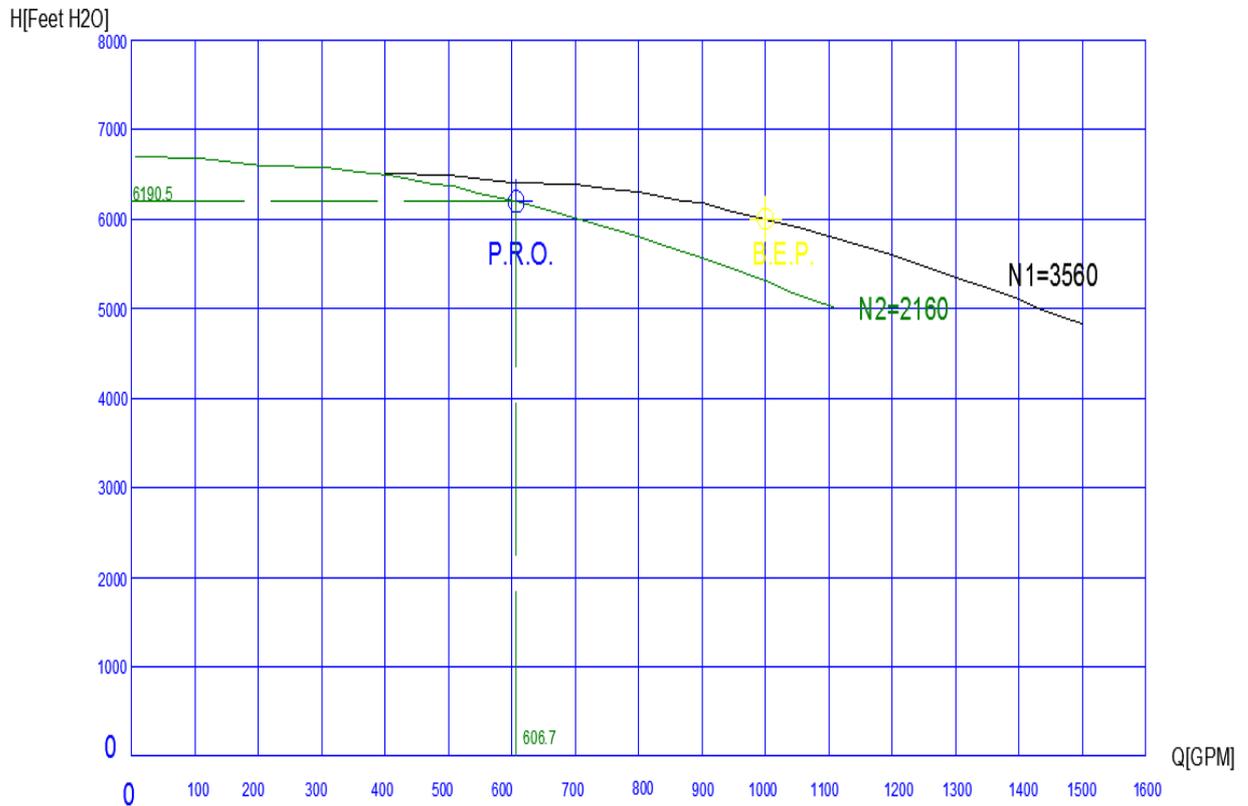


Figura 3.19 Curva de Desempeño de la P - 270

#### Condiciones de trabajo del motor eléctrico:

**Amperaje:** 224 A

**Velocidad Angular:** 2160 [RPM]

#### Condiciones de Trabajo Real de la bomba:

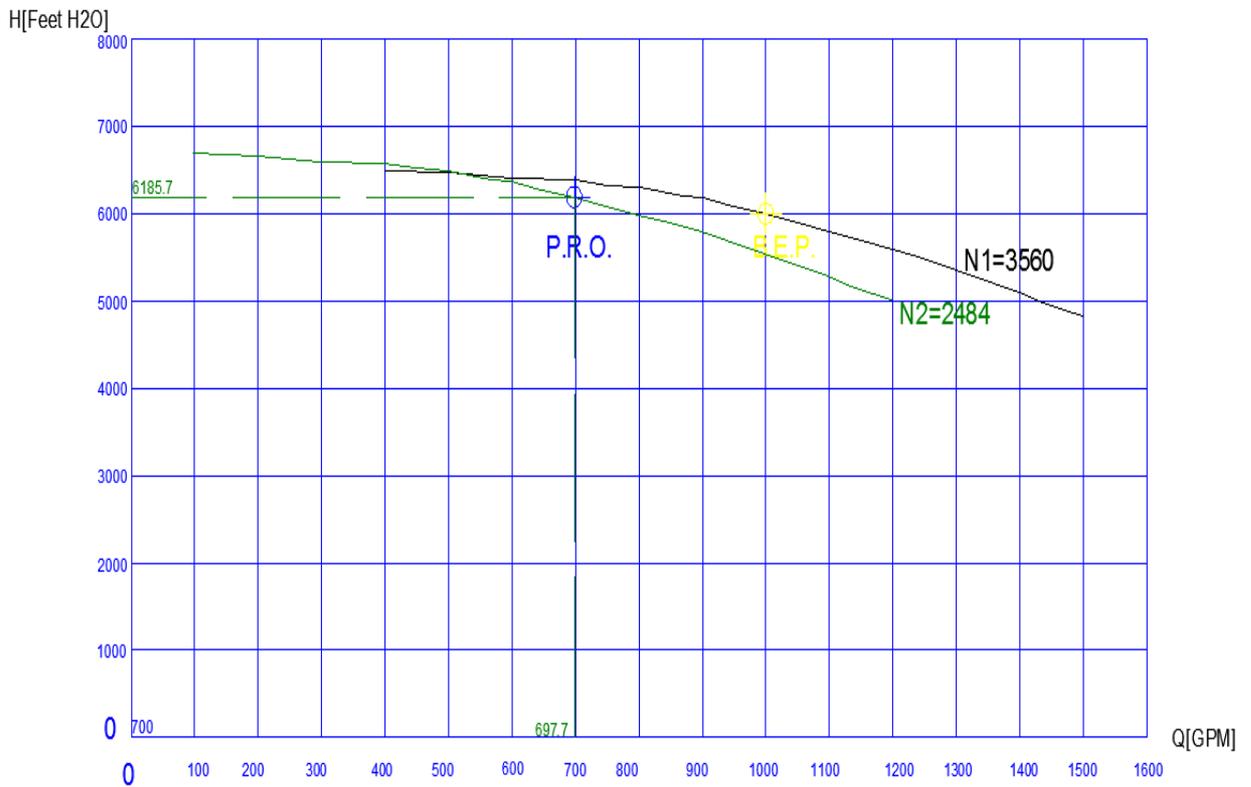
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 8.1 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 606.7 [GPM]

**TDH:** 6190.5 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-270 se encuentra trabajando en un 39.33% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.20** Curva de Desempeño de la P - 275

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 220 A

**Velocidad Angular:** 2484 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

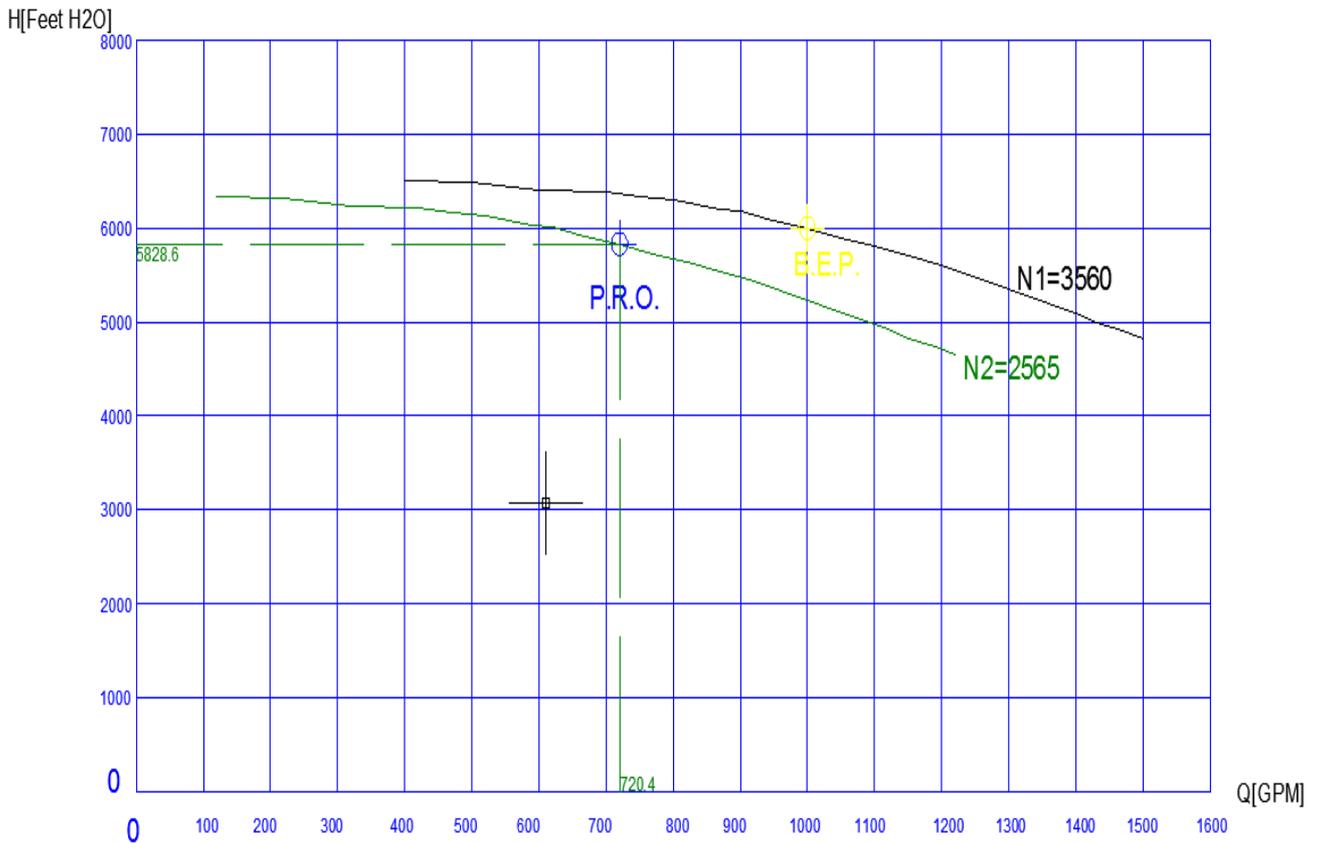
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 10.7 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 697.7 [GPM]

**TDH:** 6185.7 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-275 se encuentra trabajando en un 30.23% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.21** Curva de Desempeño de la P - 280

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 230 A

**Velocidad Angular:** 2565 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

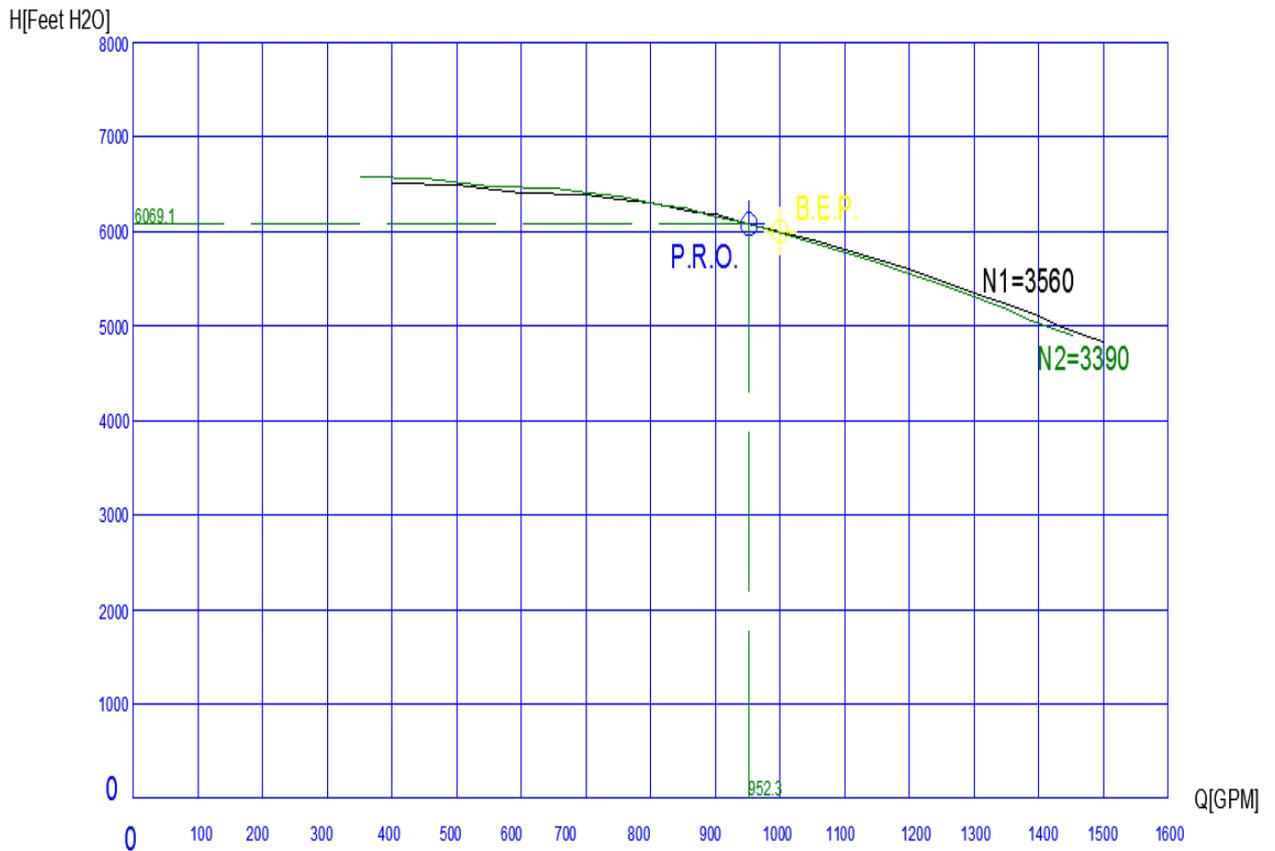
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 11.41 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 720.4 [GPM]

**TDH:** 5828.6 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-280 se encuentra trabajando en un 27.96% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.22** Curva de Desempeño de la P - 285

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 230 A

**Velocidad Angular:** 3390 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

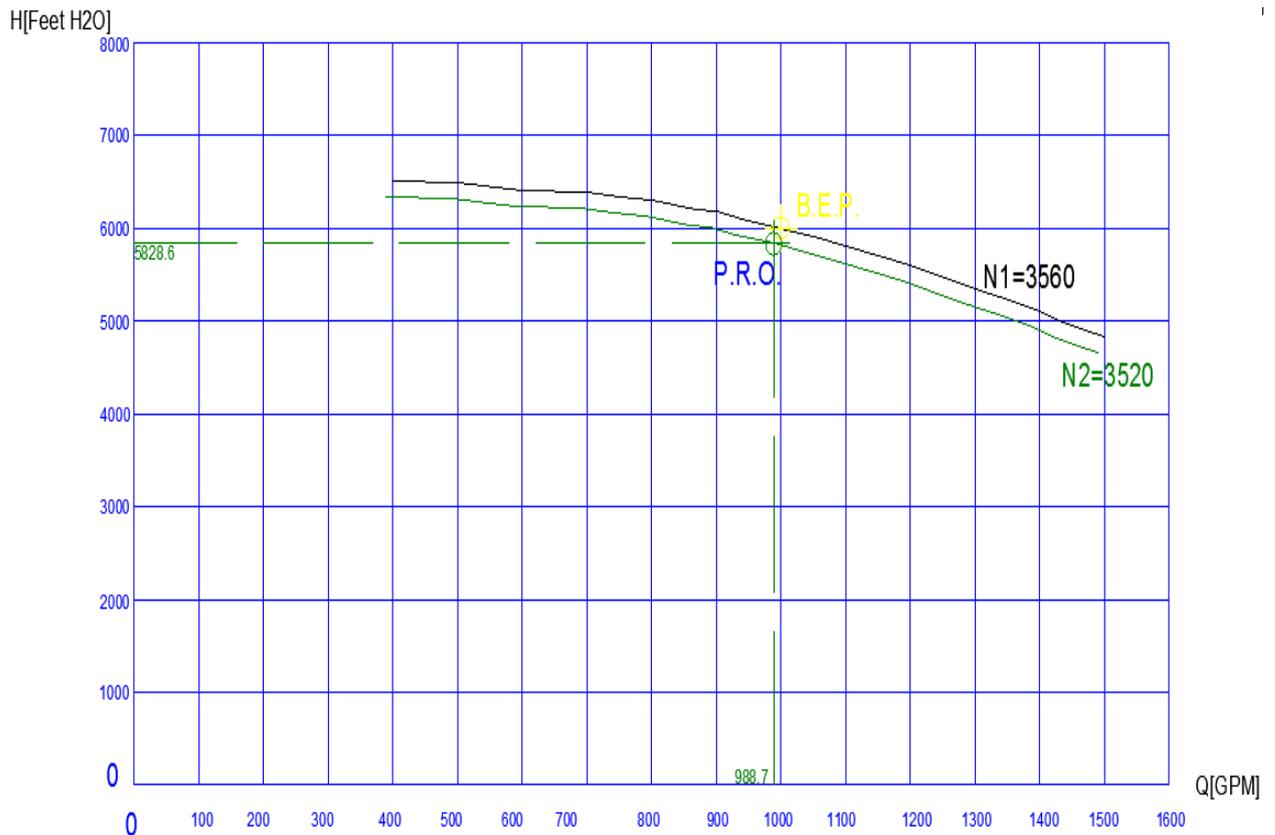
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 20 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 952.3 [GPM]

**TDH:** 6069.1 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-290 se encuentra trabajando en un 1.13% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.23** Curva de Desempeño de la P - 290

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 230 A

**Velocidad Angular:** 3520 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

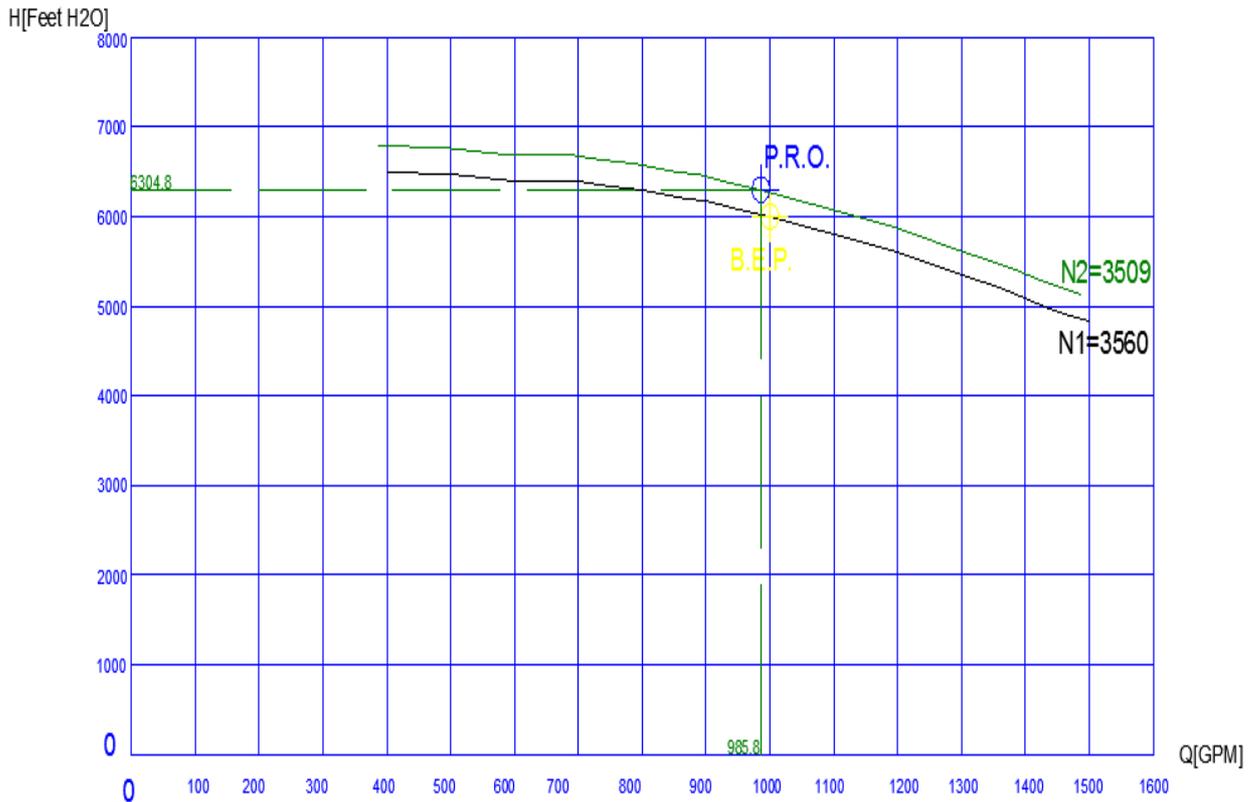
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 21.5 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 988.7 [GPM]

**Presión:** 5828.6 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-290 se encuentra trabajando en un 1.13% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.24** Curva de Desempeño de la P - 295

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 231 A

**Velocidad Angular:** 3509 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

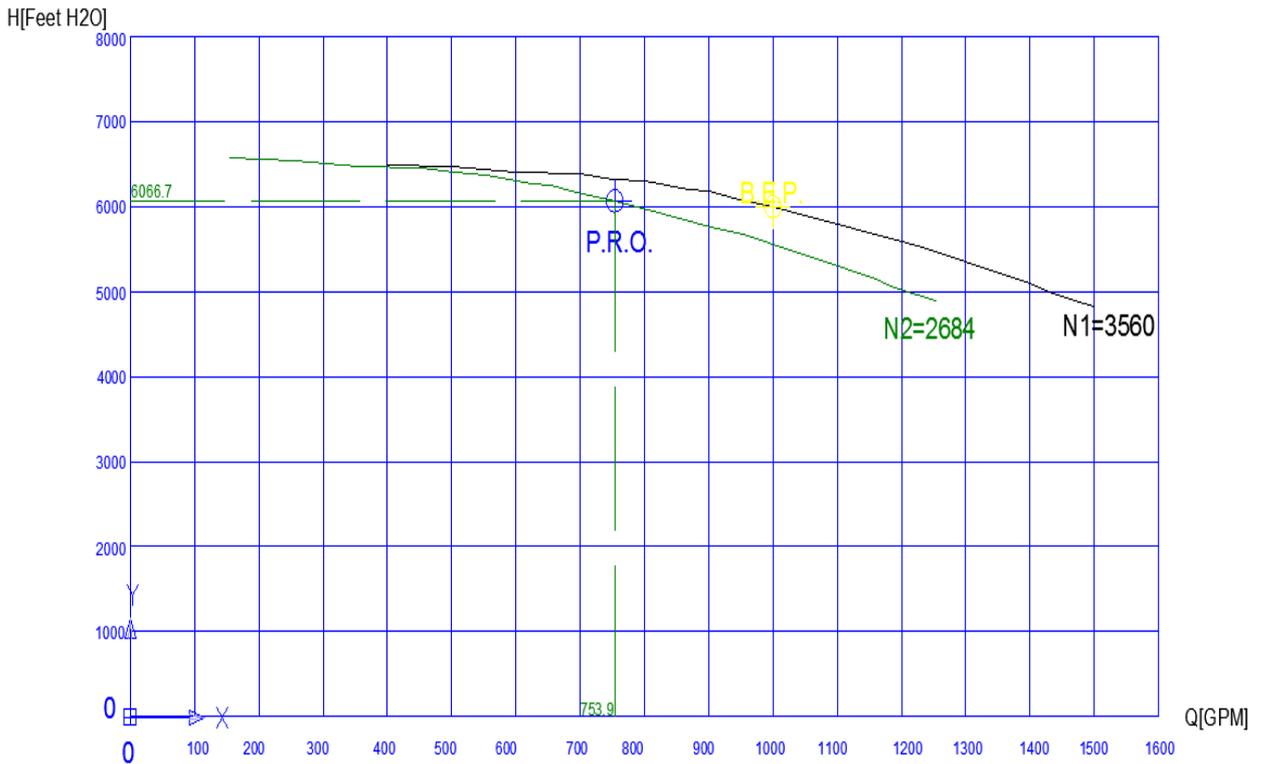
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 21.4 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 985.8 [GPM]

**TDH:** 5304.8 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-295 se encuentra trabajando en un 1.42% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.25** Curva de Desempeño de la P - 300

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 223 A

**Velocidad Angular:** 2684 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

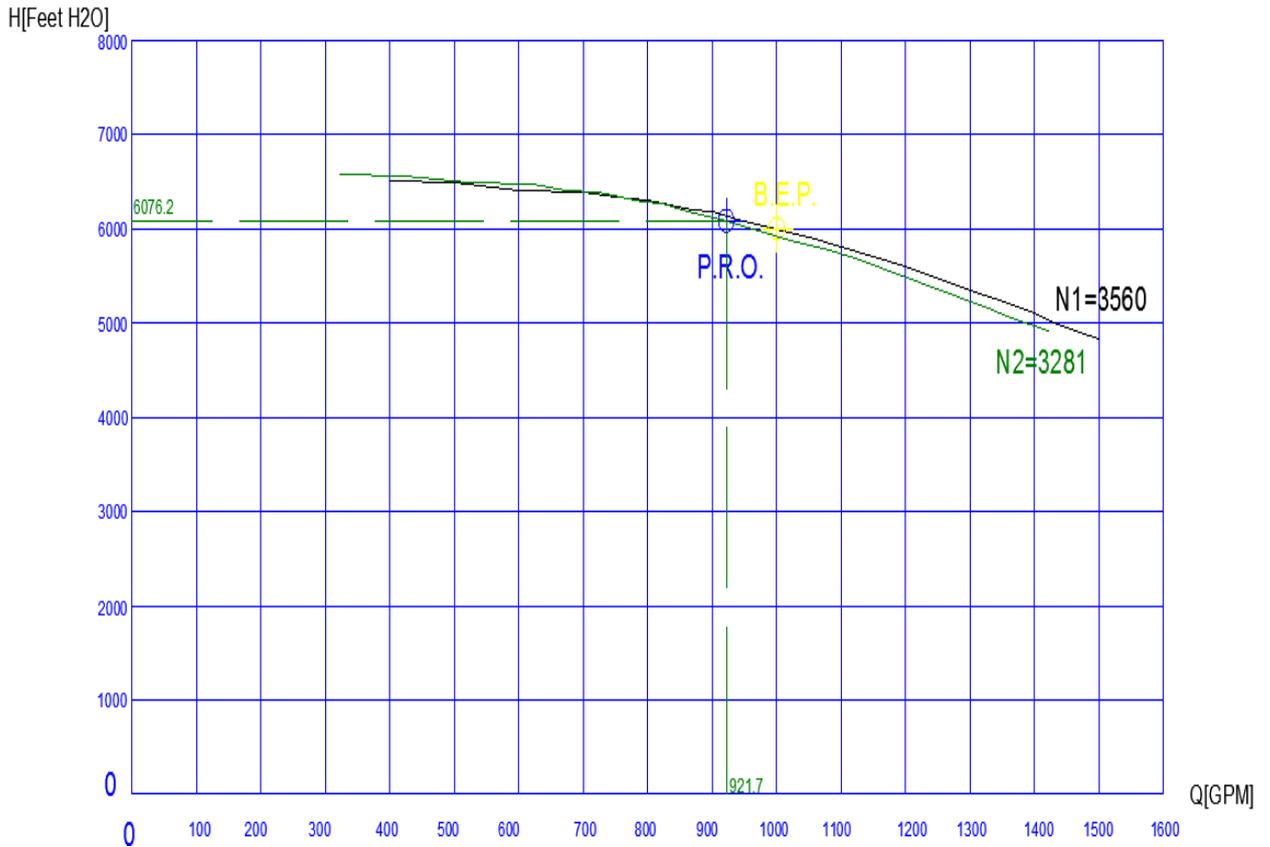
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 12.5 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 753.9 [GPM]

**TDH:** 6066.7 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-300 se encuentra trabajando en un 24.6% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.26** Curva de Desempeño de la P - 305

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 230 A

**Velocidad Angular:** 3281 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

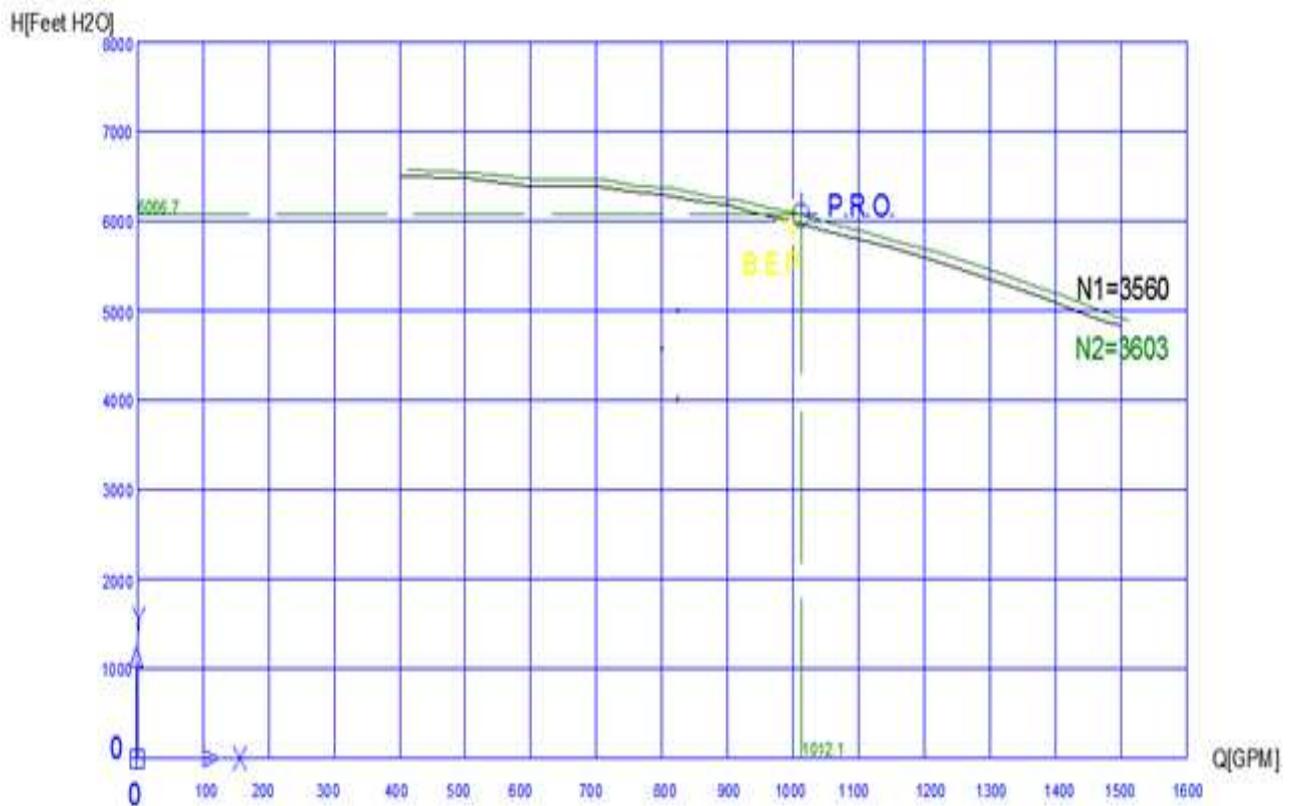
**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 18.7 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 921.7 [GPM]

**TDH:** 6076.2 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-305 se encuentra trabajando en un 7.83% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.



**Figura 3.27** Curva de Desempeño de la P - 310

**Condiciones de trabajo del motor eléctrico:**

**Amperaje:** 232 A

**Velocidad Angular:** 3603 [RPM]

**Condiciones de Trabajo Real de la bomba:**

**Punto de Operación Real (P.R.O.)**

**NPSH requerido:** 22.5 [Feet H<sub>2</sub>O]

**Caudal:** 1012.1 [GPM]

**TDH:** 6066.7 [Feet H<sub>2</sub>O]

La bomba P-310 se encuentra trabajando en un 1.21% de diferencia con el Punto óptimo de trabajo recomendado por el fabricante.

### **3.5.5 Problemas frecuentes**

Los modos de falla que se presentan son los siguientes:

- Vibraciones fuera de los rangos normales debido a desgastes internos como por ejemplo el desgaste de rodamientos donde se aloja el eje principal.
- Desalineamiento del eje principal
- Cavitación debida a taponamiento del estrainer
- Fugas en los sellos mecánicos del lado acople y lado libre
- Fugas en la línea de recirculación
- Alta Temperatura en los bobinados del motor
- Elevación del amperaje en ciertas bombas

### **3.5.6 Soluciones implementadas problemas frecuentes**

El departamento de Mantenimiento mecánico posee un plan para desgastes internos en las bombas el cual cuenta con acciones predictivas que se aplican con diferente frecuencia, uno de ellos es el ensayo y análisis de vibraciones que se realiza con una frecuencia de 20 días con el equipo AZIMA-DLI y el software Experta Alert además se realiza trimestralmente evaluaciones de tendencias, datos de las bombas y desviación de trabajo con respecto al punto de mayor eficiencia (BEP). Los análisis y evaluaciones predictivas proporcionan resultados que son reflejados en acciones de mantenimiento ingresadas al software especializado "MAXIMO" el cual genera un plan programado de mantenimiento.

Las acciones que son generadas por los análisis de mantenimiento y que además son realizadas son las siguientes:

- Medición del juego axial y radial de los ejes principales de las bombas
- Cambios de sellos mecánicos del lado acople y del lado libre. Ver figura 3.28.



**Figura 3.28** Sello Mecánico y Lado Acople

- Lubricación en elementos móviles de la bomba
- Limpieza del Estrainer
- Regular el caudal de salida desde las válvulas de choque

### **3.5.7 Valoración técnica del sistema de bombas Disposal**

EL sistema cuenta con nueve bombas de esta manera se posee un capacidad nominal de reinyección de 9000 GPM. Las nueve bombas han dividido en dos grupos el primero lo conforman las bombas P-270, P-275, P-280 y el segundo las bombas P-285, P-290, P-295, P-300, P-305 y P-310, una característica relevante que posee cada grupo es el cabezal común que se tiene en la descarga y claramente se puede notar que cada bomba tiene una desviación del punto de operación real con respecto al punto de operación recomendado por el fabricante. Esto nos quiere decir que existen bombas que se encuentran realizando mas trabajo que otras esto esta determinado por la diferencia de condiciones de cada bomba que forma parte del sistema y como consecuencia de lo anteriormente dicho es la subida del amperaje en el motor eléctrico, problema que está siendo controlado por medio del porcentaje de cerrado de las válvulas de choque ya que el sistema de recirculación y las válvula FV no cumplen con su función especifica de regular el porcentaje de caudal en la tubería de descarga.

A continuación se presenta el porcentaje de desviación en porcentaje de cada bomba con respecto al punto de trabajo recomendado por el fabricante que es 1000 GPM a 3560 RPM.

**Tabla 3.18** Punto de operación y desviación del BEP de las bombas Disposal

	Q descarga	Desviación
	[GPM]	%
<b>P-270</b>	606.7	39.33
<b>P-275</b>	697.7	30.23
<b>P280</b>	720.4	27.96
<b>P-285</b>	952.3	4.77
<b>P-290</b>	988.7	1.13
<b>P-295</b>	985.8	1.42
<b>P-300</b>	753.9	24.61
<b>P-305</b>	921.7	7.83
<b>P-310</b>	1012.1	-1.21

Se determina que el sistema de bombas Disposal se encuentra trabajando a un 84 % (7639.3 GPM) de su capacidad estimada por el fabricante en el caso de que las bombas trabajen en su mejor punto de eficiencia.

La norma API 610 décima edición, la cual esta dedicada a bombas centrifugas, recomienda en la sección 5.1.14 que el punto de operación de la bomba se localice dentro de un 70% y 120 % con respecto al caudal de máximo rendimiento de la bomba, en el caso del sistema de bombas Disposal existen desviaciones mayores a las recomendadas por la norma, es el caso especifico de las bombas P-270 y P-275, sin embargo se encuentra trabajando con normalidad ya que el fabricante recomienda un mínimo caudal de 500 GPM.

### **3.6 Estudio de la tubería y accesorios**

El sistema de reinyección cuenta con tubería de diferentes diámetros, cedulas, ratas de presión y disposición estas características son definidas por la sección y las condiciones en las cuales trabaja la tubería. Para el estudio se toma en cuenta la línea principal de tubería que conduce el agua de formación desde los tanques hacia los pozos reinyectores.

### 3.6.1 Códigos de diseño

El código con el cual esta diseñada la tubería principal del sistema de reinyección es el ASME B31.3, el cual proporciona los requisitos mínimos de diseño e instalación segura para una tubería de proceso.

### 3.6.2 Integridad de la tubería

Esta sección se refiere a la condición a la que se encuentra la tubería físicamente externa e internamente.

#### 3.6.2.1 Niveles de corrosión

En la planta se realiza análisis de corrosión por medio de medición de espesores con la maquina DMS2 General Electric el cual nos proporciona la medida del espesor actual de las líneas de tubería.

El departamento de integridad mecánica ha determinado únicamente medir los espesores en las interfaces que existen a lo largo del sistema de reinyección ya que al encontrarse la tubería por debajo del suelo tiende a ser la mas propensa a corroerse. En la figura 3.19 se observa como un técnico prepara la tubería enterrada para proceder a la medición de espesores mediante el equipo de ultrasonido.



**Figura 3.29** Interfaces y equipo ultrasonido de medición de espesores

A continuación se presenta las secciones críticas de la tubería con sus valores respectivos de velocidad de corrosión.

**Tabla N°3.19** Líneas de tubería y velocidad de corrosión

Tubería	Velocidad de Corrosión
	[milésimas deplg/año]
<b>20"-PW-1185</b>	7.593
<b>20"-PW-1200</b>	7.607
<b>24"-PW-1231A-A2</b>	1.379
<b>6"-PW-1212-G</b>	1.614
<b>líneas de recolección Booster</b>	15.979
<b>16 PW-1035-G1670</b>	3.929
<b>20"-PW-1200 SALIDA</b>	3.900
<b>20"-PW-1185 SALIDA</b>	3.529

Según parámetros internos de la empresa estos valores debe encontrarse alrededor de 3 milésimas de pulgada por año de tal manera existen tuberías que tiene una velocidad mayor a la recomendada.

### **3.6.2.2 Inspección física detallada de la tubería y accesorios**

La inspección física detallada se divide en tres secciones de tubería, la primera se encuentra a partir de la salida de los tanques hasta el cabezal de descarga del sistema de bombas Booster, la segunda sección se encuentra a partir de la tubería de succión del sistema de bombas Disposal hasta las líneas de interface que se encuentran ubicadas a la entrada del PAD B y la tercera sección esta definida por la tubería de llegada al PAD B hasta la tubería de la cabeza de los pozos de reinyección durante el recorrido de las diferentes secciones se toma en cuenta los puntos o lugares donde se encuentra corroída u otro tipo de desgaste.

El recorrido por las tres secciones anteriormente mencionada tiene los siguientes resultados:

#### **Sección1:**

No se encontró ninguna marca de corrosión ni fugas a lo largo de la sección lo que si se noto es el desgaste normal de la pintura.

### Sección 2:

En el recorrido se encontró sectores pequeños en donde existe presencia de corrosión. A continuación se presenta los sectores corroídos en el exterior de la tubería.

**Tabla 3.20** Puntos críticos de corrosión

Detalle	Ubicación
	Línea de recirculación de las bombas Disposal
 6" PW- 4212-G	Cabezal de descarga de las Bombas Disposal
	Succión de la bomba P-285 del sistema de bombas Disposal

### Sección 3:

En esta sección no se encontró ninguna muestra de corrosión en el exterior de la tubería, pero si hay un desgaste de la capa de pintura exterior.

### 3.6.2.3 Clasificación de accesorios

El sistema cuenta con accesorios en una gran variedad de tamaños de tal manera que se va a detallar de una manera general los tipos de accesorios que se tiene.

**Tabla 3.21** Detalle y ubicación de accesorios de tubería

Accesorio	Detalle	Ubicación
Brida		En todas las juntas bridadas de la tubería.
Codo		Cambios de dirección de la tubería de 45°, 90° y 180°
Te		En cambios de dirección del fluido
Reducción		Cambios de diámetro de la tubería.
Cuellos o Acoples		Acoples de tubería de

Empaquetaduras		Interior de las juntas bridadas
Tornillos		En juntas bridadas y tapas de válvulas.

### 3.6.3 Valoración técnica de la tubería y accesorios

La tubería internamente en los lugares más críticos como son las interfaces, los valores de velocidad de corrosión se encuentran fuera del rango normal determinado por el departamento de Integridad Mecánica de EPF.

Externamente la tubería se presenta en su totalidad un desgaste de la capa de pintura y puntos corroídos que pueden ser tratado al no ser tan grandes (ver sección 4.4.2.2).

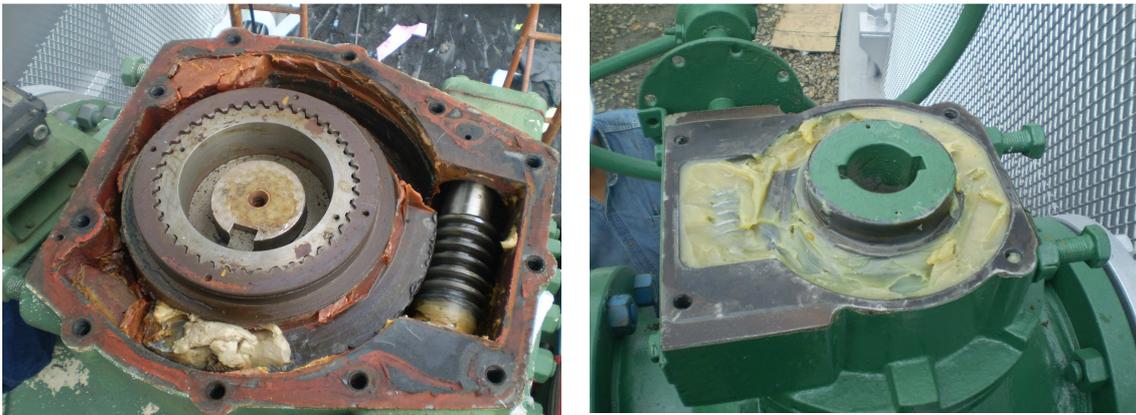
### 3.7 Estudio de las válvulas del sistema

En el sistema se encuentran diferentes tipos de válvulas, cada una de ellas tiene una función específica que desempeña de acuerdo a sus características constructivas. Este tipo de accesorios de tubería se considera como elementos de protección para las bombas además de dar facilidad para desviar o evitar el paso del fluido para un posible mantenimiento a un equipo, accesorio o sección de tubería en el cual se necesite suspender o aislar cierto sector o tramo de la tubería. Al tener una gran importancia en el sistema en un caso determinado que la válvula no selle o su accionamiento que puede ser de tipo manual o automático se encuentre averiado se procede al cambio de la válvula por una nueva o reparada del mismo tipo.

Los modos de falla que suelen presentarse en válvulas son los siguientes:

- Atascamiento ( debido a suciedad, roturas internas de sellos)
- Fugas internas
- Fugas al exterior ( fugas en los graseo o fugas en prensa estopas)
- Rotura de sellos mecánicos tipo o-ring (Dentro de las válvulas Check)

Para lo modos de fallo anteriormente mencionados se aplican diferentes tipos de acciones de mantenimiento las cuales son lubricación y cambios de sellos mecánicos de válvulas, como se ilustra en la figura 3.30.



**Figura 3.30** Lubricación de la válvula VLV-2058

### 3.7.1 Tipos de válvulas

#### Válvulas de bola



**Figura 3.31** Válvula de bola con actuador y accionamiento mecánico

**Función:**

Cierran o permiten el paso del fluido en un cien por ciento por medio de un accionamiento mecánico manual, algunas tienen actuador el cual funciona de guía ya que emite una señal al sistema scada. (Ver sección 2.5)

**Observaciones:**

La válvula VLV-261 que separa el cabezal uno y dos no sella correctamente, esto se comprobó cuando se intentó aislar el cabezal dos para el cambio de la válvula VLV-290 el 8 de mayo del 2010. Se debe realizar un mantenimiento o cambiar la válvula VLV-261 ya que al no cumplir su trabajo se tiene un solo cabezal común de descarga para las bombas que forman parte del sistema de bombas disposal.

**Válvulas antiretorno (Check)**

**Figura 3.32** Válvula Check

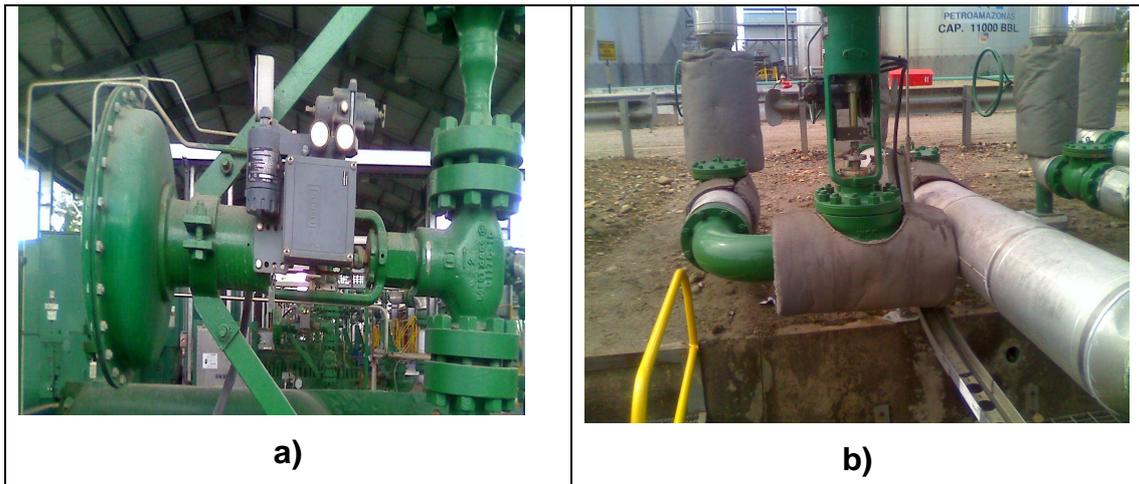
**Función:**

Evitan el retorno del fluido en el caso de que exista una contra presión en la tubería generalmente se ubican después de la descarga de una bomba. (Ver sección 2.5)

**Observaciones:**

Cuando se presenta avería alguna en este tipo de válvulas se debe realizar el cambio inmediato en la actualidad se encuentra trabajando normalmente todas.

## Válvula FV



**Figura 3.33** Válvulas FV a la descarga de las a) Bombas Disposal b) Bombas Booster

### **Función:**

Por medio de estas válvulas de control automático se despresuriza las bombas cuando la bomba se apaga por la orden del sensor PSL que esta programado para que cuando la presión a la succión de las bombas disminuya a 1 PSI en las bombas Booster o 15 PSI en las bombas Disposal. (Ver sección 2.5)

### **Observaciones:**

Las válvulas de este tipo que se encuentran en la recirculación de las bombas Booster trabajan con normalidad, lo contrario sucede con las válvulas que se encuentran en la recirculación de las bombas Disposal que debido a su mal funcionamiento algunas se encuentran suspendidas.

## Válvula de compuerta



**Figura 3.34** Conjunto de válvulas de compuerta “Árbol de navidad”

**Función:**

Cierran o permiten el paso del fluido por medio de un disco los pozos productores. Se encuentran abiertas la mayor parte del tiempo abiertas, únicamente se las cierra para mantenimiento de ellas mismas o de alguna otra sección.

**Válvulas de Choque (Aguja)**

**Figura 3.35** Válvula de choque B6 (nueva cambiada el 8 de mayo del 2010)

**Función:**

Permiten el paso del fluido de acuerdo a su porcentaje de apertura

**Observaciones:**

El control del Caudal que realiza este tipo de válvulas no es preciso y una de las funciones que desempeñan es el control del trabajo de las bombas Disposal para la cual no fueron diseñadas.

**3.7.2 Válvulas de choque**

En el sistema de reinyección las válvulas de choque son las más importantes ya que realizan dos funciones fundamentales dentro del mismo. La primera función es controlar el paso del flujo en porcentaje que se dirige a los pozos reinyectores y la segunda es controlar el amperaje de las bombas Disposal, la

ultima opción se realiza por medio de su apertura aumentamos el amperaje que es traducido en velocidad de giro del motor.

Esta válvula de aguja tiene una característica que le diferencia de las demás tipos que existen de esta misma clase la cual es en la punta del vástago se encuentra una canastilla perforada la cual permite el paso del agua de formación en el caso de que se encuentre cerrada en un cien por ciento.

### **3.7.3 Valoración técnica de las válvulas del sistema**

Con las acciones de mantenimiento que se realiza a las válvulas paulatinamente como la lubricación de mecanismos de movimiento o a su vez un cambio y reparación además con la experiencia de los operadores de planta ayudan a determinar que válvulas no se encuentran trabajando, se procede al cambio de la misma. Como un ejemplo es la válvula de choque B6 y la válvula a de bola que se encuentra en la succión de la bomba P-290 la primera presentaba una avería desde los primeros días de mayo del 2010 en el mecanismo de movimiento, la segunda no sellaba de una manera adecuada, después de determinar los fallos fueron cambiadas casi de inmediato por válvulas nuevas del mismo tipo, esta válvula al ser un elemento que forman parte del recorrido del agua de formación hacia los pozos fue necesario apagar al sistema en su totalidad y en el transcurso de este proceso se determino que las válvulas de bola que se encuentran a la descarga de las bombas Booster no sellan en un cien por ciento, a diferencia del resto de válvulas que se encuentran trabajando con normalidad.

Hay que señalar que es de vital importancia realizar el mantenimiento a la válvula VLV-261 por razones que se exponen en la sección 4.5.1.

## **3.8 Estudio de los inyectores**

Se denomina inyectores al sistema de tubería y válvulas que se encuentra en la cabeza del pozo reinyector generalmente en el mundo petrolero es conocido como “Árbol de navidad” por su disposición. El inyector esta compuesto por una válvula Win y una válvula Máster como se describe en la figura 3.36. Su función

permitir el paso del agua de formación proveniente de los cabezales uno y dos con una determinada presión hacia los posos reinyectores.



**Figura 3.36** Conjunto de válvulas de compuerta “Árbol de navidad”

### 3.8.1 Presiones de inyección

La presión que se tiene en la cabeza de los pozos son las siguientes:

**Tabla 3.22** Presiones de inyección en los pozos

Inyector	Presión	
	[PSI]	[Feet H2O]
B1	2569	6116.7
B5	2441	58192.9
B6	2441	58192.9
B7	2448	58209.5
B8	2455	5845.2
B9	2561	6097.6
B10	2579	6140.5

### 3.8.2 Valoración técnica de los inyectores

Las válvulas al no encontrarse en trabajo constate no sufre mucho desgaste y con el mantenimiento que se les proporciona cumplen su función sin

inconvenientes y en el caso de que no lo hagan se procede a un cambio inmediato de la válvula. (Ver Anexo 7)

### 3.9 Estudio de los pozos reinyectores

Los pozos que utiliza la planta para reinyectar el agua de formación proveniente de los pozos reinyectores se encuentran ubicados en el pad B el cual se encuentra dentro del EPF. Se cuenta al momento con nueve pozos dos de los cuales se encuentra fuera de funcionamiento por su bajo índices de inyección producido por el taponamiento de las arenas receptoras de tal manera que se tomara en cuenta para este estudio únicamente los pozos que se encuentran receptando el agua de formación.

El índice de inyección depende de la presión a la que llega el agua de formación y las condiciones internas del pozo ya que si sus arenas se empiezan a taponar el pozo bajara su índice.

A continuación se presentan los índices de inyección de cada pozo reinyector:

**Tabla 3.23** Índices de inyektividad y caudales máximos de recepción de los pozos

Pozo	Índice de inyección (BIs/Psi-Day)	Caudal BPD
B1	14.4	38000
B5	14	31000
B6		69000
B7	20.5	71000
B8	14	64000
B9	7	17000
B10	4	13000

Los valores presentados fueron obtenidos por medio del método de Hall Plot realizado por el departamento de operaciones de la planta y en el caso del pozo reinyector B6 se cuenta con un valor de recepción que se tiene registrado en la sala de control al no contar con un hall Plot.

Como se puede observar el índice de inyección de cada pozo representa la cantidad de barriles que puede receptor por cada libra por pulgada cuadrada de presión a la que esta sometida el agua de formación en la cabeza del pozo.

### **3.9.1 Valoración técnica de los pozos reinyectores**

En la actualidad los pozos cuentan con un caudal total de recepción de 303000 BPD de tal manera que los 260000 BPD de agua de formación que se reinyecta en los pozos es un 86 % del total que se puede inyectar en los siete pozos que se encuentran trabajando con normalidad.

## CAPÍTULO 4

### SOLUCIONES PARA EL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN

#### 4.1. Planteamiento de soluciones

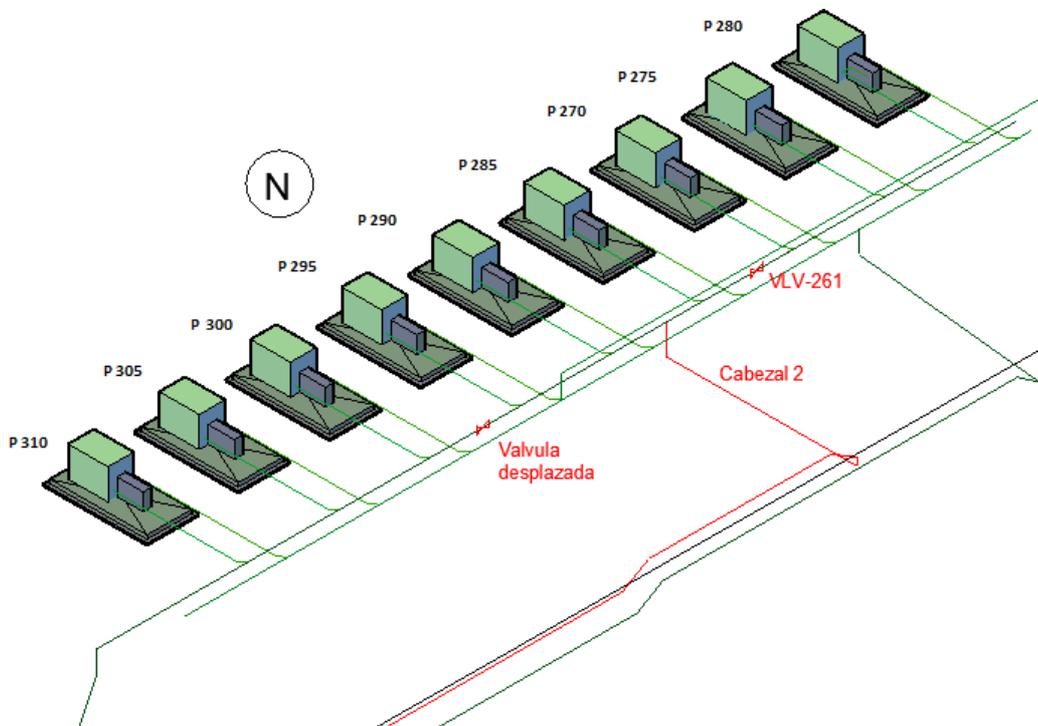
La problemática del presente proyecto presentada en la sección 1.2.1, esta se enfoca en el sistema de bombas centrífugas horizontales tipo Disposal en paralelo, el cual no se encuentra trabajando de una manera correcta ya que a lo largo del tiempo de su existencia se han implementado varios cambios para aumentar su capacidad. La situación actual del sistema se describe en el Capítulo 3, el cual presenta las condiciones y los puntos de operación en los que se encuentran trabajando las bombas centrífugas horizontales (Ver Sección 4.3.7), datos que se toman como referencia para poder plantear las soluciones que se presentan a continuación:

#### **Solución 1:**

Como antecedente fundamental para implementar la presente solución, es necesario realizar un mantenimiento adecuado a la válvula VLV-261 por razones que se indican en la sección 4.5.3, acción que es parte del trabajo del departamento de Mantenimiento Mecánico de EPF. A continuación se desplaza la válvula de bola con control manual de 16" que se encuentra ubicada en la tubería de descarga común del sistema de bombas centrífugas horizontales, junto a la conexión entre el cabezal común con la tubería de descarga de la bomba P-305 (Punto 1 de la figura 4.1), hacia la sección de tubería bridada en sus extremos que se encuentra conectada con la tubería de descarga de la bomba P-305 (Punto2 de la figura 4.1). De esta manera el cabezal de descarga común entre las nueve bombas centrífugas horizontales, se divide en tres secciones o cabezales. En la figura 4.2 se observa el punto final del desplazamiento de la válvula con respecto al sistema de bombas centrífugas horizontales (Disposal).



**Figura 4.1** Válvula de bola de 16" y puntos de desplazamiento



**Figura 4.2** Ubicación del cabezal2 el desplazamiento de válvulas (Solución1)

El cabezal número uno queda definido por la tubería de descarga común de las bombas P-280, P-275 y P-270, que dirige el agua de formación hacia los pozos B1, B9 y B10 el recorrido de la tubería se especifica en las figuras 4.3 y 4.4. Este cabezal esta definido en el sistema actual. Ver figura 4.7

El cabezal número dos queda definido por la tubería de descarga común de las bombas P-285, P-290 y P-295. Para poder conducir el agua de formación hacia los pozos reinyectores, se diseña un sistema de tubería a partir del cabezal dos hacia el pad B donde se encuentran ubicadas las válvulas de choque B-05, B-06 y los pozos de reinyección B5, B6 definidos en el sistema actual. Ver figura 4.7

Posteriormente se secciona la tubería entre la válvula de choque B-07 y B-05 , ilustrada en la figura 4.5, colocando bridas ciegas en los extremos libres, además en la figura 4.6 se ilustra en forma general el lugar del seccionamiento de la tubería antes mencionada.



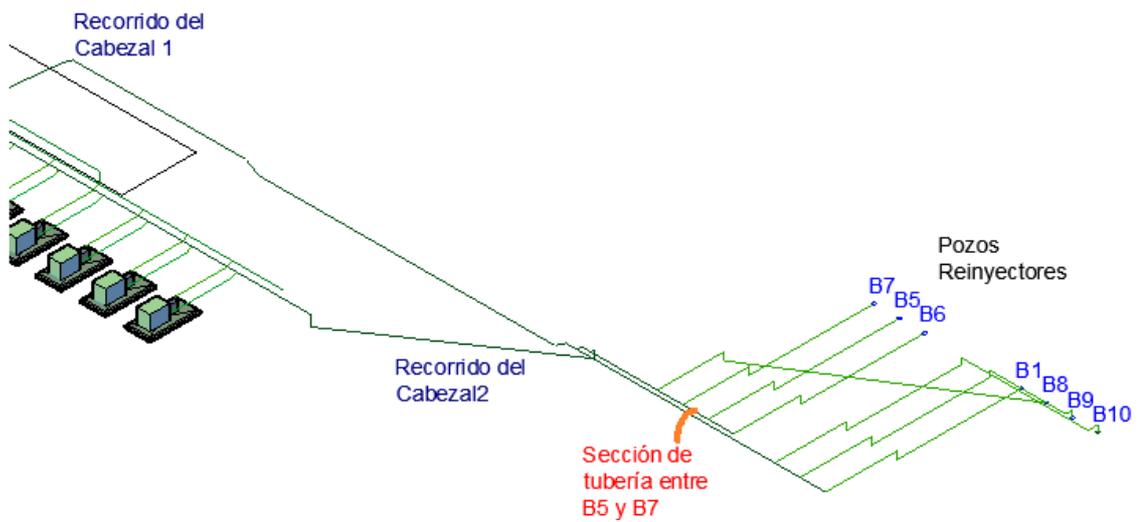
**Figura 4.3** Recorrido de la Tubería



**Figura 4.4** Recorrido de la Tubería dentro del Pad B

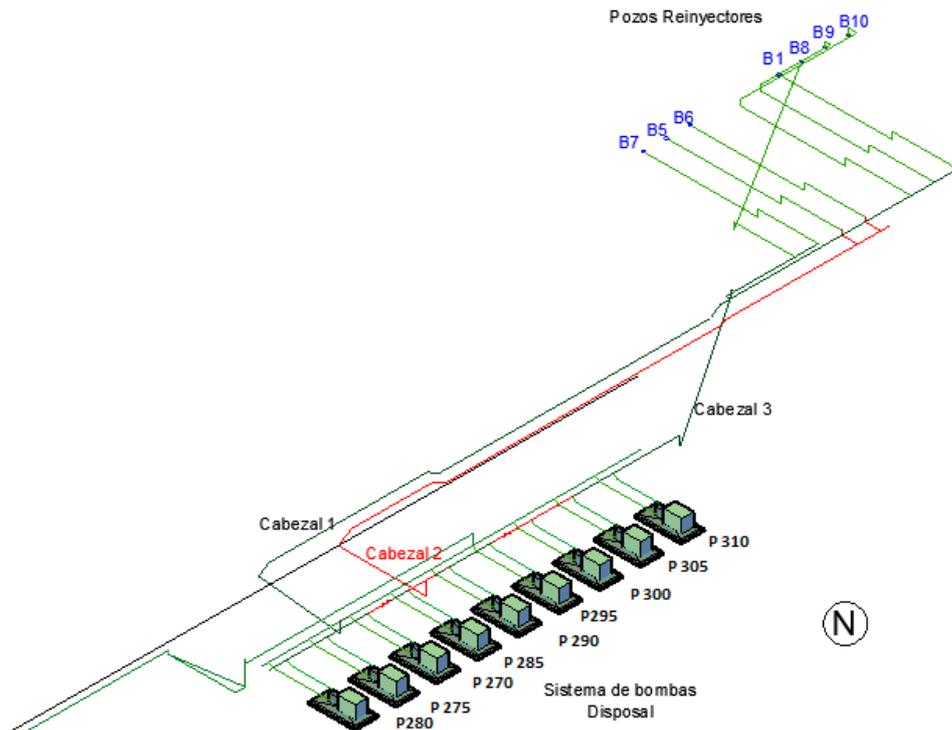


**Figura 4.5** Sección de la tubería común entre la válvula de choque B-07 y B-05



**Figura 4.6** Sección de la tubería común entre la válvula de choque B-07 y B-05 (sistema de reinyección actual)

El cabezal tres queda definido por la tubería de descarga común las bombas P-300, P-305 y P-310, este dirige el agua de formación hacia los pozos B7 y B8. La tubería que conduce el agua de formación a los pozos anteriormente mencionados esta definida en el sistema actual e ilustrada en la figura 4.7.



**Figura 4.7** Esquema general de la Solución 1

**Solución 2:**

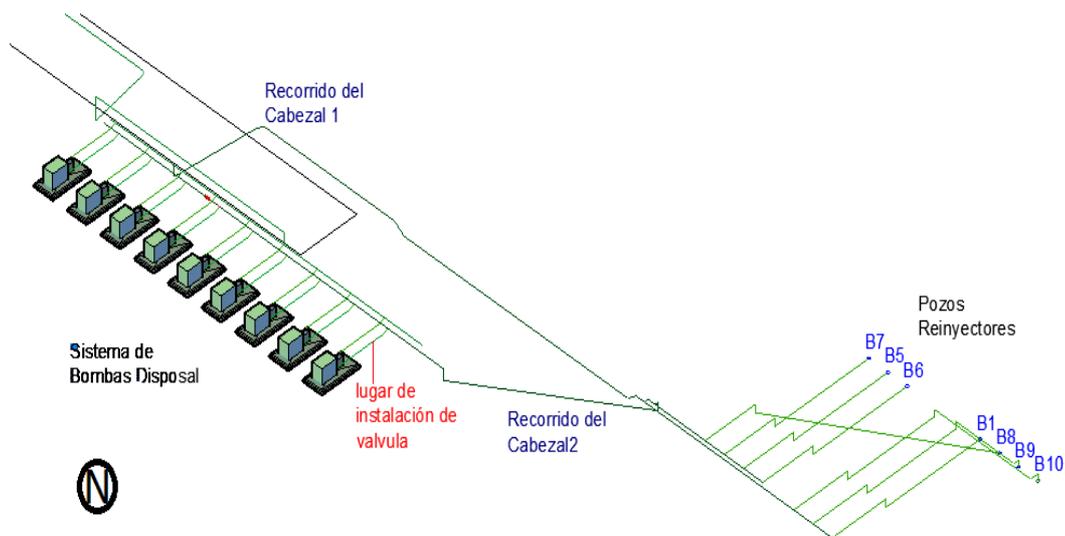
En primera instancia se debe realizar el mantenimiento de la válvula VLV-261 por razones que se indican en la sección 4.5.3, acción que es parte del trabajo del departamento de Mantenimiento Mecánico de EPF.

Esta solución se basa en el control del flujo que impulsa la bomba mediante la instalación de una válvula de control automático y manual en la tubería de descarga como se describe de forma local en la figura 4.8 y de manera general con respecto al sistema de bombas centrífugas horizontales en la figura 4.9.

Esta acción se debe llevar a cabo en las nueve bombas que componen el sistema de bombas tipo Disposal. El porcentaje de apertura de la misma dependerá de las condiciones requeridas de presión y caudal que tenga la planta y el sistema de reinyección. Además se debe instalar un medidor de flujo y presión digital que emita una señal la cual será monitoreada por los operadores de planta mediante el sistema SCADA HMI, convirtiéndose este en un instrumento fundamental de referencia para regular el paso del flujo y por consecuencia el trabajo que realiza el motor eléctrico.



**Figura 4.8** a) tubería de descarga b) Ubicación de la válvula de control c) Ubicación del medidor digital de caudal y Presión



**Figura 4.9** Esquema General de la Solución 2

## 4.2. Análisis de soluciones

Para realizar el diseño de la solución es necesario tomar en cuenta factores constructivos, físicos, económicos y operacionales, este último llega a ser el más importante por que el sistema de reinyección se puede parar durante el intervalo de tiempo que tome el agua de producción en alcanzar un nivel de 30 pies dentro de los tanques T-204 y T205.

## **4.2.1. Análisis de factibilidad**

### **Solución 1.-**

#### **Factibilidad constructiva y de montaje.-**

El diseño de tubería que se tiene desde el sistema de bombas tipo Disposal hasta los pozos reinyectores se caracteriza por contar con tramos de tubería no muy extensos con bridas en sus extremos de tal manera que es factible construir las secciones nuevas de tubería en el taller mecánico donde se tiene la capacidad de desarrollar procesos de manufactura, soldadura, corte, e instalarlos únicamente desacoplando las uniones bridadas de las actuales secciones de tubería e instalando las nuevas secciones. Por otro lado la construcción e instalación del nuevo diseño de la tubería que sale del cabezal número dos hacia el Pad B no encuentra obstrucción alguna a su paso ya que va paralela a la tubería que forma parte del primer cabezal.

#### **Factibilidad física.-**

El espacio físico que se tiene a disposición para implementar el nuevo tamaño de tubería no encuentra dificultad alguna ya que la tubería toma un recorrido por lugares que no obstruyen el paso de la misma, además se tiene la facilidad de realizar mantenimiento o ampliaciones a la tubería.

#### **Factibilidad Operacional.-**

Para el montaje y puesta en línea de la solución 1 se hace necesario avanzar por etapas, las mismas que son determinadas por el tiempo que se tiene cuando se efectúa una paralización parcial o completa del sistema. A continuación se describen en la tabla 4.1 cada una de las etapas y los tiempos con los que dispone para realizarlas.

**Tabla 4.1** Etapas de trabajo para la implementación de la solución1

<b>Etapas</b>	<b>Acción</b>	<b>Aumento de nivel por hora</b>	<b>Tiempo disponible</b>
<b>1</b>	Desplazamiento de la válvula de control manual de 16" y montaje de la nueva sección de tubería.	3' 2"	6 horas 18 minutos
<b>2</b>	Sección de la tubería común entre las válvulas B-07, B-05 instalación de bridas ciegas.	3' 2"	6 horas 18 minutos
<b>3</b>	Conexión del cabezal dos a las válvulas de choque B-06 y B-05	1' 7"	12 horas 38 minutos

## **Solución 2.-**

### **Factibilidad constructiva y de montaje.-**

La tubería de descarga de las bombas disposal se encuentra bridada en sus extremos, con esto se determina que la fabricación de los dos tramos de tubería que van acoplados en la válvula de control se debe realizar en el taller mecánico, para el montaje únicamente se desacoplaría la línea de tubería que se encuentra a continuación de la válvula de bola y se instalaría el nuevo diseño de tubería incluida la válvula de control y el medidor de flujo y de presión digital.

### **Factibilidad física.-**

El espacio que se tiene es suficiente para que se ponga en línea una válvula de control de 10" y el medidor de flujo y presión digital. La dirección que tome el cableado para la transmisión de señal hacia el sistema SCADA HMI tiene que ser analizado por los técnicos instrumentistas.

### **Factibilidad Operacional.-**

Para poder montar el nuevo diseño de tubería de descarga y la válvula de control es necesario suspender el trabajo del cabezal común de descarga número uno o dos dependiendo la ubicación de la bomba a la que se desee

realizar el montaje del diseño, además se debe desmontar el techo de la estructura que cubre a todas las bombas Disposal. El tiempo de para es esencial por el nivel de llenado máximo de los tanques y el descenso de estos ya que se demora de dos a tres días en tomar su nivel normal, y al tener nueve etapas la implementación de la solución 2 en cada una de estas se puede encontrar dificultades que posiblemente una parada de planta o del sistema de reinyección, y al ser este sumamente importante, las paradas del mismo no pueden ser en gran número y por otro lado en un corto intervalo de tiempo.

Con los antecedentes anteriormente planteados y siendo conservadores con respecto a situaciones inesperadas como por ejemplo mal funcionamiento de válvulas de aislamiento dificultan a gran escala el montaje de la Solución 2.

#### **4.2.2. Análisis costo / beneficio**

El presente análisis relaciona en forma general los costos que se presentan al aplicar individualmente soluciones planteadas en la sección 4.1 y sus respectivos beneficios.

##### **Costos de la Solucion1.-**

- Materiales: tubería, accesorios de tubería, insumos de soldadura, implementación del nuevo diseño de tubería en el sistema SCADA
- Mano de obra.
- Fabricación y acoplamiento de elementos en el taller mediante procesos de manufactura.
- Logística.

El costo de paro de la planta no se toma en cuenta ya que en las tres etapas que se tiene para el montaje del diseño repercute directamente en el nivel de los tanques de agua de formación más no en el control de los pozos productores.

### **Beneficios de la Solucion1.-**

- Estabilidad de los puntos de operación de las bombas dentro de la curva de desempeño.
- Mejora el desempeño de las bombas que forman parte del primer cabezal al tener un aislamiento adecuado con el resto de cabezales.
- Mejora el control y operación del sistema de reinyección, mediante las válvulas de choque ya que se controla en grupos de tres bombas.
- La bomba P-310 que presenta alto amperaje y no sería un freno para las cinco bombas con las que comparte actualmente el cabezal de descarga sino únicamente trabajaría junto a dos bombas que compartirían el tercer cabezal de descarga de esta manera se mejora el desempeño de las tres bombas restantes.
- Aumento de caudal y presión de reinyección.
- Reducir costos de mantenimiento.
- Menor probabilidad de fallos.
- Alarga la vida remanente de las bombas.
- Mejor Confiabilidad del sistema de bombas Disposal.
- Se puede reprogramar el sistema de segregación de carga por prioridad (load Shedding) para que se apaguen en grupos de tres bombas, dependiendo el número de generadores que necesiten ser apagados por algún inconveniente que se tenga en la planta de generación.
- Mayor capacidad de procesamiento de crudo en la planta

### **Análisis de la relación costo /beneficio de la Solución 1.-**

Claramente se puede observar que los beneficios influyen en áreas que se invierte paulatinamente para tener un óptimo funcionamiento del sistema de acuerdo a las condiciones de operación que se presentan actualmente. La principal consecuencia de implementar la solución 1 es el aumento de la capacidad de reinyección, la cual esta ligada a la capacidad de recepción de hidrocarburo desde los pozos productores, consiguiendo de esta manera aumentar la producción de crudo que es el principal objetivo y principal fuente económica de Petroamazonas.

### **Costos de la Solución2.-**

- Materiales: nueve válvulas de control automático y manual, tubería, accesorios de tubería, nueve medidores de Caudal, nueve medidores de presión, cable conductor de señal.
- Mano de obra.
- Fabricación y acoplamiento de elementos en el taller mediante procesos de manufactura.
- Implementación de las válvulas al Sistema SCADA HMI.
- Montaje y desmontaje de los tramos de tubería y de la estructura que protege al sistema de bombas Disposal.
- Logística.
- Pérdida de producción por regulación de la frecuencia de pozos productores.

### **Beneficios de la Solución2.-**

- Controlar el trabajo de la bomba P-310 y de esta manera dar oportunidad que aumenten el rendimiento las demás bombas que componen el segundo cabezal de descarga común.
- Aumento de caudal y presión de reinyección.
- Mejor Confiabilidad del sistema de bombas Disposal.
- Menor probabilidad de fallos.
- Reduce costos de mantenimiento.
- Mejora el control y operación del sistema de reinyección.
- Alargar la vida remanente de las bombas
- Mayor capacidad de procesamiento de crudo en la planta.

### **Análisis de la relación costo /beneficio de la Solución 2.-**

Los costos que influyen en la implementación de la Solución 2 son elevados ya que el diseño se aplica a nueve bombas, además cada válvula y medidor digital debe ser implementado en el sistema SCADA HMI, se necesita agregar costos de programación, instrumentación, calibración e instalación, además por la dificultad física y operativa se convierte mucho más costosa la solución. Los beneficios están ligados al aumento de la capacidad de procesamiento de

crudo, dado por el aumento de la capacidad de reinyección del sistema, además por la disminución de costos de mantenimiento.

### 4.3. Selección de la solución óptima

Las soluciones planteadas en la sección 4.1 han sido expuestas a los operadores de planta con el objetivo de encontrar más limitaciones con respecto a la parte operativa de la planta y determinar cuál de las soluciones es la que podría ser implementada en circunstancias reales.

Con esto se determina que la solución 2 es poco viable por sus limitaciones operativas además del riesgo que se corre en el montaje y puesta en línea de la válvula de control ya que se puede encontrar más problemas como por ejemplo válvulas que no sellen correctamente, cuando se necesite aislar un determinado sector del sistema de reinyección.

Los beneficios que ofrecen ambas soluciones son similares, de tal manera que si Petroamazonas implementa una de estas soluciones será beneficiado de igual manera.

A continuación en la tabla 4.2 se presenta los aspectos analizados de cada solución en secciones anteriores. La calificación que se da a cada aspecto es de 1 en el caso de que cumpla satisfactoriamente y de cero en el caso que no cumpla.

**Tabla 4.2** Tabla de calificación de la Solución 1 y Solución 2

<b>Selección de la Solución Óptima</b>		
	Solución1	Solución2
<b>FACTIBILIDAD</b>		
Constructiva y montaje	1	1
Física	1	1
Operacional	1	0
<b>COSTO/BENEFICIO</b>		
Costo	1	0
Beneficios	1	1
	5	3

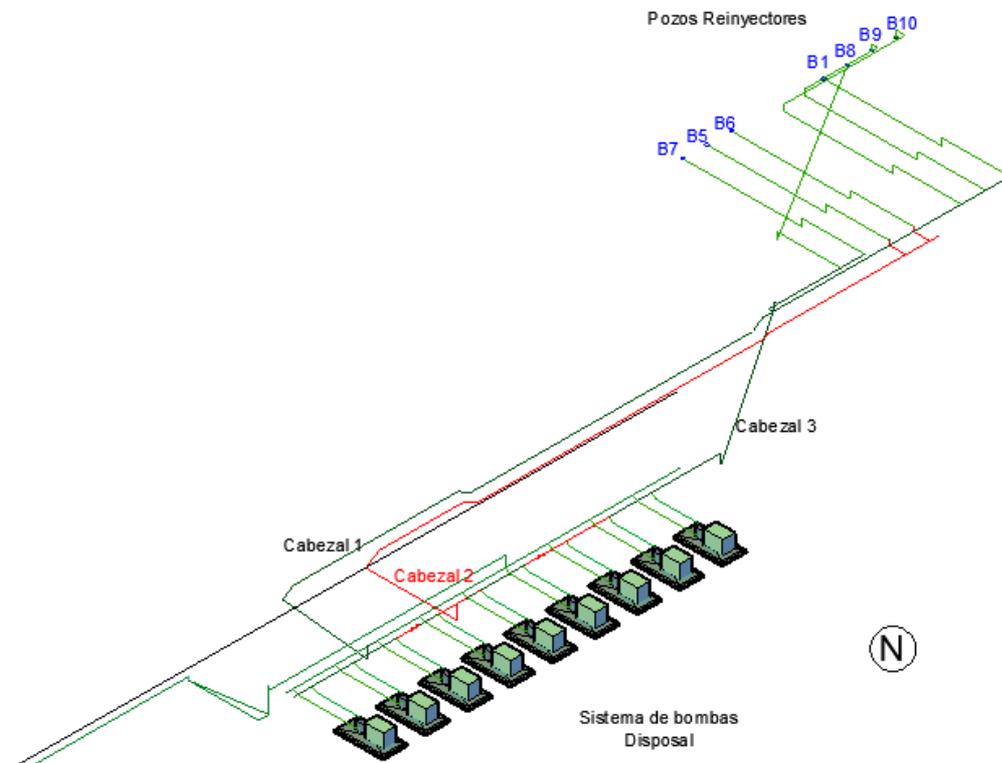
De acuerdo a la tabla 4.2 se determina que la Solución 1 alcanza un puntaje de 5 mientras la solución 2 un puntaje de 3, por tanto por características operativas adversas a la implementación de esta última la solución óptima es la Solución1.

## CAPÍTULO 5

### DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

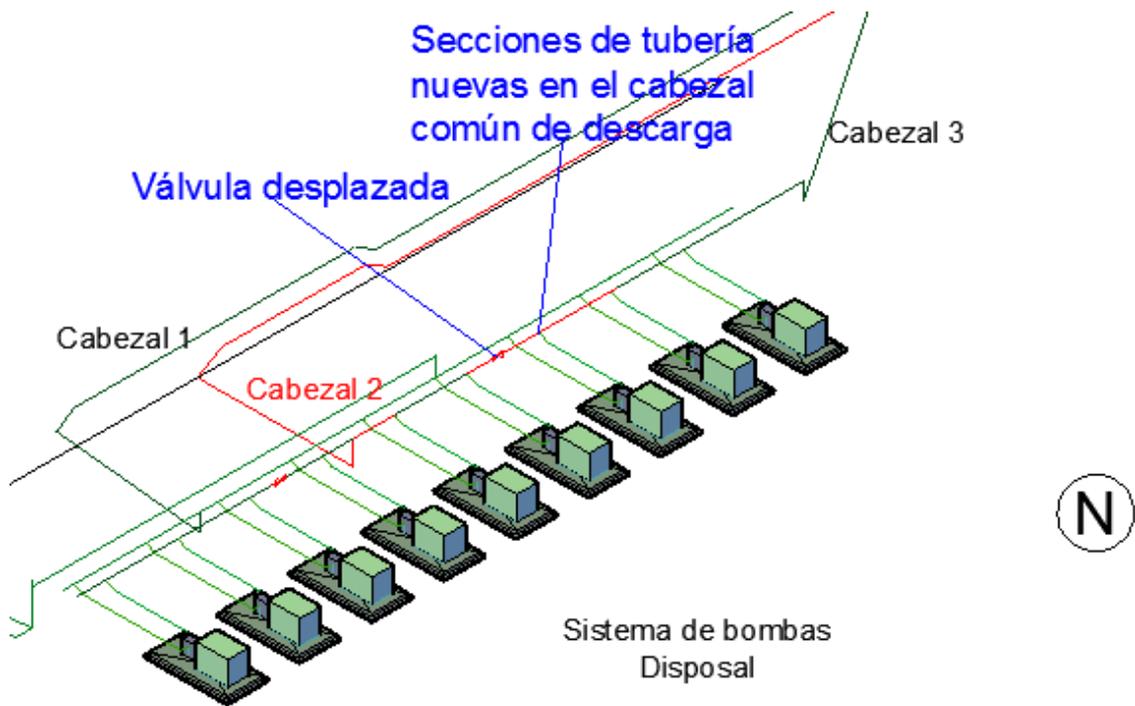
#### 5.1. Diseño

El presente Capítulo está enfocado al diseño de un nuevo tramo tubería que permite transportar el agua de formación que proporcionan las bombas P-285, P-290, P-295, hacia los pozos reinyectores respectivos ubicados en el Pad B como se ilustra en la figura 5.1. A lo largo de su recorrido toma diferentes direcciones en algunos casos por debajo del suelo y en otros por encima del mismo.



**Figura 5.1** Línea de tubería nueva (cabezal 2)

Por otra parte se diseñan secciones de tubería para poder modificar el diseño actual del cabezal común de descarga de las bombas centrífugas horizontales (Disposal) y seccionar este en tres de tal manera que la descarga sea común para cada grupo de tres bombas, como se ilustra en la figura 5.2 y además en la sección 4.1.

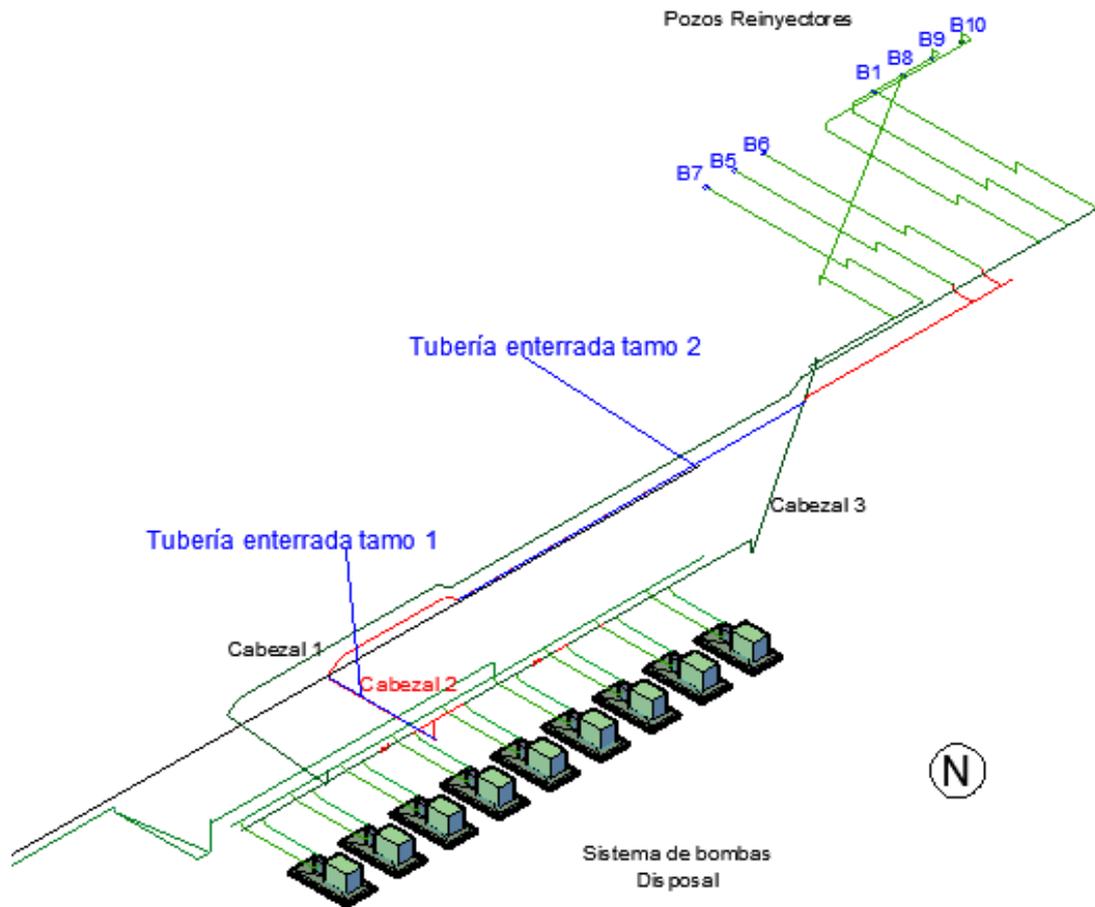


**Figura 5.2** Secciones de tubería que forman parte del diseño

En el caso de la tubería aérea se encuentra soportada por una estructura, esta debe ser diseñada para resistir cargas ejercidas por el peso propio y también para la carga que es causada por el agua de formación debido a su constante movimiento y la posible turbulencia que puede tener el fluido.

La tubería enterrada no se toma en cuenta para los cálculos formales ya que esta se encuentra cubierta por una losa de hormigón armado con una resistencia a la compresión de 50 MPa, siendo esta la que soporta la carga impuesta por la arena y la carga producida por el peso de los vehículos que transitan encima de esta. Esto se debe a que los dos tramos de tubería enterrada, cruzan por debajo de la vía de circulación vehicular dentro de la planta.

En la figura 5.3 se ilustran los tramos de tubería enterrada que no son tomados en cuenta para el diseño del nuevo tramo de tubería.



**Figura 5.3** Tramos de tubería enterrada

Además hay que señalar que los únicos esfuerzos a los que están sometidas las secciones enterradas, son longitudinales causados por la presión interna del fluido, estos que se tiene en todo el recorrido, pero de igual forma no es necesario el cálculo ya que la presión y la sección es uniforme a lo largo del recorrido de la tubería y se diseña para las condiciones más críticas, que es el caso de la tubería aérea que tiene una combinación de esfuerzos longitudinales y de flexión.

### 5.1.1. Cálculo del diseño

## CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERÍA

### LÍNEA 16-PW-G (Cabezal)

**Datos:**

**Material:** ASTM A-106 Gr B

**Código:** ASME B31.3, Edición 2002  
Sección 304

**Presión de Diseño (P).-**

$$P := 3170 \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

**Esfuerzo Máximo Permissible (S).-**

$$S := 20000 \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

**Temperatura de Diseño (T).-**

$$T := 400 \text{ (F)}$$

**Factor de junta (E).-**

$$E := 1.0$$

**Factor de Corrección (Y).-**

$$Y := 0.4$$

**Tolerancia de Fabricación (Tf).-**

$$Tf := 0.125 \%$$

**Corrosión Permissible (C).-**

$$C := 0.118 \text{ (plg)}$$

**Diámetro de tubería (D).-**

$$D := 16 \text{ (plg)}$$

**Fluido:** Agua de formación (Fluido de servicio normal)

**Condicional inicial:**

$$\frac{P}{S \cdot E} < 0.385$$

$$\frac{P}{S \cdot E} = 0.159$$

Es menor que 0.385 se continúa con el cálculo

**Cálculo del espesor de tubería (t).-**

$$t := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)}$$

$$t = 1.192 \text{ (plg)}$$

**Cálculo del espesor mínimo requerido (tm).-**

$$Tm := t + C$$

$$Tm = 1.31 \text{ (plg)}$$

## Cálculo del espesor nominal (Tn).-

$$T_n := T_m + T_f \cdot T_m$$

$$T_n = 1.474 \quad (\text{plg})$$

## Elección del espesor de tubería Comercial y Comparación con el Piping Class

Como  $1.474 < (16/6)$  según las especificaciones del Pressure Vessel handbook de Eugene Megyesy 12va edición, el espesor de tubería más próximo al calculado es el de la cédula SCH160 teniendo un espesor 1.594 pulgadas siendo este el mismo comparado con el espesor recomendado en el piping class de Petroamazonas

## LÍNEA 10"-PW-G (Ramal)

### Datos:

**Material:** ASTM A-106 Gr B

**Código:** ASME B31.3, Edición 2002  
Sección 304

### Presión de Diseño (P).-

$$P := 3170 \quad \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

### Esfuerzo Máximo Permissible (P).-

$$S := 20000 \quad \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

### Temperatura de Diseño (T).-

$$T := 400 \quad (\text{F})$$

### Factor de junta (E).-

$$E := 1.0$$

### Factor de Corrección (Y).-

$$Y := 0.4$$

### Tolerancia de Fabricación (Tf).-

$$T_f := 0.125 \quad \%$$

### Corrosión Permissible (C).-

$$C := 0.118 \quad (\text{plg})$$

### Diámetro de tubería (D).-

$$D := 10.75 \quad (\text{plg})$$

**Fluido:** Agua de formación (Fluido de servicio normal)

### Condición inicial.-

$$\frac{P}{S \cdot E} < 0.385$$

$$\frac{P}{S \cdot E} = 0.159$$

Es menor que 0.385 se continúa con el cálculo

### **Cálculo del espesor de tubería (t).-**

$$t := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)} \quad \text{plg}$$

### **Cálculo del espesor mínimo requerido (Tm).-**

$$T_m = 0.919 \quad (\text{plg})$$

### **Cálculo del espesor nominal (Tn).-**

$$T_n := T_m + T_f \cdot T_m$$

$$T_n = 1.034 \quad (\text{plg})$$

### **Elección del espesor de tubería Comercial y Comparación con el Piping Class**

Como  $1.034 < (10.75/6)$ , según las especificaciones del Pressure Vessel handbook de Eugene Megyesy 12va edición, el espesor de tubería más próximo al calculado es el de la cédula SCH160 teniendo un espesor 1.125 pulgadas siendo este el mismo comparado con el espesor recomendado en el piping class de Petroamazonas.

## Línea de tubería 16"-PW-AEREA-G (2 Apoyos)

### Condiciones de diseño.-

#### Código de diseño:

ASME B 31.3 Edición 2002

#### Presión de diseño (P).-

$$P := 3170 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{ASME B16.5 Clase 1500lb}$$

#### Temperatura de diseño (T).-

$$T := 400 \quad (\text{F}) \quad \text{ANSI B16.5 Clase 1500lb}$$

### Características de la tubería.-

#### Material:

ASTM A106 GR B

#### Diámetro externo (D)

$$D := 16 \text{ (plg)}$$

#### Diámetro interno (d)

$$d := 12.814 \text{ (plg)}$$

#### Espesor de tubería (t)

$$t := 1.593 \text{ (plg)}$$

### Propiedades físicas de la tubería

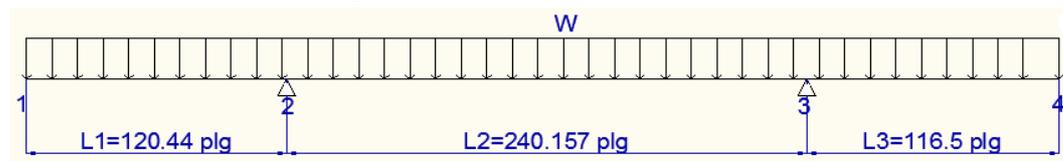
#### Modulo de sección de la Tubería (Z).-

$$Z := \frac{0.098(D^4 - d^4)}{D} = 236.271 \quad (\text{plg}^4)$$

#### Inercia de la Sección de tubería (I).-

$$I := 0.049(D^4 - d^4) = 1.89 \times 10^3 \quad (\text{plg}^4)$$

### Cálculo de fuerzas y momentos.-



#### Cargas consideradas:

#### Peso de la tubería (w).-

$$w := 20 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

Porcentaje de consideración de cargas de accesorios y ocasionales (20%)

$$f1 := 0.2$$

$$w1 := w + f1 \cdot w = 24 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

$$L2 := 240.157 \quad (\text{plg})$$

### **Momento Resultante de Flexión (Mb).-**

$$Mb := \frac{w1 \cdot L2^2}{8} = 1.73 \times 10^5 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

Singer Tabla 6.2 viga simplemente apoyada

### **Momento Torsional (Mt).-**

$$Mt := 0 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

## **Esfuerzos en la tubería**

### **ASME B 31.3 Edición 2002. Flexibilidad de la tubería Sección 319**

### **Factores de intensificación de esfuerzos.-**

$$i := 1.2 \quad \text{Apéndice D tabla D-300 brida soldada}$$

### **Esfuerzos Equivalentes (SE).-**

#### **Esfuerzo de flexión resultante (Sb).-**

$$Sb := \frac{i \cdot Mb}{Z} = 878.786 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

#### **Esfuerzo Torsional (St).-**

$$St := \frac{Mt}{2 \cdot Z} = 0 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$SE := \sqrt{Sb^2 + 4 \cdot St^2} = 878.786 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

## Esfuerzos Permisibles (SA).-

**Esfuerzo básico permisible del material de la tubería a la temperatura ambiente (Sc).-**

$$S_c := 20000 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Tabla -A1, ASME B31.3}$$

**Esfuerzo básico permisible del material de la tubería a la temperatura de operación (Sh).-**

$$S_h := 20000 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Tabla -A1, ASME B31.3}$$

**Factor de reducción de esfuerzos por condiciones cíclicas (f).-**

$$f := 1 \quad \text{Tabla 302.3.5 ASME B 31.3 para 7000 CICLOS}$$

$$S_A := f \cdot (1.25 S_c + 0.25 S_h) = 3 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Sección 302.3.5 Ecuación (1a) ASME B 31.3}$$

## Evaluación 1:

$$S_A = 3 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$S_E = 878.786 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: los esfuerzos admisibles son mayores a los equivalentes por tanto resiste la tubería.

## Esfuerzos debido a condiciones de cargas sostenidas y ocasionales

**Cargas Sostenidas (Peso propio de la tubería, presión)**

**Esfuerzo Flexionante por cargas sostenidas (Sb1).-**

$$S_{b1} := \frac{M_b}{Z} = 732.321 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

### Esfuerzo longitudinal por presión (Slp).-

$$Slp := \frac{P \cdot D}{4 \cdot t} = 7.96 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

### Esfuerzo permisible del material de la tubería a la temperatura de operación (Sh).-

$$Sh = 2 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

### Esfuerzo Longitudinal (SL).-

$$SL := Slp + Sb1 = 8.692 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

### Evaluación 2:

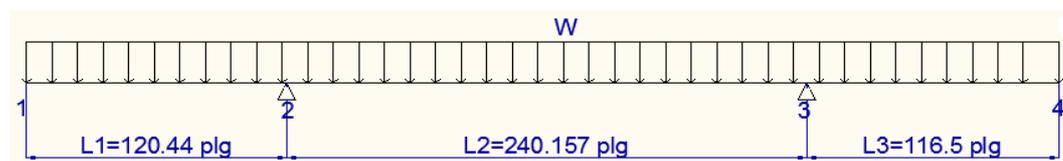
$$SL = 8.692 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$Sh = 2 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: los esfuerzos admisibles son mayores a los longitudinales por tanto resiste la tubería.

### Cargas Sostenidas mas Cargas Ocasionales

### Cálculo de fuerzas y momentos.-



### Cargas consideradas.-

#### Carga proporcionada por peso propio de la tubería más accesorios (w1).-

$$w1 = 24 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

#### Carga del agua de formación

$$w2 := 4.48072 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

## Combinación de Cargas (wt).-

$$wt := 1.2w1 + 1.6 \cdot w2 = 35.969 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

Estructuras de acero Vinnakota pág. 128

## Momento Resultante de Flexión (Mb).-

$$Mb1 := \frac{wt \cdot L^2}{8} = 2.593 \times 10^5 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

Singer Tabla 6.2 viga simplemente apoyada

## Momento resultante debido a cargas ocasionales (Me).-

$$Me := Mb1 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

## Esfuerzo flexionante debido a cargas ocasionales (Se).-

$$Se := \frac{Me}{Z} = 1.098 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

## Factor de incremento del esfuerzo permisible (FS).-

$$FS := 1.33 \quad \text{Sección 302.3.6 ASME B31.3}$$

## Evaluación 3:

$$S1 := S1p + Sb + Se = 9.936 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$S2 := FS \cdot Sh = 2.66 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** Se cumple que los esfuerzos admisibles S2 son mayores a los equivalentes S1 por tanto resiste la tubería.

## Si S2 es mayor a 2/3 Sy.-

### Esfuerzo de cedencia del material (Sy).-

$$Sy := 35000 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Tabla A-1 Material ASTM A106 GR B – ASME B31.3}$$

$$S3 := \frac{2}{3} \cdot Sy = 2.333 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** Se cumple que los esfuerzos admisibles S3 son mayores a los equivalentes S1 por tanto resiste la tubería.

## Esfuerzos Aditivos

**Si SL es menor que Sh se incrementa SA**

$$SL = 8.692 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$Sh = 2 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$SA1 := f \cdot [1.25(S_c + Sh) - SL] = 4.131 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \text{ Sección 302.3.5 Ecuación (1b) ASME B 31.3}$$

### Evaluación 4:

$$Se = 1.098 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$SA1 = 4.131 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: esfuerzos admisibles (SA1) son mayores a los equivalentes (Se) por tanto resiste la tubería.

## Línea de tubería 16"-PW-AEREA-G (5 Apoyos)

### Condiciones de diseño.-

#### Código de diseño

ASME B 31.3, Edición 2002

#### Presión de diseño (P).-

$$P := 3170 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{ASME B16.5 Clase 1500lb}$$

#### Temperatura de diseño (T).-

$$T := 400 \quad (\text{F}) \quad \text{ASME B16.5 Clase 1500lb}$$

### Características de la tubería.-

#### Material:

ASTM A106 GR B

#### Diámetro externo (D)

$$D := 16 \quad (\text{plg})$$

#### Diámetro interno (d)

$$d := 12.814 \quad (\text{plg})$$

#### Espesor de tubería (t)

$$t := 1.593 \quad (\text{plg})$$

### Propiedades físicas de la tubería.-

#### Modulo de sección de la Tubería (Z).-

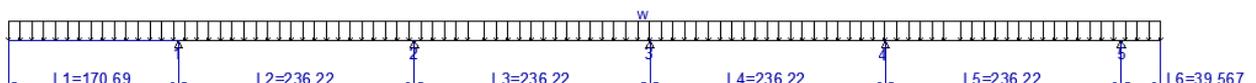
$$Z := \frac{0.098(D^4 - d^4)}{D} = 236.271 \quad (\text{plg}^4)$$

#### Inercia de la Sección de tubería (I).-

$$I := 0.049(D^4 - d^4) = 1.89 \times 10^3 \quad (\text{plg}^4)$$

### Cálculo de fuerzas y momentos.-

Viga continua 2



## Cargas consideradas

### Peso de la tubería (w).-

$$w := 20 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

### Porcentaje de consideración de cargas de accesorios y ocasionales (20%)

$$f1 := 0.2$$

$$w1 := w + f1 \cdot w = 24 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

$$L1 := 170.69 \quad (\text{plg})$$

$$L2 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L3 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L4 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L5 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L6 := 39.567 \quad (\text{plg})$$

## ECUACIÓN DE LOS TRES MOMENTOS (VIGAS CONTINUAS)

$$x1 := M1 \cdot L2 + M2 \cdot (z1) + M3 \cdot L3 + z2$$

$$x2 := M2 \cdot L3 + M3 \cdot (z3) + M4 \cdot L4 + z4$$

$$x3 := M3 \cdot L4 + M4 \cdot (z5) + M5 \cdot L5 + z6$$

$$a := \frac{w1 \cdot L2^3}{4} = 7.909 \times 10^7 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$b := \frac{w1 \cdot L3^3}{4} = 7.909 \times 10^7 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$a1 := \frac{w1 \cdot L3^3}{4} = 7.909 \times 10^7 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$b1 := \frac{w1 \cdot L4^3}{4} = 7.909 \times 10^7 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$a2 := \frac{w1 \cdot L4^3}{4} = 7.909 \times 10^7 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$b2 := \frac{w1 \cdot L5^3}{4} = 7.909 \times 10^7 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$z1 := 2 \cdot (L2 + L3) = 944.88 \quad (\text{plg})$$

$$z2 := a + b = 1.582 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$z3 := 2 \cdot (L3 + L4) = 944.88 \quad (\text{plg})$$

$$z4 := a1 + b1 = 1.582 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$z5 := 2 \cdot (L4 + L5) = 944.88 \quad (\text{plg})$$

$$z6 := a2 + b2 = 1.582 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M1 := [w1 \cdot (-1)] \cdot L1 \cdot \frac{L1}{2} = -3.496 \times 10^5 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M5 := w1 \cdot L6 \cdot \frac{L6}{2} = 1.879 \times 10^4 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M2 := -50168.9 \text{ (lb - plg)}$$

$$M3 := -119323 \text{ (lb - plg)}$$

$$M4 := -142255 \text{ (lb - plg)}$$

### **Momento Resultante de Flexión (Mb).-**

$$Mb := -1 \cdot (M1) = 3.496 \times 10^5 \text{ (lb - plg)} \quad M1 \text{ Momento máximo presente en la viga}$$

### **Momento Torsional (Mt).-**

$$Mt := 0 \text{ (lb - plg)}$$

## **Esfuerzos en la tubería**

### **ASME B 31.3 flexibilidad de la tubería Sección 319**

### **Factores de intensificación de Esfuerzos.-**

$$i := 1.2 \quad \text{Apéndice D tabla D-300 brida soldada}$$

### **Esfuerzos Equivalentes (SE)**

#### **Esfuerzo de flexión resultante (Sb).-**

$$Sb := \frac{i \cdot Mb}{Z} = 1.776 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

#### **Esfuerzo Torsional (St).-**

$$St := \frac{Mt}{2 \cdot Z} = 0 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$SE := \sqrt{Sb^2 + 4 \cdot St^2} = 1.776 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

## Esfuerzos Permisibles (SA).-

**Esfuerzo básico permisible del material de la tubería a la temperatura ambiente (Sc).-**

$$S_c := 20000 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Tabla- A1, ASME B31.3}$$

**Esfuerzo básico permisible del material de la tubería a la temperatura de operación (Sh).-**

$$S_h := 20000 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Tabla- A1, ASME B31.3}$$

**Factor de reducción de esfuerzos por condiciones cíclicas (f).-**

$$f := 1 \quad \text{Tabla 302.3.5 ASME B31.3 para 7000 CICLOS}$$

$$S_A := f \cdot (1.25 \cdot S_c + 0.25 \cdot S_h) = 3 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Sección 302.3.5 Ecuación (1a) ASME B 31.3}$$

### Evaluación 1:

$$S_A = 3 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$S_E = 1.776 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: los esfuerzos admisibles son mayores a los equivalentes por tanto resiste la tubería.

## Esfuerzos debidos a condiciones de cargas sostenidas y ocasionales

**Cargas Sostenidas (Peso propio de la tubería, presión)**

**Esfuerzo Flexionante por cargas sostenidas (Sb1).-**

$$S_{b1} := \frac{M_b}{Z} = 1.48 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Esfuerzo longitudinal por presión (Slp).-**

$$S_{lp} := \frac{P \cdot D}{4 \cdot t} = 7.96 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Esfuerzo permisible del material de la tubería a la temperatura de operación (Sh).-**

$$Sh = 2 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Esfuerzo Longitudinal (SL).-**

$$SL := Slp + Sb1 = 9.44 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Evaluación 2:**

$$SL = 9.44 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

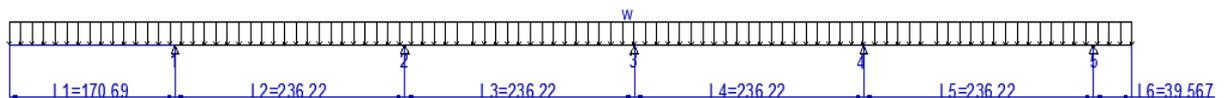
$$Sh = 2 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: los esfuerzos admisibles son mayores a los longitudinales por tanto resiste la tubería.

### **Cargas Sostenidas mas Cargas Ocasionales**

**Cálculo de fuerzas y momentos.-**

Viga continua 2



**Cargas consideradas**

**Carga proporcionada por peso propio de la tubería más accesorios (w1).-**

$$w1 = 24 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

**Carga del agua de formación (w2).-**

$$w2 := 4.4807 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

**Combinación de Cargas (wt).-**

$$wt := 1.2w1 + 1.6 \cdot w2 = 35.969 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

Estructuras de acero Vinnakota pág. 128

## ECUACIÓN DE LOS TRES MOMENTOS (VIGAS CONTINUAS)

$$x1 := M1 \cdot L2 + M2 \cdot (z1) + M3 \cdot L3 + z2$$

$$x2 := M2 \cdot L3 + M3 \cdot (z3) + M4 \cdot L4 + z4$$

$$x3 := M3 \cdot L4 + M4 \cdot (z5) + M5 \cdot L5 + z6$$

$$a := \frac{wt \cdot L2^3}{4} = 1.185 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$b := \frac{wt \cdot L3^3}{4} = 1.185 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$a1 := \frac{wt \cdot L3^3}{4} = 1.185 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$b1 := \frac{wt \cdot L4^3}{4} = 1.185 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$a2 := \frac{wt \cdot L4^3}{4} = 1.185 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$b2 := \frac{wt \cdot L5^3}{4} = 1.185 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$z1 := 2 \cdot (L2 + L3) = 944.88 \quad (\text{plg})$$

$$z2 := a + b = 2.371 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$z3 := 2 \cdot (L3 + L4) = 944.88 \quad (\text{plg})$$

$$z4 := a1 + b1 = 2.371 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$z5 := 2 \cdot (L4 + L5) = 944.88 \quad (\text{plg})$$

$$z6 := a2 + b2 = 2.371 \times 10^8 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M1 := [wt \cdot (-1)] \cdot L1 \cdot \frac{L1}{2} = -5.24 \times 10^5 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M5 := wt \cdot L6 \cdot \frac{L6}{2} = 2.816 \times 10^4 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M2 := -75202.3 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M3 := -178828 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

$$M4 := -213209 \quad (\text{lb} - \text{plg})$$

### **Momento resultante debido a cargas ocasionales (Me).-**

$$Me := -1 \cdot M1 = 5.24 \times 10^5 \quad (\text{lb} - \text{plg}) \quad \text{M1 Momento máximo presente en la viga}$$

### **Esfuerzo flexionante debido a cargas ocasionales (Se).-**

$$Se := \frac{Me}{Z} = 2.218 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

### **Factor de incremento del esfuerzo permisible (FS).-**

$$FS := 1.33 \quad \text{Sección 302.3.6 ASME B31.3}$$

### **Evaluación 3:**

$$S1 := S1p + Sb + Se = 1.195 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$S2 := FS \cdot Sh = 2.66 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: los esfuerzos admisibles S2 son mayores a los equivalentes S1 por tanto resiste la tubería.

### **Si S2 es mayor a 2/3 Sy.-**

#### **Esfuerzo de cedencia del material (Sy).-**

$$Sy := 35000 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \quad \text{Tabla A-1 Material ASTM A106 GR B}$$

$$S3 := \frac{2}{3} \cdot Sy = 2.333 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: los esfuerzos admisibles S3 son mayores a los equivalentes S1 por tanto resiste la tubería.

## **Esfuerzos Aditivos**

### **Si SL es menor que Sh se incrementa SA**

$$SL = 9.44 \times 10^3 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$Sh = 2 \times 10^4 \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$SA1 := f \cdot [1.25(S_c + S_h) - SL] = 4.056 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right) \text{ Sección 302.3.5 Ecuación (1b) ASME B 31.3}$$

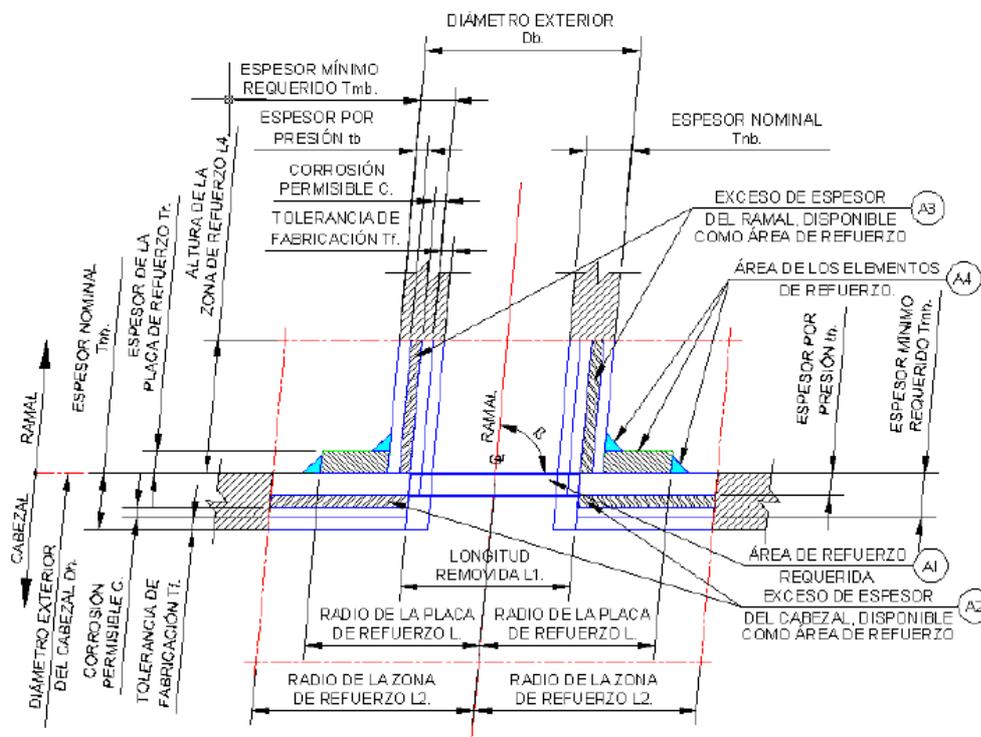
### **Evaluación 4:**

$$S_e = 2.218 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$SA1 = 4.056 \times 10^4 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

**Conclusión:** El diseño cumple con la condición: los esfuerzos admisibles (SA1) son mayores a los equivalentes (Se) por tanto resiste la tubería.

## CONEXIÓN CABEZAL- RAMAL



### LÍNEA 16-PW-1036-G (Cabezal)

**Datos:**

**Material:** ASTM A-106 Gr B

**Código:** ASME B31.3, Edición 2002 Sección 304.3.3

**Presión de Diseño (P):-**

**Esfuerzo Máximo Permisible (Sh):-**

$$P := 3170 \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

$$Sh := 20000 \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

**Temperatura de Diseño (T):-**

**Factor de junta (E)**

$$T := 400 \text{ (F)}$$

$$Eh := 1.0$$

**Factor de Corrección (Y):-**

**Tolerancia de Fabricación (Tf):-**

$$Y := 0.4$$

$$Tf := 0.125 \text{ \%}$$

**Corrosión Permisible (C):-**

**Diámetro exterior del Cabezal (Dh):-**

$$C := 0.118 \text{ (plg)}$$

$$Dh := 16 \text{ (plg)}$$

**EspeLor nominal de cabezal (tnh):**

$$Tnh := 1.593 \text{ (plg)}$$

**Fluido:** Agua de formación (Fluido de servicio normal)

## LÍNEA 10-PW-G (Ramal)

### Datos:

**Material:** ASTM A-106 Gr B

**Código:** ASME B31.3 Sección 304.3.3

**Presión de Diseño (P).-**

$$P := 3170 \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

**Esfuerzo Máximo Permissible (Sb).-**

$$S_b := 20000 \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

**Temperatura de Diseño.-**

$$T := 400 \text{ (F)}$$

**Factor de junta (E).-**

$$E_b := 1.0$$

**Factor de Corrección (Y).-**

$$Y := 0.4$$

**Tolerancia de Fabricación (Tf).-**

$$T_f := 0.125 \%$$

**Corrosión Permissible (C).-**

$$C := 0.118 \text{ (plg)}$$

**Diámetro exterior del Ramal (Db).-**

$$D_b := 10.75 \text{ (plg)}$$

**Espesor nominal del ramal (Tnb).-**

$$T_{nb} := 1.125 \text{ (plg)}$$

**Fluido:** Agua de formación (Fluido de servicio normal)

## REFUERZO

### Datos:

**Material:** ASTM A 516 Gr 70

TABLA A-1 ASME B31.3

**Espesor del refuerzo (Tnr).-**

$$T_{nr} := 1 \text{ (plg)}$$

**Factor de junta (E).-**

$$E_r := 1.0$$

**Esfuerzo Máximo Permissible.-**

$$S_r := 21700 \left( \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \right)$$

**Angulo Cabezal Ramal ( $\beta$ ).-**

$$\beta := 90 \cdot \frac{\pi}{180} = 1.571 \text{ (Radianes)}$$

## **CÁLCULO DEL ÁREA DE REFUERZO REQUERIDA POR EFECTO DE PRESIÓN**

$$T_h := \frac{P \cdot D_h}{2 \cdot (S_b \cdot E_h + P \cdot Y)} = 1.192 \quad \text{plg}$$

$$T_b := \frac{P \cdot D_b}{2 \cdot (S_b \cdot E_b + P \cdot Y)} = 0.801 \quad \text{plg}$$

### **Cálculo del espesor mínimo requerido del cabezal (Tmh).-**

$$T_{mh} := T_{nh} - T_f \cdot T_{nh} = 1.394 \quad \text{plg}$$

### **Cálculo del espesor mínimo requerido del ramal (Tmb).-**

$$T_{mb} := T_{nb} - T_f \cdot T_{nb} = 0.984 \quad \text{plg}$$

### **Cálculo de la longitud efectiva removida del cabezal (L1).-**

$$L_1 := \frac{[D_b - 2 \cdot (T_{mb} - C)]}{\sin(\beta)} = 9.017 \quad \text{plg}$$

### **Área de refuerzo requerida por efecto de presión interna (AI).-**

$$A_I := (T_h \cdot L_1) \cdot (2 - \sin(\beta)) = 10.752 \quad \text{plg}^2$$

## **CÁLCULO DEL ÁREA RESULTANTE DEL EXCESO DE ESPESOR DISPONIBLE EN LA PARED DEL CABEZAL (A2)**

$$L_{21} := (T_{mb} - C) + (T_{mh} - C) + \left(\frac{L_1}{2}\right) = 6.651 \quad \text{plg}$$

$$L_2 := L_1 = 9.017 \quad \text{plg}$$

**Se elige el mayor entre L2 y L21**

$$A_2 := (2L_2 - L_1) \cdot (T_{mh} - T_h - C) = 0.753 \quad \text{plg}^2$$

## **CÁLCULO DEL ÁREA RESULTANTE DEL EXCESO DE ESPESOR DISPONIBLE EN LA PARED DEL RAMAL (A3)**

Debido a que no se tiene placa de refuerzo  $t_r = 0$

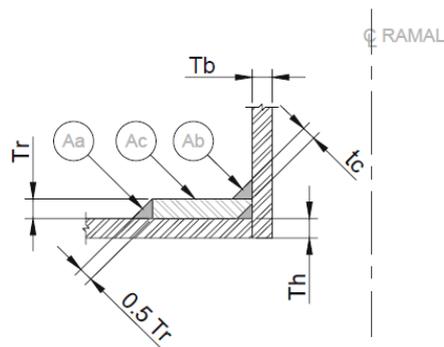
$$T_r := 0$$

$$L4 := 2.5 \cdot (T_{mh} - C) = 3.19 \quad \text{plg} \quad \text{Usar el menor valor para L4}$$

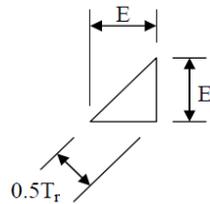
$$L41 := 2.5 \cdot (T_{mb} - C) + T_r = 2.166 \quad \text{plg}$$

$$A3 := \frac{2 \cdot L41 \cdot (T_{mb} - T_b - C)}{\sin(\beta)} = 0.283 \quad \text{plg}^2$$

## CÁLCULO DEL ÁREA DE LOS COMPONENTES METALICOS QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DE LA ZONA DE REFUERZO (A4)



### Cálculo de área perteneciente al cordón de soldadura (Aa).-

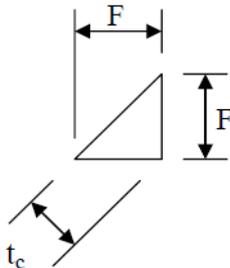


$$E = 0.707 \cdot T_r$$

$$Aa = E^2 \quad \text{pulg}^2..$$

$$Aa := (0.707 \cdot T_r)^2 = 0 \quad \text{plg}^2$$

### Cálculo de área perteneciente al cordón de soldadura (Ab).-



Usar el menor  $t_c$  de:

$$t_c = 0.7 \cdot T_{mb} \quad \text{ó} \quad t_c = 0.25$$

$$F = t_c / 0.707$$

$$Ab = F^2 \quad \text{pulg}^2.$$

$$t_c := 0.7T_{mb} = 0.689 \text{ plg}$$

$$t_{c1} := 0.25 \text{ plg} \quad \text{Usar el menor valor de } T_c$$

$$A_b := \left( \frac{t_{c1}}{0.707} \right)^2 = 0.125 \text{ plg}^2$$

### Cálculo de área perteneciente al refuerzo (Ac).-

Debido a que no se tiene placa de refuerzo se tiene que:

$$A_c := 0 \text{ plg}$$

$$A_4 := A_a + A_b + A_c = 0.125 \text{ plg}^2$$

### SUMA DE LAS TRES ÁREAS DE REFUERZO:

$$A_2 + A_3 + A_4 = 1.16 \text{ plg}^2$$

$$A_I = 10.752 \text{ plg}^2$$

Se determina que se debe calcular el área del refuerzo necesario para el inserto ya que la suma de las áreas existentes de refuerzo es menor que el área de refuerzo requerida

### RE CÁLCULO DEL ÁREA A3:

Debido a que no se tiene placa de refuerzo  $t_r = 0$

$$T_{nr} = 1$$

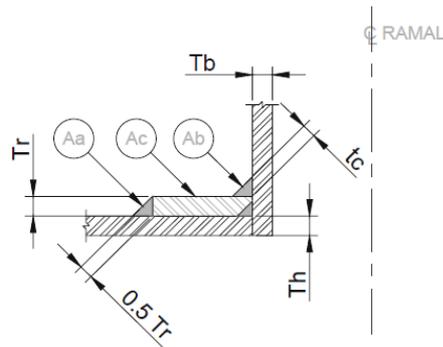
$$\underline{L_4} := 2.5(T_{mh} - C) = 3.19 \text{ plg} \quad \text{Se elige el menor valor entre } L_{41} \text{ y } L_4$$

$$\underline{L_{41}} := 2.5(T_{mb} - C) + T_{nr} = 3.166 \text{ plg}$$

$$A_{3R} := \frac{2 \cdot L_{41} (T_{mb} - T_b - C)}{\sin(\beta)} = 0.413 \text{ plg}^2$$

## RE CÁLCULO DEL ÁREA A4:

### CÁLCULO DEL ÁREA DE LOS COMPONENTES METÁLICOS QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DE LA ZONA DE REFUERZO (A4R)



#### Cálculo de área perteneciente al cordón de soldadura (AaR).-

$$AaR := (0.707 \cdot Tnr)^2 = 0.5 \quad \text{plg}^2$$

#### Re cálculo de área perteneciente al refuerzo (AcR).-

$$AcR := AI - (A2 + A3R + AaR + Ab) = 8.962 \quad \text{plg}^2$$

$$A4R := AaR + Ab + AcR = 9.586 \quad \text{plg}^2$$

#### CÁLCULO DE LA DIMENSIÓN DEL REFUERZO (LT).-

$$LT := \frac{AcR}{2 \cdot Tnr \cdot \left( \frac{Sr}{Sh} \right)} + \frac{Db}{2 \cdot \sin(\beta)}$$

$$LT = 9.505 \quad \text{plg} \quad \text{similares}$$

$$\text{Si } L2 = 9.017 \quad \text{plg}$$

#### Longitud total del refuerzo

$$\text{Longitudtotal} := LT \cdot 2 = 19.01 \quad \text{plg}$$

## Diseño del soporte de la tubería Aérea Tramo1

**Norma:** Especificación para construcciones de acero estructural 2005 ANSI / AISC 360-05

### Diseño de la Columna

Longitud := 0.5968 m

**Catálogo:** DIPAC Productos de Acero

**Perfil:** IPE 200

**Material ASTM A36.-**

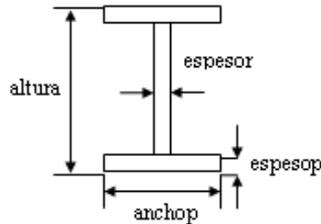
$F_y := 36$  (ksi)       $E := 29000$  (ksi)

altura := 200 (mm)

anchop := 100 (mm)

espesorp := 8.50 (mm)

espesora := 5.60 (mm)



**Propiedades.-**

area := 28.50 (cm<sup>2</sup>)

$I_x := 1940$  (cm<sup>4</sup>)

$I_y := 142$  (cm<sup>4</sup>)

$r_x := \sqrt{\frac{I_x}{\text{area}}} = 8.25$  (cm)

$r_y := \sqrt{\frac{I_y}{\text{area}}} = 2.232$  (cm)

**Patín.-**

$\lambda_p := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 15.894$       Tabla B 4.1 (Caso3)

$r_p := \frac{\frac{\text{anchop}}{2}}{\text{espesorp}} = 5.882$

**Conclusión:**  $\lambda_p$  es mayor que  $r_p$  por lo tanto el patín es compacto

### Alma.-

$$\lambda_a := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 42.29 \quad \text{Tabla B 4.1 (Caso10)}$$

$$r_a := \frac{\text{altura} - 2 \cdot \text{espesorp}}{\text{espesorp}} = 21.529$$

**Conclusión:**  $\lambda_a$  es mayor que  $r_a$  por lo tanto el alma es compacta

**Nota:** Se trabaja con el radio de giro menor por seguridad.

### Esbeltez

#### Factor de longitud efectiva (k).-

$$k := 0.65 \quad \text{Columna empotrada en sus extremos}$$

$$\text{Esbeltez} := \frac{k \cdot \text{Longitud}}{\frac{r_y}{100}} = 17.379$$

$$r_e := 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 133.681$$

#### Elasticidad Crítica de Pandeo ( $F_e$ ).-

$$F_e := \frac{\pi \cdot E}{\text{Esbeltez}^2} = 301.653 \quad (\text{Ksi}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación E3-4}$$

**Conclusión:** Como la relación  $r_e$  es mayor que la esbeltez las Tensiones de flexión de Pandeo se calculan de la siguiente manera:

$$F_{cr} := \left[ (0.658) \frac{F_y}{F_e} \right] \cdot F_y = 34.246 \quad (\text{Ksi}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Fuerza Crítica Ecuación E3-2}$$

#### Cálculo de cargas Permisibles ( $P_n$ ).-

$$\text{areapulg} := \frac{\text{area}}{2.54^2} = 4.418 \quad (\text{pulg}^2)$$

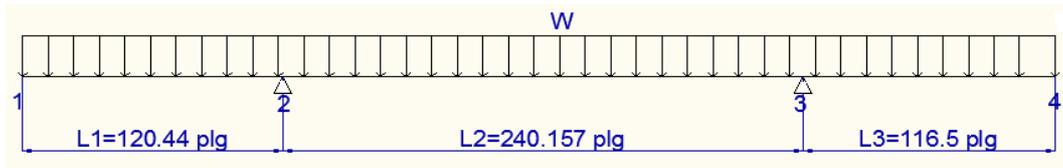
$$P_n := F_{cr} \cdot \text{areapulg} = 151.282 \quad (\text{Kips})$$

#### Carga Máxima que se puede aplicar a la columna ( $P_u$ ).-

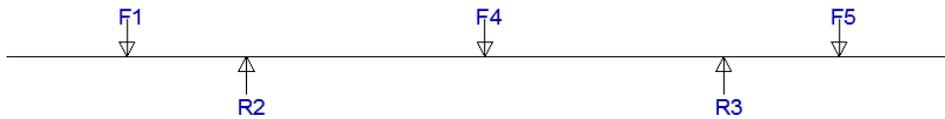
$$\phi_c := 0.9 \quad \text{Factor sección E1 (Demanda Capacidad)}$$

$$P_u := \phi_c \cdot P_n = 136.154 \quad (\text{Kips})$$

### Fuerzas Reales en los soportes:



### Diagrama del cuerpo Libre:



$$wt := 35.969 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right)$$

$$L1 := 120.44 \quad (\text{plg})$$

$$L2 := 240.5 \quad (\text{plg})$$

$$L3 := 116.5 \quad (\text{plg})$$

### Fuerzas Aplicadas a la tubería.-

$$F1 := wt \cdot L1 = 4.332 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

$$F4 := wt \cdot L3 = 4.19 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

$$F5 := wt \cdot L2 = 8.653 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

### Reacciones de los soportes.-

$$R2 := 11876.6 \quad (\text{lb})$$

$$R3 := 5298.44 \quad (\text{lb})$$

Se diseña para la condición mas crítica que es la reacción del primer soporte reacción  $R2$ , como el soporte tiene dos columnas la carga se divide

### Factor de seguridad (FS).-

$$FS := \frac{Pu \cdot 1000}{\frac{R2}{2}} = 22.928$$

El factor de seguridad es mayor que 1, de esta manera se tiene un rango considerable de seguridad de resistencia de la columna del soporte.

## Viga Doblemente Empotrada

El perfil que se considera para este diseño es el mismo de la columna, además que se necesita calcular algunas propiedades del perfil estructural necesarios para la aplicación del Capítulo F de la norma ANSI / AISC 360-05 y además es necesario identificar la longitud de la viga.

Longitudviga := 1.3 m

$$z := \frac{\frac{\text{anchop}}{4} \cdot [\text{altura}^2 - (\text{altura} - 2\text{espesorp})^2] + \frac{\text{espesora}}{4} \cdot (\text{altura} - 2\text{espesorp})^2}{1000 \cdot 2.54^3} = 12.794 \quad (\text{Pulg}^3)$$

$$ho := \frac{\text{altura} - \text{espesorp}}{2.54} = 7.539 \quad (\text{plg})$$

$$Iy = 142 \quad \text{cm}^4$$

$$Iy := \frac{Iy}{2.54^4} = 3.412 \quad (\text{plg}^4)$$

$$cw := \frac{Iy \cdot ho^2}{4} = 48.48 \quad (\text{plg}^6)$$

### **Módulo de Sección (sx) y momento polar de inercia (J)-**

$$sx := \frac{\frac{2 \times 10}{\text{altura}}}{2.54^3} = 11.839 \quad (\text{plg}^3)$$

$$J := \frac{4 \cdot \frac{\text{anchop}}{2} \cdot \text{espesorp}^3 + (\text{altura} - 2\text{espesorp}) \cdot \text{espesora}^3}{30000 \cdot 2.54^4} = 0.124 \quad (\text{plg}^4)$$

### Resumen de Propiedades del perfil estructural en pulgadas

$$Ix = 1940 \quad (\text{cm}^4)$$

$$Ix := \frac{Ix}{2.54^4} = 46.609 \quad (\text{plg}^4)$$

$$r_y = 2.232 \text{ (cm)}$$

$$r_{y_{\text{max}}} := \frac{r_y}{2.54} = 0.879 \quad (\text{plg})$$

### Longitudes Limitantes (Lp, Lr, Lb).-

$$L_p := 1.76 r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 43.898 \quad (\text{plg}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-5}$$

$$r_{ts} := \sqrt{\frac{\sqrt{I_y \cdot c_w}}{S_x}} = 1.042 \quad (\text{plg}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-7}$$

$$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J}{S_x \cdot h_o}} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left( \frac{0.7 F_y}{E} \cdot \frac{S_x \cdot h_o}{J} \right)^2}}$$

$$L_r = 148.722 \quad (\text{plg}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-6}$$

$$L_b := \frac{\text{Longitud viga}}{0.0254} = 51.181 \quad (\text{plg})$$

### Rendimiento:

2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-1

$$M_p := F_y \cdot z$$

$$M_p = 460.592 \quad (\text{kip} \cdot \text{plg})$$

### Pandeo Lateral:

Se puede comprobar que se encuentra en el caso b de la sección F2 de la norma y se calcula con la siguiente fórmula.

#### b) CUANDO $L_p < L_b < L_r$

$$C_b := 1$$

$$M_n := C_b \cdot \left[ M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-2}$$

$$M_n = 449.319 \quad \text{kip} \cdot \text{plg}$$

**$M_n \leq M_p$  Si cumple**

### Momento Máximo (Mmax).-

$$q := \frac{\frac{R2}{Lb}}{1000} = 0.232 \quad \frac{\text{kip}}{\text{plg}}$$

$$M_{\max} := \frac{q \cdot Lb^2}{8} \quad \text{Momento máximo de una viga simplemente apoyada}$$

$$Mu := M_{\max}$$

$$Mu = 75.982 \quad \text{kip} \cdot \text{plg}$$

### Demanda Capacidad (DC).-

$$DC := \frac{Mu}{0.9 \cdot Mn} = 0.188$$

**Conclusión:** La relación entre la demanda y la capacidad de la viga es menor que 1 por lo tanto la viga resiste a las cargas a la que se encuentra expuesta con un buen rango de seguridad.

## Diseño del soporte de la tubería Aérea Tramo2

**Norma:** Especificación para construcciones de acero estructural 2005 ANSI / AISC 360-05

### Diseño de la Columna

Longitud := 0.4096 m

**Catálogo:** DIPAC Productos de Acero

**Perfil:** IPE 100

**Material ASTM A36.-**

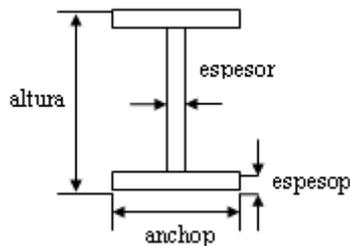
Fy := 36 (ksi)      E := 29000 (ksi)

altura := 100 (mm)

anchop := 55 (mm)

espesorp := 5.70 (mm)

espesora := 4.10 (mm)



**Propiedades.-**

area := 10.30 (cm<sup>2</sup>)

Ix := 171 (cm<sup>4</sup>)

Iy := 15.90 (cm<sup>4</sup>)

$rx := \sqrt{\frac{Ix}{area}} = 4.075$  (cm)

$ry := \sqrt{\frac{Iy}{area}} = 1.242$  (cm)

**Patín.-**

$\lambda_p := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 15.894$

Tabla B 4.1 (Caso3)

$rp := \frac{\frac{anchop}{2}}{espesorp} = 4.825$

**Conclusión:**  $\lambda_p$  es mayor que  $r_p$  por lo tanto el patín es compacto

**Alma.-**

$$\lambda_a := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 42.29 \quad \text{Tabla B 4.1 (Caso10)}$$

$$r_a := \frac{\text{altura} - 2 \cdot \text{espesor}_p}{\text{espesor}_p} = 15.544$$

**Conclusión:**  $\lambda_a$  es mayor que  $r_a$  por lo tanto el alma es compacta

**Nota:** Se trabaja con el radio de giro menor por seguridad.

**Esbeltez**

**Factor de longitud efectiva (k).-**

$$k := 0.65$$

Columna empotrada en sus extremos

$$\text{Esbeltez} := \frac{k \cdot \text{Longitud}}{\frac{r_y}{100}} = 21.429$$

$$r_e := 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 133.681$$

**Elasticidad Crítica de Pandeo ( $F_e$ ).-**

$$F_e := \frac{\pi \cdot E}{\text{Esbeltez}^2} = 198.409 \quad (\text{Ksi})$$

2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación E3-4

**Conclusión:** Como la relación  $r_e$  es mayor que la esbeltez las Tensiones de flexión de Pandeo se calculan de la siguiente manera:

$$F_{cr} := \left[ (0.658) \frac{F_y}{F_e} \right] \cdot F_y = 33.367 \quad (\text{Ksi})$$

2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación E3-2

**Cálculo de cargas Permisibles ( $P_n$ ).-**

$$\text{areapulg} := \frac{\text{area}}{2.54^2} = 1.597 \quad (\text{pulg}^2)$$

$$P_n := F_{cr} \cdot \text{areapulg} = 53.271 \quad (\text{Kips})$$

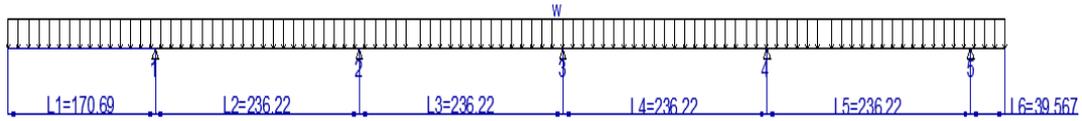
Carga Máxima que se puede aplicar a la columna

$$\phi_c := 0.9$$

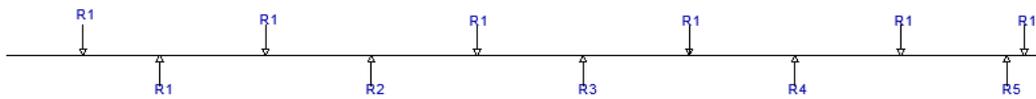
Factor sección E1 (Demanda Capacidad)

$$P_u := \phi_c \cdot P_n = 47.944 \quad (\text{Kips})$$

### Fuerzas Reales en los soportes:



### Diagrama del cuerpo libre:



$$wt := 35.969 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right) \quad \text{Combinación de cargas (peso propio + peso del agua)}$$

$$L_1 := 170.69 \quad (\text{plg})$$

$$L_2 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L_3 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L_4 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L_5 := 236.22 \quad (\text{plg})$$

$$L_6 := 39.567 \quad (\text{plg})$$

### Fuerzas Aplicadas a la tubería.-

$$F_6 := wt \cdot L_1 = 6.14 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

$$F_7 := wt \cdot L_2 = 8.497 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

$$F_8 := wt \cdot L_3 = 8.497 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

$$F_9 := wt \cdot L_4 = 8.497 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

$$F_{10} := wt \cdot L_5 = 8.497 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

$$F_{11} := wt \cdot L_6 = 1.423 \times 10^3 \quad (\text{lb})$$

### Reacciones de los soportes.-

$$R_1 := 12288.5 \quad (\text{lb})$$

$$R_2 := 6158.3 \quad (\text{lb})$$

$$R_3 := 1716.1 \quad (\text{lb})$$

$$R_4 := 8833.6 \quad (\text{lb})$$

$$R_5 := 12554.5 \quad (\text{lb})$$

Se diseña para la condición mas critica que es la reacción del quinto soporte R5. Como el soporte tiene dos columnas la carga se divide

### Factor de seguridad (FS).-

$$FS := \frac{Pu \cdot 1000}{\frac{R5}{2}} = 7.638$$

El factor de seguridad es mayor que 1 y se tiene un rango considerable de seguridad de resistencia de la columna del soporte.

### Viga Doblemente Empotrada

El perfil que se considera para este diseño es el mismo de la columna además se necesita calcular algunas propiedades del perfil estructural necesarios para la aplicación del Capitulo F de la norma ANSI / AISC 360-05 y además identificar la longitud de la viga

$$\text{Longitudviga} := 0.8 \text{ (m)}$$

$$z := \frac{\frac{\text{anchop}}{4} \cdot [\text{altura}^2 - (\text{altura} - 2\text{espesorp})^2] + \frac{\text{espesora}}{4} \cdot (\text{altura} - 2\text{espesorp})^2}{\frac{1000}{2.54^3}} = 2.295 \quad (\text{Pulg}^3)$$

$$h_o := \frac{\text{altura} - \text{espesorp}}{2.54} = 3.713 \quad (\text{plg})$$

$$I_y = 15.9 \quad \text{cm}^4$$

$$I_y := \frac{I_y}{2.54^4} = 0.382 \quad (\text{plg}^4)$$

$$c_w := \frac{I_y \cdot h_o^2}{4} = 1.316 \quad (\text{plg}^6)$$

Modulo de Sección:

$$S_x := \frac{2I_x \cdot 10}{2.54^3 \cdot \text{altura}} = 2.087 \quad (\text{plg}^3)$$

$$J := \frac{4 \cdot \frac{\text{anchop}}{2} \cdot \text{espesorp}^3 + (\text{altura} - 2\text{espesorp}) \cdot \text{espesora}^3}{2.54^4 \cdot 30000} = 0.021 \quad (\text{plg}^4)$$

## Resumen de Propiedades del perfil estructural en pulgadas

$$I_x = 171 \quad \text{cm}^4$$

$$I_x := \frac{I_x}{2.54^4} = 4.108 \quad (\text{plg}^4)$$

$$r_y = 1.242 \quad \text{cm}$$

$$r_y := \frac{r_y}{2.54} = 0.489 \quad (\text{plg})$$

### Longitudes Limitantes (Lp, Lr, Lb)-

$$L_p := 1.77 r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 24.435 \quad (\text{plg}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-5}$$

$$r_{ts} := \sqrt{\frac{\sqrt{I_y \cdot c_w}}{s_x}} = 0.583 \quad (\text{plg}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-7}$$

$$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J}{s_x \cdot h_o}} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left( \frac{0.7 F_y}{E} \cdot \frac{s_x \cdot h_o}{J} \right)^2}}$$

$$L_r = 103.703 \quad (\text{plg}) \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-6}$$

$$L_b := \frac{\text{Longitudviga}}{0.0254} = 31.496 \quad (\text{plg})$$

### Rendimiento:

$$M_p := F_y \cdot z$$

2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-1

$$M_p = 82.622 \quad (\text{kip} \cdot \text{plg})$$

### Pandeo Lateral:

Se puede comprobar que se encuentra en el caso b de la sección F2 de la norma y se calcula con la siguiente fórmula.

## b) CUANDO $L_p < L_b < L_r$

$$C_b := 1$$

$$M_n := C_b \cdot \left[ M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot s_x) \cdot \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \quad \text{2005 ANSI / AISC 360-05, Ecuación F2-2}$$

$$M_n = 79.947 \quad \text{kip} \cdot \text{plg}$$

$M_n \leq M_p$  Si cumple

### Momento Máximo (Mmax).-

$$q := \frac{R5}{L_b} = 0.399 \quad \frac{\text{kip}}{\text{plg}}$$

$$M_{\text{max}} := \frac{q \cdot L_b^2}{8} \quad \text{Momento máximo de una viga simplemente apoyada}$$

$$M_u := M_{\text{max}}$$

$$M_u = 49.427 \quad \text{kip} \cdot \text{plg}$$

### Demanda Capacidad (DC).-

$$DC := \frac{M_u}{0.9 \cdot M_n} = 0.687$$

**Conclusión:** La relación entre la demanda y la capacidad de la viga es menor que 1 por lo tanto la viga resiste a las cargas a la que se encuentra expuesta con un buen rango de seguridad.

### **5.1.2. Planos del diseño**

Los planos del diseño se pueden observar en el ANEXO 9.



## CAPÍTULO 6

### **SIMULACIÓN Y VALORACIÓN DE METAS DE PORCENTAJE DEL SISTEMA IMPLANTADO LAS SOLUCIÓN ÓPTIMA**

#### **6.1. Simulación mediante software**

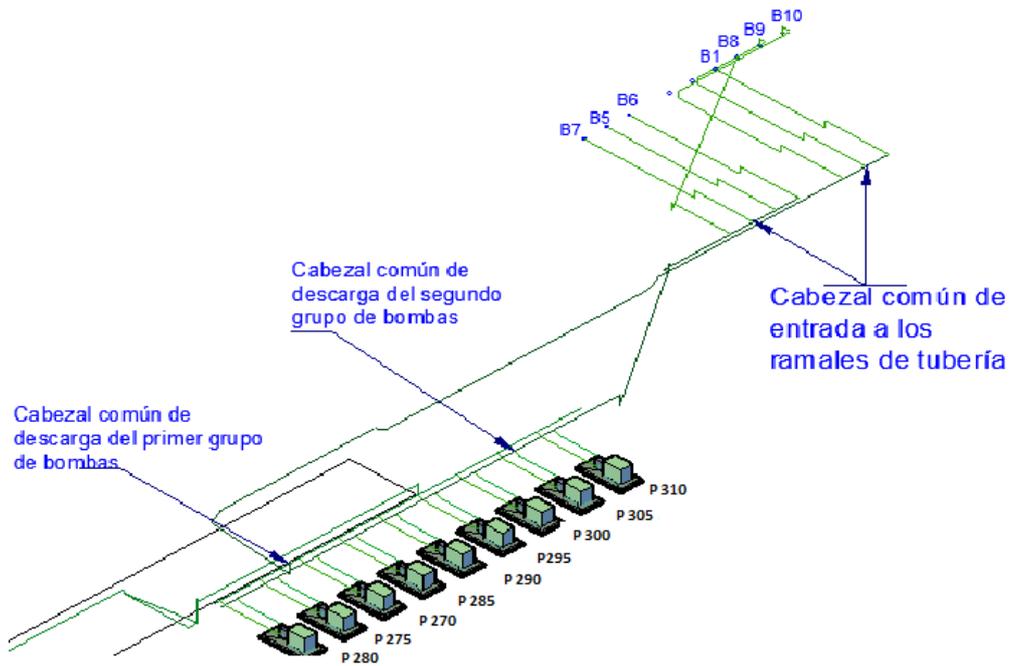
La simulación de la solución se realiza mediante el software Pipe Flow Expert en versión demo, ya que la licencia original del mismo no está al alcance del presupuesto con el que se realiza el presente proyecto. Por tal motivo se determina que el cálculo de pérdidas de energía del sistema también se debe realizar mediante una hoja electrónica de cálculo diseñada en el programa Excel, el cual permite programar las fórmulas y el procedimiento de cálculo de pérdidas de energía en líneas de tubería como lo dicta la sexta edición del libro de Mecánica de Fluidos de Robert Mott en los capítulos VII, VIII, IX y X.

De esta manera la validación de la hoja electrónica de cálculo se realiza comparando los resultados de la simulación con los resultados que se obtienen mediante los cálculos y así dar una más clara valoración de metas de porcentaje relacionadas a la presión del sistema de reinyección.

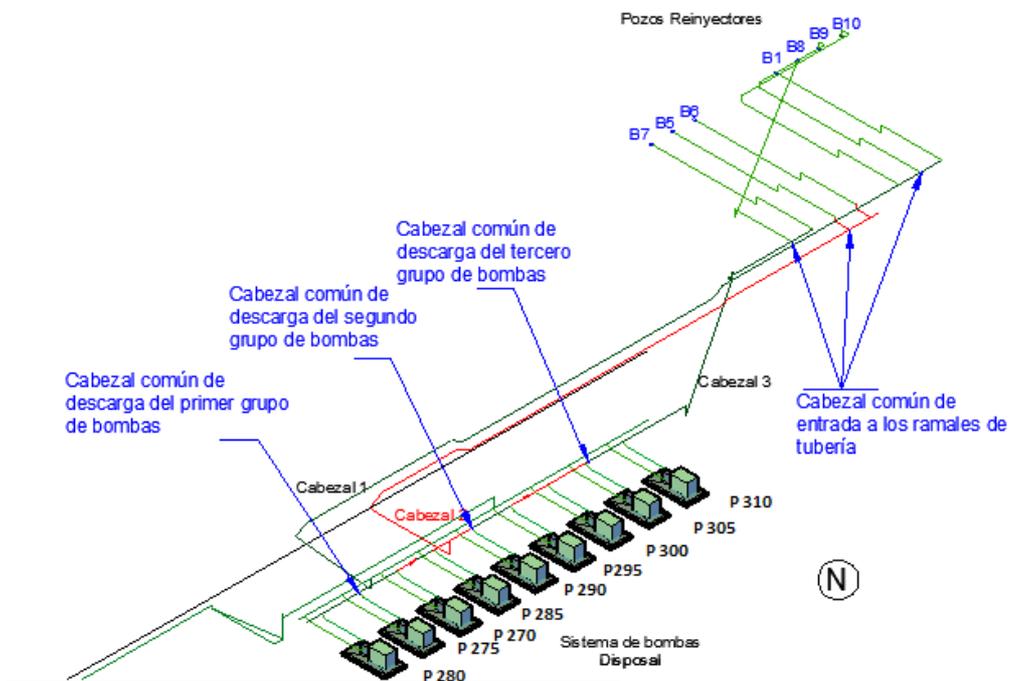
En las siguientes secciones del presente capítulo se realiza la simulación del tramo situado a partir del cabezal común de descarga de cada grupo de bombas centrífugas horizontales (Disposal), hasta el cabezal común situado en la entrada a los ramales de tubería, los mismos que cuentan con sus respectivas válvulas de regulación del flujo (válvulas de choque) en porcentaje para la reinyección como se ilustra en la figura 6.1 para el sistema actual y en la figura 6.2 para el sistema implantado la solución, además al final de cada simulación se realiza una síntesis de las pérdidas de energía calculadas por el software.

Se considera que el tramo de tubería anteriormente mencionado como el de mayor relevancia ya que es la mayor distancia que recorre el agua de

formación previa a su llegada a los pozos, además de poseer a lo largo del tramo varios accesorios que causan pérdidas menores.



**Figura 6.1** Tramo de tubería considerado para la simulación y el cálculo de pérdidas de energía del sistema de reinyección actual.



**Figura 6.2** Tramo de tubería considerado para la simulación y el cálculo de pérdidas de energía del sistema implantado la solución.

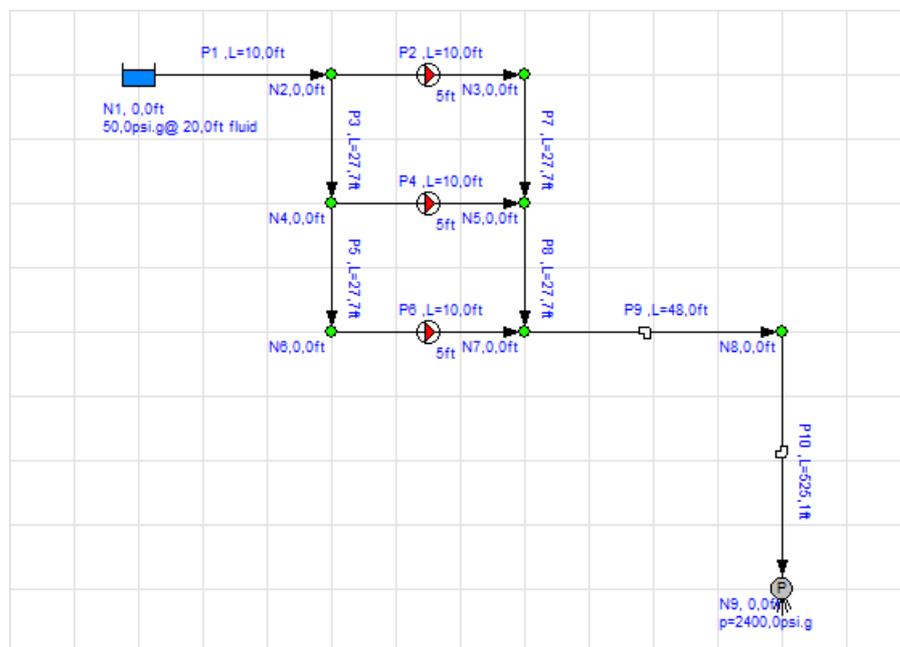
Es importante señalar que la simulación ayuda únicamente a pronosticar las pérdidas de energía que tiene el agua de formación al llegar los pozos reinyectores, ya que los datos de desempeño de cada bomba ingresa el usuario en el software, siendo uno de estos datos el punto de operación de la bomba de tal manera que el caudal no puede ser pronosticado y las pérdidas de energía son el resultado de la simulación.

La valoración de metas de porcentaje con respecto al caudal es una estimación que se da por la experiencia de los operadores de la planta EPF, por el personal que forma parte del departamento de Mantenimiento Mecánico y además por antecedentes presentados en el estudio realizado en el Capítulo 3.

### 6.1.1.Simulación mediante software del sistema actual

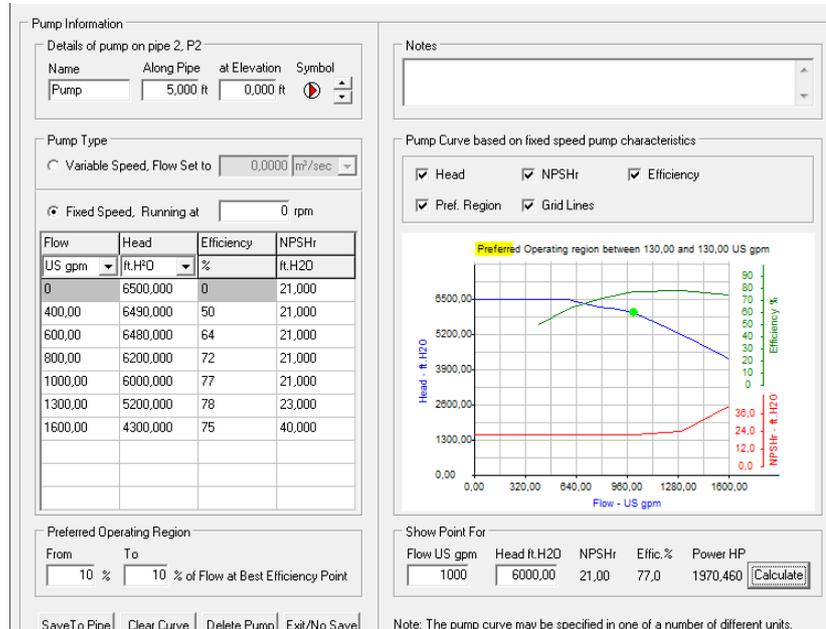
#### Cabezal 1.-

En la figura 6.3 se observa el diagrama unifilar del primer cabezal formado por las bombas P-270, P-275 y P-280, además de las líneas de tubería con sus respectivas longitudes diseñado en el programa Pipe Flow.



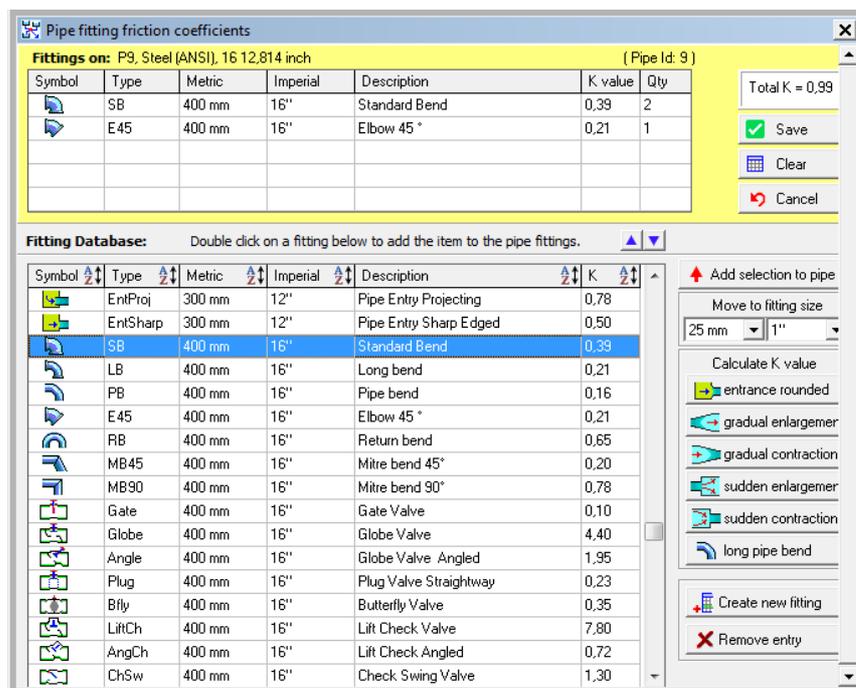
**Figura 6.3** Diseño del cabezal1 en Pipe flow Expert

En la figura 6.4 se observa la interfaz que presenta el programa Pipe Flow para el ingreso de los datos de desempeño de una bomba centrífuga horizontal, el punto en el punto en el cual que se requiere que opere la bomba y el software emite las curvas características de la bomba.



**Figura 6.4** Ingreso de datos de las bombas Disposal

En las figuras 6.5 y 6.6 se ilustra la interfaz que presenta el Software para ingresar los accesorios de tubería estandarizados que se ubican el todo el recorrido de la tubería del cabezal 1.



**Figura 6.5** Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 1

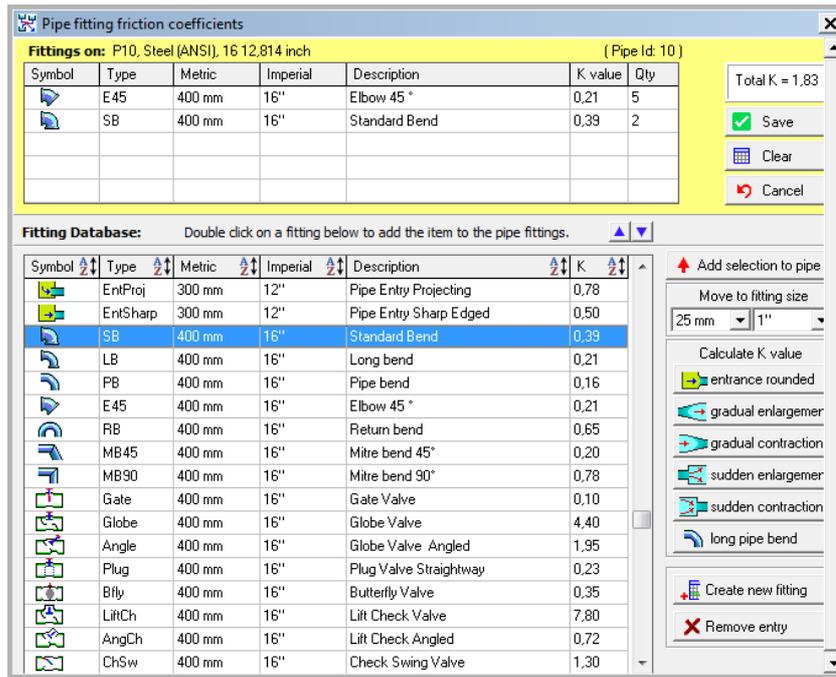


Figura 6.6 Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 1

En la figura 6.7 se ilustran los resultados que genera el software y en la tabla 6.1 se resumen las pérdidas de energía en el tramo competente al cabezal 1.

Pipe Id	Pipe Name	Material	Inner Diameter	Roughness	Length	Total K	Mass Flow	Flow	Velocity	Entry Elevation	Exit Elevation	Entry Pressure
			inch	inch	ft		lb/sec	ft <sup>3</sup> /sec	ft/sec	ft	ft	psig
1	P1	10 Steel (ANSI) Sc 8,500		0,002	10,000	0,00	480,1953	7,9958	20,291 (Flow Velo)	0,000	0,000	58,341
2	P2	10 Steel (ANSI) Sc 8,500		0,002	10,000	0,00	163,6447	2,7249	6,915	0,000	0,000	57,809
3	P3	10 Steel (ANSI) Sc 8,500		0,002	27,680	0,00	316,5506	5,2709	13,376	0,000	0,000	57,809
4	P4	10 Steel (ANSI) Sc 8,500		0,002	10,000	0,00	152,9869	2,5474	6,464	0,000	0,000	57,163
5	P5	10 Steel (ANSI) Sc 8,500		0,002	27,680	0,00	163,5637	2,7235	6,911	0,000	0,000	57,163
6	P6	10 Steel (ANSI) Sc 8,500		0,002	10,000	0,00	163,5637	2,7235	6,911	0,000	0,000	56,988
7	P7	16 Steel (ANSI) Sc 12,814		0,002	27,680	0,00	163,6447	2,7249	3,043	0,000	0,000	2405,235
8	P8	16 Steel (ANSI) Sc 12,814		0,002	27,680	0,00	316,6316	5,2723	5,887	0,000	0,000	2405,213
9	P9	16 Steel (ANSI) Sc 12,814		0,002	48,000	0,99	480,1953	7,9958	8,928	0,000	0,000	2405,135
10	P10	16 Steel (ANSI) Sc 12,814		0,002	525,100	1,83	480,1953	7,9958	8,928	0,000	0,000	2404,315

Pipe Id	Exit Pressure	Entry/Exit Diff	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss	Fittings Loss	Component Loss	Flow Control Loss	Pump Head (+)	Pump NPSHr	Pump NPSHa	Pump Efficiency
	psi.g	psi.g				ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd (absolute)	Percentage
1	57,809	0,532	4324985	Turbulent	0,014	1,28	none	none	none	none	none	none	none
2	2405,235	-2347,426	1473902	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5628,721	24,298	144,35	77,74
3	57,163	0,645	2851083	Turbulent	0,014	1,55	none	none	none	none	none	none	none
4	2405,213	-2348,049	1377910	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5630,197	22,823	142,81	77,48
5	56,988	0,176	1473173	Turbulent	0,015	0,42	none	none	none	none	none	none	none
6	2405,135	-2348,147	1473173	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5630,450	24,294	142,38	77,74
7	2405,213	0,022	977694	Turbulent	0,014	0,05	none	none	none	none	none	none	none
8	2405,135	0,078	1891713	Turbulent	0,013	0,19	none	none	none	none	none	none	none
9	2404,315	0,819	2868923	Turbulent	0,013	0,74	1,23	none	none	none	none	none	none
10	2400,000	4,315	2868923	Turbulent	0,013	8,08	2,27	none	none	none	none	none	none

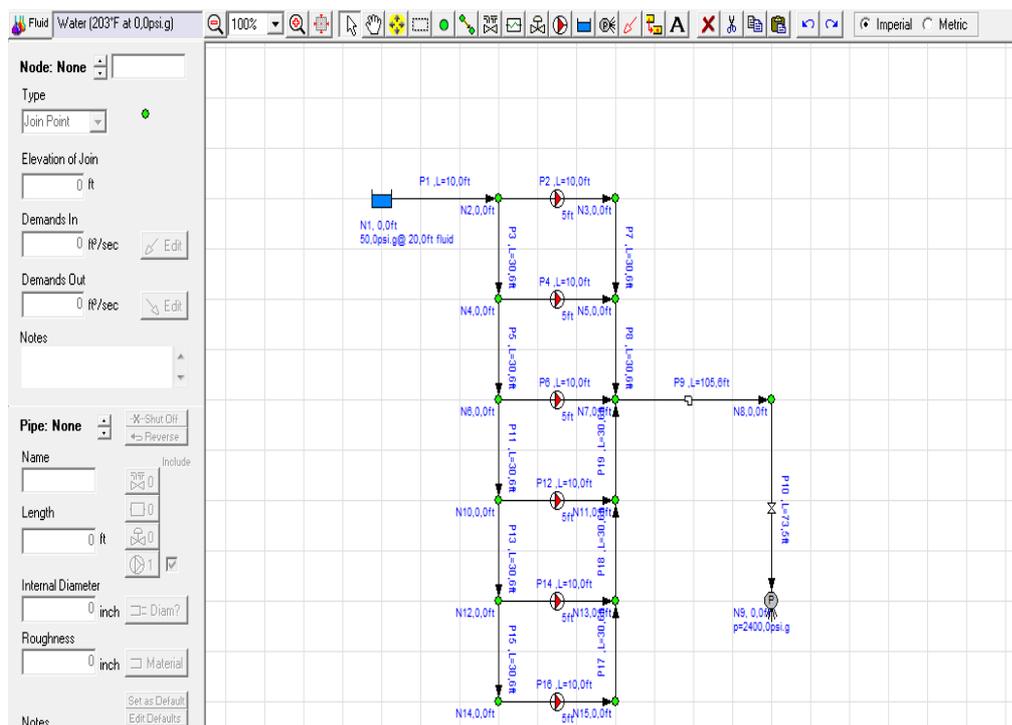
Figura 6.7 Solución del cabezal 1, resultados (número de Reynolds, pérdidas)

**Tabla 6.1** Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 1 calculadas en la simulación

<b>Pérdidas del cabezal 1 ( Sistema actual)</b>	
<b>Pérdidas por fricción</b>	<b>Pérdidas menores</b>
0,06	1,23
0,19	2,27
0,74	
8,08	
<b>9,07</b>	<b>3,5</b>
<b>Pérdidas totales (pies de agua)</b>	<b>12,57</b>

## Cabezal 2.-

En la figura 6.8 se observa el diagrama unifilar del primer cabezal formado por las bombas P-285, P-290 y P-295, P-300, P-305 y P-310 además de las líneas de tubería con sus respectivas longitudes diseñado en el programa Pipe Flow.



**Figura 6.8** Diseño del cabezal 2 en Pipe flow Expert

En las figura 6.9 se ilustra la interfaz que presenta el Software para ingresar los accesorios de tubería estandarizados que se ubican el todo el recorrido de la tubería del cabezal 2.

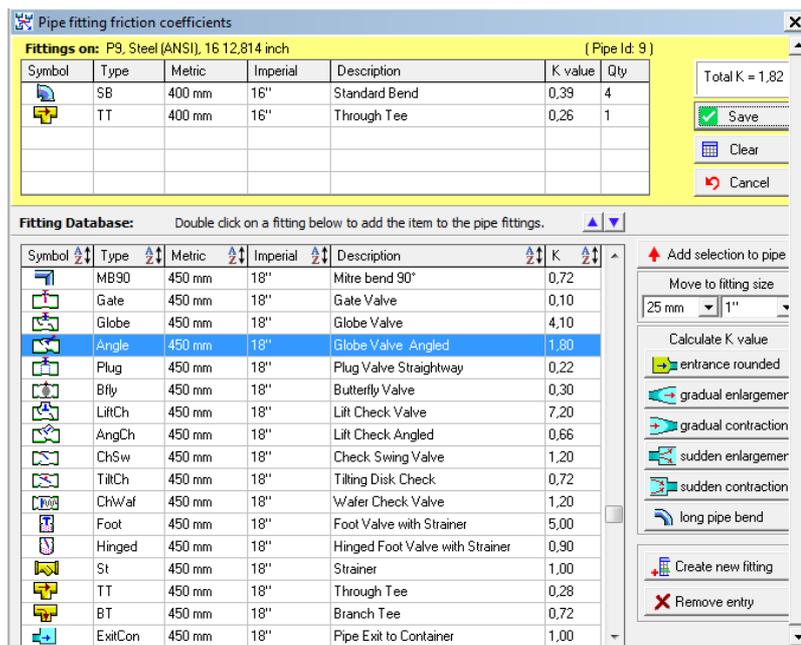


Figura 6.9 Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 2

En la figura 6.7 se ilustran los resultados que genera el software y en la tabla 6.2 se resumen las pérdidas de energía en el tramo competente al cabezal 2.

Pipe Id	Exit Pressure	Entry/Exit Diff	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss	Fittings Loss	Component Loss	Flow Control Loss	Pump Head (+)	Pump NPSHr	Pump NPSHa	Pump Efficiency
	psi.g	psi.g				ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd (absolute)	Percentage
1	56,362	1,979	8373630	Turbulent	0,014	4,75	none	none	none	none	none	none	none
2	2411,366	-2354,994	1466237	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5646,866	24,252	140,88	77,72
3	52,233	4,129	6907393	Turbulent	0,014	9,90	none	none	none	none	none	none	none
4	2411,332	-2359,099	1365880	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5656,688	22,754	130,99	77,44
5	49,569	2,664	5541513	Turbulent	0,014	6,39	none	none	none	none	none	none	none
6	2411,246	-2361,677	1459451	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5662,889	24,212	124,60	77,70
7	2411,332	0,024	972609	Turbulent	0,014	0,06	none	none	none	none	none	none	none
8	2411,246	0,086	1879648	Turbulent	0,013	0,21	none	none	none	none	none	none	none
9	2405,223	6,023	5554538	Turbulent	0,013	5,99	8,45	none	none	none	none	none	none
10	2400,000	5,223	5554538	Turbulent	0,013	4,17	8,36	none	none	none	none	none	none
11	48,117	1,452	4082063	Turbulent	0,014	3,48	none	none	none	none	none	none	none
12	2411,422	-2363,304	1361287	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5666,772	22,727	121,12	77,43
13	47,467	0,650	2720775	Turbulent	0,014	1,56	none	none	none	none	none	none	none
14	2411,501	-2364,034	1360490	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5668,521	22,723	119,56	77,43
15	47,300	0,166	1360285	Turbulent	0,015	0,40	none	none	none	none	none	none	none
16	2411,522	-2364,221	1360285	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5668,970	22,722	119,16	77,43
17	2411,501	0,021	902328	Turbulent	0,014	0,05	none	none	none	none	none	none	none
18	2411,422	0,079	1804791	Turbulent	0,014	0,19	none	none	none	none	none	none	none
19	2411,246	0,175	2707783	Turbulent	0,013	0,42	none	none	none	none	none	none	none

Figura 6.10 Resultados de la simulación del cabezal 2

**Tabla 6.2** Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 2  
calculadas en la simulación

<b>Pérdidas del cabezal 2 ( Sistema actual)</b>	
<b>Pérdidas por fricción</b>	<b>Pérdidas menores</b>
0,06	8,45
0,21	8,36
5,99	
4,17	
0,05	
0,19	
0,42	
11,09	16,81
<b>Pérdidas totales (pies de agua)</b>	<b>27,9</b>

El promedio de pérdidas de energía que se obtienen de la simulación es de 20,24 pies de agua, esto se determina con el promedio del resultado de pérdidas del cabezal 1 y del cabezal 2.

## 6.1.2. Cálculo de pérdidas

### 6.1.2.1. Pérdidas en el cabezal 1

Este cabezal está compuesto por la tubería de descarga común entre las bombas centrífugas horizontales P-270, P-275 y P-280 (ver figura 6.1) hasta la tubería donde parten los ramales de tubería en los que se encuentran las válvulas de control de caudal en porcentaje B-01, B-02, B-03 y por consecuencia dirigen el agua de formación hacia los pozos reinyectores B1, B10, B9.

**Tabla 6.3** Hoja de cálculo de pérdidas del cabezal 1 del sistema actual

<b>CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN TUBERÍA 16" SCH 160</b>		
<b>DATOS:</b>	Diámetro interno (plg)	12.8
	Caudal (GPM)	3000
	Temperatura del agua (F)	200.0
	Densidad del Líquido (slug/pie <sup>3</sup> )	1.9
	Viscosidad dinámica (lb-s/pie <sup>2</sup> )	0.0
	II	3.1
	Longitud recorrida por el agua (pies)	503.95
	Gravedad (pies/s <sup>2</sup> )	32.2

Factor de fricción de tubería de acero	0.013
Resistencia de codos a 90° expresada en Le/D	30
Número de codos a 90° en la línea	4
Resistencia de codos a 45° expresada en Le/D	16
Número de codos a 45° en la línea	6
Resistencia de una Te estándar con flujo directo Le/D	20
Número de Tes. en la línea	1
Resistencia de una válvula de bola expresada en Le/D	150
Número válvulas de bola en la línea en la línea	0

<b>RESULTADOS:</b>	Área (plg <sup>2</sup> )	129.2
	Velocidad del líquido (pie/s)	7.4
	Número de Reynolds (adimensional)	28577833.1
	Factor de fricción (adimensional)	0.0
	<b>Pérdidas por Fricción (h<sub>f1</sub>)</b>	4.882
	Coeficiente de resistencia K1	0.4
	Coeficiente de resistencia K2	0.2
	Coeficiente de resistencia K3	0.3
	Coeficiente de resistencia K4	2.0
	<b>Pérdidas menores (h<sub>f2</sub>)</b>	
	Pérdidas Menores por codo a 90°	0.34
	Pérdidas Menores por codo a 45	0.18
	Pérdidas Menores por Te estándar con flujo directo	0.22
	Pérdidas Menores por válvulas de bola en la línea	1.68
	<b>Pérdidas Totales en la línea de tubería (h<sub>f1</sub>+h<sub>f2</sub>) (pies de agua)</b>	7.53

### 6.1.2.2. Pérdidas en el cabezal 2

Este cabezal está compuesto por la tubería de descarga común entre las bombas centrífugas horizontales P-285, P-290, P-295, P-300, P-305, P-310 (Ver figura 6.1), hasta la tubería donde parten los ramales de tubería en los que se encuentran las válvulas de control de caudal en porcentaje B-08, B-07, B-05, B-06 y por consecuencia dirigen el agua de formación hacia los pozos reinyectores B-8, B-7, B-5, B-6.

**Tabla 6.4** Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal 2 del sistema actual

<b>CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN TUBERÍA 16" SCH 160</b>		
<b>DATOS:</b>	Diámetro interno (plg)	12.8
	Caudal (GPM)	6000
	Temperatura del agua (F)	200.0
	Densidad del Líquido (slug/pie <sup>3</sup> )	1.9
	Viscosidad dinámica (lb-s/pie <sup>2</sup> )	0.0
	II	3.1
	Longitud recorrida por el agua (pies)	332.110
	Gravedad (pies/s <sup>2</sup> )	32.2
	Factor de fricción de tubería de acero	0.013
	Resistencia de codos a 90° expresada en Le/D	30
	Número de codos a 90° en la línea	4
	Resistencia de codos a 45° expresada en Le/D	16
	Número de codos a 45° en la línea	0
	Resistencia de una Te estándar con flujo directo Le/D	20
	Número de Tes. en la línea	0
	Resistencia de una válvula de bola expresada en Le/D	150
	Número válvulas de bola en la línea en la línea (pies de agua)	1

<b>RESULTADOS:</b>	Área (plg <sup>2</sup> )	129.2
	Velocidad del líquido (pie/s)	14.9
	Número de Reynolds (adimensional)	57155666.3
	Factor de fricción (adimensional)	0.0
	<b>Pérdidas por Fricción (h<sub>f1</sub>)</b>	12.869
	Coeficiente de resistencia K1	0.4
	Coeficiente de resistencia K2	0.2
	Coeficiente de resistencia K3	0.3
	Coeficiente de resistencia K4	2.0
	<b>Perdidas menores (h<sub>f2</sub>)</b>	
	Pérdidas Menores por codo a 90°	1.35
	Pérdidas Menores por codo a 45	0.72
	Pérdidas Menores por Te estándar con flujo directo	0.90
	Pérdidas Menores por válvulas de bola en la línea	6.73
	<b>Pérdidas Totales en la línea de tubería (h<sub>f1</sub>+h<sub>f2</sub>) (pies de agua)</b>	24.98

A continuación se presentan las pérdidas que se tiene en el sistema de tubería en un cuadro de resumen.

**Tabla 6.5** Resumen de Pérdidas del sistema actual

Cabezal1 (pies)	7.53
Cabezal 2 (pies)	24.98
<b>Promedio de Pérdidas de energía en el sistema (pies de agua)</b>	<b>16.255</b>

Ejemplo de Cálculo:

## CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL SISTEMA ACTUAL

### CABEZAL 2

### CÁLCULO DEL TIPO DE FLUJO

Diámetro interior de la tubería de 16" SCH 160 (Di).-

$$D_i := 12.824 \text{ plg}$$

Área.-

$$A := \pi \cdot \left( \frac{D_i}{2} \right)^2 = 129.163 \text{ plg}^2$$

Caudal (Q).-

$$Q := 6000 \text{ (GPM)} \quad \text{Tres bombas trabajando en el B.E.P.}$$

Velocidad del fluido (v).-

$$v := \frac{Q}{\left( \frac{A}{12^2} \right)} \cdot \frac{1}{449} = 14.898 \left( \frac{\text{pie}}{\text{s}} \right)$$

Robert Moot pág. 165

Temperatura del Agua (Ta).-

$$T_a := 200 \text{ (F)}$$

Densidad del líquido.-

$$\rho := 1.87 \left( \frac{\text{slug}}{\text{pie}^3} \right)$$

Robert Moot Apéndice B

Viscosidad dinámica ( $\eta$ ).-

$$\eta := 0.0000062 \left( \frac{\text{lb} \cdot \text{s}}{\text{pie}^2} \right)$$

Robert Moot Apéndice B

Viscosidad Cinemática (v).-

$$\nu := 0.0000033 \left( \frac{\text{pie}^2}{\text{s}} \right)$$

### NÚMERO DE REYNOLDS

$$N_r := \frac{v \cdot D_i \cdot \rho}{\eta} = 5.716 \times 10^7 \quad \text{Flujo turbulento}$$

$$N_{r1} := \frac{v \cdot D_i}{\nu} = 5.703 \times 10^7 \quad \text{Flujo turbulento}$$

## PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

### Factor de fricción (f).-

$$f := 0.012 \quad (\text{adimensional})$$

Robert Mott pág. 234 ecuación 8-5

### Longitud recorrida por el agua (Longrec).-

$$\text{Longrec} := 332.11 \quad (\text{pies})$$

### Gravedad (g).-

$$g := 32.1522 \quad \left( \frac{\text{pie}}{\text{s}} \right)$$

Robert Mott pág. 233 ecuación 8-3

### Ecuación de Darcy para calcular las pérdidas de energía (h1).-

$$h1 := f \cdot \frac{\text{Longrec}}{\left( \frac{Di}{12} \right)} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 12.872 \quad (\text{pies})$$

## PERDIDAS MENORES (h2).-

### Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial (ft).-

$$ft := 0.013$$

Robert Mott tabla 10.5 (diámetro nominal 16')

### Resistencia de accesorios de tubería, expresada en longitud equivalente en diámetros de tubería (Le/D).-

$$R1 := 30 \quad (\text{adimensional})$$

Robert Mott tabla 10.4 (codos estándar a 90°)

$$R2 := 150 \quad (\text{adimensional})$$

Robert Mott tabla 10.4 (Válvula de bola)

### Coefficiente de resistencia.-

$$K1 := ft \cdot R1 = 0.39$$

Robert Mott pág. 296 ecuación 10-8

$$K2 := ft \cdot R2 = 1.95$$

### Ecuación de pérdidas menores.-

$$h121 := K1 \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) = 1.346 \quad (\text{pies})$$

Robert Mott pág. 296 ecuación 10-8

$$h122 := K2 \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) = 6.731 \quad (\text{pies})$$

## PÉRDIDA DE ENERGÍA EN EL CABEZAL 2 (HT).-

$$HT := 4 \cdot h_{l21} + h_{l22} + h_{l1} = 24.987 \quad (\text{pies})$$

### 6.1.3. Simulación mediante software del sistema Implantado las solución óptima Cabezal1.-

En la figura 6.3 se observa el diagrama unifilar del primer cabezal formado por las bombas P-270, P-275 y P-280 (ver figura 6.2), además de las líneas de tubería con sus respectivas longitudes diseñado en el programa Pipe Flow.

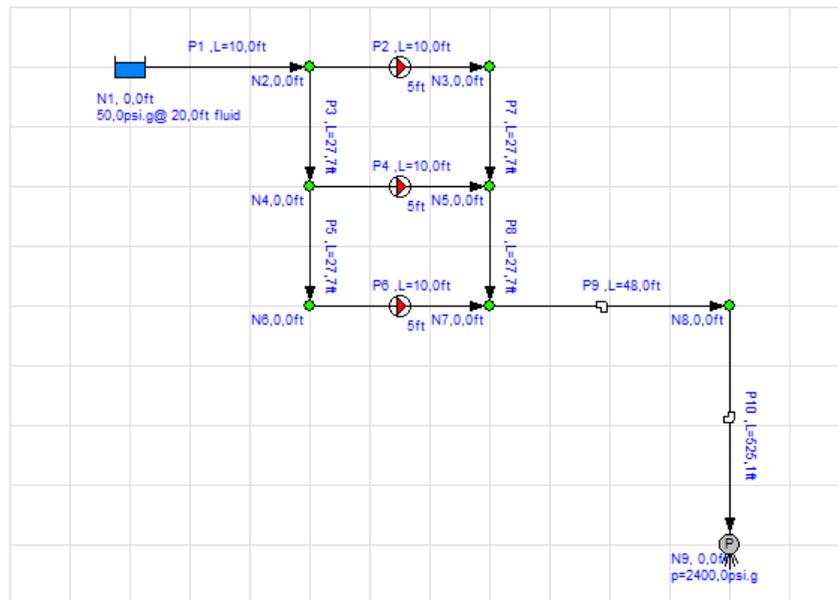
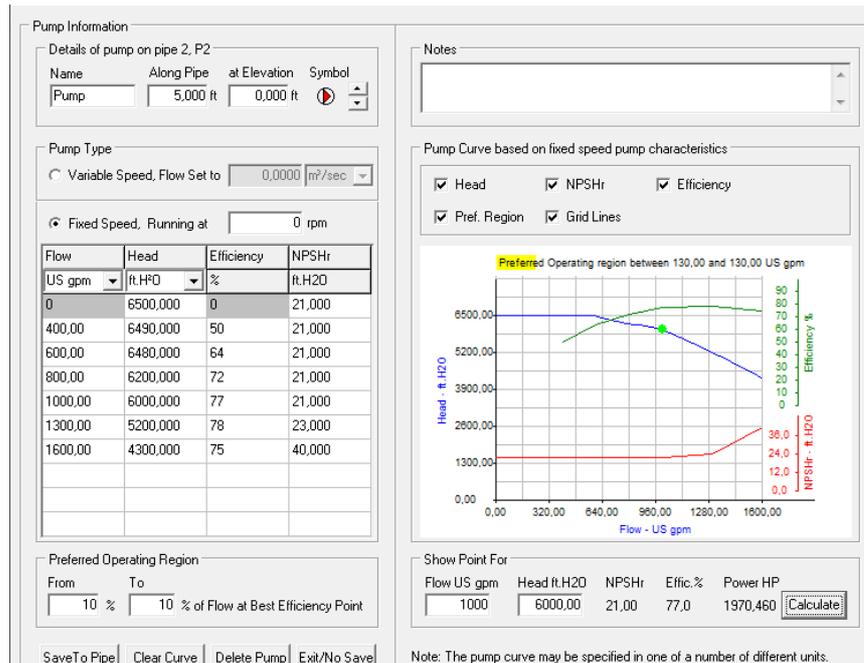


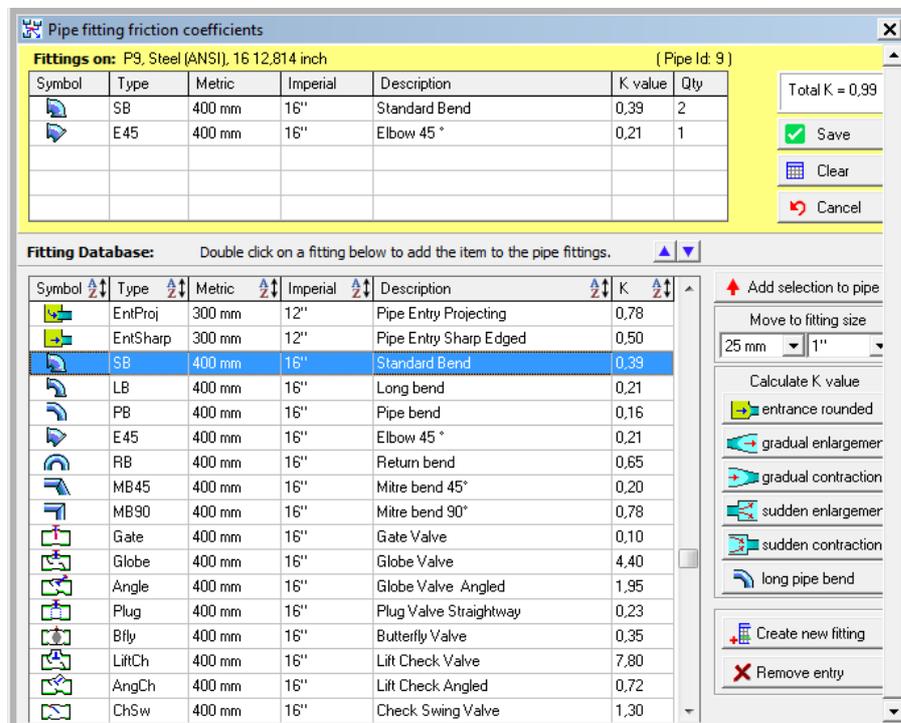
Figura 6.11 Diseño del cabezal1 en Pipe flow Expert

En la figura 6.12 se observa la interfaz que presenta el programa Pipe Flow para el ingreso de los datos de desempeño de una bomba centrífuga horizontal, el punto en el cual que se requiere que opere la bomba y el software emite las curvas características de la bomba.



**Figura 6.12** Ingreso de datos de las bombas Disposal

En las figuras 6.13 y 6.14 se ilustra la interfaz que presenta el Software para ingresar los accesorios de tubería estandarizados que se ubican el todo el recorrido de la tubería del cabezal 1 del sistema de reinyección implantado la solución óptima.



**Figura 6.13** Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 1

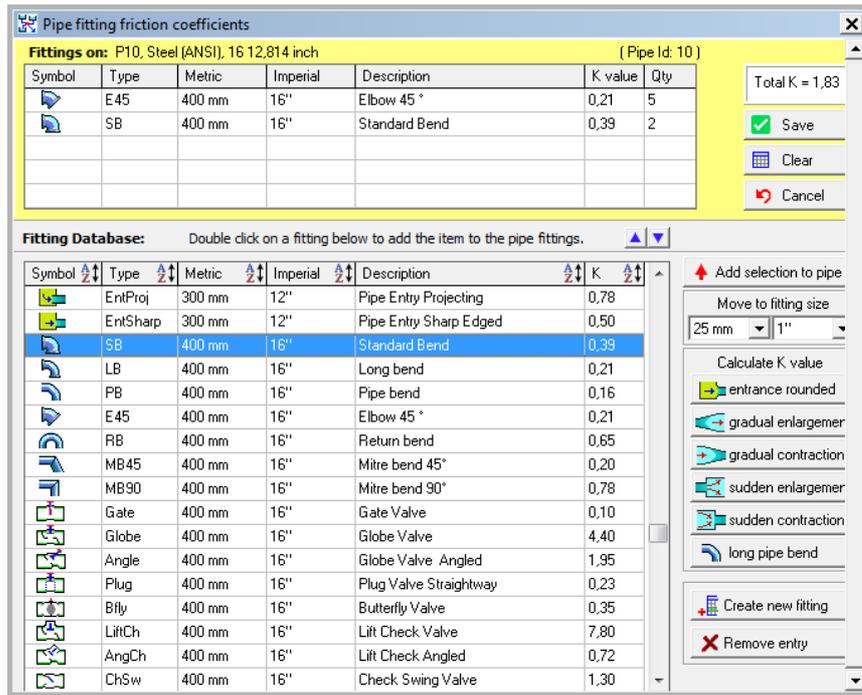


Figura 6.14 Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal1

En la figura 6.15 se ilustran los resultados que genera el software y en la tabla 6.6 se resumen las pérdidas de energía en el tramo competente al cabezal 1 del sistema implantado la solución óptima.

Pipe Id	Exit Pressure	Entry/Exit Diff	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss	Fittings Loss	Component Loss	Flow Control Loss	Pump Head (+)	Pump NPSHr	Pump NPSHa	Pump Efficiency
	psi.g	psi.g				ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd (absolute)	Percentage
1	57,809	0,532	4324985	Turbulent	0,014	1,28	none	none	none	none	none	none	none
2	2405,235	-2347,426	1473902	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5628,721	24,298	144,35	77,74
3	57,163	0,645	2851083	Turbulent	0,014	1,55	none	none	none	none	none	none	none
4	2405,213	-2348,049	1377910	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5630,197	22,823	142,81	77,48
5	56,988	0,176	1473173	Turbulent	0,015	0,42	none	none	none	none	none	none	none
6	2405,135	-2348,147	1473173	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5630,450	24,294	142,38	77,74
7	2405,213	0,022	977694	Turbulent	0,014	0,05	none	none	none	none	none	none	none
8	2405,135	0,078	1891713	Turbulent	0,013	0,19	none	none	none	none	none	none	none
9	2404,315	0,819	2868923	Turbulent	0,013	0,74	1,23	none	none	none	none	none	none
10	2400,000	4,315	2868923	Turbulent	0,013	8,08	2,27	none	none	none	none	none	none

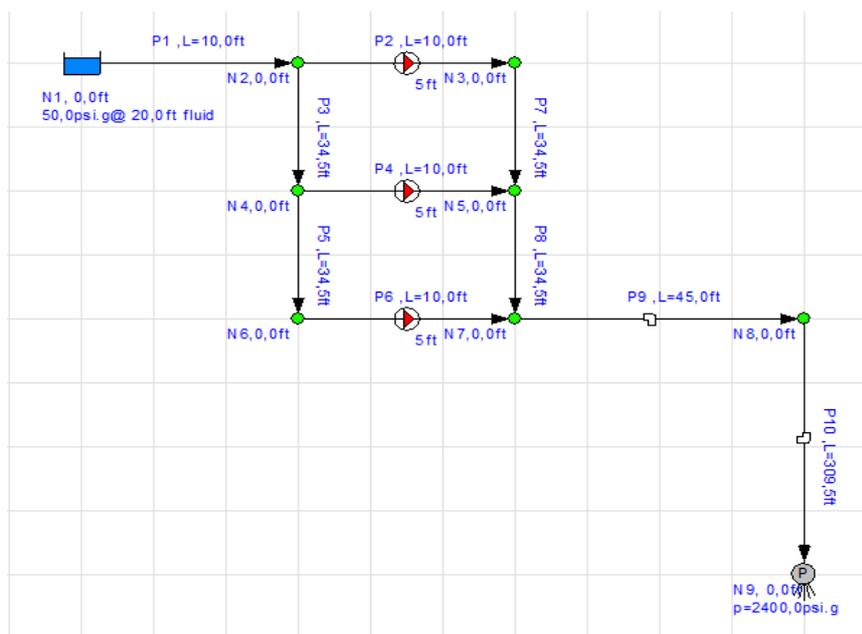
Figura 6.15 Solución del cabezal1, resultados (número de Reynolds, pérdidas)

**Tabla 6.6** Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 1 calculadas en la simulación

<b>Pérdidas del cabezal 1 ( Simulación)</b>	
<b>Pérdidas por fricción</b>	<b>Pérdidas menores</b>
0,05	1,23
0,19	2,27
0,74	
8,08	
9,06	3,5
<b>Pérdidas totales (pies de agua)</b>	<b>12,56</b>

## Cabezal 2.-

En la figura 6.16 se observa el diagrama unifilar del primer cabezal formado por las bombas P-285, P-290 y P-300, además de las líneas de tubería con sus respectivas longitudes diseñado en el programa Pipe Flow.



**Figura 6.16** Diseño del cabezal2 en Pipe flow Expert

En las figuras 6.17 y 6.18 se ilustra la interfaz que presenta el Software para ingresar los accesorios de tubería estandarizados que se ubican el todo el recorrido de la tubería del cabezal 2 del sistema de reinyección implantado la solución óptima.

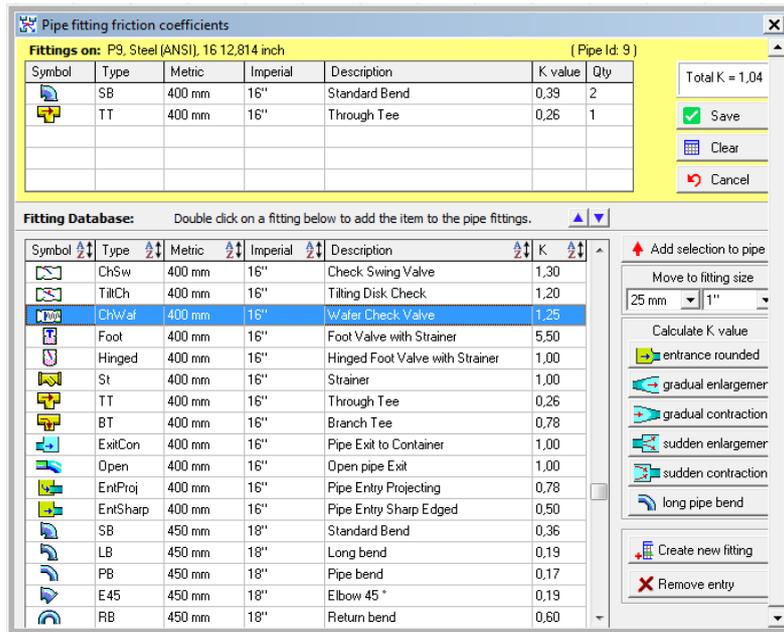


Figura 6.17 Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal2

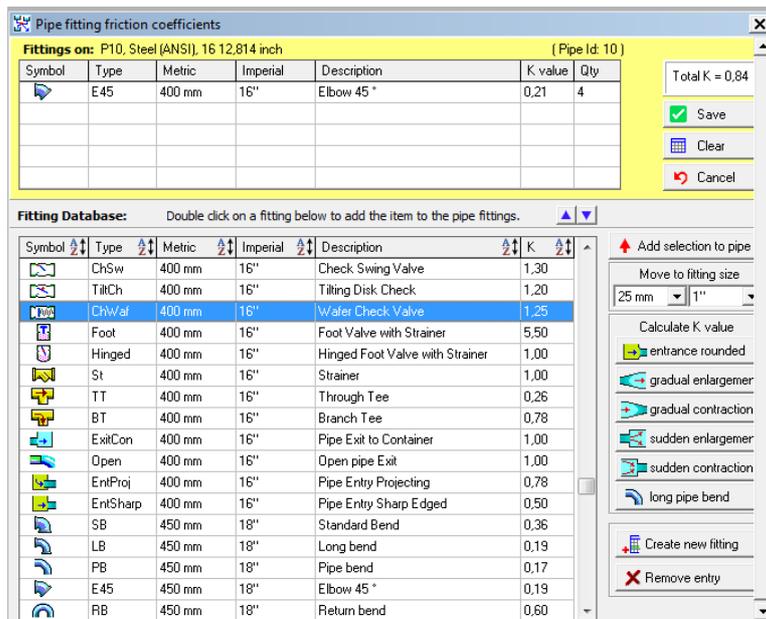


Figura 6.18 Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal2

En la figura 6.19 se ilustran los resultados que genera el software y en la tabla 6.7 se resumen las pérdidas de energía en el tramo competente al cabezal 2 del sistema implantado la solución óptima.

Pipe Id	Exit Pressure psi.g	Entry/Exit Diff psi.g	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss ft.hd	Fittings Loss ft.hd	Component Loss ft.hd	Flow Control Loss ft.hd	Pump Head (+) ft.hd	Pump NPSHr ft.hd	Pump NPSHa ft.hd (absolute)	Pump Efficiency Percentage
1	57,808	0,534	4330399	Turbulent	0,014	1,28	none	none	none	none	none	none	none
2	2403,379	-2345,572	1475777	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5624,276	24,309	144,35	77,75
3	57,001	0,806	2854622	Turbulent	0,014	1,93	none	none	none	none	none	none	none
4	2403,352	-2346,351	1379755	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5626,125	22,833	142,42	77,48
5	56,781	0,220	1474866	Turbulent	0,015	0,53	none	none	none	none	none	none	none
6	2403,254	-2346,473	1474866	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5626,436	24,304	141,89	77,75
7	2403,352	0,027	978938	Turbulent	0,014	0,07	none	none	none	none	none	none	none
8	2403,254	0,098	1894180	Turbulent	0,013	0,24	none	none	none	none	none	none	none
9	2402,426	0,828	2872514	Turbulent	0,013	0,69	1,29	none	none	none	none	none	none
10	2400,000	2,426	2872514	Turbulent	0,013	4,77	1,04	none	none	none	none	none	none

**Figura 6.19** Solución del cabezal2, resultados (número de Reynolds, pérdidas)

**Tabla 6.7** Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 2 calculadas en la simulación

<b>Pérdidas del cabezal 2 ( Simulación)</b>	
<b>Pérdidas por fricción</b>	<b>Pérdidas menores</b>
0,07	1,29
0,24	1,04
0,69	
4,77	
<b>5,77</b>	<b>2,33</b>
<b>Pérdidas totales (pies de agua)</b>	<b>8,1</b>

### Cabezal 3.-

En la figura 6.20 se observa el diagrama unifilar del primer cabezal formado por las bombas P-300, P-305 y P-310, además de las líneas de tubería con sus respectivas longitudes diseñado en el programa Pipe Flow.

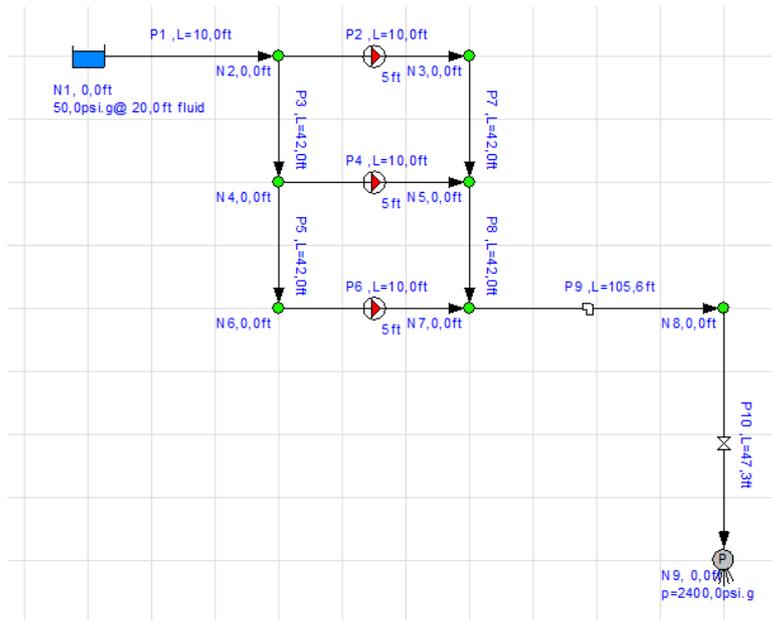


Figura 6.20 Diseño del cabezal 3 en Pipe flow Expert

En las figuras 6.21 y 6.22 se ilustra la interfaz que presenta el Software para ingresar los accesorios de tubería estandarizados que se ubican el todo el recorrido de la tubería del cabezal 3 del sistema de reinyección implantado la solución óptima.

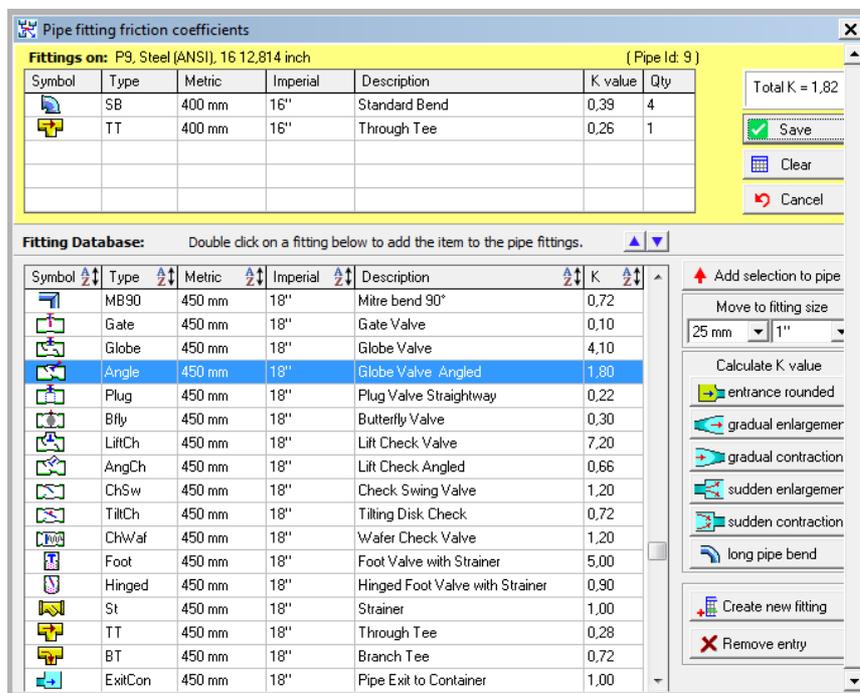
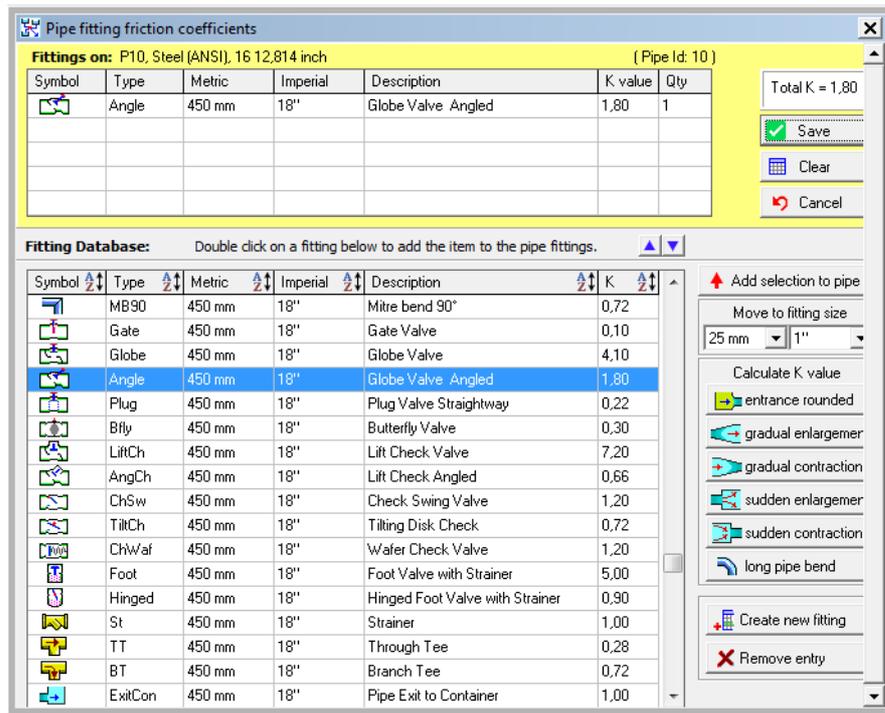


Figura 6.21 Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 3



**Figura 6.22** Ubicación de accesorios de tubería a lo largo del cabezal 3

En la figura 6.23 se ilustran los resultados que genera el software y en la tabla 6.8 se resumen las pérdidas de energía en el tramo competente al cabezal 3 del sistema implantado la solución óptima.

Pipe Id	Exit Pressure	Entry/Exit Diff	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss	Fittings Loss	Component Loss	Flow Control Loss	Pump Head (+)	Pump NPSHr	Pump NPSHa	Pump Efficiency
	psi.g	psi.g				ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd	ft.hd (absolute)	Percentage
1	57,807	0,534	4331158	Turbulent	0,014	1,28	none	none	none	none	none	none	none
2	2403,012	-2345,204	1476148	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5623,395	24,311	144,35	77,75
3	56,825	0,982	2855010	Turbulent	0,014	2,35	none	none	none	none	none	none	none
4	2402,979	-2346,153	1379970	Turbulent	0,015	0,13	none	none	none	5625,651	22,835	142,00	77,48
5	56,558	0,268	1475039	Turbulent	0,015	0,64	none	none	none	none	none	none	none
6	2402,859	-2346,301	1475039	Turbulent	0,015	0,15	none	none	none	5626,025	24,305	141,35	77,75
7	2402,979	0,033	979184	Turbulent	0,014	0,08	none	none	none	none	none	none	none
8	2402,859	0,119	1894569	Turbulent	0,013	0,29	none	none	none	none	none	none	none
9	2401,237	1,623	2873017	Turbulent	0,013	1,63	2,26	none	none	none	none	none	none
10	2400,000	1,237	2873017	Turbulent	0,013	0,73	2,24	none	none	none	none	none	none

**Figura 6.23** Solución del cabezal3, resultados (número de Reynolds, pérdidas)

**Tabla 6.8** Resumen de Pérdidas de energía del cabezal 3  
calculadas en la simulación

<b>Pérdidas del cabezal 3</b>	
<b>Pérdidas por fricción</b>	<b>Pérdidas menores</b>
0,08	2,26
0,29	2,24
1,63	
0,73	
2,73	4,5
<b>Pérdidas totales (pies de agua)</b>	<b>7,23</b>

El promedio de pérdidas de energía en el sistema implantado la solución obtenido mediante la simulación es de 9,3 pies de agua, esto se determina con el promedio del resultado de pérdidas del cabezal 1, cabezal 2 y cabezal 3.

#### **6.1.4. Cálculo de pérdidas**

##### **6.1.4.1. Pérdidas en el cabezal 1**

Este cabezal está compuesto por la tubería de descarga común entre las bombas centrífugas horizontales P-270, P-275 y P-280 hasta la tubería donde parten los ramales de tubería en los que se encuentran las válvulas de control de caudal en porcentaje B-01, B-02, B-03 y por consecuencia dirigen el agua de formación hacia los pozos reinyectores B1, B10, B-9.

**Tabla 6.9** Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal 1 del sistema implantado la solución óptima

<b>CÁLCULO DE PERDIDAS EN TUBERIA 16" SCH 160</b>		
<b>DATOS:</b>	Diámetro interno (plg)	12.8
	Caudal (GPM)	3000
	Temperatura del agua (F)	200.0
	Densidad del Líquido (slug/pie <sup>3</sup> )	1.9
	Viscosidad dinámica (lb-s/pie <sup>2</sup> )	0.0
	II	3.1
	Longitud recorrida por el agua (pies)	503.958
	Gravedad (pies/s <sup>2</sup> )	32.2
	Factor de fricción de tubería de acero	0.013
	Resistencia de codos a 90° expresada en Le/D	30
	Número de codos a 90° en la línea	4

Resistencia de codos a 45° expresada en Le/D	16
Número de codos a 45° en la línea	6
Resistencia de una Te estándar con flujo directo Le/D	20
Número de Tes. en la línea	1
Resistencia de una válvula de bola expresada en Le/D	150
Número válvulas de bola en la línea en la línea	0

<b>RESULTADOS:</b>	Área (plg <sup>2</sup> )	129.2
	Velocidad del líquido (pie/s)	7.4
	Número de Reynolds (adimensional)	28577833.1
	Factor de fricción (adimensional)	0.0
	<b>Pérdidas por Fricción (h<sub>f1</sub>)</b>	4.882
	Coeficiente de resistencia K1	0.4
	Coeficiente de resistencia K2	0.2
	Coeficiente de resistencia K3	0.3
	Coeficiente de resistencia K4	2.0
	<b>Pérdidas menores (h<sub>f2</sub>)</b>	
	Pérdidas Menores por codo a 90°	0.34
	Pérdidas Menores por codo a 45	0.18
	Pérdidas Menores por Te estándar con flujo directo	0.22
	Pérdidas Menores por válvulas de bola en la línea	1.68
	<b>Pérdidas Totales en la línea de tubería (h<sub>f1</sub>+h<sub>f2</sub>)</b>	7.53

#### 6.1.4.2. Pérdidas en el cabezal 2

Este cabezal está compuesto por la tubería de descarga común entre las bombas centrifugas horizontales P-285, P-290, P-295 hasta la tubería donde parten los ramales de tubería en los que se encuentran las válvulas de control de caudal en porcentaje B-08, B-07 y por consecuencia dirigen el agua de formación hacia los pozos reinyectores B-8, B-7.

**Tabla 6.10** Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal2 del sistema implantado la solución optima.

<b>CÁLCULO DE PERDIDAS EN TUBERIA 16" SCH 160</b>		
<b>DATOS:</b>	Diámetro interno (plg)	12.8
	Caudal (GPM)	3000
	Temperatura del agua (F)	200.0
	Densidad del Líquido (slug/pie <sup>3</sup> )	1.9
	Viscosidad dinámica (lb-s/pie <sup>2</sup> )	0.0
	Π	3.1
	Longitud recorrida por el agua (pies)	357.566
	Gravedad (pies/s <sup>2</sup> )	32.2

Factor de fricción de tubería de acero	0.013
Resistencia de codos a 90° expresada en Le/D	30
Número de codos a 90° en la línea	6
Resistencia de codos a 45° expresada en Le/D	16
Número de codos a 45° en la línea	0
Resistencia de una Te estándar con flujo directo Le/D	20
Número de Tes. en la línea	1
Resistencia de una válvula de bola expresada en Le/D	150
Número válvulas de bola en la línea en la línea	0

<b>RESULTADOS:</b>	Área (plg <sup>2</sup> )	129.2
	Velocidad del líquido (pie/s)	7.4
	Número de Reynolds (adimensional)	28577833.1
	Factor de fricción (adimensional)	0.0
	<b>Pérdidas por Fricción (h<sub>f1</sub>)</b>	3.464
	Coeficiente de resistencia K1	0.4
	Coeficiente de resistencia K2	0.2
	Coeficiente de resistencia K3	0.3
	Coeficiente de resistencia K4	2.0
	<b>Perdidas menores (h<sub>f2</sub>)</b>	
	Perdidas Menores por codo a 90°	0.34
	Perdidas Menores por codo a 45	0.18
	Perdidas Menores por Te estándar con flujo directo	0.22
	Perdidas Menores por válvulas de bola en la línea	1.68
	<b>Perdidas Totales en la línea de tubería (h<sub>f1</sub>+h<sub>f2</sub>)</b>	5.71

### 6.1.4.3. Pérdidas en el cabezal 3

Este cabezal está compuesto por la tubería de descarga común entre las bombas centrifugas horizontales P-300, P-305, P-310, hasta la tubería donde parten los ramales de tubería en los que se encuentran las válvulas de control de caudal en porcentaje B-05, B-06 y por consecuencia dirigen el agua de formación hacia los pozos reinyectores B-5 y B-6.

**Tabla 6.11** Hoja de cálculo de pérdidas del Cabezal 3 del sistema implantado la solución óptima.

CÁLCULO DE PERDIDAS EN TUBERIA 16" SCH 160		
<b>DATOS:</b>	Diámetro interno (plg)	12.8
	Caudal (GPM)	3000
	Temperatura del agua (F)	200.0
	Densidad del Líquido (slug/pie <sup>3</sup> )	1.9
	Viscosidad dinámica (lb-s/pie <sup>2</sup> )	0.0

Π	3.1
Longitud recorrida por el agua (pies)	332.110
Gravedad (pies/s <sup>2</sup> )	32.2
Factor de fricción de tubería de acero	0.013
Resistencia de codos a 90° expresada en Le/D	30
Número de codos a 90° en la línea	4
Resistencia de codos a 45° expresada en Le/D	16
Número de codos a 45° en la línea	0
Resistencia de una Te estándar con flujo directo Le/D	20
Número de Tes. en la línea	0
Resistencia de una válvula de bola expresada en Le/D	150
Número válvulas de bola en la línea en la línea	1

<b>RESULTADOS:</b>	Área (plg <sup>2</sup> )	129.2
	Velocidad del líquido (pie/s)	7.4
	Número de Reynolds (adimensional)	28577833.1
	Factor de fricción (adimensional)	0.0
	<b>Pérdidas por Fricción (h<sub>f1</sub>)</b>	3.217
	Coeficiente de resistencia K1	0.4
	Coeficiente de resistencia K2	0.2
	Coeficiente de resistencia K3	0.3
	Coeficiente de resistencia K4	2.0
	<b>Pérdidas menores (h<sub>f2</sub>)</b>	
	Pérdidas Menores por codo a 90°	0.34
	Pérdidas Menores por codo a 45	0.18
	Pérdidas Menores por Te estándar con flujo directo	0.22
	Pérdidas Menores por válvulas de bola en la línea	1.68
	<b>Pérdidas Totales en la línea de tubería (h<sub>f1</sub>+h<sub>f2</sub>)</b>	6.25

A continuación se presentan las pérdidas que se tiene en el sistema implantando el nuevo diseño de tubería en un cuadro de resumen.

**Tabla 6.12** Resumen de pérdidas en el sistema implantado la solución

Cabezal1 (pies)	7.53
Cabezal 2 (pies)	5.71
Cabezal 3 (pies)	6.25
<b>Promedio de pérdidas calculadas de Energía en el sistema implantado el diseño de tubería (pies de agua)</b>	<b>6.49</b>

Ejemplo de cálculo:

## CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL SISTEMA CON LA SOLUCION OP.

### CABEZAL 3

### CÁLCULO DEL TIPO DE FLUJO

**Diámetro interior de la tubería de 16" SCH 160 (Di).-**

$$Di := 12.824 \text{ plg}$$

**Área (A).-**

$$A := \pi \cdot \left( \frac{Di}{2} \right)^2 = 129.163 \text{ plg}^2$$

**Caudal (Q).-**

$$Q := 3000 \text{ (GPM ) Tres bombas trabajando en el B.E.P.}$$

**Velocidad del fluido (v).-**

$$v := \frac{Q}{\left( \frac{A}{12^2} \right)} \cdot \frac{1}{449} = 7.449 \left( \frac{\text{pie}}{\text{s}} \right)$$

Robert Moot pág. 165

**Temperatura del Agua (Ta).-**

$$Ta := 200 \text{ (F)}$$

**Densidad del líquido.-**

$$\rho := 1.87 \left( \frac{\text{slug}}{\text{pie}^3} \right)$$

Robert Moot Apéndice B

**Viscosidad dinámica ( $\eta$ ).-**

$$\eta := 0.0000062 \left( \frac{\text{lb} \cdot \text{s}}{\text{pie}^2} \right)$$

Robert Moot Apéndice B

**Viscosidad Cinemática (v).-**

$$\nu := 0.0000033 \left( \frac{\text{pie}^2}{\text{s}} \right)$$

Robert Moot Apéndice B

### NÚMERO DE REYNOLDS

$$Nr := \frac{v \cdot Di \cdot \rho}{\eta} = 2.858 \times 10^7 \quad \text{Flujo turbulento}$$

$$Nr1 := \frac{v \cdot Di}{\nu} = 2.852 \times 10^7 \quad \text{Flujo turbulento}$$

## PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

### Factor de fricción (f):

$$f := 0.012 \quad (\text{adimensional})$$

Robert Mott pág. 234 ecuación 8-5

### Longitud recorrida por el agua (Longrec).-

$$\text{Longrec} := 332.11 \quad (\text{pies})$$

### Gravedad (g).-

$$g := 32.1522 \quad \left( \frac{\text{pie}}{\text{s}} \right)$$

Robert Mott pág. 237 Diagrama de Moody

### Ecuación de Darcy para calcular las pérdidas de energía (h1).-

$$h1 := f \cdot \frac{\text{Longrec}}{\left( \frac{Di}{12} \right)} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 3.218 \quad (\text{pies})$$

## PÉRDIDAS MENORES (h2).-

### Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial (ft).-

$$ft := 0.013$$

Robert Mott tabla 10.5 (diámetro nominal 16')

### Resistencia de accesorios de tubería, expresada en longitud equivalente en diámetros de tubería (Le/D).-

$$R1 := 30 \quad (\text{adimensional})$$

Robert Mott tabla 10.4 (codos estándar a 90°)

$$R2 := 150 \quad (\text{adimensional})$$

Robert Mott tabla 10.4 (Válvula de bola)

### Coefficiente de resistencia.-

$$K1 := ft \cdot R1 = 0.39$$

Robert Mott pág. 296 ecuación 10-8

$$K2 := ft \cdot R2 = 1.95$$

### Ecuación de pérdidas menores.-

$$h121 := K1 \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) = 0.337 \quad (\text{pies})$$

Robert Mott pág. 296 ecuación 10-8

$$h122 := K2 \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) = 1.683 \quad (\text{pies})$$

## PÉRDIDA DE ENERGÍA EN EL CABEZAL 2:

$$HT := 4 \cdot h_{l21} + h_{l22} + h_{l1} = 6.247 \quad (\text{pies})$$

### 6.2. Valoración de metas de porcentaje de presión y caudal

Los resultados que se obtienen de la simulación y de los cálculos se presentan en la tabla 6.13, como se observa existe una diferencia menor al 10 % entre la ganancia de energía obtenida en la simulación y en los cálculos en el cabezal 2 y el cabezal 3, de esta manera se determina que por ser pérdidas menores a 1 PSI con respecto a presión de inyección que es de 2400 PSI este porcentaje de error que tiene el cálculo de pérdidas de energía o a su vez lo resultados que presenta el software es despreciable.

Además el cabezal 1 al tener el mismo recorrido y el mismo grupo de bombas trabajando en el sistema actual como en el sistema implantado la solución se tiene ganancia de energía únicamente en el cabezal 2 y en el cabezal 3 del sistema implantado la solución.

**Tabla 6.13** Resumen de resultados de la simulación y de las hojas de cálculo

	Pérdidas de energía en el sistema actual H1 (Pies de agua)	Pérdidas de energía en el sistema implantado la solución H2 (Pies de agua)	Ganancia de energía en el cabezal 2 (H1-H2) (Pies de Agua)	Ganancia de energía en el cabezal 3 (H1-H2) (Pies de Agua)	Error de la simulación con respecto a los cálculos (%)
<b>Simulación</b>					
Cabezal 1	12,6	12,6			
Cabezal 2	27,9	8,1	19,8		
Cabezal 3		7,2		20,7	
<b>Cálculos</b>					2,7
Cabezal 1	7,5	7,5			9,4
Cabezal 2	25,0	5,7	19,3		
Cabezal 3		6,3		18,7	

La ganancia de presión para el sistema que se obtiene implantando la solución óptima es de aproximadamente 10 PSI para el cabezal 2 como también para el cabezal 3.

Con respecto al caudal la implementación de la solución óptima se prevé tener una ganancia considerable ya que el diseño actual del cabezal común de succión y descarga no fue diseñado para el número de bombas centrífugas Horizontales (Disposal) que se tiene en la actualidad ya que a medida que se presentaba la necesidad de reinyectar una mayor cantidad de agua de formación se insertaba una bomba mas al conjunto ya existente de esta manera existen bombas que tienen mayor tiempo de uso que otras, como lo demuestran las curvas reales de operación en la Sección 3.5.4.1.

En la actualidad existen dos grupos de bombas definidos por su cabezal independiente de descarga (Ver figura 6.1), pero en la sección 3.7.1 se describe el mal funcionamiento que tiene la válvula VLV-261 y con este antecedente se concluye que las nueve bombas comparten el cabezal de tanto el de descarga como también el de succión, de esta manera se crea una competencia desleal entre las nueve bombas en el cabezal de succión ya que al crear mayor turbulencia en la descarga de las bombas ubicadas a lo largo del recorrido que toma el agua de formación (P-310, P-305, P-300, P-295, P-290, P285) impulsa a estas a trabajar más, lo que no permite que las bombas que se encuentran con mayor desgaste internos (P-270, P-275, P-280) y mas años de uso se desarrollen en toda su capacidad y en conclusión disminuir la capacidad total del sistema.

Además por experiencia de los operadores de planta que las 24 horas del día trabajan por mantener los niveles de reinyección y el departamento Mantenimiento Mecánico el mismo que realiza estudios, lleva un registro del desempeño y además posee un plan de mantenimiento de todos los equipos rotativos de la planta EPF, recomiendan la separación del cabezal de descarga de las bombas en grupos de tres con iguales condiciones. Los caudales meta que se estima obtener por cada bomba centrífuga horizontal se presentan en la tabla 6.14.

**Tabla 6.14** Capacidad estimada del sistema de reinyección implantado la solución

	<b>Q descarga Meta</b>	
	(BPD)	(GPM)
<b>P-270</b>	29142,86	850
<b>P-275</b>	29142,86	850
<b>P-280</b>	29142,86	850
<b>P-285</b>	34285,71	1000
<b>P-290</b>	34285,71	1000
<b>P-295</b>	34285,71	1000
<b>P-300</b>	34285,71	1000
<b>P-305</b>	34285,71	1000
<b>P-310</b>	34285,71	1000
<b>Caudal total</b>	293142,8	8550

En la tabla 6.15 se presentan los caudales generados por las nueve bombas centrífugas horizontales que operan en el sistema de reinyección.

**Tabla 6.15** Capacidad del sistema de reinyección actual

	<b>Q descarga Actual</b>	
	(BPD)	(GPM)
<b>P-270</b>	20800	606,7
<b>P-275</b>	23900	697,7
<b>P-280</b>	24700	720,4
<b>P-285</b>	32650	952,3
<b>P-290</b>	33900	988,7
<b>P-295</b>	33800	985,8
<b>P-300</b>	25850	753,9
<b>P-305</b>	31600	921,7
<b>P-310</b>	34700	1012,1
<b>Caudal total</b>	261900	7639,3

Comparando el caudal total de la tabla 6.14 y 6.15 se obtiene ganancia de 31242.9 BPD del sistema implantado la solución con respecto al sistema

actual, además esta ganancia de caudal de inyección diaria es aplicable ya que los pozos reinyectores tienen una capacidad de 303000 BPD como se indica en la sección 3.9.

En conclusión la ganancia en porcentaje de presión y caudal que obtiene el sistema al ser implantado la solución se presenta en la tabla 6.16.

**Tabla 6.16** Metas de porcentaje de la implementación de la solución

	<b>Caudal (BPD)</b>	<b>Presión (PSI)</b>
<b>Sistema Actual</b>	261900	2400
<b>Sistema Implantado la solución</b>	293142,8	2410
<b>% Meta</b>	11	0,4

## CAPÍTULO 7

### ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

#### 7.1. Flujos presupuestados

Para obtener los flujos presupuestados es necesario calcular la inversión necesaria para la implementación del proyecto, los ingresos anuales, los egresos anuales y los impuestos que impone el estado ecuatoriano.

**Tabla 7.1** Costos de Materia prima del proyecto

<b>Costo de la Materia Prima</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/unidad</b>	<b>Costo total</b>
<b>1</b>	Brida 1500 Weld Neck, Ø 16" ASTM-A105	50	2.406,00	120.300,00
<b>2</b>	Esparrago ASTM A-193, Ø2 3/4", L= 18", Lg= 20 3/4	512	6,10	3.123,20
<b>3</b>	Empaque tipo O Ring, Acero inoxidable	32	142,50	4.560,00
<b>4</b>	Electrodo E7018 (Kilogramos)	32	7,98	255,36
<b>5</b>	Tuerca ASTM A-194 GR 2H, Ø 2 3/4"	1024	1,20	1.228,80
<b>6</b>	Codo de 90°, Ø 16", Radio largo, ASTM A106 Gr B	7	1.860,02	13.020,14
<b>7</b>	Codo de 90°, Ø 10", radio largo, ASTM A106 Gr B	5	523,50	2.617,50
<b>8</b>	Te recta, SCH 160, ASTM A106 Gr B	1	2.050,00	2.050,00
<b>9</b>	Perfil estructural IPE 200 ASTM A-36, 6 m	1	391,50	391,50
<b>10</b>	Perfil estructural IPE 100 ASTM A-36, 6m	2	339,30	678,60
<b>11</b>	Placa e=5mm, ASTM A-36, 300x300	14	27,32	382,48
<b>12</b>	Pernos de anclaje Tipo HILTI, L=180mm,Ø30mm	28	13,63	381,64
<b>13</b>	Tubería Ø16", SCH160, L=12m, ASTM A106 Gr B, revestimiento interno Plasite 7159	9	11.150,50	100.354,50
<b>14</b>	Tubería Ø16", SCH 160, L=6m, ASTM A106 Gr B, revestimiento interno Plasite 7159	2	5.575,23	11.150,46
<b>15</b>	Tubería Ø10", SCH 160, L=6m, ASTM A106 Gr B, revestimiento interno Plasite 7159	1	2.572,24	2.572,24

<b>16</b>	Losa de hormigón 215x900x300, 50 MPa de resistencia a la compresión	5	41,77	208,85
<b>17</b>	Losa de hormigón 190x1200x500, 50 MPa de resistencia a la compresión	2	83,55	167,10
<b>18</b>	Losa de hormigón que cubre a la tubería enterrada tramo1, 50 MPa de resistencia a la compresión	1	1.503,86	1.503,86
<b>19</b>	Losa de hormigón que cubre a la tubería enterrada tramo2, 50 MPa de resistencia a la compresión	1	3.091,10	3.091,10
<b>20</b>	Pintura Carbothane 134 HG (kit 5 galones)	10	592,39	5.923,90
<b>Costo Total 1</b>				273961,23

**Tabla 7.2** Costos de Materia de Prefabricación, Instalación, Desmontaje y Montaje

<b>Costo de Prefabricación, Instalación, Desmontaje y Montaje</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/unidad</b>	<b>Costo total</b>
<b>1</b>	Prefabricación Tubería de acero internamente revestida de Ø16" SCH 160	39	2.451,34	95.602,26
<b>2</b>	Prefabricación Tubería de acero internamente revestida de Ø10" SCH 160	7	1.098,12	7.686,84
<b>3</b>	Instalación y Montaje de tubería enterrada revestida internamente Ø16" SCH 160	4.476	8,83	39.522,37
<b>4</b>	Instalación y Montaje de Tubería aérea Ø16" SCH 160	4.590	7,23	33.183,02
<b>5</b>	Soldadura de juntas de campo de Tubería de Ø10" SCH 160	62	40,93	2.522,93
<b>6</b>	Desmontaje y desinstalación de spools prefabricados Ø16" SCH 160	1.002	8,42	8.440,04
<b>7</b>	Instalación de válvula bridada ANSI 1500	136	15,14	2.060,55
<b>8</b>	Sand blasting y aplicación de pintura primera aplicación ( $m^2$ )	49	42,70	2.082,39
<b>9</b>	Sand blasting y aplicación de pintura, segunda y tercera aplicación ( $m^2$ )	49	31,88	1.554,72
<b>Costo total 2</b>				192.655,1

La inversión que se tiene que realizar al proyecto es:

**Tabla 7.3 Inversión del proyecto**

<b>Inversión (Costo Total1 + Costo Total 2)</b>	<b>466.616,36</b>
---	-------------------

**Tabla 7.4 Ingresos de EPF**

<b>Ingresos Anuales generados por la implementación del proyecto</b>	
Ganancia de inyección diaria (BPD)	31.242,90
BSW	83,50
Porcentaje de crudo	16,50
Proyección de Producción de Crudo (BPD)	6.173,75
Precio de crudo Junio 2010 (www.petroamazona.ec)	65,75
Ingresos Diarios	405.923,85
Ingresos Anuales 1	146.132.584,54
<b>Resumen de Ingreso Anuales EPF</b>	
Producción de crudo Diaria EPF	53.000,00
Precio del crudo Junio 2010 (www.petroamazona.ec)	65,75
Ingresos Diarios	3.484.750,00
Ingresos Anuales 2	1.254.510.000,00
<b>Ingresos Anuales Totales (Ingresos Anuales 1 + Ingresos Anuales 2)</b>	<b>1.400.642.584,54</b>

**Tabla 7.5 Egresos de EPF**

<b>Resumen de Egresos (Operación, Producción, Administrativo) (Ver Anexo 8)</b>	
Producción diaria	59.173,75
Costos Variables/barril	0,61
Costos Variables totales/día	36095,98
Costos Fijos/barril	4,54
Costos fijos totales/día	268648,81
Costo total de Producción diario	304744,79
Costo de Producción Anual	109.708.126,39

La inversión del proyecto se financia con recursos propios de la empresa y esta se divide para cuatro años con porcentajes de sesenta, veinte, para los dos primeros años y diez por ciento de la inversión para los dos últimos años a continuación en la tabla 7.6 se presentan los flujos presupuestados.

**Tabla 7.6** Flujos Presupuestados

<b>FLUJOS PRESUPUESTADOS</b>						
<b>Descripción</b>	<b>Años</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
(+) Ingresos	1254.510.000,00	1400.642.584,54	1400.642.584,54	1400.642.584,54	1400.642.584,54	
(-) Egresos	1097.08126,39	1097.08126,39	1097.08126,39	1097.08126,39	1097.08126,39	
(=) <b>Utilidad antes del impuesto a la renta</b>	1144.801.873,61	1290.934.458,15	1290.934.458,15	1290.934.458,15	1290934458,15	
(-) 1% Impuesto a la renta (Ley Especial)	11.448018,74	12.909344,58	12.909344,58	12.909344,58	12.909344,58	
(=) <b>Utilidad después del impuesto a la renta</b>	1133.353.854,87	1278.025113,57	1278.025113,57	1278.025113,57	1278.025113,57	
(-) Inversión	279.969,82	93.323,27	46.661,64	46.661,64		
(=) <b>FLUJO</b>	1133.073.885,05	1277.931.790,30	1277.978.451,93	1277.978.451,93	1278.025.113,57	

## 7.2. Análisis costo / beneficio

La relación que existe entre los beneficios que proporciona la implementación del proyecto y el costo que el mismo tiene es:

**Tabla 7.7** Relación Beneficio/Costo

<b>RELACIÓN BENEFICIO /COSTO</b>		
	<b>Ingresos</b>	<b>Egresos</b>
<b>1</b>	1254.510.000,00	109.988.096,21
<b>2</b>	1400.642.584,54	109.801.449,67
<b>3</b>	1400.642.584,54	109.754.788,03
<b>4</b>	1400.642.584,54	109.754.788,03
<b>5</b>	1400.642.584,54	109.708.126,39
<b>Σ=</b>	6857.080.338,18	549.007248,33
<b>B/C</b>	12,49	

La relación que existe entre los beneficios y los costos son mayor a uno de esta manera se justifica económicamente la implementación del proyecto.

## 7.3. VAN

El valor actual neto como se observa en la tabla 7.8 es mayor que cero, esto determina que la riqueza de la empresa aumentara con la implementación del proyecto, además las ganancias superaran a la rentabilidad que se tendría con el mismo monto en una inversión que genera una tasa de interés del 15% anual.

$$VAN = \sum \frac{Fn}{(1 + i)^n}$$

**Tabla 7.8** Valor actual Neto

VAN		
AÑO	FLUJO	VAN(0.15)
1	1.133.073.885,05	985.281.639,18
2	1.277.931.790,30	966.300.030,47
3	1.277.978.451,93	840.291.576,84
4	1.277.978.451,93	730.688.327,69
5	1.278.025.113,57	635.404.353,59
	$\Sigma=$	4.157.965.927,78

#### **7.4. TIR**

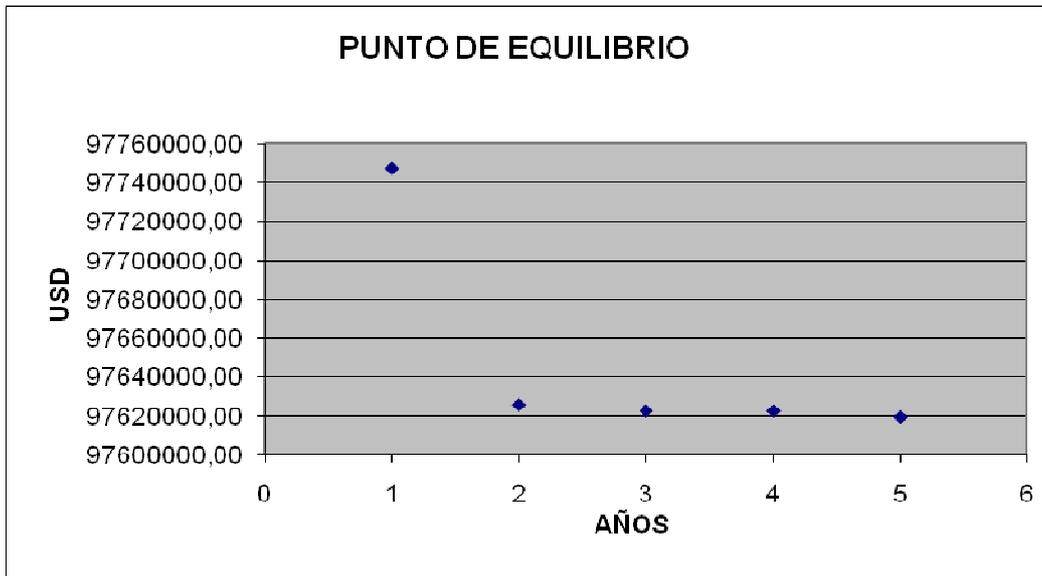
Para calcular la TIR es necesario que el VAN sea cero, en el caso particular del presente proyecto los cálculos realizados para el VAN son positivos y no tiene caso calcular la TIR (Tasa interna de retorno) pues esta tenderá a ser infinita. Esto se presenta porque EPF (facilidades de producción Edén) ya posee un sistema de reinyección y lo que se trata es de realizar una inversión para mejorarlo, más no la implantación de un nuevo sistema de reinyección.

#### **7.5. Punto de equilibrio**

El punto de equilibrio en este caso será tomado en función del dinero a lo largo del periodo de trabajo. Con los resultados presentados en la tabla 7.9 y en la figura 7.1 se determina la cantidad de barriles de crudo traducidos en dinero que anualmente debe ser vendida para solventar el proyecto y a partir del primer dólar que se gane después de este valor será la ganancia neta para la empresa.

**Tabla 7.9** Punto de equilibrio expresado en dinero

<b>PUNTO DE EQUILIBRIO</b>					
<b>AÑO</b>	<b>EGRESOS</b>	<b>COSTO FIJO</b>	<b>COSTO VARIABLE</b>	<b>INGRESOS</b>	<b>Pe</b>
<b>1</b>	109.988.096,21	96.713.571,62	13.274.524,59	1254.510.000,00	97.747.885,18
<b>2</b>	109.801.449,67	96.713.571,62	13.087.878,05	1400.642.584,54	97.625.806,23
<b>3</b>	109.754.788,03	96.713.571,62	13.041.216,41	1400.642.584,54	9.7622.523,31
<b>4</b>	109.754.788,03	96.713.571,62	13.041.216,41	1400.642.584,54	97.622.523,31
<b>5</b>	109.708.126,39	96.713.571,62	129.945.54,78	1400.642.584,54	97.619.240,62



**Figura 7.1** Punto de equilibrio expresado en dinero

El primer año se debe vender a un valor de \$65,75 la cantidad de 1485003 barriles a partir del siguiente barril empieza la ganancia neta para la empresa en la tabla 7.10 se detalla el punto de equilibrio para cada año expresado en barriles.

**Tabla 7.10** Punto de equilibrio expresado en barriles anuales

<b>Año</b>	<b>Pe</b>	<b>Barriles Anuales (\$65,75 C/B)</b>
1	97.747.885,18	1.486.659,85
2	97.625.806,23	1.484.803,14
3	97.622.523,31	1.484.753,21
4	97.622.523,31	1.484.753,21
5	97.619.240,62	1.484.703,28

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. Conclusiones

- Con el estudio y análisis se determinó la situación actual del sistema de reinyección de agua de formación. Se concluye que el sistema tiene varias fallencias en su diseño y se detallan a continuación:
  - El sistema de recirculación que tienen las bombas centrífugas horizontales (Disposal), al poseer un diámetro de 2" es muy pequeño para el caudal manejado en la línea de descarga produciendo una gran turbulencia y lo más importante no controla el trabajo de cada bomba, función para la cual fue diseñada la línea de recirculación, en algunas bombas incluso se tiene aislada esta tubería.
  - El cabezal común de succión y descarga de las bombas centrífugas horizontales (Disposal). Esto ocasiona que exista una competencia entre las nueve bombas siendo esta es la razón por la cual existe diferencia entre el desempeño de cada bomba.
- Las adecuaciones que se han realizado al sistema de reinyección a lo largo del tiempo de vida de la planta de procesos EPF, así también como el aumento de bombas centrífugas horizontales, debido al crecimiento paulatino de la producción de agua de formación, ha ocasionado que el control del trabajo de las bombas no sea exacto y se lo realice mediante válvulas de choque las cuales fueron diseñadas para controlar el caudal de ingreso a los pozos reinyectores.
- El sistema de bombas de turbina verticales en paralelo (Booster) tiene una capacidad de bombeo 16000 GPM siendo este caudal mucho mayor al

necesario en la actualidad. Al tener tres bombas apagadas, el sistema trabaja en un 62.5% de su capacidad total, de esta manera se podría incluir al sistema seis bombas centrífugas horizontales con una capacidad de 1000 GPM, en el momento que sea necesario, pero para esto es necesario que se construyan mas pozos reinyectores y nuevas líneas de tubería que conduzcan el agua de formación a estos pozos.

- El sistema de bombas centrífugas horizontales (Disposal) trabaja con nueve bombas en un 84% de eficiencia, con respecto al mejor punto de eficiencia de cada bomba, recomendado por el fabricante que es Sulzer Pumps para mantener la vida remanente de los equipos. En la actualidad se cuenta una capacidad nominal del sistema es de 9000 GPM aproximadamente 308571 BPD.
- El parámetro fundamental para la elección de la solución que permita optimizar el caudal, la presión así como también el mejorar el control y operación del sistema, es el intervalo de tiempo de parada máximo que puede tener el sistema de reinyección, siendo este intervalo determinado por el nivel máximo de llenado de los tanques T-204 y T-205.
- La factibilidad operacional, constructiva y física depende del intervalo de tiempo máximo que se tiene para la implementación de la solución, sin contar con cualquier otro imprevisto como puede ser el mal funcionamiento de válvulas de aislamiento a lo largo del circuito de tubería del sistema.
- El diseño de la solución óptima se realizo de acuerdo a las norma ASME B31.3-2002 para el diseño de tubería y ANSI / AISC 360-05 para el diseño de soportes de tubería, además se utilizó accesorios estandarizados.
- El cálculo de pérdidas demostró que la optimización de la presión por medio de la solución diseñada es de aproximadante 10 PSI, siendo esta un 0,4% más con respecto al sistema actual, este valor se da debido a que longitud existente entre la descarga y los pozos reinyectores no se puede disminuir y las pérdidas

por fricción siempre van a ser mayoría ante las pérdidas menores generadas por los accesorios.

- Existe una diferencia menor al 10 % entre la ganancia de energía obtenidas de la simulación y de los cálculos en el cabezal 2 y el cabezal 3, de esta manera se determina que por ser pérdidas menores a 1 PSI con respecto a la presión de reinyección que es de 2400 PSI este porcentaje de error que tiene el cálculo de pérdidas de energía o a su vez lo resultados que presenta el software es despreciable.
- El cabezal 1 al tener el mismo recorrido y el mismo grupo de bombas trabajando en el sistema actual como en el sistema implantado la solución se tiene ganancia de energía únicamente en el cabezal 2 y en el cabezal 3 del sistema implantado la solución.
- Por experiencia de los operadores de planta que trabajan las 24 horas del día por mantener los niveles de reinyección y el departamento Mantenimiento Mecánico el mismo que realiza estudios, lleva un registro del desempeño y además posee un plan de mantenimiento de todos los equipos rotativos de la planta EPF, recomiendan la separación del cabezal de descarga de las bombas en grupos de tres con iguales condiciones. Además los resultados obtenidos del estudio realizado al sistema de reinyección también corroboran con la solución diseñada. Se estima que implementando la solución diseñada se incremente un 11 % el caudal de reinyección de agua de formación lo que refleja un aumento de 31242.9 BPD de la capacidad actual del sistema de reinyección.
- La recuperación de la inversión para la implementación de la solución está programada para 4 años teniendo por ingresos anuales la cantidad de 1400642000 dólares Americanos.

## 8.2. Recomendaciones

- El mantenimiento de la válvula VLV-261 debe ser realizado máximo hasta el primer trimestre del año 2011 ya no se encuentra sellando adecuadamente, permitiendo el paso del agua y de esta manera se tiene el mismo escenario que el de un cabezal común de descarga para las nueve bombas centrífugas horizontales.
- Se recomienda que en cualquier planta de procesos de petróleo se debe tener un sistema de reinyección de agua de formación, independientemente de cualquier otro tratamiento que se proporcione al agua de formación, por su bajo impacto ambiental.
- La línea de tubería diseñada se ha basado en los parámetros del agua de formación de la planta de procesos EPF, además de acuerdo a las normas ASME B31.3-2002, ANSI / AISC 360-05, Piping Class de Petroamazonas y lineamientos constructivos de la empresa. Es por esto que si se quiere implementar el mismo diseño en otro lugar se deberá tomar en cuenta la variación de los parámetros y normas anteriormente mencionadas.
- Es recomendable que los químicos que se inyectan la empresa QUMIPAC en diferentes lugares de la planta sean controlados diariamente, regular la dosis de estos de acuerdo a la necesidad, ya que si el nivel incrustante es mínimo y el índice de taponamiento es bajo, se puede mantener en buenas condiciones la integridad de la tubería además de alargar la vida útil y el nivel de inyectabilidad de los pozos reinyectores.
- Es necesario que se realice un mantenimiento externo de la tubería de todo el sistema de reinyección. Se debe realizar una limpieza por el método de chorro de arena (sandblasting) aplicar un capa de pintura especial como Carbothane 134 hg o similar a estas, por el motivo que la planta ya tiene un tiempo de vida de 8 años y a los largo de este tiempo no se ha dado este tipo de

mantenimiento, además por los antecedentes que se presentan en el estudio realizado.

- Cuando se implemente el nuevo diseño de tubería se debe realizar pruebas hidrostáticas y otras pruebas necesarias para poder determinar si factible ponerla en línea, por motivos de prevención de riesgos y seguridad.
- Es esencial realizar la limpieza de los separadores trifásicos para evitar la proliferación de bacterias y evitar la corrosión del sistema, cuando estos equipos presente una cantidad considerable de sólidos en el fondo.
- Si se implementan bombas centrífugas horizontales (Disposal) en el sistema de reinyección de agua de formación, se recomienda adquirir bombas de las mismas características a las ya existentes, ya que deben acoplarse exactamente a las mismas condiciones de trabajo que se presentan en el sistema de reinyección.



## BIBLIOGRAFÍA

- MECANICA DE FLUIDOS, Robert Mott, sexta edición, Editorial Prentice Hall.
- ESTRUCTURAS DE ACERO: comportamiento y LRFD, Sriramulu Vinnakota, Editorial MacGraw- Hill.
- RESISTENCIA DE MATERIALES, Ferdinand L. Singer, segunda edición, Editorial HARLA
- PRESSURE VESSEL HANDBOOK, 12va Ed., Eugene Megyesy.
- API 610: Bombas Centrífugas para petróleo, trabajo químico severo, industria y servicios de gas, octava edición.
- ASME B 31.3, Tubería de proceso, edición 2002.
- 2005 ANSI / AISC 360-05, Especificaciones para edificaciones de acero estructural edición 2005.
- ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR PARA TUBERÍA, VÁLVULAS Y ACCESORIOS, Petroamazonas EP, Facilidades, Ingeniería y Construcciones.

# **ANEXO 1**

**Análisis físico químico del agua de formación**

**ANALISIS FISICO-QUIMICO  
PARA POZOS INYECTORES**

Fecha :		7-Apr-10
Ingeniero :		Juan Carlos Cando
Pozo :		Inyector
Locación		EPF
Campo :		Edén-Yuturi
Na <sup>+</sup>	(mg/l)*	<b>5091</b>
Mg <sup>2+</sup>	(mg/l)	44.4
Ca <sup>2+</sup>	(mg/l)	334
Ba <sup>2+</sup>	(mg/l)	1
Hierro total	(mg/l)	3.1
Cl <sup>-</sup>	(mg/l)	7700
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(mg/l)	260
Bicarbonatos	(mg/l HCO <sub>3</sub> )	1183.4
Ácidos carboxílicos	(mg/l)	1
TDS (Calculado)	(mg/l)*	14616
TDS (Medido)	(mg/l)	
pH medido	---	6.75
CO <sub>2</sub> en agua	(mg/l)	360
H <sub>2</sub> S agua	(mg/l)	0.028
Aceite en agua	(ppm)	44
Oxígeno disuelto	(ppb)	60
Residual de inhibidor de escala	(ppm)	16
BAPD	(BAPD)	266109
Temperatura bomba Booster	(°F)	200
Temperatura de cabeza	(°F)	196
Presión bomba Booster	(psia)	56
Presión de cabeza	(psia)	2500

**TENDENCIA DEL POZO**

DESCARGA BOOSTER		
Potencial de precipitación CaCO <sub>3</sub> PTB	SI	Tendencia Incrustante
217	0.92	MODERADA

DESCARGA CABEZA		
Potencial de precipitación CaCO <sub>3</sub> PTB	SI	Tendencia Incrustante
185.0	0.71	MODERADA

# **ANEXO 2**

**Análisis de calidad del agua de formación**

# PETROAMAZONAS

## ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA DE FORMACION - PLANTA EPF

FECHA: 13-Apr-10

ANALISIS DE FILTRADO CON MILLIPORE		
PARAMETROS	UNIDAD	Pozo inyector
Volumen de Filtrado	(ml)	3000.0
Tiempo de Filtrado	(s)	298.0
Presión de Filtrado	(psi)	25.0
Tamaño del Poro del Filtro	(micrones)	0.45
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>		
Aceite en Agua	(ppm)	120.0
Presión de Descarga	(psi)	
Presión Diferencial	(psi)	
<b>DETERMINACION CUANTITATIVA DE SÓLIDOS</b>		
Aceite	(mg/l)	10.73
Carbonatos	(mg/l)	0.07
Sulfuros	(mg/l)	0.03
Insolubles en HCl	(mg/l)	0.03
TSS	(mg/l)	10.87
<b>INDICE RELATIVO DE TAPONAMIENTO</b>		
RPI		<b>11.24</b>
Observación		CUESTIONABLE

		Pozo Inyector
peso membrana ( g)		0.0901
peso membrana+crudo+sólidos (g)		0.1227
peso después lavado xileno (g)		0.0905
peso después lavado acido acet. (g)		0.0903
peso después lavado acido clorh (g)		0.0902
Volumen muestra (ml)		3000

# **ANEXO 3**

**Lista de chequeo de inspección de tanques**

**DATOS GENERALES**  
**ORDEN DE TRABAJO**  
**FECHA DE INSPECCION**  
**NUMERO DE TANQUE**  
**UBICACION**  
**CAPACIDAD**  
**DIMENSIONES (Diam-Alt)**  
**SERVICIO**

OT-09760917  
18-09-09  
T-205  
EPF  
45000 BBL  
Almacenamiento de agua producida

**INSPECCION EXTERNA**

**CIEMENTOS**

-	El piso del tanque esta bien asentado	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Orientación del suelo en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	El anillo y la estructura de la base estan bien	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Hay adecuado drenaje exterior	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>

**OBSERVACIONES**

**PISO**

-	Ausencia de huecos visibles	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Conexiones de la pared y al piso sin grietas ni fugas	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>

**OBSERVACIONES**

**PARED**

-	Planchas sin parches	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Planchas sin distorsiones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Ausencia de signos visibles de huecos, grietas o fugas	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Estructura de las escaleras en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Plintura externa sin huecos, desprendimiento, deterioro o decoloración	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Superficie sin corrosión externa	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Anclajes y reportes de las tuberías en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Bridas, manholes y planchas de refuerzo sin signos de liquido	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Pernos, acoples o bridas sin corrosión	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Válvulas de mezcla sin fuga o liquido	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Válvulas de drenaje sin fuga o liquido	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Medidor de temperatura en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Medidor de nivel calibrado y en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Llaves de arranque o salientes al tanque en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>

**OBSERVACIONES**

Distorsión en la pared

**TECHO**

-	Sistema de gas blanket operacional y en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Soldaduras en buen estado	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Planchas sin parches	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Plintura externa sin huecos, desprendimiento, deterioro o decoloración	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Ausencia de corrosión externa (planchas, pernos, tapas de aloro, ventao)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Drenaje adecuado	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Válvula de presión y vacío en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Tapo de aloro con buen estado y en buenas condiciones (incl. apertura y operacional)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>

**OBSERVACIONES**

**MISCELANEOS**

-	Protección catódica operacional y con potencial adecuado	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Junta de aislamiento eléctrico para Prot. Catódica operativa	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Puentes para medición de protección catódica interna instalados	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Diques y/o sistemas de contención de tamaño adecuado y bien mantenidos	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Sistema contra incendios operativo	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Extintor disponible y operativo, indique última fecha de revisión	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Área alrededor de tanque libre de vegetación y basura	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Sistema de conexión a tierra en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Sistema de descarga estatica para tanqueros instalado y en buenas condiciones	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>
-	Resultado de las mediciones de ultrasonido (si hay indique ubicación)	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>

**OBSERVACIONES**

**REPORTE DE MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS**

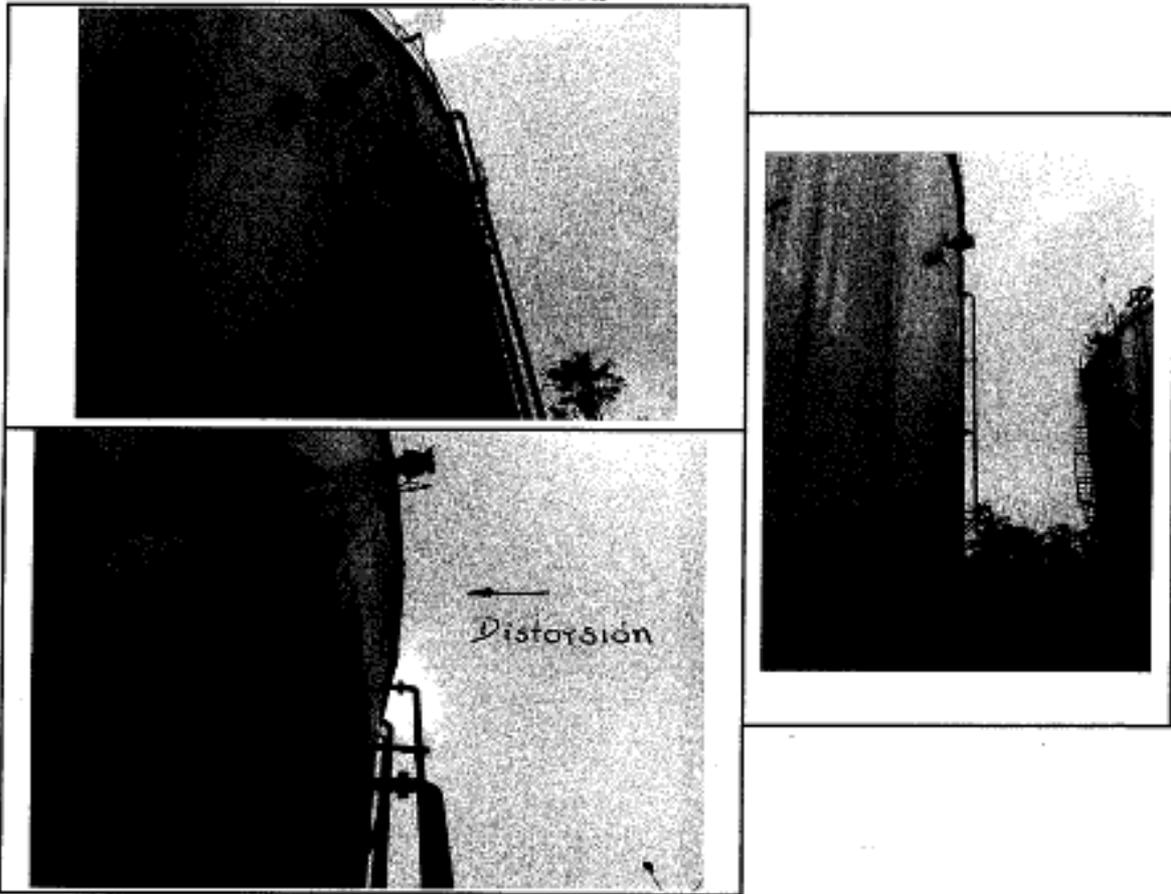
Area	ACCIONES A SEGUIR	
Representante de SSA	<u>SANTIAGO ANDRADE</u>	<u>[Firma]</u>
Representante del	<u>Hector Bravo</u>	<u>[Firma]</u>
		PAM <u>28/09/09</u>
		PAM <u>28/09/09</u>

**PETROAMAZONAS ECUADOR S.A.**  
**INTEGRIDAD MECANICA Y CORROSION**  
**LISTA DE CHEQUEO PARA INSPECCIÓN DE TANQUES**

DATOS GENERALES  
 ORDEN DE TRABAJO  
 FECHA DE INSPECCION  
 NUMERO DE TANQUE  
 UBICACION  
 CAPACIDAD  
 DIMENSIONES (Diam-Alt.)  
 SERVICIO

OT-04760997  
28-07-09  
T-203  
EPF  
45000 DBL  
Almacenamiento de agua producida

FOTOGRAFIAS



**REPORTE DE MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS**

Area	ACCIONES A SEGUIR		
Representante de SSA	<u>SANTIAGO ANDRADE</u>		<u>PAM</u> <u>28/07/09</u>
Representante del	<u>Hector Bravo</u>		<u>PAM</u> <u>28/07/09</u>

# **ANEXO 4**

**Informe de fiscalización de tanques por parte de la  
DNH T-204 / EPF**

## PETROAMAZONAS

### ACTA DE MEDICION DE ESPESORES DE PLANCHA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCION T-204, EPF

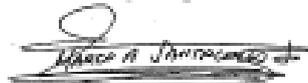
EPF, 06 de Julio de 2009.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la DIRECCION NACIONAL DE HIDROCARBUROS, respetuosamente entregamos los resultados de la inspección de espesores de plancha, que en su parte concluyente indica la no necesidad de reparar o cambiar las planchas de piso, pared o techo del tanque T-204

El tanque tiene las siguientes características:

Diámetro:	87 ft 8in
Altura:	43 ft
Espesor:	5/16"
Material:	A-36
Presión máxima de prueba:	Atmosférica
Capacidad:	45000 BBLs.

Entregado por:



Ing. Marco Santacruz  
Superintendente PAM



### 3. CONCLUSIONES

#### PISO

Al realizar tanto la inspección visual como las medidas de espesores con ultrasonido no se encontró disminución de espesor por efectos de corrosión. Los valores son muy cercanos al original. Si se mantiene en las mismas condiciones de funcionamiento y las medidas de protección tanto de pintura, como de protección catódica, su vida remanente es superior a los 15 años.

#### PAREDES

Los espesores fluctúan entre 14,28 mm a 14,76 mm, es decir son valores cercanos al nominal de 14,5 mm. En ningún caso se aprecia disminución de espesor por efectos de corrosión. Su vida remanente si las condiciones de funcionamiento y mantenimiento se mantienen, es superior a los 15 años.

#### TECHO

Los espesores tienen un promedio de 6,35 mm, los valores están entre 6,30 y 6,40 mm. Es decir no existen cambios de espesor por efectos de corrosión. Las manchas rojizas existentes, (inicio de corrosión) aun están a nivel superficial en un 30 % de las soldaduras, y en cuatro zonas cercanas a la estructura del techo.

### 4. RECOMENDACIONES

Además de la pintura que esta prevista tanto del fondo como paredes, adicionar la reparación del 30 % de la pintura sobre la soldadura en el techo desde la parte interior, así como las cuatro zonas circundantes a la estructura aproximadamente 2 metros cuadrados.

INSPECCIONADO POR



HUGO AGUIRRE E

FISCALIZADO POR



ING. ALEXIS VITERI

# **ANEXO 5**

**Tablas de calibración del tanque de almacenamiento  
de agua de formación T -204**

ESTACION EPF - EDEN

AGOSTO 2009

TANQUE: T - 204



ESTA TABLA ES CALIBRADA EN BASE A LA NORMA MPM SICCION 2, CAP. 2.2A y 2.2 B  
 ALTURA REFERENCIAL: 45 PIES 6 1/2 PULG. AL BORDE DE LA ESCOTILLA, OPUESTA A LA BISADRA  
 DIAMETRO INTERNO PROMEDIO: 87 PIES 8 1/8 PULG.

PRODUCTO: AGUA DE FORMACION

PIE PULG	BARRILES	PULG	BARRILES						
0	15,79	5	5.332,1	10	10.712,3	15	16.094,3	1/16	5,60
1	63,06	1	5.421,9	1	10.802,1	1	16.184,0	1/8	11,21
2	133,91	2	5.511,7	2	10.891,8	2	16.273,7	3/16	16,81
3	218,77	3	5.601,5	3	10.981,5	3	16.363,4	1/4	22,42
*4	308,08	4	5.691,3	4	11.071,2	4	16.453,1	5/16	28,02
5	397,7	5	5.781,0	5	11.160,9	5	16.542,8	3/8	33,62
6	487,4	6	5.870,8	6	11.250,6	6	16.632,5	7/16	39,23
7	577,0	7	5.960,5	7	11.340,3	7	16.722,2	1/2	44,83
8	666,6	8	6.050,3	8	11.430,0	8	16.811,9	9/16	50,44
9	756,3	9	6.139,9	9	11.519,7	9	16.901,5	5/8	56,04
10	846,0	10	6.229,5	10	11.609,4	10	16.991,2	11/16	61,65
11	935,7	11	6.319,1	11	11.699,1	11	17.081,0	3/4	67,25
1	1.025,4	6	6.408,7	11	11.788,8	16	17.170,7	13/16	72,85
1	1.115,1	1	6.498,3	1	11.878,5	1	17.260,5	7/8	78,46
2	1.204,8	2	6.588,0	2	11.968,2	2	17.350,2	15/16	84,06
3	1.294,4	3	6.677,6	3	12.057,9	3	17.439,9		
4	1.384,1	4	6.767,2	4	12.147,6	4	17.529,7		
5	1.473,8	5	6.856,8	5	12.237,3	5	17.619,4		
6	1.563,5	6	6.946,4	6	12.327,0	6	17.709,2		
7	1.653,1	7	7.036,1	7	12.416,7	7	17.798,9		
8	1.742,8	8	7.125,7	8	12.506,4	8	17.888,6		
9	1.832,5	9	7.215,3	9	12.596,1	9	17.978,4		
10	1.922,1	10	7.304,9	10	12.685,8	10	18.068,1		
11	2.011,8	11	7.394,5	11	12.775,5	11	18.157,9		
2	2.101,4	7	7.484,2	12	12.865,2	17	18.247,6		
1	2.191,1	1	7.573,8	1	12.954,9	1	18.337,3		
2	2.280,7	2	7.663,4	2	13.044,5	2	18.427,1		
3	2.370,4	3	7.753,0	3	13.134,2	3	18.516,8		
4	2.460,0	4	7.842,6	4	13.223,9	4	18.606,6		
5	2.549,7	5	7.932,3	5	13.313,6	5	18.696,3		
6	2.639,3	6	8.021,9	6	13.403,3	6	18.786,0		
7	2.728,9	7	8.111,5	7	13.493,0	7	18.875,8		
8	2.818,6	8	8.201,1	8	13.582,7	8	18.965,5		
9	2.908,2	9	8.290,7	9	13.672,4	9	19.055,3		
10	2.997,9	10	8.380,3	10	13.762,1	10	19.145,0		
11	3.087,5	11	8.470,0	11	13.851,8	11	19.234,7		
3	3.177,1	8	8.559,7	13	13.941,5	18	19.324,5		
1	3.266,9	1	8.649,4	1	14.031,2	1	19.414,2		
2	3.356,7	2	8.739,1	2	14.120,9	2	19.504,0		
3	3.446,5	3	8.828,8	3	14.210,6	3	19.593,7		
4	3.536,3	4	8.918,5	4	14.300,3	4	19.683,4		
5	3.626,1	5	9.008,2	5	14.390,0	5	19.773,2		
6	3.715,9	6	9.097,9	6	14.479,7	6	19.862,9		
7	3.805,7	7	9.187,5	7	14.569,4	7	19.952,7		
8	3.895,5	8	9.277,2	8	14.659,1	8	20.042,4		
9	3.985,3	9	9.366,9	9	14.748,8	9	20.132,1		
10	4.075,1	10	9.456,6	10	14.838,5	10	20.221,9		
11	4.164,9	11	9.546,3	11	14.928,2	11	20.311,6		
4	4.254,7	9	9.636,0	14	15.017,9	19	20.401,3		
1	4.344,5	1	9.725,7	1	15.107,6	1	20.491,1		
2	4.434,2	2	9.815,4	2	15.197,3	2	20.580,8		
3	4.524,0	3	9.905,1	3	15.287,0	3	20.670,6		
4	4.613,8	4	9.994,8	4	15.376,7	4	20.760,3		
5	4.703,6	5	10.084,5	5	15.466,4	5	20.850,0		
6	4.793,4	6	10.174,2	6	15.556,1	6	20.939,8		
7	4.883,2	7	10.263,9	7	15.645,8	7	21.029,5		
8	4.973,0	8	10.353,6	8	15.735,5	8	21.119,3		
9	5.062,8	9	10.443,3	9	15.825,2	9	21.209,0		
10	5.152,5	10	10.533,0	10	15.914,9	10	21.298,7		
11	5.242,3	11	10.622,7	11	16.004,6	11	21.388,5		



ESTACION EPF - EDEN

AGOSTO 2009

TANQUE: T - 204

ESTA TABLA ES CALBRADA EN BASE A LA NORMA MPMS SECCION 2, CAP. 2.2A y 2.2 B  
 ALTURA REFERENCIAL: 45 PIES 6 1/2 PULG AL BORDE DE LA ESCOTILLA, OPUESTA A LA BISAGRA  
 DIAMETRO INTERNO PROMEDIO: 87 PIES 8 7/8 PULG PRODUCTO: AGUA DE FORMACION

PIE PULG	BARRILES	PULG	BARRILES						
20	21.478,2	25	26.862,2	30	32.244,9	35	37.625,9	9/16	5,80
	21.568,0		26.951,9		32.334,5		37.715,6	1/8	11,21
	21.657,7		27.041,6		32.424,2		37.805,3	3/16	16,81
	21.747,4		27.131,3		32.513,9		37.895,0	1/4	22,42
	21.837,2		27.221,1		32.603,6		37.984,6	5/16	28,02
	21.926,9		27.310,8		32.693,3		38.074,3	3/8	33,62
	22.016,7		27.400,5		32.783,0		38.164,0	7/16	39,23
	22.106,4		27.490,2		32.872,7		38.253,7	1/2	44,83
	22.196,1		27.579,9		32.962,3		38.343,4	9/16	50,44
	22.285,9		27.669,6		33.052,0		38.433,1	5/8	56,04
	22.375,6		27.759,3		33.141,7		38.522,7	11/16	61,65
	22.465,4		27.849,0		33.231,4		38.612,2	3/4	67,25
21	22.555,1	26	27.938,8	31	33.321,1	36	38.701,8	13/16	72,85
	22.644,8		28.028,5		33.410,8		38.791,4	7/8	78,46
	22.734,6		28.118,2		33.500,4		38.881,0	15/16	84,06
	22.824,3		28.207,9		33.590,1		38.970,6		
	22.914,1		28.297,6		33.679,8		39.060,2		
	23.003,8		28.387,3		33.769,5		39.149,8		
	23.093,5		28.477,0		33.859,2		39.239,4		
	23.183,3		28.566,7		33.948,9		39.328,9		
	23.273,0		28.656,4		34.038,5		39.418,5		
	23.362,8		28.746,2		34.128,2		39.508,1		
	23.452,5		28.835,9		34.217,9		39.597,7		
	23.542,2		28.925,6		34.307,6		39.687,3		
22	23.632,0	27	29.015,3	32	34.397,3	37	39.776,9		
	23.721,7		29.105,0		34.487,0		39.866,5		
	23.811,5		29.194,7		34.576,7		39.956,1		
	23.901,2		29.284,4		34.666,3		40.045,6		
	23.990,9		29.374,1		34.756,0		40.135,2		
	24.080,7		29.463,9		34.845,7		40.224,8		
	24.170,4		29.553,6		34.935,4		40.314,4		
	24.260,2		29.643,3		35.025,1		40.404,0		
	24.349,9		29.733,0		35.114,8		40.493,6		
	24.439,6		29.822,7		35.204,4		40.583,2		
	24.529,4		29.912,4		35.294,1		40.672,8		
	24.619,1		30.002,1		35.383,8		40.762,3		
23	24.708,8	28	30.091,8	33	35.473,5	38	40.851,9		
	24.798,6		30.181,5		35.563,2		40.941,5		
	24.888,3		30.271,3		35.652,9		41.031,1		
	24.978,1		30.361,0		35.742,5		41.120,7		
	25.067,8		30.450,7		35.832,2		41.210,3		
	25.157,5		30.540,4		35.921,9		41.299,9		
	25.247,3		30.630,1		36.011,6		41.389,5		
	25.337,0		30.719,8		36.101,3		41.479,1		
	25.426,8		30.809,5		36.191,0		41.568,6		
	25.516,5		30.899,2		36.280,6		41.658,2		
	25.606,2		30.989,0		36.370,3		41.747,8		
	25.696,0		31.078,7		36.460,0		41.837,4		
24	25.785,7	29	31.168,4	34	36.549,7	39	41.927,0		
	25.875,4		31.258,1		36.639,4		42.016,6		
	25.965,1		31.347,8		36.729,1		42.106,2		
	26.054,8		31.437,5		36.818,8		42.195,8		
	26.144,5		31.527,2		36.908,4		42.285,3		
	26.234,2		31.616,9		36.998,1		42.374,9		
	26.323,9		31.706,6		37.087,8		42.464,5		
	26.413,7		31.796,4		37.177,5		42.554,1		
	26.503,4		31.886,1		37.267,2		42.643,7		
	26.593,1		31.975,8		37.356,9		42.733,3		
	26.682,8		32.065,5		37.446,5		42.822,9		



**PETROAMAZONAS**  
**ESTACION EPF - EDEN**



AGOSTO 2009

TANQUE: T - 204

ESTA TABLA ES CALIBRADA EN BASE A LA NORMA MPMS SECCION 2, CAP. 2.2A y 2.2 B  
ALTIMA REFERENCIAL: 45 PIES ± 1/2 PULG. AL BORDE DE LA ESCOTILLA, ONDENTA A LA BISAGRA  
DIAMETRO INTERNO PROMEDIO: 87 PIES ± 3/8 PULG. PRODUCTO: AGUA DE FORMACION

PIE	PULG.	BARRILES
40		43.052,0
	1	43.091,6
	2	43.181,2
	3	43.270,8
	4	43.360,4
	5	43.450,0
	6	43.539,6
	7	43.629,2
	8	43.718,7
	9	43.808,3
	10	43.897,9
11	43.987,5	
41		44.077,1
	1	44.166,7
	2	44.256,3
	3	44.345,9
	4	44.435,4
	5	44.525,0
	6	44.614,6
	7	44.704,2
	8	44.793,8
	9	44.883,4
	10	44.973,0
11	45.062,6	
42		45.152,3
	1	45.241,9
	2	45.331,5
	3	45.421,1
	4	45.510,8
	5	45.600,4
	6	45.690,0
	7	45.779,6
	8	45.869,2
9	45.958,9	

PULG.	BARRILES
1/16	5,60
1/8	11,21
3/16	16,81
1/4	22,42
5/16	28,02
3/8	33,62
7/16	39,23
1/2	44,83
9/16	50,44
5/8	56,04
11/16	61,65
3/4	67,25
13/16	72,85
7/8	78,46
15/16	84,06

El Capitulo de la placa de referencia a 88 pulg.  
por arriba de la escotadura del fondo y la  
referencia que representa 78 pulg. la altura  
del cono está a 0. 316 pulg.

\* La placa está en el pie y fijamiento en el otro  
lado de la placa de pie.

NOTA: - El volumen actual a altura total, para  
determinar la altura de operación se  
deberá multiplicar con el primer fondo.



TANQUE OPERADO	SE ANDA	SEÑAL
TANQUE	SE ANDA	SEÑAL
TANQUE	SE ANDA	SEÑAL



OFICIO No. 3793 DNH-T-A

**915624**

Quito, a 13 DIC 2009

**0006153**

PM RECIBIDO NC

2009 DIC 18 3:51

Señor  
Wilson Pástor M.  
GERENTE GENERAL  
PETROAMAZONAS ECUADOR S.A.  
Av. NN.UU E7-95 y Shyris, Edif. Bco. del Pacífico, 5 Piso.  
Presente

REFERENCIA SAD 26617

De mi consideración:

En atención a la comunicación No. 3766-PAM-FIC-2009, recibida el 10 de noviembre de 2009, la Dirección Nacional de Hidrocarburos en cumplimiento de sus facultades de fiscalización y control; y en virtud del informe contenido en el memorando No. 3792-DNH-TA, de 7 de diciembre de 2009, ha emitido la Resolución, así como el comprobante de ingreso No. H-00-00-73097, con los cuales se autoriza el uso de las tablas de calibración volumétrica del tanque No. T-204, de almacenamiento de agua de formación, ubicado en la estación CPF-Edén, a cargo de Petroamazonas.

Atentamente,

Ing. Milton Morán Coello.  
DIRECTOR NACIONAL DE HIDROCARBUROS.

CC. DIRECTOR REGIONAL HIDROCARBUROS AMAZONICA  
Adjunto lo indicado

# **ANEXO 6**

**Plan para el control de desgastes internos en bombas  
de inyección**

## PLAN PARA CONTROL DE DESGASTE INTERNOS EN BOMBAS DE INYECCION

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	RESPONSABLE
1 <a href="#">Mediciones de caudal y presión de bombas</a>	Se realizará la medición de caudales y presión a la descarga de las de inyección para determinar una tendencia de desviación de trabajo con respecto al BEP	3 meses	Instalación Supervisor E/I Medición Supervisor Mec
2 <a href="#">Mediciones de presión de cajas de sellos mecánicos</a>	Se medirá la presión en las cajas de los sellos mecánicos y se determinarán tendencias	3 meses	Supervisor Mec
3 <a href="#">Análisis de vibraciones</a>	Parte del programa de mantenimiento predictivo, se realizan mediciones vibraciones a equipos críticos.	20 días	Ing. Mnt Predictivo
4 Análisis de tendencias	Se evaluarán los datos de cada bomba y seguimiento mediante tendencias.	3 meses	Superv. Mec / Ing. Mnt Predictivo
5 <a href="#">Incluir y generar PM actividad 1.2 y 5</a>	Se ingresará en MÁXIMO los PMs de instalación de medidores de caudal y medición de holguras internas según las frecuencias determinadas	Por implementar	Coord. CMMS
6 Instalación de medidores de flujo y monitoreo vía HMI	Se instalarán medidores de caudal a la descarga de cada bomba de inyección y se llevará la señal hacia un RIO para poder monitorear en línea el caudal, y como propuesta posterior el calcular en línea el punto de trabajo de la bomba en la curva de eficiencia en línea y ajustar la parte operativa para que traten e trabajar lo mas cercano al bep (Proyecto OSIA)	Por implementar	Supervisor E/I Ing. Automatización
7 Cambio de manómetros de cajas de sellos mecánicos	Cambio de manómetros de cajas de sellos mecánicos de la bombas P-270 a un rango de 0-600 psi aproximadamente	Por implementar	Supervisor E/I
8 Administración de parámetros	La ubicación del plan se encuentra en el disco Q, y serán cargados cada vez que se realicen las actividades	Dependiente de 1,2,3,4,5	Ing. Mnt Predictivo

### INSTRUCCIONES:

- Ingrese los datos en los casilleros en blanco. Los casilleros en celeste NO DEBEN SER MODIFICADOS ya que corresponden a celdas formuladas.
- Seleccione la hoja TRENDS para realizar el análisis de tendencias.

Vel. OP	3600 RPM
Q@BEP	1000 GPM

TAG	FECHA	OT#	PUMP PERFORMANCE						MECHANICAL SEAL		OVERALL VIBRATION				MOTOR LOAD (AMP)	
			PRESION SUCCION (PSI)	PRESION DESCARGA (PSI)	TDH (PSI)	CAUDAL Q (BPD)	CAUDAL Q (GPM)	%DESV. From BEP	CAUDAL Q CABEZAL DESC. (BPD)	PRESIÓN SELLO LA (PSI)	PRESIÓN SELLO LL (PSI)	MOTOR VIB LL (mm/s)	MOTOR VIB LA (mm/s)	PUMP VIB LA (mm/s)		PUMP VIB LL (mm/s)
P-270	8-Apr-10		50,00	2850,00	2600,00	20800,00	607,36	39,26%	69400,00	75,00	360,00	0,89	1,17	1,72	2,25	224,00
P-275	8-Apr-10		52,00	2650,00	2598,00	23900,00	697,88	30,21%	69400,00	78,00	200,00	1,31	1,37	2	3,07	220,00
P-280	8-Apr-10		52,00	2500,00	2448,00	24700,00	721,24	27,88%	69400,00	75,00	140,00	2,05	1,16	2,44	2,34	230,00
P-285	8-Apr-10		51,00	2600,00	2549,00	32650,00	953,38	4,66%	192500,00	NA	NA	1,47	2,35	1,06	1,46	230,00
P-290	8-Apr-10		52,00	2500,00	2448,00	33900,00	989,88	1,01%	192500,00	NA	NA	2,21	2,55	2,71	2,96	230,00
P-295	8-Apr-10		52,00	2700,00	2648,00	33800,00	986,96	1,30%	192500,00	NA	NA	3,69	4,88	3,26	4,02	231,00
P-300	8-Apr-10		52,00	2600,00	2548,00	25850,00	754,82	24,52%	192500,00	NA	NA	1,46	1,91	1,66	1,55	223,00
P-305	8-Apr-10		48,00	2600,00	2552,00	31600,00	922,72	7,73%	192500,00	NA	NA	2,1	1,97	1,72	1,91	230,00
P-310	8-Apr-10		52,00	2600,00	2548,00	34700,00	1013,24	-1,32%	192500,00	NA	NA	3,4	2,84	1,98	1,96	232,00

## PM DETERMINACION DE PARAMETROS DE TRABAJO DE BOMBAS

	DESCRIPCION	TIEMPO
10	*****DETERMINACION DE DESVIACION DE BEP 3 MESES*****	
20	INSTALACION DE MEDIDOR DE FLUJO EN LINEA DE DESCARGA	1:00
30	MEDICION DE PARAMETROS DE CAUDAL Y PRESION	0:30
40	REGISTRAR PRESION EN CAJAS DE SELLOS MECANICOS	0:15
50	RETIRAR MEDIDOR DE FLUJO DE LINEA DE DESCARGA	1:00
60	DETERMINAR PUNTO DE TRABAJO DE LA BOMBA EN CURVA DE EFICIENCIA	1:00
70	ELABORACION DE INFORME	1:00
80	*****MEDICION DE HOLSURAS BOMBA CADA CAMBIO DE SELLO*****	
90	APERTURA DE PERMISO DE TRABAJO	0:15
100	DESMONTAJE DE SENSORES VTs Y RTDs	1:00
110	DESMONTAR APOYOS LADO LIBRE Y LADO ACOPLE	4:00
120	MEDICION DE HOLSURAS	0:30
130	MONTAJE DE APOYOS LADO LIBRE Y ACOPLE	3:00
140	REINSTALACION DE VTs y RTDs	2:00
150	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	0:30
160	LIMPIEZA DEL AREA	0:30

**VOLVER A PLAN**

Max of CAUDAL Q(BPD)	TAG												
FECHA	P-270	P-275	P-280	P-285	P-290	P-295	P-300	P-305	P-310	(blank)	Grand Total		
(blank)													
08/04/2010	20800	23900	24700	32650	33900	33800	25850	31600	34700		34700		
Grand Total	20800	23900	24700	32650	33900	33800	25850	31600	34700		34700		

Seleccionar campos para agregar al informe:

- TAG
- FECHA
- OT#
- PRESION SUCCION (PSI)
- PRESION DESCARGA (PSI)
- TDH(PSI)
- CAUDAL Q(BPD)
- CAUDAL Q(GPM)
- %DESV. From BEP
- CAUDAL Q CABEZAL DESC. (BPD)
- PRESION SELLO LA(PSI)
- PRESION SELLO LL(PSI)
- MOTOR VIB LL(mm/s)

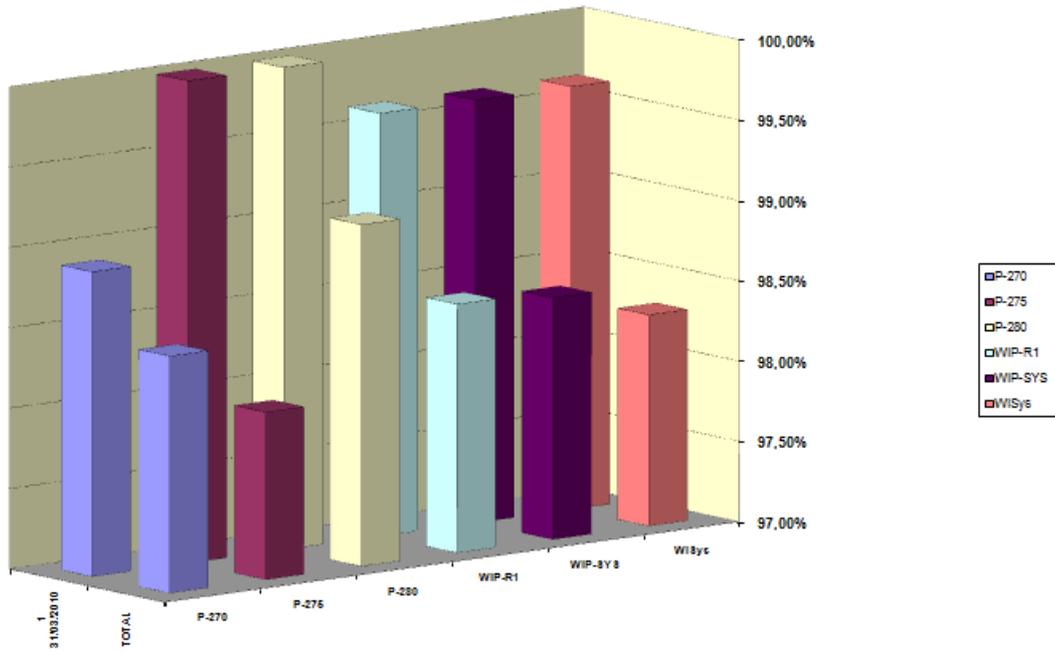
# **ANEXO 7**

**Análisis de confiabilidad del sistema de reinyección de  
agua de formación de  
EPF**



## RELIABILITY BAR GRAPH

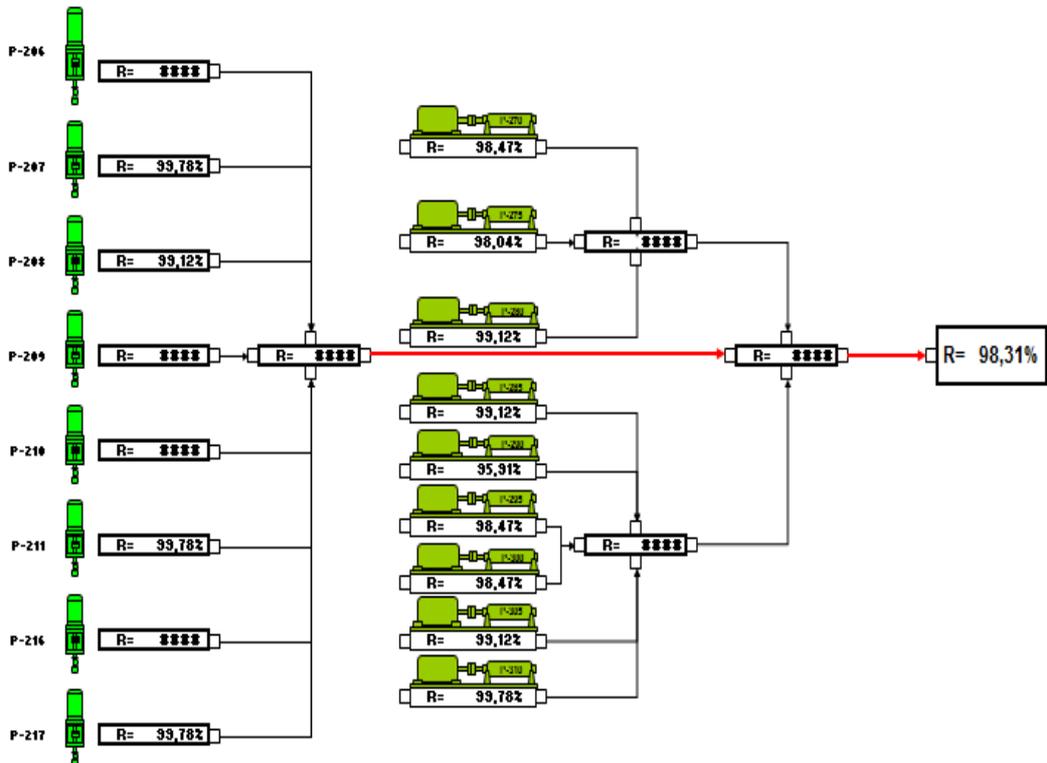
ÚLTIMO TRIMESTRE vs. TOTAL DEL PERÍODO DE ANÁLISIS



## RELIABILITY P&ID

JATE: 3-Aug-10

REGRE:  
R IND

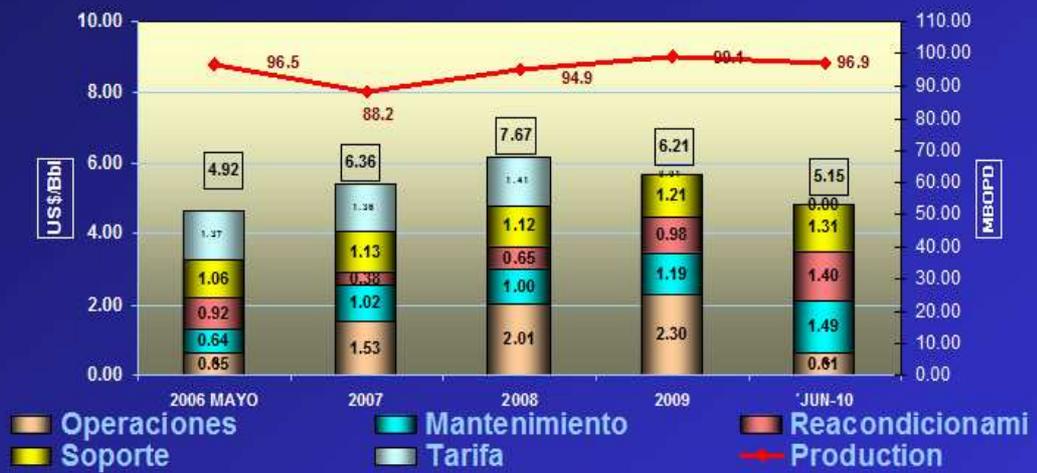


# **ANEXO 8**

**Gráfico de costos por barril de crudo de  
Petroamazonas**

# PETROAMAZONAS

## Costos por Barril



# **ANEXO 9**

**Planos del diseño**

# **ANEXO 10**

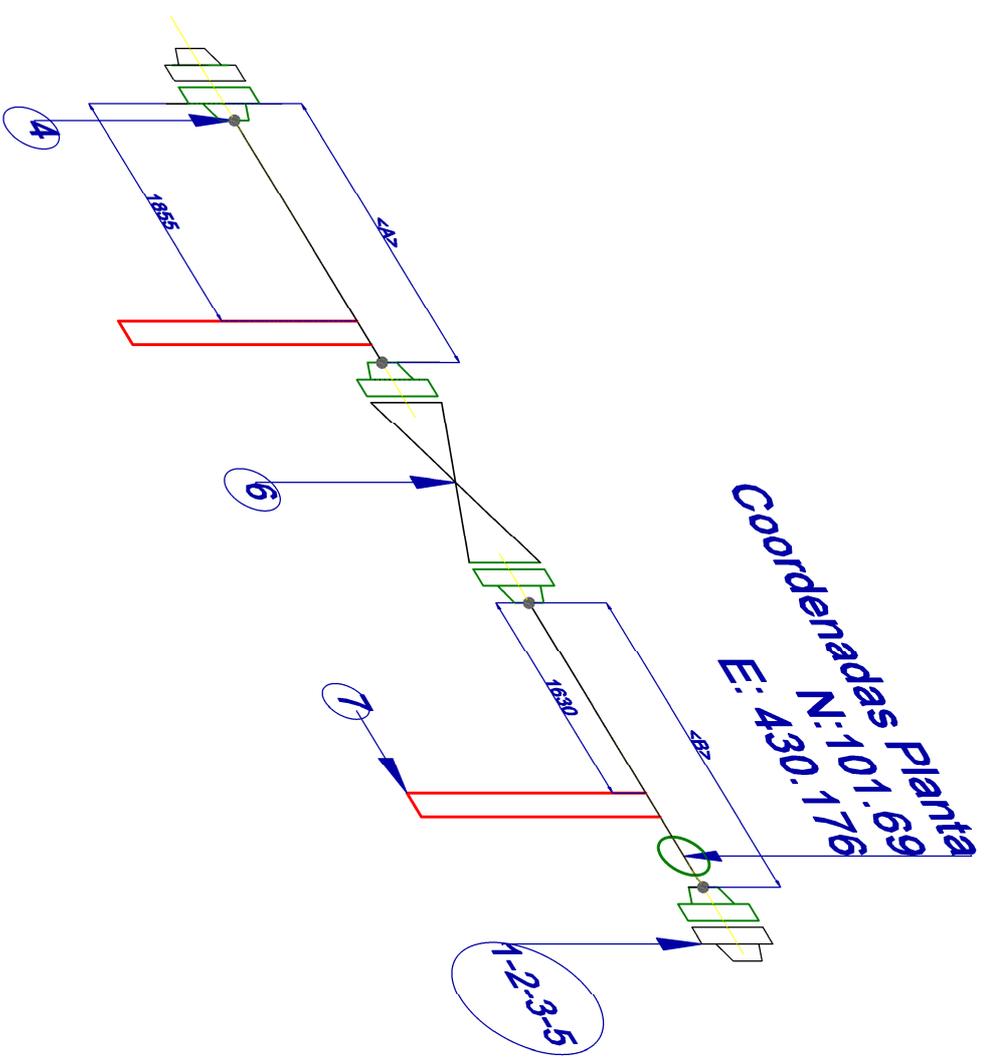
**Carta de conformidad de Petroamazonas**

LISTA DE MATERIALES

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	Ø= 16"	Brida 1500 Weld Neck, ASTM -A105, con revestimiento interno Plaste 7159, 16 agujeros, SCH 160.	4
2	L= 18" Ø= 2 1/2" Lg=20 1/2"	Esparrago ASTM-A193, revestimiento de fluorocarbon	64
3		Empaque tipo O-Ring, Acero inoxidable, recocido (flexifrallic, Lamons o DAN-100)	4
4		Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	4
5	Ø= 2 1/2"	Tuerca, ASTM- A194, GR 2H, revestimiento de fluorocarbon	128
6	Ø= 16"	VALVULA sin tag de 16"	1
7		Estructura de soporte del cabezal de descarga de todas las bombas Disposal (Existente)	2

LONGITUD DE CORTE DE TUBERIA

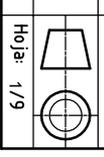
Parte Num	Longitud (mm)	Tamaño (pulg)
<A>	2205	16
<B>	2430	16



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:		Nombre:	Yanchapaxi E.	Firma:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel	Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel		

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Material:	ESPECIFICADOS	Cantidad:	
Denominación:	Cabezal de descarga disposa tub1	Escala:	S : E
Código:			
Sustituye:			

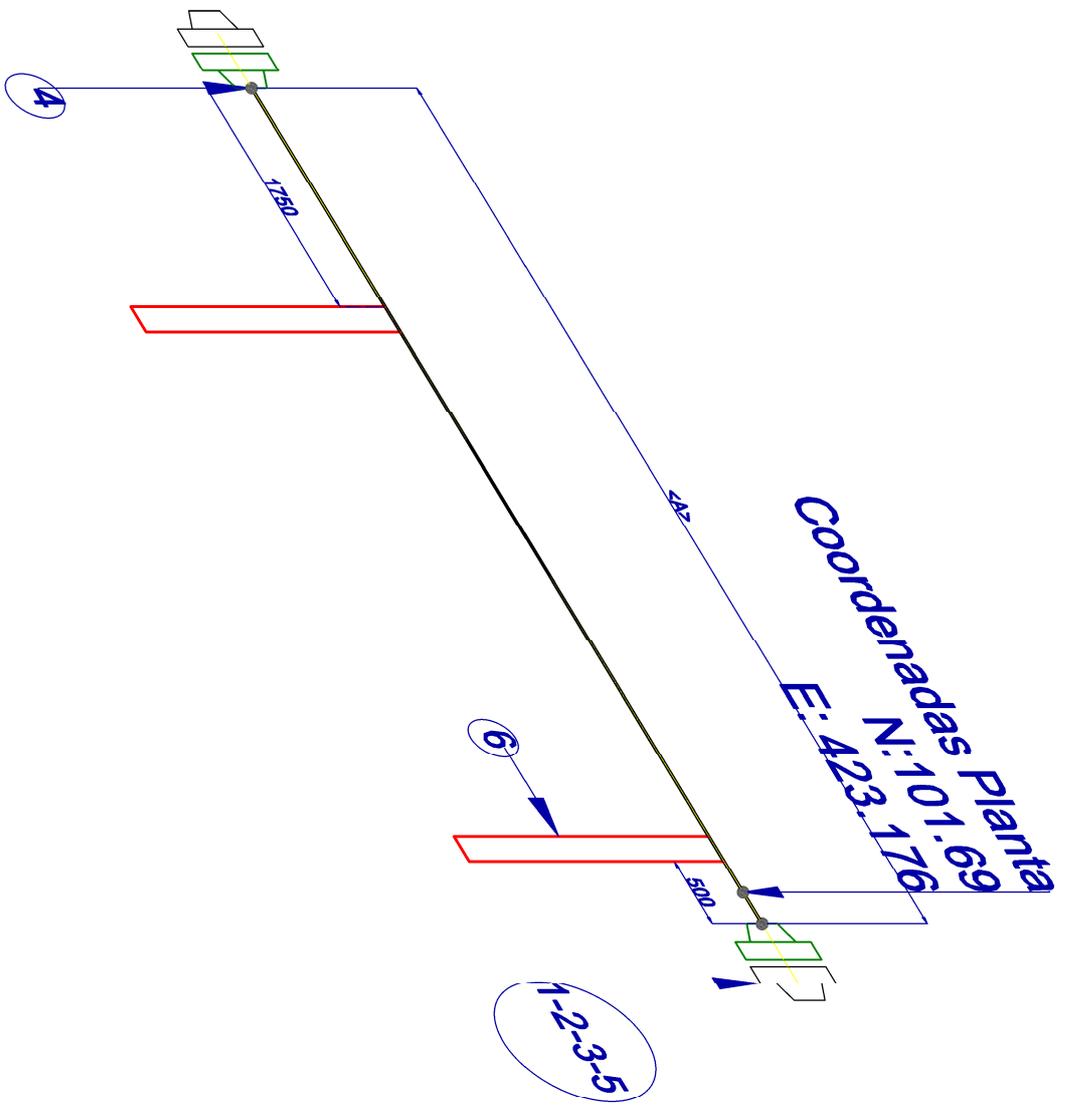


LISTA DE MATERIALES

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	Ø= 16"	Brida 1500 Weld Neck, ASTM -A105, con revestimiento interno Plaste 7159, 16 agujeros, SCH 160.	4
2	L= 18" Ø= 2½" Lg=20 ½"	Esparrago ASTM-A193, revestimiento de fluorocarbon	64
3		Empaque tipo O-Ring, Acero inoxidable, recocido (flexifrallic, Lamons o DAN-10C)	4
4		Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	2
5	Ø= 2½"	Tuerca, ASTM- A194, GR 2H, revestimiento de fluorocarbon	128
6	Ø= 16"	Estructura de soporte del cabezal de descarga de las bombas Disposal, (existente)	2

LONGITUD DE CORTE DE TUBERIA

Parte Num	Longitud (mm)	Tamaño (pulg)
<A>	6685	16



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Nombre:	
Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel	Firma:	
Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel		

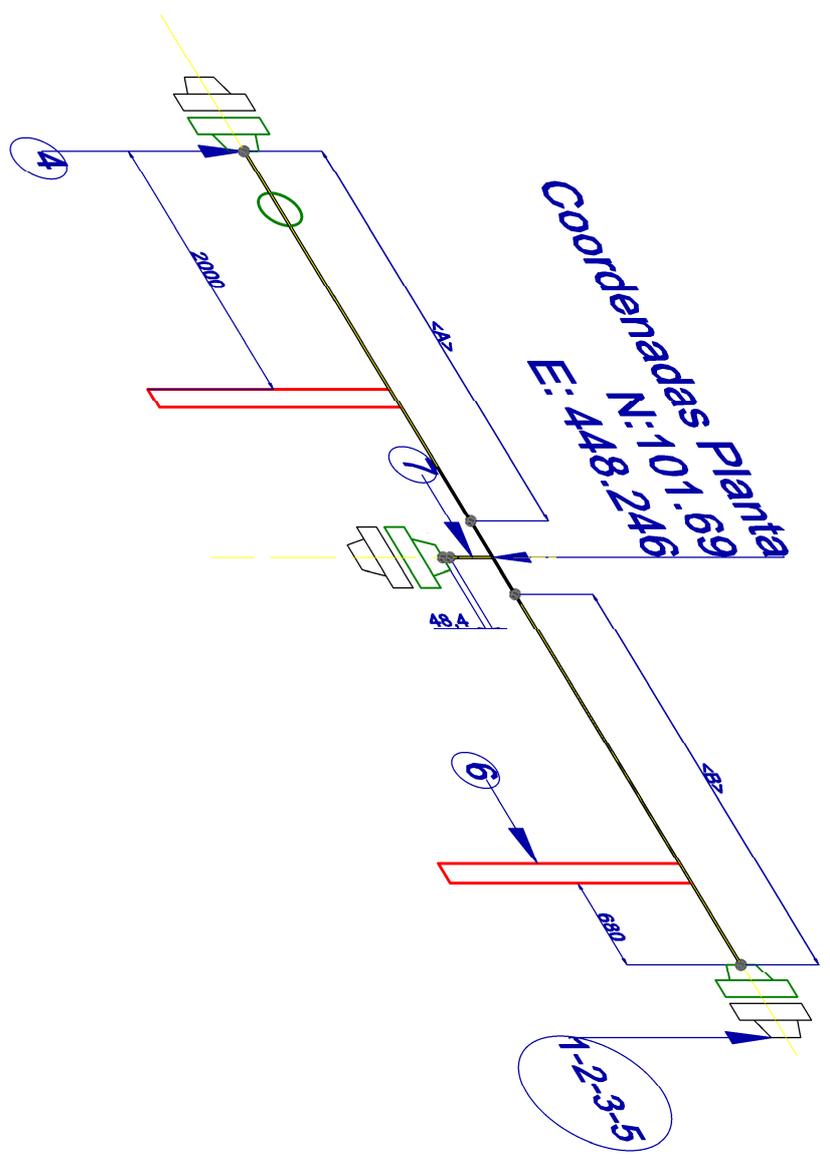
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO		MATERIAL: ESPECIFICADOS		CANTIDAD:	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Denominación: Cabezal descarga tub2		Escala: S : E	
Código:		Sustituye:		Hoja: 2/9	

LISTA DE MATERIALES

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	Ø= 16"	Brida 1500 Weld Neck, ASTM -A105, con revestimiento interno Plastife 7159, 16 agujeros, SCH 160.	4
2	L= 18" Ø= 2 1/2" Lg=20 1/2"	Esparrago ASTM-A193, revestimiento de fluorocarbon	64
3		Empaque tipo O-Ring, Acero inoxidable, recocido(flexifrallic, Lamons o DAN-100)	4
4		Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	6
5	Ø= 2 1/2"	Tuerca, ASTM- A194, GR 2H, revestimiento de fluorocarbon	128
6	Ø= 16"	Estructura de soporte del cabezal de descarga de las bombas Disposal (existente)	2
7	Ø= 16"	Te Recta, SCH 160, ASTM A106 Gr b	1

LONGITUD DE CORTE DE TUBERIA

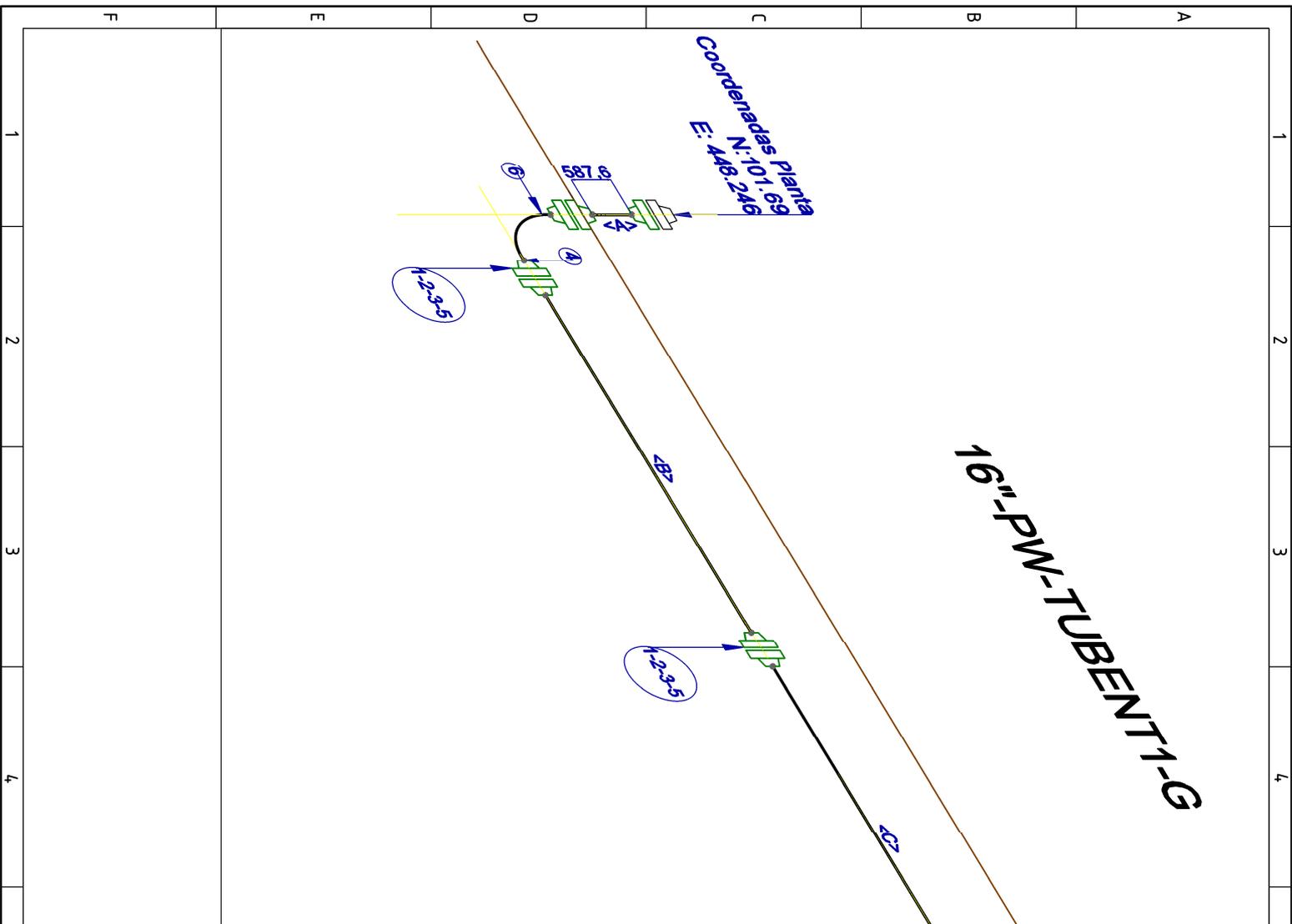
Parte Num	Longitud (mm)	Tamaño (plg)
<A>	3120.2	16
<B>	3120.2	16



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:		Nombre:	Yanchapaxi E.	Firma:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcese	Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcese		

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Material:	ESPECIFICADOS	Cantidad:	
Denominación:	Cabezal descarga tub3	Escala:	S : E
Código:			
Sustituye:			Hoja: 3/9



LISTA DE MATERIALES

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	Ø= 16"	Brida 1500 Weld Neck, ASTM -A105, con revestimiento interno Plástico 7159, 16 agujeros, SCH 160	10
2	L= 18" Ø= 2 1/2" Lg=20 1/2"	Esparrago ASTM-A193, revestimiento de fluorocarbon	96
3		Empaque tipo O-Ring, Acero inoxidable, recocido/flexifrátilic, Lamons o DAN-100	6
4		Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	10
5	Ø= 2 1/2"	Tuerca, ASTM- A194, GR 2H, revestimiento de fluorocarbon	192
6	Ø= 16"	Accesorios de tubería: Codo 90° ASTM-A234, GR WPB, SCH 160, revestimiento interno Plástico 7159, Radio largo	2

LONGITUD DE CORTE DE TUBERIA

Parte Num	Longitud (mm)	Tamaño (pulg)
<A>	587.6	16
<B>	6000	16
<C>	6309.2	16

Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:		Nombre:	Yanchapaxi E.	Firma:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Revisado:	Ing. Roldrico- Ing. Alcese	Aprobado:	Ing. Roldrico- Ing. Alcese		
<p>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>							
Denominación:	ISOMETRÍA			Código:	LÍNEA 16"-PW-TUBENT-G		
Sustituye:				Hoja:	4/9		

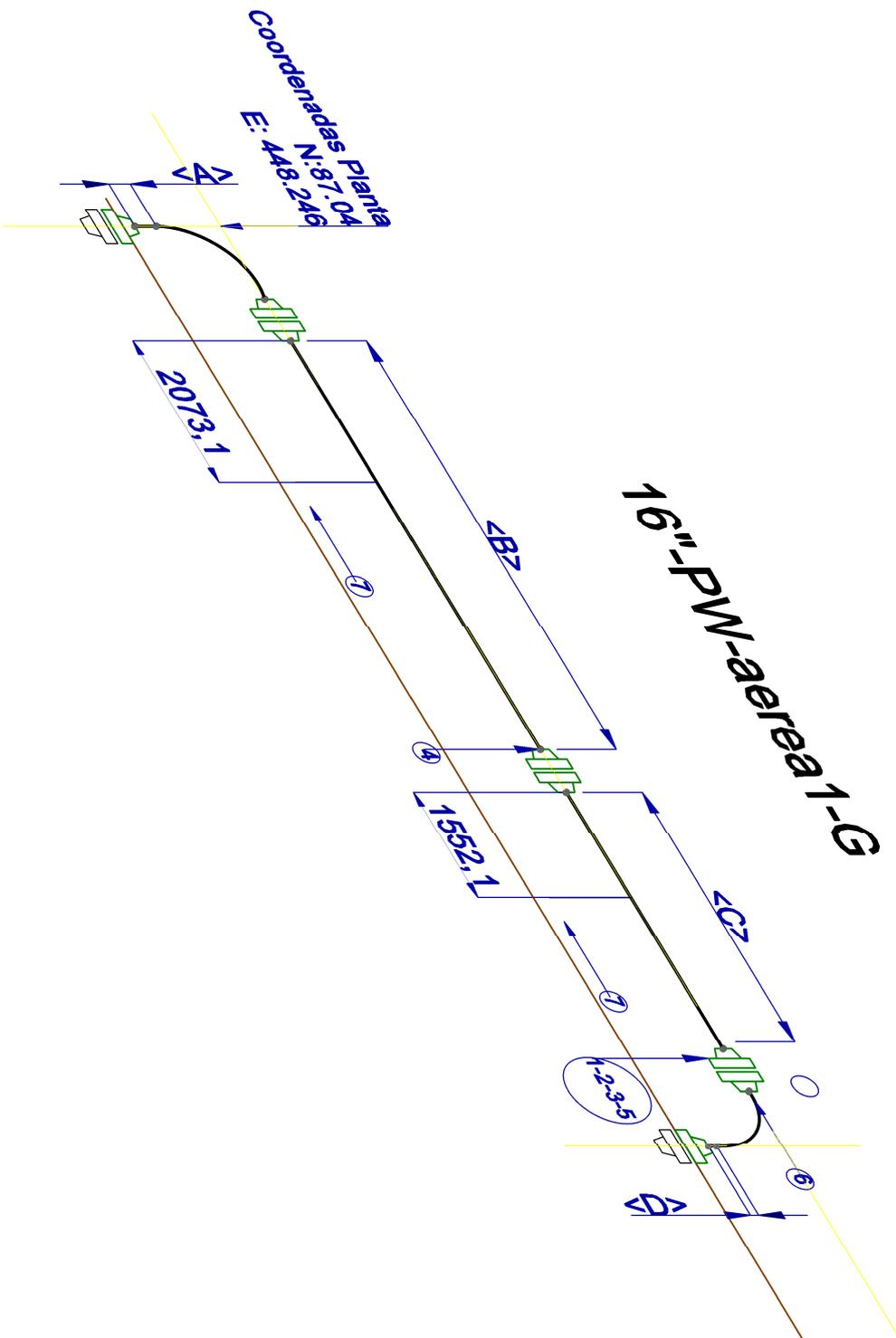
1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

LISTA DE MATERIALES

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	Ø= 16"	Brida 1500 Weld Neck, ASTM -A105, con revestimiento interno Plaste 7159, 16 agujeros, SCH 160.	8
2	L= 18" Ø= 2 1/2" Lg=20 1/2"	Esparrago ASTM-A193, revestimiento de fluorocarbon	64
3		Empaque tipo O-Ring, Acero inoxidable, recocido (flexifallic, Lamons o DAN-100)	4
4		Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	10
5	Ø= 2 1/2"	Tuerca, ASTM- A194, GR 2H, revestimiento de fluorocarbon	128
6	Ø= 16"	Accesorios de tubería: Codo 90° ASTM-A234, GR WPB, SCH 160, revestimiento interno Plaste 7159, Radio largo	2
7	Piano Num 8	Estructura de soporte1, perfiles estructurales	2

LONGITUD DE CORTE DE TUBERIA

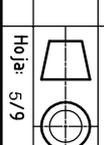
Parte Num	Longitud (mm)	Tamaño (kg)
<A>	26386	16
<B>	6000	16
<C>	36682	16
<D>	1012	16



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:		Nombre:	Yanchapaxi E.	Firma:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel	Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel		

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Material:	ESPECIFICADOS	Cantidad:	
Denominación:	ISOMETRÍA	Escala:	S : E
Código:	LÍNEA 16"-PW-TUBAAREA1-G		
Sustituye:			

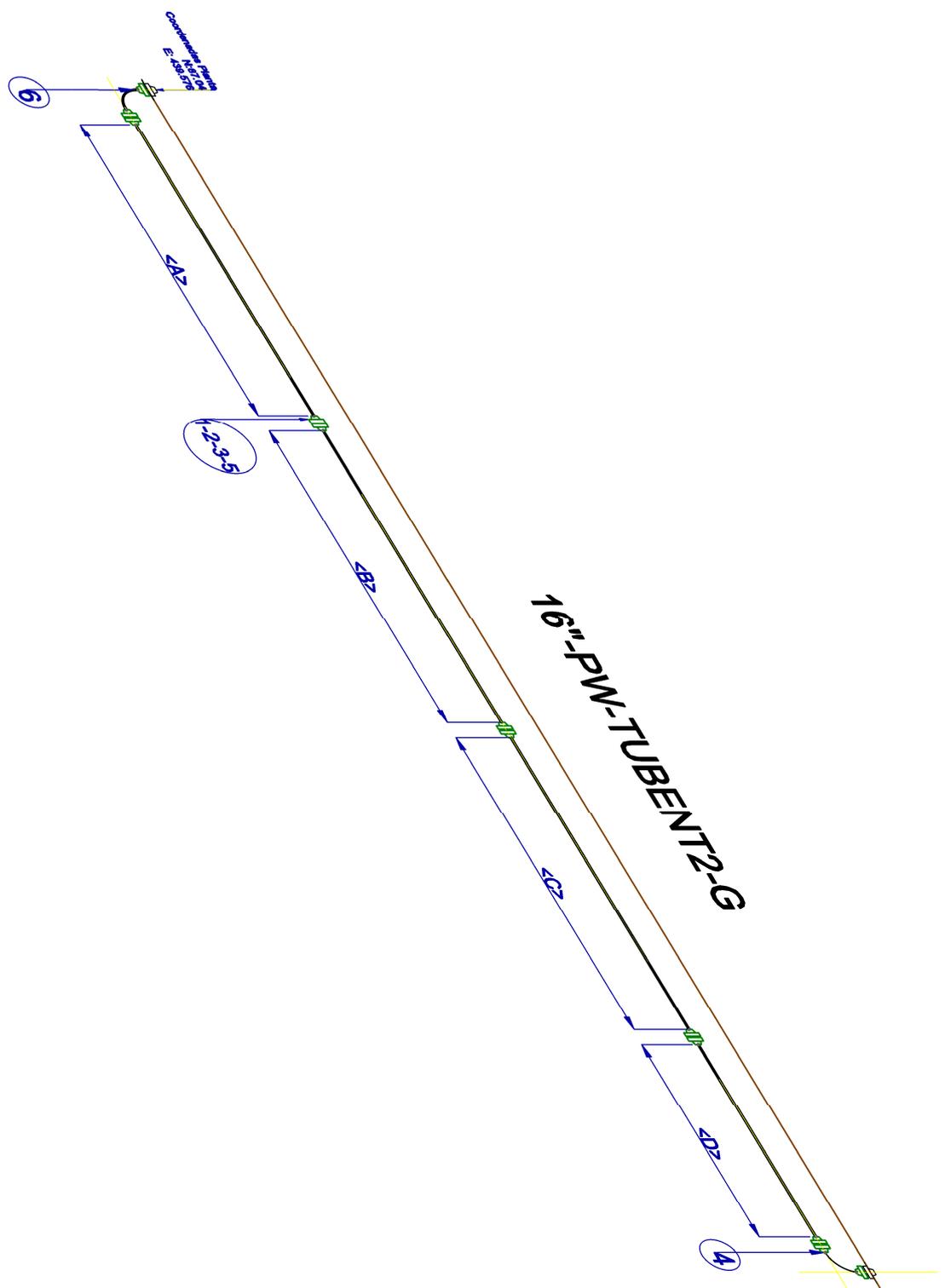


LISTA DE MATERIALES

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	Ø= 16"	Brida 1500 Weld Neck, ASTM -A105, con revestimiento interno Plaste 7159, 16 agujeros, SCH 160	12
2	L= 18" Ø= 2 1/2" Lg=20 1/2"	Esparrago ASTM-A193, revestimiento de fluorocarbon	96
3		Empaque tipo O-Ring, Acero inoxidable, recocido/flexifrátilic, Lamons o DAN-LOC	6
4		Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	12
5	Ø= 2 1/2"	Tuerca, ASTM- A194, GR 2H, revestimiento de fluorocarbon	192
6	Ø= 16"	Accesorios de tubería: Codo 90° ASTM-A234, GR WPB, SCH 160, revestimiento interno Plaste 7159, radio largo	2

LONGITUD DE CORTE DE TUBERIA

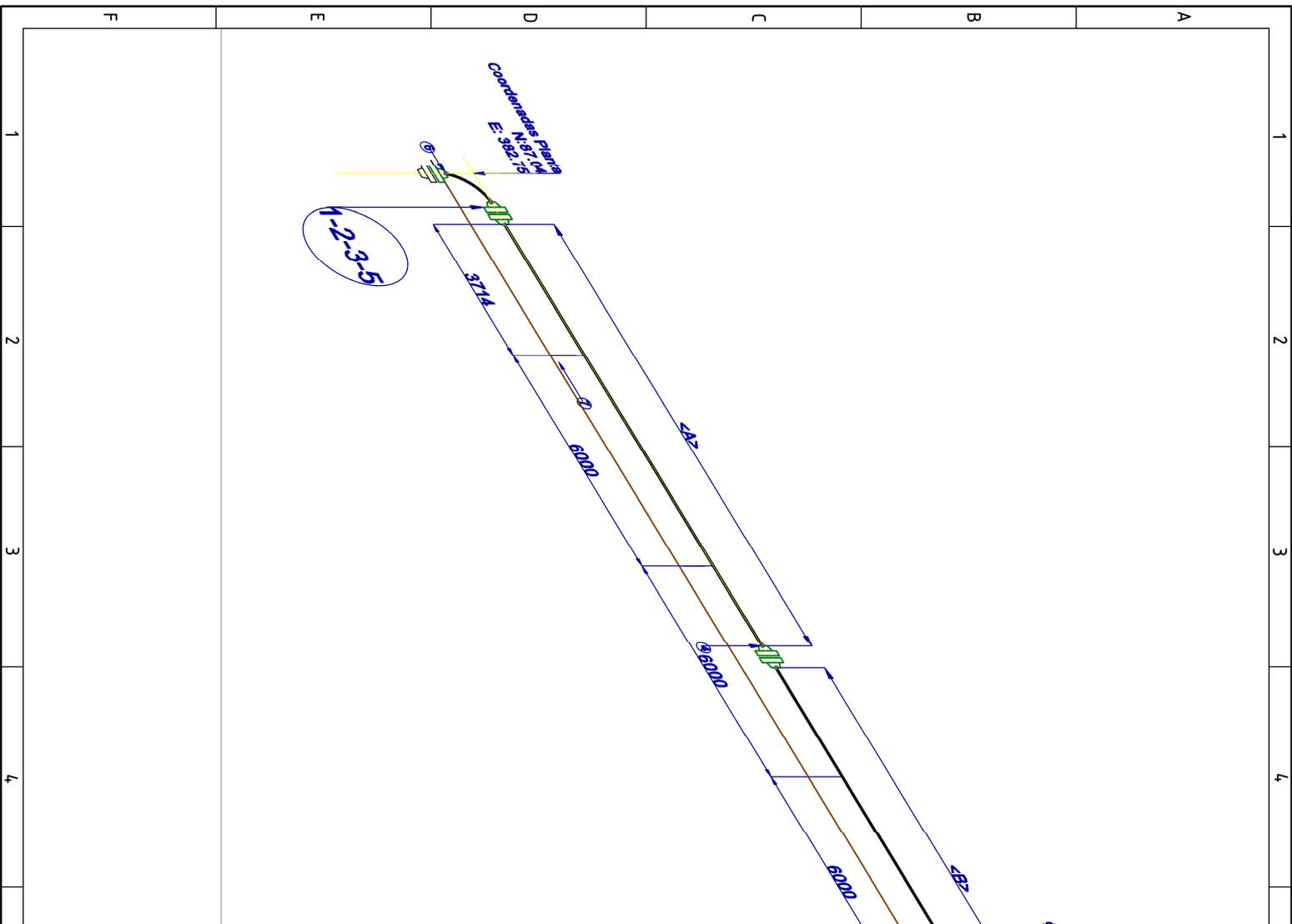
Parte Num	Longitud (mm)	Tamaño (pulg)
<A>	12000	16
<B>	12000	16
<C>	12000	16
<D>	7977.2	16



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:		Nombre:	Yanchapaxi E.	Firma:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel	Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel		

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Material:	ESPECIFICADOS	Cantidad:	
Denominación:	ISOMETÍA	Escala:	S : E
Código:	LÍNEA 16"-PW-TUBENT2-G	Hoja:	6/9



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Nombre:	
Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel	Firma:	
Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosel		

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	Ø= 16"	Brida 1500 Weld Neck, ASTM -A105, con revestimiento interno Plaste 7159, 16 agujeros, SCH 160.	8
2	L= 18" Ø= 2 1/2" Lg=20 1/2"	Esparrago ASTM-A193, revestimiento de fluorocarbon	64
3		Empaque tipo O-Ring, Acero inoxidable, recocido/flexifallic, Lamons o DAN-LOC	4
4		Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	16
5	Ø= 2 1/2"	Tuerca, ASTM- A194, GR 2H, revestimiento de fluorocarbon	128
6	Ø= 16"	Accesorios de tubería: Codo 90° ASTM-A234, GR WPB, SCH 160, revestimiento interno Plaste 7159, radio largo	1
7	Piano Num 9	Estructura de soporte, perfiles estructurales	5
8	10"	Accesorios de tubería: Codo 90° ASTM-A234, GR WPB, SCH 160, revestimiento interno Plaste 7159	5

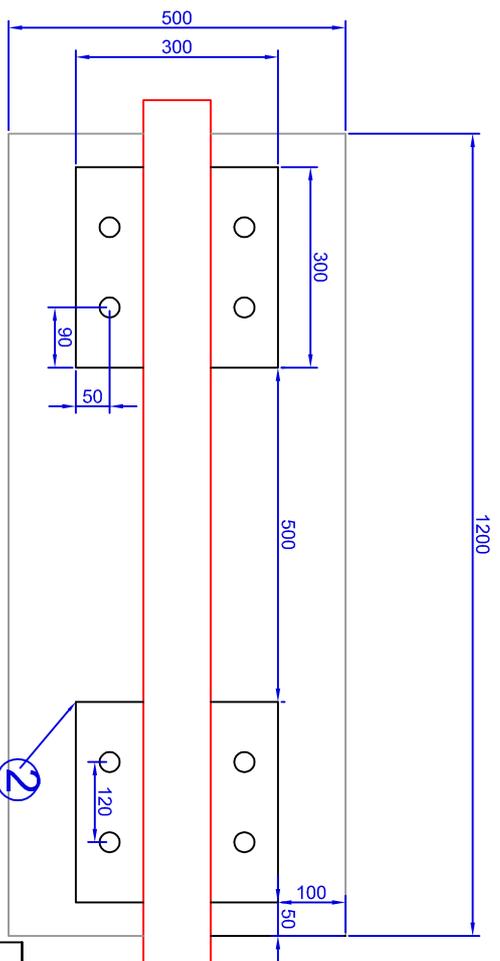
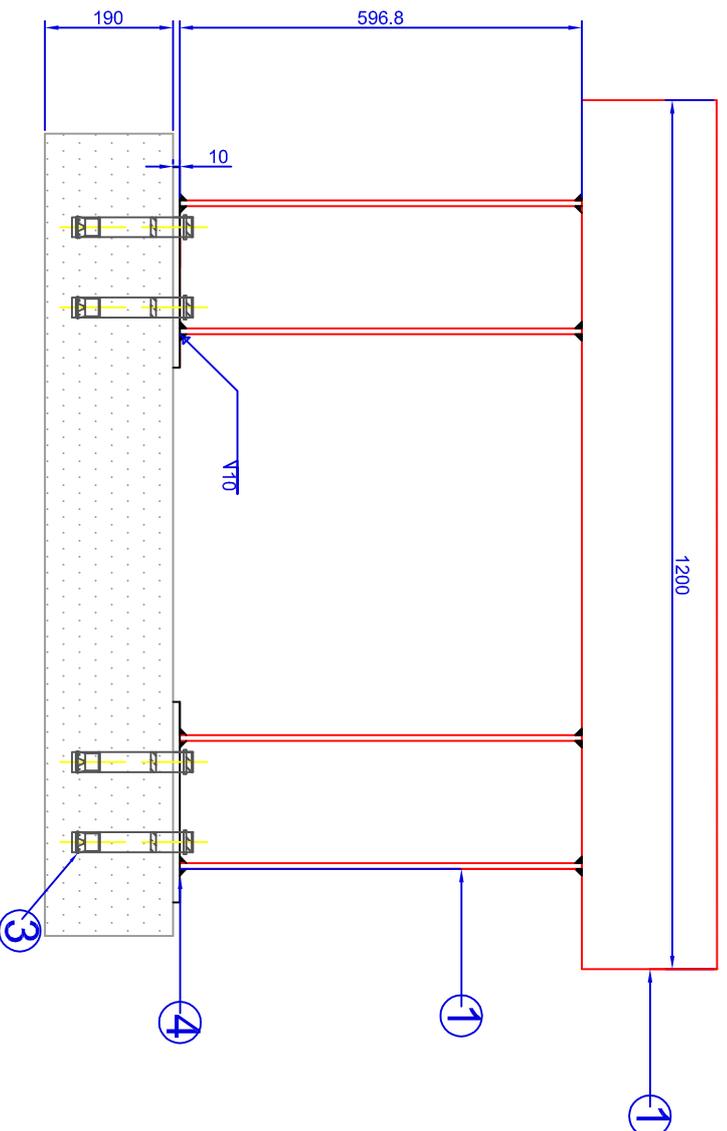
LONGITUD DE CORTE DE TUBERIA		Parte Num	Longitud (mm)	Tamaño (pulg)
<A>	12000	16		
<B>	12000	16		
<C>	3142	16		
<D>	62	10		
<E>	1988	10		

Material:	ESPECIFICADOS	Cantidad:	
Denominación:	ISOMETRIA	Escala:	S/E
Código:	LÍNEA 16"-PW-AEAREA2-G		
Sustituye:		Hoja:	7/9



LISTA DE MATERIALES

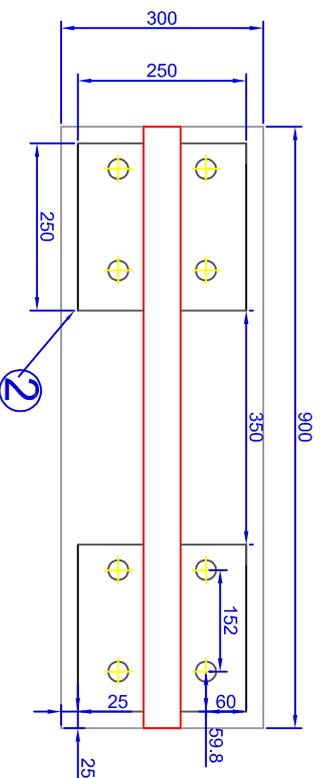
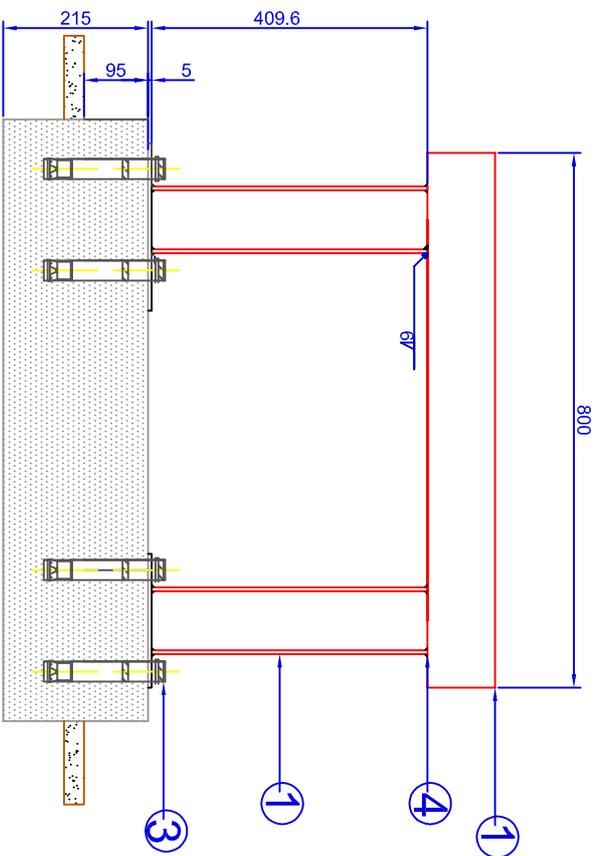
Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	200	Perfil estructural laminado, ASTM A36, IPE 200	3 m
2	300x300mm	Placa e=10mm, ASTM A36	2
3	Ø=30mm L=180mm	Perno, ASTM- A194, GR 2H, recubrimiento de fluorocarbon	8
4	10mm	Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	16



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:		Nombre:	Yanchapaxi E.	Firma:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.						
Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosse						
Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosse						
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO				Materiales:			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				ESPECIFICADOS			
Denominación:				Cantidad:			
SOPORTE DE TUBERÍA AEREA 1				1 : 8			
Código:				Escala:			
Susfituye:				Hoja: 8/9			

LISTA DE MATERIALES

Nota	Tamaño	Descripción	Cantidad
1	200	Perfil estructural laminado, ASTM A36, IPE 100	2 m
2	250x250 mm	Placa e=5mm, ASTM A36	2
3	Ø= 30 mm L= 180mm	Perno, De anclaje Hilti	8
4	6mm	Soldadura Electrodo E 7018 (WPS)	16



Proyectado:	Yanchapaxi E.	Fecha:		Nombre:	Yanchapaxi E.	Firma:	
Dibujado:	Yanchapaxi E.	Revisado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosse	Aprobado:	Ing. Ritorico- Ing. Alcosse	Denominación:	SOPORTE DE TUBERIA AEREA 2
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO				CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Código:		Sustituye:		Escala:		Hoja: 9/9	

ESPECIFICADOS

Cantidad:

1 : 8

