



TRABAJO DE TÍTULO

PROYECTO IMPULSIÓN DE AGUA ESTERO COLINA

Proyecto para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

Alumno: Guillermo Andrés Orrego Lepe

Profesor Guía: Yunesky Masip Macía

Abril 2015



Resumen

Anglo American Sur S.A. en su planta **Las Tórtolas** requiere disponer de un diseño a nivel de ingeniería de detalles para desarrollar el nuevo sistema de impulsión de agua fresca recuperada desde los pozos de captación en la zona de forestación (Pozos BN).

El objetivo principal del proyecto es recuperar el agua de captación obtenida en los pozos BN y desde los excedentes de regadío del Estero Colina, para el proceso de la planta **Las Tórtolas**.

El sistema se desarrollará mediante la incorporación de un tanque en la zona denominada “Piscinas Peldehue”, desde el cual aspirará un nuevo sistema de bombeo con su respectiva cañería hasta los tanques TK047 y tanque de agua fresca. **Anglo American Sur S.A.** encargo a **Termelec Ingeniería Ltda.** el desarrollo del mencionado diseño a nivel de Ingeniería de Detalles, cubriendo todas las disciplinas necesarias para el adecuado diseño del sistema, equipos, componentes e infraestructura necesaria. En este contexto, en el presente documento, se especifican las consideraciones técnicas que deben observarse durante la construcción y montaje del sistema de impulsión compuesto por cañerías, accesorios y bombas centrífugas, estas últimas suministradas por **Anglo American Sur S.A.** para su correspondiente montaje.



Contenido

1.- INTRODUCCIÓN	8
1.2.- OBJETIVO.....	8
2.- DESARROLLO DEL PROYECTO	11
ALCANCES	11
PARTIDAS PRINCIPALES DEL PROYECTO	12
PARTIDA TANQUE PROYECTADO	12
PARTIDA BOMBAS IMPULSORAS	12
PARTIDA SUB ESTACIÓN ELÉCTRICA	12
PARTIDA SALA ELÉCTRICA	13
PARTIDA PIPELINE.....	13
PLANIFICACIÓN PARA EJECUCIÓN.....	13
Contrato Entre las Partes	13
Personal a Contratar	13
Personal Incluido en el Gasto General	14
PERSONAL INCLUIDO EN EL COSTO DIRECTO	15
Costo Directo	15
Personal de Obras Civiles	16
ORGANIGRAMA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO	19
EQUIPOS	20
3.- INGENIERÍA DE TRABAJOS ADICIONALES	21
DESARROLLO DE ESTUDIO TRANSIENTE HIDRÁULICO	22
Antecedentes Estudio Transiente.....	22
Objetivo Estudio Transiente	22
MODELACIÓN TRANSIENTE HIDRÁULICO	23
Esquema Proyectado	23
Documentos de Base	24
Criterios de Diseño y Simulación.....	25
Celeridad de Onda	25
Presión de Vapor	26
Tiempo Crítico.....	26
DATOS DEL SISTEMA EN ESTUDIO, CALCULO DE INGENIERÍA.	27
Sistema de bombeo	27
Perfil Longitudinal.....	28
Celeridad de Onda	30
Características del Fluido y Presión de Vapor.....	30
Tiempo Crítico	30
Coeficientes de Descarga de Válvulas	31
<i>Válvulas de Aire Non Slam</i>	31
<i>Válvulas de Control Hidráulicas</i>	31
Tabla N° 10 Tabla de Ventosas.....	33
Simulaciones y Resultados	34
Descripción de Escenarios.....	34



Régimen Permanente	34
Transiente por Caída de Bombas. Caso sin protección / caso base	37
Transiente con Protección: Recomendación	38
Transiente por Cierre de Válvula Motorizada.....	39
Tiempo Mínimo de Cierre	39
Otros tiempos de cierre:	40
Presiones Máximas en Manifold de Bombas.....	41
Régimen Permanente	42
Régimen Transiente: Cierre de Válvula.....	43
Régimen Transiente: Caída de Bombas.....	43
Recomendación	43
Tanque Hidroneumático	44
Válvulas de Venteo	44
4.- COSTOS Y PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO	45
5.- CONCLUSIONES	55
6 BIBLIOGRAFÍA	57
7 ANEXOS.....	58



Índice de Figuras

Figura 1 “Emplazamiento General”	9
Figura 2 “Trazado de Línea”	9
Figura 3 “Lógica Operacional”	10
Figura 4 "Organigrama"	19
Figura 5 Esquema del Sistema.....	24
Figura 6 Curva de la Bomba.....	28
Figura 7 Curva de admisión/descarga. Válvula D-50-C y D-14.....	33
Figura 8 Régimen permanente 4 bombas en impulsión a ambos tanques. Caudal 774.6 m ³ /h	36
Figura 9 Régimen permanente 4 bombas en impulsión sólo a tanque Agua Fresca. Caudal 134.8 m ³ /h.....	36
Figura 10 Envoltentes de Presión Sin Protección	37
Figura 11 Envoltentes de Presión Con Protección.....	38
Figura 12 Volumen en tanque hidroneumático	39
Figura 13 Envoltente de presión. Tiempo de cierre válvula motorizada, 10 segundos	40
Figura 14 Disposición de elementos en manifold de bombas. (Esquema de simulación en software Pipe2014)	42



Índice de Tablas

Tabla N° 1 Personal Incluido en el Gasto General	14
Tabla N° 2 Personal Incluidos en el Costo Indirecto.....	15
Tabla N° 3 Fuerza Laboral Costo Directo.....	16
Tabla N° 4 Equipos	20
Tabla N° 5 Perfil de la Línea hasta Tanque Agua Fresca.....	29
Tabla N° 6 Perfil de la línea desde P31' hasta Tanque Proceso TK047	29
Tabla N° 7 Velocidades de Onda para cada tramo	30
Tabla N° 8 Presión de Vapor para las condiciones de operación	30
Tabla N° 9 Tabla de características ventosas con orificio Non Slam.....	31
Tabla N° 10 Tabla de Ventosas	33
Tabla N° 11 Tabla de Presiones Máximas en Manifold Bombas	41
Tabla N° 12 Horas Hombres	46
Tabla N°13 Porcentaje Avance de Obra	46
Tabla N°14 Producción	46
Tabla N°15 Eficacia Versus Eficiencia	47
Tabla N°16 Costo Contrato Suma Alzada	50
Tabla N°17 Costos Totales de Contrato.....	51
Tabla N°18 Costos de Suministro y Construcción.....	52
Tabla N°19 Costos Adicionales.....	53
Tabla N°20 Costos Piping	54



Índice de Gráficos

Gráfico N°1 Fuerza Laboral.....	15
Gráfico N°2 Personal Obras Civiles.....	16
Gráfico N°3 Personal de Obras Estructurales.....	17
Gráfico N°4 Personal Eléctrico	17
Gráfico N°5 Histograma	18
Gráfico N°6 Producción.....	48
Gráfico N°7 Productividad	48
Gráfico N°8 Costos contrato Suma Alzada.....	50
Gráfico N°9 Costos Totales Contrato	51
Gráfico N°10 Costos de Suministro y Construcción.....	52
Gráfico N°11 Costos Adicionales.....	53
Gráfico N°12 Costos Piping.....	54



1.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad año 2015 Chile esta con sequía en la zona central del país, esto ha afectado fuertemente a la minería dado que el agua es fundamental en los procesos de producción del cobre, es por ello que los proyectos de inversión de anglo american se han enfocado fundamentalmente en recopilar agua de una serie de fuentes tales como ríos, napas subterráneas, canales y su fuente principal que es la recuperación de agua desde el tranque de relaves en forma eficiente.

En este proyecto específico, el agua proveniente de los pozos BN de napas subterráneas, sumado a las aguas del estero colina que ambos suman un caudal de 200 litros por segundos se deben acumular en el tanque proyectado de 233 metros cúbicos para ser bombeada por un pipeline a tres coma ocho kilómetros al tanque TK 47 y tanque de agua fresca de hormigón a razón de 200 l/s.

La estación de bombeo proyectada se muestra en la figura 1.

En general el proyecto consiste en construir un tanque de acumulación de agua, una sala eléctrica una estación de bombeo y un pipeline de 3800 metros aproximados como se muestra el trazado en la figura 2, se destaca que el trazado del pipeline se divide en acero y HDPE, de los cuales 2550 metros corresponden a cañería de acero ASTM A 53 Gr B y 1250 metros corresponden a tubería de HDPE PE 100 norma ISO 4427 PN 16. La lógica del proyecto se muestra en la figura 3.

Las obras generales del proyecto se ubican en el planta las tórtolas división los Bronces, ubicada en el valle central de la región metropolitana en la provincia de Chacabuco, Comuna de Colina, aproximadamente a 30 km al Norte de Santiago de Chile, específicamente, el proyecto se emplazará en la zona de las piscinas de Peldehue donde se montará un tanque proyectado de agua fresca donde se acumularán las aguas que provienen de las napas subterráneas Pozos BN y las aguas provenientes del Estero Colina.



Figura N°1. Emplazamiento General



Figura N°2. Trazado de Línea

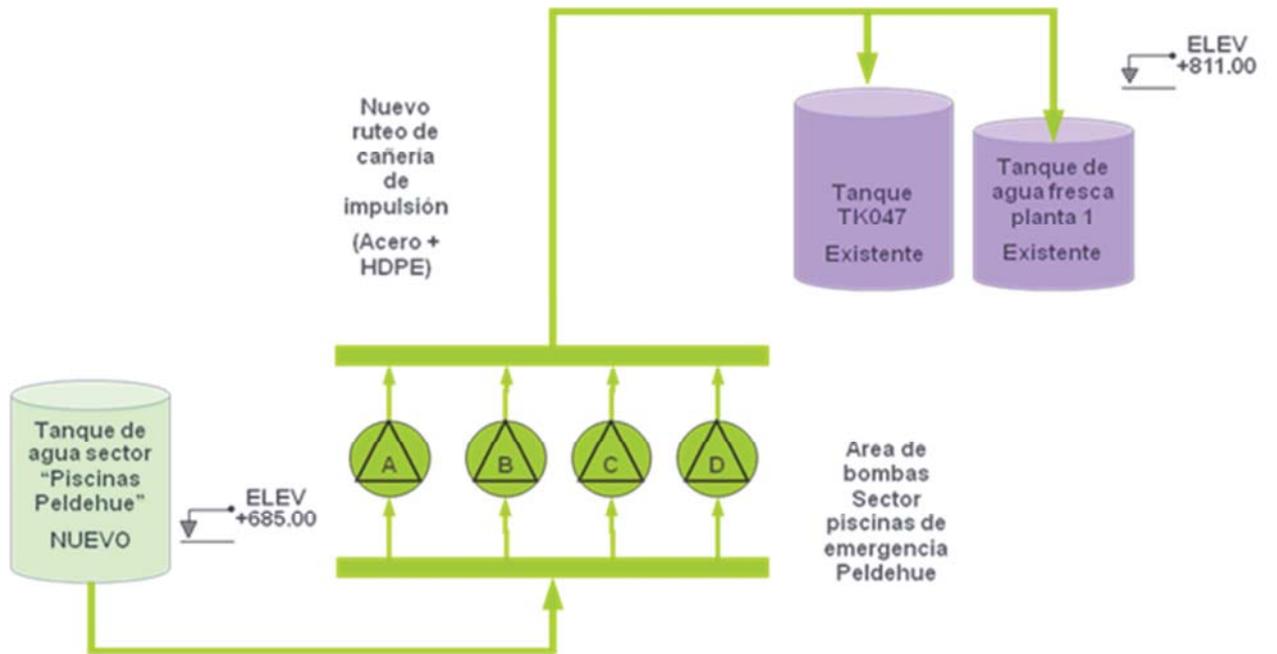


Figura N°3. Lógica Operacional



2.- DESARROLLO DEL PROYECTO

El enfoque de desarrollo de este proyecto va a nivel gestión del “Trabajo que el Contratista debe Ejecutar”, desde el punto de vista de planificar la ejecución del proyecto partiendo de la base que ya existe aprobada la ingeniería de detalles nivel 3, presupuesto aprobado y definido bajo un marco estandarizado por Bases Administrativas y Bases Técnicas de Contrato, sumado a una planificación con carta Gantt, ya con plazos establecidos.

Se requiere realizar la construcción y el montaje del proyecto, sobre la base del diseño de detalles realizado por Ingeniería Termelec Ltda. Para ello la compañía coloca como restricción el plazo de duración del proyecto no superior a 142 días laborales, en ello el contratista debe cumplir con los siguientes Itos:

- Acreditación de Personal
- Instalación de Faena y Movilización
- Ejecución de los trabajos
- Desmovilización

Alcances

El contratista deberá realizar todas las actividades necesarias para asegurar el cumplimiento total y correcto del proyecto, de acuerdo a los requisitos de calidad y desempeños declarados en las especificaciones técnicas. Los servicios que el contratista debe desarrollar en el contrato para la correcta ejecución del proyecto corresponden en forma general a los siguientes aspectos:

- Revisión de la Ingeniería de detalles y desarrollo del diseño de fabricación cuando sea necesario.
- Construcción de Sala Eléctrica
- Construcción de Pipeline
- Montaje y Pruebas de Bombas Impulsoras
- Construcción y Montaje de Tanque Proyectado de 233 m³.
- Construcción de Sub Estación Eléctrica



Para el caso de suministros de equipos eléctricos, bombas, válvulas motorizadas estas serán provistas por el Mandante, y el contratista deberá suministrar todo lo necesario para terminar el proyecto.

Partidas Principales del Proyecto

Una partida principal es aquella actividad específica que es parte de un proyecto. Estos últimos se componen de varias partidas que generalmente se dividen por especialidades, ello permite identificar áreas de trabajo y llevar el control de acuerdo a una actividad específica. Dentro de las partidas uno de los hitos más relevantes es realizar un plan de control de calidad de todas sus actividades que componen la partida. A continuación se mostrarán los controles específicos de cada partida.

Partida Tanque Projectado

- Control de Compactación de suelo y sello de fundación.
- Construcción de fundación, radier y obras asociadas
- Construcción y montaje de tanque he instalaciones mecánicas y eléctricas asociadas.
- Control y certificación de soldaduras.
- Control y certificación de nivel final.

Partida Bombas Impulsoras

- Construcción de fundaciones, radier y obras asociadas.
- Traslado y Montaje de Piping.
- Montaje y Pruebas de Bombas.
- Traslado he instalación de válvulas
- Construcción y soportes para piping proyectado.

Partida Sub Estación Eléctrica

- Construcción de fundación, radier y obras asociadas.
- Traslado y montaje de sub estación.
- Instalación de cerco perimetral.
- Conexionado y pruebas de servicio



Partida Sala Eléctrica

- Control y compactación de sello de fundación.
- Construcción de Obras Civiles
- Suministro y montaje de instalaciones eléctricas y de control.
- Conexionado y pruebas de servicio.

Partida Pipeline

- Construcción de soportes para piping proyectado
- Nivelación, alineación y rectificación del trazado.
- Suministro, traslado y montaje de piping.

Planificación para Ejecución

Para planificar la ejecución del proyecto los administradores de contratos de la contratista se debe regir por lo siguiente:

Contrato Entre las Partes

El contrato de trabajo Acto por el cual una parte se obliga para con otra a dar, hacer o no hacer alguna cosa. (artículo. 1438 del código del trabajo)

El contrato de proyecto se rige por los siguientes documentos:

- Bases Técnicas
- Bases Administrativas
- Presupuesto
- Carta Gantt
- Boleta de Garantía

Personal a Contratar

Dentro del presupuesto se encuentran los Gastos Generales, Costos Indirectos y Costos Directos del proyecto y dentro de estos se considera lo siguiente:



ITEM	MANO DE OBRA GG
A	GASTOS DE OFICINA CENTRAL
	Administrativos Remuneraciones
	Administrativos Contable
	Supervisión Gerencia
	Bodega Central
	Encargado de compras
B	SUPERVISION SUPERIOR EN TERRENO
	Administrador de contrato
	Jefe Obra
	Jefes de Terreno
	Ingeniero Oficina Técnica
	Control Documentos
	Proyectista
	Topógrafo
	Programador
	Reporte Diario
	Jefe Departamento Prevención
	Ingeniero Prevención a Cargo de la Obra
	Prevencioncita SNS
	Ingeniero Calidad
	Inspectores de Calidad
	Capataz Estructura
	Supervisor Civil
	Capataz Civil
	Supervisor Piping
	Capataz Piping
	Supervisor Eléctrico

Tabla N°1. Personal Incluido en el Gasto General



ITEM	COSTO INDIRECTO
	PERSONAL ADMINISTRATIVO Y DE SERVICIOS
	Encargado de remuneraciones
	Administrativo remuneraciones
	Administrativo ingresos
	Bodeguero
	Eléctrico Mantención
	Expeditor

Tabla N°2. Personal Incluido en el Costo Indirecto

Personal Incluido en el Costo Directo

El personal incluido en los costos directos tiene relación directa con las horas hombres vendidas dentro del presupuesto original, para una mejor distribución del personal que se necesita, para lograr un balance de personal se debe acudir a la curva S del proyecto como se muestra a continuación:

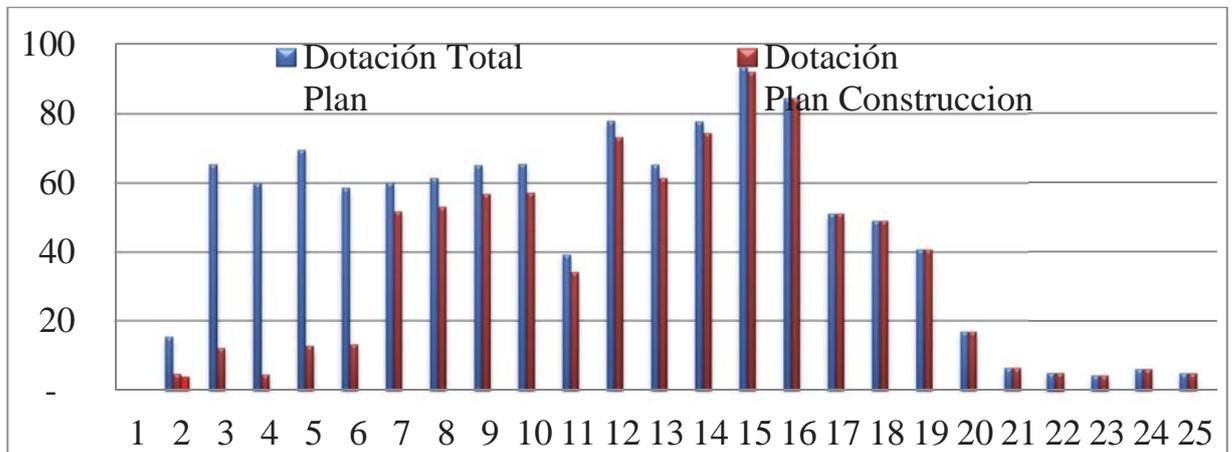


Gráfico 1. Fuerza Laboral Costo Directo



Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Fecha (termino)	16-jul-14	22-jul-14	29-jul-14	5-ago-14	12-ago-14	19-ago-14	26-ago-14	2-sep-14	9-sep-14	16-sep-14	23-sep-14	30-sep-14	7-oct-14	14-oct-14	21-oct-14	28-oct-14	4-nov-14	11-nov-14	18-nov-14	25-nov-14	2-dic-14	9-dic-14	16-dic-14	23-dic-14	30-dic-14	
Dotación Total Plan	-	15	65	60	70	59	60	61	65	66	39	78	65	78	93	84	51	49	41	17	7	5	4	6	5	
Dotación Plan Construcción	-	5	12	5	13	13	52	53	57	57	34	73	61	75	92	84	51	49	41	17	7	5	4	6	5	
Dotación Plan Fabricación	-	11	53	55	57	45	8	8	8	8	5	5	4	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dotación Real	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HH's Gastadas Directas	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dotación Forecast																										

Tabla N°3. Fuerza Laboral Costo Directo

A continuación se muestra los histogramas por diferentes especialidades de trabajo:

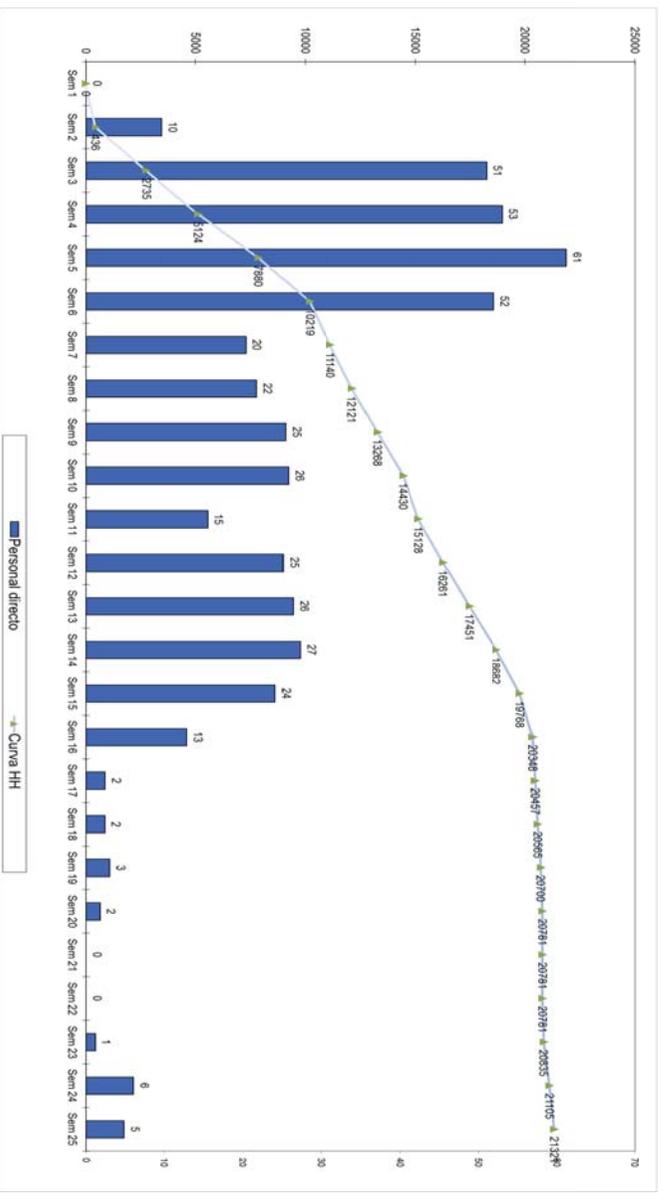


Gráfico N°2. Personal de Obras Civiles

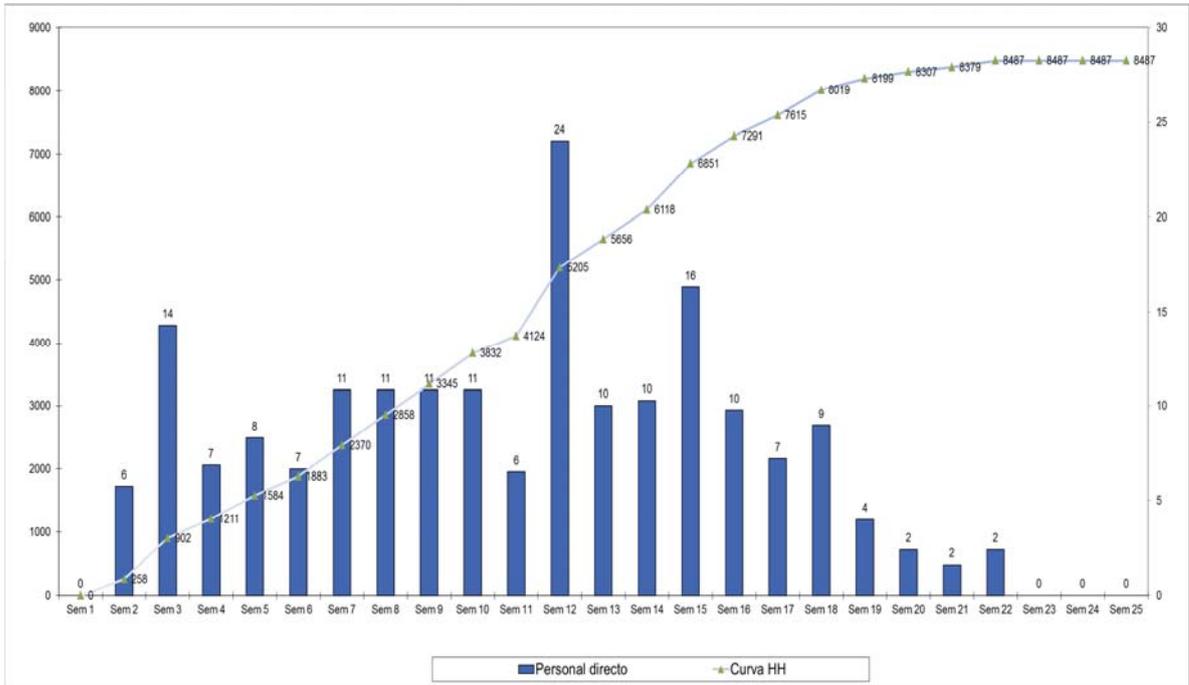


Gráfico N°3. Personal de Obras Estructurales

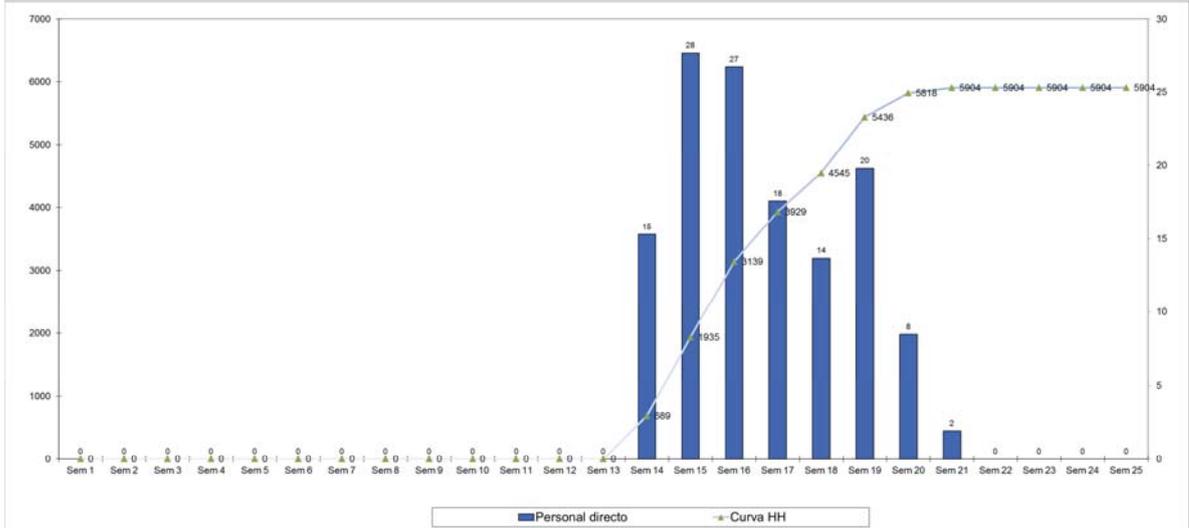


Gráfico N°4. Personal Eléctrico

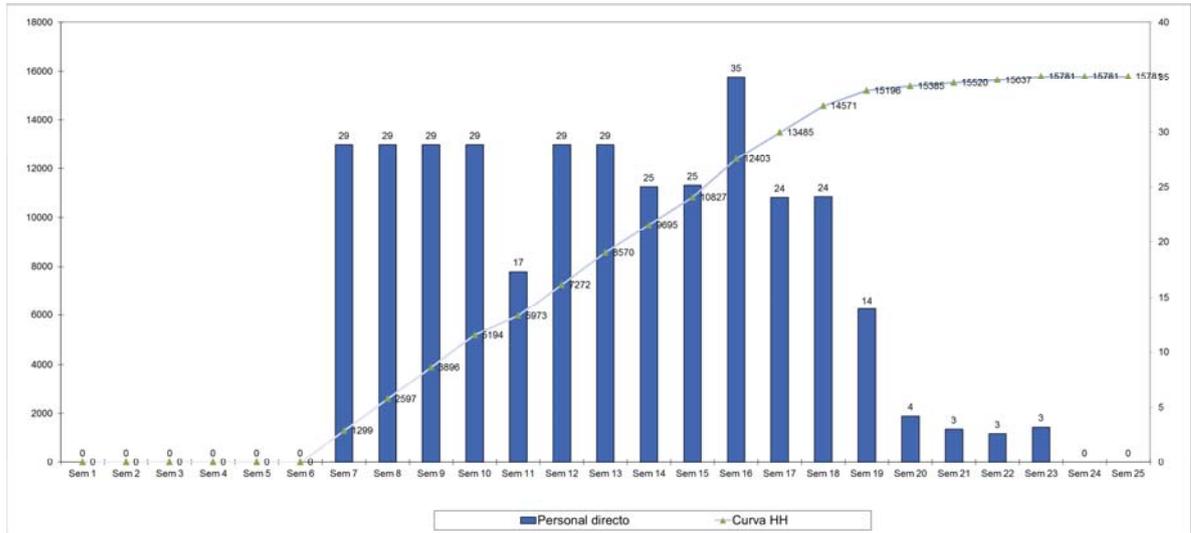


Gráfico N°5. Histograma Piping



Organigrama Para la Construcción del Proyecto

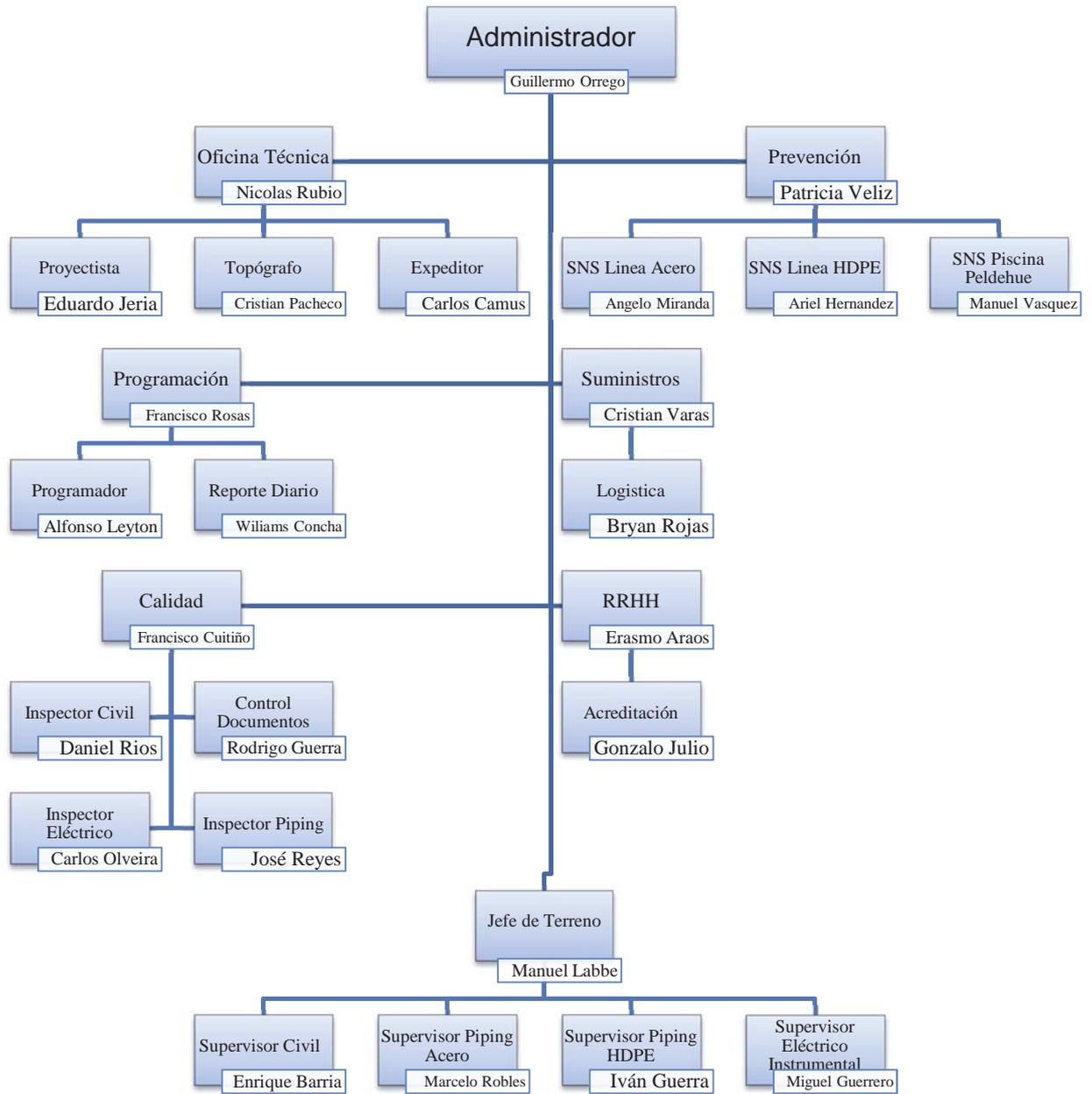


Figura N°4. Organigrama



Equipos

Los equipos del proyecto son fundamentales para poder ejecutar el proyecto, de esta forma es muy importante planificar la necesidad del uso de estos, sin contar con los equipos, la obra no puede avanzar, a continuación se mostrara los equipos que se requieren.

Cantidad	Equipos
9	Camionetas
4	Camión Pluma 7 Toneladas
2	Camión Canter 5 toneladas
1	Retroexcavadora
2	Excavadoras PC 220 9 toneladas
5	Generadores de 85 KVA
1	Alza Hombre 20 Metros
6	Máquina de Soldar 380
4	Máquina de soldar 220
16	Esmeril de 4 1/2"
6	Esmeril de 7"
4	Taladros de Percusión
2	Buses de 40 Pasajeros
2	Oxicorte
4	Camión Rampla
1	Camión Tolva 20 m3
1	Camión Aljibe 10 m3
1	Camión de Combustible 5 m3

Tabla N°4. Equipos



3.- INGENIERÍA DE TRABAJOS ADICIONALES

Dentro del estudio de ingeniería FEL 3 desarrollado por Ingeniería Termelec, se realizó un estudio básico de presiones y sobrepresiones en el sistema donde se referencia lo siguiente:

En las condiciones de operación normal, la sobrepresión por efecto dinámico es como máximo 21,1 BAR, siendo la máxima presión admisible de 40 bar para la cañería en su punto más bajo.

La condición de detención instantánea (ante una falla de energía) es la condición más severa para la instalación alcanzando una sobrepresión de 5,7 bar (\approx 21 bar total en la descarga).

La condición de golpe de ariete por detención instantánea, es evaluada en forma detallada en la memoria de cálculo correspondiente (TE0697-ECP102 Memoria de cálculo golpe de ariete). En esta se evidencia que, con la incorporación de los elementos adecuados, la sobrepresión básica calculada según el modelo simplificado, nunca es alcanzada.

La configuración del resguardo para sobrepresión de la cañería queda establecida por la incorporación de los siguientes elementos:

- Válvula de retención intermedia.
- Válvulas de ruptura de vacío y evacuación de aire.

Dada mi experiencia en montaje de piping y sistemas de bombeos quede con la incertidumbre dadas las condiciones de terreno teniendo una longitud de tubería de 3800 metros y una altura geodésica de 128 metros es poco posible que una cañería con cedula estándar resista a un corte de energía o cierre brusco de una válvula, es por ello que tome la decisión de realizar un estudio transiente hidráulico de presiones en diferentes escenarios para corroborar que las presiones no superen la presión admisible de la cañería.



Desarrollo de Estudio Transiente Hidráulico

Antecedentes Estudio Transiente

Realizar un análisis de transiente hidráulico y una verificación de venteo, para la línea de impulsión de agua fresca desde pozos, la cual forma parte del proyecto “Sistema de impulsión Colina Fase II”, ubicado en faena Las Tórtolas. Dicho estudio se encargó originalmente a la empresa Termelec, sin embargo, se realiza un estudio transiente hidráulico para tomar decisiones y recomendar equipos para mitigar el efecto de golpe de ariete en escenarios esperados como caída de bombas y/o cierre de válvulas.

El sistema en estudio consta de un sistema de impulsión compuesto por pozos y estero hacia un tanque de acumulación. Desde éste, se bombea agua hasta dos tanques por un sistema de tubería compuesto por un tramo de tubería común con Diámetro Nominal 16”, hasta un punto en el kilómetro 3km+417m, en donde se separa en dos líneas, manteniéndose una en 16” hacia el tanque Agua de Proceso (TK047), mientras la otra línea deriva en Diámetro Nominal 4” hacia tanque de Agua fresca.

El sistema considera un ramal de bombeo compuesto por cuatro bombas, con un caudal máximo de 780 m³/h aproximadamente, impulsado por una tubería con tramos de acero y de HDPE (*“High Density Polyethylene”, “Polietileno de Alta Densidad”*), de 16” de diámetro. La elevación de diseño de la bomba es de 180 mca.

Objetivo Estudio Transiente

El objetivo específico de este documento es realizar un análisis de transiente hidráulico para la línea que va desde el tanque de acumulación de 233 m³ hacia el tanque de Agua Fresca y tanque TK047, de manera que se pueda determinar las envolventes producidas en la línea, y de esa forma definir las medidas de mitigación necesarias para mantener el sistema protegido y dentro de los márgenes admisibles de diseño.



Modelación Transiente Hidráulico

Para la modelación del sistema se utiliza el *módulo SURGE del software comercial Pipe 2014, elaborado por Kypipe LLC*. El software utiliza el método de la onda característica para resolver el transiente. (Pipe2014: Surge (golpe de ariete))

Pipe2014: Surge es el programa más avanzado de modelación de transitorios (golpe de ariete). Contiene una interfase gráfica avanzada y permite una transición sencilla entre la modelación en régimen permanente y régimen transitorio o impermanente. Una amplia gama de dispositivos hidráulicos y dispositivos anti ariete se incluyen en su biblioteca.

Pipe2014: Surge es un programa de modelación de transitorios potente, rápido e integrado con numerosos elementos avanzados y 40 años de extensivo uso. Incluye una gran cantidad de dispositivos de protección y elementos hidráulicos como válvulas de aire, tanques anti ariete, válvulas anticipadoras de onda, etc.

La metodología de simulación es:

- 1.- Se realiza y verifica un análisis hidráulico del sistema en régimen permanente.
- 2.- Se establecen los escenarios a evaluar para simular.
- 3.- Se analiza el comportamiento del sistema sin protección, en régimen transiente para cada escenario.
- 4.- Se simula el sistema con diferentes elementos de protección para mitigar los efectos del punto anterior (transiente en los escenarios definidos).

Esquema Proyectoado

A continuación se presenta el esquema según lo proyectado por Termelec.

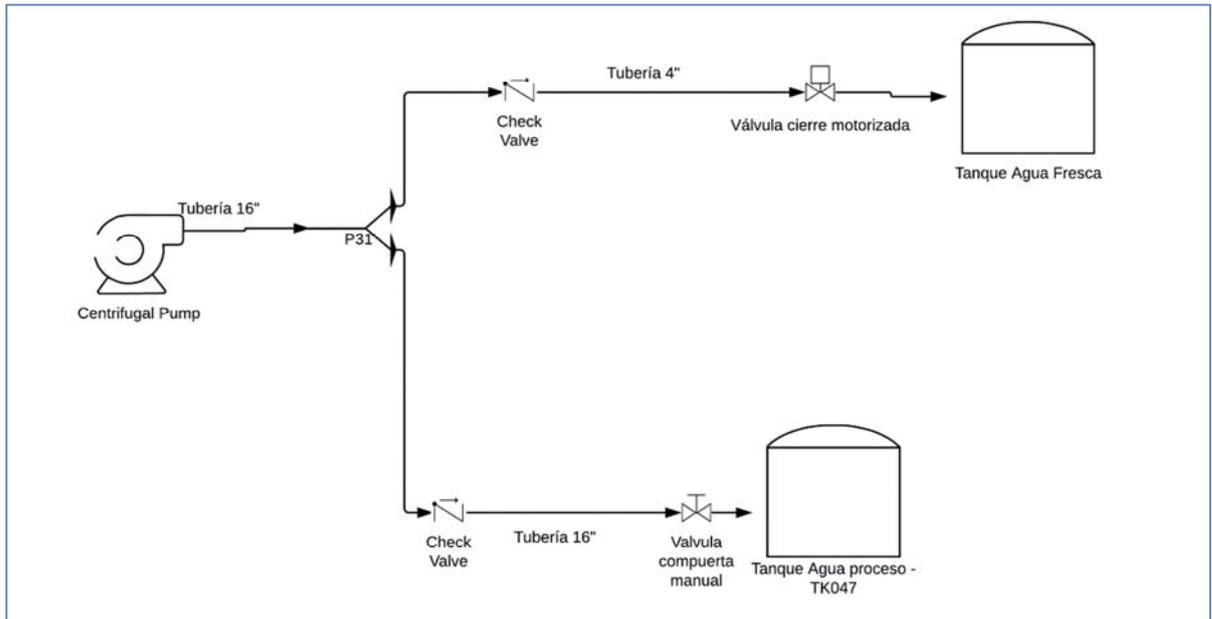


Figura N°5. Esquema del Sistema

Base de Cálculo y Criterios

Documentos de Base

Los siguientes son los documentos que se utilizaron como antecedentes en la realización de este informe, planos de proyecto Termelec.

- DLB-DRW-4544-GA-101
- DLB-DRW-4544-GA-102
- DLB-DRW-4544-GA-103
- DLB-DRW-4544-GA-104
- DLB-DRW-4544-PD-102
- DLB-DRW-4544-PD-104
- DLB-DRW-4544-PD-105
- DLB-DRW-4544-PD-106
- DLB-DRW-4544-PD-107
- DLB-DRW-4544-PD-108
- DLB-DAT-4544-ME-101 al 104
- DLB-CAL-4544-ME-101 y 102



- Cot_4225-Rev_0_Valvulas Motorizadas
- Oferta_RF16194_EVALC_LTDA

Criterios de Diseño y Simulación

- La presión de la línea no debe sobrepasar en todo el trazado el máximo valor de acuerdo al tipo y material de las tuberías. Se utiliza el valor calculado para régimen permanente, exceptuando el valor para el HDPE ("Polietileno de Alta Densidad), el cual se utiliza el esfuerzo nominal de la tubería.
- El análisis del transiente incluye el caso más desfavorable que es descargar por la tubería de cuatro pulgadas al estanque de agua fresca dentro de las condiciones de operación consideradas.
- El tiempo crítico es igual a 9.8 segundos, por lo que se realizan simulaciones de 40 segundos, y se revisa pertinencia de la solución a 100 segundos. Para verificar las soluciones, se comprueba convergencia durante ese período.
- Ecuaciones Utilizadas Para el Estudio

Celeridad de Onda

La celeridad de la onda se puede calcular como:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{r_o}}{1 + K * \frac{D}{E * e}}}$$

Ecuación N°1¹

Dónde:

- **K** es el módulo elástico del fluido, en N/m².
- **r_o** es la densidad del fluido, en kg/m³.

¹ Ecuación 1 Golpe de Ariete MECANICA DE FLUIDOS E HIDRAULICA SERIE SCHAUM EDITORIAL MCGRAWHILL 3RA EDICION



- **E** es el módulo de Young de la tubería, en Pa.
- **e** es el espesor de las paredes de la tubería, en m.
- **D** es el diámetro exterior de la tubería, m.

Presión de Vapor

Para calcular la presión de vapor relativa del fluido se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{\text{vap}} = P_{\text{vabs}} - P_{\text{atm}}$$

Donde,

P_{vap}, Presión de vapor relativa, en m.c.a

P_{vabs}, Presión de vapor Absoluta, en m.c.a

P_{atm}, Presión atmosférica, en m.c.a

Tiempo Crítico

Se calcula el tiempo crítico como el tiempo en que demora una onda en ir volver a través de la línea de impulsión:

$$T_c = \frac{2L}{c}$$

Ecuación N° 2

Donde,

T_c, Tiempo crítico, en segundos.

L, Largo de la tubería, en metros

c, celeridad de onda, en m/s.



Cuando existe más de un subtramo, con diferente celeridad de onda, la fórmula queda expresada de la siguiente manera:

$$T_c = \sum_{i=1}^n \frac{2L_i}{c_i}$$

Ecuación N° 3

Donde,

L_i , largo de subtramo. Se caracteriza dependiendo de los diferentes materiales, diámetros, espesores, etc.

c_i , celeridad de onda del subtramo, en m/s.

n , número de subtramos diferentes.

Datos del Sistema en Estudio, Cálculo de Ingeniería.

El sistema de bombeo, considerado para el cálculo del transiente, consta con un ramal de 4 bombas en paralelo marca ROTOS modelo TK100/2 con motor Weg. Cada bomba tiene 2975 rpm, y una inercia calculada de 10.56 N/m². A continuación se presentan las curvas de las mismas. :

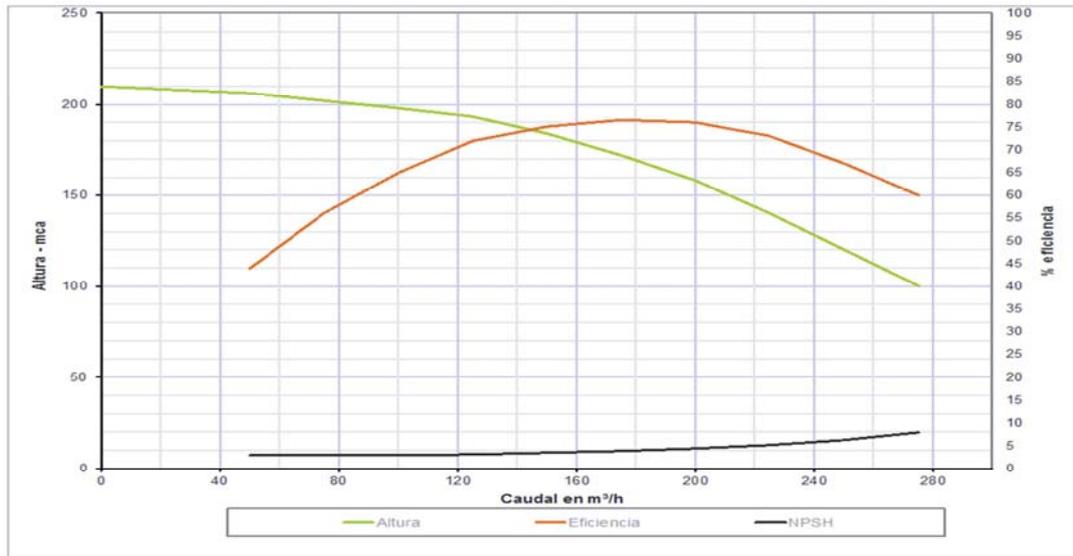


Figura N°6. Curva de la Bomba

La topografía de la impulsión proyectada se encuentra definida en la siguiente tabla. En ella se aprecian las principales características de cada tramo: Nodo, distancia, diámetro interno, espesor, material, y rating.



Nombre Nodo	Elevación m	distancia m	Material	espesor mm	Dinterior mm	Dexterio mm	rugosidad mm	celeridad m/s	MAWP bar
Pump Set	683	0.00	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P01	683	63.66	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P02	684	201.44	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P03	689	901.33	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P04	689	954.57	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P05	692	1287.44	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P06	695	1601.83	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P07	697	1821.07	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P08	696	1854.91	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P09	695	2020.51	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P10	702	2177.59	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P11	708	2225.27	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.10	1263.4	40.4
P12	709	2267.75	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P13	713	2361.90	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P14	714	2370.50	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P15	718	2424.63	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P16	720	2467.35	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P17	724	2524.63	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P18	728	2553.91	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P19	732	2598.11	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P20	741	2696.52	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P21	745	2760.87	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P22	758	2870.75	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P23	764	2945.96	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P24	761	2966.98	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P25	757	3024.47	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P26	757	3047.30	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P27	750	3089.07	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P28	750	3113.09	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P29	752	3140.61	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P30	754	3160.41	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P31	777	3396.38	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P31'	779	3417.57	HDPE PN16 - PE 100	40.9	368.2	450	0.01	379.8	14.5
P32	782	3434.06	Acero Ø=4"	6.02	102.26	114.3	0.1	1377	77.2
P33	783	3440.47	Acero Ø=4"	6.02	102.26	114.3	0.1	1377	77.2
P34	786	3486.07	Acero Ø=4"	6.02	102.26	114.3	0.1	1377	77.2
P35	785	3499.96	Acero Ø=4"	6.02	102.26	114.3	0.1	1377	77.2
P36	785	3506.05	Acero Ø=4"	6.02	102.26	114.3	0.1	1377	77.2

Tabla N°5. Perfil de la Línea hasta Tanque Agua Fresca

Nombre Nodo	Elevación m	distancia m	Material	espesor mm	Dinterior mm	Dexterio mm	rugosidad mm	celeridad m/s	MAWP bar
P37	785	3577.74	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.1	1263.4	34.37
P38	786	3607.29	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.1	1263.4	34.37
P39	790.5	3610.12	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.1	1263.4	34.37
P40	811	3610.12	Acero Ø=16"	9.53	387.34	406.4	0.1	1263.4	34.37

Tabla N°6. Perfil de la línea desde P31' hasta Tanque Proceso TK047



La celeridad de onda calculada para cada material de la línea es la siguiente:

Material	Diámetro interno [mm]	Espesor [mm]	Celeridad [m/s]
Acero Ø=16"	387.34	9.53	1263.4
HDPE PE100 PN16	368.20	40.90	379.8
Acero Ø=4"	102.26	6.02	1377.0

Tabla 7. N° Velocidades de Onda para cada tramo

El fluido es agua de pozo. La presión de vapor calculada se presenta en la siguiente tabla:

Presión de vapor absoluta	0.24	[m.c.a]
Presión atmosférica	9.44	[m.c.a]
Presión de vapor relativa	-9.2	[m.c.a]

Tabla N°8. Presión de Vapor para las condiciones de operación

Se calcula los siguientes tiempos críticos:

Desde Bombas a P31'	:	9.76 [s]
Desde P31' a Tanque Agua fresca	:	0.1 [s]
Desde P31' a Tanque TK047	:	0.09 [s]
Desde Bombas a E. Agua Fresca	:	9.86 [s]
Desde Bombas a TK047	:	9.85 [s]



Válvulas de Aire Non Slam

La siguiente tabla muestra la capacidad de descarga de cada válvula de venteo trifuncional con cierre tipo Non Slam² utilizada en las simulaciones de golpe de ariete:

Tamaño nominal	Descarga orificio [mm]	Área total NS [mm ²]	NS orificio [mm]	Punto de cambio [KPa]	Flujo a 0.4 bar [m ³ /h]
1" (25 mm)	37.5	12.6	4	resorte normalmente cerrado	17.5
2" (50 mm)	50	63	9	1	90
3" (80 mm)	75	175.4	15	2.3	240
4" (100mm)	100	476.4	24.5	2.3	350
6" (150 mm)	150	900.6	34	2.3	600
8"(200 mm)	200	1696.9	46.5	2	1850
10"(250 mm)	250	1575.7	45	1.7	2800

Tabla N°9. Características ventosas con orificio Non Slam

Los valores de las resistencias producidas por cada una de las válvulas proyectadas de la línea, están de acuerdo a fabricante. En caso de que el fabricante no especifique dicho valor, o el Kv respectivo, se utiliza una válvula del mercado que sea del mismo tipo y características técnicas.

Estudio Capacidad de Venteo

² Válvula con cierre controlado/amortiguado.



Por un lado, para el cálculo de venteo se acordó con AA, utilizar preferentemente las ventosas adquiridas por proyecto. De esta manera, solamente se corroboró el cálculo de venteo realizado de manera previa por Termelec, generando algunos pequeños cambios. Por otro lado, de acuerdo a los resultados e iteraciones del estudio del transiente, se agregaron 2 ventosas tipo Non Slam, ubicándose ambas en el manifold de las bombas (V-1 y V-2).

En el cálculo de las ventosas para operación normal se realizaron los siguientes análisis: llenado, vaciado y régimen permanente. Los criterios utilizados son los siguientes:

- a) Velocidad máxima de llenado 0.5 m/s.
- b) Régimen permanente. Se usa descarga requerida del 2% del caudal nominal.
- c) Ventosas en puntos altos.
- d) Ventosas cada 500 metros lineales.

Las válvulas adquiridas por AA corresponden a válvulas Marca ARI, modelo D-50-C y D-14, con conexión ANSI B16.43 Clase #150 DN 2, PN16" y ANSI B16.5 Clase #300 PN40, respectivamente. Las curvas de descarga y admisión se presentan a continuación:

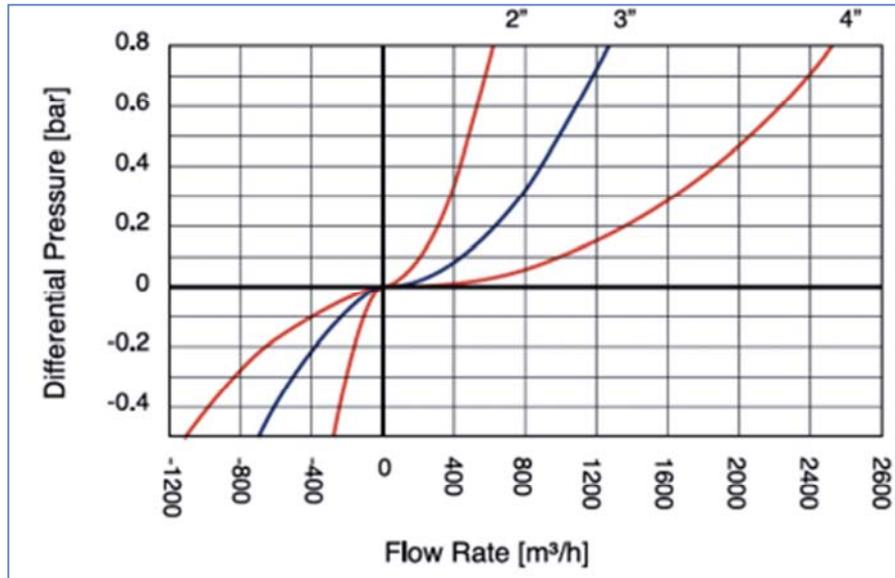


Figura N°7. Curva de admisión/descarga. Válvula D-50-C y D-14

Dado que tanto la admisión como la descarga de aire se comportan como curvas, se utilizan como parámetros de comparación los caudales a -0.4 y 0.4 bar de presión. De acuerdo con esto, a 0.4 bar se tiene una descarga de 400 m³/h, mientras que a -0.4 bar, se tiene un caudal de admisión de 200 m³/h. El siguiente es el detalle de las ubicaciones propuestas de las ventosas y sus cantidades:

Ubicación	Nombre válvula	Elevación msnm	Distancia m	Ventosa	Diámetro pulgada	Cantidad
Pump Set	V-1, V-2	683	0.00	Combinada NS	2"	2
P03	V-3	689	901.33	Combinada	2"	1
P05	V-4	692	1287.44	Combinada	2"	1
P07	V-5	697	1821.07	Combinada	2"	1
P11	V-6	708	2225.27	Combinada	2"	1
P24	V-7, V-8	761	2966.98	Combinada	2"	2
P27	V-9	750	3089.07	Combinada	2"	1
P30	V-10	754	3160.41	Combinada	2"	1
P31'	V-11	779	3417.57	Combinada	2"	1
P35	V-12	785	3499.96	Combinada	2"	1
Llegada TK agua fresca	V-13	785	3506.05	Combinada	2"	1
Llegada TK047	V-14	811		Combinada	2"	1

Tabla N° 10 Tabla de Ventosas



V-1 y V-2 son determinadas por el análisis transiente. A diferencia de lo propuesto inicialmente por Termelec, se elimina la ventosa del P29, y la del punto P31. Además se propone que a la llegada de los tanques se coloquen ventosas para la condición de llenado, puesto que cuenta con descarga superior. Por último se agrega una segunda ventosa en el punto P24, necesaria para la condición de vaciado.

Simulaciones y Resultados

Descripción de Escenarios

A continuación se describen los escenarios simulados en régimen permanente:

CASO A) Impulsando con 4 bombas a ambos tanques: Es el caso base y peor caso operacional.

CASO B) Impulsando con 4 bombas, solo a TK047: Este caso se daría solamente de cerrarse la válvula de corte motorizada a la llegada del Tanque de Agua fresca.

CASO C) Impulsando con 4 bombas solo a Tanque Agua Fresca: Este caso se daría si se cierra la válvula de corte proyectada en la línea a TK047.

CASO D) Impulsando con 3 bombas solo a tanque Agua Fresca: Ídem que el anterior, pero con 3 bombas.

CASO E) Impulsando con 2 bombas solo a tanque Agua Fresca: Ídem que el anterior, pero con 2 bombas.

CASO F) Impulsando con 1 bomba solo a tanque Agua Fresca: Ídem que el anterior, pero con 1 bomba.

Régimen Permanente

Se calibra el modelo en régimen permanente. Los caudales de equilibrio para los distintos casos estudiados son los siguientes:

- a) Con 4 bombas en operación impulsando a ambos tanques:
Caudal a TK Agua Fresca: $66.6 \text{ m}^3/\text{h}$



Caudal a TK047: 708 m³/h

Caudal total de equilibrio: 774.6 m³/h (98% del caudal de diseño)

Caudal de diseño (según Termelec): 790 m³/h.

- b)** Con 4 bombas en operación impulsando a TK047 (caso eventual)
Caudal: 772 m³/h (97.7 % del caudal de diseño)
- c)** Con 4 bombas en operación impulsando solo a tanque de agua fresca.
Caudal: 134.8 m³/h (17% del caudal de diseño), con velocidad de 4.6 m/s, en tramo DN 4". Esta velocidad es mayor a la recomendada típicamente para un desempeño óptimo de la línea.
En este caso se aprecia que la presión en la zona inicial de HDPE, aumenta por sobre la presión máxima admisible en ese punto.
- d)** Con 3 bombas en operación impulsando sólo a tanque de agua fresca.
Caudal: 134.3 m³/h. con velocidad de 4.6 m/s, en tramo DN 4". Esta velocidad es mayor a la recomendada típicamente para un desempeño óptimo de la línea.
- e)** Con 2 bombas en operación impulsando sólo a tanque de agua fresca.
Caudal: 138.4 m³/h
- f)** Con 1 bomba en operación impulsando sólo a tanque de agua fresca.
Caudal: 124.9 m³/h

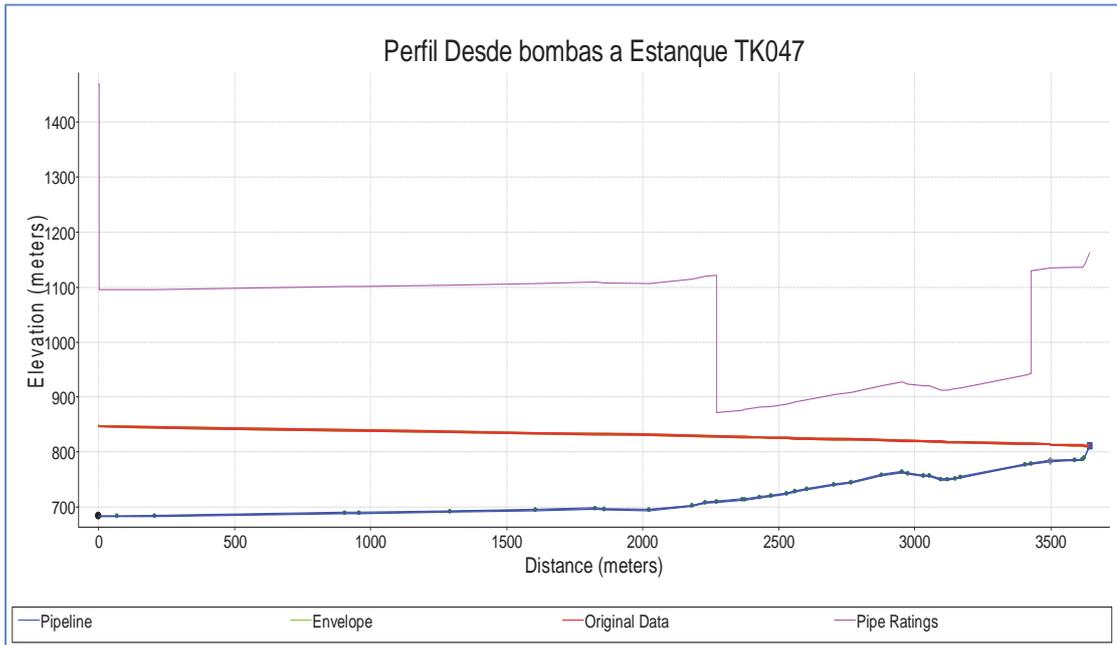


Figura N°8. Régimen permanente 4 bombas en impulsión a ambos tanques. Caudal 774.6 m³/h

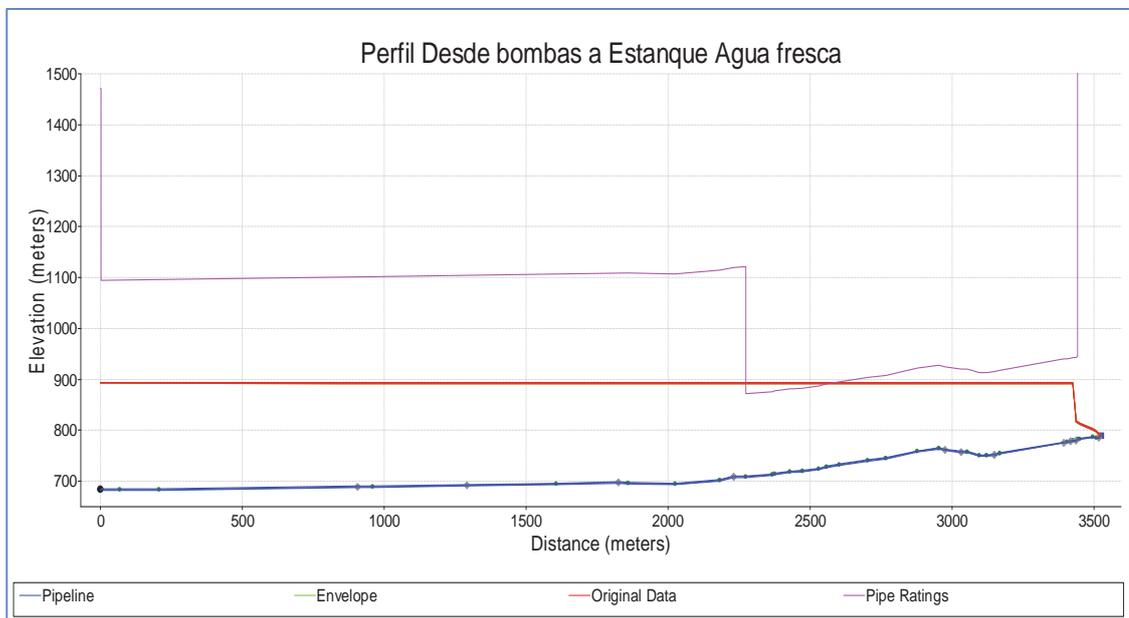


Figura N°9. Régimen permanente 4 bombas en impulsión sólo a tanque Agua Fresca. Caudal 134.8 m³/h



En la figura 9 se puede ver como la línea piezométrica (línea roja) corta la línea de la presión máxima admisible para la tubería de HDPE. De lo anterior se desprende que es inviable operar impulsando únicamente al tanque de agua fresca, independiente de si esto se realiza con 1 ,2 ,3 o 4 bombas. Por lo mismo, es que se considera como opción, a modo de minimizar las inversiones, no colocar válvula de corte para la línea de 16” en el tramo que va desde el P31’ y el tanque de proceso, y así evitar que esto se pueda establecer mediante la operación de válvulas. De esta manera, si se requiere no impulsar agua al tanque de agua de proceso, se deberán parar las bombas.

Transiente por Caída de Bombas. Caso sin protección / caso base

Se estima que la operación más probable del sistema sea impulsando a ambos tanques, con 1 o más bombas. El caso sin protección analizado considera la operación de 4 bombas, **CASO A**). Se determina que este es el caso más desfavorable puesto que tiene el mayor caudal calculado de todos los casos expuestos en el punto anterior, y más cercano al caudal de diseño de 790 m³/h. La figura muestra la envolvente de presiones y el valor de presión máxima permitida para el sistema.

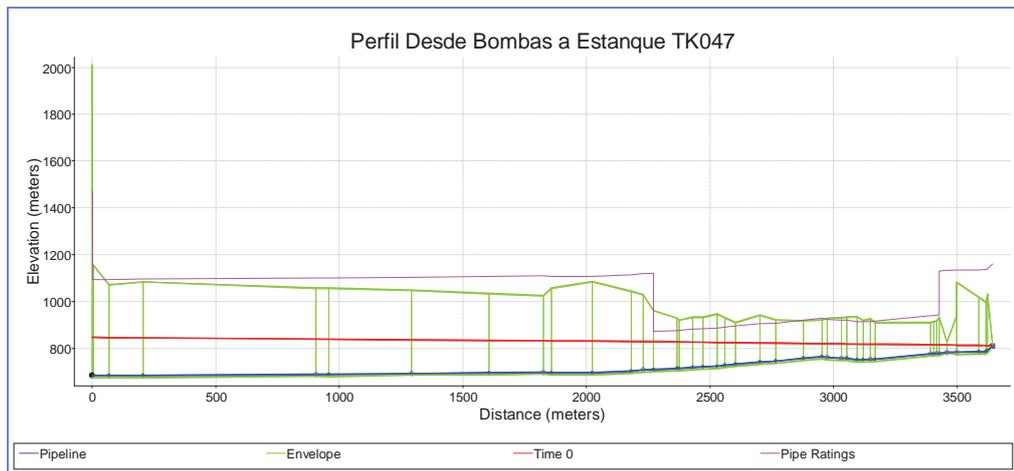


Figura N°10. Envoltentes de Presión Sin Protección



Sobrepresiones: La presión sobrepasa la presión máxima aceptable en el manifold de bombas, y en la zona de HDPE, aproximadamente entre el km 2+217 hasta el km 3+397.

Subpresiones: existen presiones negativas a lo largo de la línea completa. Se alcanza el valor de cavitación del fluido en dichas zonas.

Transiente con Protección: Recomendación

Para considerar disminuir las sobrepresiones de la línea se considera el uso adicional de:

- válvulas de venteo del tipo Non Slam
- un tanque hidroneumático de 4 m³
- utilizar una válvula check a la salida del manifold de bombas
- eliminar la válvula check proyectada en el tramo hacia el TK047.

La figura siguiente muestra el efecto de estas medidas sobre la envolvente de presiones.

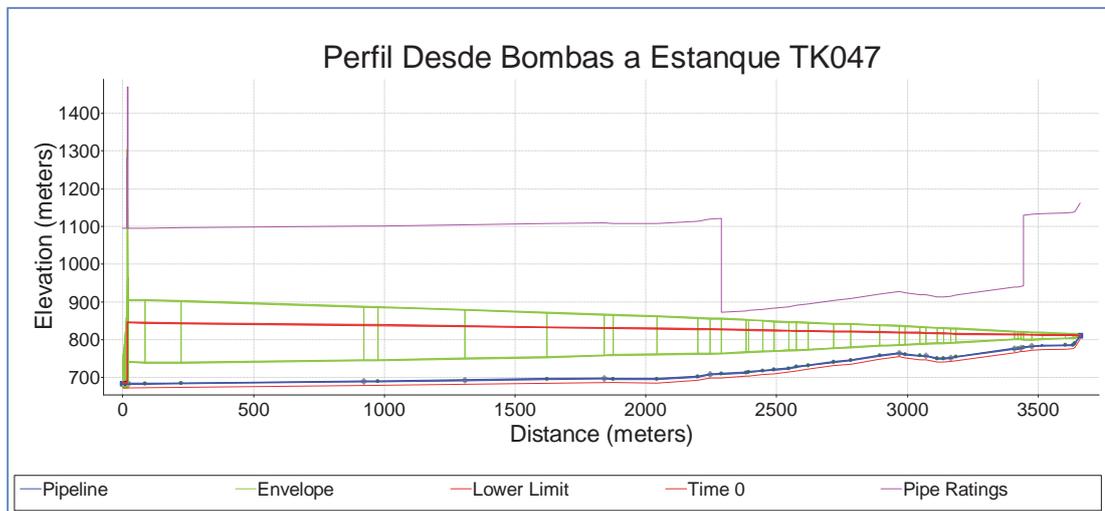


Figura N°11 Envoltentes de Presión Con Protección

Sobrepresiones: La presión sobrepasa NO la presión máxima aceptable en ninguna zona de la línea.

Subpresiones: existen presiones negativas solo en el manifold de las bombas.

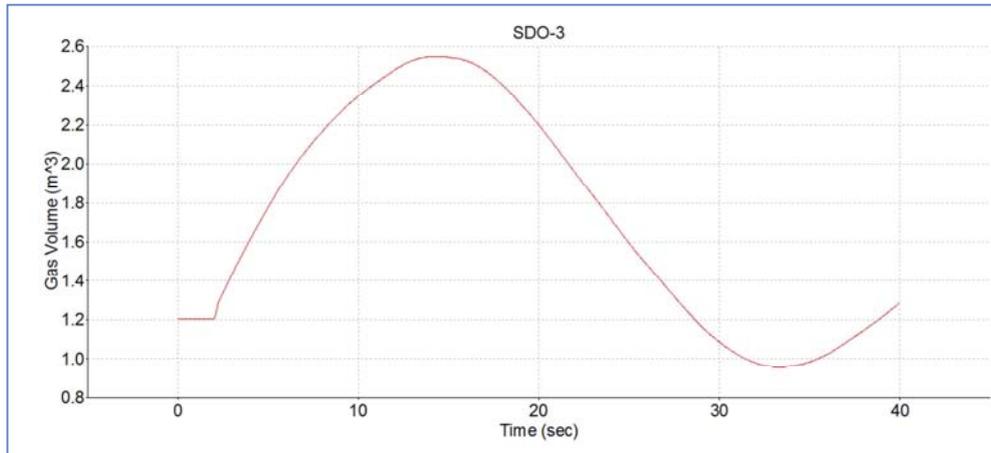


Figura N°12. Volumen en Tanque Hidroneumático

El diámetro de conexión del tanque se calcula para que por este circule el caudal impulsado total a una velocidad de 6 m/s. Utilizando el valor de 774.6 m³/h para el caudal, esto se logra con un diámetro de 213.7 mm, con lo cual se recomienda usar el diámetro comercial siguiente de 250 mm. Todos los cálculos fueron realizados con este último valor.

Transiente por Cierre de Válvula Motorizada.

Tiempo Mínimo de Cierre

Se considera el transiente producido por el cierre de la válvula motorizada de 4". Considerando que el tiempo crítico es de 9,86 [s], con un cierre de 10 segundos, se



obtiene

la

siguiente

gráfica:

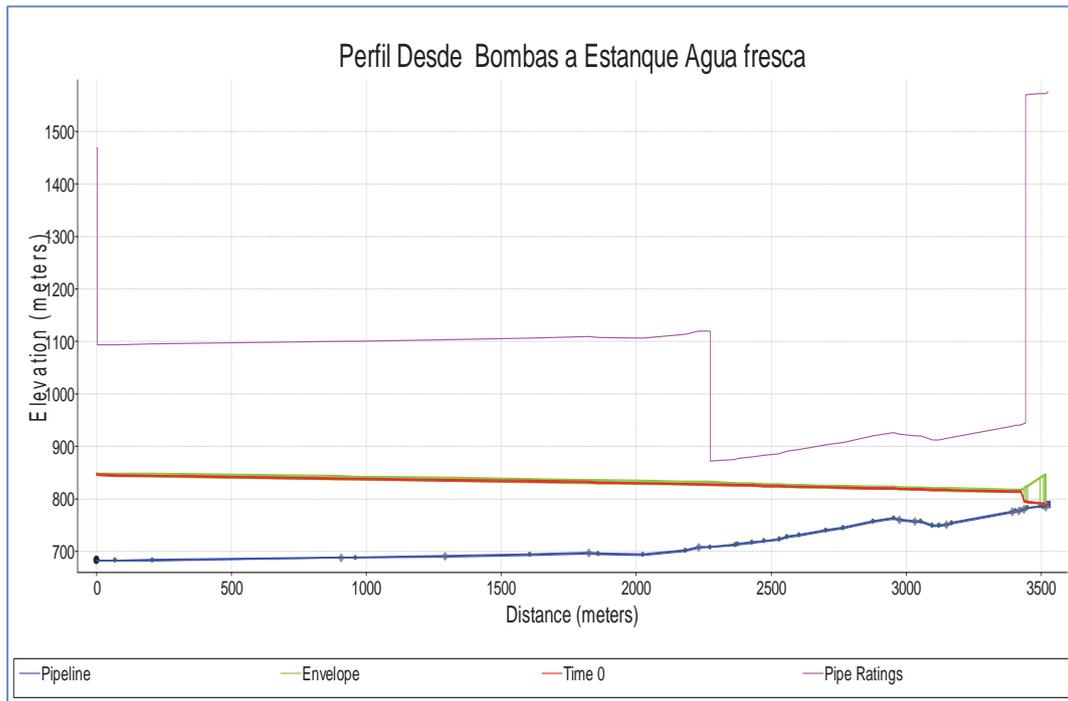


Figura N°13. Envoltorio de presión. Tiempo de cierre válvula motorizada, 10 segundos

Sobrepresiones: La presión no sobrepasa la presión máxima aceptable de la línea.

Subpresiones: No existen presiones negativas.

Otros tiempos de cierre:

- Menos de 9 segundos: Se producen sobrepresiones en la zona de la línea de 4". En algunos casos, por ejemplo con un cierre de 2 segundos. La máxima presión supera el rating de la tubería.
- Más de 10 segundos: Las sobrepresiones no son problemas para el sistema.

De esta forma, se recomienda que el cierre de la válvula motorizada no sea menor a 10 segundos.



De acuerdo a los antecedentes, la válvula adquirida por AA tiene como modo de falla, “última posición”, lo que implica que ante una caída de corriente esta se mantiene tal y como se encontraba al momento del corte. De esta manera, la única forma de cierre es programada.

Presiones Máximas en Manifold de Bombas

A continuación se presenta un esquema del manifold de conexión de las bombas. Junto a él, se presenta una tabla con las presiones máximas calculadas en el manifold de bombas, luego de la simulación en el caso más desfavorable:

Punto de medición	Nombre en esquema	Presión máxima [kPa]
Tee unión Bomba 1 tubería principal	B1-d	3235
Tee unión Bomba 2 tubería principal	B-2d	3204
Tee unión Bomba 3 tubería principal	B-3d	3096
Tee unión Bomba 4 tubería principal	B-4d	2495
Válvula check en manifold	CV-1	3172
Flange ciego manifold descarga	dc	3392

Tabla N°11. Presiones Máximas en Manifold Bombas

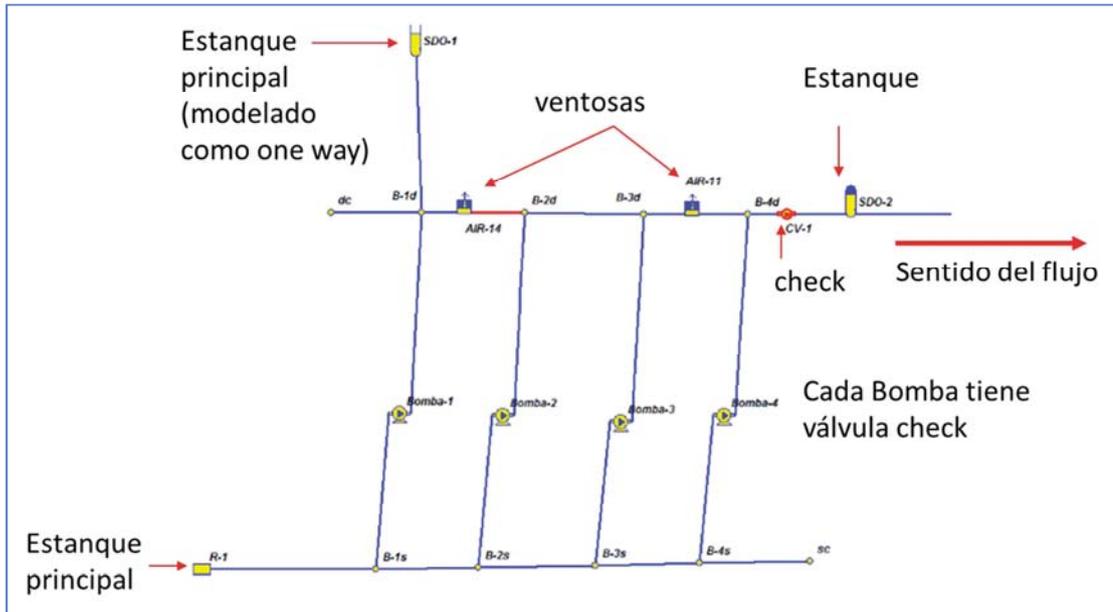


Figura N°14. Disposición de Elementos en Manifold de Bombas. (Esquema de simulación en Software Pipe 2014)

Conclusiones Técnicas

Régimen Permanente

De acuerdo al análisis anterior es posible concluir lo siguiente:

- a) El sistema no presenta dificultad para impulsar simultáneamente al tanque de Agua fresca y al TK047, y solo al tanque TK047.
- b) El máximo caudal teórico será de 774.6 m³/h
- c) Cuando el sistema impulsa únicamente el tanque de agua fresca, la línea piezométrica supera la presión máxima aceptable del tramo de HDPE (16 bar). Por lo anterior, se recomienda evitar este posible caso operacional, mediante el retiro de la válvula de corte proyectada.
- d) La válvula check proyectada de 16", ubicada en la zona de llegada al tanque TK047, genera ΔP positivos de tal manera que interfiere en la solución del transiente, por lo que se recomienda no utilizarla. En su lugar, se debe considerar alguna otra solución, ya que esta válvula no está diseñada operacionalmente para esta línea, sino que su función es ser usada en el empalme con una línea externa.



Régimen Transiente: Cierre de Válvula

De acuerdo al análisis es posible concluir lo siguiente:

- a) Cuando se cierra la válvula motorizada en la línea de DN 4", en menos de 10 segundos se producen problemas de sobrepresión potencialmente dañinos en la línea.
- b) Cuando ocurre el cierre de la válvula en la línea de DN 16", además de producirse sobrepresión, se establece el caso operacional de solo impulsar al tanque de agua fresca, CASOS C, D, E o F. Por lo mismo, se recomienda evitar estos casos operacionales.

Régimen Transiente: Caída de Bombas

Para los casos analizados, se concluye que:

- a) El sistema tiene problemas de presión negativa a lo largo de toda la línea llegando a la presión de vapor del agua.
- b) Se producen presiones mayores a las aceptables en la zona de HDPE que implica que se debe dar una recomendación para las sobrepresiones y las presiones negativas.
- c) Se entrega un listado de elementos de protección que permiten no tener presiones mayores a las máximas aceptables, y mitigar el efecto de las presiones negativas a lo largo de la línea.

Recomendación

Dado el escenario base de caída de bombas, la recomendación final es la siguiente:

- Instalar 2 Válvulas de venteo tipo Non Slam de 2" de diámetro conexión en manifold de bombas
- Instalar 1 válvula check a la salida del manifold de bombas
- Instalar 1 tanque hidroneumático con bladder interno, de 3 m³ de volumen.
- Eliminar válvulas check en la línea de 4", y en la línea de llegada al TK047



El detalle de la recomendación es el siguiente:

Tanque Hidroneumático

Basado en el análisis del transiente hidráulico, y considerando el tipo de fluido, la recomendación de tanque hidroneumático es la siguiente:

- Tanque hidroneumático con membrana interna (Bladder)
- Volumen nominal: 4 m³
- Presión de precarga: 570 kPa.
- Diámetro de conexión: 250 mm
- Presión nominal: 21 bar
- Cuerpo Horizontal
- Material del Cuerpo:
- Material membrana: Butyl

Válvulas de Venteo

La siguiente es la lista de las válvulas de venteo recomendadas para el sistema:

- Ventosa trifuncional con dispositivo de cierre Non Slam
- Diámetro de conexión: 2 pulgadas
- Conexión: ANSI #300
- Presión nominal: 25 bar



4.- COSTOS Y PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

Programación:

El sistema de control planeado para este proyecto es mediante seguimiento de desarrollo de actividades físicamente completadas y entregables, con ello se analiza su incidencia en el proyecto completo. Mediante un programa carta Gantt, plataforma Microsoft Project, se planifica los trabajos a realizar en el tiempo contractualmente estimado. En un inicio, las partidas de movilización e instalación de faenas, el programa se desarrolla según lo estipulado, luego en el tiempo y no más allá del primer mes de construcción se reprograma la obra, debido a posibles problemas que puedan incidir en la liberación de áreas que se intervendrán, estos inconvenientes son los permisos de edificación y permisos medio ambientales. La reprogramación se realiza para absorber mayores atrasos, cambiando la metodología de desarrollo del proyecto y con esto nos referimos a empezar las áreas que no tenían problemas de liberación y las otras involucradas con permisos realizados posteriormente. El problema de suministros es algo que puede suceder en el desarrollo de cualquier proyecto, para un buen desarrollo se debe analizar con anterioridad todas las variables involucradas en el desarrollo normal de lograr un objetivo, y con este análisis se liberan todas las restricciones que no nos permitirían lograr a cabalidad lo proyectado. En general en los proyectos la variable más incidente es el no arribo de suministros de elementos críticos de funcionamiento del sistema en construcción y esto conlleva a nuevas reprogramaciones de obra.

En cuanto al control este se realiza, de acuerdo a los sistemas desglosados en lo programado, de manera eficiente según el desarrollo normal de la obra, detectando los potenciales alertas que afectarían la planificación de la obra, e informando con el debido tiempo para la liberación de las restricciones necesarias.

Dentro de los controles que se realizan dentro de una obra lo más relevante es poder medir la eficiencia y la eficacia de la obra, estos se miden en función de las horas hombres proyectadas versus las horas hombres gastadas. En cuanto a la eficacia, esta mide el cumplimiento de meta, ósea la tarea cumplida no importando la cantidad



de horas hombres gastadas. En cuanto la eficiencia mide el cumplimiento de meta o tarea en función de las mínimas horas hombres gastadas o bien no superar las horas hombres proyectadas.

Para el proyecto se describen las horas utilizadas:

Descripción	HORAS HOMBRES			
	Total Proyecto	Prog. Acum.	Gastadas Acum.	Ganadas Acum.
Proyecto	67.481	67.452	71.754	67.481
Ingeniería	-	-	-	-
Fabricación	9.906	9.906	9.906	9.906
Construcción	25.704	25.675	53.313	25.704
Subcontrato	15.074	15.074	8.535	15.074
Adicionales obra	16.797	16.797		16.797

Tabla N°12. Horas Hombres

% AVANCE DE OBRA			
	Prog. Acum	Real	Delta
	99,96%	100,00%	0,04%
	100,00%	100,00%	0,00%
	99,89%	100,00%	0,11%
	100,00%	100,00%	0,00%
	100,00%	100,00%	0,00%

Tabla N°13. Porcentaje Avance de Obra

PRODUCCIÓN

	Contractual	Gastadas	Ganadas
HH Fabrica	9.906	9.906	9.906
HH Proy Geyce	25.704	53.313	25.704
HH Proy. Subc	15.074	8.535	15.074
HH Adicional	16.797	-	16.797
Total HH	67.481	71.754	67.481

Tabla N°14. Producción



HORAS HOMBRES	PF Eficacia	PF Eficiencia
HH Fabrica	1,00	1,00
HH Proy Geyce	1,00	2,07
HH Proy. Subc	1,00	0,57
HH Adicional	1,00	-
Total HH	1,00	1,06

Tabla N°15. Eficacia Versus Eficiencia

Como pueden observar e las tablas anteriores, en relación a la obra se dieron término a la ejecución cumpliendo con un 100% todas las partidas, bien lo demuestra el recuadro de la eficacia, ello lo demuestra que la eficacia de las horas hombres es uno ya que las horas ganadas son iguales a las horas acumuladas del programa.

En cuanto la eficiencia, esto se mide respecto al cociente entre las horas gatadas versus ganadas, de ello podemos concluir que las horas hombres que se proyectaron en fabrica son las mismas que se utilizaron para fabricar. Las horas hombres que se utilizaron en la construcción fueron el doble a las horas hombres proyectadas en presupuesto, sin embargo se compensa ya que las horas gastadas en los subcontratos fueron la mitad de lo que se proyectó en presupuesto.

Para una mayor claridad de grafica la producción y la productividad:



Gráfico N°6. Producción

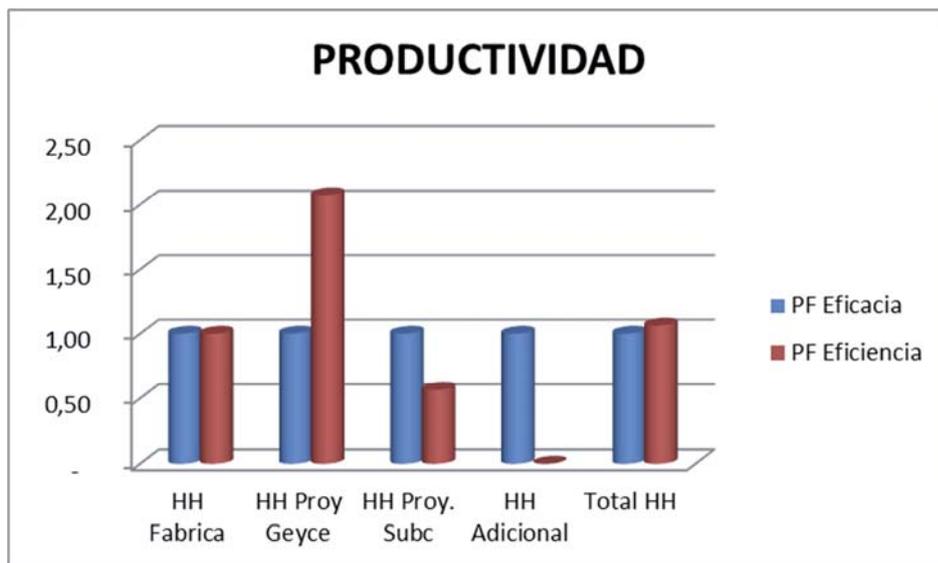


Gráfico N°7. Productividad

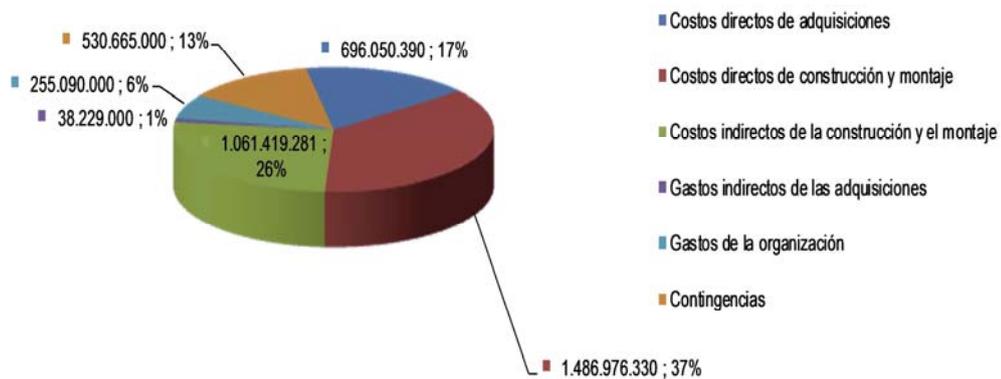
Costos:

En relación a los costos del proyecto se pueden subdividir en costos proyectados, costos contratados y costos finales. Los costos proyectados son los que nacen del estudio de ingeniería, estos costos asumen contingencias y se proyectan eficientemente al peor escenario, a continuación se desglosan los costos proyectados:



COSTOS TOTALES DEL PROYECTO		Parámetro de costo	Observaciones	Incidencia	TOTAL CL\$
Costos directos de adquisiciones	Suministros nacionales		Con factores de corrección	13%	508.926.830
	Suministros Importados		Con factores de corrección	5%	187.123.560
Costos directos de construcción y montaje	Materiales		Con factores de corrección	12%	508.139.767
	Equipos		Con factores de corrección	7%	293.584.500
	Mano de obra		Con factores de corrección	17%	685.252.064
Costos indirectos de la construcción y el montaje	Instalación de faena			4%	154.501.900
	Gastos generales	35 %	Sobre costo construcción	14%	574.517.381
	Utilidad	15 %	Sobre costo total	8%	332.400.000
Gastos indirectos de las adquisiciones	Transporte nacional	3 %	Sobre adquisición con seguros	0%	15.268.000
	Transporte internacional	9 %	Sobre adquisición con seguros	0%	16.842.000
	Impuestos de internación	3 %	Sobre total importación	0%	6.119.000
Gastos de la organización	Compras	7 H x mes		1%	35.000.000
	Administración proyecto	7 H x mes		1%	41.125.000
	Administración construcción	10 H x mes		1%	46.250.000
	Seguridad y medio ambiente	8 H x mes		1%	36.000.000
	Seguimiento de proyecto	8 H x mes		1%	37.715.000
	ITO	12 H x mes		1%	59.000.000
Contingencias	Contingencias	15 %	Sobre el total de la estimación	13%	530.665.000
TOTAL de la estimación de costos directos				100%	4.068.430.001

COSTOS POR GRUPOS DE PARTIDAS EN US\$



TOTAL DE ESTIMACION DE INVERSION EN DIFERENTES MONEDAS	CL\$	UF	€	US\$
	4.068.430.001	170.495	5.357.286	7.348.777



Los costos presupuestados son aquellos que presupuestan las empresas que licitan el proyecto, en este caso se proyectará el presupuesto adjudicado:

COSTO CONTRATO SUMA ALZADA	
ITEM	\$CLP
INSTALACIÓN DE FAENA	21.865.500
EQUIPOS Y MATERIALES	1.383.925.241
PUESTA EN MARCHA	17.727.599
COSTO INDIRECTO	52.800.000
GASTOS GENERALES	641.108.000
UTILIDADES	212.272.766
DESMOVILIZACIÓN	5.301.324
TOTAL CONTRATO	2.335.000.431

Tabla N°16. Costo Contrato Suma Alzada

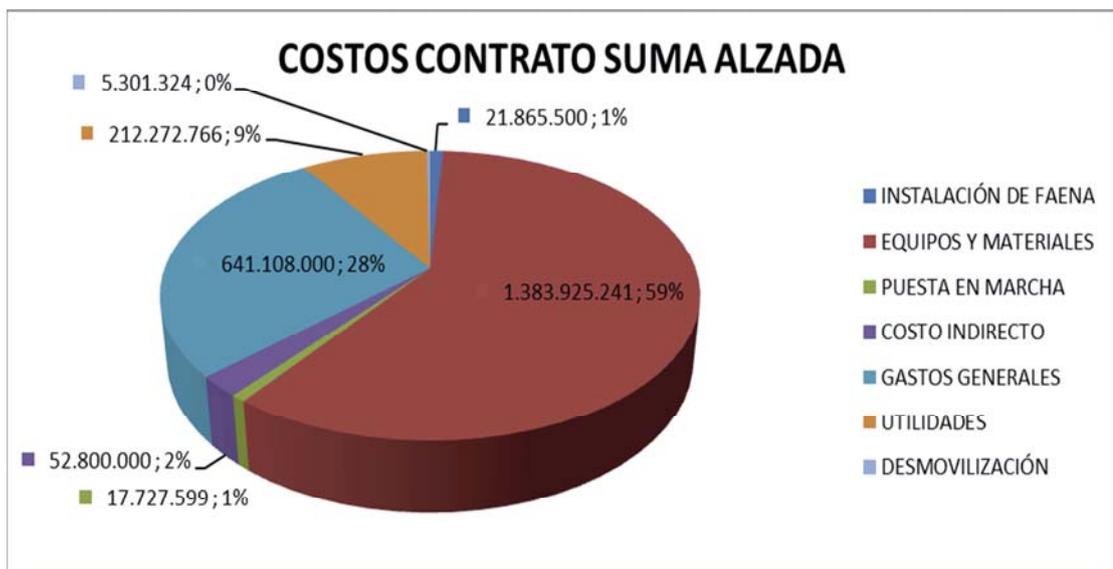


Gráfico N°8. Costos contrato Suma Alzada

Se destaca que la diferencia que existe entre el presupuesto y lo adjudicado se debe en su mayoría por que los suministros eléctricos más los equipos de instrumentación



y mecánicos son por parte del mandante, sumado a que dentro del presupuesto no hay contingencias.

A continuación se muestran los costos finales de proyecto terminado, cabe destacar que existe un gran incremento de la obra, todo ello se puede informar que ocurren por que la ingeniería del proyecto no fue la adecuada:

COSTOS TOTALES CONTRATO	
ITEM	\$ CLP
INSTALACIÓN DE FAENA	21.865.500
EQUIPOS Y MATERIALES	1.383.925.241
PUESTA EN MARCHA	17.727.599
COSTO INDIRECTO	52.800.000
GASTOS GENERALES	641.108.000
UTILIDADES	212.272.766
DESMOVILIZACIÓN	5.301.324
ADICIONALES	863.040.799
TOTAL CONTRATO CL\$	3.198.041.229

Tabla N°17. Costos Totales de Contrato

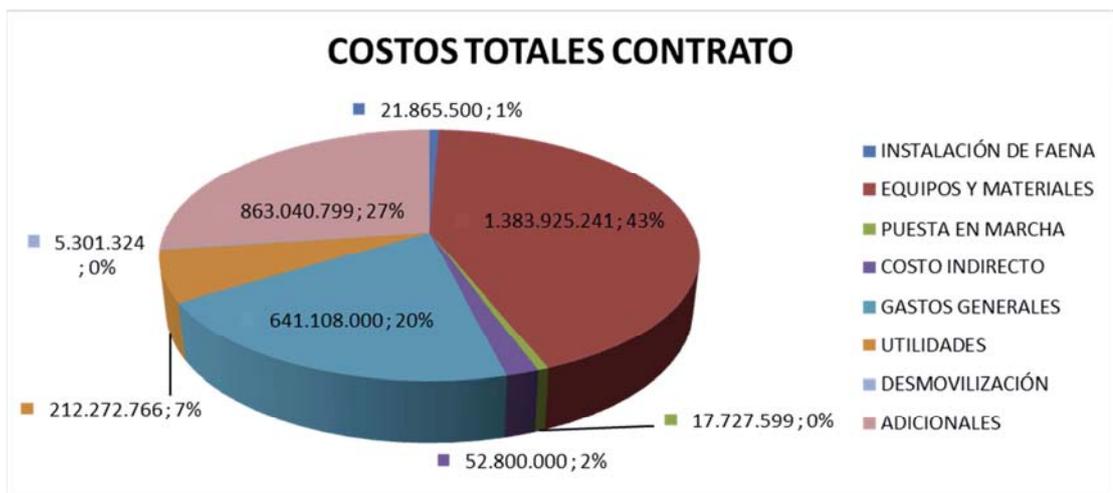


Gráfico N°9. Costos Totales Contrato



Dentro de los costos finales del proyecto su mayor incremento es debido a la mala ingeniería de detalles, esto afecto directamente a la construcción de la obra. De ahí que, los costos de equipos y materiales se desglosen de la siguiente manera:

COSTOS DE SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN	
COSTO EQUIPOS Y MATERIALES	1.383.925.241
CIVIL	287.462.000
ESTRUCTURA	179.296.202
PIPING ACERO	442.956.686
PIPING HDPE	199.483.630
ELÉCTRICO INSTRUMENTAL	274.726.723

Tabla N°18. Costos de Suministro y Construcción

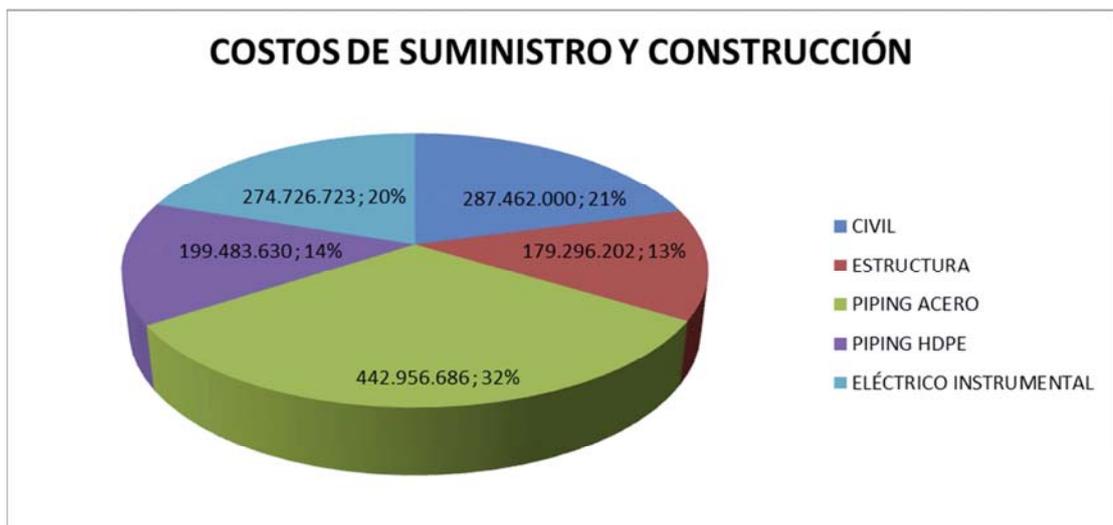


Gráfico N°10. Costos de Suministro y Construcción

Como se puede apreciar la actividad de mayor incidencia dentro del contrato es el área de piping que abarca un 32% de las actividades de construcción originales de contrato. Dentro de los costos totales el contrato original creció un 27%, a continuación muestro las tendencias de crecimiento:



COSTOS ADICIONALES	863.040.799
CIVIL	71.951.679
ELECTRICO	68.461.925
ESTRUCTURA	31.585.481
INGENIERIA	118.724.233
PIPING	286.284.428
GG Y UT EXTENSIÓN DE PLAZO	173.788.000
GG Y UT POR CAMBIOS SOBRE 15%	112.245.052

Tabla N°19. Costos Adicionales

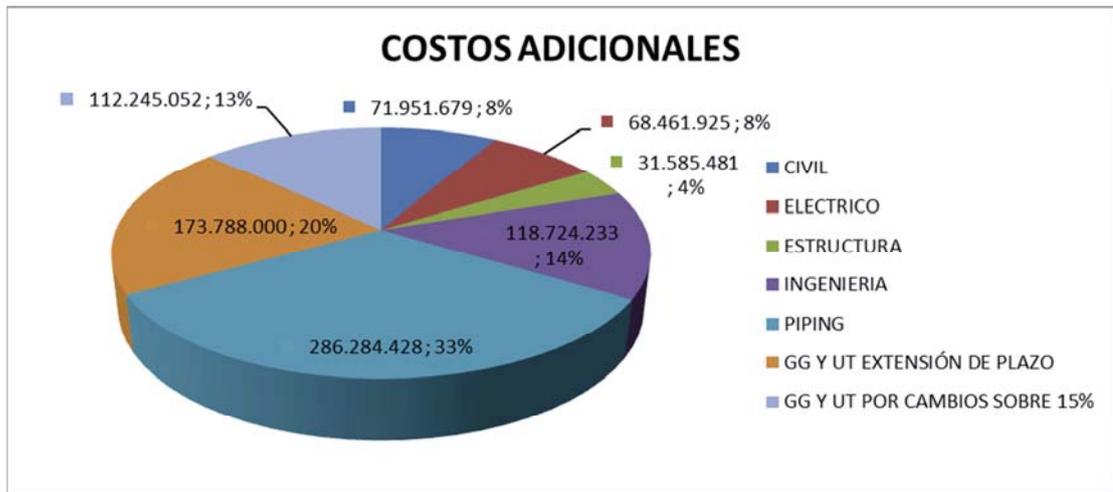


Gráfico N°11. Costos Adicionales

Una vez más se marca la tendencia al crecimiento significativo del piping, esto se debe que del 27% de crecimiento general de la obra, dentro de este el piping incide en un 33% del total de la obra. Como ya es sabido el piping fue el factor fundamental del crecimiento de la obra, a continuación se muestra la incidencia de los costos del piping:



COSTOS PIPING	
CONTRATO	3.198.041.229
PIPING CONTRATO	642.440.316
PIPING ADICIONAL	228.155.236
ESTANQUE HIDRONEUMATICO	58.129.193

Tabla N°20. Costos Piping

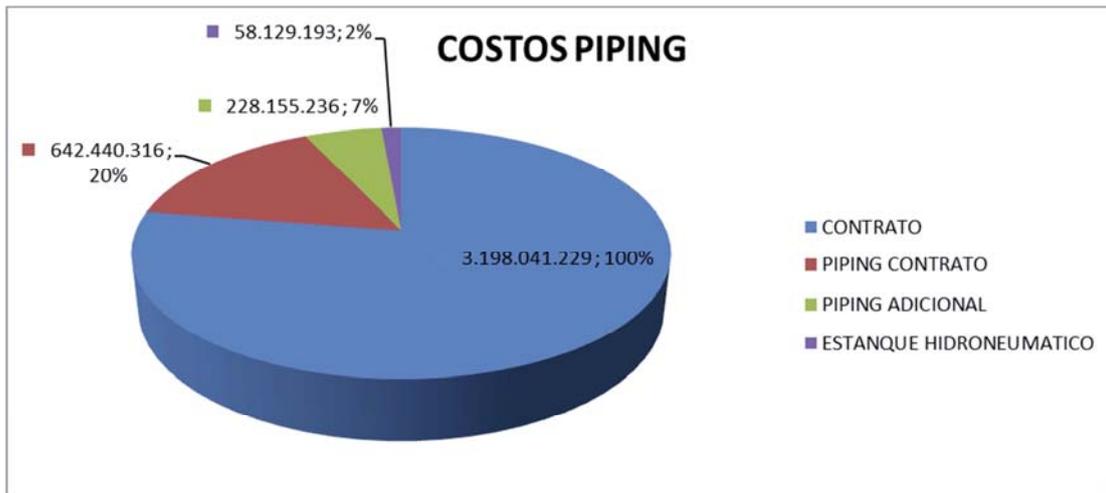


Gráfico N°12. Costos Piping

Del valor del contrato final como lo muestra la figura anterior, el piping en general es un 29% del valor total del contrato, de los cuales un 20% es correspondiente al valor de piping contratado un 7% de crecimiento de piping y un 2% de equipo correspondiente al estanque hidroneumático.



5.- CONCLUSIONES

Cuando un proyecto nace es fundamental estudiarlo en todas sus etapas de ingeniería, el método más utilizado es el método FEL (front end loadin), esta es una metodología basada en el concepto de portones de aprobación donde en cada portón se aprueba, o no, el pasaje a la siguiente etapa. Esta metodología ayuda ahorrar costos y mantener al proyecto en fecha, ya que cada fase, antes de ser iniciada, debe estar correctamente planificada y aprobada, FEL 1 (Ingeniería Factibilidad Económica), FEL 2 (Ingeniería Conceptual) y FEL 3 (Ingeniería Detalles).

En particular cuando un proyecto se ejecuta siempre se mide por tres variables fundamentales, Tiempo, Costo y Desempeño. Este proyecto Impulsión de Agua Estero Colina fue ejecutado con todas las técnicas de control de proyectos, se siguió una carta Gantt, se midió constantemente los factores de producción a través de la eficacia y la eficiencia.

La cantidad de personal utilizado para ejecutar la obra nace de la necesidad de la carta Gantt a través de sus curvas S e histogramas, con ello ayuda a mantener los proyectos bajo presupuesto respecto a la fuerza laboral.

Claramente el proyecto ejecutado no tuvo un buen desarrollo de ingeniería, es por ello que se toma la decisión de desarrollar nuevas ingenierías complementarias para poder asegurar la calidad de la construcción y montajes de forma que el funcionamiento del proyecto fuese de lo mejor.

Dentro del estudio de transientes hidráulicas me di cuenta que tanto en el piping de acero y HDPE la línea tenía sobrepresiones y subpresiones que superaban la presión admisible que soportaba la cañería y la tubería.

Para el problema ya descrito existía dos posibilidades de solución, la primera sería cambiar el piping que ya estaba montado, esto claramente impacta de sobre manera en los costos del proyecto significando incrementar los costos sobre un 40% del total del proyecto, claramente no era una buena alternativa. Dentro de la conclusión



técnica la alternativa ejecutada y que acepto el cliente fue el suministro e instalación de un estanque hidroneumático de 4 metros cúbicos, esto solo impacto en incrementar los costos de proyecto en un 2% del total del proyecto, permitiendo el buen funcionamiento del proyecto permitiendo simular transientes de corte de energía amortiguando el golpe de ariete y no sobrepasando las presiones admisibles, dando seguridad a que las tuberías no fallen.



6 BIBLIOGRAFÍA

MECANICA DE FLUIDOS E HIDRAULICA SERIE SCHAUM EDITORIAL
MCGRAWHILL 3RA EDICION

Hidráulica, Profesor Aldo Tamburrino, Universidad de Chile.



7 ANEXOS



















3



