UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

"GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA JAGUAY – ILO DEL PROYECTO PASTO GRANDE, REGIÓN MOQUEGUA"

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR
CARLOS ROGELIO HUERTA VALDEZ

ASESOR
Ing. EDGAR RODRIGUEZ ZUBIATE

Lima – Perú

2021

ÍNDICE

Pag.

RESUMEN **4**

ABSTRACT **5**

PRÓLOGO **6**

LISTA DE CUADROS **7**

LISTA DE FIGURAS **9**

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS **11**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN **20**

1.1 ANTECEDENTES **20**

1.1.1 Breve historia de Centrales Hidroeléctricas 20

1.2 GENERALIDADES **22**

1.2.1 Esquemas de Pequeñas y Minicentrales Hidroeléctricas 22

1.2.2 Centrales hidroeléctricas en conducciones existentes en el mundo 23

1.2.3 Ubicación geográfica del proyecto a estudiar 26

1.2.4 Aspectos generales del proyecto a estudiar 27

1.3 OBJETIVOS **31**

1.3.1 Objetivo General 31

1.3.2 Objetivos Específicos 31

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO **32**

2.1 PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS **32**

2.1.1 Clasificación de Centrales Hidroeléctricas 32

2.1.2 Componentes de las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas a estudiar 33

2.2 ECUACIONES USADAS EN PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS 38

2.2.1 Ecuación de la continuidad 38

2.2.2 Ecuación de la energía 39

2.2.3 Ecuación de cantidad de movimiento 55

2.3 ECUACIONES DE DISEÑO EN PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS 58

2.3.1 Cámara de carga 58

2.3.2 Tubería forzada 61

2.3.3 Casa de Máquinas 71

2.4 GOLPE DE ARIETE Y CAVITACIÓN EN PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS 76

2.4.1 Golpe de ariete 76

2.4.2 Cavitación 83

CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DE UBICACIÓN DE LAS PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROÉLECTRICAS 88

3.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS 88

3.1.1 Alternativa 1 89

3.1.2 Alternativa 2 97

3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA 105

3.2.1 Evaluación económica 105

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE UNA PEQUEÑA Y MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA 109

4.1 ESTUDIOS PREVIOS 109

4.1.1 Topografía 109

4.1.2 Geología 111

4.1.3 Geotecnia 112

4.1.4 Hidrología 113

4.2 DISEÑO DE COMPONENTES DE LAS PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS 128

4.2.1 Diseño de cámara de carga 129

4.2.2 Evaluación del sistema de conducción existente con el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas 130

4.2.3 Diseño de casa de máquinas 142

CAPÍTULO V: COSTO DEL PROYECTO 144

5.1 COSTOS PARAMÉTRICOS 144

5.1.1 Costo paramétrico cámara de carga 145

5.1.2 Costo paramétrico casa de máquinas 145

5.1.3 Costo paramétrico turbinas 146

5.1.4 Costo paramétrico subestación 146

5.1.5 Costo paramétrico líneas de transmisión 147

5.2 PRESUPUESTO 148

CONCLUSIONES 149

RECOMENDACIONES 151

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 152

ANEXOS 159

RESUMEN

El objetivo de las tesis es identificar y diseñar un sistema en cascada de pequeñas y minicentrales hidroeléctricas, a lo largo de los 63.3 km de tuberías de conducción de agua hacia el proyecto de irrigación Lomas de Ilo.

La tesis toma como base el estudio “Ampliación de la Frontera Agrícola Lomas de Ilo – Moquegua”, que forma parte del Proyecto Especial Pasto Grande. El sistema de conducción es por dos tuberías en paralelo, con un desnivel total aproximado de 716 m. Se identifica que es posible generar energía hidroeléctrica aprovechando dicho desnivel para darle un mayor valor al proyecto.

A lo largo del desarrollo de las tuberías en paralelo se identificaron zonas adecuadas para ubicar tres centrales hidroeléctricas pequeñas. Se estudio dos alternativas de diseño. En la alternativa Nº 1, las tuberías en paralelo llegan cada una a su propia turbina, trabajando de manera independiente. En la alternativa Nº 2, las tuberías en paralelo se unen a la llegada de la casa de máquinas conectándose a una sola turbina.

Mediante un estudio de evaluación económica se encontró que la alternativa Nº 2 es la más viable. Sobre la base de esta alternativa se diseñó la casa de máquinas de la CH-3 que tiene una potencia de 2.08 MW y es la que tiene mejores indicadores económicos, con un presupuesto paramétrico de 1,795,904.38 USD, un VAR de 3,532,087.84, un TIR de 34.88%, un B/C de 2.51 y un costo promedio de energía de 8.44 MWh.

A la tubería existente de la CH-3 se le hizo una verificación adecuada de los efectos del fenómeno de golpe de ariete por parada de turbina y finalmente se elaboró un presupuesto.

ABSTRACT

The theses' objective is to identify and design a cascade system of small and mini hydroelectric plants, along the 63.3 km of water conduction pipes to the Lomas de Ilo irrigation project.

The thesis is based on the study "Ampliación de la Frontera Agrícola Lomas de Ilo – Moquegua", which is part of the Pasto Grande project. The conduction system goes through two parallel pipes, with an unevenness of approximately 716 m on the whole system. It is identified that it is possible to generate hydroelectric energy by taking advantage of said unevenness to give the project greater value.

Throughout the development of the parallel pipelines, suitable zones were identified to locate three small hydroelectric plants. Two design alternatives were studied. In alternative N° 1, the pipes in parallel each reach its own turbine, working independently. In alternative N° 2, the pipes in parallel are joined at the arrival of the powerhouse, connecting to a single turbine.

Through an economic evaluation study, it was found that alternative number 2 was the most viable. Based on this alternative, the CH-3 powerhouse was designed, which has a power of 2.08 MW and also has the best economic data. With a parametric budget of 1,795,904.38 USD, a risk value of 3,532,087.84, an internal rate of return (IRR) of 34.88 %, a cost-benefit of 2.51 and an average energy cost of 8.44 MWh.

An adequate verification of the effects of the water hammer phenomenon due to turbine shutdown was made to the CH-3 pipeline; then, a budget was finally drawn up.

PRÓLOGO

En el Perú existen muchas obras hidráulicas con sistemas de conducción de agua a través de canales y tuberías para obras de irrigación y saneamiento, y por las características de geografía física que tiene el país estos sistemas tienen almacenados en su trayectoria energía potencial que puede ser utilizada para generar energía eléctrica. Al identificar lugares adecuados en estos sistemas de conducción se pueden diseñar pequeñas centrales hidroeléctricas, dando un mayor valor al proyecto.

Estas situaciones motivaron al Señor Bachiller Carlos Rogelio Huerta Valdez a evaluar un sistema de conducción a través de dos tuberías en paralelo, de 63.3 km de longitud, hacia el proyecto de Irrigación Lomas de Ilo, para el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Se tomo principalmente en cuenta que entre el inicio y final de este sistema de tuberías existente un desnivel importante de aproximadamente 716 m.

En la tesis se identificaron zonas adecuadas para ubicar tres centrales hidroeléctricas pequeñas. Luego se estudiaron dos alternativas de diseño de las casas de máquinas, y se efectuó el diseño, con presupuesto, de una casa de máquinas.

Considero que esta tesis aportará a que se repliquen estudios similares en otras zonas del país, dando un mayor valor a los proyectos, y generando energía hidroeléctrica para pequeñas zonas aisladas del país.

Ing. Edgar Rodríguez Zubiate
Profesor Principal
Asesor de Tesis

LISTA DE CUADROS

N° **Pag.**

N° 1-1 Características de los canales analizados 24
N° 1-2 Resumen de Potencia y Energía generada en los canales 25
N° 1-3 Cuadro de coordenadas de la conducción UTM WGS84 19 Sur 27
N° 2-1 Rugosidades k de los materiales de tuberías 44
N° 2-2 Intensidad de aumento de la rugosidad 45
N° 2-3 Coeficiente de pérdidas K en la entrada de la tubería 47
N° 2-4 Coeficiente K de accesorios para tuberías GRP 48
N° 2-5 Coeficientes de pérdida para bifurcaciones en tuberías (cantos agudos) 49
N° 2-6 Coeficientes K para válvulas completamente abiertas 52
N° 2-7 Valores de ng 54
N° 2-8 Valores de nt 55
N° 2-9 Tipo de suelos 65
N° 2-10 Valores de Msb 66
N° 2-11 Valores de Msn 66
N° 2-12 Valores de SC 67
N° 2-13 Tipo de turbina en función de la velocidad específica 74
N° 2-14 Presión de saturación ps del vapor de agua a diversas temperaturas ts 83
N° 2-15 Valores de σ obtenidos por Kratochvil 86
N° 3-1 Ubicación cámaras rompe presión en la línea de conducción 88
N° 3-2 Características técnicas de la alternativa 1 90
N° 3-3 Valores para el cálculo de altura neta Alternativa 1 - CH - 1 91
N° 3-4 Valores para el cálculo de altura neta Alternativa 1 - CH - 2 93
N° 3-5 Valores para el cálculo de altura neta Alternativa 1 - CH - 3 95
N° 3-6 Características técnicas de la alternativa 2 98
N° 3-7 Valores para el cálculo de la altura neta Alternativa 2 - CH - 1 99
N° 3-8 Valores para el cálculo de la altura neta Alternativa 2 - CH - 2 101
N° 3-9 Valores para el cálculo de la altura neta Alternativa 2 – CH - 3 103
N° 3-10 Potencia y energía Alt - 1 105
N° 3-11 Potencia y energía Alt - 2 105
N° 3-12 Indicadores económicos Alt -1 107
N° 3-13 Indicadores económicos Alt -2 107
Nº 4-1 Descripción de calicatas 112
Nº 4-2 Resultados del análisis químico 112
Nº 4-3 Resultados de ensayo de corte directo 113
N° 4-4 Parámetros de cuenca 116

N° 4-6 Registro histórico precipitaciones máximas 24 horas 119
N° 4-7 Valores de Kn para prueba de datos dudosos 121
N° 4-8 Prueba de Kolgomorov Smirnov - Estación Ilo 122
N° 4-9 Prueba de Kolgomorov Smirnov - Estación Moquegua 122
N° 4-11 Tiempo de concentración de las cuencas en estudio 124
N° 4-12 Periodos de retorno de diseño 126
N° 4-13 Coeficiente de escorrentía 127
N° 4-14 Caudales máximos de diseño en quebradas 128
N° 4-16 Pérdidas por fricción y locales para la CH-3 132
N° 4-17 Cotas de presiones máximas sin dispositivo de protección CH 3 136
N° 4-18 Tiempos para la simulación con dispositivo de protección 138
N° 4-19 Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 10s 139
N° 4-20 Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 30s 139
N° 4-21 Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 60s 139
N° 4-22 Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 90s 139
N° 4-23 Porcentajes de reducción de sobrepresiones CH-3 Línea 1 141
N° 4-24 Porcentajes de reducción de sobrepresiones CH-3 Línea 2 142
N° 4-25 Cálculo de Potencia 143
N° 4-26 Medidas de casa de máquinas 143
N° 5-1 Presupuesto de alternativa seleccionada para venta de energía 148

LISTA DE FIGURAS

N° **Pag.**

N° 1-1 Noria Antigua 20
N° 1-2 Restos de la Central Hidroeléctrica de Ticapampa 21
N° 1-3 Esquema típico de una pequeña central hidroeléctrica 22
N° 1-4 Esquema a estudiar 23
N° 1-5 Micro Central Hidroeléctrica Momura en Japón 24
N° 1-6 Ubicación de los canales San Martin y Cacique Guaymallén 25
N° 1-7 Detalle de turbina en tubería 26
N° 1-8 Ubicación del sistema a estudiar 27
N° 1-9 Conducción Jaguay - Ilo 28
N° 1-10 Inicio de la Conducción Jaguay - Ilo 29
N° 1-11 Fin de la Conducción Jaguay - Ilo 30
N° 1-12 Sección típica de las líneas de conducción 31
N° 2-1 Esquema aproximado a proyectar en el sistema de conducción 33
N° 2-2 Componentes de las pequeñas centrales hidroeléctricas a proyectar–vista planta . 34
N° 2-3 Componentes de las pequeñas centrales hidroeléctricas a proyectar–vista perfil ... 35
N° 2-4 Esquema de turbina Francis 36
N° 2-5 Esquema de turbina Kaplan 37
N° 2-6 Esquema de turbina Pelton 37
N° 2-7 Esquema para la ecuación de la continuidad 38
N° 2-8 Esquema para la ecuación de la energía en turbina Francis 40
N° 2-9 Pérdidas por forma de ingreso a la tubería 46
N° 2-10 Pérdidas por cambio de dirección en tuberías 47
N° 2-11 Esquema de bifurcaciones de unión y separación 48
N° 2-12 Coeficientes de pérdida para ampliaciones graduales 50
N° 2-13 Valores de B aplicados a la fórmula de kirschmer 51
N° 2-14 Aplicación del principio de movimiento en un codo 55
N° 2-15 Casos de fuerzas F 57
N° 2-16 Cámara de carga 58
N° 2-17 Representación de la carga $\boldsymbol{Pct}$ 63
N° 2-18 Representación del peso del suelo sobre la tubería 64
N° 2-19 Curva Beneficio - Pérdida para hallar el diámetro económico 70
N° 2-20 Dimensiones de Casa de Máquinas 72
N° 2-21 Abaco de selección del tipo de turbina 73
N° 2-22 Esquema de sobrepresión en el golpe de ariete 77
N° 2-23 Malla rectangular para la solución de las ecuaciones de características 82

N° 2-24 Condiciones de frontera para el método de las características 83
N° 2-25 Esquema de cavitación en tuberías 84
N° 2-26 Altura de succión HS en una turbina de reacción..... 85
N° 3-1 Esquema de ubicación de centrales - Alternativa 1 89
N° 3-2 Esquema de casas de máquinas - Alternativa 1 90
N° 3-3 Línea piezométrica Alternativa 1 - CH - 1 92
N° 3-4 Línea Piezométrica Alternativa 1 - CH - 2 94
N° 3-5 Línea piezométrica Alternativa 1 - CH - 3 96
N° 3-6 Esquema de ubicación de centrales - Alternativa 3 97
N° 3-7 Esquema de casas de máquinas - Alternativa 3 98
N° 3-8 Línea piezométrica Alternativa 2 - CH - 1 100
N° 3-9 Línea piezométrica Alternativa 2 - CH - 2 102
N° 3-10 Línea piezométrica Alternativa 2 - CH - 3 104
N° 3-11 Alternativa seleccionada..... 108
N° 4-1 Vista en planta de la CH -3..... 109
N° 4-2 Perfil longitudinal de la conducción Jaguay - Ilo 110
N° 4-3 Geología Regional 111
N° 4-4 Delimitación de cuencas en quebradas interceptoras a la conducción 115
N° 4-5 Estaciones meteorológicas usadas en el estudio 117
N° 4-6 Temperatura promedio - Ilo 118
N° 4-7 Temperatura promedio - Moquegua..... 118
N° 4-8 Registro histórico de precipitación máxima 24 horas de la estación Ilo 120
N° 4-9 Registro histórico de precipitación máxima 24 horas de la estación Moquegua 120
N° 4-10 Curva Intensidad - Duración - Frecuencia de la estación Ilo 125
N° 4-11 Curva Intensidad - Duración - Frecuencia de la estación Moquegua 125
N° 4-12 Esquema de casa de máquinas de la alternativa seleccionada 129
N° 4-13 Dimensiones de la cámara de carga perfil 130
N° 4-14 Dimensiones de la cámara de carga planta 130
N° 4-15 Ubicación de Msb y Msn 133
N° 4-16 Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L1 sin protección..... 137
N° 4-17 Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L2 sin protección..... 137
N° 4-18 Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L1 con protección 140
N° 4-19 Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L2 con protección 140
N° 5-1 Costo paramétrico cámara de carga 145
N° 5-2 Costo paramétrico casa de máquinas..... 145
N° 5-3 Costo paramétrico turbinas 146
N° 5-4 Costo paramétrico de subestación 147
N° 5-5 Costo paramétrico de líneas de transmisión 147

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

A: Área de la sección de tubería

a Velocidad de propagación de onda

a_n Anualidad de las amortizaciones

a_1 Altura de ingreso de sedimentos

a_4 Altura por efecto de golpe de ariete

B Coeficiente según la sección transversal del barrote

B_d Ancho de zanja

B_l Largo de casa de máquinas

b_2 Ancho de la cámara de carga

C Coeficiente de escorrentía

C_E Costo de energía

C_{BP} Costo Beneficio - Pérdida

C_{EP} Costo de energía perdida anual

C_n Factor de corrección para tener en cuenta efectos no lineales

C_{OC} Costo de obras civiles

C_{TT} Costo total de la tubería

C_{Tub} Costo de tubería y accesorios

$C_1(D)$ Costo de amortizaciones en función del diámetro

$C_2(D)$ Costo de energía perdida en función del diámetro

D Diámetro de la tubería

D_{int}	Diámetro interior de la tubería
D_L	Factor de retraso de la deflexión
D_{min}	Diámetro mínimo
D_r	Diámetro de rodete
d	Duración
E	Módulo de elasticidad en flexión
E_p	Módulo de elasticidad circunferencial del tubo
E_t	Energía generada en un tiempo t
E_w	Módulo de elasticidad del agua
F	Fuerza sobre codo
$\vec{F}$	Fuerza resultante en forma vectorial
FP	Factor de planta
FS	Factor de seguridad
F_x	Fuerza en la dirección x
F_y	Fuerza en la dirección y
F_z	Fuerza en la dirección z
f	Factor de fricción
f_r	Frecuencia
g	Aceleración de la gravedad
HDB	Base hidrostática de diseño
H_A	Altura piezométrica en la sección A

H_B	Altura piezométrica en la sección B
H_{A-B}	Pérdidas entre la sección A y B
H_S	Altura de succión
H_V	Presión de vaporización del agua
H_{max}	Altura máxima del cauce
H_{min}	Altura mínima del cauce
H_n	Altura neta
H_r	Altura bruta
h	Distancia desde la rasante a la cota clave de la tubería
h_b	Pérdida total en el accesorio de bifurcación
h_f	Pérdidas por fricción
h_{int}	Altura de interacción
h_l	Pérdidas locales
h_{l_A}	Pérdida por la tubería secundaria
h_{l_C}	Pérdida por la tubería maestra
h_{loc}	Pérdida por ensanchamiento en tubería
h_{l_r}	Pérdidas por rejilla
h_{min}	Altura mínima de agua sobre la tubería
h_{snm}	Altura sobre el nivel del mar
h_w	Altura de agua sobre la parte superior de la tubería
H_{1-2}	Pérdidas totales en la tubería entre la sección 1 y 2

h_2	Altura referencial de agua en la cámara de carga
h_{2c}	Altura total de la cámara de carga
h_{2d}	Altura por partida brusca
h_{2e}	Altura por parada brusca
I	Momento de inercia por unidad de longitud
I_f	Factor de impacto
i	Pendiente de la tubería
K	Coeficiente de accesorio o singularidad
K_A	Coeficiente de pérdida en la tubería secundaria
K_C	Coeficiente de pérdida en la tubería maestra
K_n	Valor tabulado para una muestra
K_x	Coeficiente de soporte de lecho
k	Rugosidad absoluta
k_v	Factor de corrección por módulo de Poisson del suelo
k_t	Rugosidad después de transcurrido el tiempo t
k_0	Rugosidad inicial
L	Longitud de tubería
L_a	Ancho de casa de máquinas
L_{cc}	Longitud de cámara de carga
L_c	Longitud de cauce desde la cabecera de cuenca hasta la desembocadura

L_g	Distancia entre eje de turbina y tubería de alivio
L_1	Distancia paralela a la dirección de viaje del área de influencia de la carga viva
L_2	Distancia perpendicular a la dirección de viaje del área de influencia de la carga viva
$LLDF$	Factor que afecta la distribución de la carga viva respecto a la profundidad de la tubería
M_p	Factor de múltiple presencia
M_s	Rigidez compuesta del suelo
M_{sb}	Rigidez del suelo utilizado para la cimentación
M_{sn}	Rigidez del suelo nativo
N_e	Velocidad de giro del rodete
N_S	Velocidad especifica total
N_T	Número de turbinas a instalar
$N´_s$	Velocidad especifica unitaria
n	Eficiencia del grupo generador
n_a	Número de años en que se paga la deuda
n_g	Eficiencia del generador
n_t	Eficiencia de la turbina
P	Presión
PS	Rigidez nominal de la tubería
P_a	Números de polos del generador

P_{ct}	Magnitud de la carga en la rueda del vehículo más pesado que puede pasar sobre la zona de la tubería.
P_c	Clase de presión
P_d	Precipitación total
P_r	Potencia real
P_s	Sobrepresión
P_t	Potencia teórica
P_v	Presión de vacío interna
P_w	Presión de trabajo
P_{24h}	Precipitación máxima en 24 horas
Q	Caudal
q_a	Presión crítica de colapsamiento
R	Reacción
Re	Número de Reynolds
R_h	Factor de corrección por profundidad de relleno
R_w	Factor de flotabilidad del agua
r	Radio medio del tubo
r_i	Tasa de interés
SG	Gravedad específica
S_c	Factor de combinación de los suelos de cimentación y suelo nativo
S_l	Distancia del inicio a la casa de máquinas al eje de la turbina

S_m	Pendiente media del cauce
S_y	Desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones máximas
s	Separación entre barrotes
T	Periodo
T_{an}	Altura del tubo de succión al generador en turbinas con eje vertical
T_c	Tiempo de concentración
T_m	Tiempo de maniobra de cierre o parada
t	Tiempo
t_b	Espesor del barrote
t_l	Longitud de la proyección del neumático
t_t	Espesor total de la pared de la tubería
t_w	Ancho de la proyección de los neumáticos
V	Velocidad de flujo
V_{cc}	Velocidad media en la cámara de carga
V_r	Velocidad de aproximación a la rejilla
V_x	Velocidad en la dirección x
V_y	Velocidad en la dirección y
V_z	Velocidad en la dirección z
V_1	Velocidad aguas arriba del accesorio
$\vec{V}_1$	Velocidad en forma vectorial en el punto 1
V_2	Velocidad aguas abajo del accesorio

$\vec{V}_2$	Velocidad en forma vectorial en el punto 2
V_*	Velocidad de corte
W_C	Carga vertical del suelo sobre la tubería
W_L	Carga viva sobre la tubería
$\overline{y}$	Promedio de los logaritmos de las precipitaciones máximas
y_H	Umbral superior para datos dudosos en unidades logarítmicas
y_L	Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas
Z	Elevación con respecto al nivel de referencia
Z_u	Número de unidades
α_r	Ángulo de inclinación de la rejilla
α_1	Velocidad de aumento de la rugosidad
ρ	Densidad del fluido
φ_s	Factor de corrección por variabilidad de la rigidez del suelo compactado
δ_0	Espesor de la subcapa laminar
v	Viscosidad cinemática
γ_s	Peso específico del suelo sobre la tubería
γ	Peso específico
γ_w	Peso específico del agua
σ	Coeficiente de Thoma
Δ	Angulo de desvío

Δt	Diferencial de tiempo
Δv	Cambio de velocidad
Δx	Diferencia de tramo
$\Delta y/_D$	Deflexión vertical prevista
$\Delta \forall$	Volumen de la cámara de carga
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ANSI	American National Standars institute
AWWA	American Water Works Association
GRP	Glass Reinforced Plastic
LRFD	Load and Resistance Factor Design
PRFV	Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio
USBR	United States Bureau of Reclamation

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Breve historia de Centrales Hidroeléctricas

El agua es un elemento indispensable para la vida y es uno de los recursos que a lo largo de la historia ha determinado el desarrollo humano. Su aprovechamiento a lo largo del tiempo ha ido mejorando hasta llegar a desarrollar pequeñas y minicentrales hidroeléctricas.

Los molinos de agua o las norias (Ver Figura N° 1-1) son ejemplos del aprovechamiento de la fuerza del agua desde tiempos pasados para sustituir el trabajo humano o animal. Pero sería la invención de la electricidad y su aplicación a finales del siglo XIX la que tendría al agua como una fuente básica para la producción de energía eléctrica, adquiriendo un mayor valor en el ámbito energético. De hecho, las pequeñas centrales hidráulicas son el origen de la industria eléctrica mundial que comenzó a producir vatios de energía gracias a la fuerza del agua.

Fuente: Pixabay (2007) Recuperado de https://pixabay.com/p-2078376/?no_redirect

Figura N° 1-1 *Noria Antigua*

En 1880 se construyó la primera instalación que aprovechó la fuerza del agua que caía desde cierta altura para accionar una turbina que a su vez hacia girar un alternador que producía la electricidad. Era la central hidroeléctrica ubicada en Northumberland (Gran Bretaña). Aunque para muchos, la primera central hidroeléctrica del mundo se construyó en 1882 sobre el rio Fox ubicada en Appleton en el estado de Wisconsin (Estados Unidos) y fue creada por Sr. H.J Rogers, quien tomo como inspiración el trabajo de Thomas Edison, pero a diferencia de Edison, Rogers propuso que el flujo de agua a través de una turbina podría generar electricidad.

En el Perú el aprovechamiento del recurso hídrico se abre camino alrededor del año 1884, tiempo en que se construyó la primera central hidroeléctrica en el Asentamiento Minero de Tarijas, ubicado en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz, departamento de Ancash. Años después en 1900 en el pueblo de Ticapampa, ubicado en el citado departamento, nace la primera central hidroeléctrica del Perú que doto de energía eléctrica al pueblo de Ticapampa convirtiéndose en el primer pueblo peruano en usar energía eléctrica producto de una central hidroeléctrica.

Fuente: Facebook, Hidroeléctrica más antigua - Perú

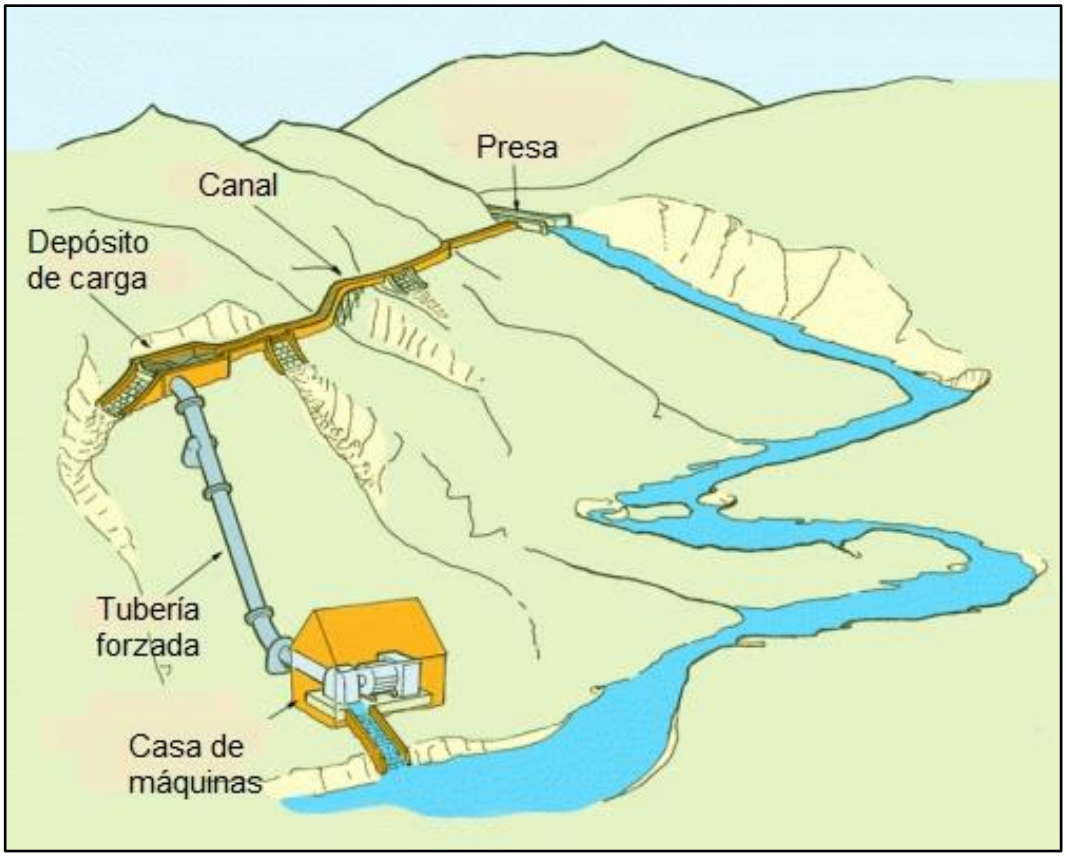
Figura N° 1-2 *Restos de la Central Hidroeléctrica de Ticapampa*

1.2 GENERALIDADES

1.2.1 Esquemas de Pequeñas y Minicentrales Hidroeléctricas

Las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas son muy usadas en lugares donde el potencial hidro energético es favorable para la generación de energía eléctrica.

El esquema típico de una pequeña y minicentral hidroeléctrica se basa en obras civiles como la presa o azud que genera el nivel adecuado para una obra de captación, cuya función es derivar las aguas mediante un canal hacia la cámara de carga donde parte la tubería forzada y se conecta con la casa de máquinas, y es ahí donde se genera la energía eléctrica. El esquema típico de una pequeña central hidroeléctrica se muestra en la Figura N° 1-3.

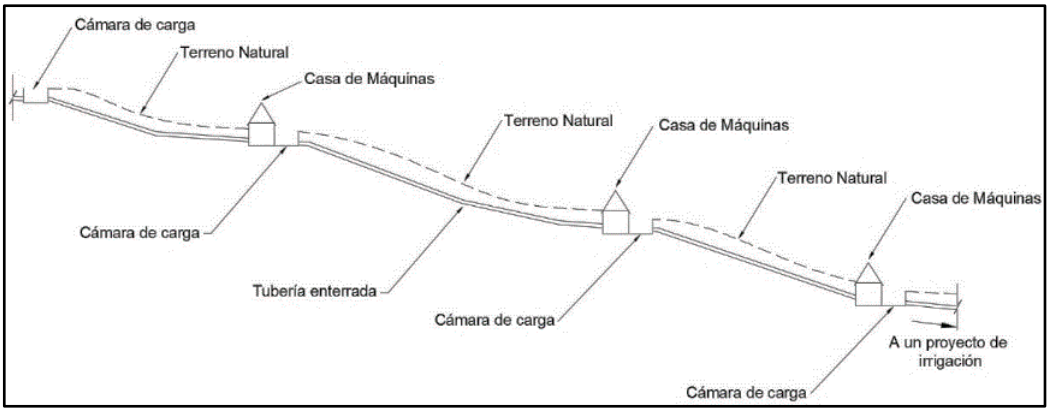


Fuente: Todo productividad (2011). Aprendiendo a diseñar pequeñas centrales hidroeléctricas (1ª PARTE). Recuperado y adaptado de http://todoproductividad.blogspot.pe/2011/11/la-generacion-distribuida-elimina.html

Figura N° 1-3 *Esquema típico de una pequeña central hidroeléctrica*

Sin embargo, la generación de energía eléctrica no solo está ligada a dichas obras civiles. En el Perú existen muchos kilómetros de canales y tuberías, por ejemplo, para obras de riego y saneamiento. Estos sistemas de conducción también almacenan energía potencial que pueden ser utilizadas para generar energía

eléctrica, tal como se muestra en la Figura N° 1-4, que es el esquema para estudiar.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 1-4 *Esquema a estudiar*

La presente tesis trata de aprovechar la energía almacenada en estas obras existentes, específicamente en conducciones por tuberías para obras de irrigación, planteando pequeñas y minicentrales hidroeléctricas en dichas obras existentes.

1.2.2 Centrales hidroeléctricas en conducciones existentes en el mundo

Conforme avanza el tiempo los esquemas de aprovechamiento del recurso hídrico se hacen más variados y adaptables a cada situación, entre ellos se dio paso a la generación en pequeñas y minicentrales hidroeléctricas instaladas en conducciones de agua existentes como canales de irrigación y tuberías de conducción.

Un ejemplo de estas instalaciones dio lugar a las minicentrales hidroeléctricas de Momura 1 y Momura 2 que se ubican en Japón y generan en conjunto 120 kw. Se encuentran instaladas en los canales de riego para arroz y beneficia a la comunidad Tochigi, desde el año 2006.

En la Figura N° 1-5 se muestra la minicentral hidroeléctrica ubicada en la comunidad de Tochigi.

Fuente: Our World (2019). How Things Work: Micro Hydroelectricity in Japan. Recuperado de https://ourworld.unu.edu/en/rice-water-power-micro-hydroelectricity-in-japan

Figura N° 1-5 *Micro Central Hidroeléctrica Momura en Japón*

El mismo estudio que se hizo en Japón para el aprovechamiento de la energía almacenada en canales de riego, se hizo en la provincia de Mendoza en Argentina en el año 2010, y estuvo a cargo del Departamento General de Irrigación, Instituto Tecnológico Universitario y el Instituto de Energía de la Universidad Nacional de Cuyo, Informe Final (2010)

Estas instituciones realizaron una inspección de los canales San Martín y Cacique Guaymallén, para evaluar su potencial energético. Las características de los canales analizados se aprecian en el Cuadro N° 1-1

Cuadro N° 1-1 *Características de los canales analizados*

Descripción	Pendiente (%)	Longitud (km)	Desnivel (m)
Canal San Martín	0.33 - 4.80	17	177
Canal Cacique Guaymallén	0.1 - 1.2	18	2020

Fuente: Informe Final (2010)

En el canal San Martín se identificaron 16 tramos para generación de energía a lo largo de los 17 km aproximados de canal.

Mientras que en el canal de Cacique Guaymallén se identificaron 24 tramos para generación de energía a lo largo de los 18 km aproximados de canal. Ver Figura N° 1-6

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 1-6 *Ubicación de los canales San Martín y Cacique Guaymallén*

Cuadro N° 1-2 *Resumen de Potencia y Energía generada en los canales*

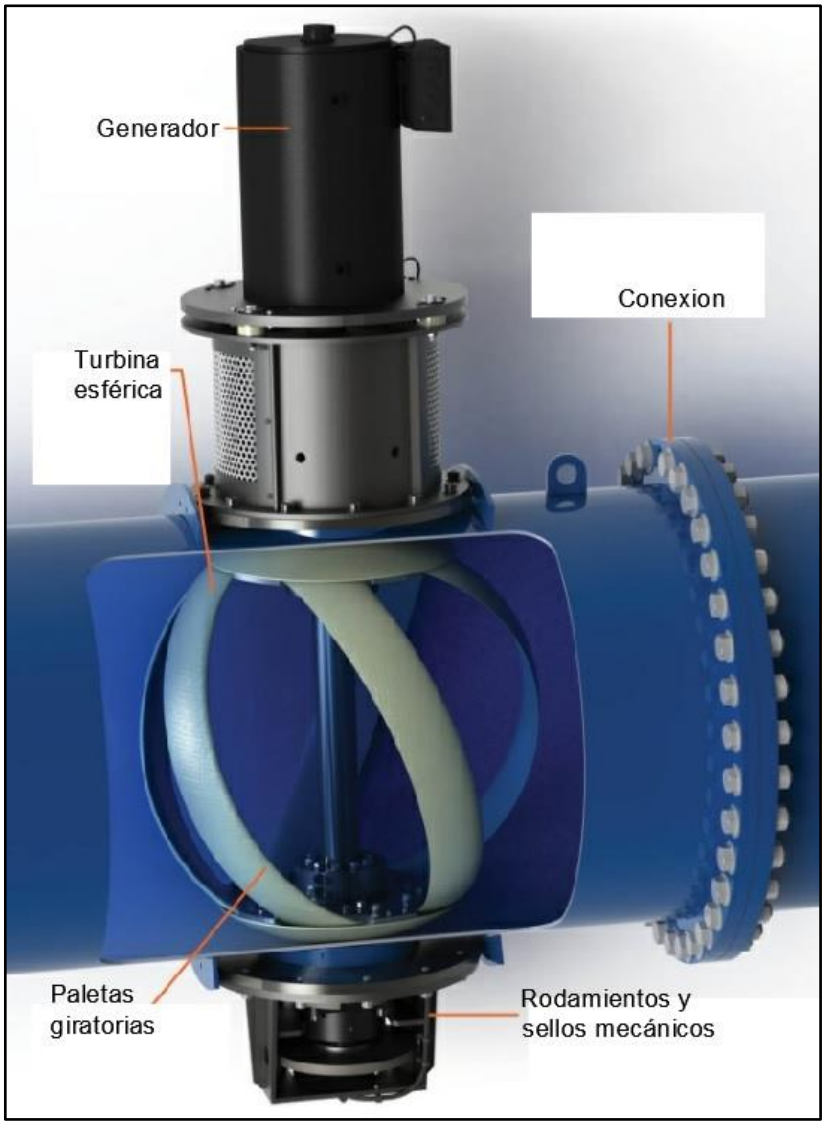
Descripción	Potencia (MW)	Energia (GWh)
Canal San Martín	47.52	179.77
Canal Cacique Guaymallén	17.49	62.23

Fuente: Informe Final (2010)

Al igual que los canales de riego, las conducciones por tubería también se abren paso en este camino de generar energía eléctrica; tal es el caso en la ciudad de Portland en Oregón EEUU, a partir del 2015 se convirtió en una ciudad más sostenible instalando turbinas hidroeléctricas en el inicio de la red principal de suministro de agua potable de la ciudad, Novo Muñoz (2017).

Las turbinas instaladas no interrumpen el flujo de agua, por lo que los servicios de agua de la ciudad no se ven interrumpidos. Este sistema puede generar hasta 1.1 MW - h de energía.

Esta tecnología de turbinas ha desarrollado más la planificación urbana de las ciudades para convertirlas en sostenibles y reducir el impacto ambiental.



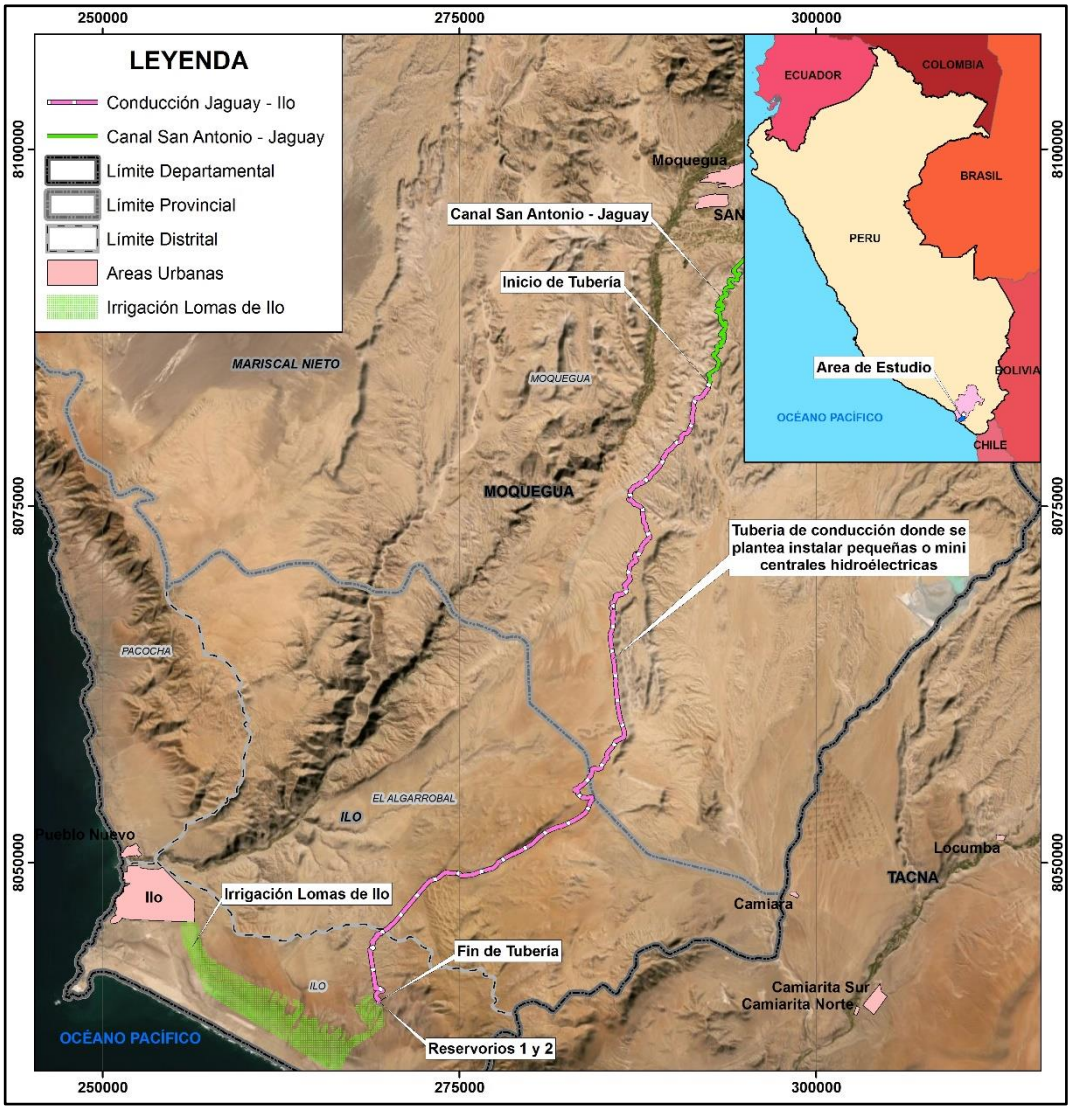
Fuente: Experimenta (2017). LucidPipe, La energía oculta en las tuberías de agua de las ciudades. Recuperado y adaptado de https://www.experimenta.es/noticias/tecnologia/lucidpipe-energia-oculta-tuberias-agua-ciudades/

Figura N° 1-7 *Detalle de turbina en tubería*

En la presente tesis se trata de aprovechar un sistema de conducción por tubería de 63 km de longitud, cuyo objetivo es irrigar las lomas de Ilo, para la instalación de pequeñas y minicentrales hidroeléctricas.

1.2.3 Ubicación geográfica del proyecto a estudiar

El sistema de conducción por tubería a estudiar forma parte del proyecto "Ampliación de la Frontera Agrícola Lomas de Ilo - Moquegua" que está dentro del proyecto Pasto Grande y se ubica en el departamento de Moquegua, provincias Mariscal Nieto e Ilo, y cruza los distritos El Algarrobal e Ilo, como se aprecia en la Figura N° 1-8.



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 1-8 *Ubicación del sistema a estudiar*

Las coordenadas de inicio y fin de la conducción por tubería en dicho proyecto se muestran en el Cuadro N° 1-3

Cuadro N° 1-3 *Cuadro de coordenadas de la conducción UTM WGS84 19 Sur*

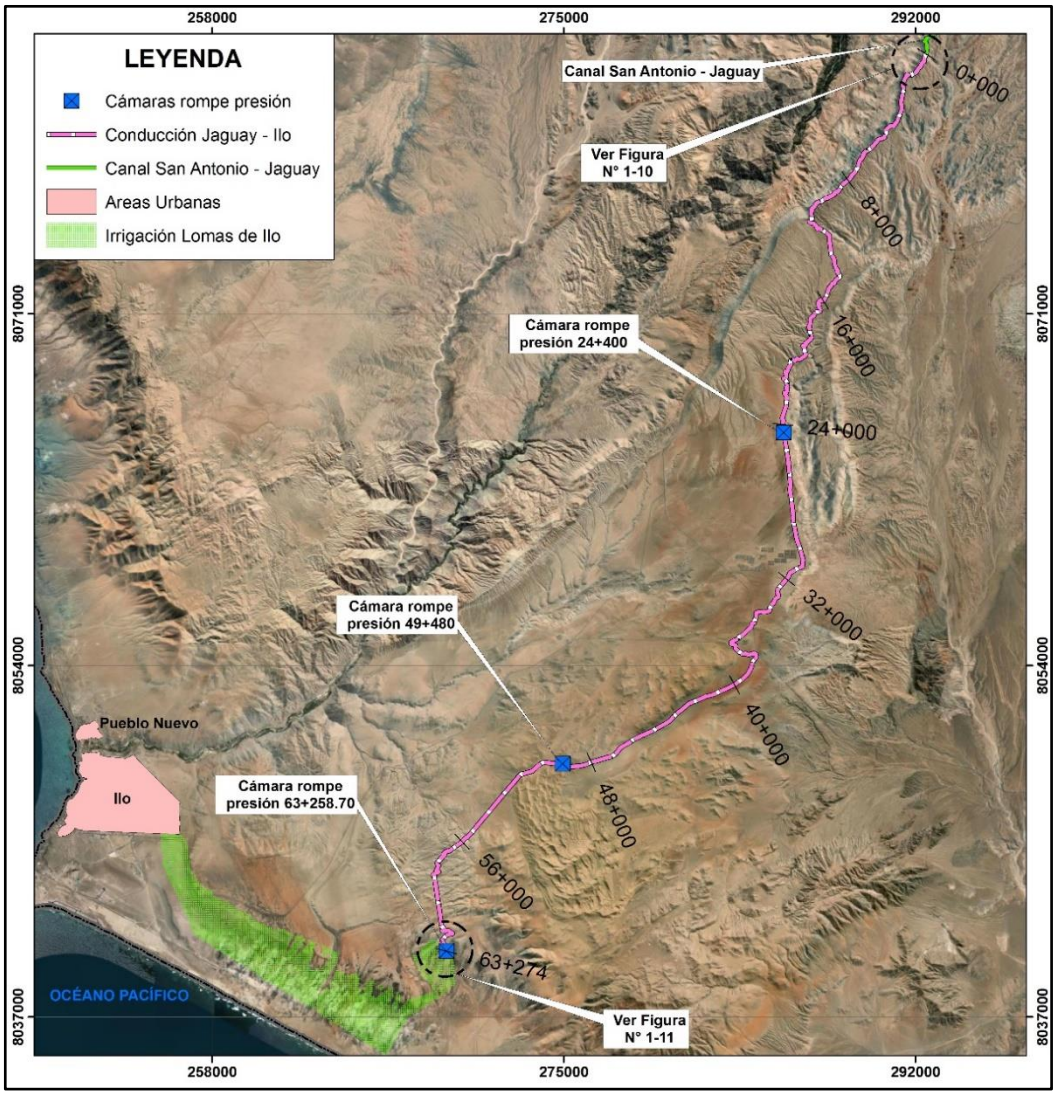
DESCRIPCIÓN	ESTE (m)	NORTE (m)
Inicio de la Conducción	292429.77	8083343.32
Fin de la Conducción	269322.32	8040178.03

Fuente: Elaboración Propia

1.2.4 Aspectos generales del proyecto a estudiar

El proyecto "Ampliación de la Frontera Agrícola Lomas de Ilo - Moquegua" es parte del proyecto Pasto Grande, que se inicia en el reservorio de Pasto Grande ubicado a 4550 msnm. Dentro del proyecto Pasto Grande se contempla la conducción

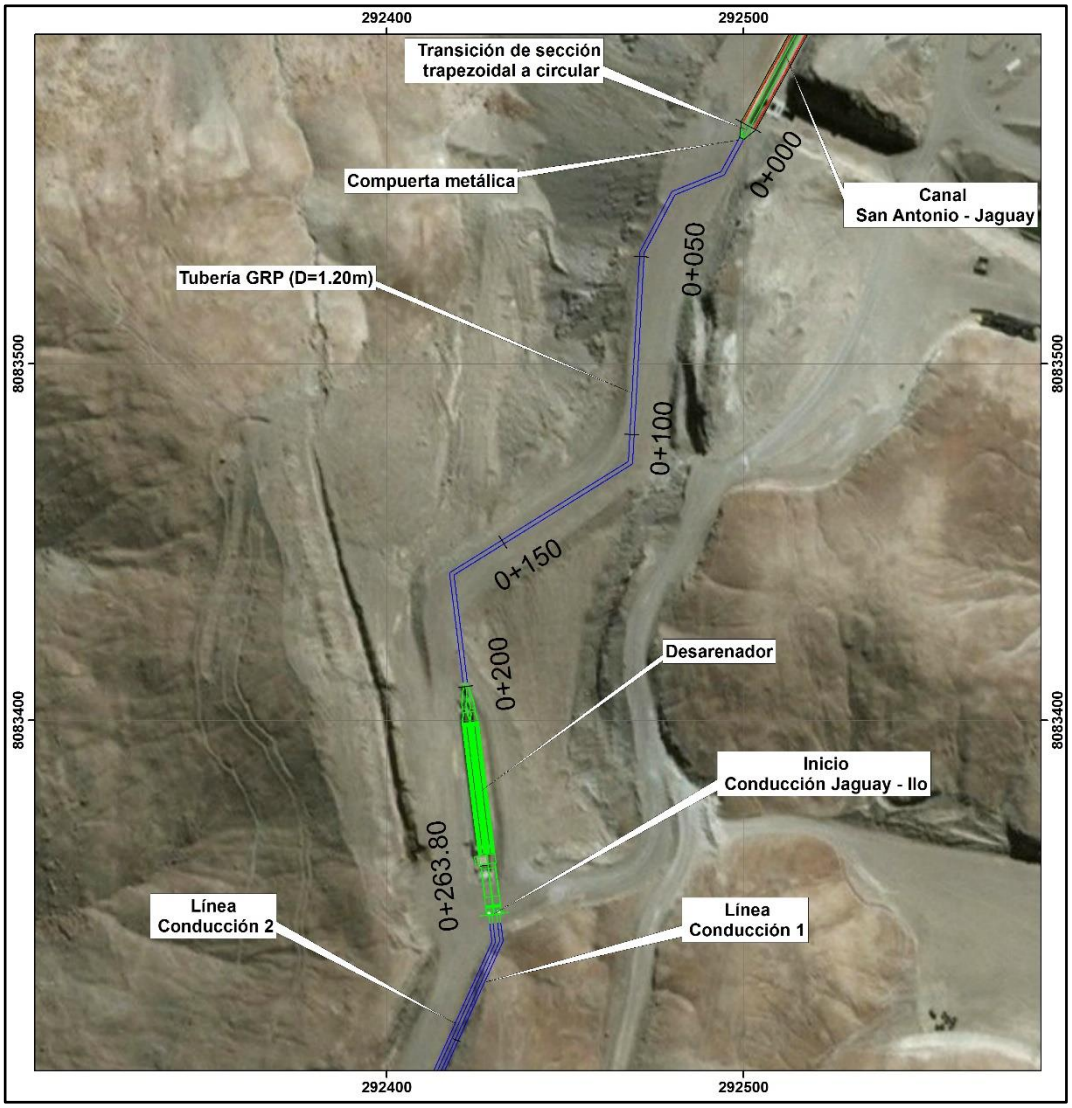
Jaguay - Ilo (Ver Figura N° 1-9 o Anexo B1) por intermedio de dos tuberías GRP (Glass Reinforced Plastic Pipe) o PRFV (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio), en paralelo de aproximadamente 63 km de longitud, para irrigar las Lomas de Ilo.



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 1-9 *Conducción Jaguay - Ilo*

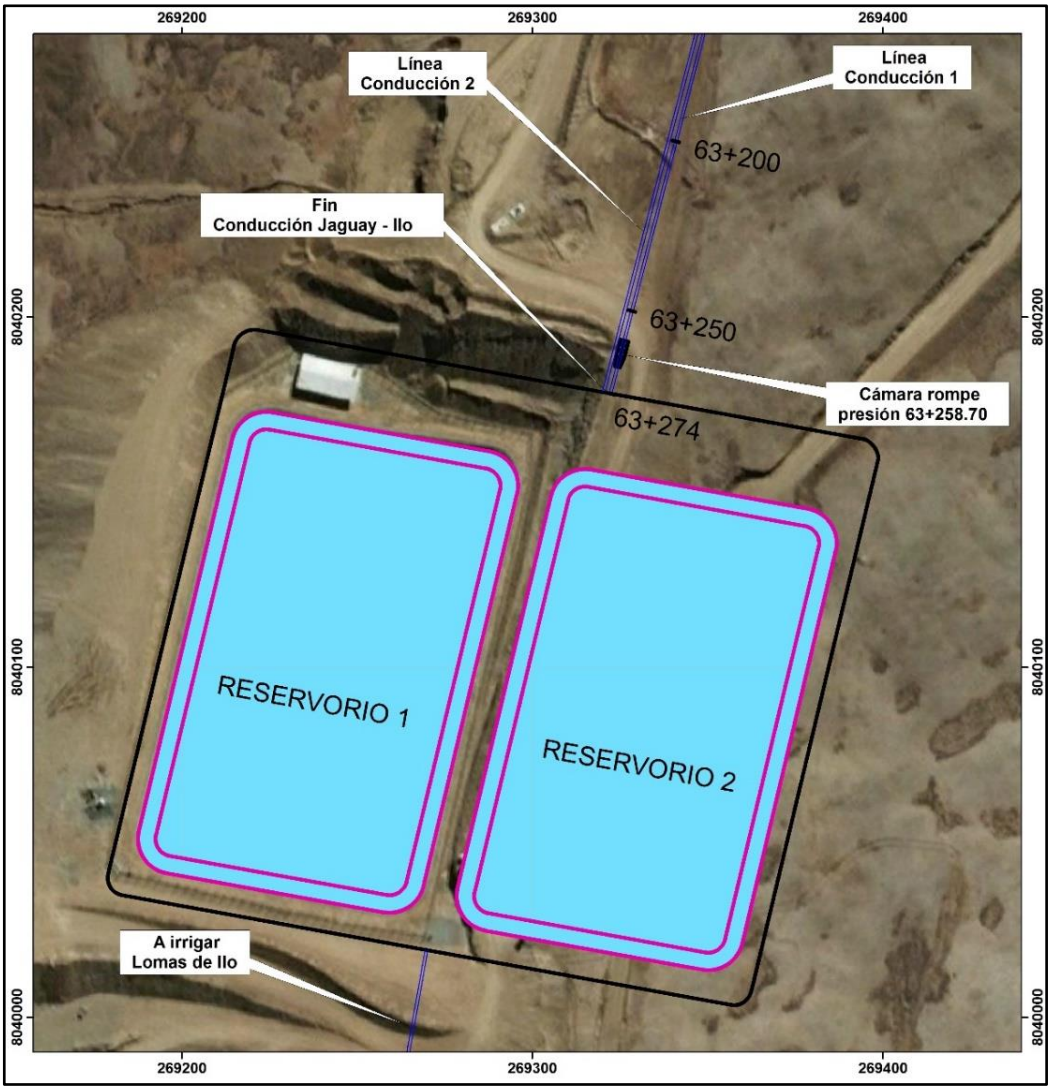
El proyecto se inicia en la progresiva 0+000 que corresponde al final del canal San Antonio Jaguay, donde se colocará una transición de sección trapezoidal a sección circular. Al final de la transición se colocará una compuerta metálica, a partir de ahí nace una tubería de GRP de diámetro ϕ = 1.20 m y 200 m de longitud que conecta con un desarenador del cual nacen las 2 líneas de conducción por tubería GRP como se aprecia en el Gráfico N°1-10, Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo – Moquegua (2013).



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 1-10 *Inicio de la Conducción Jaguay - Ilo*

Las dos líneas de conducción por tubería tienen una longitud aproximada de 63 km y llegan a 2 reservorios que serán utilizados para la irrigación de las pampas de Ilo como se aprecia en la Figura N° 1-11



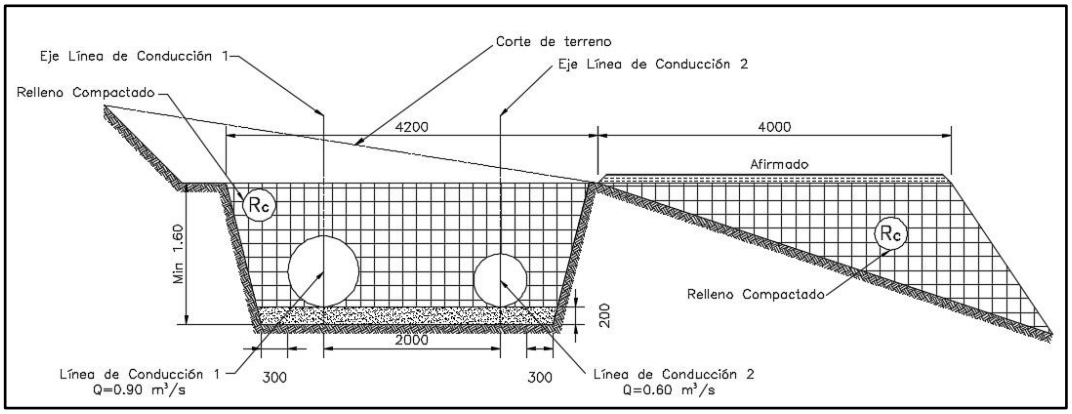
Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 1-11 *Fin de la Conducción Jaguay - Ilo*

Las líneas de conducción por tubería, donde se proyecta instalar las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas, se construirán sobre una plataforma de aproximadamente 8.20 m de ancho, donde se colocarán dos tuberías para luego ser enterradas como se aprecia en la Figura N° 1-12

La línea 1 de conducción varia en diámetro desde 0.8 a 0.6 m, mientras que la línea 2 tiene un diámetro de 0.6 m, ambas líneas estarán separadas 2 m entre ejes.

La conducción se inicia al final del desarenador (Ver Figura N° 1-10) con una cota aproximada de 1485.60 msnm y termina en los 2 reservorios en la progresiva 63+274 km (Ver Figura N° 1-11) con una cota aproximada de 768.82 msnm, dando un desnivel total entre ambos puntos, inicio y final de 716.78 m.



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 1-12 *Sección típica de las líneas de conducción*

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Identificar y planificar un sistema en cascada de pequeñas y minicentrales hidroeléctricas a lo largo de los 63.3 km de tubería de conducción que conduce las aguas hacia las pampas de Ilo – Moquegua, para fines agroindustriales o venta de energía.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Aprovechar el gran desnivel que existe entre las cámaras rompe presión para generar energía
- Conocer los conceptos teóricos, prácticos sobre el diseño de pequeñas y minicentrales hidroeléctricas.
- Identificar las posibles alternativas de ubicación para las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas
- Realizar una evaluación económica de las alternativas propuestas y seleccionar la alternativa más factible.
- Realizar una verificación por golpe de ariete a la tubería GRP existente, de la alternativa seleccionada
- Presentar planos típicos de la pequeña y minicentral hidroeléctrica seleccionada en la evaluación económica.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas están dentro de un conjunto de centrales de generación de energía que se diferencian por el tipo de materia prima que usan. En este caso, la materia prima usada es el agua natural que fluye por los cauces naturales de los ríos y el agua que fluye por conductos artificiales como canales o conducciones por tubería.

2.1.1 Clasificación de Centrales Hidroeléctricas

La clasificación de las centrales hidroeléctricas varía según cada autor y cada país. En esta tesis se ha revisado diversas bibliografías y plantea la siguiente clasificación tomando 3 rasgos importantes, el flujo, el salto y la potencia generada. Adaptado de Cuesta y Vallarino (2000), Ortiz (2001) y Villanueva (2010).

A) Según el flujo del agua

A.1 Centrales de pasada o agua fluyente

A.2 Centrales con embalse o regulación

- *Centrales de regulación con derivación de agua*
- *Centrales a pie de presa*
- *Centrales con conducción a presión*

B) Según el salto de agua

B.1 Centrales de alta presión H_r > 200 m

B.2 Centrales de media presión 20 m < H_r < 200 m

B.3 Centrales de baja presión H_r < 20 m

C) Según la potencia generada

C.1 Grandes centrales hidroeléctricas P_r > 50 Mw

C.2 Medianas centrales hidroeléctricas 5 Mw < P_r < 50 Mw

C.3 Pequeñas centrales hidroeléctricas 1 Mw < P_r < 5 Mw

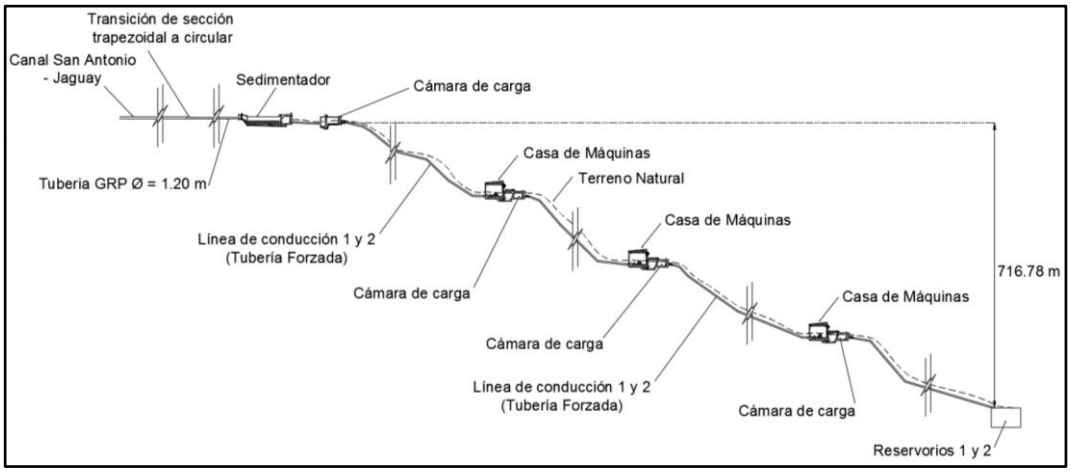
C.4 Mini centrales hidroeléctricas 100 kW < P_r < 1Mw

C.5 Micro centrales hidroeléctricas 10 kW < P_r < 100 kW

2.1.2 Componentes de las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas a estudiar

En la Figura N° 1-8 se muestra la ubicación del sistema de conducción por tuberías del tramo Jaguay – Ilo, donde se plantea ubicar pequeñas y minicentrales hidroeléctricas. En la Figura N° 2-1 se muestra un esquema aproximado de la ubicación de las centrales a lo largo del sistema de conducción.

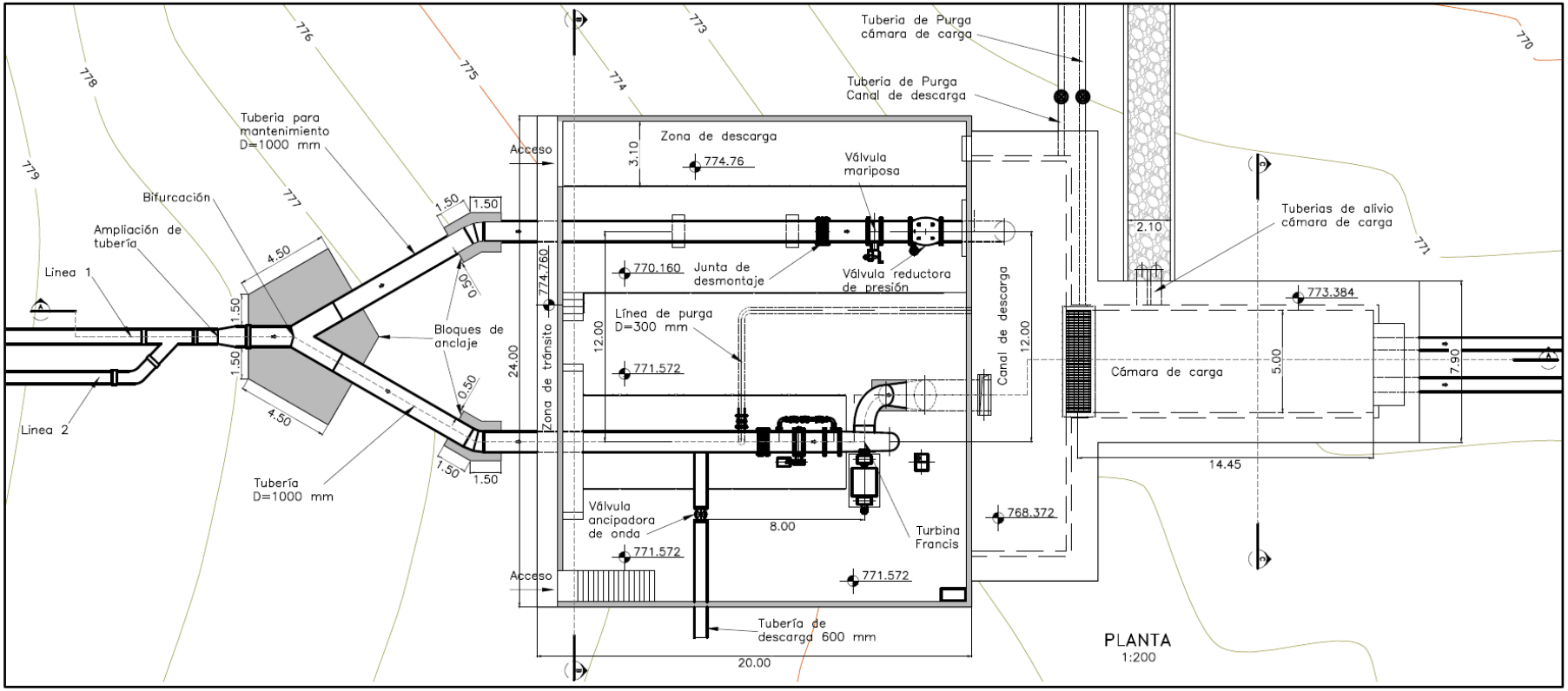
En la Figura N° 2-1, el desarenador inicial existente al que llamaremos sedimentador es suficiente para eliminar los sedimentos necesarios para todas las centrales proyectadas, es decir, no es necesario que cada central tenga su propio sedimentador, pues el agua turbinada pasará a una cámara cerrada y continuará con su recorrido, es decir, no habrá riesgo de ingreso de partículas de suelo al flujo.



Fuente: Elaboración Propia

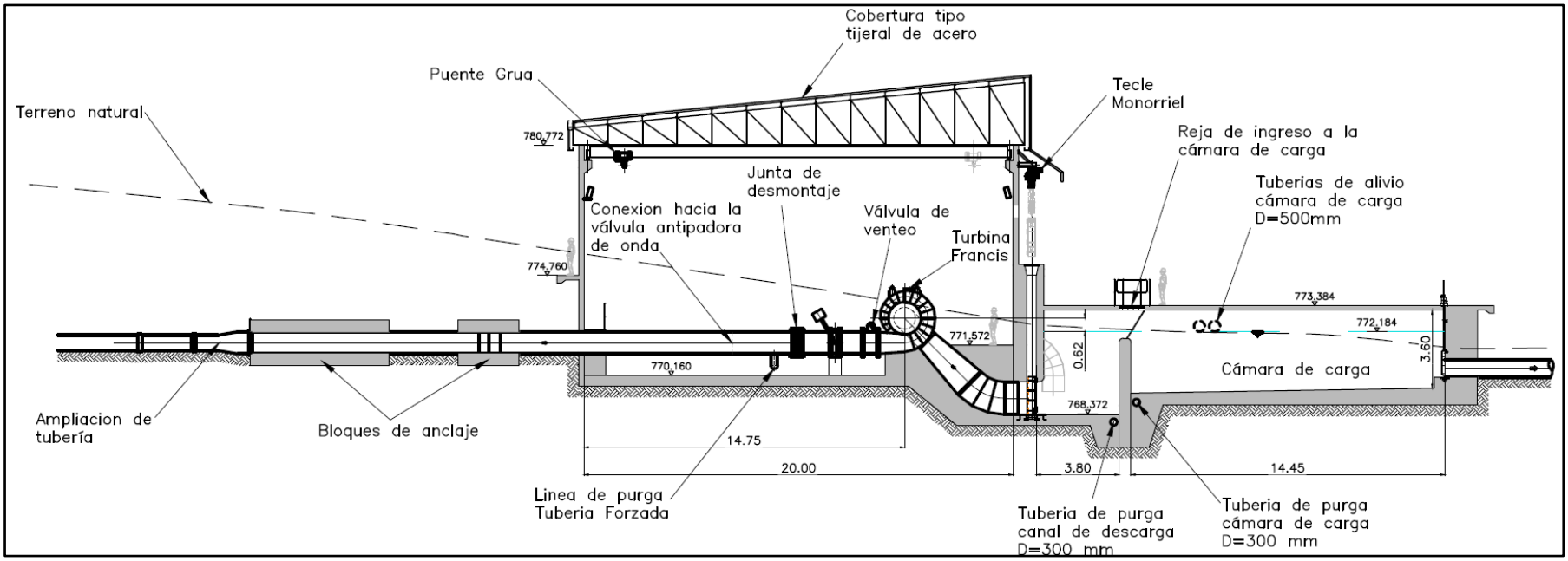
Figura N° 2-1 *Esquema aproximado a proyectar en el sistema de conducción*

Sobre la base de lo expuesto las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas a proyectar en la presente tesis tienen las componentes que se muestran en la Figura N° 2-1 y en la Figura N° 2-2.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-2 *Componentes de las pequeñas centrales hidroeléctricas a proyectar–vista planta*



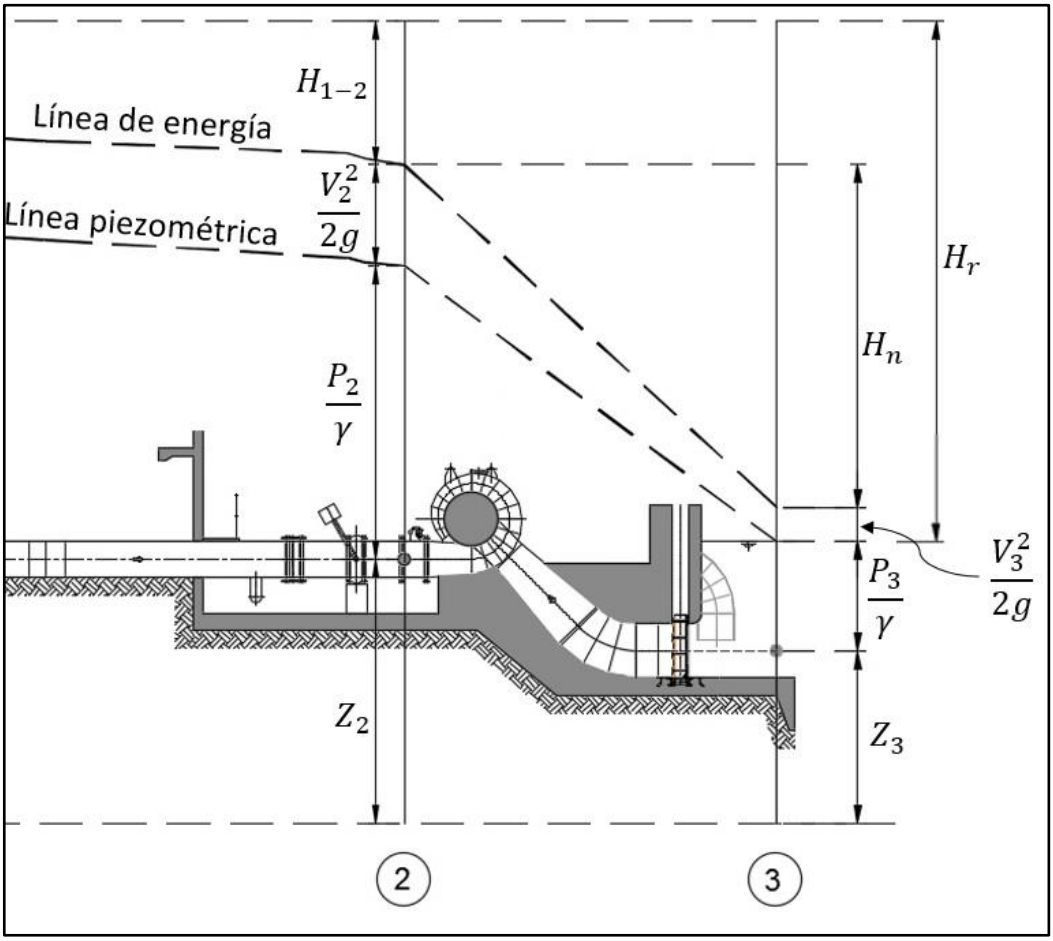
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-3 *Componentes de las pequeñas centrales hidroeléctricas a proyectar–vista perfil*

- En la Figura N°2-2, se observa que las líneas de conducción 1 y 2 del proyecto Jaguay - Ilo se unen en una sola tubería, para luego pasar a un accesorio de ampliación de tubería; seguidamente se bifurca la tubería en dos líneas, una para la generación de energía en la turbina y la otra funcionará como bypass cuando se haga mantenimiento a la casa de máquinas.

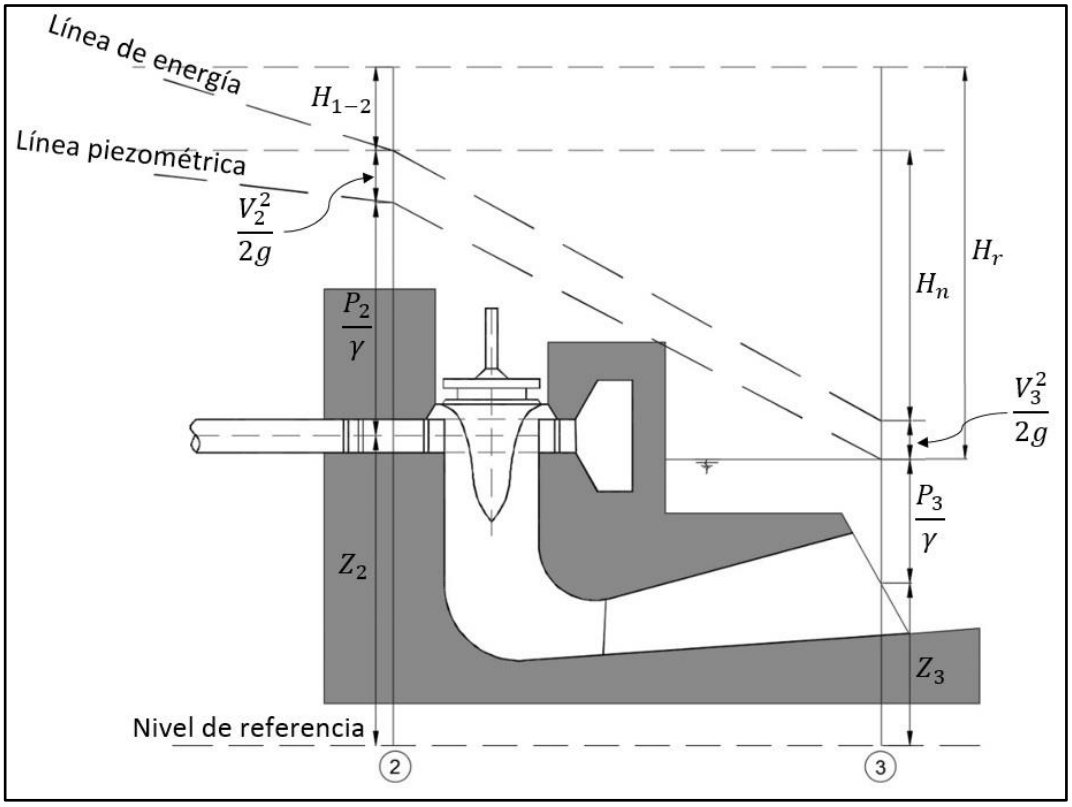
- La turbina luego de generar la energía vierte las aguas turbinadas a un canal de descarga que se conecta con la cámara de carga y esta a su vez con las líneas de conducción 1 y 2 del proyecto Jaguay – Ilo. Estas líneas de conducción continúan con su recorrido hasta una siguiente central hidroeléctrica.

- Los tipos de turbinas que se pueden instalar en las casas de máquinas pueden ser: Turbinas de reacción (Francis y Kaplan) Figuras N° 2-4 y N° 2-5, Turbinas de acción (Pelton) Figura N° 2-6



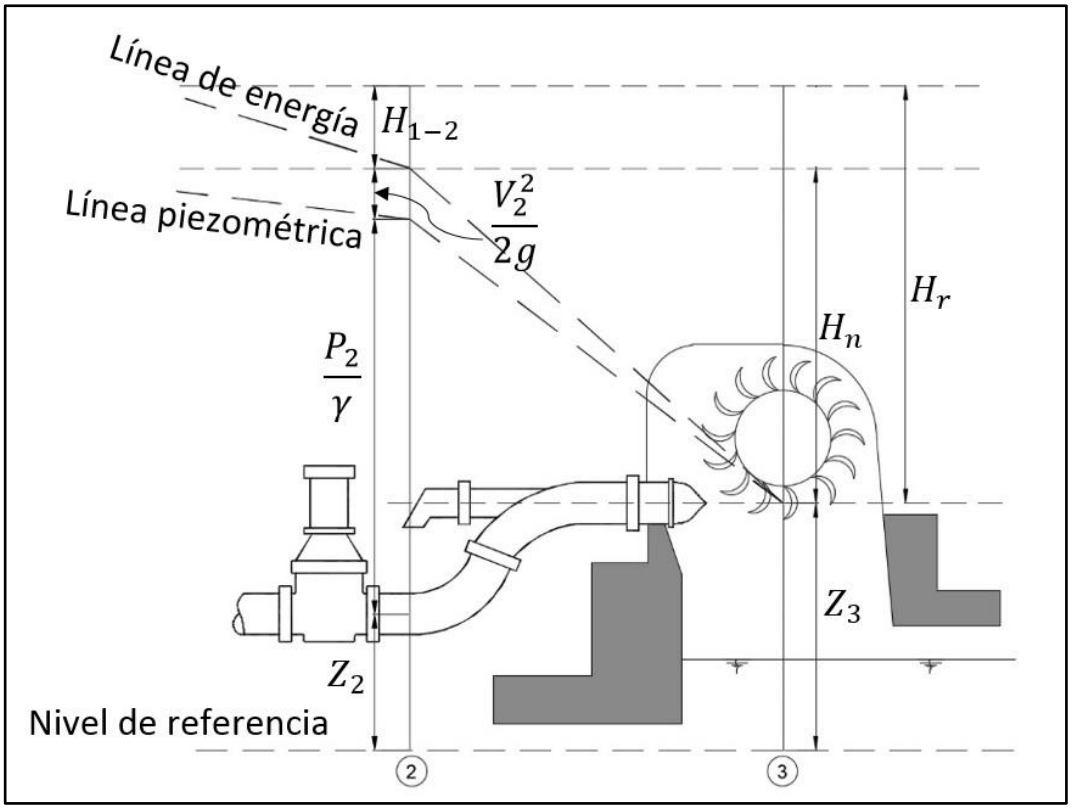
Fuente: Adaptado de Mataix (1986).

Figura N° 2-4 *Esquema de turbina Francis*



Fuente: Adaptado de Mataix (1986).

Figura N° 2-5 *Esquema de turbina Kaplan*



Fuente: Adaptado de Mataix (1986).

Figura N° 2-6 *Esquema de turbina Pelton*

En las Figuras N° 2-4, N° 2-5 y N°2-6; H_r viene a ser la altura bruta y H_n es la altura neta o altura de turbina. Es importante indicar como está definida la altura neta en estas figuras de acuerdo con el tipo de turbina. A partir de la altura neta se obtiene la potencia generada considerando la eficiencia del sistema.

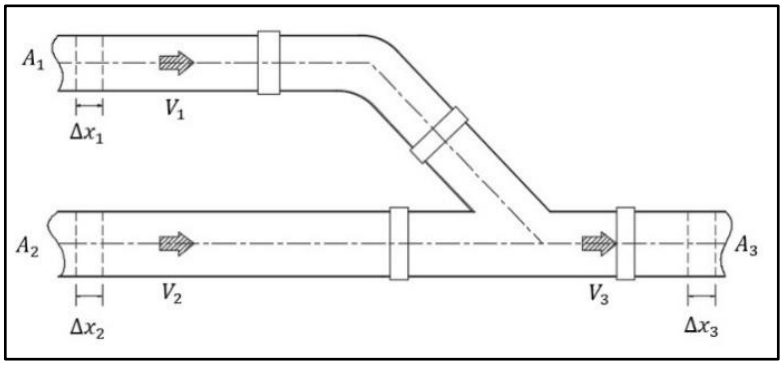
2.2 ECUACIONES USADAS EN PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las ecuaciones usadas en pequeñas y minicentrales hidroeléctricas se basan fundamentalmente en 3 ecuaciones de la mecánica de fluidos, las cuales son:

- Ecuación de la continuidad
- Ecuación de la energía
- Ecuación de la cantidad de movimiento

2.2.1 Ecuación de la continuidad

En la presente tesis se tiene dos tuberías con diámetros variables que luego se unen en una sola tubería, como se aprecia en la Figura N° 2-7.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-7 *Esquema para la ecuación de la continuidad*

El presente estudio considera un fluido incompresible en movimiento que se desplaza en un diferencial de tiempo Δt; el fluido que entra por la sección A_1, recorre un diferencial de tramo $\Delta x_1 = V_1 \Delta t$; el fluido que entra por la sección A_2, también recorre un diferencial de tramo $\Delta x_2 = V_2 \Delta t$. Entonces la masa del fluido en la sección A_1 y A_2 son $\Delta M_1 = \rho_1 A_1 V_1 \Delta_t$ y $\Delta M_2 = \rho_2 A_2 V_2 \Delta_t$, respectivamente. Análogamente en la sección A_3, la masa del fluido es $\Delta M_3 = \rho_3 A_3 V_3 \Delta_t$, entonces

como las masas deben conservarse, las masas de las entradas de las secciones A_1 y A_2 deben ser igual a la masa en la sección A_3, planteado en la ecuación (1)

$$\rho_1 A_1 V_1 \Delta t + \rho_2 A_2 V_2 \Delta t = \rho_3 A_3 V_3 \Delta t \quad (1)$$

Si dividimos por Δt la ecuación (1), tenemos que:

$$\rho_1 A_1 V_1 + \rho_2 A_2 V_2 = \rho_3 A_3 V_3 \quad (2)$$

La ecuación (2) se conoce como la ecuación de continuidad; sin embargo, ya que el fluido que se transporta por la tubería es un fluido incompresible como el agua, entonces $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$, quedando la ecuación (2) de la siguiente forma:

$$A_1 V_1 + A_2 V_2 = A_3 V_3 \quad (3)$$

La ecuación de continuidad se cumple en todo el sistema que se muestra en la Figura N° 2-7

2.2.2 Ecuación de la energía

En la Figura N° 2-8 se tiene el esquema de una pequeña central hidroeléctrica a ser instalada en el estudio. La ecuación de la energía establece que para un fluido real habría una pérdida de energía entre las secciones 1 y 2 del sistema mencionado en la Figura N°2-8.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_{1-2} \quad (4)$$

Donde:

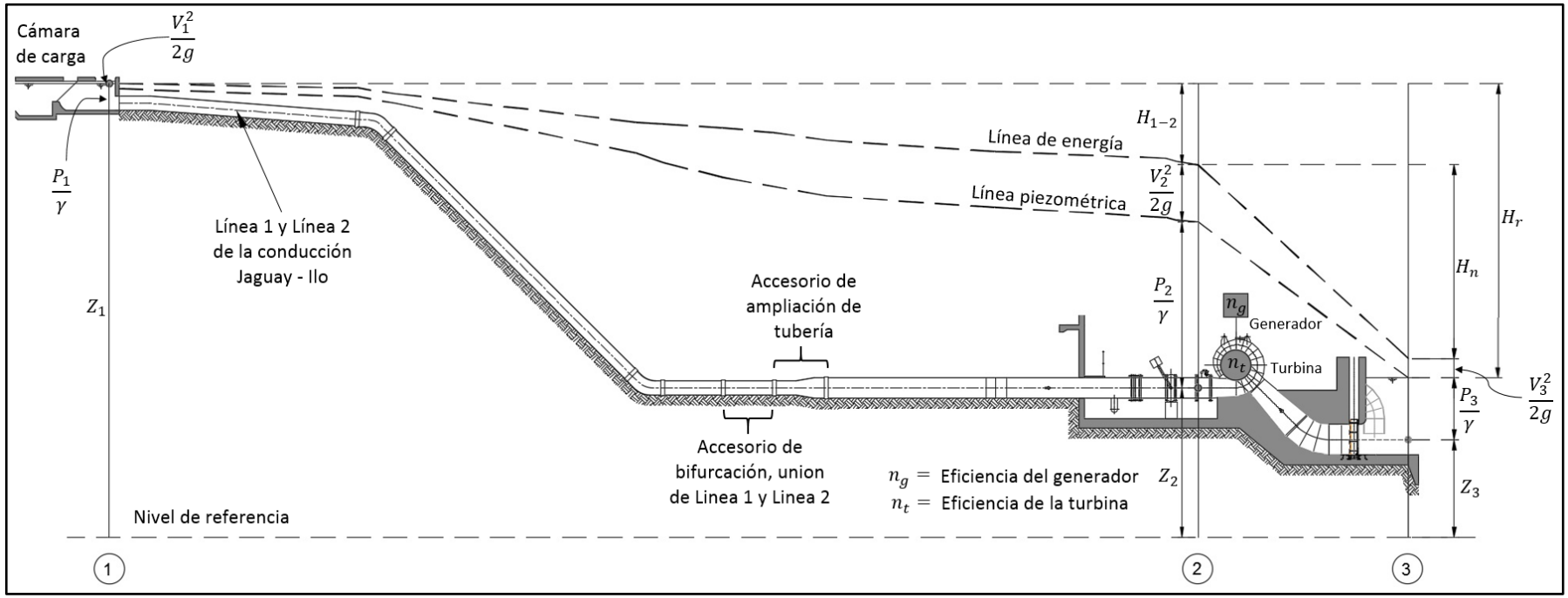
Z: Elevación con respecto al nivel de referencia

P: Presión

γ: Peso específico

V: Velocidad del flujo

H_{1-2} Pérdidas totales en la tubería entre la sección 1 y 2



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-8 *Esquema para la ecuación de la energía en turbina Francis*

Las pérdidas de energía H_{1-2} de la ecuación (4) son pérdidas totales en la tubería a presión y las podemos dividir en:

- Pérdidas por fricción h_f
- Pérdidas locales h_l

A) Pérdidas por fricción h_f

Son aquellas que están relacionadas con las pérdidas de energía. Se generan por la fricción entre partículas del mismo fluido al desplazarse dentro de la tubería y la fricción del fluido con las paredes de dicha tubería.

Existen varias fórmulas que calculan dichas pérdidas; entre ellas tenemos las de Hazen - Williams, Manning y Darcy – Weisbach, esta última será la que se usará en la presente tesis.

La ecuación Darcy – Weisbach se define con la siguiente fórmula:

$$h_f = f\left(\frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}\right) \qquad (5)$$

Donde:

h_f: Pérdidas por fricción (m)

f: Factor de fricción (adimensional)

L: Longitud de tubería (m)

D: Diámetro de tubería (m)

V: Velocidad de flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Los valores de f de la ecuación (5) dependen del tipo de flujo, los cuales pueden ser flujo laminar o flujo turbulento y se definen por el valor del número de Reynolds, que relaciona fuerzas de inercia y fuerzas viscosas. El número de Reynolds para una tubería se calcula mediante la ecuación (6), Rocha (2007).

$$Re = \frac{VD}{v} \quad (6)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

V: Velocidad de flujo

D: Diámetro de la tubería

v: Viscosidad cinemática

A.1 Flujo laminar

Se dice que un flujo es laminar cuando las fuerzas viscosas son mayores a las fuerzas de inercia, los números de Reynolds que caracterizan a dicho flujo son los que cumplen la expresión (7)

$$Re \leq 2300 \quad (7)$$

El valor del factor de fricción f para un flujo laminar se calcula mediante la ecuación (8)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (8)$$

A.2 Flujo turbulento

Se dice que un flujo es turbulento cuando las fuerzas viscosas son menores a las fuerzas de inercia. No existe un límite definido donde pueda empezar la turbulencia, podría empezar para números de Reynolds de 5000, 1000 o mayores.

En un flujo turbulento el cálculo del valor de f es muy complejo. En general es función tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa. (Rocha, 2007). El valor de f depende del comportamiento hidráulico de las paredes de la tubería que pueden ser: Superficies hidráulicamente lisas, hidráulicamente rugosas o hidráulicamente en transición.

– *Superficies hidráulicamente lisas*

Se dice que una superficie es hidráulicamente lisa cuando se desarrolla una subcapa laminar δ_0 con un espesor bastante mayor al valor de la rugosidad absoluta k. El valor de δ_0 se puede calcular mediante la ecuación (9)

$$\delta_0 = \frac{11.6k}{V_*} \quad (9)$$

Donde:

δ_0: Espesor de la subcapa laminar

k: Rugosidad absoluta

V_*: Velocidad de corte

Donde la velocidad de corte se define mediante la ecuación (10)

$$V_* = \sqrt{\frac{gDH_{1-2}}{4L}} \quad (10)$$

Schilichting en 1968, estableció que para superficies hidráulicamente lisas se cumple la siguiente ecuación (11)

$$\frac{V_* k}{v} \leq 5 \quad (11)$$

Para flujos turbulentos en tuberías con superficies hidráulicamente lisas, Nikuradse plantea la ecuación implícita (12) para el cálculo de f.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2log\left(Re\sqrt{f}\right) - 0.8 \quad (12)$$

– *Superficies hidráulicamente rugosas*

Se dice que una superficie es hidráulicamente rugosa cuando no se puede desarrollar una subcapa laminar δ_0 en las paredes de la tubería.

En 1968 Schilichting, estableció que para superficies hidráulicamente rugosas se cumple la siguiente expresión (13)

$$\frac{V_* k}{v} \geq 70 \quad (13)$$

Para flujos turbulentos en tuberías con superficies hidráulicamente rugosas, Nikuradse plantea la ecuación (14)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2log\frac{3.71D}{k} \quad (14)$$

En resumen, para un flujo turbulento con superficies hidráulicamente lisas el valor de f depende solo del número de Reynolds como se puede apreciar en la ecuación (12), y para superficies hidráulicamente rugosas el valor de f depende solo de la rugosidad relativa (k/D), como se puede apreciar en la ecuación (14)

– *Superficies en transición entre hidráulicamente lisas y rugosas*

Esta situación ocurre cuando se cumple la expresión (15)

$$5 < \frac{V_* k}{v} < 70 \quad (15)$$

Los valores de f para la zona de transición entre tuberías con superficies lisas y rugosas se hallan mediante fórmula de Colebrook y White; la cual es obtenida combinando la ecuación (12) para superficies hidráulicamente lisas y la ecuación (14) para superficies hidráulicamente rugosas, llegando así a la ecuación (16)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (16)$$

Los valores de la rugosidad absoluta k dependen de cada material. En esta tesis tal como se menciona, las tuberías estudiadas son de GRP y su rugosidad absoluta k se muestra en el Cuadro N° 2-1.

Cuadro N° 2-1 *Rugosidades k de los materiales de tuberías*

Material	Rugosidad (mm)
PVC	0.0020
GRP	0.0290
Hierro Ductil	0.1300
Concreto (ACCP)	0.1200
Acero Comercial	0.1000
Acero Galvanizado	0.1500
Polietileno	0.0070

Fuente: Otek (2015)

Sin embargo, conforme pasan los años la rugosidad de la tubería aumenta y trae como consecuencia el incremento de la pérdida de carga por fricción. La variación de rugosidad con el tiempo la podemos calcular mediante la ecuación (17)

$$k_t = k_0 + \alpha_1 t \qquad (17)$$

Donde:

k_t: Rugosidad después de transcurrido el tiempo t (mm)

k_0: Rugosidad inicial (mm)

α_1: Velocidad de aumento de la rugosidad (mm/año)

t: Tiempo (años)

Para el cálculo de α_1, Lamont ha propuesto el cuadro N° 2-2 para describir el aumento de la rugosidad

Cuadro N° 2-2 *Intensidad de aumento de la rugosidad*

Intensidad	α_1 mm/año
Pequeña	0.012
Moderada	0.038
Apreciable	0.12
Severa	0.38

Fuente: Rocha (2007)

B) Pérdidas locales h_l

También llamadas pérdidas menores se originan debido a la presencia de singularidades o accesorios en la tubería. Las pérdidas locales se calculan mediante la ecuación (18)

$$h_l = K\frac{V^2}{2g} \qquad (18)$$

Donde:

h_l: Pérdidas locales (m)

K: Coeficiente del accesorio o singularidad (adimensional)

V: Velocidad de flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

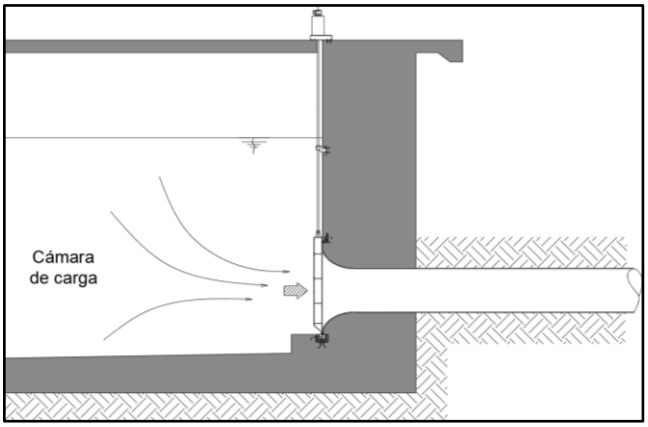
El sistema a estudiar tiene las siguientes pérdidas locales principales:

- Pérdidas por formas de ingreso a la tubería desde la cámara de carga
- Pérdidas por cambio de dirección en tuberías
- Pérdidas por bifurcaciones de tubería
- Pérdidas por ensanchamientos de tubería
- Pérdidas por rejilla
- Pérdidas en válvulas

B.1 Pérdidas por formas de ingreso a la tubería desde la cámara de carga

La pérdida por la entrada de agua en la tubería desde la cámara de carga depende de la forma de la embocadura que da origen a una contracción y se calcula mediante la ecuación (18).

La forma de embocadura que se usará en esta tesis es la que se muestra en la Figura N° 2-9

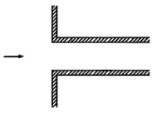
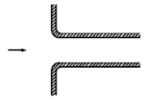
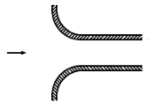
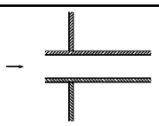


Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-9 *Pérdidas por forma de ingreso a la tubería*

En el Cuadro N° 2-3 se muestra los valores del coeficiente K para diferentes formas de ingreso de agua a la tubería forzada desde la cámara de carga.

Cuadro N° 2-3 *Coeficiente de pérdidas K en la entrada de la tubería*

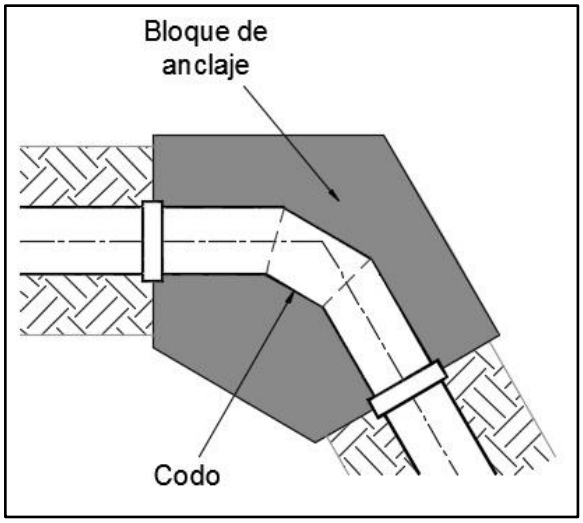
K	Tipo de entrada
0.5	
0.26	
0.04	
1	

Fuente: Rocha (2007)

B.2 Pérdidas por cambio de dirección en tuberías

Estas pérdidas se producen por el cambio de dirección del flujo en tuberías y se calculan mediante la ecuación (18).

Para efectos de esta tesis, las pérdidas por cambio de dirección serán calculadas en los codos de la tubería como se muestra en la Figura N° 2-10

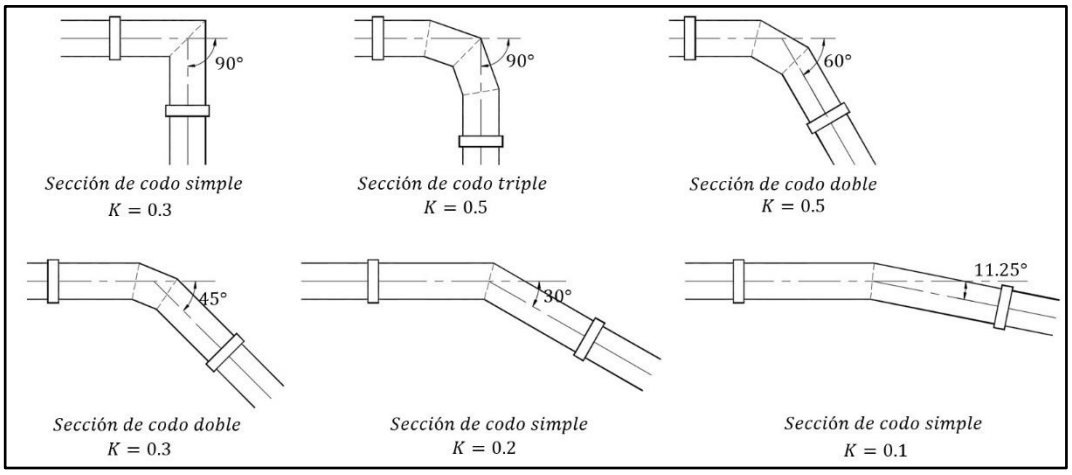


Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-10 *Pérdidas por cambio de dirección en tuberías*

En el Cuadro N° 2-4 se muestra los valores del coeficiente K para diferentes tipos de codos en tuberías GRP.

Cuadro N° 2-4 *Coeficiente K de accesorios para tuberías GRP*



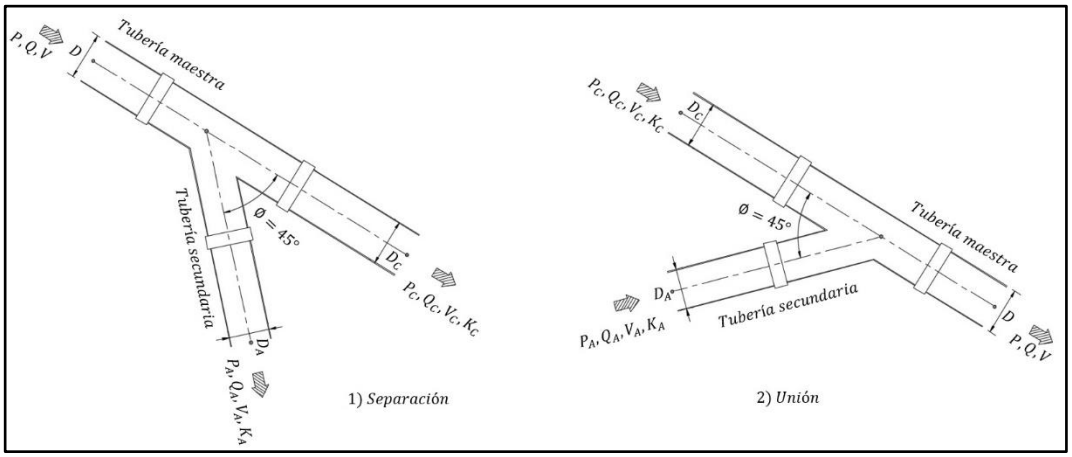
Fuente: Otek (2015)

B.3 Pérdidas por bifurcaciones de tubería

Estas pérdidas dependen de los diámetros y del ángulo que forma la tubería maestra con la tubería secundaria. Para efectos de esta tesis se tomará como ángulo el valor de ϕ = 45° como se muestra en la Figura N° 2-11.

Las pérdidas que se producen en el accesorio de bifurcación son producto de la tubería maestra h_{l_C} y la tubería secundaria h_{l_A}.

Estas pérdidas se calculan mediante las ecuaciones (19) y (20)



Fuente: Adaptado de Sotelo (1997).

Figura N° 2-11 *Esquema de bifurcaciones de unión y separación*

$$h_{l_A} = K_A \frac{V^2}{2g} \qquad (19)$$

$$h_{l_C} = K_C \frac{V^2}{2g} \quad (20)$$

La pérdida total en bifurcación se calculará mediante la ecuación (21)

$$h_b = h_{l_A} + h_{l_C} \quad (21)$$

Donde:

h_b Pérdida total en el accesorio de bifurcación (m)

h_{l_A}: Pérdida por la tubería secundaria (m)

h_{l_C} Pérdida por la tubería maestra (m)

V: Velocidad de flujo (m/s)

K_A: Coeficiente de pérdida en la tubería secundaria

K_C: Coeficiente de pérdida en la tubería maestra

Para el cálculo de los coeficientes K_A y K_C, los autores Vogel, Peterman y Kinne, obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro N°2-5, teniendo en cuenta tuberías con cantos agudos, la relación Q_a/Q y considerando $D = D_C$

Es importante destacar que la mezcla de flujos por ambas tuberías produce una transferencia de cantidad de movimiento en la tubería maestra para valores pequeños de Q_a/Q, y en la tubería secundaria para valores mayores de Q_a/Q.

Esta situación explica los valores negativos que a veces adoptan K_A y K_C

Cuadro N° 2-5 *Coeficientes de pérdida para bifurcaciones en tuberías (cantos agudos)*

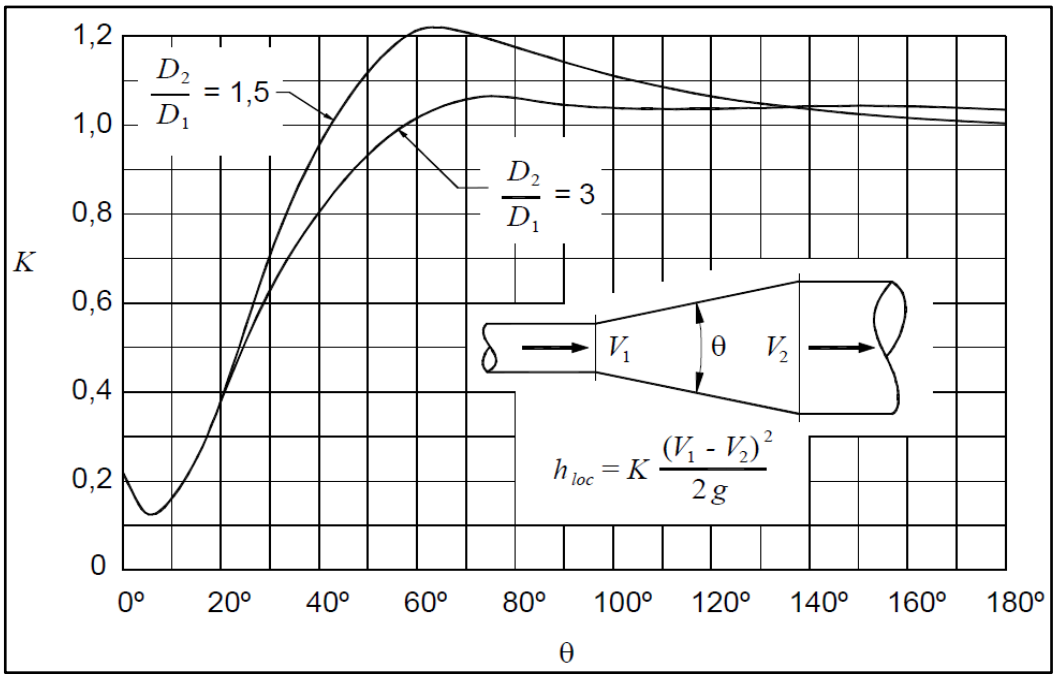
Qa/Q	SEPARACIÓN				UNION			
	ϕ = 90°		ϕ = 45°		ϕ = 90°		ϕ = 45°	
	Ka	Kc	Ka	Kc	Ka	Kc	Ka	Kc
0	0.95	0.04	0.9	0.04	-1.2	0.04	-0.92	0.04
0.2	0.88	-0.08	0.68	-0.06	-0.4	0.17	-0.38	0.17
0.4	0.89	-0.05	0.5	-0.04	0.08	0.3	0	0.19
0.6	0.95	0.07	0.38	0.07	0.47	0.4	0.22	0.09
0.8	1.1	0.21	0.35	0.2	0.72	0.51	0.37	-0.17
1	1.28	0.35	0.48	0.33	0.91	0.6	0.37	-0.54

Fuente: Sotelo (1997).

B.4 Pérdidas por ensanchamiento de tubería

En los ensanchamientos se producen torbellinos y vórtices a lo largo de todo el accesorio de ensanchamiento produciendo pérdidas de carga, en el diseño se propone un ensanchamiento gradual. Las pérdidas por ensanchamiento se calculan mediante la ecuación (22)

En la Figura N° 2-12 se presenta resultados experimentales estudiados por Gibson



Fuente: Rocha (2007)

Figura N° 2-12 *Coeficientes de pérdida para ampliaciones graduales*

$$h_{loc} = K\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \qquad (22)$$

Donde:

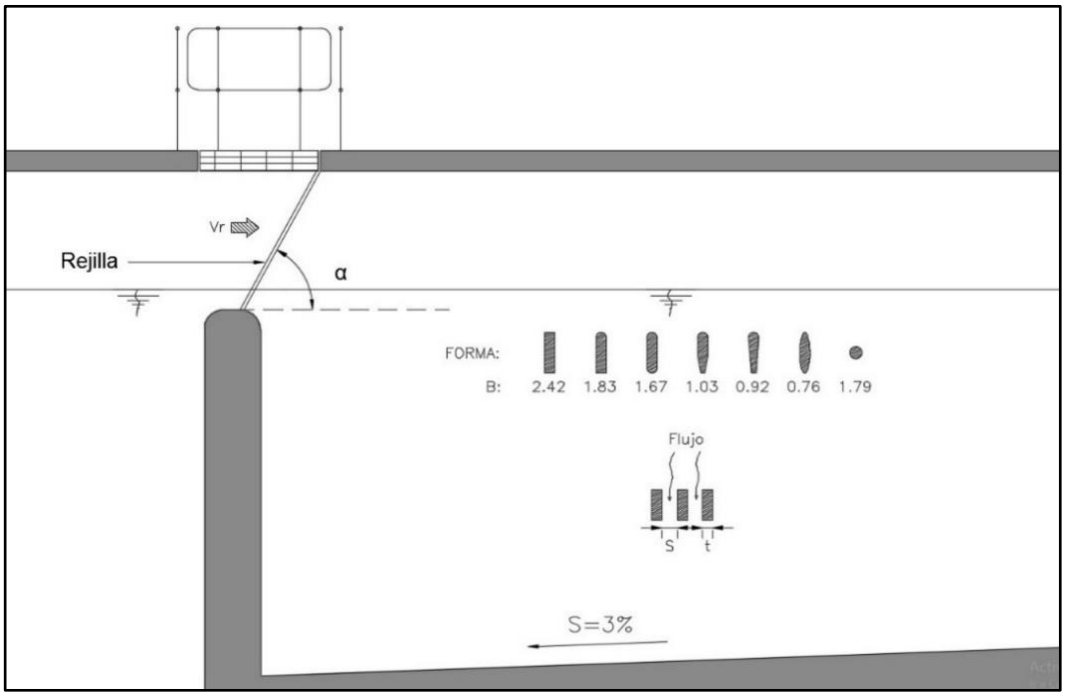
h_{loc}: Pérdida por ensanchamiento en tubería (m)

V_1: Velocidad aguas arriba del accesorio (m/s)

V_2: Velocidad aguas abajo del accesorio (m/s)

B.5 Pérdidas por rejilla

Con el objetivo de impedir la entrada de cuerpos sólidos a la tubería a presión se coloca rejillas en la cámara de carga como se muestra en la Figura N° 2-13. Estas rejillas producen pérdidas de energía cuando están sumergidas y cuando sobresalen de la superficie del agua. Las pérdidas se pueden calcular mediante la fórmula de Kirschmer en la ecuación (23).



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-13 *Valores de B aplicados a la fórmula de kirschmer*

$$h_{l_r} = B\left(\frac{t_b}{s}\right)^{4/3}\frac{V_r^2}{2g}\sin\alpha_r \qquad (23)$$

Donde:

h_{l_r}: Pérdida local en la rejilla

B: Coeficiente según la sección transversal del barrote

t_b: Espesor del barrote (m)

s: Separación entre barrotes (m)

V_r : Velocidad de aproximación a la rejilla (m/s)

α_r: Ángulo de inclinación de la rejilla (°)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

B.6 Pérdidas en válvulas

Estas pérdidas de carga dependen del tipo de válvula y del grado de abertura. Para este estudio se tomará valores para una válvula completamente abierta. Las pérdidas por válvulas se calculan mediante la ecuación (18)

En el Cuadro N° 2-6 se muestra los valores del coeficiente K para diferentes tipos de válvulas.

Cuadro N° 2-6 *Coeficientes K para válvulas completamente abiertas*

Válvulas	K
Válvula mariposa	0.2 - 0.4
Válvula esférica	0.1
Válvula anular	1.2 - 2.5

Fuente: Ortiz (2001)

C) Pérdidas totales en la tubería H_{1-2}

Una vez analizado todas las pérdidas posibles en la tubería se procede a calcular las pérdidas totales H_{1-2}, entre la sección 1 y la sección 2 de la Figura N° 2-8, que son la suma de pérdidas por fricción y todas las pérdidas locales encontradas a lo largo de toda la tubería mediante la ecuación (24)

$$H_{1-2} = \sum h_f + \sum h_l \qquad (24)$$

D) Altura neta H_n y potencia generada

En los acápites 2.1.2 y 2.2.2 se hace una introducción del concepto de altura neta H_n de acuerdo con el tipo de turbina usada, la cual también se puede observar en los esquemas de las Figuras N° 2-4, N° 2-5, N° 2-6. A partir de la altura neta se obtiene la potencia generada para las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas planteadas.

Para ello primero se debe definir la sección de entrada y la sección de salida de la turbina. Los códigos internacionales como las “Normas Internacionales para la determinación de la altura neta”, recomiendan que la sección de entrada y sección

de salida de una turbina viene determinada por las secciones 2 y 3 de las Figura N° 2-4, N° 2-5, N° 2-6.

D.1 Altura neta H_n

Aplicamos la ecuación de la energía entre las secciones 1 y 3 de la Figura N° 2-8, para hallar la ecuación de altura neta H_n

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + H_r \quad (25)$$

Considerando los términos P_1/γ, P_2/γ, $V_1^2/2g$ y $V_3^2/2g$ de la ecuación (25) igual a cero se obtiene $Z_1 - Z_3 = H_r$. Entonces en la sección 3 de la Figura N° 2.8 se observa que $H_r = H_n + H_{1-2}$, despejando el valor de H_n se obtiene la ecuación (26) que será la que se usará para el cálculo de la altura neta

$$H_n = H_r - H_{1-2} \quad (26)$$

De la ecuación (26) se deduce que la altura neta H_n, es la diferencia de alturas totales entre las secciones (2) entrada de la turbina y la sección (3) salida de la turbina y es válida para turbinas Francis, Kaplan y Pelton.

En las Figuras N° 2-4, 2-5 y 2-6, se muestra el esquema de altura neta para cada tipo de turbina mencionada anteriormente.

D.2 Potencia generada

Con la altura neta H_n o altura de turbina ya definida se procederá a calcular la potencia teórica de las pequeñas o minicentrales hidroeléctricas mediante la ecuación (27)

$$P_t = \gamma Q H_n \quad (27)$$

La ecuación (27) representa la potencia teórica de la pequeña o minicentral hidroeléctrica, sin embargo, hay pérdidas de energía dentro de la turbina y del generador. Estas pérdidas la podemos cuantificar mediante un factor "n" llamado eficiencia del grupo generador. La potencia real incluye el factor "n" y lo podemos calcular mediante la ecuación (28)

$$P_r = n\gamma Q H_n \quad (28)$$

Al calcular la potencia real en el sistema gravitacional de unidades, mediante la ecuación (28), las unidades que se obtienen son kg.m/s; sin embargo, la potencia en el sistema internacional de unidades se expresa como Watts. Para transformar kg.m/s a Watts, se usa la siguiente equivalencia, 1kg.m/s = 1kg x 9.81m^2/s^3 = 9.81 w, y considerando la densidad del agua 1000 kg/m^3 se reemplaza en la ecuación (28) y se obtiene la ecuación (29) que se usará para el cálculo de potencia en la presente tesis.

$$P_r = 9.81 n Q H_n \quad (29)$$

Donde:

P_r: Potencia real (kW)

Q: Caudal (m^3/s)

H_n: Altura neta (m)

n: Eficiencia del grupo generador

El grupo generador es el conjunto conformado por la turbina y generador en el cual la turbina tiene una eficiencia "n_t" y el generador una eficiencia "n_g", entonces la eficiencia del grupo generador "n" se calcula mediante la ecuación (30)

$$n = n_t n_g \quad (30)$$

La eficiencia de la turbina "n_t" es el valor que expresa las pérdidas de energía en la turbina, mientras que "n_g" es la eficiencia del generador y expresa las pérdidas que se producen en el proceso de convertir la energía mecánica de rotación a energía eléctrica por parte del generador.

Los valores de n_t y n_g se pueden obtener de los cuadros N° 2-7 y N° 2-8

Cuadro N° 2-7 *Valores de* n_g

Generadores de baja potencia	0.95
Generadores de potencia media	0.97
Generadores de alta potencia	0.98
Generadores superpotentes	0.98

Fuente: Ochoa (2002)

Cuadro N° 2-8 *Valores de* n_t

Turbinas Pequeñas	0.85 - 0.91
Turbinas Grandes	0.92 - 0.96

Fuente: Ochoa (2002)

D.3 Energía generada

Todo aprovechamiento hidroeléctrico se caracteriza por la potencia utilizada en un tiempo determinado. A este concepto se le llama “Energía generada” y la podemos calcular mediante la ecuación (31)

$$E_t = P_r . t \qquad (31)$$

Donde:

E_t: Energía generada en un tiempo t (kW-h)

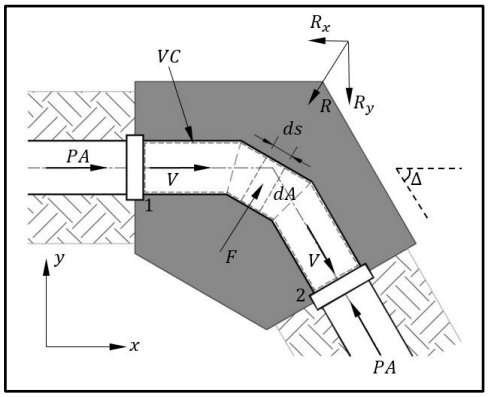
P_r: Potencia real (kW)

t: Tiempo (h)

2.2.3 Ecuación de cantidad de movimiento

En las Figuras N° 2-2 y 2-8, se observa que existen cambios de dirección de flujo en las tuberías enterradas como codos y bifurcaciones, estos cambios de dirección generan fuerzas que tienden a desequilibrar el sistema, razón por la cual es necesario el uso de bloques de anclajes.

En la Figura N° 2-14 se analiza la aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento en el codo de una tubería determinada.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-14 *Aplicación del principio de movimiento en un codo*

La fuerza que actúa sobre una masa en movimiento es el cambio de la cantidad de movimiento por unidad de tiempo como se expresa de manera vectorial en la ecuación (32)

$$d\vec{F}dt = dm\Delta\vec{V} \quad (32)$$

Para un elemento de masa se tiene $dm = \rho dsdA$, reemplazando en la ecuación (32) se obtiene:

$$d\vec{F}dt = \rho dsdA\Delta\vec{V} \quad (33)$$

Donde $d\vec{F}$ es la fuerza resultante sobre el elemento de volumen considerado. El impulso ($d\vec{F}dt$) que actúa sobre este elemento es igual al cambio correspondiente de la cantidad de movimiento ($\rho dsdA\Delta\vec{V}$). Considerando un flujo estacionario se integra la ecuación (33) en todo el volumen de control contenido entre las secciones 1 y 2 de la Figura N° 2-14 y tomando en cuenta las relaciones $ds = Vdt$ y $dQ = VdA$ se obtiene la ecuación (34)

$$\vec{F} = \rho Q\left(\vec{V}_2 - \vec{V}_1\right) \quad (34)$$

En la ecuación (34) $\vec{F}$ representa la fuerza resultante que actúa sobre el volumen de control considerado en la Figura N° 2-14. Como la ecuación (34) es una ecuación vectorial, entonces se puede descomponer en tres ecuaciones para las tres componentes x, y, z, resultando las ecuaciones 35, 36 y 37 respectivamente.

$$\sum F_x = \rho Q[(V_x)_2 - (V_x)_1] \quad (35)$$

$$\sum F_y = \rho Q\left[\left(V_y\right)_2 - \left(V_y\right)_1\right] \quad (36)$$

$$\sum F_z = \rho Q[(V_z)_2 - (V_z)_1] \quad (37)$$

Aplicando la ecuación (35) en la Figura N° 2-14, se tendría en la dirección x la sumatoria de fuerzas $\sum F_x = PA - PA\cos\Delta - R_x$. Por otro lado, los términos de la derecha en la ecuación (35) corresponden a $(V_x)_1 = V$ y $(V_x)_2 = V\cos\Delta$, reemplazando en la ecuación (35) $PA - PA\cos\Delta - R_x = \rho Q(V\cos\Delta - V)$, en forma similar se haría para el eje y obteniendo la expresión $PA\sin\Delta - R_y =$

$\rho QV \sin \Delta$. Despejando las reacciones R_x y R_y se calcula de la reacción $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ y se obtiene la ecuación (38)

$$R = 2(PA + \rho QV) \sin(\Delta/2) \quad (38)$$

La fuerza F del fluido sobre el codo es equivalente a la reacción R y en muchos casos el término ρQV de la ecuación (38) es muy pequeño comparado con el término PA y se desprecia, con lo cual la fuerza F se puede determinar con la ecuación (39)

$$F = 2PA \sin(\Delta/2) \quad (39)$$

Donde:

F: Fuerza sobre codo (N)

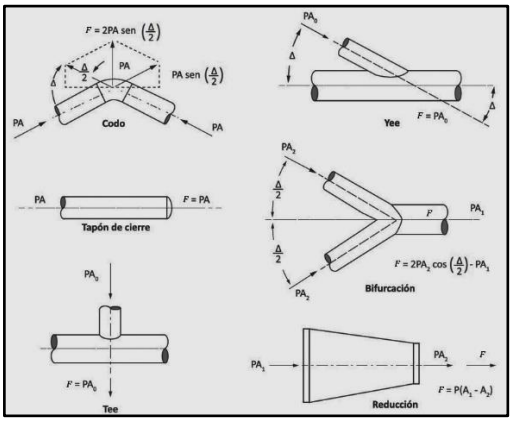
P: Presión (Pa)

A: Área de la sección de tubería (m²)

Δ: Angulo de desvío (°)

La presión P debe incluir las sobrepresiones calculadas producto de efectos transitorios como el golpe de ariete, este fenómeno se explicará en el ítem 2.4.1 de la presente tesis.

Existen diferentes casos para la aplicación de la fuerza F. En la Figura N° 2-15 se presenta estos casos.



Fuente: Manual of Water Supply Practices – M45 (2005)

Figura N° 2-15 *Casos de fuerzas F*

2.3 ECUACIONES DE DISEÑO EN PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

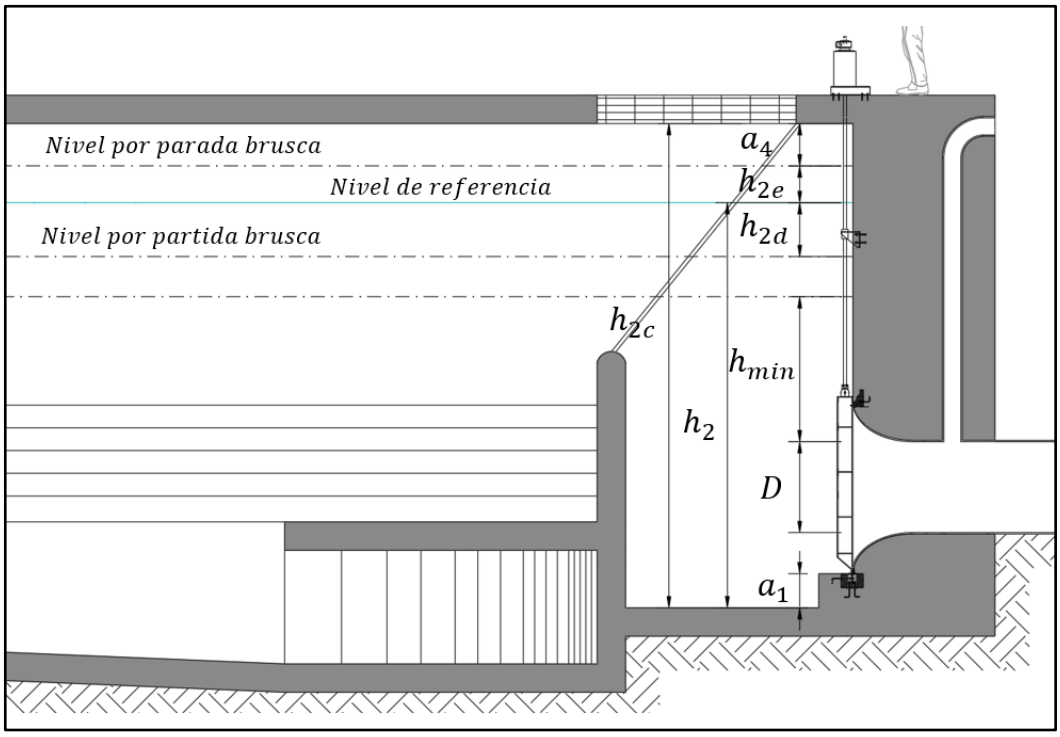
Las estructuras que serán diseñadas en la presente tesis son las siguientes:

- Cámara de carga
- Tubería forzada
- Casa de máquinas

2.3.1 Cámara de carga

La cámara de carga busca crear un volumen de reserva e impedir la entrada de materiales sólidos de arrastre flotantes y garantizar la sumergencia del sistema de conducción a presión, manteniendo una altura de agua suficiente que evite la entrada de aire a la tubería de forzada.

La parte superior de la tubería debe quedar a una altura h_{min} que evite la zona donde se producen remolinos para así lograr una buena eficiencia hidráulica.



Fuente: Adaptado de Ortiz (2010).

Figura N° 2-16 *Cámara de carga*

En la cámara de carga tenemos que dimensionar su altura h_{2c}, su largo L_{cc} y su ancho b_2. La altura total h_{2c} está compuesta por varios parámetros que se muestran en la ecuación (40) Ortiz (2010).

$$h_{2c} = h_2 + h_{2e} + a_4 \quad (40)$$

Donde:

h_{2c}: Altura total de la cámara de carga (m)

h_2 Altura referencial de agua en la cámara de carga (m)

h_{2e}: Altura por parada brusca (m)

a_4: Altura por efecto de golpe de ariete (m)

La altura que evite el ingreso de sedimentos a_1, está en un rango como lo muestra la expresión (41) Ortiz (2001).

$$0.3 < a_1 < 0.5 \quad (41)$$

La altura mínima sobre la tubería de presión se puede calcular con las ecuaciones (42) y (43). Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas (1985)

$$h_{min} = 0.543\, VD^{1/2} \quad (para\ un\ flujo\ de\ aproximación\ simétrica) \quad (42)$$

$$h_{min} = 0.724 VD^{1/2} \quad (para\ un\ flujo\ de\ aproximación\ asimétrica) \quad (43)$$

Donde:

h_{min}: Altura mínima de agua sobre la tubería

V: Velocidad de flujo

D: Diámetro de la tubería (m)

Las alturas por partida y para brusca se calculan mediante las ecuaciones (44) y (45) respectivamente Ortiz (2010).

$$h_{2d} = \frac{Q}{7 * b_2 * \sqrt{h_2}} \quad (44)$$

$$h_{2e} = \frac{0.25 * Q}{b_2 * \sqrt{h_2}} \quad (45)$$

Donde:

h_{2d}: Altura por partida brusca (m)

h_{2e}: Altura por parada brusca (m)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

b_2: Ancho de la cámara de carga (m)

La longitud de la cámara de carga L_{cc} debe permitir amortiguar el golpe de ariete, originado por paradas bruscas y se calcula mediante la ecuación (46) Ortiz (2010).

$$L_{cc} = 0.304 \frac{QL\sqrt{h_2}}{(H_r)D^2} \quad (46)$$

Donde:

L_{cc}: Longitud de cámara de carga (m)

Q: Caudal (m3/s)

L: Longitud de tubería (m)

H_r: Altura bruta (m)

Para la altura por golpe de ariete (a_4) se recomienda una altura mínima de 0.3 m Ortiz (2010).

Para el cálculo del ancho de la cámara de carga, Ramiro Ortiz recomienda una velocidad media en la cámara de presión entre $(0.6 \leq V_{cc} < 1)$

$$b_2 = \frac{Q}{V_{cc} * h_2} \quad (47)$$

A continuación, se determina la altura $h_{2e}^{'}$ y se verifica con h_2

$$h_{2e}^{'} = a_1 + D + h_{min} + h_{2d} \quad (48)$$

$$si \quad h_{2e}^{'} < h_2 \; el \; valor \; asumido \; de \; h_2 \; es \; correcto \quad (49)$$

$$si \quad h_{2e}^{'} > h_2 \; se \; debe \; tomar \; un \; valor \; mayor \; de \; h_2 \; y \; recalcular \quad (50)$$

El volumen de la cámara de carga se calcula mediante la siguiente ecuación (51)

$$\Delta\forall = \frac{0.693 * A * V^2}{i * g} \quad (51)$$

Donde:

$\Delta\forall$: Volumen de la cámara de carga (m³)

A: Área de la sección de la tubería (m²)

V: Velocidad de flujo (m/s)

i: Pendiente de la tubería

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

2.3.2 Tubería forzada

La tubería forzada o tubería a presión tiene como objetivo conducir el agua desde la cámara de carga hasta las turbinas ubicadas en la casa de máquinas.

En la presente tesis se verá el diseño mecánico de una tubería GRP enterrada, ya que son una buena solución por su resistencia a la corrosión y por mantener constantes sus propiedades hidráulicas con el paso del tiempo.

A) Diseño de tubería enterrada

La metodología para el diseño de tuberías GRP enterrada se basa en el Manual of Water Supply Practices – M45 (2005). Las tuberías GRP soportan deformaciones importantes gracias a la flexibilidad que poseen, estas deformaciones son producto de las cargas verticales del suelo, el tráfico y la napa freática, dichas cargas determinan una deflexión que depende tanto del grado de

compactación del suelo junto al tubo como la rigidez circunferencial de la sección transversal del tubo, Manual of Water Supply Practices - M45 (2005)

A.1 Cálculo de la deflexión vertical prevista de la tubería

Este cálculo implica predecir la deflexión que ocurrirá en la tubería al ser instalada en condiciones externas conocidas y determinadas por el diseñador. Mediante la ecuación (52) es posible calcular la deflexión que presentará la tubería luego de su instalación

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{(D_L W_C + W_L)K_x}{149PS + 61000M_s} \quad (52)$$

Donde:

D_L: Factor de retraso de la deflexión ($D_L > 1$)

W_C: Carga vertical del suelo sobre la tubería (N/m²)

W_L: Carga viva sobre la tubería (N/m²)

K_x: Coeficiente de soporte de lecho, su valor es de 0.1

PS: Rigidez Nominal de la tubería dividido en 0.018645 (kPa)

M_s Rigidez compuesta del suelo (MPa)

Para el cálculo de la carga vertical del suelo W_C, se requiere conocer el peso específico del suelo y la profundidad a la que se colocara la tubería. Con estas variables se puede calcular la carga vertical sobre la tubería mediante la ecuación (53)

$$W_C = \gamma_s h \quad (53)$$

Donde:

γ_s: Peso específico del suelo sobre la tubería (N/m³)

h: Distancia desde la rasante a la cota clave de la tubería (m)

El procedimiento para el cálculo de la carga viva sobre la tubería está basado en la norma AASHTO LRFD, y se realiza mediante la ecuación (54)

$$W_L = \frac{M_p P_{ct} I_f}{L_1 L_2} \qquad (54)$$

Donde:

M_p: Factor de múltiple presencia. Este factor es de 1.2 y aumenta el valor de carga viva en un 20% debido a la posibilidad de que se presenten cargas superiores a la carga P_{ct}.

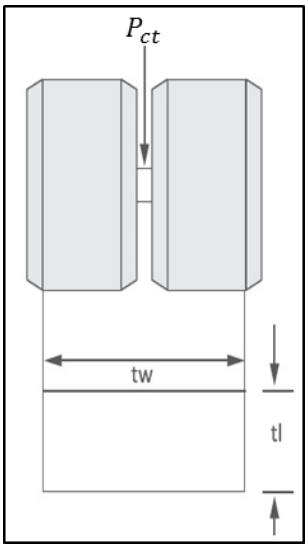
P_{ct}: Magnitud de la carga en la rueda del vehículo más pesado que puede pasar sobre la zona de la tubería (N).

I_f: Factor de impacto. Este valor es función de la profundidad de la tubería (distancia desde el terreno a la cota clave de la tubería)

L_1: Distancia paralela a la dirección de viaje del área de influencia de la carga viva (m)

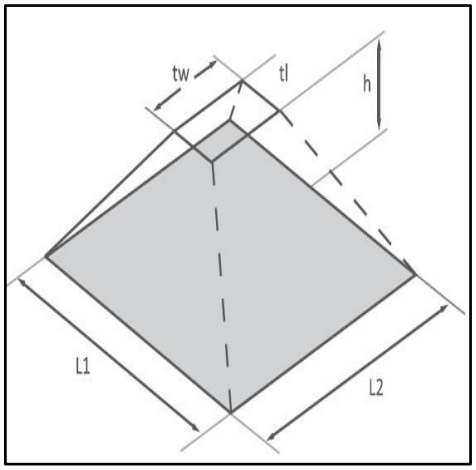
L_2: Distancia perpendicular a la dirección de viaje del área de influencia de la carga viva (m)

Los valores de L_1 y L_2 son también función de la distancia h, medida desde la cota rasante hasta la cota clave de la tubería.



Fuente: Pavco (2015)

Figura N° 2-17 *Representación de la carga* $\boldsymbol{P_{ct}}$



Fuente: Pavco (2015)

Figura N° 2-18 *Representación del peso del suelo sobre la tubería*

$$L_1 = t_l + (LLDF)(h) \quad (55)$$

Donde:

t_l: Longitud de la proyección del neumático en (m), se recomienda 0.25 m

$LLDF$: Es un factor que afecta la distribución de la carga viva respecto a la profundidad de la tubería (el valor de este parámetro es 1.15 para suelos SC1 y SC2, para otro tipo de suelo usar 1.0)

Para calcular L_2 se debe conocer la profundidad h_{int} a la cual la carga producida por los neumáticos interactúa

$$h_{int} = \frac{(1.83 - t_w)}{LLDF} \quad (56)$$

Donde:

t_w: Ancho de la proyección de los neumáticos, se recomienda 0.50 m

h_{int}: Altura de interacción (m)

$$Si\ h \leq h_{int} \qquad L_2 = t_w + (LLDF)(h) \quad (57)$$

$$Si\ h > h_{int} \qquad L_2 = \frac{[t_w + 1.83 + (LLDF)(h)]}{2} \quad (58)$$

El factor de impacto I_f se obtiene con la ecuación (59)

$$I_f = 1 + 0.33\left[\frac{(2.44 - h)}{2.44}\right] \quad (59)$$

De esta manera se obtiene las diferencias variables que permiten llevar a cabo el cálculo de la carga viva sobre la tubería enterrada a una profundidad h mediante la ecuación (54)

A continuación, calculamos la rigidez compuesta del suelo M_s que corresponde a un patrón que tiene en cuenta la rigidez del suelo que se utilizará para la cimentación y estará rodeando directamente a la tubería. Dicha rigidez se calcula mediante la ecuación (60)

$$M_s = S_C M_{sb} \quad (60)$$

Donde:

M_s: Rigidez compuesta del suelo (Mpa)

S_C: Factor de combinación de los suelos de cimentación y suelo nativo. Y esta es función de la rigidez del suelo de cimentación, suelo nativo, diámetro de la tubería y ancho de la zanja. Su valor es adimensional

M_{sb}: Rigidez del suelo utilizado para la cimentación dentro del cual se confinará la tubería (Mpa)

Para determinar la rigidez del suelo de la cimentación de la tubería, se debe conocer el material de relleno que se utilizara y el grado de compactación de este. De esta manera se tienen cinco tipos de suelos de acuerdo con la clasificación presentada por Manual of Water Supply Practices – M45 (2005) y se muestra en el Cuadro N° 2-9

Cuadro N° 2-9 *Tipo de suelos*

CATEGORIA DE RIGIDEZ DEL SUELO	TIPO DE SUELO
SC1	Piedra triturada
SC2	Suelos limpios de grano grueso
SC3	Suelos de grano grueso con finos
	Suelos arenosos o de grano fino con grava
SC4	Suelos de grano fino
SC5	Suelos orgánicos y de alta plasticidad

Fuente: Manual of Water Supply Practices – M45 (2005)

Una vez conocido el material que se utilizara en la cimentación y el grado de compactación que se va a utilizar, entramos al cuadro N° 2-10 para calcular el valor de M_{sb}

Cuadro N° 2-10 *Valores de* M_{sb}

Esfuerzo vertical a profundidad de la tubería (kPA)	Profundidad del suelo con peso especiífico 18.8 kN/m³	M_{sb}			
		SPD 100	SPD 95	SPD 90	SPD 85
	(m)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
Categoria de Rigidez SC1 y SC2					
6.9	0.4	16.2	13.8	8.8	3.2
34.5	1.8	23.8	17.9	10.3	3.6
69	3.7	29	20.7	11.2	3.9
138	7.3	37.9	23.8	12.4	4.5
276	14.6	51.7	29.3	14.5	5.7
414	22	64.1	34.5	17.2	6.9
Categoria de Rigidez SC3					
6.9	0.4		9.8	4.6	2.5
34.5	1.8		11.5	5.1	2.7
69	3.7		12.2	5.2	2.8
138	7.3		13	5.4	3
276	14.6		14.4	6.2	3.5
414	22		15.9	7.1	4.1
Categoria de Rigidez SC4					
6.9	0.4		3.7	1.8	0.9
34.5	1.8		4.3	2.2	1.2
69	3.7		4.8	2.5	1.4
138	7.3		5.1	2.7	1.6
276	14.6		5.6	3.2	2
414	22		6.2	3.6	2.4
SPD: Densidad de Proctor Estandar					

Fuente: Manual of Water Supply Practices – M45 (2005)

Para el cálculo de S_C se debe conocer B_d, que es el ancho de zanja, el valor de D que es el diámetro de la tubería, y el valor de M_{sn} que es la rigidez del suelo nativo. Para el cálculo de M_{sn} se usa el cuadro N° 2-11

Cuadro N° 2-11 *Valores de* M_{sn}

Golpes por Pie (0.3 m)	Descripción	M_{sn}
		Rigidez del suelo nativo (Mpa)
0 - 1	muy, muy suave	0.34
1 - 2	muy suave	1.4
2 - 4	suave	4.8
4 - 8	medio	10.3
8 - 15	rígido	20.7
15 - 30	muy rígido	34.5
30 - 50	duro	69
> 50	muy duro	138

Fuente: Manual of Water Supply Practices – M45 (2005)

Finalmente, para calcular el valor de S_C se usa el Cuadro N° 2-12

Cuadro N° 2-12 *Valores de S_C*

M_{sn} / M_{sb}	S_c							
	$B_d/D = 1.25$	$B_d/D = 1.5$	$B_d/D = 1.75$	$B_d/D = 2$	$B_d/D = 2.5$	$B_d/D = 3$	$B_d/D = 4$	$B_d/D = 5$
0.005	0.020	0.050	0.080	0.120	0.230	0.430	0.720	1.000
0.010	0.030	0.070	0.110	0.150	0.270	0.470	0.740	1.000
0.020	0.050	0.100	0.150	0.200	0.320	0.520	0.770	1.000
0.050	0.100	0.150	0.200	0.270	0.380	0.580	0.800	1.000
0.100	0.150	0.200	0.270	0.350	0.460	0.650	0.840	1.000
0.200	0.250	0.300	0.380	0.470	0.580	0.750	0.880	1.000
0.400	0.450	0.500	0.560	0.640	0.750	0.850	0.930	1.000
0.600	0.650	0.700	0.750	0.810	0.870	0.940	0.980	1.000
0.800	0.840	0.870	0.900	0.930	0.960	0.980	1.000	1.000
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.500	1.400	1.300	1.200	1.120	1.060	1.030	1.000	1.000
2.000	1.700	1.500	1.400	1.300	1.200	1.100	1.050	1.000
3.000	2.200	1.800	1.650	1.500	1.350	1.200	1.100	1.000
≥ 5	3.000	2.200	1.900	1.700	1.500	1.300	1.150	1.000

Fuente: Manual of Water Supply Practices – M45 (2005)

Con los valores calculados de S_C y M_{sb}, se reemplazan en la ecuación (60) para el cálculo de M_s, y posteriormente en la ecuación (52) para calcular la deflexión vertical que debe ser menor a 5%

A.2 Presión de pandeo admisible

Las tuberías de GRP están sometidas a cargas radiales que generan esfuerzos compresivos en los anillos de la tubería producto de sobrecargas de suelo, vacíos internos y presencia de niveles freático o aguas subterráneas.

Estas cargas mencionadas producen una presión de pandeo en la tubería que es resistida por la rigidez de la tubería, el suelo de cimentación y suelo nativo que lo rodea. La presión puede calcularse con la ecuación (61)

$$q_a = \frac{(1.2C_n)(EI)^{0.33}(\varphi_s M_s k_v 10^6)^{0.67}}{(FS)r} R_h \qquad (61)$$

Donde:

q_a: Presión crítica de colapsamiento (kPa)

M_s: Rigidez compuesta del suelo (MPa)

C_n: Factor de corrección para tener en cuenta efectos no lineales (0.55)

φ_s: Factor de corrección por variabilidad de la rigidez del suelo compactado (0.90)

k_v: Factor de corrección por módulo de Poisson del suelo (0.74)

r: Radio medio del tubo (mm)

FS: Factor de seguridad (2.5)

E: Módulo de elasticidad en flexión

I: Momento de inercia por unidad de longitud (mm4/mm)

R_h: Factor de corrección por profundidad de relleno

El factor de corrección por profundidad de relleno lo hallamos mediante la ecuación (62)

$$R_h = \frac{11.4}{11 + \frac{D}{1000h}} \quad (62)$$

Para determinar si la tubería cumple con la presión de pandeo admisible, se tiene que cumplir las ecuaciones (63) y (64)

$$(\gamma_w h_w + R_w W_c)10^{-3} + P_v \leq q_a \quad (63)$$

$$(\gamma_w h_w + R_w W_c + W_L)10^{-3} \leq q_a \quad (64)$$

B) Diámetro económico

El diámetro económico de una central hidroeléctrica se basa en un estudio económico que busca determinar el diámetro que produzca menos pérdidas de energía y menor costo de inversión.

B.1 Metodología de cálculo del diámetro económico

La metodología de cálculo del diámetro económico consiste en comparar una gama de intervalos de diámetros del mismo material, teniendo en cuenta el costo de la tubería y el costo de la energía perdida.

El costo de la tubería se debe incluir los insumos más importantes que tienen mayor incidencia en el costo y lo podemos calcular mediante la ecuación (65)

$$C_{TT} = C_{OC} + C_{Tub} \quad (65)$$

Donde:

C_{TT}: Costo total de la tubería

C_{OC}: Costo de obras civiles

C_{Tub}: Costo de tubería y accesorios

El costo de energía perdida es el costo por la energía dejada de producir, producto de las pérdidas totales en la tubería y se analiza para cada diámetro, Yañez (2016) y se muestra en la ecuación (66)

$$C_{EP} = 9.81nQH_{1-2}(8760)(C_E)(FP) \quad (66)$$

Donde:

C_{EP}: Costo de energía anual perdida

H_{1-2}: Pérdidas totales en la tubería

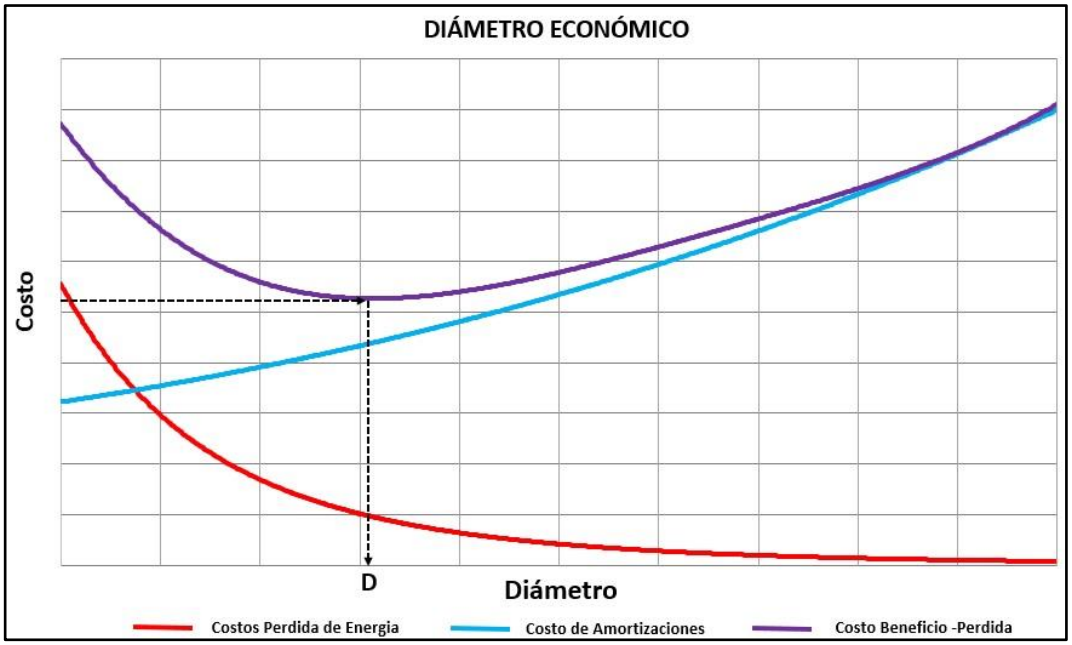
n: Eficiencia del grupo generador

C_E: Costo de energía

FP: Factor de planta

El factor de planta FP es el cociente entre la energía real generada por la central hidroeléctrica en un periodo anual y la energía si se hubiera trabajado a plena carga durante ese periodo de tiempo.

Las pérdidas en la tubería forzada se traducen en energía perdida y se pueden reducir aumentando el diámetro, pero al aumentar el diámetro se incrementa el costo de la tubería, entonces se debe buscar un equilibrio entre el costo de la energía perdida y el costo de la tubería, esto se aprecia en la Figura N° 2-19, donde el valor mínimo de la curva Beneficio - Perdida nos arroja el menor costo de tubería y el diámetro económico.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2-19 *Curva Beneficio - Pérdida para hallar el diámetro económico*

Las anualidades de las amortizaciones se calcularán con la ecuación (67)

$$a_n = \frac{C_{TT} r_i (1 + r_i)^{n_a}}{(1 + r_i)^{n_a} - 1} \qquad (67)$$

Donde:

C_{TT}: Costo total de la tubería

r_i: Tasa de interés

n_a: Número de años en que se paga la deuda

El costo Beneficio - Pérdida será igual a la suma del costo de amortización en función del diámetro y al costo de pérdida de energía en función del diámetro, y lo expresamos mediante la ecuación (68)

$$C_{BP} = C_1(D) + C_2(D) \qquad (68)$$

Donde:

C_{BP}: Costo Beneficio - Perdida

$C_1(D)$: Costo de amortizaciones en función del diámetro

$C_2(D)$: Costo de energía perdida en función del diámetro

Para el cálculo del diámetro económico se debe cumplir la condición de costo mínimo y pérdida de energía mínima, esto se consigue mediante la ecuación (69)

$$\frac{dC_1(D)}{d(D)} + \frac{dC_2(D)}{d(D)} = 0 \qquad (69)$$

2.3.3 Casa de Máquinas

La casa de máquinas es la estructura civil que aloja todo el equipamiento electromecánico para la generación de electricidad. La parte fundamental del equipamiento electromecánico es la turbina y el generador.

Las partes móviles de ambas máquinas, el rodete de la turbina y el rotor del generador, están conectadas a un mismo eje, por lo que el conjunto se denomina grupo turbogenerador o simplemente grupo.

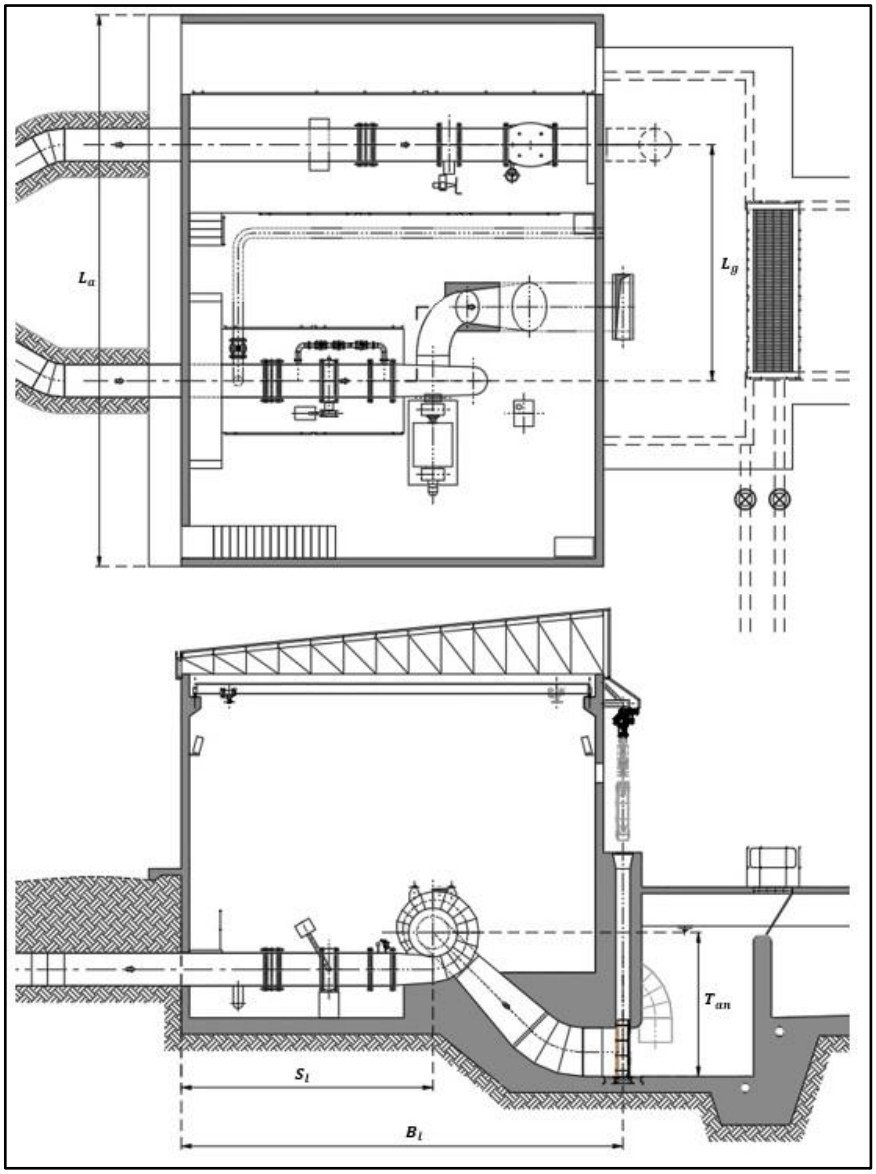
La potencia generada por el grupo turbogenerador se calcula mediante la ecuación (29)

En el mercado actual existen diversos tipos de turbinas entre las más conocidas tenemos las turbinas Pelton, Francis y Kaplan

Existen fórmulas empíricas que relacionan la potencia a instalar con el tipo de máquina y el peso mínimo de la cimentación necesaria para evitar los desplazamientos diferenciales. La cimentación de la casa de máquina se revisa por deslizamiento mas no por volteo, debido a que su peso es de tal magnitud que siempre pasa por el centro de gravedad.

A) Dimensiones de la casa de máquinas

En la Figura 2-19 se indica un corte transversal y una vista en planta, tanto del piso de turbinas como de generadores, para la casa de máquinas planteada en la presente tesis.



Fuente: Adaptado de Gardea (1990).

Figura N° 2-20 *Dimensiones de Casa de Máquinas*

En relación con la Figura 2-20 se presentan algunas fórmulas empíricas de Pavlov para definir las dimensiones principales de la casa de máquinas. Gardea (1990).

$$T_{an} = 2.33D_r \quad (Francis) \tag{70}$$

$$T_{an} = 1.92D_r \quad (Kaplan) \tag{71}$$

$$H_{al} = 0.16{D_r}^2 + 2.8D_r + 4 \tag{72}$$

$$S_l = \propto D_r \qquad 1.8 < \propto < 6 \tag{73}$$

$$B_l = 5 + 4.5D_r \quad (74)$$

$$L_a = (Z + 1)L_g \quad (75)$$

$$L_g = 0.1{D_r}^2 + 2.9D_r + 1.6 \quad (76)$$

Donde:

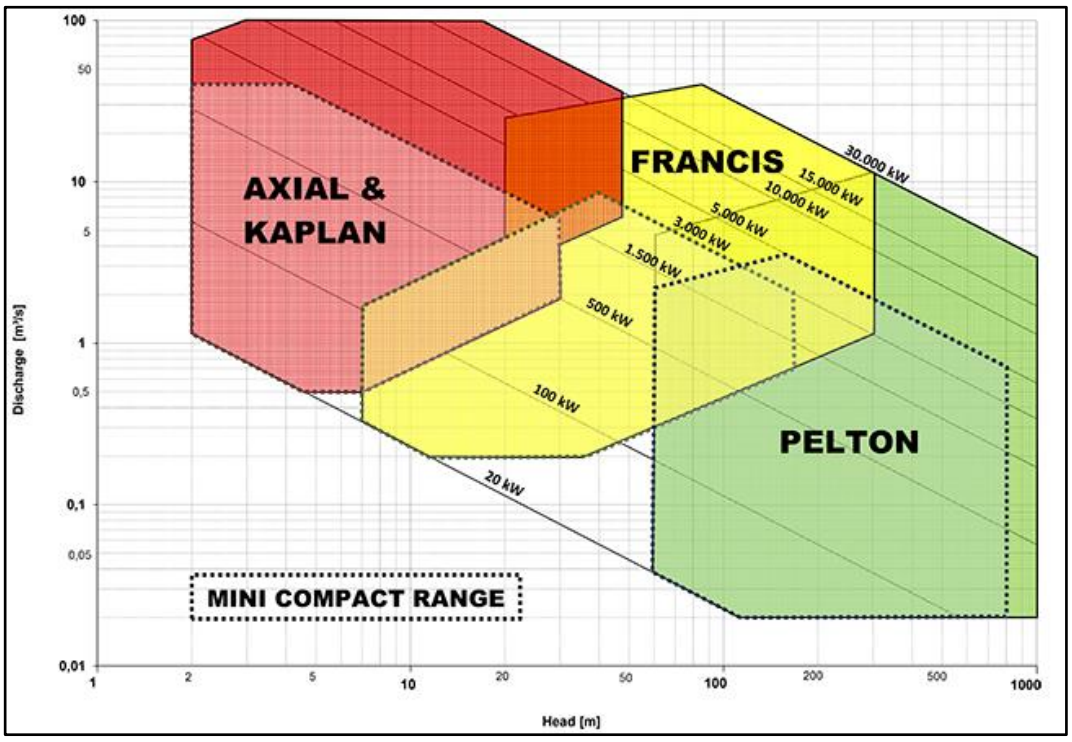
D_r: Diámetro de Rodete (m)

Z_u: Número de unidades

B) Selección de turbina

Una de las maneras para preseleccionar el tipo de turbina a instalar en una pequeña o minicentral hidroeléctrica, es la utilización de ábacos que suelen facilitar los fabricantes de las turbinas.

Con ellos se determina el tipo de turbina a partir de los parámetros de salto neto y caudal como se aprecia en la Figura N° 2-21



Fuente: Andritz (2019). Small and mini hydropower solutions. Recuperado de https://www.andritz.com/products-en/hydro/markets/small-mini-hydropower-plants

Figura N° 2-21 *Abaco de selección del tipo de turbina*

Uno de los principales criterios que se deben tomar en cuenta a la hora de seleccionar el tipo de turbina es la velocidad específica, cuyo valor se obtiene a partir de la ecuación (77)

$$N_S = \frac{N_e\sqrt{P}}{H_n^{5/4}} \qquad (77)$$

Donde:

N_S: Velocidad especifica total (rpm)

N_e: Velocidad de giro del rodete (rpm)

H_n : Altura neta (m)

P: Potencia instalada (CV)

Y se trata de ubicar en el Cuadro N° 2-13 y seleccionar el tipo de turbina

Cuadro N° 2-13 *Tipo de turbina en función de la velocidad específica*

Velocidad Especifica N_s	**Tipo de Turbina**	**Altura del salto H_n (m)**
Hasta 18	Pelton con una tobera	> 800
De 18 a 25	Pelton con una tobera	De 800 a 400
De 26 a 35	Pelton con una tobera	De 400 a 100
De 26 a 35	Pelton con dos toberas	De 800 a 400
De 36 a 50	Pelton con dos toberas	De 400 a 100
De 51 a 72	Pelton con cuatro toberas	De 400 a 100
De 55 a 70	Francis muy lenta	De 400 a 200
De 70 a 120	Francis lenta	De 200 a 100
De 120 a 200	Francis media	De 100 a 50
De 200 a 300	Francis Veloz	De 50 a 25
De 300 a 450	Francis muy veloz	De 25 a 15
De 400 a 500	Hélice velocísima	Hasta 15
De 270 a 500	Kaplan lenta	De 50 a 15
De 500 a 800	Kaplan veloz	De 15 a 5
De 800 a 1100	Kaplan muy veloz	< 5

Fuente: Zoppetti (1965)

Los generadores sincrónicos transforman la energía mecánica producida por las turbinas en energía eléctrica debido al principio de "Inducción Electromagnética" y cumplen con la ecuación (78)

$$N_e = 60\frac{f_r}{P_a} \quad (78)$$

Donde:

N_e: Velocidad de giro del rodete (rpm)

f_r: Frecuencia (Hz)

P_a: Número de polos del generador

Los números de polos del generador es un número entero y se recomienda que sean múltiplo de cuatro, para evitar los efectos que producen las vibraciones excesivas en el conjunto turbogenerador.

En cada casa de máquinas muchas veces existe la necesidad de colocar más de un grupo generador, por razones de flexibilidad en la operación y mantenimiento de la central hidroeléctrica, es así que mediante la ecuación (79) se aproxima el número de unidades generadoras.

$$N_T = \left(\frac{N_s}{N'_s}\right)^2 \quad (79)$$

Donde:

N_T: Número de turbinas a instalar

N_s: Velocidad especifica total (rpm)

N'_s: Velocidad especifica unitaria (rpm)

El valor de N'_s lo podemos aproximar mediante las recomendaciones del USBR (United States Bureau of Reclamation)

$$(Para\ Kaplan) \qquad \frac{2088}{\sqrt{H_n}} < N'_s \leq \frac{2702}{\sqrt{H_n}} \quad (80)$$

$$(Para\ Francis) \qquad \frac{1553}{\sqrt{H_n}} < N'_s \leq \frac{2334}{\sqrt{H_n}} \qquad (81)$$

2.4 GOLPE DE ARIETE Y CAVITACIÓN EN PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

En una pequeña o minicentral hidroeléctrica, la tubería a presión y la turbina hidráulica están expuestas a fenómenos como el golpe de ariete y la cavitación. Estos fenómenos originan sobrepresiones o depresiones excesivas y pueden dañar severamente la tubería y la turbina hidráulica. A continuación, estudiaremos estos fenómenos presentes en el diseño de pequeñas y minicentrales hidroeléctricas.

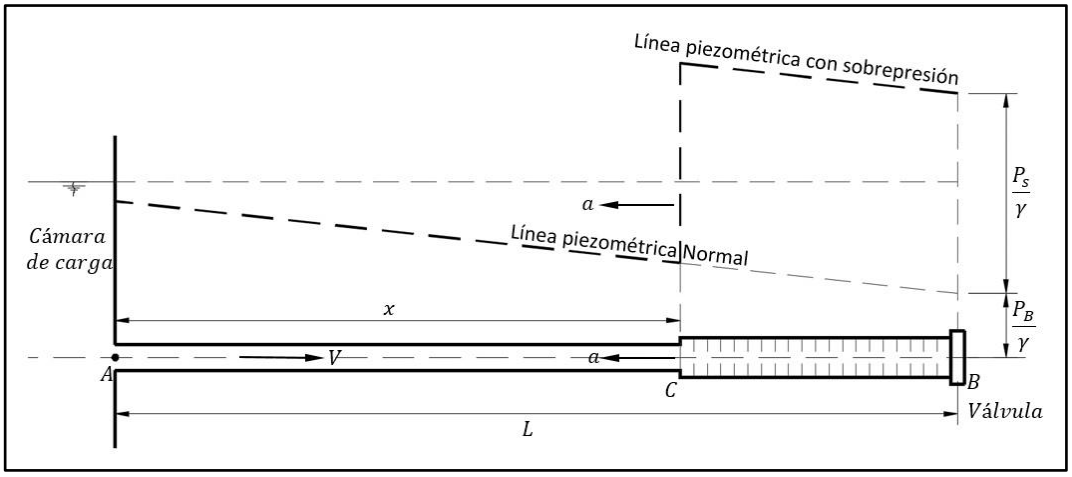
2.4.1 Golpe de ariete

El golpe de ariete corresponde a un incremento repentino de presión en el momento en que se acciona una válvula que está instalada en la tubería a presión, esto se traduce a la aparición de presiones locales distintas a las que había antes de la perturbación.

Al iniciarse la perturbación se crean un tren de ondas que se propagan por toda la tubería alejándose de la válvula hasta alcanzar una masa de líquido suficientemente grande para que se reflejen y vuelva hacia la válvula, combinándose entre sí las ondas de ida y de vuelta hasta desaparecer por completo a causa de la fricción. Este fenómeno debe analizarse cuidadosamente para determinar la magnitud de las sobrepresiones que se generan y diseñar una tubería capaz de resistirlas.

A) Descripción del fenómeno de golpe de ariete

Para describir el fenómeno de golpe de ariete consideraremos los eventos, para un cierre instantáneo que ocurren aguas arriba de una válvula en el punto (B) como se muestra en la Figura N° 2-22. Cabe recalcar que un cierre instantáneo es solo una suposición, ya que el cierre total de una válvula por más rápido que se dé toma un cierto tiempo. Este caso nos servirá como ejemplo didáctico para introducir estudios de ejemplos reales.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-22 *Esquema de sobrepresión en el golpe de ariete*

En la Figura N° 2-21 se observa que cuando se produce el cierre instantáneo de la válvula, la cantidad de movimiento aguas arriba de la válvula debe reducirse a cero muy rápidamente, lo que origina una sobrepresión en la válvula y causa una onda de alta presión que se mueve aguas arriba de la válvula.

Cuando se cierra la válvula instantáneamente, las capas del fluido más próximas a la válvula se van comprimiendo en una columna BC como se muestra en la Figura N° 2-22, llegando al reposo y dilatando la tubería. El fluido que se encuentra aguas arriba sigue moviéndose en dirección a la válvula sin disminuir su velocidad, la sobrepresión viaja aguas arriba en forma de onda frenando el fluido y ensanchando la tubería.

En el momento que la onda llega al extremo de la tubería, punto (A) de la Figura N° 2-22 en $T = L/a$ segundos, la cantidad de movimiento se ha perdido totalmente y se tiene una sobrepresión. En este punto existe un desequilibrio, ya que la presión en la cámara de carga no ha cambiado, el fluido contenido en la tubería empieza a ingresar a la cámara de carga, normalizando la presión en la tubería igual a la que tenía antes del cierre de la válvula.

El proceso de ingreso de fluido a la cámara de carga crea una onda de presión de alivio que viaja en dirección hacia la válvula. En el instante $T = 2\,L/a$ segundos, la válvula se encuentra cerrada y no hay flujo a través de ella, esto desarrolla una sobrepresión negativa que da origen a una onda que viaja hacia aguas arriba de la válvula con una velocidad a, contrayendo la tubería y frenando el fluido.

En el instante en que la onda de presión negativa llega nuevamente al extremo de la tubería, punto A de la Figura N°2-22 en $T = 3\,L/a$ segundos, produce un desequilibrio en la cámara de carga, dando como resultado el movimiento del fluido en dirección hacia la válvula. En el momento en que la onda llega a la válvula en $T = 4\,L/a$, las condiciones de todo el sistema son iguales a las que tenía en el instante del cierre de la válvula.

Este proceso se repite cada $t = 4\,L/a$ segundos, los efectos de fricción, elasticidad, tanto del fluido como de las paredes de la tubería ocasionan que las oscilaciones del fluido se amortigüen dejándolo en estado de reposo permanente.

B) Términos utilizados en el análisis del golpe de ariete

B.1 Celeridad (a)

La celeridad es la velocidad con que se propaga la onda de presión a lo largo de la tubería. En el manual para diseño de tuberías GRP que son usadas en el proyecto Jaguay - Ilo y se establece mediante la ecuación (82), AWWA (2005).

$$a = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\rho}{g}\right)\left(\frac{1}{10^9 E_w} + \frac{D_{int}}{10^9 E_p t_t}\right)}} \qquad (82)$$

Donde:

a: Velocidad de propagación de onda (m/s)

ρ: Densidad del fluido (kg/m³)

E_w: Módulo de elasticidad del agua (N/m²)

E_p: Módulo de elasticidad circunferencial del tubo (N/m²)

D_{int}: Diámetro interno de la tubería (m)

t_t: Espesor total de la pared de la tubería (m)

B.2 Periodo (T)

Es el tiempo en segundos que tarda la onda de presión en ir desde la válvula a la cámara de carga, embalse o pozo de oscilación y reflejarse hasta llegar nuevamente a la válvula. El periodo se calcula mediante la ecuación (83)

$$T = \frac{2L}{a} \quad (83)$$

Donde:

T: Periodo (s)

L: Longitud de tubería (m)

a: Velocidad de propagación de onda (m/s)

B.3 Tiempo de maniobra (T_m)

Es el tiempo en segundos que dura un cierre o una apertura de válvula y puede ser de dos tipos cierre lento y cierre rápido.

– *Cierre lento*

Es la maniobra que dura más de 1 periodo, es decir cuando se cumple la ecuación (84)

$$T_m > T \quad (84)$$

La sobrepresión causada por un cierre lento puede estimarse con la ecuación (85) de Michaud

$$P_s = \frac{2L\Delta v}{gt} \quad (85)$$

Donde:

P_s: Sobrepresión (kPa)

Δv: Cambio de velocidad (m/s)

L: Longitud de la tubería (m)

t: Tiempo de parada o cierre (s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

– *Cierre rápido*

Es la maniobra que dura como máximo 1 periodo, es decir cuando se cumple la expresión (86)

$$0 < T_m < T \quad (86)$$

La sobrepresión causada por un cierre rápido puede estimarse usando la ecuación de Talbot (87)

$$P_s = (a)(SG)(\Delta v) \quad (87)$$

Donde:

P_s: Sobrepresión (kPa)

a: Velocidad de propagación de onda (m/s)

SG: Gravedad específica, para el agua es 1

Δv: Cambio de velocidad (m/s)

B.4 Clase de presión (P_c)

La clase de presión P_c de la tubería debe ser mayor o igual que la suma de presión de trabajo P_w y la sobrepresión P_s dividido entre 1.4, como se muestra en la ecuación (88)

$$P_c \geq \frac{(P_w + P_s)}{1.4} \quad (88)$$

C) Ecuaciones del golpe de ariete

Las ecuaciones diferenciales de golpe de ariete (89) y (90) se basan en dos ecuaciones fundamentales de la mecánica, la ecuación de la segunda ley de Newton y la ecuación de continuidad.

Las variables dependientes en dichas ecuaciones es la presión P y la velocidad media V. Las variables independientes son la distancia x a lo largo de la tubería medida desde el extremo aguas arriba y el tiempo t.

$$\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+f\frac{V|V|}{2D}+g\sin\theta=0 \quad (89)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t}+\rho a^2\frac{\partial V}{\partial x}=0 \quad (90)$$

C.1 Método de solución de las características

Las ecuaciones (89) y (90) se pueden combinar linealmente con un multiplicador λ, como se muestra en la ecuación (91)

$$\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+f\frac{V|V|}{2D}+g\sin\theta+\lambda\left(\frac{\partial P}{\partial t}+\rho a^2\frac{\partial V}{\partial x}\right)=0 \quad (91)$$

La solución de la ecuación (91) está sujeta a las condiciones $\frac{dx}{dt}=\pm a$, la cual nos brindara la ecuación de característica C^+ y la ecuación de característica C^-

$$\frac{dV}{dt}+\frac{1}{\rho a}\frac{dP}{dt}+f\frac{V|V|}{2D}+g\sin\theta=0 \quad para\ \frac{dx}{dt}=a \qquad C^+ \quad (92)$$

$$\frac{dV}{dt}-\frac{1}{\rho a}\frac{dP}{dt}+f\frac{V|V|}{2D}+g\sin\theta=0 \quad para\ \frac{dx}{dt}=-a \qquad C^- \quad (93)$$

La característica positiva se puede expresar como la ecuación (94) y la característica negativa se puede expresar como la ecuación (95)

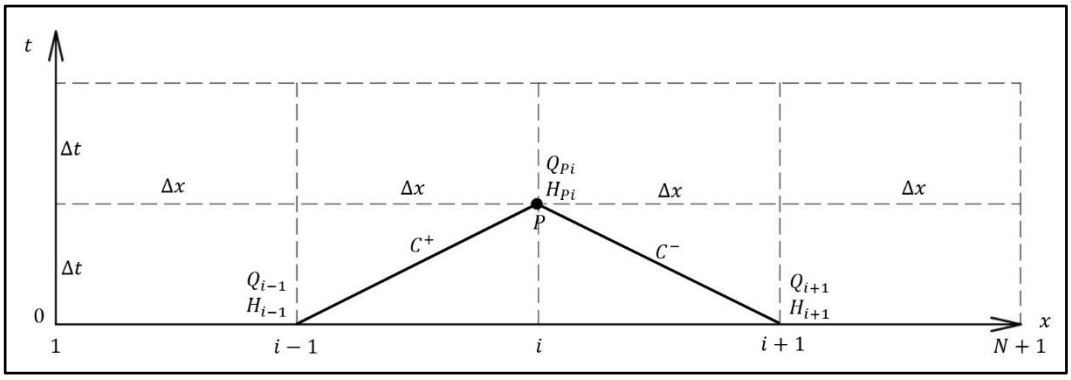
$$H_P=H_A-B(Q_P-Q_A)-RQ_P|Q_A| \qquad para\ C^+ \quad (94)$$

$$H_P=H_B+B(Q_P-Q_B)+RQ_P|Q_B| \qquad para\ C^- \quad (95)$$

$$B=\frac{a}{gA} \quad y \quad R=\frac{f\Delta x}{2gDA^2} \quad (96)$$

Para la solución numérica de las ecuaciones (94) y (95), se divide la tubería de longitud L en N tramos de longitudes iguales a $\Delta x=L/N$, y el tiempo lo dividimos en intervalos iguales a $\Delta t=\Delta x/a$.

Si se desea conocer el valor de las incógnitas H_{Pi} y Q_{Pi} en la Figura N° 2-23, es necesario conocer las condiciones a un tiempo anterior, o sea los valores de Q_{i-1}, H_{i-1} y Q_{i+1}, H_{i+1}



Fuente: Streeter y Wyle (1970)

Figura N° 2-23 *Malla rectangular para la solución de las ecuaciones de características*

La ecuación (94) la podemos simplificar agrupando términos conocidos de la siguiente manera:

$$H_{P_i} = C_P - B_P Q_{P_i} \quad para\ C^+ \tag{97}$$

$$C_P = H_{i-1} + BQ_{i-1} \quad y \quad B_P = B + R|Q_{i-1}| \tag{98}$$

Y la ecuación (95) también se puede simplificar agrupando términos conocidos de la siguiente manera:

$$H_{P_i} = C_M + B_M Q_{P_i} \quad para\ C^- \tag{99}$$

$$C_M = H_{i+1} - BQ_{i+1} \quad y \quad B_M = B + R|Q_{i+1}| \tag{100}$$

Conocido los valores de C_P, B_P, C_M y B_M se da solución a las ecuaciones (97) y (99), las cuales son las ecuaciones (101) y (102)

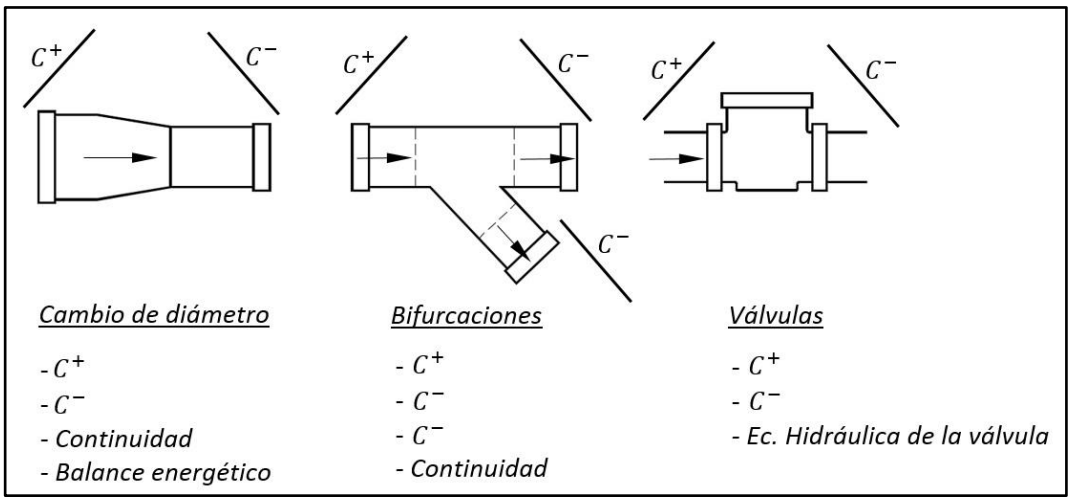
$$Q_{P_i} = \frac{C_P - C_M}{B_P + B_M} \tag{101}$$

$$H_{P_i} = C_P - B_P Q_{P_i} \tag{102}$$

– *Condiciones de frontera*

También llamadas condiciones de borde se refieren a la condición final de cada tubería donde se aplicarán las ecuaciones de las características. Estas

condiciones pueden ser un cambio de diámetro, bifurcaciones de tuberías o válvulas. En la Figura N° 2-24 se observa algunas condiciones de frontera.



Fuente: Vicente (1995)

Figura N° 2-24 *Condiciones de frontera para el método de las características*

2.4.2 Cavitación

La cavitación es un fenómeno físico, en el cual un fluido pasa de estado líquido a estado gaseoso y luego de estado gaseoso a estado líquido en un instante. Esta conversión de estados se debe a la disminución de la presión del fluido a un nivel por debajo de su presión de saturación de vapor. En el Cuadro N° 2-14 se muestra los valores de presión de saturación del agua a diversas temperaturas.

Cuadro N° 2-14 *Presión de saturación p_s del vapor de agua a diversas temperaturas t_s*

t_s (°C)	p_s (bar)	t_s (°C)	p_s (bar)	t_s (°C)	p_s (bar)	t_s (°C)	p_s (bar)
1	0.00657	26	0.03360	51	0.12961	76	0.40190
2	0.00706	27	0.03564	52	0.13613	77	0.41890
3	0.00758	28	0.03778	53	0.14293	78	0.43650
4	0.00813	29	0.04004	54	0.15002	79	0.45470
5	0.00872	30	0.04241	55	0.15741	80	0.47360
6	0.00935	31	0.04491	56	0.16511	81	0.47360
7	0.01001	32	0.04753	57	0.17313	82	0.49310
8	0.01072	33	0.05029	58	0.18147	83	0.53420
9	0.01147	34	0.05318	59	0.19016	84	0.55570
10	0.01227	35	0.05622	60	0.19920	85	0.57800
11	0.01312	36	0.05940	61	0.20860	86	0.60110
12	0.01401	37	0.06274	62	0.21840	87	0.62490
13	0.01497	38	0.06624	63	0.22860	88	0.64950
14	0.01597	39	0.06991	64	0.23910	89	0.67490
15	0.01704	40	0.07375	65	0.25010	90	0.70110
16	0.01817	41	0.07777	66	0.26150	91	0.72810
17	0.01936	42	0.08198	67	0.27330	92	0.75610
18	0.02062	43	0.08639	68	0.28560	93	0.78490
19	0.02196	44	0.09100	69	0.29840	94	0.81460
20	0.02337	45	0.09582	70	0.31160	95	0.84530
21	0.02485	46	0.10086	71	0.32530	96	0.87690
22	0.02642	47	0.10612	72	0.33960	97	0.90940
23	0.02808	48	0.11162	73	0.35430	98	0.94300
24	0.02982	49	0.11736	74	0.36960	99	0.97760
25	0.03166	50	0.12335	75	0.38550	100	1.01330

Fuente: Mataix (1986)

Al estar la presión por debajo de su presión de saturación de vapor, el líquido hierve y se evapora originando en su interior cavidades de vapor o burbujas esféricas de vapor que se dirigen a una zona donde la presión es mayor. En dicha zona implotan de manera súbita produciendo un desgaste en la superficie que está en contacto con el fluido.

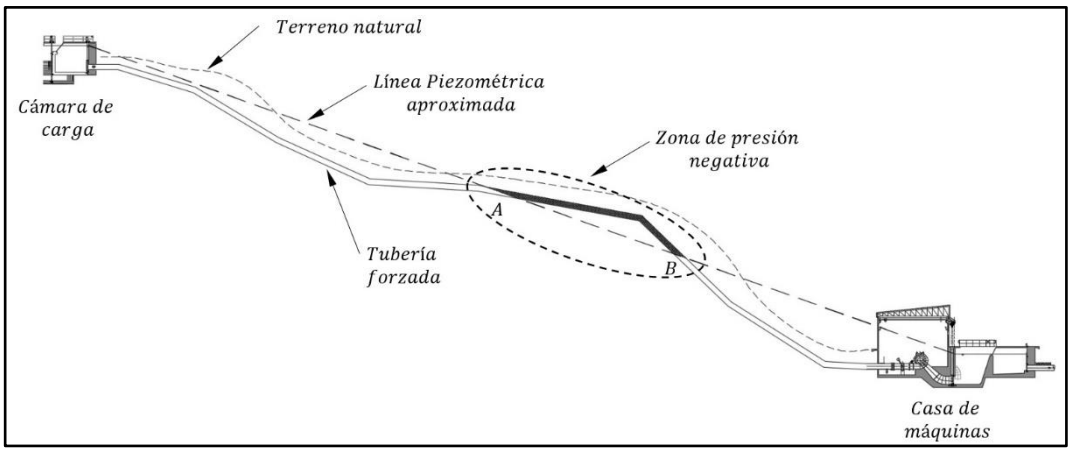
La cavitación es un fenómeno muy frecuente en sistemas hidráulicos donde se dan cambios bruscos de la velocidad, como por ejemplo en álabes de turbinas, rodetes de bombas, hélices de barcos etc.

A) Cavitación en tuberías

La cavitación en tuberías se produce cuando el trazo de la tubería está por encima de la línea piezométrica y se forma presiones negativas.

En la Figura N° 2-25 se observa un esquema de una pequeña o minicentral hidroeléctrica en la cual se ha trazado una línea que une las superficies libres de la cámara de carga y la casa de máquinas. Esta línea seria la línea piezométrica aproximada.

Entre los puntos A y B de la Figura N° 2-25, se observa que la tubería está por encima de la línea piezométrica. En este tramo se produciría presiones negativas y en los puntos A y B, la presión seria cero.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-25 *Esquema de cavitación en tuberías*

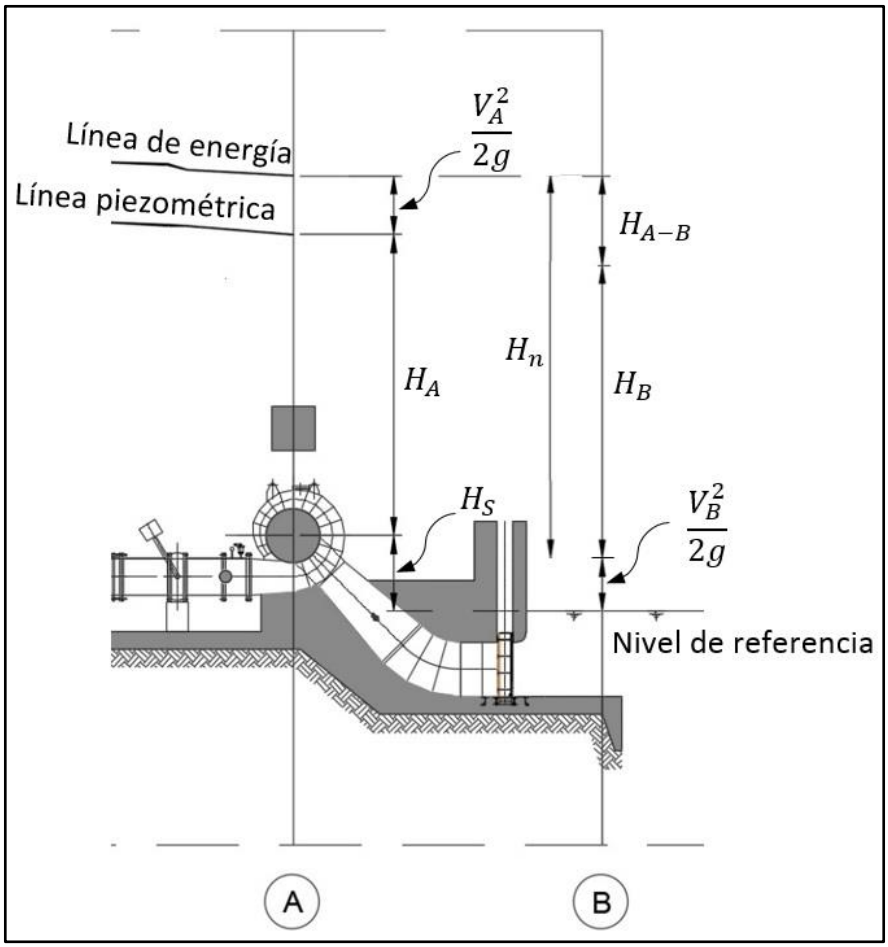
Entre los puntos A y B de la Figura N° 2-25, se libera aire contenida en el agua y si la presión disminuye mucho se produce vapor de agua y burbujas.

En un sistema hidráulico la aparición de vapor de agua y burbujas produce la reducción de la eficiencia del sistema hidráulico y la implosión de las burbujas podría producir una falla estructural en la tubería. La manera de solucionar estos inconvenientes es el uso de válvulas de aire o ventosas.

B) Cavitación en turbinas

Cuando el agua ingresa al rodete de una turbina de reacción a alta velocidad, genera presiones absolutas bajas que producen la ebullición del agua y por ende el fenómeno de cavitación.

Para evitar que se produzca el fenómeno de cavitación en un proyecto hidroeléctrico se debe garantizar que las presiones sean mayores a las presiones de vaporización del agua. En el caso de turbinas de reacción este fenómeno se controla proyectando adecuadamente el desnivel entre el rodete y el desfogue, este desnivel se le conoce como "Altura de Succión".



Fuente: Adaptado de Gardea (1990)

Figura N° 2-26 *Altura de succión H_S en una turbina de reacción*

Aplicamos la ecuación de la energía entre las secciones A y B con el nivel de referencia indicado en la Figura N° 2-26.

$$H_S + H_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{V_B^2}{2g} + H_B + H_{A-B} \quad (103)$$

Donde H_{A-B} es la pérdida de energía desde que el agua entra en contacto con el rodete hasta que sale por el desfogue. Considerando la velocidad en el desfogue $V_B = 0$, despejamos H_A de la ecuación (103).

$$H_A = H_B - H_S - \left(\frac{V_A^2}{2g} - H_{A-B}\right) \quad (104)$$

Para que no haya cavitación el valor de H_A debe ser siempre mayor a la presión de vaporización del agua H_V, como se muestra en la ecuación (105)

$$H_A > H_V \quad (105)$$

Reemplazando la ecuación (104) en la ecuación (105) y despejando el valor de H_S se tiene la condición de la altura de succión H_S para que no haya cavitación como se muestra en la ecuación (106)

$$H_S < H_B - H_V - \left(\frac{V_A^2}{2g} - H_{A-B}\right) \quad (106)$$

El término que se encuentra entre paréntesis en la ecuación (106) fue estudiado por Thoma, el cual lo relaciona con la altura neta H_n, mediante un factor σ que depende exclusivamente de la velocidad específica N_S del rodete. La ecuación (107) muestra el planteamiento de Thoma.

$$\sigma H_n = \left(\frac{V_A^2}{2g} - H_{A-B}\right) \quad (107)$$

El factor σ llamado coeficiente de Thoma, se obtiene en un laboratorio. Kratochvil obtuvo unos valores de σ, los cuales se muestran en el Cuadro N° 2-15

Cuadro N° 2-15 *Valores de σ obtenidos por Kratochvil*

N_S	0	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
σ	0	0.02	0.05	0.11	0.21	0.35	0.53	0.75	1.15	1.6	2	2.3

Fuente: Gardea (1990)

Sin embargo, pueden usarse tambien las fórmulas de Schapov

$$para\ 70 < N_s^{'} < 800 \qquad \sigma = \frac{(0.01N_s^{'} - 0.54)^2}{45} + 0.035 \tag{108}$$

En el caso de la altura H_B, si no se dispone de un barómetro para medir la presión atmosférica, se puede aproximar mediante la ecuación (109)

$$H_B = 10.33 - \frac{h_{snm}}{869.57} \tag{109}$$

Donde h_{snm} es la altura sobre el nivel del mar del nivel de referencia de la Figura N° 2-8

CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DE UBICACIÓN DE LAS PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROÉLECTRICAS

El proyecto "Ampliación de la Frontera Agrícola de las Lomas Moquegua - Ilo", considera un caudal de 1.5 m³/s distribuidos en 2 líneas de conducción por tuberías paralelas entre sí.

Actualmente se viene terminando la construcción de la línea de conducción 1. La línea 2 se construirá cuando se termine el proyecto de regulación y bombeo Chilota - Chincune, garantizando así el caudal de 1.5 m³/s que se especifica en el proyecto mencionado. En esta etapa entrarán a funcionar las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas planteadas.

Para la presente tesis se ha planteado 2 alternativas de configuración de pequeñas y minicentrales hidroeléctricas, basándose en la ubicación de las cámaras rompe presión que se muestra en la Figura N° 1-9.

La ubicación de las cámaras rompe presión se muestra en el cuadro N° 3-1

Cuadro N° 3-1 *Ubicación cámaras rompe presión en la línea de conducción*

Descripción	Línea de conducción 1 Progresiva (km)	Línea de conducción 2 Progresiva (km)
Cámara rompe presión	24+400	24+410
Cámara rompe presión	49+480	49+490
Cámara rompe presión	63+258.70	63+268.70

Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

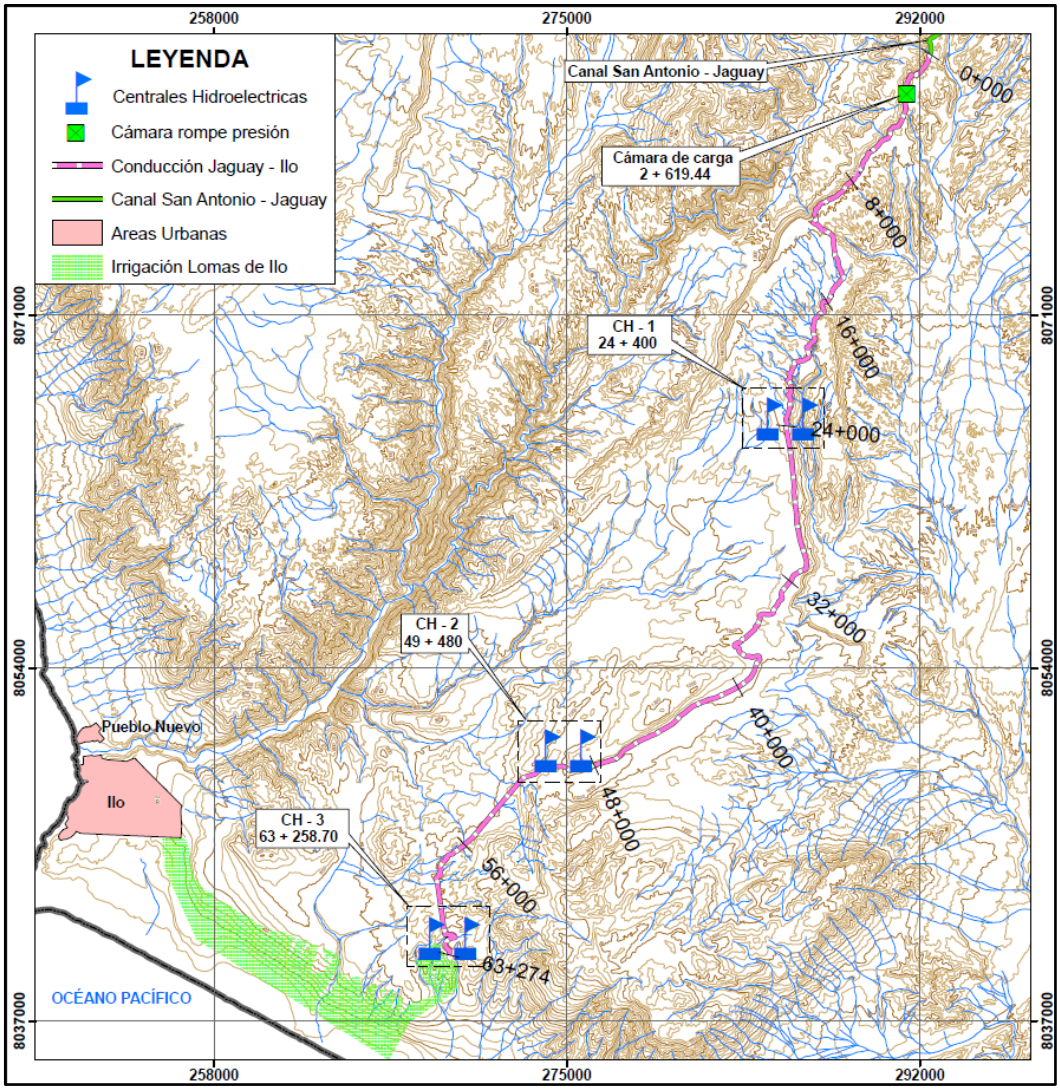
3.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Las 2 alternativas de pequeñas y minicentrales hidroeléctricas descritas en esta tesis, parten de una cámara de carga planteada en la progresiva 2+619.44 km con una cota aproximada de 1484.99 msnm. En la alternativa 1 se plantea 3 centrales hidroeléctricas con 2 turbinas por cada casa de máquinas y en la alternativa 2 se plantea 3 centrales hidroeléctricas con 1 turbina por cada casa de máquinas.

El planteamiento de cada alternativa se muestra en los Anexos B2 y B3

3.1.1 Alternativa 1

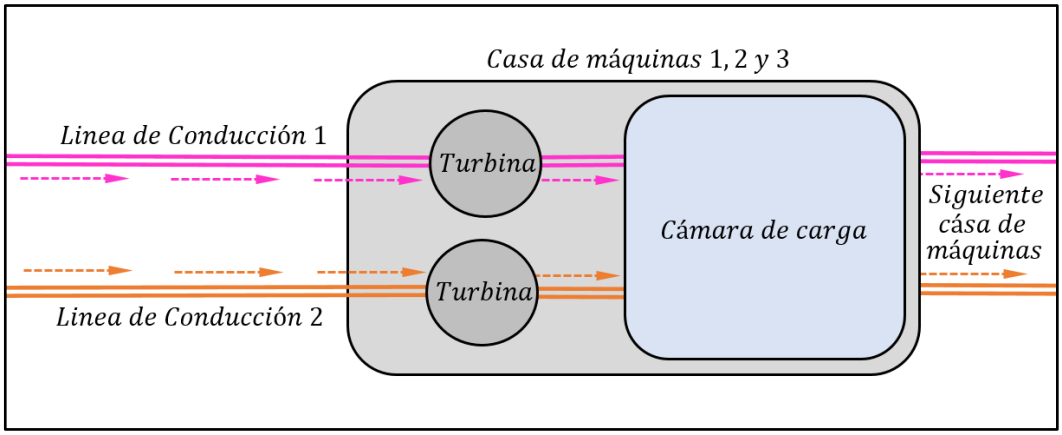
Esta alternativa corresponde a un aprovechamiento hidroeléctrico conformado por 3 pequeñas o minicentrales hidroeléctricas denominadas de la siguiente manera: CH-1, CH-2 y CH-3. Dichas centrales se ubican en las mismas progresivas de las cámaras rompe presión que se muestra en el Cuadro N° 3-1.



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 3-1 *Esquema de ubicación de centrales - Alternativa 1*

Esta alternativa trabaja las tuberías de manera independiente llegando a una turbina cada una. El equipamiento electromecánico para cada casa de máquinas corresponde a turbinas Francis y Pelton, cuyas potencias se muestran en el Cuadro N° 3-1, y en la Figura N° 3-2 se muestra un esquema de las casas de máquinas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-2 *Esquema de casas de máquinas - Alternativa 1*

A continuación, se muestra las características técnicas de la alternativa 1 en el Cuadro N° 3-2. Los cálculos de la línea piezométrica se muestran en el Anexo A1 y A2

Cuadro N° 3-2 *Características técnicas de la alternativa 1*

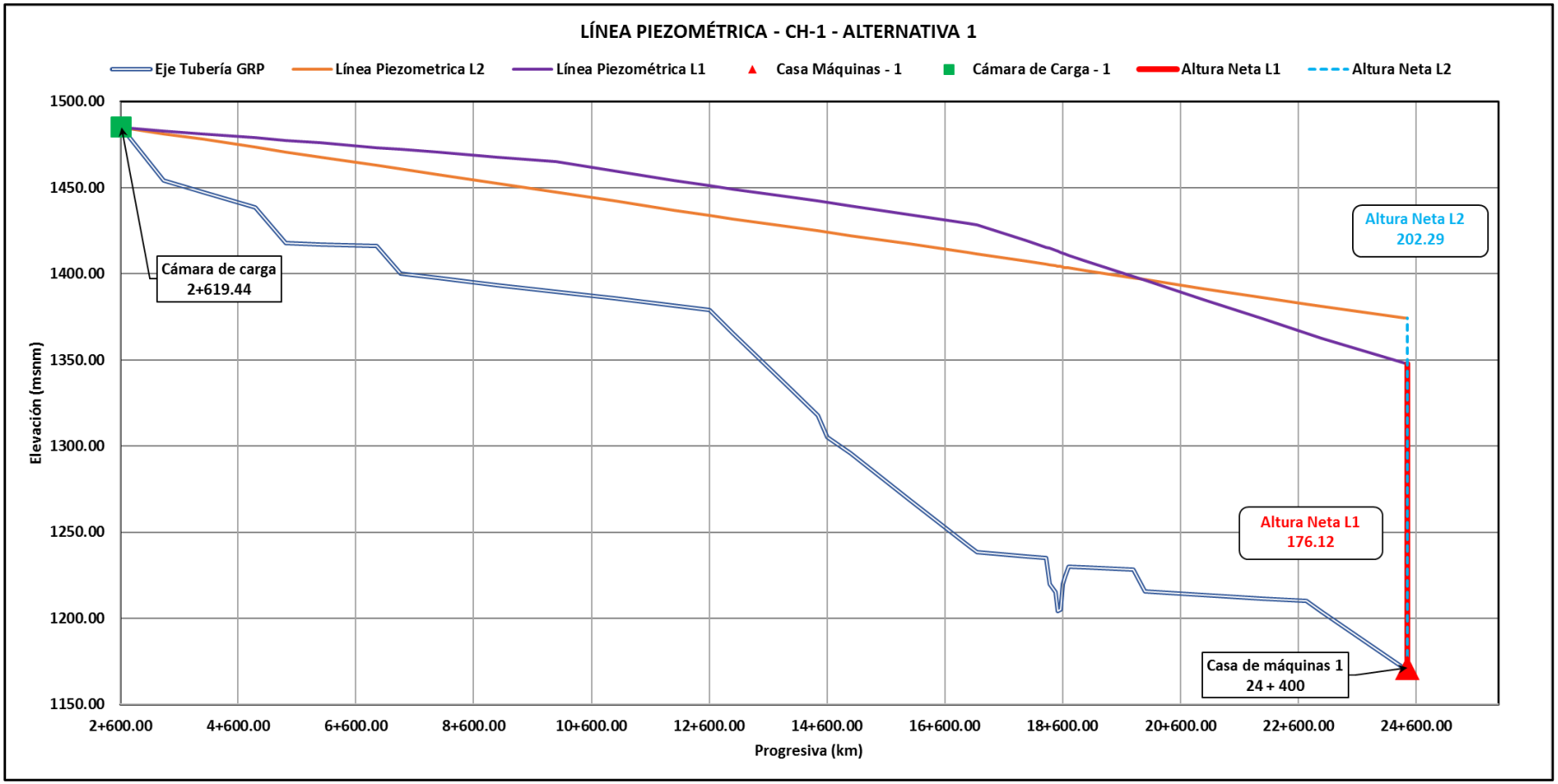
CARACTERISTICAS	CH - 1		CH - 2		CH - 3	
	Linea 1	Linea 2	Linea 1	Linea 2	Linea 1	Linea 2
Caudal de Diseño (m^3/s)	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6
Cota de Inicio (msnm)	1484.99		1171.41		1016.61	
Cota Fin (msnm)	1171.41		1016.61		772.19	
Diámetro (m)	Ver Cuadro N° 3-3		Ver Cuadro N° 3-4		Ver Cuadro N° 3-5	
Salto bruto (m)	313.58		154.80		244.43	
Perdida de carga (m)	137.46	111.29	129.13	121.72	86.22	69.36
Salto neto (m)	176.12	202.29	25.67	33.08	158.21	175.07
Potencia Instalada (MW)	1.33	1.02	0.19	0.17	1.19	0.88
	2.34		0.36		2.07	
Turbina	Pelton	Pelton	Francis	Francis	Pelton	Pelton

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 3-3 *Valores para el cálculo de altura neta Alternativa 1 - CH - 1*

Progresiva	Elevación (msnm)	LINEA L1		LINEA L2	
		Diámetro (m)	Cota Piezométrica	Diámetro (m)	Cota Piezométrica
2+619.44	1484.99	0.8	1484.99	0.60	1484.99
3+332.97	1454.10	0.8	1483.12	0.60	1481.44
4+000.00	1447.40	0.8	1481.43	0.60	1478.20
4+893.00	1438.50	0.8	1479.01	0.60	1473.65
5+415.80	1417.70	0.8	1477.51	0.60	1470.86
6+000.00	1417.10	0.8	1475.96	0.60	1467.92
6+953.00	1416.10	0.8	1473.41	0.60	1463.10
7+355.80	1400.20	0.8	1472.36	0.60	1461.11
8+000.00	1397.60	0.8	1470.58	0.60	1457.77
9+000.00	1393.60	0.8	1467.84	0.60	1452.62
10+000.00	1389.60	0.7	1465.09	0.60	1447.47
11+000.00	1385.60	0.7	1459.66	0.60	1442.18
12+000.00	1381.60	0.7	1454.38	0.60	1437.00
12+600.00	1378.90	0.7	1451.31	0.60	1433.99
13+000.00	1365.70	0.7	1449.34	0.60	1432.03
14+000.00	1332.70	0.7	1444.47	0.60	1427.20
14+440.00	1317.90	0.7	1442.27	0.60	1425.03
14+600.00	1305.20	0.7	1441.38	0.60	1424.16
15+000.00	1296.00	0.7	1439.35	0.60	1422.16
16+000.00	1269.00	0.7	1434.39	0.60	1417.26
17+000.00	1242.00	0.7	1429.33	0.60	1412.27
17+140.00	1238.40	0.6	1428.64	0.60	1411.59
18+000.00	1235.90	0.6	1419.07	0.60	1407.18
18+320.00	1235.00	0.6	1415.54	0.60	1405.56
18+380.00	1220.00	0.6	1414.77	0.60	1405.21
18+480.00	1215.00	0.6	1413.54	0.60	1404.65
18+520.00	1204.00	0.6	1413.03	0.60	1404.41
18+560.00	1205.00	0.6	1412.57	0.60	1404.20
18+600.00	1220.00	0.6	1412.06	0.60	1403.96
18+640.00	1224.15	0.6	1411.55	0.60	1403.73
18+700.00	1230.00	0.6	1410.83	0.60	1403.40
19+000.00	1229.50	0.6	1407.25	0.60	1401.76
19+800.00	1228.30	0.6	1398.50	0.60	1397.73
20+000.00	1215.40	0.6	1396.15	0.60	1396.65
21+000.00	1213.40	0.6	1384.89	0.60	1391.47
22+000.00	1211.40	0.6	1373.84	0.60	1386.39
22+740.00	1209.90	0.6	1365.45	0.60	1382.53
23+000.00	1203.80	0.6	1362.74	0.60	1381.28
24+400.00	1170.90	0.6	1348.07	0.60	1374.52

Fuente: Elaboración Propia



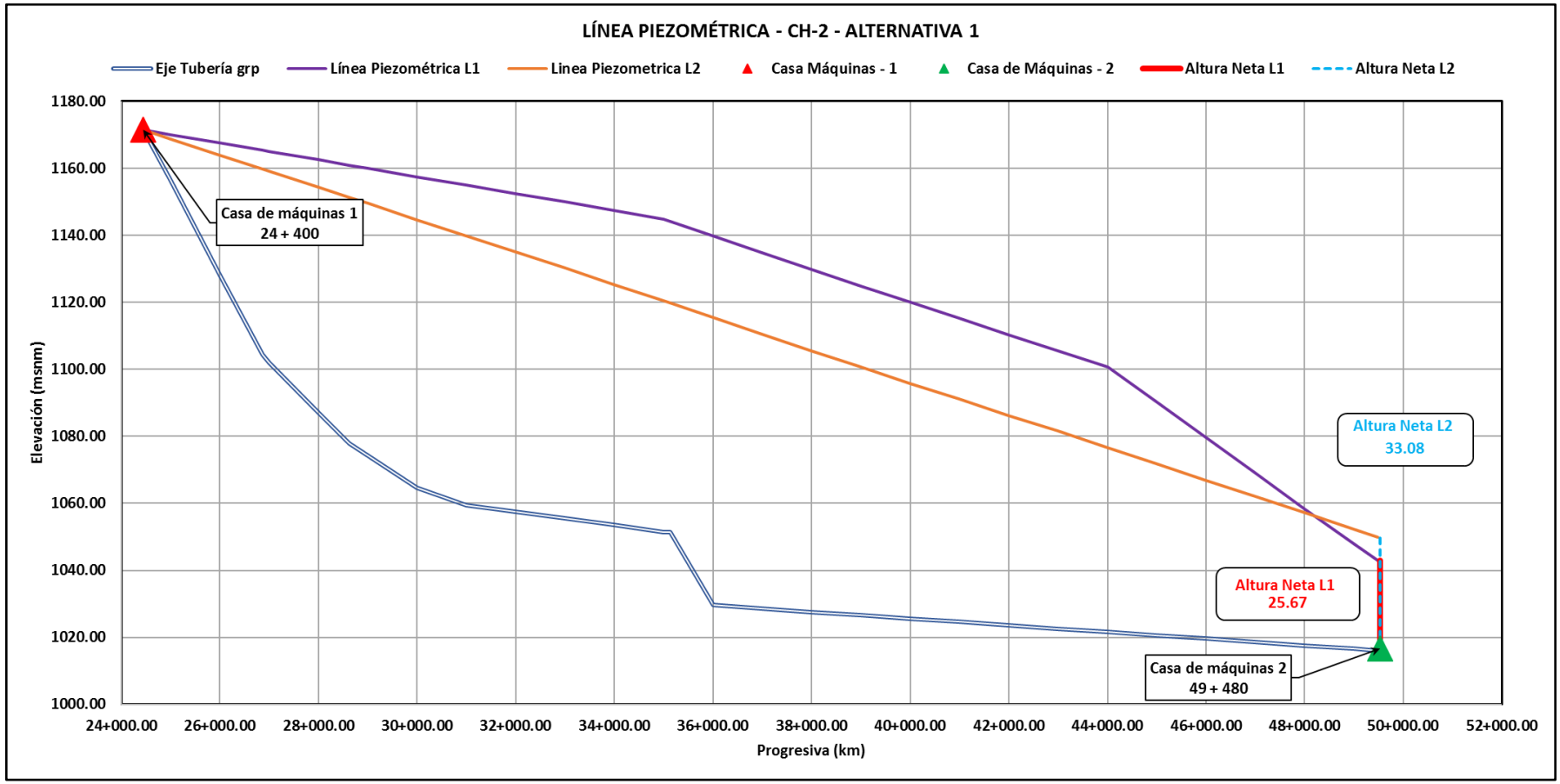
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-3 *Línea piezométrica Alternativa 1 - CH - 1*

Cuadro N° 3-4 *Valores para el cálculo de altura neta Alternativa 1 - CH - 2*

Progresiva	Elevación (msnm)	LINEA L1		LINEA L2	
		Diámetro (m)	Cota Piezométrica	Diámetro (m)	Cota Piezométrica
24+447.34	1171.41	0.8	1171.41	0.60	1171.41
25+000.00	1156.30	0.8	1170.03	0.60	1168.76
26+000.00	1128.30	0.8	1167.53	0.60	1163.95
26+860.00	1104.30	0.8	1165.39	0.60	1159.82
27+000.00	1102.10	0.8	1165.02	0.60	1159.12
28+000.00	1087.10	0.8	1162.52	0.60	1154.31
28+620.00	1077.80	0.8	1160.96	0.60	1151.32
29+000.00	1074.20	0.8	1160.02	0.60	1149.50
30+000.00	1064.70	0.8	1157.50	0.60	1144.67
31+000.00	1059.50	0.8	1155.00	0.60	1139.86
32+000.00	1057.50	0.8	1152.49	0.60	1135.03
33+000.00	1055.50	0.8	1149.99	0.60	1130.22
34+000.00	1053.50	0.8	1147.40	0.60	1125.29
35+000.00	1051.50	0.8	1144.85	0.60	1120.42
35+126.00	1051.30	0.7	1144.18	0.60	1119.75
36+000.00	1029.60	0.7	1139.90	0.60	1115.52
37+000.00	1028.60	0.7	1134.75	0.60	1110.46
38+000.00	1027.60	0.7	1129.77	0.60	1105.53
39+000.00	1026.60	0.7	1124.82	0.60	1100.63
40+000.00	1025.60	0.7	1119.98	0.60	1095.82
41+000.00	1024.60	0.7	1115.19	0.60	1091.06
42+000.00	1023.60	0.7	1110.35	0.60	1086.25
43+000.00	1022.60	0.7	1105.56	0.60	1081.49
44+000.00	1021.60	0.7	1100.70	0.60	1076.65
45+000.00	1020.60	0.6	1090.22	0.60	1071.82
46+000.00	1019.60	0.6	1079.58	0.60	1066.92
47+000.00	1018.60	0.6	1069.00	0.60	1062.04
48+000.00	1017.60	0.6	1058.42	0.60	1057.17
49+000.00	1016.56	0.6	1047.89	0.60	1052.31
49+480.00	1016.10	0.6	1042.83	0.60	1049.98

Furente: Elaboración Propia



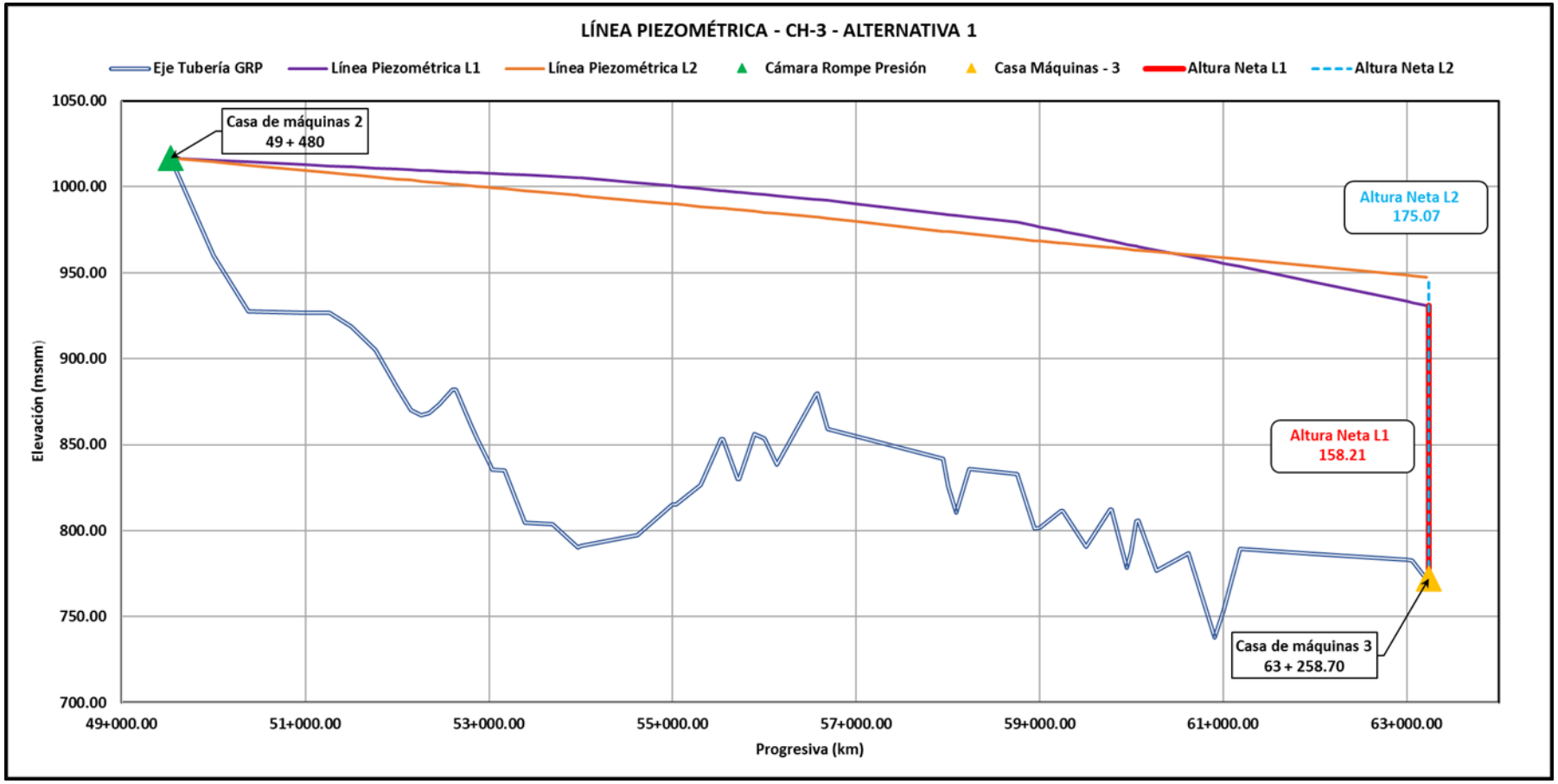
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-4 *Línea Piezométrica Alternativa 1 - CH - 2*

Cuadro N° 3-5 *Valores para el cálculo de altura neta Alternativa 1 - CH - 3*

Progresiva	Elevación (msnm)	LINEA L1		LINEA L2	
		Diámetro (m)	Cota Piezométrica	Diámetro (m)	Cota Piezométrica
49+527.34	1016.61	0.8	1016.61	0.60	1016.61
50+000.00	959.92	0.8	1015.41	0.60	1014.75
50+380.00	927.50	0.8	1014.47	0.60	1012.50
51+000.00	926.80	0.8	1012.90	0.60	1009.49
51+260.00	926.60	0.8	1012.21	0.60	1008.20
51+500.00	918.50	0.8	1011.61	0.60	1007.04
51+520.00	917.90	0.8	1011.55	0.60	1006.92
51+760.00	905.00	0.8	1010.93	0.60	1005.75
52+000.00	883.40	0.8	1010.33	0.60	1004.59
52+150.00	869.90	0.8	1009.95	0.60	1003.86
52+260.00	867.20	0.8	1009.67	0.60	1003.32
52+350.00	868.40	0.8	1009.43	0.60	1002.88
52+460.00	873.40	0.8	1009.15	0.60	1002.33
52+600.00	882.10	0.8	1008.79	0.60	1001.65
52+640.00	882.10	0.8	1008.67	0.60	1001.44
52+800.00	861.90	0.8	1008.27	0.60	1000.66
52+866.00	853.50	0.8	1008.09	0.60	1000.33
53+000.00	839.30	0.8	1007.75	0.60	999.67
53+035.00	835.60	0.8	1007.65	0.60	999.49
53+171.00	834.90	0.8	1007.30	0.60	998.82
53+391.00	804.60	0.8	1006.75	0.60	997.76
53+692.00	804.00	0.8	1006.00	0.60	996.32
53+972.00	790.50	0.8	1005.30	0.60	994.98
54+000.00	791.10	0.8	1005.22	0.60	994.82
54+614.00	797.30	0.7	1002.28	0.60	991.91
55+000.00	815.00	0.7	1000.43	0.60	990.07
55+033.00	815.20	0.7	1000.25	0.60	989.89
55+309.00	826.60	0.7	998.91	0.60	988.56
55+524.00	853.40	0.7	997.84	0.60	987.51
55+550.00	853.41	0.7	997.69	0.60	987.36
55+709.00	829.80	0.7	996.91	0.60	986.59
55+727.00	829.80	0.7	996.80	0.60	986.48
55+889.00	856.20	0.7	996.00	0.60	985.69
56+000.00	853.80	0.7	995.39	0.60	985.10
56+137.50	838.40	0.7	994.72	0.60	984.41
56+560.00	879.50	0.7	992.69	0.60	982.39
56+583.00	879.70	0.7	992.55	0.60	982.26
56+689.00	859.30	0.7	992.00	0.60	981.72
57+000.00	854.90	0.7	990.16	0.60	979.95
57+949.00	841.70	0.7	984.06	0.60	974.15
58+000.00	825.90	0.7	983.73	0.60	973.84
58+089.00	810.70	0.7	983.26	0.60	973.38
58+232.00	836.07	0.7	982.50	0.60	972.64
58+754.00	832.90	0.7	979.33	0.60	969.60
58+944.00	801.20	0.6	977.23	0.60	968.64
59+000.00	801.50	0.6	976.61	0.60	968.35
59+229.00	811.40	0.6	974.22	0.60	967.25
59+249.50	811.20	0.6	973.96	0.60	967.13
59+505.00	790.90	0.6	971.29	0.60	965.90
59+767.00	812.40	0.6	968.56	0.60	964.65
59+784.00	812.20	0.6	968.34	0.60	964.54
59+950.00	778.60	0.6	966.59	0.60	963.74
60+000.00	787.90	0.6	966.03	0.60	963.48
60+051.00	805.60	0.6	965.46	0.60	963.22
60+075.00	805.90	0.6	965.16	0.60	963.08
60+270.50	776.90	0.6	963.11	0.60	962.14
60+620.00	786.90	0.6	959.48	0.60	960.47
60+909.00	738.00	0.6	956.48	0.60	959.08
61+000.00	753.00	0.6	955.50	0.60	958.63
61+180.00	789.30	0.6	953.61	0.60	957.76
62+000.00	786.40	0.6	944.45	0.60	953.55
63+000.00	782.90	0.6	933.51	0.60	948.52
63+060.00	782.70	0.6	932.79	0.60	948.19
63+216.52	771.68	0.6	931.04	0.60	947.38

Fuente: Elaboración Propia

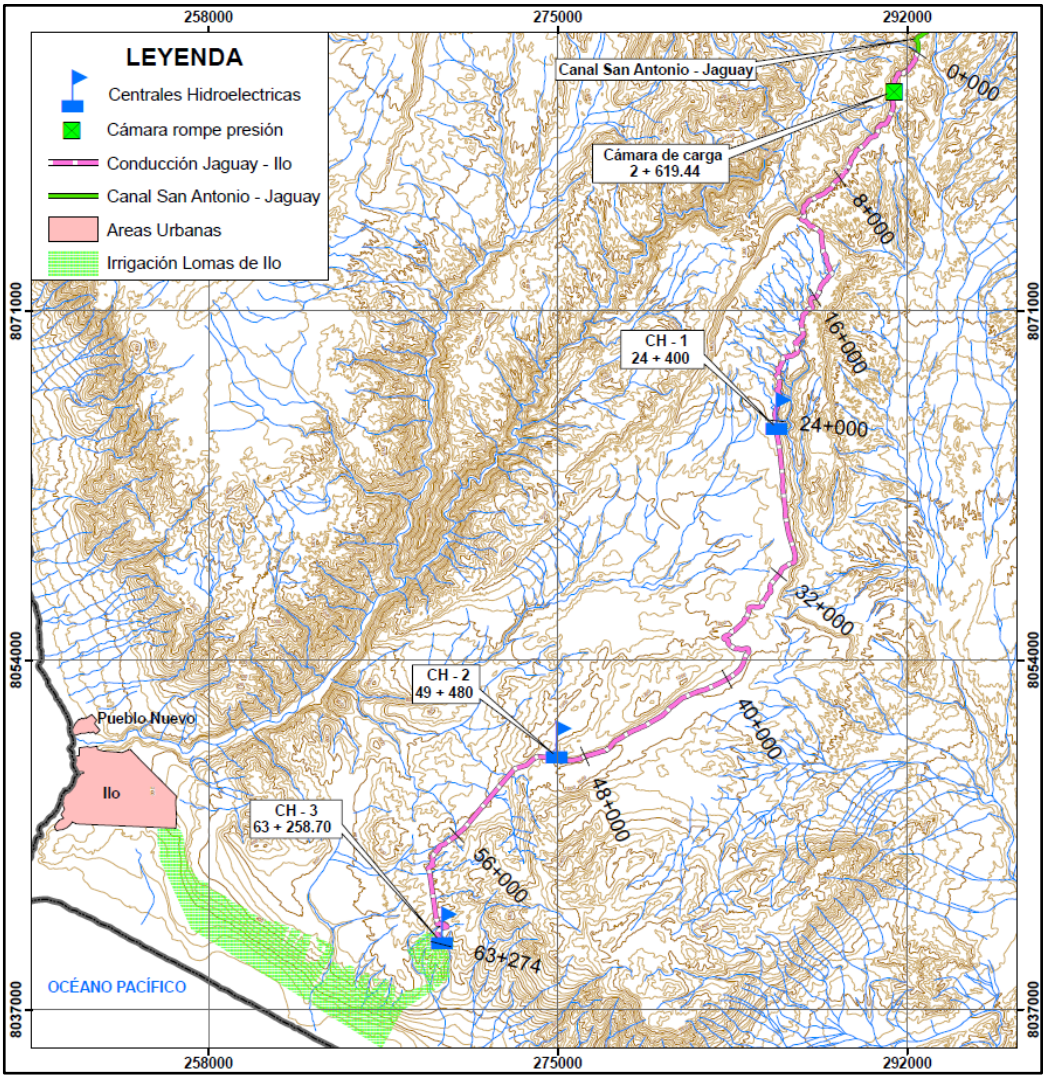


Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-5 *Línea piezométrica Alternativa 1 - CH - 3*

3.1.2 Alternativa 2

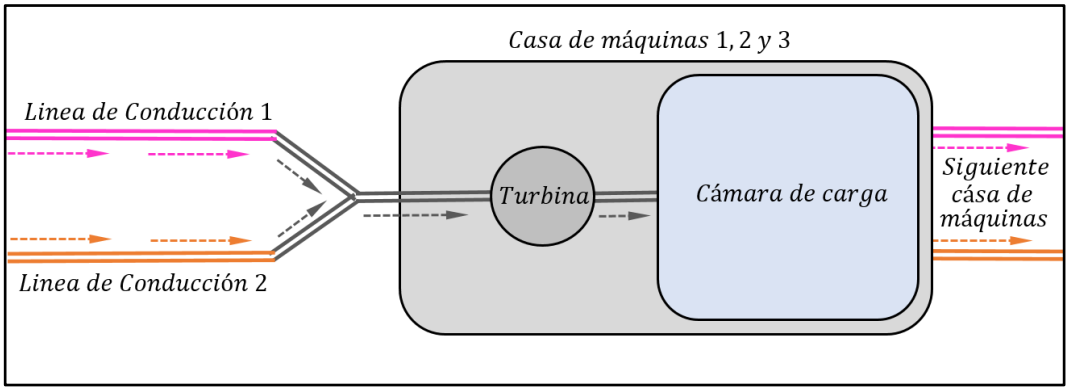
Esta alternativa corresponde a un aprovechamiento hidroeléctrico conformado por 3 pequeñas o minicentrales hidroeléctricas denominadas de la siguiente manera: CH-1, CH-2 y CH-3. Dichas centrales se ubican en las mismas progresivas de las cámaras rompe presión que se muestra en el Cuadro N° 3-1.



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 3-6 *Esquema de ubicación de centrales - Alternativa 3*

El tipo de conducción para esta alternativa es por medio de tubería a presión enterrada que se unen para llegar a una sola turbina en cada casa de máquinas. El equipamiento electromecánico para cada casa de máquinas corresponde a una turbina Francis cuyas potencias se muestran en el Cuadro N° 3-6, y en la Figura N° 3-7 se muestra un esquema de las casas de máquinas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-7 *Esquema de casas de máquinas - Alternativa 3*

A continuación, se muestra las características técnicas de la alternativa 2 en el Cuadro N° 3-6. Los cálculos de la línea piezométrica se muestran en el Anexo A1 y A2.

Cuadro N° 3-6 *Características técnicas de la alternativa 2*

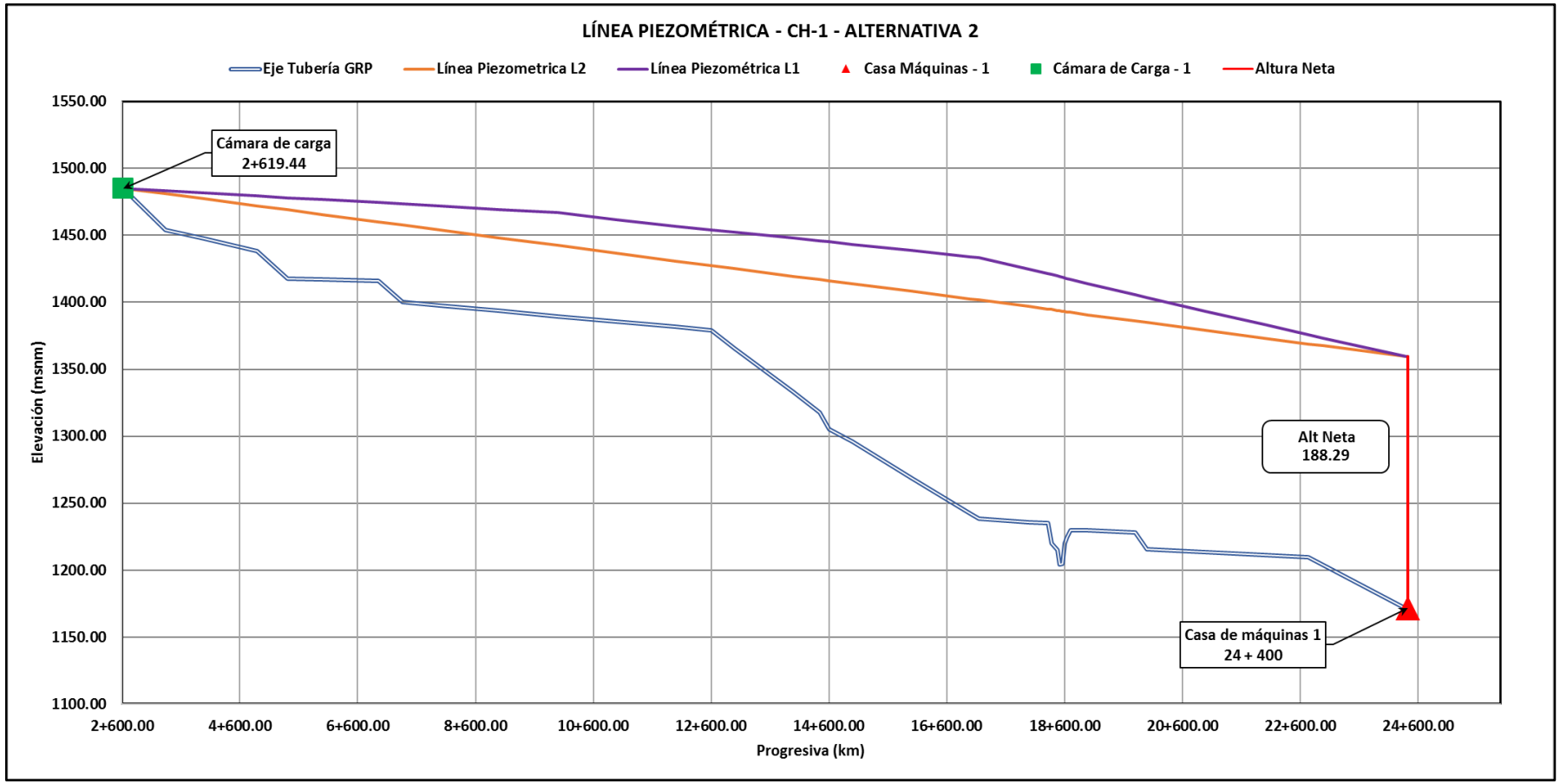
CARACTERISTICAS	CH - 1	CH - 2	CH - 3
Caudal de Diseño (m^3/s)	1.5	1.5	1.5
Cota de Inicio (msnm)	1484.99	1171.41	1016.61
Cota Fin (msnm)	1171.41	1016.61	772.19
Diámetro (m)	Ver Cuadro N° 3-7	Ver Cuadro N° 3-8	Ver Cuadro N° 3-9
Salto bruto (m)	313.58	153.98	244.43
Perdida de carga (m)	125.29	125.87	78.77
Salto neto (m)	188.29	28.11	165.66
Potencia Instalada (MW)	2.37	0.35	2.08
Turbina	Francis	Francis	Francis

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 3-7 *Valores para el cálculo de la altura neta Alternativa 2 - CH - 1*

Progresiva	Elevación (msnm)	LINEA L1		LINEA L2	
		Diámetro (m)	Cota Piezométrica	Diámetro (m)	Cota Piezométrica
2+619.44	1484.99	0.8	1484.99	0.60	1484.99
3+332.97	1454.10	0.8	1483.28	0.60	1480.97
4+000.00	1447.40	0.8	1481.73	0.60	1477.30
4+893.00	1438.50	0.8	1479.52	0.60	1472.13
5+415.80	1417.70	0.8	1478.14	0.60	1468.97
6+000.00	1417.10	0.8	1476.72	0.60	1465.64
6+953.00	1416.10	0.8	1474.39	0.60	1460.18
7+355.80	1400.20	0.8	1473.43	0.60	1457.92
8+000.00	1397.60	0.8	1471.80	0.60	1454.14
9+000.00	1393.60	0.8	1469.29	0.60	1448.30
10+000.00	1389.60	0.7	1466.77	0.60	1442.46
11+000.00	1385.60	0.7	1461.81	0.60	1436.46
12+000.00	1381.60	0.7	1456.97	0.60	1430.59
12+600.00	1378.90	0.7	1454.17	0.60	1427.17
13+000.00	1365.70	0.7	1452.36	0.60	1424.96
14+000.00	1332.70	0.7	1447.90	0.60	1419.48
14+440.00	1317.90	0.7	1445.89	0.60	1417.03
14+600.00	1305.20	0.7	1445.07	0.60	1416.04
15+000.00	1296.00	0.7	1443.21	0.60	1413.77
16+000.00	1269.00	0.7	1438.68	0.60	1408.22
17+000.00	1242.00	0.7	1434.04	0.60	1402.56
17+140.00	1238.40	0.6	1433.41	0.60	1401.78
18+000.00	1235.90	0.6	1424.66	0.60	1396.79
18+320.00	1235.00	0.6	1421.43	0.60	1394.95
18+380.00	1220.00	0.6	1420.73	0.60	1394.55
18+480.00	1215.00	0.6	1419.61	0.60	1393.92
18+520.00	1204.00	0.6	1419.14	0.60	1393.65
18+560.00	1205.00	0.6	1418.72	0.60	1393.41
18+600.00	1220.00	0.6	1418.25	0.60	1393.14
18+640.00	1224.15	0.6	1417.78	0.60	1392.88
18+700.00	1230.00	0.6	1417.13	0.60	1392.50
19+000.00	1229.50	0.6	1413.85	0.60	1390.64
19+800.00	1228.30	0.6	1405.85	0.60	1386.08
20+000.00	1215.40	0.6	1403.70	0.60	1384.85
21+000.00	1213.40	0.6	1393.40	0.60	1378.98
22+000.00	1211.40	0.6	1383.30	0.60	1373.22
22+740.00	1209.90	0.6	1375.62	0.60	1368.84
23+000.00	1203.80	0.6	1373.15	0.60	1367.43
24+400.00	1170.90	0.6	1359.76	0.60	1359.76

Fuente: Elaboración Propia



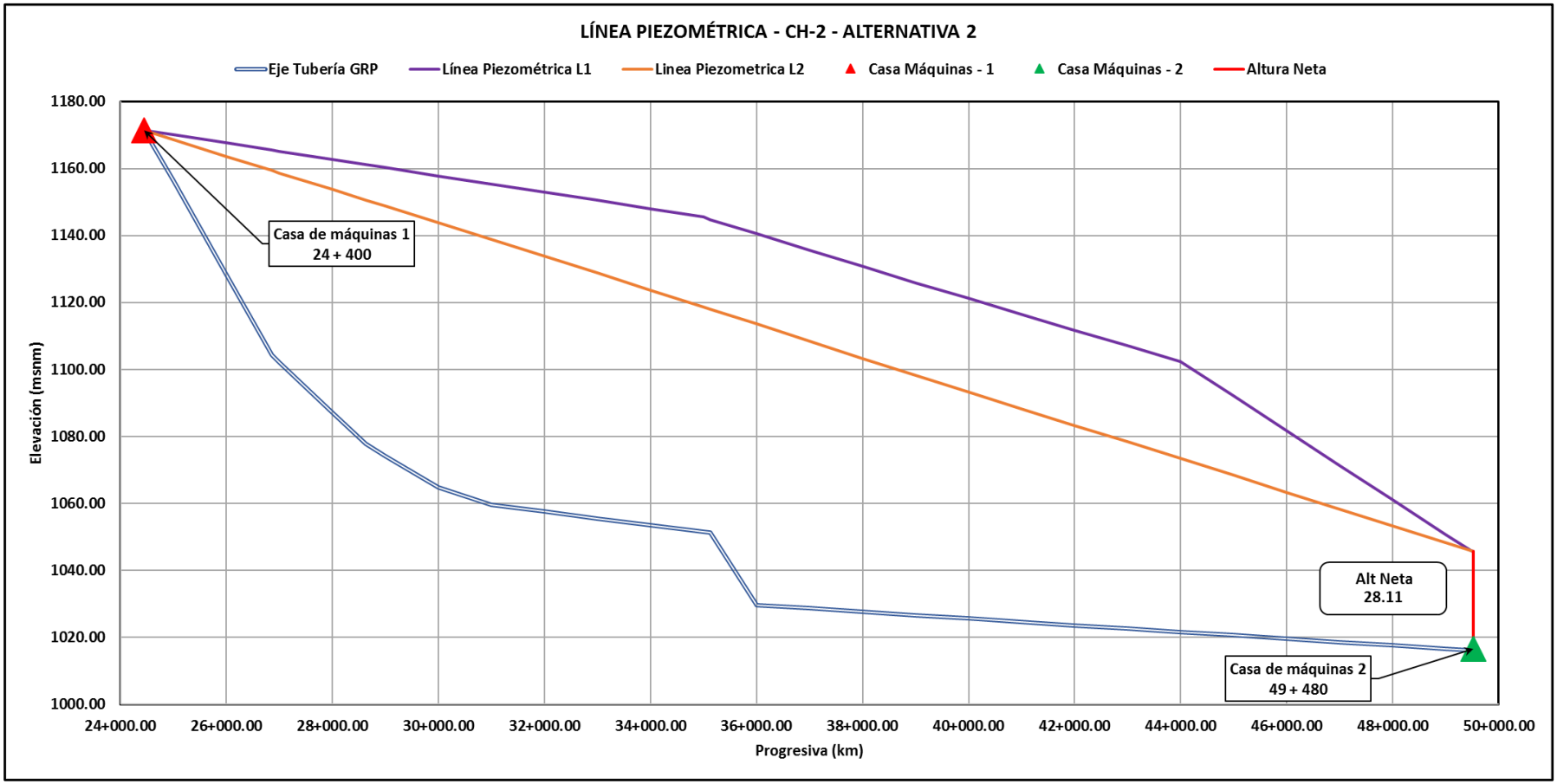
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-8 *Línea piezométrica Alternativa 2 - CH - 1*

Cuadro N° 3-8 *Valores para el cálculo de la altura neta Alternativa 2 - CH - 2*

Progresiva	Elevación (msnm)	LINEA L1		LINEA L2	
		Diámetro (m)	Cota Piezométrica	Diámetro (m)	Cota Piezométrica
24+447.34	1171.41	0.8	1171.41	0.60	1171.41
25+000.00	1156.30	0.8	1170.06	0.60	1168.67
26+000.00	1128.30	0.8	1167.62	0.60	1163.69
26+860.00	1104.30	0.8	1165.53	0.60	1159.42
27+000.00	1102.10	0.8	1165.16	0.60	1158.69
28+000.00	1087.10	0.8	1162.72	0.60	1153.72
28+620.00	1077.80	0.8	1161.19	0.60	1150.62
29+000.00	1074.20	0.8	1160.27	0.60	1148.74
30+000.00	1064.70	0.8	1157.82	0.60	1143.74
31+000.00	1059.50	0.8	1155.37	0.60	1138.77
32+000.00	1057.50	0.8	1152.91	0.60	1133.77
33+000.00	1055.50	0.8	1150.47	0.60	1128.80
34+000.00	1053.50	0.8	1147.95	0.60	1123.70
35+000.00	1051.50	0.8	1145.45	0.60	1118.66
35+126.00	1051.30	0.7	1144.79	0.60	1117.97
36+000.00	1029.60	0.7	1140.61	0.60	1113.59
37+000.00	1028.60	0.7	1135.58	0.60	1108.35
38+000.00	1027.60	0.7	1130.71	0.60	1103.26
39+000.00	1026.60	0.7	1125.87	0.60	1098.19
40+000.00	1025.60	0.7	1121.14	0.60	1093.21
41+000.00	1024.60	0.7	1116.46	0.60	1088.28
42+000.00	1023.60	0.7	1111.73	0.60	1083.31
43+000.00	1022.60	0.7	1107.05	0.60	1078.38
44+000.00	1021.60	0.7	1102.29	0.60	1073.38
45+000.00	1020.60	0.6	1092.05	0.60	1068.38
46+000.00	1019.60	0.6	1081.66	0.60	1063.31
47+000.00	1018.60	0.6	1071.32	0.60	1058.27
48+000.00	1017.60	0.6	1060.98	0.60	1053.22
49+000.00	1016.56	0.6	1050.69	0.60	1048.20
49+480.00	1016.10	0.6	1045.78	0.60	1045.78

Fuente: Elaboración Propia



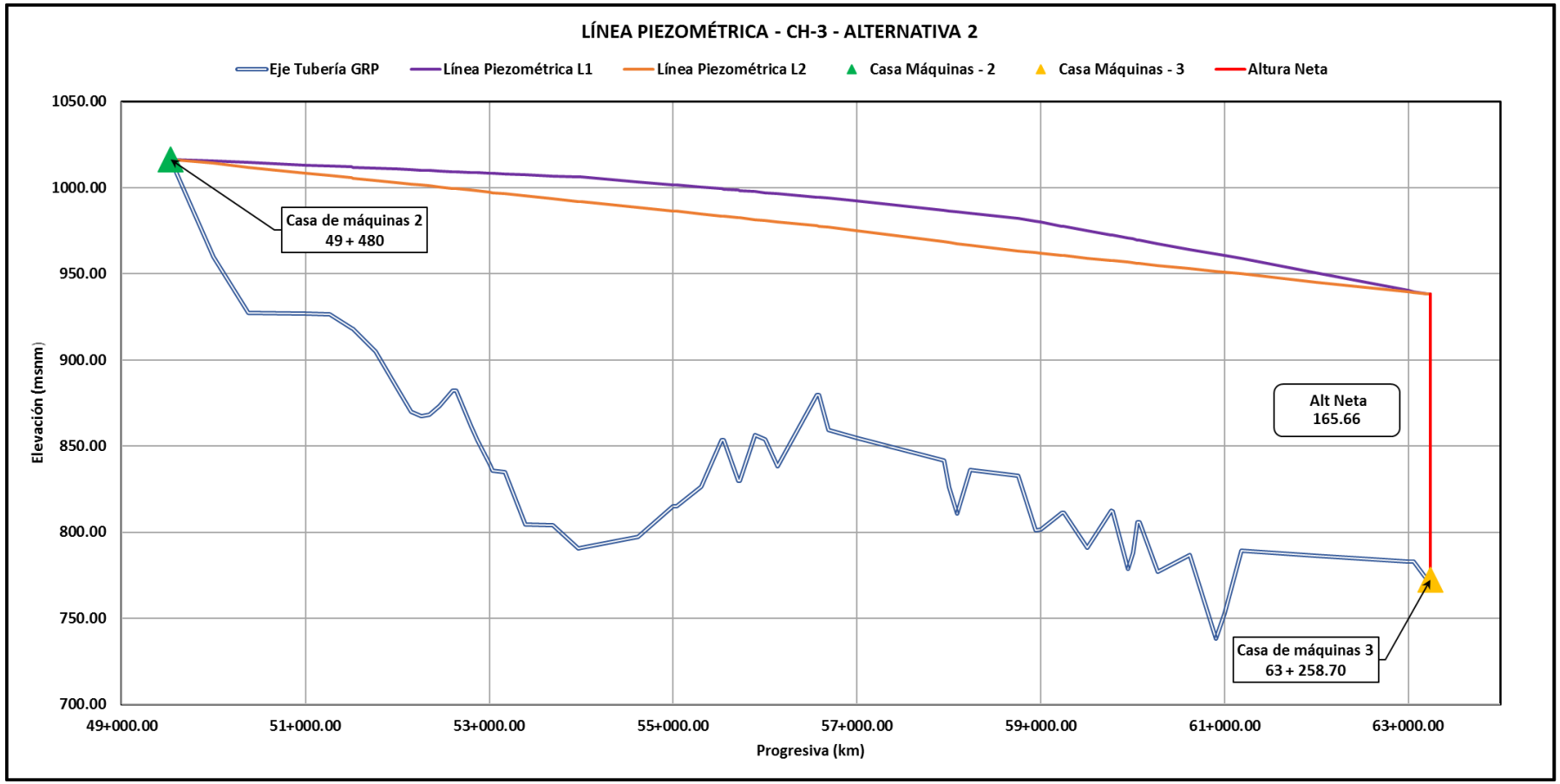
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-9 *Línea piezométrica Alternativa 2 - CH - 2*

Cuadro N° 3-9 *Valores para el cálculo de la altura neta Alternativa 2 – CH - 3*

Progresiva	Elevación (msnm)	LINEA L1		LINEA L2	
		Diámetro (m)	Cota Piezométrica	Diámetro (m)	Cota Piezométrica
49+527.34	1016.61	0.8	1016.61	0.60	1016.61
50+000.00	959.92	0.8	1015.51	0.60	1014.51
50+380.00	927.50	0.8	1014.65	0.60	1011.96
51+000.00	926.80	0.8	1013.20	0.60	1008.55
51+260.00	926.60	0.8	1012.58	0.60	1007.08
51+500.00	918.50	0.8	1012.03	0.60	1005.77
51+520.00	917.90	0.8	1011.97	0.60	1005.64
51+760.00	905.00	0.8	1011.40	0.60	1004.31
52+000.00	883.40	0.8	1010.85	0.60	1003.00
52+150.00	869.90	0.8	1010.50	0.60	1002.18
52+260.00	867.20	0.8	1010.24	0.60	1001.56
52+350.00	868.40	0.8	1010.02	0.60	1001.06
52+460.00	873.40	0.8	1009.76	0.60	1000.44
52+600.00	882.10	0.8	1009.43	0.60	999.67
52+640.00	882.10	0.8	1009.33	0.60	999.43
52+800.00	861.90	0.8	1008.96	0.60	998.55
52+866.00	853.50	0.8	1008.79	0.60	998.17
53+000.00	839.30	0.8	1008.48	0.60	997.43
53+035.00	835.60	0.8	1008.39	0.60	997.22
53+171.00	834.90	0.8	1008.07	0.60	996.47
53+391.00	804.60	0.8	1007.56	0.60	995.27
53+692.00	804.00	0.8	1006.87	0.60	993.63
53+972.00	790.50	0.8	1006.23	0.60	992.11
54+000.00	791.10	0.8	1006.16	0.60	991.94
54+614.00	797.30	0.7	1003.47	0.60	988.64
55+000.00	815.00	0.7	1001.77	0.60	986.55
55+033.00	815.20	0.7	1001.60	0.60	986.35
55+309.00	826.60	0.7	1000.37	0.60	984.85
55+524.00	853.40	0.7	999.39	0.60	983.65
55+550.00	853.41	0.7	999.25	0.60	983.49
55+709.00	829.80	0.7	998.54	0.60	982.61
55+727.00	829.80	0.7	998.43	0.60	982.49
55+889.00	856.20	0.7	997.70	0.60	981.60
56+000.00	853.80	0.7	997.15	0.60	980.93
56+137.50	838.40	0.7	996.52	0.60	980.14
56+560.00	879.50	0.7	994.67	0.60	977.86
56+583.00	879.70	0.7	994.54	0.60	977.71
56+689.00	859.30	0.7	994.03	0.60	977.10
57+000.00	854.90	0.7	992.35	0.60	975.10
57+949.00	841.70	0.7	986.76	0.60	968.52
58+000.00	825.90	0.7	986.46	0.60	968.17
58+089.00	810.70	0.7	986.02	0.60	967.64
58+232.00	836.07	0.7	985.32	0.60	966.80
58+754.00	832.90	0.7	982.42	0.60	963.36
58+944.00	801.20	0.6	980.50	0.60	962.27
59+000.00	801.50	0.6	979.93	0.60	961.95
59+229.00	811.40	0.6	977.74	0.60	960.70
59+249.50	811.20	0.6	977.50	0.60	960.56
59+505.00	790.90	0.6	975.06	0.60	959.17
59+767.00	812.40	0.6	972.55	0.60	957.75
59+784.00	812.20	0.6	972.35	0.60	957.63
59+950.00	778.60	0.6	970.74	0.60	956.72
60+000.00	787.90	0.6	970.23	0.60	956.43
60+051.00	805.60	0.6	969.70	0.60	956.13
60+075.00	805.90	0.6	969.43	0.60	955.98
60+270.50	776.90	0.6	967.55	0.60	954.91
60+620.00	786.90	0.6	964.23	0.60	953.02
60+909.00	738.00	0.6	961.48	0.60	951.45
61+000.00	753.00	0.6	960.58	0.60	950.94
61+180.00	789.30	0.6	958.84	0.60	949.95
62+000.00	786.40	0.6	950.45	0.60	945.18
63+000.00	782.90	0.6	940.42	0.60	939.48
63+060.00	782.70	0.6	939.76	0.60	939.11
63+216.52	771.68	0.6	938.20	0.60	938.20

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-10 *Línea piezométrica Alternativa 2 - CH - 3*

3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

En la selección de alternativa se tendrá en cuenta la etapa final del proyecto "Ampliación de la Frontera Agrícola de las Lomas Moquegua - Ilo" con las dos líneas de conducción construidas.

Para la selección de alternativa se tendrá en cuenta la potencia generada por cada una de ellas, el costo paramétrico de cada alternativa y la evaluación económica a cada alternativa.

En los Cuadros N° 3-10 y N° 3-11, se muestran la potencia y energía generada por cada alternativa.

Cuadro N° 3-10 *Potencia y energía Alt - 1*

	Centrales	Caudal (m³/s)		Caudal Diseño (m³/s)	Alt Bruta (m)	Perdidas Totales (m)	Alt Neta (m)	Potencia (MW)	Energia (MW-año)
ALT - 1	CH - 1	Linea L1	0.9	1.5	313.58	137.46	176.12	1.33	7751.53
		Linea L2	0.6		313.58	111.29	202.29	1.02	5935.56
	CH - 2	Linea L1	0.9	1.5	154.80	129.13	25.67	0.19	1129.81
		Linea L2	0.6		154.80	121.72	33.08	0.17	970.63
	CH - 3	Linea L1	0.9	1.5	244.43	86.22	158.21	1.19	6963.26
		Linea L2	0.6		244.43	69.36	175.07	0.88	5136.88
	Total							**4.78**	**27887.67**

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 3-11 *Potencia y energía Alt - 2*

	Centrales	Caudal L1 (m³/s)	Caudal L2 (m³/s)	Caudal Diseño (m³/s)	Alt Bruta (m)	Perdidas Totales (m)	Alt Neta (m)	Potencia (MW)	Energia (MW-h)
ALT - 2	CH - 1	0.859	0.641	1.50	313.58	125.29	188.29	2.37	13812.04
	CH - 2	0.889	0.611	1.50	153.98	125.87	28.11	0.35	2062.08
	CH - 3	0.860	0.640	1.50	244.43	78.77	165.66	2.08	12151.93
	Total							**4.80**	**28026.04**

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Evaluación económica

Según el proyecto “Ampliación de la Frontera Agrícola de las Lomas Moquegua – Ilo” el tiempo de riego es de 16 horas por día. Estas 16 horas será el tiempo de funcionamiento de las centrales.

Se analizarán 2 escenarios para cada alternativa, el primer escenario será para la venta de energía al sistema interconectado nacional y el segundo escenario para alimentación de plantas agroindustriales.

A) Definición de los precios de energía y potencia

Los precios más conservadores que se consideraran son los siguientes:

- Precio de energía 60 USD/MWh (Fijación de precios en barra mayo 2019-Abril 2020
- Precio de energía hora punta igual a 46.61 USD/MWh
- Precio de energía hora fuera de punta 39.4 USD/MWh

B) Costos de operación y mantenimiento

Estos costos están relacionados con las remuneraciones del personal de operación, de la administración y costos de mantenimiento etc.

Se ha investigado diferentes tesis como las de Dejo (2004), Castillo (2010), Arteta (1991) y Aylas (2015) donde los costos de operación y mantenimiento oscilan entre el 3.5 % y 7%. Estos proyectos tienen características similares de potencia y caudal al proyecto de la Tesis.

En esta tesis se ha considerado 5% para los costos de operación y mantenimiento.

En los Anexo A18 al A33 se muestra el análisis de la evaluación económica para cada alternativa y cada escenario.

C) Tasa de descuento

Según la ley de contrataciones eléctricas (Artículo 79) la tasa de descuento es de 12%

Para la selección de la alternativa más factible se tendrá en cuenta el cálculo de los índices económicos como el valor actual neto (VAN) y la tasa instantánea de retorno (TIR) para cada alternativa, como se muestra en los cuadros N° 3-12 y N°3-13. En los Anexo A18 al A33 se muestra el análisis de la evaluación económica para cada alternativa y cada escenario.

D) Costo del proyecto

Para determinar el costo del proyecto se usaron los costos paramétricos descritos en el Item 5.1. Estos costos se muestran el Anexo 01 de la evaluación económica

E) Costo de energía

El costo de la energía es costo de inversión total por energía generada anualmente y se expresa en USD/MWh. En los cuadros Nº 3-12 y Nº 3-13 se muestran los indicadores económicos y el costo de la energía.

Cuadro N° 3-12 *Indicadores económicos Alt -1*

Alternativa N° 1	Indicadores Económicos	Venta de energía	Uso agroindustrial
3 Centrales	VAN	1,422,030.37	-9,136,711.54
	TIR	11.98%	-0.69%
	B/C	1.12	0.51
	C.E USD/MWh	17.89	26.91
1 Central CH-1	VAN	1,708,350.46	-3,893,643.08
	TIR	15.84%	0.39%
	B/C	1.35	0.55
	C.E USD/MWh	15.06	25.19
1 Central CH-2	VAN	-1,869,308.70	-4,008,341.58
	TIR	-10.35%	-
	B/C	0.35	0.15
	C.E USD/MWh	55.57	90.01
1 Central CH-3	VAN	1,662,595.52	-1,234,726.87
	TIR	16.66%	5.67%
	B/C	1.40	0.77
	C.E USD/MWh	14.56	17.90

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 3-13 *Indicadores económicos Alt - 2*

Alternativa N° 2	Indicadores Económicos	Venta de energía	Uso agroindustrial
3 Centrales	VAN	5,702,939.42	-4,953,307.63
	TIR	22.06%	3.29%
	B/C	1.73	0.66
	C.E USD/MWh	11.92	20.88
1 Central CH-1	VAN	3,579,304.04	-2,113,610.71
	TIR	29.07%	3.90%
	B/C	2.16	0.69
	C.E USD/MWh	9.70	20.47
1 Central CH-2	VAN	-1,408,452.46	-3,542,524.23
	TIR	-4.98%	-
	B/C	0.41	0.17
	C.E USD/MWh	47.31	82.41
1 Central CH-3	VAN	3,532,087.84	628,066.82
	TIR	34.88%	12.93%
	B/C	2.51	1.18
	C.E USD/MWh	8.44	11.77

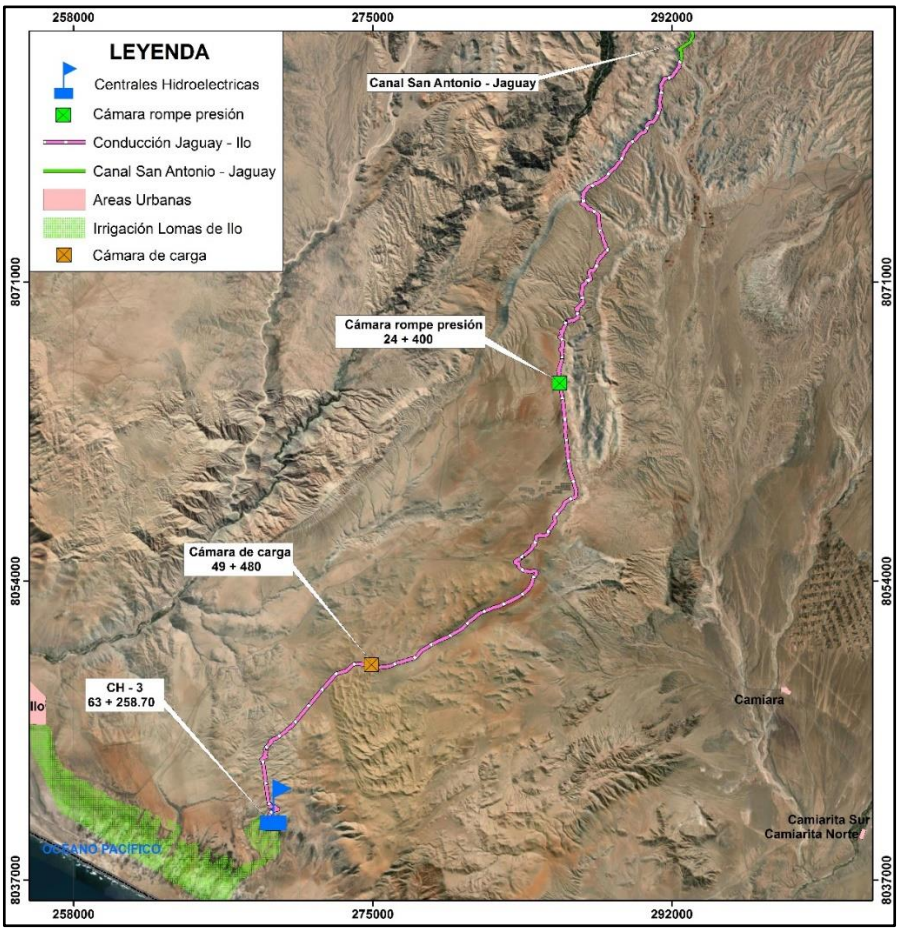
Fuente: Elaboración Propia

De la alternativa Nº1 se tiene que los mejores costos de energía son de la CH-3 con valores de 14.56 USD/MWh y 17.90 USD/MWh tanto para los escenarios de

venta de energía y uso agroindustrial respectivamente. De la alternativa Nº2 la CH-3 también tiene los mejores costos de energía para la CH-3 con valores de 8.44 USD/MWh y 11.77 USD/MWh tanto para los escenarios de venta de energía y uso agroindustrial

De la alternativa N°1, la CH-3 es la que tiene mejores indicadores económicos con un TIR de 16.66% y un B/C de 1.40 para el escenario de venta de energía y de la alternativa N° 2 la CH-3 también tiene los mejores indicadores económicos con un TIR de 34.88% y un B/C de 2.51 para el escenario de venta de energía y un TIR de 12.93% y un B/C de 1.18 para el escenario de uso agroindustrial.

La CH-3 de la alternativa N°2 sería la seleccionada, por tener mejores indicadores económicos para el uso de venta de energía. Esta alternativa consta de una casa de máquinas con una turbina Francis ubicada en la progresiva 63+258.70 y su cámara de carga ubicada en la progresiva 49+480. La configuración final para la alternativa selecciona se muestra en la Figura N° 3-11 y en el Anexo B4



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 3-11 *Alternativa seleccionada*

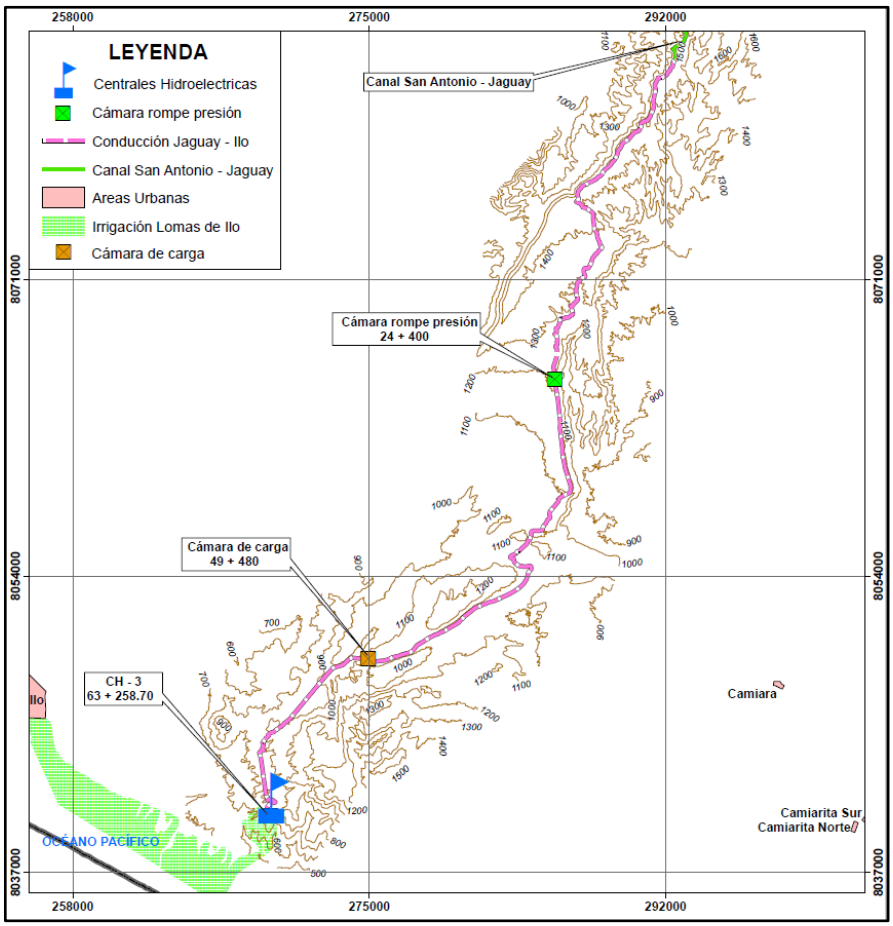
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE UNA PEQUEÑA Y MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA

El diseño de la pequeña central hidroeléctrica corresponde a la CH-3 de la Alternativa N° 2, seleccionada en el capítulo anterior y se muestra en la Figura N° 3-11. De la cual se diseñará la cámara de carga ubicada en la progresiva 49+480 y todas las componentes hidráulicas de las CH-3.

4.1 ESTUDIOS PREVIOS

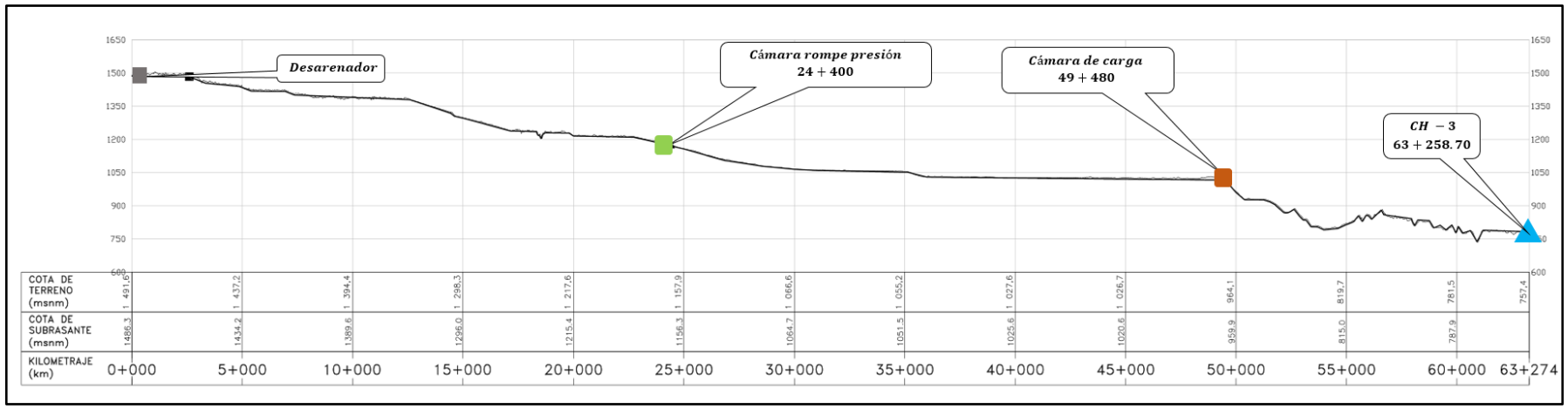
4.1.1 Topografía

La topografía usada en esta tesis se obtuvo a partir del proyecto “Ampliación de la Frontera Agrícola Lomas Moquegua – Ilo”, solicitado al Ministerio de Agricultura. Dicha entidad proporciono el expediente de manera física, del cual se obtuvo las coordenadas del trazo en planta de la conducción Jaguay – Ilo y la rasante de la tubería.



Fuente: Adaptado de Asesores Técnicos Asociados. S.A. (2013)

Figura N° 4-1 *Vista en planta de la CH -3*



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-2 *Perfil longitudinal de la conducción Jaguay - Ilo*

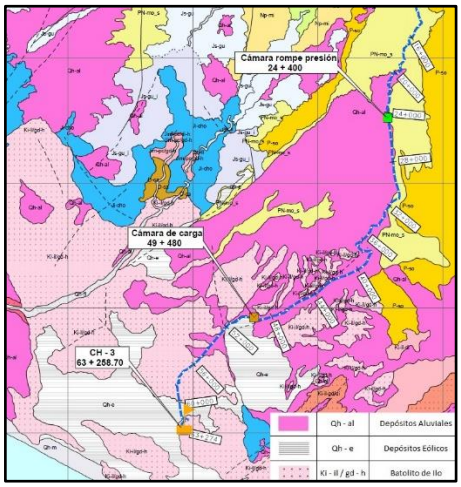
4.1.2 Geología

La importancia del conocimiento de la geología regional se centra en la litología del lugar donde se encuentra proyecto que constituye el soporte de toda la infraestructura hidráulica a construirse.

Las unidades geológicas que afloran y que están comprometidas directa o indirectamente con la zona de estudio corresponden a rocas con edades que van desde el Jurásico inferior hasta los depósitos cuaternarios recientes. Entre ellos tenemos la Formación Volcánico Chocolate, Formación Toquepala, Formación Moquegua, Formación Huaylillas, Depósitos Cuaternarios Recientes y Rocas Intrusivas.

Las Cámaras de carga 24+400 y 49+480 están asentadas sobre depósitos aluviales y eólicos que consisten en acumulaciones de materiales sueltos, de naturaleza heterogénea y heterométrica, conformado por bloques, cantos y gravas sub redondeada. Estos materiales yacen en discordancia a las formaciones geológicas más antiguas, y cubren gran parte de la zona de estudio, incluyendo a las rocas intrusivas.

La CH – 3 está asentada sobre batolito de Ilo que se compone principalmente de gabros, dioritas, tonalitas y granodioritas, que es el material intrusivo más voluminoso en la parte del sur del Perú. En la Figura N° 4-3 y en el Anexo B5 se muestra la geología regional con la ubicación de las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas a lo largo de toda la conducción Jaguay – Ilo.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-3 *Geología Regional*

4.1.3 Geotecnia

Los estudios de geotecnia se realizaron a lo largo de toda la conducción. Entre los estudios realizados se hicieron 103 calicatas. En esta tesis se muestra el Cuadro Nº 4-1 donde se muestra las calicatas y la descripción de estas entre las progresivas 45+000 y 60+000 que es donde se desarrollara la alternativa seleccionada.

Cuadro Nº 4-1 *Descripción de calicatas*

Progresiva	Profundidad de calicata	Descripción
45+000	2.00 m	Se observa arena gruesa uniformemente graduada, en estado semi - suelto y de baja humedad.
50+000	2.00 m	se observa arena uniforme y con pocos finos, no presenta plasticidad, se encuentra en estado semi suelto y de baja humedad
55+000	3.00 m	Se aprecia arena gruesa uniformemente graduada, con pocos finos, no presenta plasticidad y su contenido de humedad es baja
60+000	1.60 m	Se observa grava gruesa de forma angulosa, presencia de cristales de sal color blanquesina

Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Las muestras recolectadas de las calicatas fueron remitidas al laboratorio para su respectiva clasificación y evaluación de los parámetros de suelos.

Teniendo en cuenta que los elementos estructurales de la cimentación estarán en contacto con los suelos, se efectuaron ensayos químicos para determinar el porcentaje de sales y sulfatos. En el cuadro Nº 4-2 se muestra el resultado de los ensayos químicos.

Cuadro Nº 4-2 *Resultados del análisis químico*

Progresiva	Profundidad de calicata	Sales Solubles totales (%)	Sulfatos (%)	Cloruros (%)	Carbonatos (%)	Potencial de Hidrogeno (PH)
45+000	2.00 m	1.1166	0.1835	0.4896	0.8	6.7
50+000	2.00 m	0.158	0.0445	0.0383	0.75	7.2
55+000	3.00 m	14.0148	0.3919	10.547	0.75	6.4
60+000	1.60 m	14.408	0.5023	8.9089	0.45	6.2

Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

También se realizó ensayos de corte directo con la finalidad de determinar los parámetros de resistencia de suelo. En el Cuadro Nº 4-3 se muestra los resultados de dicho ensayo.

Cuadro Nº 4-3 *Resultados de ensayo de corte directo*

Progresiva	Profundidad de calicata	Parametro Resistencia		qadm (kg/cm²)
		C	ø	
50+000	2.00 m	0	26	2.19
60+000	1.60 m	0	28	2.58

Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

De los ensayos de expansión libre, se concluye que la expansión no es muy significativa y se compensaría con la colocación de un relleno mínimo de 0.50 m de material gravoso arcilloso compactado en capas de 0.20 m al 90% de la máxima densidad seca del Proctor modificado.

Se deberá considerar las restricciones planteadas en las recomendaciones del tipo de cemento según los porcentajes de las sales encontradas en los ensayos. Se aprecia que los resultados de sales pueden afectar a las futuras obras, por lo tanto, se recomienda el empleo de cemento Portland del tipo V

4.1.4 Hidrología

La hidrología para la presente tesis determinará los caudales máximos de las quebradas cercanas o influyentes a las pequeñas y minicentrales hidroeléctricas y también de las quebradas intermedias a la conducción entre Jaguay y la cabecera de las Lomas de Ilo. El área de estudio se caracteriza por la escasa precipitación en su condición de zona árida o desértica y fue investigada con el propósito de conocer el comportamiento de los flujos en las quebradas que pudieran afectar la estabilidad de la obra proyectada, procediéndose a la estimación de las máximas avenidas en la zona del estudio.

Para el cálculo de los caudales máximos se usará el método racional, muy usado para cuencas, A < 10 km², Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2008).

En el Cuadro Nº 4-4 se puede observar que las cuencas tienen un área menor a 10 km² por lo cual se podrá usar el método racional mediante la ecuación (117)

A) Demarcación de la unidad hidrográfica y geomorfología

Como información cartográfica para el desarrollo de la delimitación de las cuencas en las quebradas intermedias a la conducción, se ha utilizado la siguiente información:

- Modelo digital de elevación en formato raster descargado de la página NASA Earth Data.

- Fotos satelitales disponibles en el software Google Earth

El procesamiento de esta información para la delimitación y cálculo de los parámetros geomorfológicos de las cuencas interceptoras con la conducción se ha realizado con el software HecGeoHms en la plataforma ArcGis.

A.1 Parámetros geométricos

- *Área* (A)

Es el área que se proyecta en un plano horizontal después de delimitar la cuenca. Dicha área es de forma irregular y su medida se puede expresar en kilómetros cuadrados

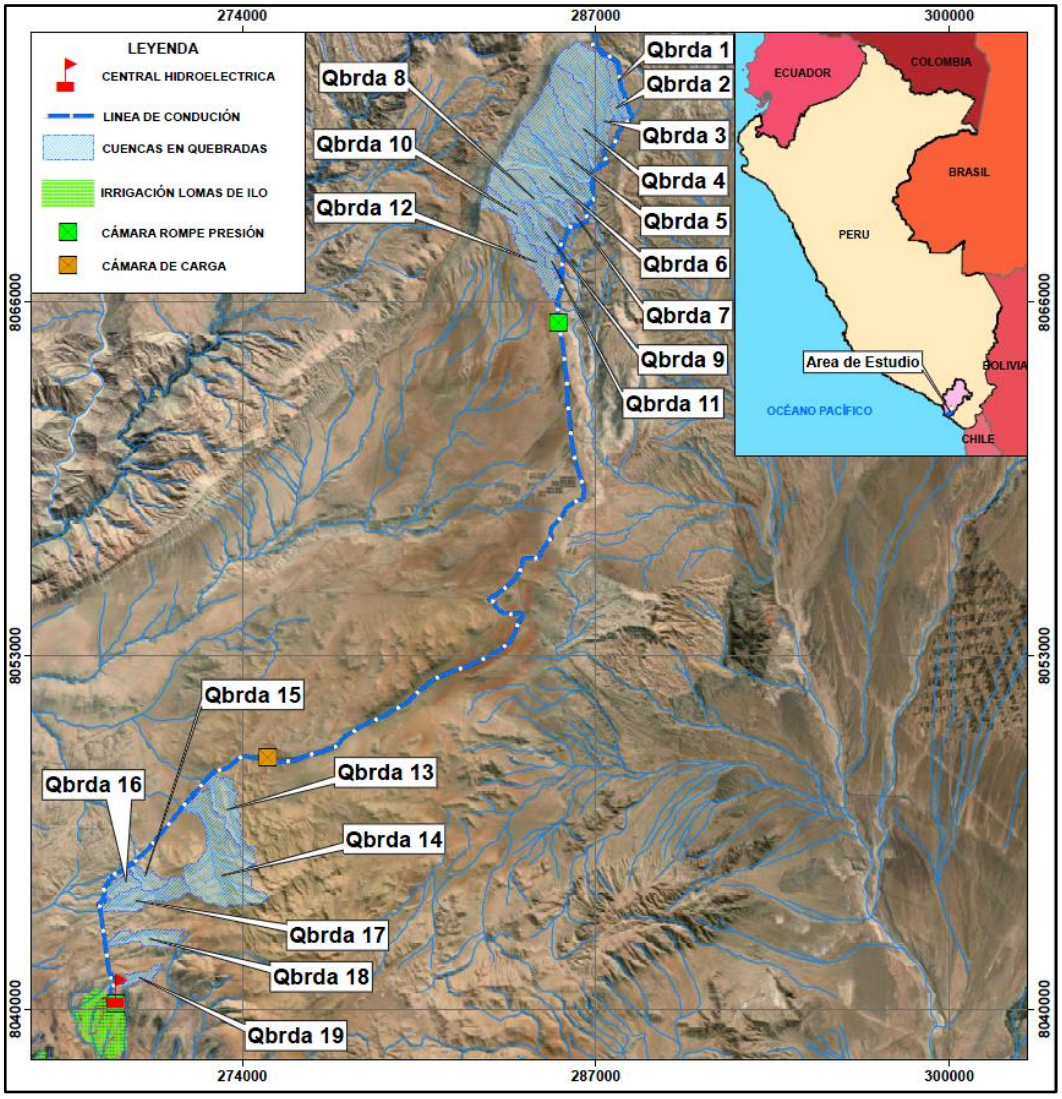
- *Perímetro* (P)

El perímetro es la longitud del borde de la superficie proyectada a un plano horizontal.

- *Pendiente media del cauce*

Es la relación de la diferencia de la altura máxima (H_{max}) y altura mínima (H_{min}) del cauce principal con su longitud.

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_c} \quad (110)$$



Fuente: Adaptado de Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua (2013)

Figura N° 4-4 *Delimitación de cuencas en quebradas interceptoras a la conducción*

En la Figura N° 4-4 y en el Anexo B6, se muestra la delimitación de 19 quebradas que interceptan a la línea de conducción en su recorrido.

También se observa que ninguna quebrada compromete a la central hidroeléctrica de la alternativa seleccionada.

En el Cuadro N° 4-4 se muestra los parámetros geométricos calculados de cada una de las cuencas de las quebradas.

Cuadro N° 4-4 *Parámetros de cuenca*

N°	Cuenca	Area (A) (km)	Perimetro (P) (km)	Long Cauce (L_c) (km)	H_{max} (msnm)	H_{min} (msnm)	Pendiente media (S_m) (m/m)
1	Qbrda1	0.713	7.450	2.842	1448	1359	0.031
2	Qbrda2	0.353	5.025	1.925	1416	1346	0.036
3	Qbrda3	3.497	14.125	5.020	1492	1313	0.036
4	Qbrda4	3.032	12.850	5.044	1485	1282	0.040
5	Qbrda5	4.091	13.275	4.484	1461	1273	0.042
6	Qbrda6	4.243	14.575	4.533	1448	1255	0.043
7	Qbrda7	0.335	4.100	1.335	1344	1261	0.062
8	Qbrda8	2.683	11.725	4.193	1449	1260	0.045
9	Qbrda9	0.832	6.500	2.392	1367	1263	0.043
10	Qbrda10	1.795	12.025	4.158	1443	1257	0.045
11	Qbrda11	0.329	4.300	1.488	1312	1253	0.040
12	Qbrda12	1.532	11.750	4.440	1382	1239	0.032
13	Qbrda13	2.075	12.475	4.621	1363	911	0.098
14	Qbrda14	6.175	18.400	5.878	1496	849	0.110
15	Qbrda15	0.671	5.325	1.855	1085	887	0.107
16	Qbrda16	0.615	5.000	1.732	976	855	0.070
17	Qbrda17	1.833	10.375	4.073	1179	846	0.082
18	Qbrda18	1.262	8.400	3.638	1221	820	0.110
19	Qbrda19	0.453	5.275	1.814	986	831	0.085

Fuente: Elaboración Propia

B) Caracterización climatológica del área de estudio

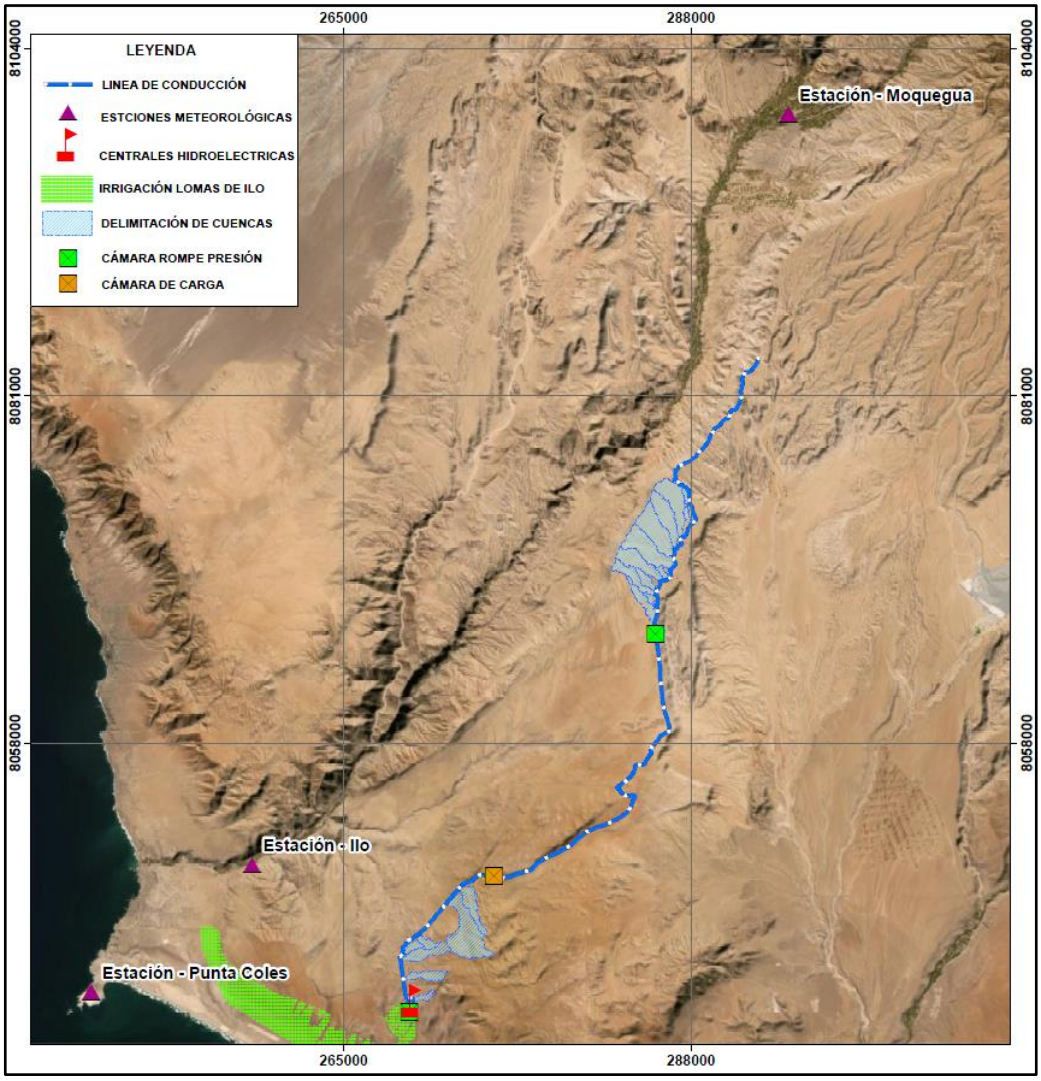
De acuerdo con la información disponible del SENAMHI; se ha evaluado la influencia, funcionamiento, periodos de registro y disponibilidad de información de 3 estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio como se muestra en el Cuadro N° 4-5

Cuadro N° 4-5 *Estaciones meteorológicas adyacentes a la zona de estudio*

N°	Estación	Código	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Ubicación			Periodo	Variable
						Dpto	Provincia	Distrito		
1	Punta Coles	117008	25	17°41´55"	71°22´23.9"	Moquegua	Ilo	Ilo	1954-2014	Precip 24H Temp Max Temp Min
2	Ilo	117007	108	17°37´25.7"	71°16´18.8"	Moquegua	Ilo	El Algarrobal	1965-2018	Precip 24H Temp Max Temp Min
3	Moquegua	117002	1446	17°10´43.5"	70°55´57.7"	Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	1965-2014	Precip 24H Temp Max Temp Min

Fuente: Elaboración Propia

El clima de la zona de estudio se caracteriza por un clima templado - seco como consecuencia de la interacción de diversas variables climatológicas. En las partes bajas es notoria las temperaturas muy frías. En la parte alta es marcada las diferencias en las estaciones de invierno y verano, presentando lluvias estacionales en el periodo que va entre los meses de diciembre a marzo.



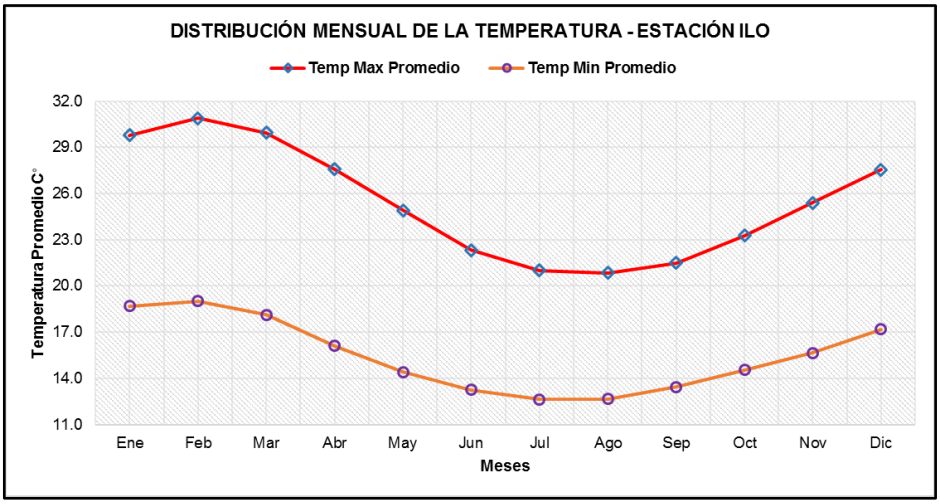
Fuente: Adaptado de Asesores Técnicos Asociados. S.A. (2013)

Figura N° 4-5 *Estaciones meteorológicas usadas en el estudio*

De las Figuras N° 4-4 y 4-5, podemos concluir que las quebradas 1 al 12 están influenciadas por la estación Moquegua y las quebradas 13 al 19 están influenciadas por la estación Ilo.

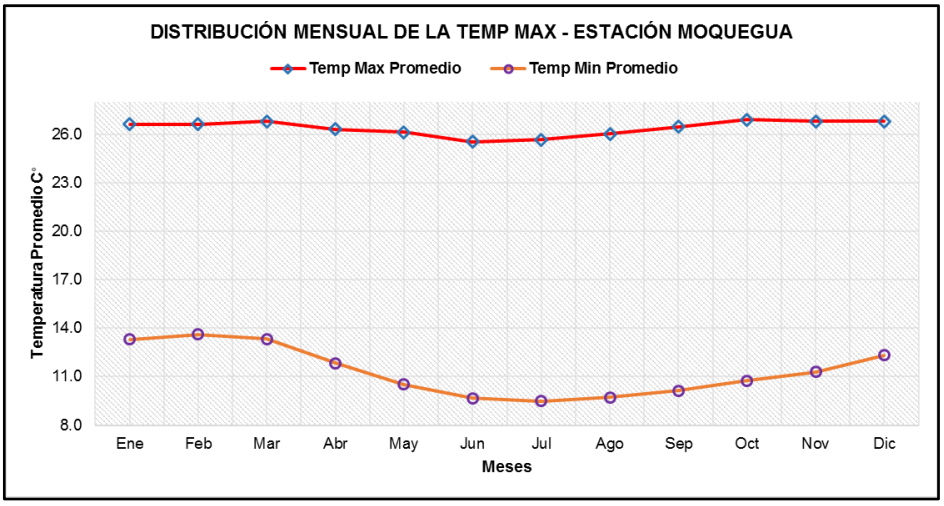
B.1 Temperatura

La temperatura es un indicador importante para describir las condiciones climáticas de una zona de estudio. Esta se obtuvo a partir de las estaciones Ilo y Moquegua con las variables de temperatura máxima y mínima de cada estación. En las Figuras N° 4-6 y N° 4-7 se muestra el comportamiento promedio de las temperaturas máximas y temperaturas mínimas de cada estación que se usara en la zona de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-6 *Temperatura promedio - Ilo*



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-7 *Temperatura promedio - Moquegua*

C) Análisis de precipitación máxima en 24 horas

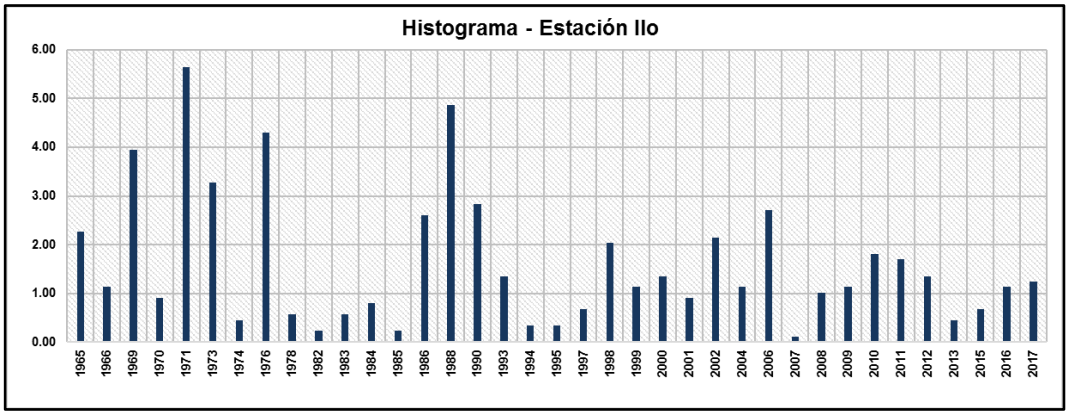
En la presente tesis se realizó el análisis a partir de las precipitaciones anuales máximas en 24 horas de las estaciones Ilo y Moquegua cuyo registro fue obtenido de la página de Senamhi. Este registro de precipitaciones se muestra en el Cuadro N° 4-6.

Teniendo las precipitaciones anuales máximas para 24 horas, se procedió a analizar y procesar dichos datos de precipitaciones.

Cuadro N° 4-6 *Registro histórico precipitaciones máximas 24 horas*

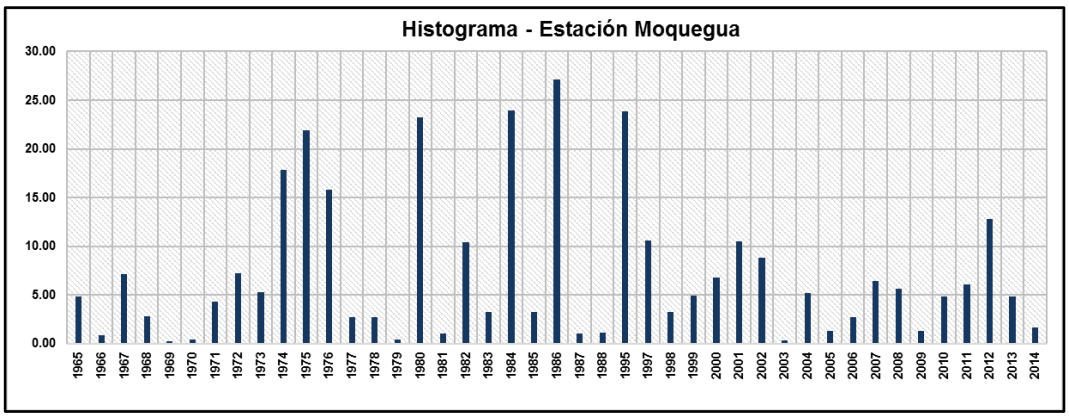
Años	Estación Ilo	Estación Moquegua
1965	2	4.3
1966	1	0.8
1967	0	6.3
1968	0	2.5
1969	3.5	0.2
1970	0.8	0.4
1971	5	3.8
1972	0	6.4
1973	2.9	4.7
1974	0.4	15.8
1975	0	19.4
1976	3.8	14
1977	0	2.4
1978	0.5	2.4
1979	0	0.4
1980	0	20.6
1981	0	0.9
1982	0.2	9.2
1983	0.5	2.9
1984	0.7	21.2
1985	0.2	2.9
1986	2.3	24
1987	0	0.9
1988	4.3	1
1989	0	0
1990	2.5	0
1991	0	0
1992	0	0
1993	1.2	0
1994	0.3	0
1995	0.3	21.1
1996	0	0.01
1997	0.6	9.4
1998	1.8	2.9
1999	1	4.4
2000	1.2	6
2001	0.8	9.3
2002	1.9	7.8
2003	0	0.3
2004	1	4.6
2005	0	1.2
2006	2.4	2.4
2007	0.1	5.7
2008	0.9	5
2009	1	1.2
2010	1.6	4.3
2011	1.5	5.4
2012	1.2	11.3
2013	0.4	4.3
2014	0	1.5
2015	0.6	
2016	1	
2017	1.1	
2018	0	

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-8 *Registro histórico de precipitación máxima 24 horas de la estación Ilo*



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-9 *Registro histórico de precipitación máxima 24 horas de la estación Moquegua*

C.1 Análisis de datos dudosos

Antes de realizar cualquier tratamiento de datos, se realizó un análisis de datos dudosos para determinar si los valores están dentro del rango de confianza o exista algún dato que no corresponde a la muestra.

Para detectar los datos dudosos se calcularon umbrales superiores o inferiores para cada serie de precipitaciones máximas de la estación analizada, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$y_L = \overline{y} - K_n S_y \qquad (111)$$

$$y_H = \overline{y} + K_n S_y \qquad (112)$$

Donde:

y_L: Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas

y_H: Umbral superior para datos dudosos en unidades logarítmicas

$\overline{y}$: Promedio de los logaritmos de las precipitaciones máximas

S_y: Desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones máximas

K_n: Valor tabulado para una muestra de tamaño "n" (Ver Cuadro N° 4-7)

Cuadro N° 4-7 *Valores de K_n para prueba de datos dudosos*

TABLA 12.5.3
Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: Chow (1994)

Para el análisis de datos dudosos se eliminaron los años con registro igual a cero de la muestra, tanto para las estaciones Ilo como para la estación Moquegua.

C.2 Procesamiento estadístico de la información

Luego que la información fuera sometida al análisis de datos dudosos, los registros de precipitaciones máximas fueron analizadas estadísticamente por medio de las siguientes distribuciones.

- Normal
- Log Normal

- Pearson III
- Log Pearson III
- Gumbel

Se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov y se determinó los valores que se presentan en los Cuadros N° 4-8 y 4-9

Cuadro N° 4-8 *Prueba de Kolgomorov Smirnov - Estación Ilo*

Distribución	ESTACIÓN ILO			
	ΔTabular	ΔTeórico	RanKing	Ajuste
Normal	0.2236	0.2039	5	Se Ajusta
Log Normal		0.0824	2	Se Ajusta
Pearson III		0.1133	3	Se Ajusta
Log Pearson III		0.0734	1	Se Ajusta
Gunbel		0.1396	4	Se Ajusta

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4-9 *Prueba de Kolgomorov Smirnov - Estación Moquegua*

Distribución	ESTACIÓN MOQUEGUA			
	ΔTabular	ΔTeórico	RanKing	Ajuste
Normal	0.2074	0.2050	5	Se Ajusta
Log Normal		0.1038	2	Se Ajusta
Pearson III		0.1113	3	Se Ajusta
Log Pearson III		0.0712	1	Se Ajusta
Gunbel		0.1346	4	Se Ajusta

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la prueba de bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov, las estaciones Ilo y Moquegua se ajustan a la distribución Log Pearson III y las precipitaciones de diseño para diferentes periodos de retorno se muestra en el Cuadro N° 4-10

Cuadro N° 4-10 *Precipitaciones de diseño*

T (años)	Ilo	Moquegua
2	1.19	4.50
5	2.45	11.49
10	3.45	17.78
20	4.52	24.84
25	4.88	27.26
50	6.03	35.21
100	7.23	43.75
150	7.96	48.98
200	8.48	52.80
500	10.21	65.45

Fuente: Elaboración Propia

C.3 Determinación del tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de interés. Para la presente tesis se ha considerado las siguientes formulaciones para determinar el tiempo de concentración.

- *Método de Kirpich*

Este método presenta la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385} \quad (113)$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del curso de agua más largo (m)

S: Pendiente del cauce (m/m)

- *Método de California Curverts Practice*

Este método presenta la siguiente ecuación

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad (114)$$

T_c: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del curso de agua más largo (m)

H: Diferencia entre el nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)

El tiempo de concentración usado para el cálculo de los caudales de diseño en las quebradas es de Kirpich. En el Cuadro N° 4-11 se muestra el cálculo del tiempo de concentración por el método de Kirpich y el método de California Curverts Practice.

Cuadro N° 4-11 *Tiempo de concentración de las cuencas en estudio*

N°	Cuenca	Long Cauce (m)	H_{max} (msnm)	H_{min} (msnm)	Pendiente Promedio de Cuenca (m/m)	Kirpich (min)	California Curverts Practice (min)
1	Qbrda1	2841.73	1448	1359	0.031	33.71	33.76
2	Qbrda2	1924.78	1416	1346	0.036	23.58	23.61
3	Qbrda3	5019.70	1492	1313	0.036	49.69	49.77
4	Qbrda4	5043.96	1485	1282	0.040	47.61	47.68
5	Qbrda5	4484.34	1461	1273	0.042	42.81	42.87
6	Qbrda6	4532.56	1448	1255	0.043	42.90	42.97
7	Qbrda7	1335.14	1344	1261	0.062	14.47	14.49
8	Qbrda8	4192.55	1449	1260	0.045	39.53	39.59
9	Qbrda9	2391.73	1367	1263	0.043	26.01	26.05
10	Qbrda10	4157.56	1443	1257	0.045	39.39	39.45
11	Qbrda11	1488.17	1312	1253	0.040	18.71	18.74
12	Qbrda12	4439.52	1382	1239	0.032	47.01	47.09
13	Qbrda13	4621.32	1363	911	0.098	31.62	31.67
14	Qbrda14	5877.91	1496	849	0.110	36.36	36.42
15	Qbrda15	1855.48	1085	887	0.107	15.14	15.17
16	Qbrda16	1731.74	976	855	0.070	16.90	16.93
17	Qbrda17	4072.58	1179	846	0.082	30.73	30.78
18	Qbrda18	3637.59	1221	820	0.110	25.11	25.15
19	Qbrda19	1814.06	986	831	0.085	16.21	16.24

Fuente: Elaboración Propia

C.4 Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia IDF

La información con la que se cuenta para la presente tesis es la precipitación máxima registrada en un periodo de 24 horas, por lo que se utilizan fórmulas para ajustar la precipitación de acuerdo con el periodo de duración deseado. Una de ellas es la de Dick y Pescke, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), la cual se muestra en la ecuación (115)

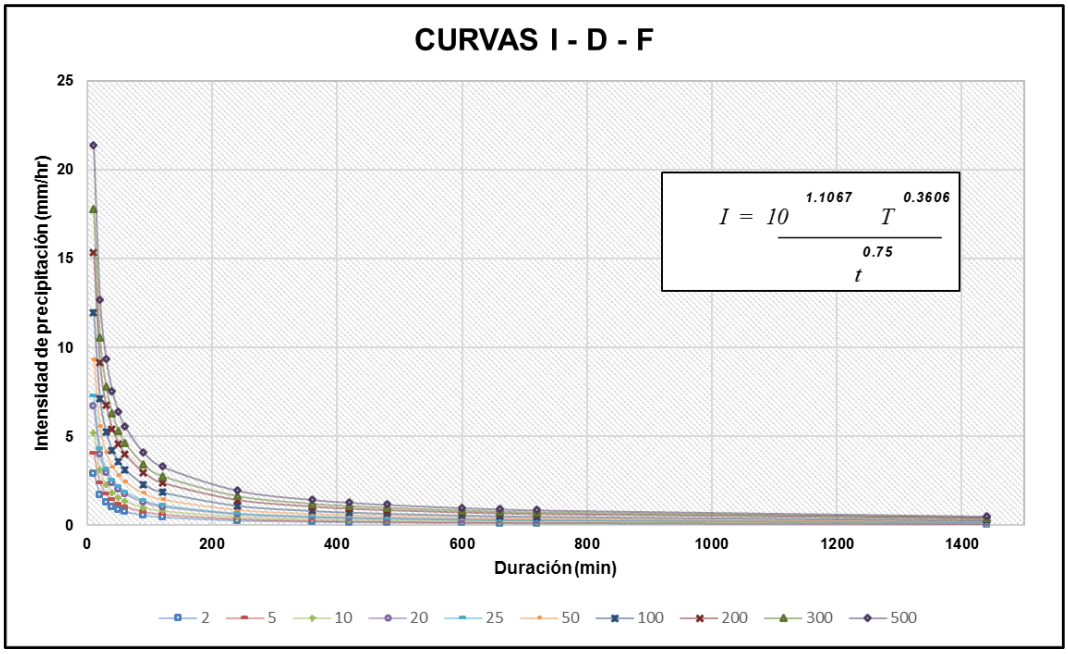
$$P_d = P_{24h}\left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25} \qquad (115)$$

Donde:

P_d: Precipitación total (mm)

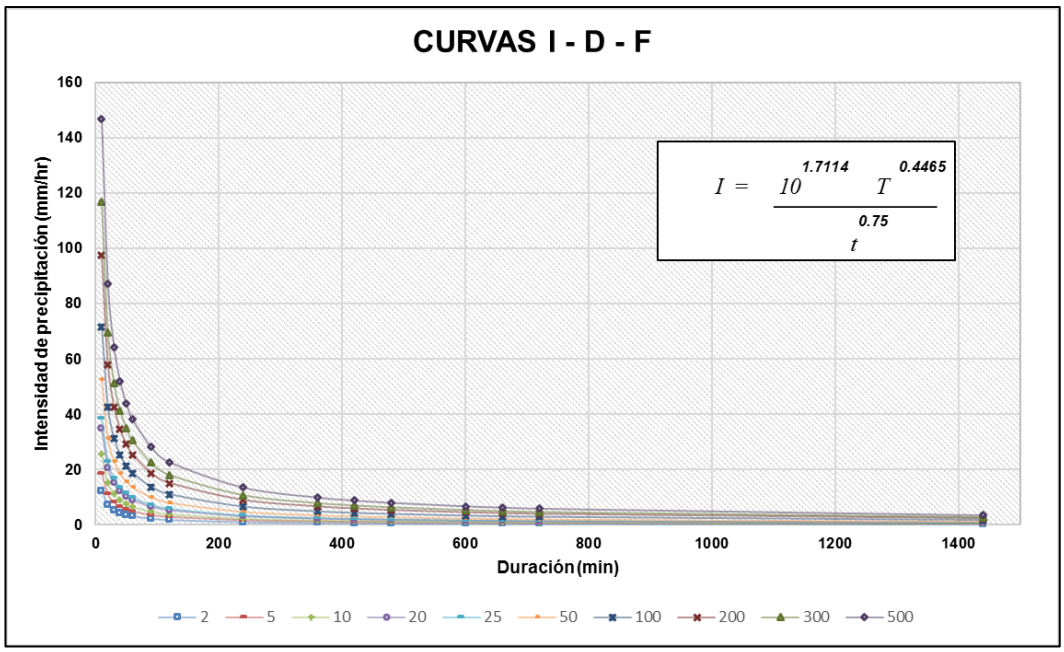
d: Duración en minutos

P_{24h}: Precipitación máxima en 24 horas (mm)



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-10 *Curva Intensidad - Duración - Frecuencia de la estación Ilo*



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-11 *Curva Intensidad - Duración - Frecuencia de la estación Moquegua*

C.5 Periodo de retorno

Para determinar el periodo de retorno de diseño, "… es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiente este último de factores

económicos, sociales, técnicos y otros…" (Manual de Hidrología y Drenaje de Carreteras MTC-2011)

Tomando en cuenta lo señalado, la probabilidad de riesgo y falla se determina mediante la siguiente expresión:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{n} \qquad (116)$$

Donde:

R: Riesgo de falla admisible

T: Periodo de retorno

n: Vida útil de retorno

En el Cuadro N° 4-12, se muestra los periodos de retorno de diseño para las diferentes estructuras que se vayan a proyectar sobre el trazo de la conducción, cumpliendo con los riesgos y vida útil recomendados por el Manual de Hidrología y Drenaje de carreteras del MTC-2008.

Cuadro N° 4-12 *Periodos de retorno de diseño*

Tipo de estructura	Riesgo (%)	Vida Util	T
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30	25	71
Alcantarillas de paso de quebradas menores y descargas de cunetas	35	15	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40	15	30
Subdrenes	40	15	30
Defensas ribereñas	25	40	140

Fuente: Adaptado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008)

Para proteger la tubería enterrada de la erosión en el punto de salida de las quebradas se está proyectando badenes. Según el Cuadro N° 4-12, el periodo de retorno para este tipo de estructura es de 71 años.

C.6 Determinación de caudales máximos

– *Método Racional*

El método racional es uno de los más utilizados para la estimación de caudales máximo asociado a una determinada lluvia de diseño. Se utiliza normalmente para cuencas con áreas menores a 10 km² y para el diseño de obras de drenaje urbano y rural. El método racional se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \qquad (117)$$

Donde:

Q: Caudal máximo de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía (Ver Cuadro N° 4-13)

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (km²)

Cuadro N° 4-13 *Coeficiente de escorrentía*

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008)

La cobertura a lo largo de la conducción es sin vegetación, de pendiente media a suave y un tipo de suelo permeable.

En el cuadro N° 4-14, se muestra los caudales de diseño para cada quebrada estudiada.

Cuadro N° 4-14 *Caudales máximos de diseño en quebradas*

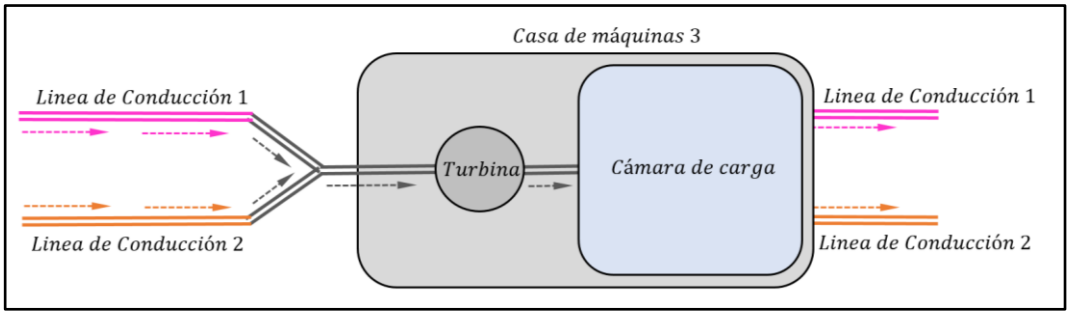
N°	Cuenca	Area (km²)	Kirpich (min)	Intensidad (mm/h)	Coeficiente de Escorrentia	Caudal de Diseño (m³/s)
1	Qbrda1	0.71	33.71	24.67	0.43	2.10
2	Qbrda2	0.35	23.58	32.26	0.43	1.36
3	Qbrda3	3.50	49.69	18.44	0.43	7.70
4	Qbrda4	3.03	47.61	19.04	0.43	6.90
5	Qbrda5	4.09	42.81	20.62	0.43	10.08
6	Qbrda6	4.24	42.90	20.59	0.43	10.43
7	Qbrda7	0.33	14.47	46.52	0.43	1.86
8	Qbrda8	2.68	39.53	21.89	0.43	7.02
9	Qbrda9	0.83	26.01	29.96	0.43	2.98
10	Qbrda10	1.79	39.39	21.95	0.43	4.71
11	Qbrda11	0.33	18.71	38.37	0.43	1.51
12	Qbrda12	1.53	47.01	19.22	0.43	3.52
13	Qbrda13	2.08	31.62	4.46	0.43	1.11
14	Qbrda14	6.18	36.36	4.02	0.43	2.96
15	Qbrda15	0.67	15.14	7.75	0.43	0.62
16	Qbrda16	0.61	16.90	7.13	0.43	0.52
17	Qbrda17	1.83	30.73	4.56	0.43	1.00
18	Qbrda18	1.26	25.11	5.30	0.43	0.80
19	Qbrda19	0.45	16.21	7.36	0.43	0.40

Fuente: Elaboración Propia

4.2 DISEÑO DE COMPONENTES DE LAS PEQUEÑAS Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Para el diseño de los componentes de la pequeña o minicentral hidroeléctrica se usarán las ecuaciones descritas en el ítem 2.3 y 2.4 de la presente tesis.

Dichas ecuaciones serán usadas en la alternativa seleccionada que está compuesta por una central hidroeléctrica (CH-3), cuyo esquema de la central se muestra en la Figura N° 4-12



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-12 *Esquema de casa de máquinas de la alternativa seleccionada*

4.2.1 Diseño de cámara de carga

El dimensionamiento de la cámara principal de la cámara de carga debe considerar dos condiciones críticas de operación:

- Partida brusca
- Parada brusca

Para atender a la primera condición es indispensable que el volumen de agua útil almacenado en la cámara de carga sea compatible con la variación del caudal entre cero y un máximo valor.

La segunda condición debe ser atendida con el dimensionamiento de un vertedero lateral.

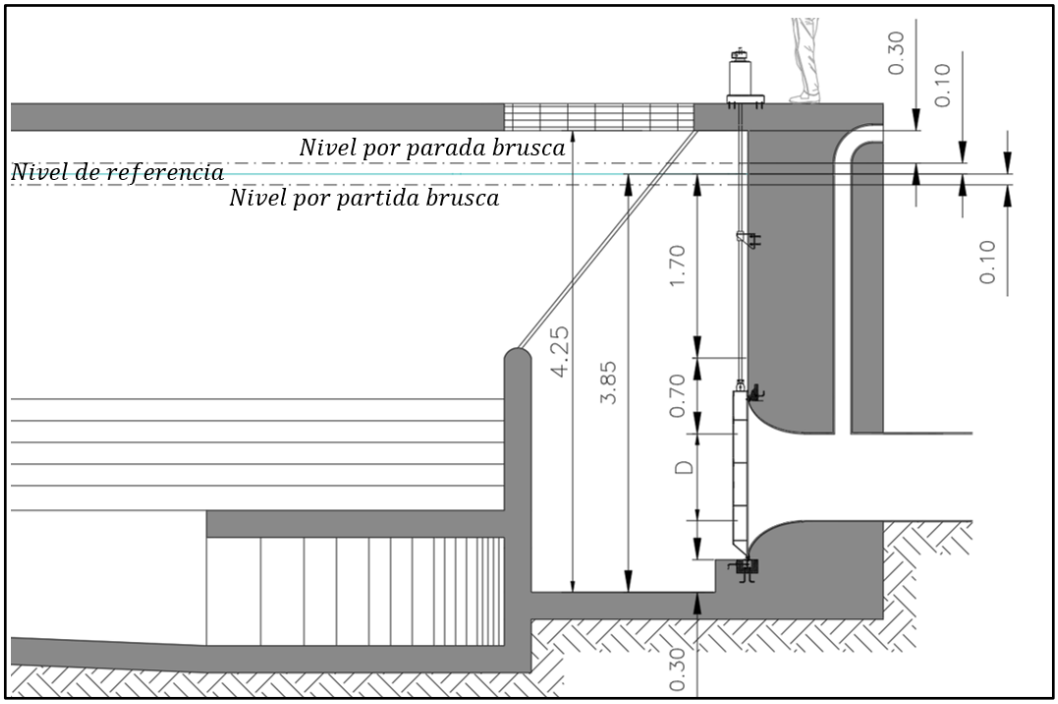
Debido al diseño de la cámara de carga. La tubería forzada esta encima del fondo de la cámara de carga y para evitar el ingreso de sedimentos se ha considerado un valor de $a_1 = 0.3$ m.

Con la ecuación (42) se calculó el valor de la altura mínima de agua sobre la tubería, dando un valor de $h_{min} = 0.70$ m

Por efecto de golpe de ariete se crea una elevación de nivel de agua en la cámara de carga, por lo que se consideró un valor de $a_4 = 0.30$ m

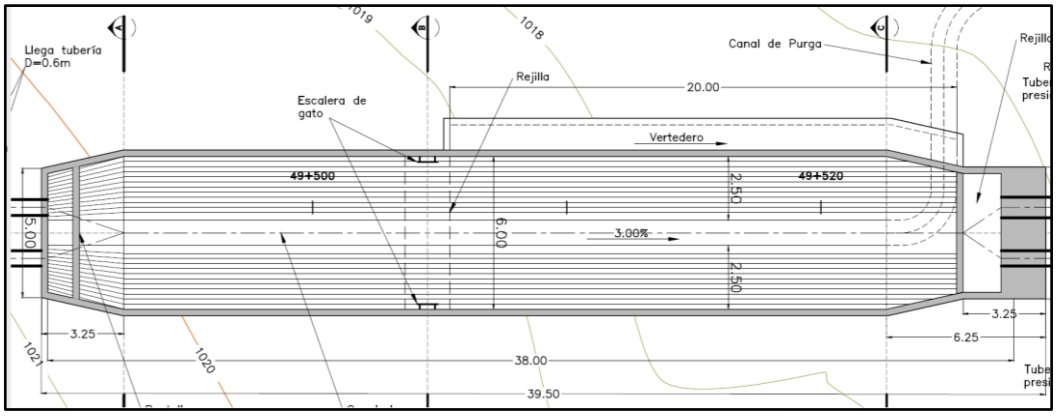
Según los criterios de diseño Ortiz (2001), se ha considerado un valor de velocidad media en la cámara de carga de $V_{cc} = 0.60$ m/s

Las variables que se muestran en el ítem 2.3.1 de la presente tesis, fueron calculadas y sus valores se muestran en la Figura N° 4-13 y 4-14



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-13 *Dimensiones de la cámara de carga perfil*



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-14 *Dimensiones de la cámara de carga planta*

4.2.2 Evaluación del sistema de conducción existente con el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas

En la presente tesis las tuberías de conducción son de material GRP existentes. Estas tuberías se convertirán en tuberías forzadas al colocar la casa de máquinas de la alternativa seleccionada en el ítem 3.2, motivo por el cual se realizará una verificación de su diseño mediante el manual Manual of Water Supply Practices - M45 (2005), que es el manual de diseño de tuberías GRP.

Mediante este manual se verificará el diseño hidráulico, diseño de la tubería enterrada y se analizará el efecto de golpe de ariete por el cierre de los alabes de la turbina.

A) Evaluación de las dos tuberías de conducción existentes

Las tuberías de conducción Jaguay – Ilo existentes son de material GRP y son las que se presentan en el proyecto "Ampliación de la Frontera Agrícola de las Lomas Moquegua - Ilo".

A.1 Verificación del diseño hidráulico

El Manual of Water Supply Practices - M45 (2005) recomienda la ecuación (118) para determinar la velocidad máxima admisible para tuberías GRP

$$V = \frac{37}{\rho^{0.33}} \qquad (118)$$

Donde:

ρ: Densidad del fluido 1000 (kg/m³)

V: Velocidad del fluido (m/s)

Según la fórmula 118 la velocidad máxima permisible para tuberías GRP es de 3.79 m/s. En los Anexo A1 y A2 se muestra las velocidades en las tuberías y cumplen con esta condición.

Al igual que el criterio de velocidad máxima, el Manual of Water Supply Practices - M45 (2005) recomienda la formula (119) para el diámetro mínimo.

$$D_{min} = 186 * \frac{(Q * SG)^{0.5}}{\rho^{0.33}} \qquad (119)$$

Donde:

D_{min}: Diámetro mínimo (mm)

Q: Caudal (l/s)

SG: Gravedad específica, para el agua considerar 1

Para el cálculo del caudal que circula por cada tubería en paralelo, una vez colocada las centrales, se usó el software Bentley Hammer, considerando el caudal de diseño de 1.5 m³/s.

Cuadro N° 4-15 *Cálculo de diámetro mínimo*

Centrales	Caudal L1 (m^3/s)	Caudal L2 (m^3/s)	Diámetro minimo	
			L1 (mm)	L2 (mm)
CH - 3	0.8600	0.6400	558.16	481.51

Fuente: Elaboración propia

En las líneas de conducción L1 y L2 se usaron diámetros mayores a los calculados en el Cuadro N° 4-15, por lo tanto, se cumple con el diámetro mínimo.

- **Pérdidas por fricción y pérdidas locales**

Para el cálculo de las perdidas por fricción y pérdidas locales se tomó en cuenta las ecuaciones descritas en el ítem 2.2.2 de la presente tesis y su cálculo se muestra en los Anexos A1 y A2. En el Cuadro N° 4-15 se muestra las pérdidas por fricción y el porcentaje de incidencia de las pérdidas locales.

Cuadro N° 4-16 *Pérdidas por fricción y locales para la CH-3*

Descripción CH-3	Pérdidas fricción (m)	Pérdidas locales (m)	Perdidas Totales (m)	% de Pérdidas locales
L1	72.59	6.18	78.77	7.85
L2	73.11	5.66	78.77	7.19

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro N° 4-16 se observa que las pérdidas locales tienen porcentajes bajos y las pérdidas totales son 78.77 m para ambas tuberías ya que son tuberías en paralelo

A.2 Verificación de tubería enterrada

- **Cálculo de la deflexión vertical prevista**

En la Figura N° 1-12 se muestra la sección típica de las tuberías enterradas y aledaño a ellas un camino de acceso para mantenimiento. Si en algún momento algún vehículo pasa por encima de la zanja donde están las tuberías, estas

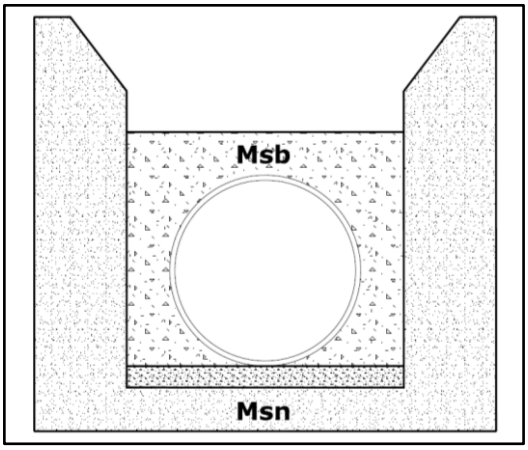
deberán estar diseñadas para soportar la carga muerta del material sobre ellas y la carga viva producto de algún vehículo.

Las tuberías de GRP se flexionan cuando se encuentran sometidas a cargas muertas y cargas vivas. Estas cargas incrementan el diámetro horizontal del tubo desarrollando resistencia pasiva del suelo que es contrarrestado por la deflexión. La magnitud de la deflexión necesaria dependerá de la rigidez del material de relleno y de suelo nativo.

El cálculo de la deflexión vertical prevista de la tubería se calcula mediante la ecuación (52) y debe ser menor al 5% como recomienda el Manual of Water Supply Practices - M45 (2005). Para ellos se sigue los siguientes pasos:

- Calculamos la carga vertical del suelo mediante la ecuación (53) y posteriormente la carga viva del suelo mediante la ecuación (54). Los cálculos de la carga vertical y la carga viva se muestran en los Anexos A3 y A4.

- Seguidamente calculamos la rigidez compuesta del suelo M_s mediante la ecuación (60). Para ello se debe tener en cuenta la Figura N° 4-15 que nos muestra la nomenclatura y ubicación en el terreno de los términos M_{sb} y M_{sn} usados para el cálculo de M_s



Fuente: AWWA (2005)

Figura N° 4-15 *Ubicación de M_{sb} y M_{sn}*

- Para el cálculo de M_{sb} se debe tener en cuenta la categoría de rigidez del suelo, que lo obtenemos del Cuadro N° 2-9. Según el estudio de suelos del proyecto "Ampliación de la Frontera Agrícola de las Lomas Moquegua - Ilo", los tipos de suelo encontrado son suelos arenosos o de grano fino con grava

SC3 pero en su gran mayoría se encontró suelos limpios de grano grueso SC2 que es el tipo de suelo que se usara en esta tesis.

- También se debe tener en cuenta el grado de compactación adoptado que será de SDP 90 según el estudio de suelos del proyecto. Con los parámetros descritos anteriormente y los valores de carga vertical calculados en los Anexos A3 y A4 se ingresa al Cuadro N° 2-10 para el cálculo de M_{sb}

- Para el cálculo de M_{sn} se ingresa al Cuadro N° 2-11 considerado un suelo con rigidez nativa de 10.3 Mpa según el estudio de suelos del proyecto.

- El expediente "Ampliación de la Frontera Agrícola Lomas Moquegua – Ilo" considera un ancho de zanja de 2.10 m. Con el ancho de zanja y los valores de M_{sb} y M_{sn} ya calculados se ingresa al Cuadro N° 2-12 para el cálculo de S_C

- Se reemplaza los valores de S_C y M_{sb} en la ecuación (60) y se calcula M_s y posteriormente en la ecuación (52) para el cálculo de la deflexión vertical.

El cálculo de la deflexión vertical prevista se muestra en los Anexo A5 y A6

- **Verificación de la presión de pandeo admisible**

Las tuberías de GRP están sometidas a cargas radiales que generan esfuerzos compresivos en el anillo de la tubería, las cuales pueden causar inestabilidad y presión de pandeo. La presión de pandeo es resistida por la rigidez de la tubería, al igual que por el suelo de cimentación y el suelo nativo que lo rodea.

Para el cálculo de la presión de pandeo admisible usamos la ecuación (61) y su verificación se realiza mediante las ecuaciones (63) y (64)

Los cálculos de la presión de pandeo admisible se muestran en los Anexos A5 y A6.

B) Análisis por golpe de ariete

Al ser tuberías de conducción existentes solo soportan la presión estática, sin embargo, al colocar la central hidroeléctrica, estas tuberías pasan a ser tuberías forzadas que deben soportar sobrepresiones producto de una parada de turbina.

Es por este motivo que se analizara el fenómeno de golpe de ariete producto de una parada de turbina.

Para el análisis de golpe de ariete se utilizó el software Bentley HAMMER que usa el método de las características, descrito en el ítem 2.4.1, para solucionar las ecuaciones diferenciales de dicho fenómeno.

Como punto de partida, para el análisis de golpe de ariete se usó la fórmula (82) para el cálculo de la celeridad. Estos cálculos se muestran en los Anexos A7 y A8

El Manual of Water Supply Practices - M45 (2005) relaciona la clase de presión P_c con la resistencia a largo plazo (HDB) del tubo mediante la ecuación (120)

$$P_c \leq \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D_{int}} \quad (120)$$

La base de diseño hidrostático (HDB) para la clase de presión interna se basa en una prueba a largo plazo realizada de acuerdo con la norma ASTM D2992. El Manual of Water Supply Practices - M45 (2005) considera un valor para (HDB) de 0.65%.

La presión de trabajo P_w es la presión en condiciones normales de operación y se calcula mediante la ecuación (121)

$$P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \quad (121)$$

Donde:

P_w: Presión de trabajo (kpa)

H_f: Presión estática (m)

SG: Gravedad específica, para el agua es 1

Los valores de P_s han sido calculados por el software Bentley HAMMER y los valores de P_w , P_s y P_c deben cumplir la ecuación (88).

- **Consideraciones para el modelado de las centrales hidroeléctricas en el software Bentley HAMMER**

Para la simulación del fenómeno de golpe de ariete con el software Bentley HAMMER se debe tener en cuenta la ley de cierre de los alabes de las turbinas. Esta ley de cierre es el tiempo de accionamiento de los álabes de las turbinas Francis que controlan el ingreso de caudal, apertura y cierre del mismo.

El tiempo de cierre de los alabes de una turbina normalmente está en el orden de 6 a 15 segundos como máximo, Jara (2016), salvo diseños especiales de turbinas que permiten un cierre en tiempos mayores. En esta tesis se modeló el tiempo de cierre de los alabes de la turbina para 6 s, 15 s, 20 s, 30 s, 60 s y se analizó las sobrepresiones máximas y mínimas, sin dispositivos de protección y con dispositivos de protección para analizar el fenómeno del golpe de ariete.

- **Análisis de golpe de ariete en las tuberías sin dispositivos de protección**

Se realizó un primer análisis del modelo en el software Bentley HAMMER de la pequeña central hidroeléctrica sin dispositivos de protección, para observar la envolvente de presiones máximas y mínimas a lo largo de las tuberías que se produce por el fenómeno de golpe de ariete producto del cierre de los alabes de la turbina Francis.

En el Cuadro N° 4-17 se muestra las cotas de presiones máximas y presiones mínimas causadas por el fenómeno de golpe de ariete en la CH - 3

Cuadro N° 4-17 *Cotas de presiones máximas sin dispositivo de protección CH - 3*

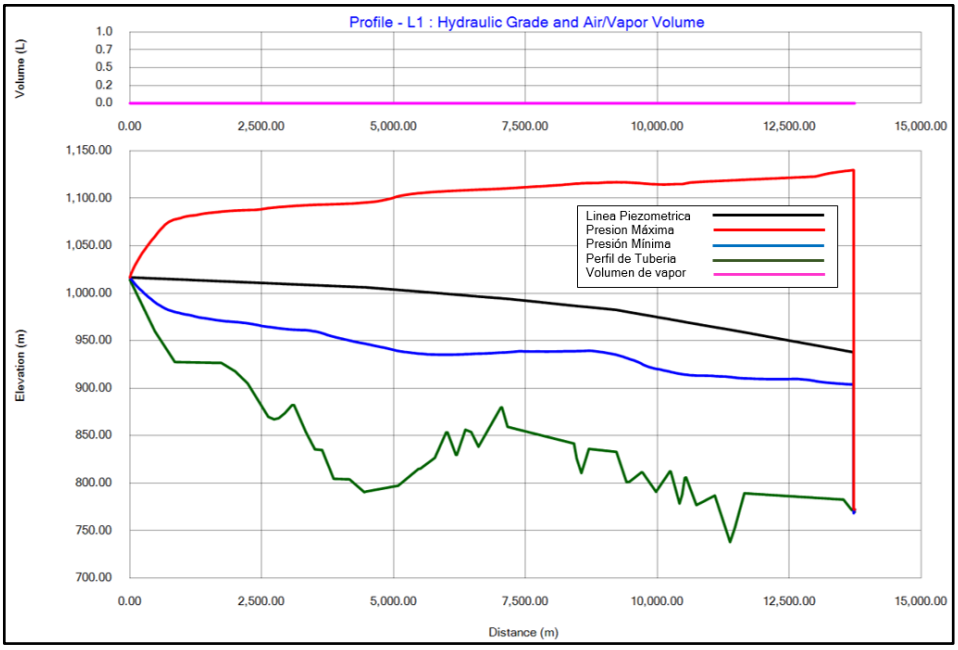
Tiempo de parada	Cota de Max Presión (msnm)	Ubicación	Maxima sobrepresión (Bar)	Ubicación
6s	1139.67	Progresiva 57+000 de L2	18.79	Turbina
15s	1135.91	Progresiva 56+137.5 de L2	18.19	Turbina
20s	1134.03	Progresiva 55+727 de L2	18.03	Turbina
30s	1130.82	Progresiva 56+689 de L2	17.81	Turbina
60s	1119.88	Turbina	17.83	Turbina

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro N° 4-17 se observa que las máximas sobrepresiones se dan en la línea 2 de tubería, específicamente en la progresiva 57+000, 56+137.5, 55+727, 56+689 y Turbina, para los tiempos de parada de 6 s, 15 s y 20 s, 30 s y 60 s, respectivamente.

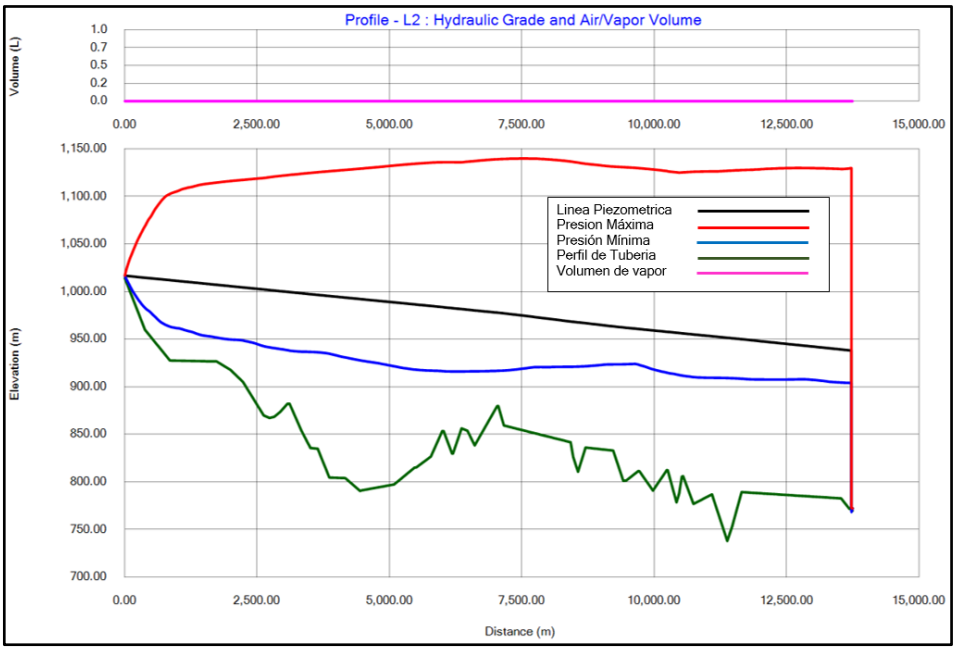
A manera de ejemplo, en las Figuras N° 4-16 y 4-17, se muestra la envolvente de presiones máximas y mínimas que se generan con una parada de turbina de 6 s en la CH – 3.

El resto de las envolventes de presiones máximas y mínimas para los tiempos de parada de 6 s, 15 s, 20 s, 30 s y 60 s se muestra en el Anexo A11



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4-16 *Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L1 sin protección*



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-17 *Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L2 sin protección*

Al realizar el análisis de golpe de ariete en la tubería existente con los tiempos de parada de turbina de 6 s, 15 s, 20 s, 30 s y 60 s, se observó que las sobrepresiones no cumplen con los criterios descritos en el Manual of Water Supply Practices - M45 (2005), específicamente con la ecuación (88).

Los cálculos de verificaciones y la envolvente de presiones máximas y mínimas, sin dispositivos de protección, para cada tiempo de parada de la turbina se muestran en los Anexo A9 y A10.

- **Análisis de golpe de ariete en las tuberías con dispositivos de protección**

El dispositivo de protección que se usará en esta tesis será una válvula de control anticipadora de onda. Se modelaron distintas ubicaciones de dicha válvula y la más favorable fue la que se ubica a 8m de la turbina Francis. Ver Plano B7

En el software Bentley HAMMER se simuló diferentes tiempos de apertura total de la válvula anticipadora de onda, estas fueron 10 s, 30 s, 60 s y 90 s, para cada tiempo de parada de la turbina y se observó que para tiempos superiores a 60 s de apertura total se mitiga la sobrepresión y se cumple con la ecuación (88).

Cuadro N° 4-18 *Tiempos para la simulación con dispositivo de protección*

Tiempo de Parada de Turbina	Tiempo de Apertura de Válvula
6s	10s
15s	
20s	
30s	
60s	
6s	30s
15s	
20s	
30s	
60s	
6s	60s
15s	
20s	
30s	
60s	
6s	90s
15s	
20s	
30s	
60s	

Fuente: Elaboración Propia

En los Cuadro N° 4-19 al 4-22 se muestra las cotas de presiones máximas y su ubicación causadas por el fenómeno de golpe de ariete con el funcionamiento de la válvula anticipadora de onda en la CH – 3

Cuadro N° 4-19 *Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 10s*

CH - 3 Con Protección - Tiempo de apertura de válvula 10s				
Tiempo parada de turbina	**Cota Max Presión (msnm)**	**Ubicación**	**Máxima sobrepresión (Bar)**	**Ubicación**
6 s	1156.68	Turbina	21.44	Turbina
15 s	1170.06	Turbina	22.74	Turbina
20 s	1172.28	Turbina	22.96	Turbina
30 s	1174.99	Turbina	23.20	Turbina
60 s	1170.83	Turbina	22.64	Turbina

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4-20 *Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 30s*

CH - 3 Con Protección - Tiempo de apertura de válvula 30s				
Tiempo parada de turbina	**Cota Max Presión (msnm)**	**Ubicación**	**Máxima sobrepresión (Bar)**	**Ubicación**
6 s	1109.76	Turbina	16.83	Turbina
15 s	1110.48	Turbina	16.89	Turbina
20 s	1110.79	Turbina	16.93	Turbina
30 s	1107.79	Turbina	16.65	Turbina
60 s	1129.04	Turbina	18.71	Turbina

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4-21 *Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 60s*

CH - 3 Con Protección - Tiempo de apertura de válvula 60s				
Tiempo parada de turbina	**Cota Max Presión (msnm)**	**Ubicación**	**Máxima sobrepresión (Bar)**	**Ubicación**
6 s	1055.67	Turbina	11.53	Turbina
15 s	1055.07	Turbina	11.47	Turbina
20 s	1055.01	Turbina	11.46	Turbina
30 s	1055.43	Turbina	11.50	Turbina
60 s	1058.14	Turbina	11.77	Turbina

Fuente: Elaboración Propia

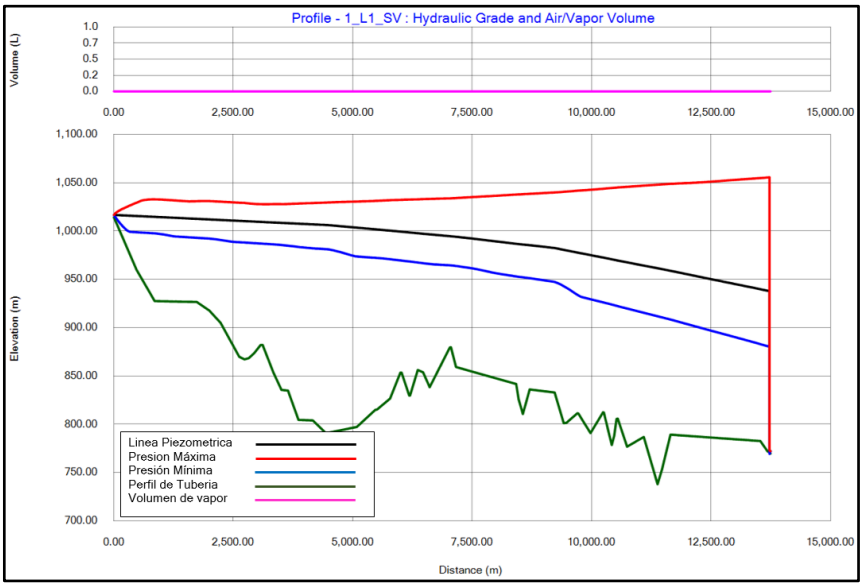
Cuadro N° 4-22 *Cotas de presiones máximas con dispositivo de protección para 90s*

CH - 3 Con Protección - Tiempo de apertura de válvula 90s				
Tiempo parada de turbina	**Cota Max Presión (msnm)**	**Ubicación**	**Máxima sobrepresión (Bar)**	**Ubicación**
6 s	1041.31	Turbina	10.12	Turbina
15 s	1041.30	Turbina	10.12	Turbina
20 s	1041.32	Turbina	10.12	Turbina
30 s	1041.34	Turbina	10.12	Turbina
60 s	1041.70	Turbina	10.16	Turbina

Fuente: Elaboración Propia

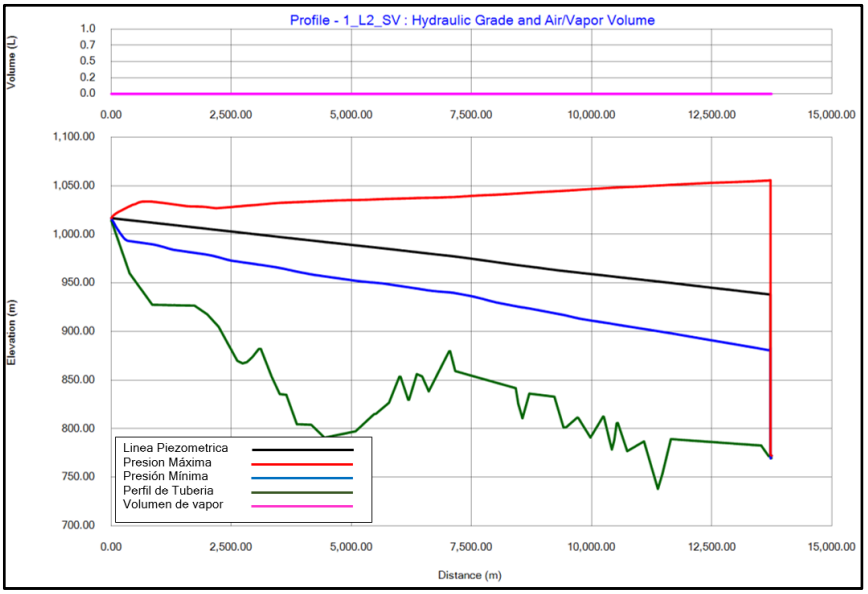
En los cuadros anteriores se observa que para tiempos de apertura de válvula superiores a 30 s la sobrepresión es menor a la observada en el Cuadro N° 4-17 y para tiempos superiores a 60 s las sobrepresiones obtenidas cumplen con la ecuación (88) para ambas líneas de tubería, esto se puede ver en los Anexo A12 y A13.

A manera de comparación con las Figuras N° 4-16 y 4-17, se muestra la envolvente de presiones máximas y mínimas en las Figuras N° 18 y N° 19 para un tiempo de apertura de válvula de 60 s y un tiempo de parada de turbina de 6 s



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-18 *Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L1 con protección*



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4-19 *Envolvente de presiones máximas y mínimas CH 3 – L2 con protección*

El resto de envolvente de momentos para los tiempos de parada de turbina y apertura total de la válvula anticipadora de onda se muestra en el Anexo A14

Cuadro N° 4-23 *Porcentajes de reducción de sobrepresiones CH-3 Línea 1*

LINEA 1															
Progresivas	Tiempo de apertura total de válvula de 30s					Tiempo de apertura total de válvula de 60s					Tiempo de apertura total de válvula de 90s				
	6s	15s	20s	30s	60s	6s	15s	20s	30s	60s	6s	15s	20s	30s	60s
	Porcentajes de reducción (%)					Porcentajes de reducción (%)					Porcentajes de reducción (%)				
50+000.00	70.67	72.20	70.09	59.95	21.12	70.67	72.20	75.29	66.34	68.81	70.67	72.20	75.29	66.34	69.09
50+380.00	72.24	71.64	68.18	61.19	33.31	72.24	71.64	72.58	66.42	63.83	72.24	71.64	72.58	66.42	71.36
51+000.00	73.97	68.04	64.95	57.33	30.43	73.97	68.04	73.43	72.85	60.81	73.97	68.04	73.43	72.85	70.75
51+260.00	75.54	67.79	62.80	55.45	28.85	75.54	67.79	69.74	72.71	57.86	75.54	67.79	69.74	72.71	67.41
51+500.00	73.12	68.52	62.55	54.62	27.87	75.19	68.52	69.95	71.85	57.14	75.19	68.52	69.95	71.85	66.60
51+520.00	72.38	68.09	61.98	53.87	27.34	74.69	68.09	69.35	70.93	56.03	74.69	68.09	69.35	70.93	65.31
51+760.00	70.15	67.14	62.09	53.91	27.41	74.86	69.06	71.14	70.71	56.45	74.86	69.06	71.14	70.71	65.87
52+000.00	67.89	65.29	61.02	53.74	27.31	75.32	69.43	71.01	70.95	56.06	75.32	69.43	71.01	70.95	65.29
52+150.00	66.51	63.87	60.31	53.30	26.74	76.02	69.34	70.31	70.80	55.59	76.02	69.34	70.31	70.80	64.71
52+260.00	65.64	62.86	59.73	53.03	26.02	76.40	69.60	70.05	70.94	55.14	76.40	69.60	70.05	70.94	64.33
52+350.00	64.83	61.99	59.40	53.15	25.80	76.62	70.14	70.05	71.29	54.89	76.62	70.14	70.05	71.29	64.11
52+460.00	63.98	61.37	59.00	53.52	25.58	77.12	70.90	70.14	71.78	54.71	77.12	70.90	70.14	71.78	64.08
52+600.00	63.00	60.84	58.55	53.99	25.49	77.64	71.58	70.40	72.28	54.62	77.64	71.58	70.40	72.28	64.06
52+640.00	62.47	60.35	58.18	53.91	25.30	77.74	71.72	70.24	72.10	54.25	77.74	71.72	70.24	72.10	63.65
52+800.00	61.62	59.61	57.88	54.25	25.32	77.82	71.75	70.56	72.26	54.49	77.82	71.75	70.56	72.45	64.00
52+866.00	60.88	58.92	57.44	54.02	25.16	77.38	71.55	70.11	71.99	54.14	77.38	71.55	70.11	72.02	63.73
53+000.00	59.94	58.20	56.94	53.97	25.22	77.27	71.60	69.83	71.81	54.32	77.27	71.60	69.83	71.81	63.90
53+035.00	59.57	57.84	56.59	53.77	25.03	77.05	71.44	69.58	71.49	54.02	77.05	71.44	69.58	71.49	63.51
53+171.00	58.52	56.87	56.00	53.80	24.79	76.91	71.61	69.52	71.61	54.40	77.11	71.61	69.52	71.61	63.91
53+391.00	56.82	55.35	54.96	53.86	24.38	76.24	71.06	69.46	72.08	54.72	77.06	71.06	69.46	72.08	64.31
53+692.00	54.53	53.15	53.72	53.68	23.57	75.35	70.35	69.50	72.10	54.96	76.35	70.35	69.50	72.28	64.55
53+972.00	52.68	51.41	53.00	53.23	22.48	74.51	69.86	69.59	71.79	54.76	75.71	69.86	69.59	72.30	64.38
54+000.00	52.16	50.91	52.48	52.74	22.12	73.95	69.51	69.39	71.24	54.14	75.24	69.51	69.39	71.79	63.66
54+614.00	50.23	48.04	49.89	50.76	20.93	74.63	70.84	70.49	72.08	55.97	76.95	70.84	70.49	73.80	65.41
55+000.00	46.99	45.14	47.20	47.81	18.73	72.80	71.65	71.68	70.15	54.49	77.54	73.02	72.76	73.72	63.58
55+033.00	46.05	44.30	46.36	46.90	18.19	71.58	70.41	70.41	68.89	53.15	76.25	73.58	73.45	73.58	62.03
55+309.00	44.45	43.92	45.73	46.34	18.02	71.18	70.18	70.13	68.84	53.88	76.15	74.13	73.97	74.00	62.92
55+524.00	42.55	43.23	44.43	45.22	17.67	70.25	69.44	69.32	68.20	53.66	75.24	74.62	74.39	73.33	62.56
55+550.00	41.98	42.71	43.89	44.65	17.41	69.58	68.80	68.70	67.56	53.05	74.54	73.94	73.69	72.63	61.79
55+709.00	41.01	42.10	43.18	43.98	17.35	69.39	68.72	68.69	67.59	53.49	74.39	73.86	73.72	72.67	62.20
55+727.00	40.55	41.70	42.75	43.56	17.15	68.93	68.26	68.22	67.13	53.09	73.91	73.37	73.23	72.18	61.71
55+889.00	39.53	41.03	42.02	42.80	17.15	68.75	68.20	68.16	67.11	53.53	73.78	73.34	73.21	72.19	62.13
56+000.00	38.63	40.38	41.29	42.04	17.13	68.24	67.70	67.64	66.63	53.36	73.22	72.83	72.71	71.71	61.92
56+137.50	37.47	39.59	40.52	41.29	17.05	67.78	67.34	67.27	66.31	53.55	72.78	72.40	72.29	71.34	61.93
56+560.00	35.34	38.27	39.12	40.60	15.91	67.20	66.81	66.72	66.30	54.50	72.23	71.86	71.77	71.27	62.68
56+583.00	34.71	37.59	38.40	39.88	15.49	66.08	65.66	65.60	65.20	53.35	71.07	70.67	70.59	70.10	61.40
56+689.00	34.58	37.47	38.20	39.74	15.16	65.85	65.40	65.34	65.07	53.39	70.99	70.57	70.49	70.01	61.58
57+000.00	34.81	35.60	36.04	38.06	14.29	65.10	64.64	64.41	64.37	53.50	70.66	70.23	70.01	69.63	61.95
57+949.00	31.30	29.70	29.68	31.59	12.69	63.08	62.13	61.83	61.76	53.44	69.63	68.74	68.39	68.00	62.33
58+000.00	29.65	28.05	27.99	29.84	11.96	60.26	59.25	58.95	58.87	50.62	66.59	65.61	65.24	64.85	59.06
58+089.00	29.15	27.47	27.46	29.25	11.77	60.03	58.93	58.72	58.60	50.51	66.39	65.34	65.01	64.60	58.97
58+232.00	28.34	26.74	26.69	28.42	11.52	59.62	58.48	58.26	58.12	50.32	66.03	64.98	64.65	64.22	58.83
58+754.00	27.16	25.33	25.55	26.99	10.85	58.54	57.37	57.15	57.00	49.91	65.27	64.13	63.79	63.39	58.78
58+944.00	25.61	24.08	24.31	25.52	9.90	56.75	55.73	55.44	55.33	48.63	63.57	62.51	62.09	61.73	57.43
59+000.00	24.79	23.41	23.71	24.80	9.56	55.74	54.77	54.51	54.39	47.84	62.51	61.50	61.10	60.73	56.55
59+229.00	22.98	21.96	22.34	23.23	8.69	54.78	53.99	53.74	53.61	47.48	61.79	60.89	60.46	60.14	56.35
59+249.50	21.98	21.46	21.83	22.69	8.43	53.59	53.05	52.79	52.66	46.60	60.55	59.85	59.44	59.11	55.36
59+505.00	20.36	20.18	20.60	21.35	7.60	52.79	52.41	52.16	52.11	46.47	60.00	59.39	58.99	58.74	55.35
59+767.00	18.34	18.97	19.21	19.82	6.62	50.85	50.91	50.57	50.62	45.43	58.23	57.92	57.51	57.30	54.32
59+784.00	17.85	18.50	18.72	19.30	6.41	49.86	49.95	49.61	49.64	44.55	57.15	56.83	56.43	56.25	53.30
59+950.00	17.14	17.81	17.94	18.43	5.70	49.38	49.44	49.12	49.15	44.34	56.83	56.44	56.06	55.90	53.21
60+000.00	16.71	17.30	17.51	17.95	5.41	48.68	48.72	48.48	48.45	43.81	56.13	55.68	55.36	55.19	52.60
60+051.00	16.59	16.92	17.12	17.56	5.21	48.53	48.40	48.14	48.13	43.63	55.97	55.36	55.06	54.91	52.44
60+075.00	16.57	16.64	16.91	17.37	5.10	48.41	48.09	47.91	47.91	43.47	55.82	55.08	54.81	54.69	52.24
60+270.50	16.31	15.82	16.00	16.60	4.47	48.31	47.54	47.41	47.53	43.40	55.82	54.66	54.42	54.40	52.24
60+620.00	14.99	13.99	14.25	14.98	3.35	47.22	46.10	46.11	46.36	42.80	54.91	53.36	53.25	53.37	51.65
60+909.00	13.61	13.02	13.06	13.56	2.42	45.86	44.86	44.83	44.84	41.67	53.52	52.08	51.93	51.95	50.52
61+000.00	13.06	12.68	12.63	12.97	2.11	44.94	43.99	43.96	43.84	40.83	52.51	51.13	50.98	50.91	49.59
61+180.00	12.64	12.46	12.39	12.49	1.61	44.48	43.66	43.65	43.28	40.46	52.11	50.82	50.72	50.48	49.33
62+000.00	12.07	11.23	10.73	11.37	-1.73	43.37	42.38	42.31	41.97	39.47	51.08	50.00	49.87	49.76	48.85
63+000.00	10.93	8.01	6.93	7.42	-4.79	41.35	39.82	39.40	38.46	36.77	49.25	47.65	47.19	46.58	46.27
63+060.00	10.44	7.51	6.50	6.92	-4.61	39.16	37.58	37.18	36.22	34.67	46.66	45.02	44.56	43.92	43.68
63+216.52	10.56	7.35	6.37	6.72	-4.86	39.05	37.37	36.91	35.87	34.40	46.59	44.86	44.38	43.66	43.48
Turbina	10.41	7.11	6.12	6.54	-4.92	38.62	36.92	36.45	35.41	34.02	46.13	44.36	43.88	43.16	43.03

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4-24 *Porcentajes de reducción de sobrepresiones CH-3 Línea 2*

LINEA 2															
Progresivas	Tiempo de apertura total de válvula de 30s					Tiempo de apertura total de válvula de 60s					Tiempo de apertura total de válvula de 90s				
	6s	15s	20s	30s	60s	6s	15s	20s	30s	60s	6s	15s	20s	30s	60s
	Porcentajes de reducción (%)					Porcentajes de reducción (%)					Porcentajes de reducción (%)				
50+000.00	78.19	72.94	66.54	55.70	22.31	78.19	80.62	81.99	78.45	64.56	78.19	80.62	81.99	83.16	72.84
50+380.00	76.48	65.46	59.63	46.29	-7.70	76.48	79.91	87.15	85.97	71.60	76.48	79.91	87.15	89.25	75.69
51+000.00	77.43	68.37	62.46	56.42	30.37	78.53	78.65	79.63	75.48	59.77	78.53	78.65	79.63	80.14	68.13
51+260.00	72.50	65.05	58.27	52.98	27.82	80.11	77.14	77.67	71.44	54.79	80.11	77.14	77.67	76.05	62.80
51+500.00	69.32	64.10	57.25	51.62	28.14	80.26	77.60	77.17	70.39	53.99	80.26	77.60	78.17	74.98	61.91
51+520.00	68.33	63.28	56.43	50.58	27.23	79.79	76.78	76.04	69.03	52.43	79.79	76.78	77.13	73.56	60.14
51+760.00	66.55	63.17	57.49	50.33	27.56	80.03	77.87	76.91	69.40	53.12	80.03	77.87	78.66	74.07	61.09
52+000.00	64.09	61.90	56.88	49.75	27.40	79.33	78.14	76.41	68.99	52.43	80.59	78.14	77.64	73.63	60.41
52+150.00	62.42	60.42	56.33	49.34	26.22	78.00	77.88	75.71	68.30	51.63	81.04	78.18	76.81	72.94	59.51
52+260.00	61.46	59.46	56.05	49.12	25.58	77.21	77.13	75.27	67.88	51.08	80.49	77.67	76.59	72.52	59.02
52+350.00	60.71	58.67	55.85	49.06	25.15	76.59	76.54	74.95	67.59	50.81	79.96	77.25	76.50	72.29	58.77
52+460.00	60.03	57.95	55.58	49.15	25.04	76.04	76.03	74.68	67.53	50.68	79.51	77.06	76.53	72.23	58.66
52+600.00	59.18	57.46	55.12	49.75	24.83	75.34	75.60	74.30	67.56	50.52	78.97	77.10	76.67	72.27	58.54
52+640.00	58.56	56.99	54.72	49.72	24.43	74.74	75.06	73.81	67.15	49.98	78.42	77.08	76.59	71.85	57.99
52+800.00	57.63	56.06	54.43	50.65	24.45	74.23	74.66	73.64	67.30	50.13	78.07	77.24	76.98	72.08	58.28
52+866.00	56.64	55.08	53.95	50.67	24.09	73.55	74.03	73.13	66.86	49.61	77.43	77.18	76.93	71.64	57.75
53+000.00	55.35	53.79	53.56	51.16	23.67	73.08	73.56	72.90	66.93	49.76	77.08	77.23	76.78	71.73	57.96
53+035.00	54.85	53.27	53.19	50.88	23.41	72.62	73.10	72.46	66.53	49.36	76.60	76.86	76.32	71.29	57.46
53+171.00	53.85	52.29	52.83	51.11	23.33	72.35	72.82	72.31	66.81	49.78	76.39	76.63	76.21	71.53	57.86
53+391.00	52.19	50.93	51.96	51.09	23.50	71.82	72.23	71.83	66.98	50.19	75.88	76.07	75.73	71.61	58.13
53+692.00	50.15	49.11	50.72	51.08	23.57	71.00	71.38	71.10	67.03	50.61	75.14	75.29	75.05	71.59	58.47
53+972.00	48.43	47.24	49.27	50.05	22.92	69.95	70.28	70.29	66.64	50.33	74.21	74.34	74.31	71.21	58.16
54+000.00	47.77	46.58	48.62	49.42	22.48	69.16	69.47	69.50	65.89	49.51	73.38	73.51	73.49	70.40	57.24
54+614.00	45.23	44.29	46.76	48.12	21.56	69.18	69.26	69.32	66.85	51.25	73.54	73.49	73.45	71.31	58.91
55+000.00	42.37	42.51	44.94	46.32	20.10	67.57	67.56	67.55	65.60	50.42	71.98	71.86	71.76	70.00	57.83
55+033.00	41.65	41.83	44.22	45.59	19.65	66.60	66.58	66.55	64.62	49.42	70.97	70.84	70.71	68.98	56.72
55+309.00	40.60	41.61	43.71	45.46	18.96	66.43	66.36	66.24	64.73	50.15	70.91	70.78	70.58	69.17	57.47
55+524.00	39.18	41.05	42.71	44.70	18.08	65.65	65.63	65.45	64.17	50.07	70.13	70.07	69.82	68.59	57.29
55+550.00	38.70	40.73	42.25	44.25	17.78	65.11	65.11	64.91	63.65	49.58	69.57	69.52	69.25	68.03	56.72
55+709.00	37.76	40.43	41.53	43.69	17.16	64.92	64.98	64.71	63.64	49.97	69.43	69.45	69.13	68.03	57.08
55+727.00	37.39	40.15	41.19	43.34	16.92	64.51	64.60	64.31	63.24	49.63	69.02	69.05	68.72	67.63	56.70
55+889.00	36.53	39.61	40.49	42.73	16.27	64.27	64.35	64.02	63.05	49.86	68.87	68.93	68.56	67.56	57.02
56+000.00	36.08	39.03	39.84	42.07	15.79	63.95	63.86	63.51	62.60	49.69	68.54	68.47	68.10	67.14	56.84
56+137.50	35.62	38.47	39.18	41.36	15.25	63.73	63.46	63.08	62.26	49.68	68.31	68.11	67.71	66.81	56.81
56+560.00	34.71	37.55	37.98	40.10	13.58	63.48	62.78	62.34	61.60	49.70	68.09	67.50	67.07	66.36	57.24
56+583.00	34.22	36.82	37.21	39.38	13.23	62.57	61.73	61.27	60.65	48.76	67.13	66.40	65.96	65.36	56.19
56+689.00	34.18	36.65	37.17	38.54	12.80	62.45	61.49	61.03	60.43	48.72	67.04	66.27	65.82	65.25	56.28
57+000.00	34.14	33.63	34.18	35.62	11.70	61.70	60.68	60.23	59.65	48.76	66.65	65.74	65.31	64.77	56.56
57+949.00	29.55	27.68	27.65	29.34	9.97	59.45	58.30	57.87	57.32	48.51	65.25	64.17	63.81	63.30	57.04
58+000.00	26.88	25.13	25.41	27.41	9.49	56.27	55.16	54.94	54.60	46.23	62.03	60.97	60.77	60.43	54.40
58+089.00	26.32	24.71	24.91	26.94	9.44	55.89	54.83	54.62	54.30	46.13	61.74	60.70	60.54	60.19	54.33
58+232.00	25.40	24.03	24.14	26.20	9.39	55.25	54.32	54.11	53.87	45.99	61.23	60.29	60.12	59.81	54.21
58+754.00	24.08	22.86	22.90	24.90	8.34	53.77	53.01	52.85	52.64	45.76	60.11	59.32	59.13	58.88	54.14
58+944.00	21.80	20.85	21.27	23.42	7.58	51.57	50.99	51.01	50.99	44.67	58.00	57.38	57.34	57.21	52.93
59+000.00	21.25	20.03	20.68	22.91	7.33	50.96	50.27	50.37	50.44	44.33	57.40	56.70	56.72	56.67	52.54
59+229.00	20.19	18.93	19.72	21.78	6.57	50.36	49.66	49.81	49.95	44.11	57.00	56.26	56.31	56.26	52.35
59+249.50	19.53	18.17	19.06	21.27	6.44	49.68	48.92	49.13	49.39	43.74	56.33	55.53	55.63	55.67	51.93
59+505.00	18.57	17.29	18.10	20.25	5.98	49.15	48.40	48.65	48.92	43.59	56.02	55.18	55.32	55.37	51.84
59+767.00	17.16	15.91	16.83	19.02	5.21	47.90	47.16	47.54	47.89	42.96	54.94	54.09	54.33	54.49	51.25
59+784.00	16.18	15.21	16.13	18.54	5.08	46.93	46.34	46.75	47.24	42.53	54.00	53.30	53.54	53.84	50.79
59+950.00	15.82	14.98	15.75	18.09	4.54	46.51	46.05	46.40	46.90	42.32	53.71	53.08	53.28	53.59	50.65
60+000.00	15.14	14.86	15.21	17.64	4.33	45.83	45.75	45.83	46.42	42.02	53.07	52.77	52.73	53.12	50.32
60+051.00	14.95	14.84	15.07	17.37	4.13	45.60	45.66	45.68	46.19	41.88	52.86	52.67	52.58	52.91	50.20
60+075.00	14.92	14.82	15.00	17.18	4.01	45.52	45.56	45.58	46.02	41.78	52.77	52.59	52.47	52.74	50.10
60+270.50	14.85	14.76	14.72	16.63	3.29	45.43	45.51	45.36	45.69	41.53	52.73	52.54	52.30	52.48	49.96
60+620.00	14.20	14.31	13.98	15.37	2.07	44.83	45.06	44.74	44.78	40.87	52.18	52.13	51.72	51.69	49.43
60+909.00	13.38	13.53	12.96	13.92	1.33	44.13	44.30	43.86	43.66	40.17	51.52	51.41	50.92	50.67	48.74
61+000.00	13.10	13.18	12.56	13.26	1.11	43.71	43.79	43.35	42.97	39.68	51.05	50.86	50.36	49.99	48.22
61+180.00	12.77	12.75	12.06	12.62	0.67	43.42	43.40	42.95	42.46	39.35	50.84	50.55	50.04	49.60	47.98
62+000.00	13.07	11.84	10.83	11.20	-1.77	42.71	42.09	41.60	40.88	38.12	50.39	49.53	48.98	48.43	47.15
63+000.00	11.24	9.18	8.01	8.08	-4.60	40.63	39.69	39.15	37.93	35.83	48.27	47.19	46.64	45.75	45.07
63+060.00	10.45	7.88	6.84	7.07	-4.56	39.05	37.77	37.29	36.20	34.61	46.52	45.13	44.64	43.87	43.57
63+216.52	10.51	7.58	6.57	6.85	-4.80	38.91	37.44	36.97	35.87	34.32	46.42	44.86	44.36	43.60	43.36
Turbina	10.41	7.11	6.12	6.54	-4.92	38.62	36.92	36.45	35.41	34.02	46.13	44.36	43.88	43.16	43.03

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 Diseño de casa de máquinas

Para el diseño de la casa de máquinas se tuvo en cuenta las ecuaciones descritas en el item 2.3.3. Los planos de diseño se muestran en los Anexos B7 y B8.

A) Selección de turbina

Para seleccionar la turbina se tiene que conocer la potencia que se genera en cada casa de máquinas, para ello se ha tomado valores de eficiencia del generador del Cuadro N° 2-7 y valores de eficiencia de la turbina del Cuadro N° 2-8. Los cálculos se muestran en el cuadro N° 4-25.

Cuadro N° 4-25 *Cálculo de Potencia*

Centrales	Caudal Diseño (m^3/s)	Eficiencia del Generador n_g	Eficiencia de la Turbina n_t	Alt Neta (m)	Potencia (MW)
CH - 3	1.5	0.97	0.88	165.66	2.08

Fuente: Elaboración Propia

Con la potencia obtenida se procede a calcular la velocidad especifica mediante la ecuación (77) y la velocidad de giro del rodete con la ecuación (78). Como resultados de los cálculos se obtuvo una velocidad específica y velocidad de rodete de 80.55 rpm y 900 rpm respectivamente. Con la velocidad específica y la altura neta se obtuvo una turbina Francis.

Los cálculos de la selección de turbina y altura de succión se muestran en el Anexos A15.

B) Dimensionamiento de la casa de máquina

Para dimensionar la casa de máquinas se debe tener en cuenta las ecuaciones (70) a (76), estas ecuaciones dependen del diámetro del rodete y el número de unidades.

Para dimensionar el rodete y el tubo de aspiración se usaran las ecuaciones de F.Siervo y F. Leva, Morales (2000), las cuales dimensionan una turbina Francis, partiendo de la velocidad específica que se muestra en la ecuación (77). Las dimensiones de las casas de máquinas se muestran en el Cuadro N° 4-26

Cuadro N° 4-26 *Medidas de casa de máquinas*

Descripción	$L_a\ (m)$	$L_g\ (m)$	$S_l\ (m)$	$B_l\ (m)$	$T_{an}\ (m)$
CH - 3	24.0	12.0	14.8	20.0	4.5

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro N°4-26 se observa que las dimensiones de la casa de máquinas de la CH-3.

El cálculo de las dimensiones de la casa de máquinas se muestra en el Anexo A16.

CAPÍTULO V: COSTO DEL PROYECTO

En este capítulo se determinará el costo referencial de obra a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada. Para ello se determina los costos paramétricos de los siguientes componentes:

- Cámara de carga
- Casa de máquinas
- Turbinas
- Subestación
- Líneas de transmisión

5.1 COSTOS PARAMÉTRICOS

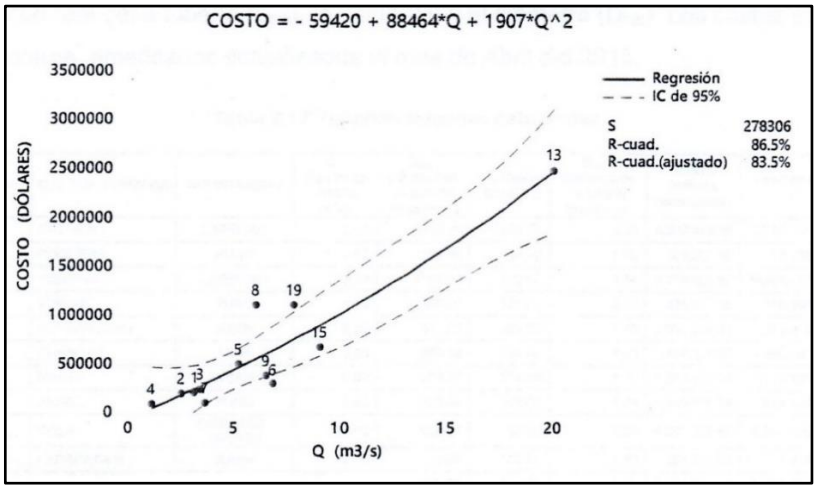
Para la determinación de los costos se ha considerado usar curvas paramétricas estudiadas en la investigación de Flores (2016), que relacionan el costo de los componentes de una pequeña o minicentral hidroeléctrica y variables que están sujetas al diseño de cada componente.

Estas curvas paramétricas estiman el costo de inversión a nivel de prefactibilidad para centrales hidroeléctricas con una potencia menor a 20 Mw sin chimenea de equilibrio. Algunas de las centrales hidroeléctricas estudiadas en dicha investigación son las siguientes:

- CH Tupuri de 1.87 Mw ubicada en el departamento de Puno
- CH Poquera de 2.30 Mw ubicada en el departamento de Puno
- CH 08 de agosto de 8 Mw ubicada en el departamento de Huánuco
- CH Nimpana de 14.08 Mw ubicada en el departamento de La Libertad
- CH Cativen I de 14.81 Mw ubicada en el departamento de La Libertad

5.1.1 Costo paramétrico cámara de carga

Para el cálculo del costo de la cámara de carga se usa la curva paramétrica que se muestra en la Figura N° 5-1 que esta función del caudal de diseño Q.



Fuente: Flores (2016)

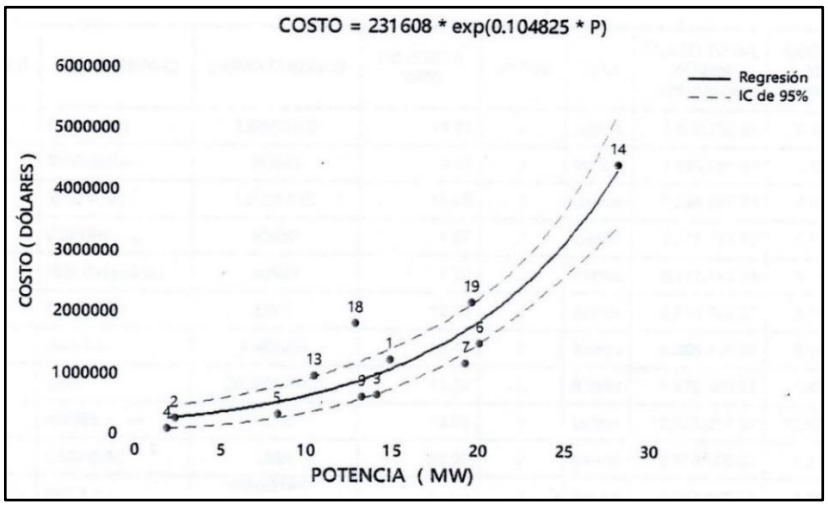
Figura N° 5-1 *Costo paramétrico cámara de carga*

Según la Figura N° 5-1 el costo paramétrico de la cámara de carga se representa mediante la ecuación (122)

$$Costo = -59420 + 88464Q + 1907Q^2 \qquad (122)$$

5.1.2 Costo paramétrico casa de máquinas

Para el cálculo del costo de la casa de máquinas se usa la curva paramétrica que se muestra en la Figura N° 5-2 que está en función de la potencia real P_r



Fuente: Flores (2016)

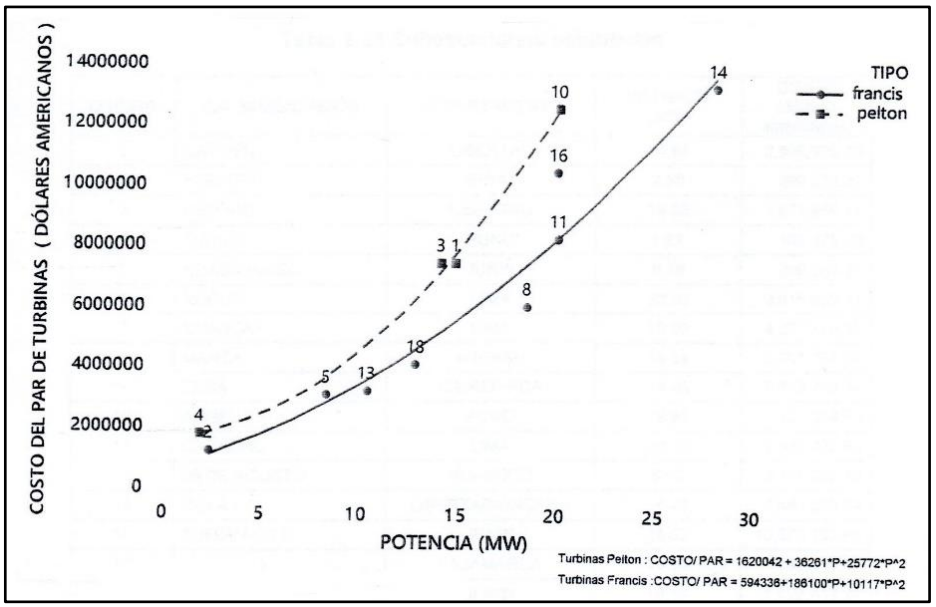
Figura N° 5-2 *Costo paramétrico casa de máquinas*

Según la Figura N° 5-2 el costo paramétrico de la casa de máquinas se representa mediante la ecuación (123)

$$Costo = 231608 * \exp(0.104825 P_r) \quad (123)$$

5.1.3 Costo paramétrico turbinas

Para el cálculo del costo de las turbinas se usa la curva paramétrica que se muestra en la Figura N° 5-3 que está en función de la potencia real P_r.



Fuente: Flores (2016)

Figura N° 5-3 *Costo paramétrico turbinas*

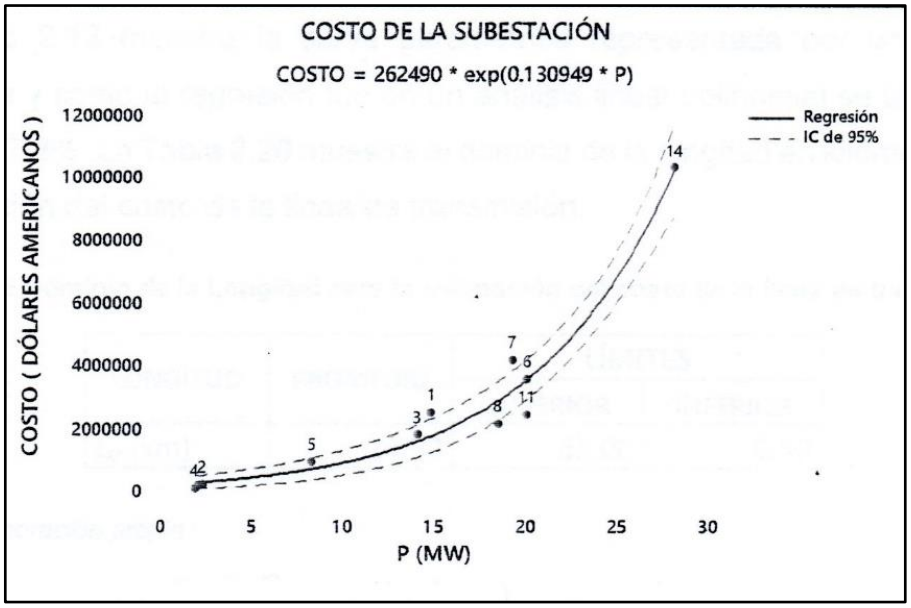
Según la Figura N° 5-3 el costo paramétrico de las turbinas se representa mediante las ecuaciones (124) y (125)

$$Turbina\ Pelton: \quad Costo/Par = 1620042 + 36261 P_r + 25772 P_r^2 \quad (124)$$

$$Turbina\ Francis: \quad Costo/Par = 594336 + 186100 P_r + 10117 P_r^2 \quad (125)$$

5.1.4 Costo paramétrico subestación

Para el cálculo del costo de una subestación se usa la curva paramétrica que se muestra en la Figura N° 5-4 que está en función de la potencia real P_r.



Fuente: Flores (2016)

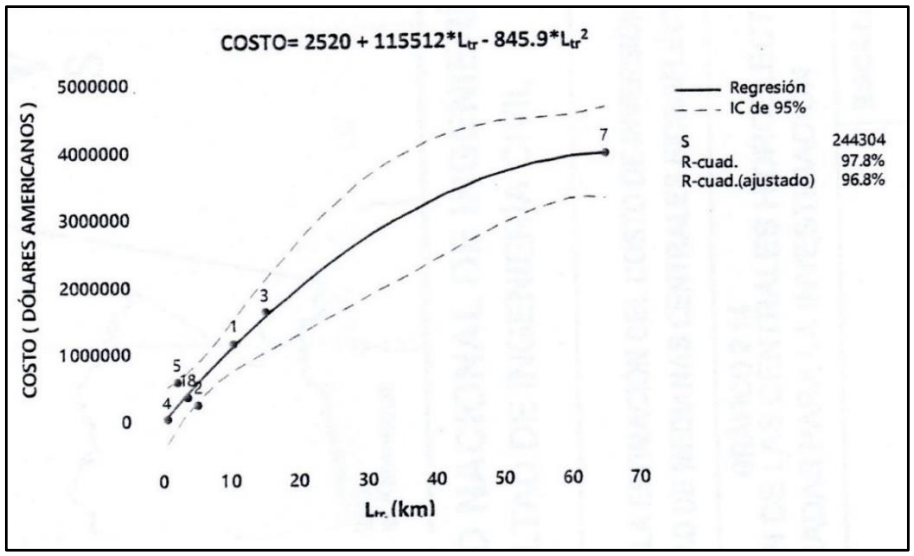
Figura N° 5-4 *Costo paramétrico de subestación*

Según la Figura N° 5-4 el costo paramétrico de las turbinas se representa mediante las ecuaciones (126)

$$Costo = 262490 * \exp(0.130949 P_r) \quad (126)$$

5.1.5 Costo paramétrico líneas de transmisión

Para el cálculo del costo de las líneas de transmisión se usa la curva paramétrica que se muestra en la Figura N° 5-5 que está en función de la longitud de la línea L_{tr}.



Fuente: Flores (2016)

Figura N° 5-5 *Costo paramétrico de líneas de transmisión*

Según la Figura N° 5-5 el costo paramétrico de las líneas de transmisión se representa mediante las ecuaciones (127)

$$Costo = 2520 + 115512L_{tr} - 845.9L_{tr}^2 \quad (127)$$

5.2 PRESUPUESTO

En la investigación de Flores (2016) se realizó una validación de las curvas paramétricas realizando una comparativa entre el costo total de la CH Cativen I a nivel de ingeniería de detalle contra el costo total usando las curvas paramétricas. Esta comparación arrojo una diferencia del 15.82% la cual es aceptable en niveles de estudios de perfil y prefactibilidad, Flores (2016).

En base a las ecuaciones descritas en el ítem 5.1 se ha calculado los costos de cada componente de la alternativa seleccionada. A continuación, se muestra el presupuesto elaborado mediante las curvas paramétricas para el escenario de venta de energía de la alternativa seleccionada.

Cuadro N° 5-1 *Presupuesto de alternativa seleccionada para venta de energía*

ALTERNATIVA 02 CH-3 - Venta de Energia					
	DESCRIPCIÓN	Unidad	Metrado	**Precio al 2016**	**Precio Febrero 2020**
A.1	**TRABAJOS PRELIMINARES Y OBRAS PROVISIONALES**	Glb	1	**194,945.21**	**215,508.53**
A.4	**CENTRAL HIDROELECTRICA CH - 3**			**1,429,598.23**	**1,580,395.86**
A.4.1	Cámara de carga	Glb	1	77,566.75	85,748.69
A.4.2	Casa de máquinas	Glb	1	288,059.53	318,444.77
A.4.3	Turbina Francis (2.08 MW)	Glb	1	512,689.46	566,769.24
A.4.4	Subestación	Glb	1	344,706.36	381,066.85
A.4.5	Lineas de transmisión	Km	1.79	206,576.13	228,366.30
A.5	**TOTAL COSTO DIRECTO**			**1,624,543.44**	**1,795,904.38**

Fuente: Elaboración Propia

En resumen, se analizó la conducción por tubería existente del proyecto Jaguay – Ilo para fines de generación eléctrica. En la cual se plantearon 2 alternativas con 3 casas de máquinas cada una. Luego de hacer una evaluación económica a las alternativas planteadas para fines de venta de energía y uso agroindustrial se llegó a la conclusión que la CH-3 de la alternativa Nº2, individualmente tiene mejores indicadores económicos para el escenario de venta de energía.

Es por eso que se muestra los Cuadros Nº 5-1 con el presupuesto referencial de la CH-3 para el escenario de venta de energia.

CONCLUSIONES

El proyecto "Ampliación de la Frontera Agrícola Lomas Moquegua - Ilo" con fines de irrigación, cuyo caudal de diseño es de 1.5 m³/s, tiene una conducción por tubería GRP de 63 km de longitud y un desnivel aproximado de 716.78 m. Esta conducción se analizó para la implementación de minicentrales hidroeléctricas llegando a las siguientes conclusiones:

- Se aprovechó el desnivel de las 3 cámaras rompe presión que se muestran en la Figura N° 1-9, reemplazando dichas cámaras por casas de máquinas para su respectivo análisis.

- Se analizó 2 alternativas de configuración de casas de máquinas, la primera como se muestra en el esquema de la Figura N° 3-2 que consta de dos turbinas y la segunda como se muestra en el esquema de la Figura N° 3-7 que consta de una sola turbina.

- A cada alternativa se le realizó una evaluación económica tomando en cuenta 2 escenario, un escenario para uso agroindustrial y otro escenario para venta de energía, como se muestra en los Cuadros N° 3-12 y 3-13

- La evaluación económica arrojó que la CH-3 de la alternativa 2 tiene los mejores indicadores económicos tanto para el escenario de venta de energía. Por tal motivo es la seleccionada para el diseño. Esta alternativa consta de una casa de máquinas con una turbina Francis ubicada en la progresiva 63+258.70 y su Cámara de carga ubicada en la progresiva 49+480.

- La CH-3 de la alternativa 2 genera en promedio 2.08 MW de potencia y 12151.93 MW-h de energía para un tiempo de 16 horas de funcionamiento diario, que es el tiempo de riego que se especifica en el expediente “Ampliación de la Frontera Agrícola de las Lomas Moquegua – Ilo”

- Para el diseño de la alternativa seleccionada, se tuvo que convertir la cámara rompe presión de la progresiva 49+480 que se muestra en la Figura N° 1-9 en cámara de carga y convertir la cámara rompe presión de la progresiva 63+258.70 en casa de máquinas, obteniéndose la configuración final de la CH-3 como se muestra en la Figura N° 3-11

- Al tramo de tubería existente entre la cámara de carga (49+480) y la casa de máquinas (63+258.70) se le hizo una verificación por golpe de ariete producida por una parada de turbina de 6s, 15s, 20s, 30s y 60s, arrojando resultados de sobrepresiones para lo cual las tuberías no estaban diseñadas he incumpliendo la ecuación (88). Motivo por el cual se tuvo que implementar un dispositivo de protección, como es una válvula anticipadora de onda.

- Se modelo el tramo de tubería existente para tiempos de apertura total de válvula de 10s, 30s, 60s y 90s como se muestra en el Cuadro N°4-15. Y se observó que para tiempos mayores a 60s de apertura total de la válvula anticipadora de onda, las sobrepresiones se reducen en promedio en un 70% al inicio de la tubería y en un 30% en la turbina. Ver Cuadros 4-20 y 4-21

- El costo total de la CH-3 para el escenario de venta de energía es de 1 795 904.38 dólares americanos. Ver cuadros N° 5-1

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el estudio de topografía y de mecánica de suelos en la zona de la cámara de carga (49+480) y la casa de máquinas (63+258.70)

- Se recomienda tener cotizaciones de proveedores de cada componente de la central hidroeléctrica para tener una visión del costo real del proyecto.

- Se recomienda a futuro convertir las otras cámaras de carga en casas de máquinas en la alternativa Nº2 para el escenario de venta de energía por tener mejores indicadores económicos.

- Extender el estudio no solo a conducciones por tubería sino también a canales existentes que hay en todo el Perú.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aguado, J. C. (2009). *Estudio del fenómeno de cavitación en la bomba-turbina tipo Francis, operando como bomba, del banco experimental del laboratorio de energía de la FIM-UNI*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Argote, L. (2015). *Impacto De Las Inversiones En La Actividad De Generación Eléctrica para el Desarrollo Socio Económico del País*. (Tesis para optar el grado académico de doctor en contabilidad y finanzas). Repositorio académico USMP. http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/handle/usmp/1863/argote_ll.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arteta, J. D. (1991). *Proyecto de una minicentral hidroeléctrica de 120kW para la localidad de Quillabamba (Cusco) con fines agroindustriales*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Ayala, D., y Cathme, D. (2016). *Análisis de transientes hidráulicos y golpe de ariete de tuberías largas en el proyecto Salve Faccha*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingenieros Civil). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Aylas, D. P. (2015). *Optimización de la generación de la central hidroeléctrica Malpaso*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Basurto, I. (2014). *Pérdidas de energía en cruces de tuberías*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.

Castillo, J. A. (2010). *Proyecto de una minicentral hidroeléctrica de 120 kW en el distrito de Independencia – Huaraz para el desarrollo agropecuario sustentable.* (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Chaudhry, M. H. (1979). *Applied hydraulic transients*. (1a ed.). Van Nostrand Reinhold Cornpany.

Comisión Nacional del Agua (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. (1a y 2a ed.). www.cna.gob.mx

Comisión Nacional de Riego (2008). *Centrales Hidroeléctricas asociadas a obras de riego: Manual para organizaciones de usuarios de aguas*. Comisión Nacional de Energía.

Correa, L. R. (2012, Noviembre). *Generación de energía hidroeléctrica en canales de regadío*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil con mención en ingeniería Hidráulica Sanitaria y Ambiental). Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile

Cuesta, L., y Vallarino, E. (2000). *Aprovechamientos hidroeléctricos. Tomo I*. (1a ed.). Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.

Cuesta, L., y Vallarino, E. (2000). *Aprovechamientos hidroeléctricos. Tomo II*. (1a ed.). Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.

Dejo, L. L. J. (2004). *Adecuación de la central hidroeléctrica Yaupi para su óptima operación en cascada con la nueva central hidroeléctrica Yunca*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Dolores, J. (1992). *Centrales hidroeléctricas* (1a ed.). Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Ciudad de México.

Flores, E. A. (2016). *Metodología para la estimación del costo de inversión a nivel de pre-factibilidad de medianas centrales hidroeléctricas*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Galarza, J. L. (2015). *Metodología para el diseño de turbinas en pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad menor a 10 MW- con ejemplo de aplicación*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecánico). Facultad de ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Gálvez, D. (2011). *Cálculo estructural de tuberías enterradas por el método de elementos finitos, con base en el informe técnico CEN/TR 1295-3*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.

García, H. y Nava, A. (2014). *Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas*. (1a ed.). Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México.

García Pérez, M. A. (2011). *Turbomáquinas – Turbinas Hidráulicas*. (Informe Final). Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Nacional Del Callao. Lima, Perú.

García Valdeolivas, J. L. (2013). *Comportamiento estructural de tuberías forzadas y blindajes en saltos hidroeléctricos. Propuestas de diseño y cálculo*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Gardea, H. (1990). *Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo*. (1a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.

GRP Pavco (2015, Marzo). *Manual técnico*. (3a ed.). Colombia

Guaycochea, D. (1992). *Flujo en tubos a presión*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Gunnar, S. (2010). *Evaluation of a Potential Site for a Small Hydropower Plant Located in the BioBio North Irrigation System, Chile*. Urban Lundin, Uppsala University. Biobío, Chile.

Hadjerioua, B., Christian, M., Lee, K., & Mauer, E. (2016, Julio). *Small Hydropower Development on Irrigation Canals in the United States: The 45-Mile Hydropower Project 3MW Project Performance and Lessons Learned- Full Story.* https://www.researchgate.net/publication/305993536_Small_Hydropower_Development_on_Irrigation_Canals_in_the_United_States_The_45-Mile_Hydropower_Project_3MW_Project_Performance_and_Lessons_Learned-_Full_Story

Informe Final (2010, Octubre). *Estudio exploratorio para el aprovechamiento de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas en áreas de estudio pertenecientes al oasis norte de la provincia de Mendoza*. Secyt Ciencia Tecnologiae Innovación Productiva, Departamento central de Irrigación Agua es Futuro, Instituto Tecnológico Universitario, IDE UNCuyo Instituto de Energía. Mendoza, Argentina.

Jara, L. F. (2016). *Influencia de la sobre velocidad en las sobrepresiones de los sistemas hidráulicos de las centrales hidroeléctricas equipadas con turbinas Francis*. (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional.. Quito, Ecuador.

Lozada, J. M. (2010, Setiembre). *Análisis del flujo no permanente en tuberías de presión para aprovechamientos hidroeléctricos*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Luque, L. G. (2013, 13 de setiembre). *Línea del tiempo: Historia de la electricidad en el Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E.A.P. Ingeniería Eléctrica. https://es.slideshare.net/luiguiluquecallo/linea-del-tiempo-de-la-electricidad-en-el-peru

Mamani, J. C. (2017). *Estudio y diseño a nivel de perfil de una central hidroeléctrica en el Río Blanco, distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, departamento de Puno*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas. Universidad Nacional del Altiplano–Puno. Puno, Perú.

Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas (1985). *Obras civiles. Vol. 3*. II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas-PCH.

Manual of Water Supply Practices - M45 (2005). *Fiberglass Pipe Design* (2a ed.). American Water Works Association.

Marchegiani, A. R. (2006, Octubre). *Cavitación. Vols. 1-2*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires, Argentina.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. (2a ed.). Ediciones Del Castillo S.A.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima, Perú.

Montero, I. E., y Santana Salinas, W. A. (2010). *Diseño de una turbina hidráulica para el proyecto energético "La Sirena"*. (Monografía para optar al Título de

Ingeniero Civil). Facultad de Tecnología de la Industria. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

Morales, M. P. (2000). Diseño de turbinas Francis en C++ Builder. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 10(1-2), 125-136.

Moreno, R. R., y Naranjo, J P. (2012, Julio). *Diseño de un parque de microcentrales hidroeléctricas para la cuenca baja del rio San Francisco del Cantón Gualaceo provincia del Azuay*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecánico). Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. Cuenca, Ecuador

Muñoz, J. G. (2015*). Evaluación de la implementación de los lineamientos del PMBOK en alcance y costos en proyectos de irrigación*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería. Universidad Ricardo Palma. Lima, Peru

Ochoa, T. (2002). *Centrales Hidroeléctricas. Tomo I*. Ediciones Grancolombianas.

Ortiz, R. (2001). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. McGraw-hill Interamericana, S.A.

Pajuelo, V. A. (2007). *Estudio de la pequeña central hidroeléctrica de Monzón*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Pantigozo, W., y Jaimes, J. R. (2019). *Diseño y construcción de un modelo de turbina Francis a partir de un prototipo de 200 KW de potencia usando la teoría de la semejanza hidráulica*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecánico). Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú.

Proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua. (2013, Agosto). *Expediente técnico: Construcción de la línea de conducción N.° 1, Jaguay-Lomas de Ilo y sistema de riego I etapa del proyecto: Ampliación de la frontera agrícola Lomas de Ilo-Moquegua*. Asesores Técnicos Asociados. S.A. Moquegua, Perú.

Rashid, S., Riaz, M., Hayat Khan, Y., Javed Khan, I., & Ali Khan, J. (2015, Agosto). Design and Installation of Mini Hydropower Plant in Rural Areas of Khyber

Pakhtunkhwa Pakistan. *International Journal Of Multidisciplinary Sciences And Engineering*, vol. 6 (8), 7-11.

Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. (1a ed.). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Ruiz, P. (2013). *Estudio del recurso hidráulico y proyecto de una central minihidráulica en la cuenca del río Tormes*. (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Industrial). Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España.

Saldarriaga V., J. G. (1998). *Hidráulica de tuberías*. McGraw-Hill Interamericana, S.A.

Soria, Eduardo (s.f.). Energías Renovables para todos. Hidráulica. *Revista Energías Renovables.* https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno_HIDRAULICA.pdf

Sotelo, G. (1997*). Hidráulica General*. (Vol. 1). Editorial Limusa.

STATE OF THE ART OF SMALL HYDROPOWER IN EU – 25 (2010). European Small Hydropower Association. Lithuanian Hydropower Association. https://www.bt-projects.com/wp-content/uploads/documents-public/Rivers/ESHA-2010-State-of-the-art-of-Small-Hydropower-in-EU-25.pdf

Streeter, V. L. y Wyllie, B. (1970). *Mecánica de los fluidos*. Libros McGraw-Hill.

Tomecich, A. (2011, 15 de febrero). *Historia del sector eléctrico en el Perú*. https://es. slideshare.net/aucarure/historia-de-laelectricidad

United States Department (1966). Selecting hydraulic reaction turbines. Engineering monographs N.° 20

Vicente, M. (1995). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Universidad Católica Andrés Bello. Fondo Polar.

Viejo, M., y Alonso, P. (1977). *Energía Eléctrica. Turbinas y plantas generadoras*. (1a ed.). Editorial Limusa.

Villanueva, R. (2010). *Centrales Hidroeléctricas*. (1a ed.). Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Ingeniería-EDUNI.

Yañez, G. F. (2016). *Diseño hidráulico de la conducción forzada de la Central Hidroeléctrica Aricota 3*. (Monografía técnica para obtener el Título de Ingeniero Mecánico de Fluidos). Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Zoppetti, G. (1965). *Centrales Hidroeléctricas. Su estudio, montaje, regulación y ensayo*. (3a tirada). Editorial Gustavo Gili, S.A.

ANDRITZ (2020). *Pequeños y Mini Hydro Highlights*. https://www.andritz.com/hydro-en/hydronews/hn33/small-mini-hydro-highlights

Instalación Satélite de Alaska ASF (2020). *ALOS PALSAR*. https://www.asf.alaska.edu/sar-data-sets/alos-palsar/

LucidEnergy (2017). El sistema de energía LucidPipe(LPS) http://lucidenergy.com/how-it-works/

Novo Muñoz (2017). Energía a partir del sistema de abastecimiento de agua. https://www.experimenta.es/noticias/tecnologia/lucidpipe-energia-oculta-tuberias-agua-ciudades/

ANEXOS

Anexo A: Memorias de cálculo

- A1: Cálculo de pérdidas por fricción y cota piezométrica L1 - Turbina
- A2: Cálculo de pérdidas por fricción y cota piezométrica L2 - Turbina
- A3: Cálculo de carga vertical y carga viva L1 - CH - 3
- A4: Cálculo de carga vertical y carga viva L2 - CH - 3
- A5: Cálculo de la deflexión vertical prevista y presión de pandeo admisible L1 - CH - 3
- A6: Cálculo de la deflexión vertical prevista y presión de pandeo admisible L2 - CH - 3
- A7: Calculo de celeridad L1 - CH - 3
- A8: Calculo de celeridad L2 - CH - 3
- A9: Verificación de sobrepresión sin protección L1 - CH - 3
- A10: Verificación de sobrepresión sin protección L2 - CH - 3
- A11: Envolvente de presiones máximas y mínimas sin protección
- A12: Verificación de sobrepresión con protección L1 - CH – 3
- A13: Verificación de sobrepresión con protección L2 - CH – 3
- A14: Envolvente de presiones máximas y mínimas con protección
- A15: Selección de turbina y altura de succión CH - 3
- A16: Dimensionamiento de casa de máquinas CH – 3
- A17: Diseño de cámara de carga
- A18: Evaluación económica para venta de energía Alt 1 – 3 centrales

- A19: Evaluación económica para venta de energía Alt 1 – CH – 1
- A20: Evaluación económica para venta de energía Alt 1 – CH – 2
- A21: Evaluación económica para venta de energía Alt 1 – CH – 3
- A22: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 1 – 3 centrales
- A23: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 1 – CH – 1
- A24: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 1 – CH – 2
- A25: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 1 – CH – 3
- A26: Evaluación económica para venta de energía Alt 2 – 3 centrales
- A27: Evaluación económica para venta de energía Alt 2 – CH – 1
- A28: Evaluación económica para venta de energía Alt 2 – CH – 2
- A29: Evaluación económica para venta de energía Alt 2 – CH – 3
- A30: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 2 – 3 centrales
- A31: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 2 – CH – 1
- A32: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 2 – CH – 2
- A33: Evaluación económica para uso agroindustrial Alt 2 – CH – 3

Anexo B: Planos

- B1: Conducción Jaguay – Ilo
- B2: Alternativa 1
- B3: Alternativa 2
- B4: Alternativa seleccionada
- B5: Plano: Geología regional

- B6: Plano: Cuencas de quebradas
- B7: Casa de máquinas planta y perfil
- B8: Casa de máquinas cortes
- B9: Cámara de carga planta y perfil
- B10: Cámara de carga cortes

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Cálculo de pérdidas por fricción y cota piezométrica - CH - 3 ANEXO A1

Caudal L1:	0.860	m³/s
Rugosidad (k) :	0.000029	m
Viscocidad cinemática:	0.000001	m²/s

$$Re = \frac{VD}{\upsilon} \qquad \frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \qquad h_f = f\left(\frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}\right)$$

LINEA 1

DESCRIPCIÓN	Progresiva	Elevación (msnm)	Altura Acumulada (m)	Longitud de tramo (m)	Longitud acumulada (m)	Caudal (m³/s)	Diámetro comercial (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	k/D	Clase de Presión PN (Bar)	Comportamiento Hidráulico	Factor de Fricción Colebrook - White	Perdidas Darcy-Weisbach hf (m)	Pérdidas Locales (m)	Pérdidas Totales	Pérdidas Totales Acumuladas (m)	Cota Piezométrica L1 (msnm)
CH - 3	49+527.34	1016.61																1016.61
	50+000.00	959.92	56.69	472.66	472.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 6	Hidraulicamente Liso	0.01203	1.06	0.04	1.1	1.1	1015.51
	50+380.00	927.5	89.11	380	852.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 6	Hidraulicamente Liso	0.01199	0.85	0.01	0.86	1.96	1014.65
	51+000.00	926.8	89.81	620	1472.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01202	1.39	0.06	1.45	3.41	1013.2
	51+260.00	926.6	90.01	260	1732.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01196	0.58	0.04	0.62	4.03	1012.58
	51+500.00	918.5	98.11	240	1972.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01206	0.54	0.01	0.55	4.58	1012.03
	51+520.00	917.9	98.71	20	1992.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01072	0.04	0.01	0.05	4.63	1011.97
	51+760.00	905	111.61	240	2232.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01206	0.54	0.03	0.57	5.2	1011.4
	52+000.00	883.4	133.21	240	2472.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01206	0.54	0.01	0.55	5.75	1010.85
	52+150.00	869.9	146.71	150	2622.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01215	0.34	0.01	0.35	6.1	1010.5
	52+260.00	867.2	149.41	110	2732.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01219	0.25	0.01	0.26	6.36	1010.24
	52+350.00	868.4	148.21	90	2822.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01192	0.2	0.01	0.21	6.57	1010.02
	52+460.00	873.4	143.21	110	2932.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01219	0.25	0.01	0.26	6.83	1009.76
	52+600.00	882.1	134.51	140	3072.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01187	0.31	0.01	0.32	7.15	1009.43
	52+640.00	882.1	134.51	40	3112.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01206	0.09	0.01	0.1	7.25	1009.33
	52+800.00	861.9	154.71	160	3272.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01206	0.36	0.01	0.37	7.62	1008.96
	52+866.00	853.5	163.11	66	3338.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01219	0.15	0.01	0.16	7.78	1008.79
	53+000.00	839.3	177.31	134	3472.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01200	0.3	0.01	0.31	8.09	1008.48
	53+035.00	835.6	181.01	35	3507.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01226	0.08	0.01	0.09	8.18	1008.39
	53+171.00	834.9	181.71	136	3643.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01183	0.3	0.01	0.31	8.49	1008.07
	53+391.00	804.6	212.01	220	3863.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01194	0.49	0.01	0.5	8.99	1007.56
	53+692.00	804	212.61	301	4164.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01194	0.67	0.01	0.68	9.67	1006.87
	53+972.00	790.5	226.11	280	4444.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01206	0.63	0.01	0.64	10.31	1006.23
	54+000.00	791.1	225.51	28	4472.66	0.86	0.8	1.71091564	1368732.51	0.00003625	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01149	0.06	0.01	0.07	10.38	1006.16
	54+614.00	797.3	219.31	614	5086.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01191	2.66	0.03	2.69	13.07	1003.47
	55+000.00	815	201.61	386	5472.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01190	1.67	0.03	1.7	14.77	1001.77
	55+033.00	815.2	201.41	33	5505.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01167	0.14	0.03	0.17	14.94	1001.6
	55+309.00	826.6	190.01	276	5781.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01196	1.2	0.03	1.23	16.17	1000.37
	55+524.00	853.4	163.21	215	5996.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01190	0.93	0.05	0.98	17.15	999.39
	55+550.00	853.41	163.2	26	6022.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01164	0.11	0.03	0.14	17.29	999.25
	55+709.00	829.8	186.81	159	6181.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01194	0.69	0.03	0.72	18.01	998.54
	55+727.00	829.8	186.81	18	6199.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01222	0.08	0.03	0.11	18.12	998.43
	55+889.00	856.2	160.41	162	6361.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01188	0.7	0.03	0.73	18.85	997.7
	56+000.00	853.8	162.81	111	6472.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01189	0.48	0.08	0.56	19.41	997.15
	56+137.50	838.4	178.21	137.5	6610.16	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01200	0.6	0.03	0.63	20.04	996.52
	56+560.00	879.5	137.11	422.5	7032.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01191	1.83	0.03	1.86	21.9	994.67
	56+583.00	879.7	136.91	23	7055.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01196	0.1	0.03	0.13	22.03	994.54
	56+689.00	859.3	157.31	106	7161.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01194	0.46	0.05	0.51	22.54	994.03
	57+000.00	854.9	161.71	311	7472.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01194	1.35	0.33	1.68	24.22	992.35
	57+949.00	841.7	174.91	949	8421.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01194	4.12	1.48	5.6	29.82	986.76
	58+000.00	825.9	190.71	51	8472.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01186	0.22	0.08	0.3	30.12	986.46
	58+089.00	810.7	205.91	89	8561.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01205	0.39	0.05	0.44	30.56	986.02
	58+232.00	836.07	180.54	143	8704.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01192	0.62	0.08	0.7	31.26	985.32
	58+754.00	832.9	183.71	522	9226.66	0.86	0.7	2.23466532	1564265.73	0.00004143	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01191	2.26	0.64	2.9	34.16	982.42
	58+944.00	801.2	215.41	190	9416.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01192	1.78	0.14	1.92	36.08	980.5
	59+000.00	801.5	215.11	56	9472.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01182	0.52	0.05	0.57	36.65	979.93
	59+229.00	811.4	205.21	229	9701.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01195	2.15	0.05	2.2	38.85	977.74
	59+249.50	811.2	205.41	20.5	9722.16	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01179	0.19	0.05	0.24	39.09	977.5
	59+505.00	790.9	225.71	255.5	9977.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01190	2.39	0.05	2.44	41.53	975.06
	59+767.00	812.4	204.21	262	10239.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01195	2.46	0.05	2.51	44.04	972.55
	59+784.00	812.2	204.41	17	10256.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01198	0.16	0.05	0.21	44.25	972.35
	59+950.00	778.6	238.01	166	10422.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01196	1.56	0.05	1.61	45.86	970.74
	60+000.00	787.9	228.71	50	10472.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01196	0.47	0.05	0.52	46.38	970.23
	60+051.00	805.6	211.01	51	10523.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01198	0.48	0.05	0.53	46.91	969.7
	60+075.00	805.9	210.71	24	10547.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01166	0.22	0.05	0.27	47.18	969.43
	60+270.50	776.9	239.71	195.5	10743.16	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01191	1.83	0.05	1.88	49.06	967.55
	60+620.00	786.9	229.71	349.5	11092.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01194	3.28	0.05	3.33	52.39	964.23
	60+909.00	738	278.61	289	11381.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01193	2.71	0.05	2.76	55.15	961.48
	61+000.00	753	263.61	91	11472.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01189	0.85	0.05	0.9	56.05	960.58
	61+180.00	789.3	227.31	180	11652.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01195	1.69	0.05	1.74	57.79	958.84
	62+000.00	786.4	230.21	820	12472.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01192	7.68	0.71	8.39	66.18	950.45
	63+000.00	782.9	233.71	1000	13472.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01192	9.37	0.66	10.03	76.21	940.42
	63+060.00	782.7	233.91	60	13532.66	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01188	0.56	0.09	0.65	76.86	939.76
	63+216.52	771.68	244.93	156.52	13689.18	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01195	1.47	0.14	1.61	78.47	938.2
	Union	771.68	244.93	2.76	13691.94	0.86	0.6	3.0416278	1824976.68	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.02766	0.06	0.05	0.11	78.58	938.12
	Conexión	771.68	244.93	2.76	13691.94	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.00004833	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01665	0.02	0.05	0.07	78.65	938.15
	Turbina	771.68	244.93	36.68	13728.62	1.5	1	1.91	1910000	0.000001	PN 32	Hidraulicamente Liso	0.00880	0.06	0.06	0.12	78.77	938.01

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

CALCULO DE CARGA VERTICAL Y CARGA VIVA CH -3 - Norma AWWA M45 ANEXO A3

Magnitud de carga de rueda de vehiculo (N): 89000 Asshto H5-25

Factor de multipresencia P_{cf} = 1.2

$$W_C = \gamma_s h \qquad W_L = \frac{M_p P_{cf} I_f}{L_1 L_2}$$

LINEA 1

Progresiva (km) Inicio	Progresiva (km) Final	Cobertura de relleno h (m)	Categoria de rigidez de suelo de Relleno	Peso especifico suelo de relleno (N/m³)	Carga Vertical (N/m²) W_c	Factor de Impacto I_f	L1 (m)	h_{int}	L2 (m)	Carga Viva (N/m²) W_L
49+527.34	50+000.00	3.71	SC2	18800.00	69710.40	1.33	4.51	1.33	3.30	9543.55
50+000.00	50+380.00	1.86	SC2	18800.00	34949.20	1.08	2.39	1.33	2.23	21594.70
50+380.00	51+000.00	2.10	SC2	18800.00	39386.00	1.05	2.66	1.33	2.37	17739.36
51+000.00	51+260.00	2.18	SC2	18800.00	40984.00	1.04	2.76	1.33	2.42	16580.50
51+260.00	51+500.00	3.96	SC2	18800.00	74466.80	1.33	4.81	1.33	3.44	8586.82
51+500.00	51+520.00	3.89	SC2	18800.00	73150.80	1.33	4.72	1.33	3.40	88.36.44
51+520.00	51+760.00	5.48	SC2	18800.00	102967.60	1.33	6.55	1.33	4.31	5027.71
51+760.00	52+000.00	6.77	SC2	18800.00	127351.20	1.33	8.04	1.33	5.06	3491.46
52+000.00	52+150.00	5.85	SC2	18800.00	109998.80	1.33	6.98	1.33	4.53	4493.84
52+150.00	52+260.00	3.32	SC2	18800.00	62453.60	1.33	4.07	1.33	3.08	11348.28
52+260.00	52+350.00	2.12	SC2	18800.00	39893.60	1.04	2.69	1.33	2.39	17359.71
52+350.00	52+460.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
52+460.00	52+600.00	1.80	SC2	18800.00	33915.20	1.09	2.32	1.33	2.20	22655.98
52+600.00	52+640.00	4.49	SC2	18800.00	84506.00	1.33	5.42	1.33	3.75	6990.30
52+640.00	52+800.00	7.40	SC2	18800.00	139120.00	1.33	8.76	1.33	5.42	2991.71
52+800.00	52+866.00	7.06	SC2	18800.00	132728.00	1.33	8.37	1.33	5.22	3248.66
52+866.00	53+000.00	7.47	SC2	18800.00	140454.80	1.33	8.84	1.33	5.46	2941.92
53+000.00	53+035.00	7.02	SC2	18800.00	132070.00	1.33	8.33	1.33	5.20	3276.99
53+035.00	53+171.00	6.07	SC2	18800.00	114097.20	1.33	7.23	1.33	4.65	4221.18
53+171.00	53+391.00	7.11	SC2	18800.00	133743.20	1.33	8.43	1.33	5.26	3205.68
53+391.00	53+692.00	4.76	SC2	18800.00	89431.60	1.33	5.72	1.33	3.90	6366.34
53+692.00	53+972.00	5.02	SC2	188.00.00	94413.60	1.33	6.03	1.33	4.05	5817.08
53+972.00	54+000.00	3.51	SC2	18800.00	65950.40	1.33	4.28	1.33	3.18	10419.32
54+000.00	54+614.00	2.83	SC2	18800.00	53110.00	1.33	3.50	1.33	2.79	14554.69
54+614.00	55+000.00	4.25	SC2	18800.00	79937.60	1.33	5.14	1.33	3.61	7655.64
55+000.00	55+033.00	3.74	SC2	18800.00	70293.20	1.33	4.55	1.33	3.31	9417.86
55+033.00	55+309.00	5.23	SC2	18800.00	98267.60	1.33	6.26	1.33	4.17	5439.83
55+309.00	55+524.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
55+524.00	55+550.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
55+550.00	55+709.00	13.17	SC2	18800.00	247614.80	1.33	15.40	1.33	8.74	1055.77
55+709.00	55+727.00	9.61	SC2	18800.00	180724.40	1.33	11.30	1.33	6.69	1877.45
55+727.00	55+889.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
55+889.00	56+000.00	5.76	SC2	18800.00	108231.60	1.33	6.87	1.33	4.48	4619.68
56+000.00	56+137.50	4.19	SC2	18800.00	78847.20	1.33	5.07	1.33	3.58	7828.62
56+137.50	56+560.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
56+560.00	56+583.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
56+583.00	56+689.00	10.73	SC2	18800.00	201761.60	1.33	12.59	1.33	7.34	1537.74
56+689.00	57+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
57+000.00	57+949.00	1.20	SC2	188.00.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
57+949.00	58+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
58+000.00	58+089.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
58+089.00	58+232.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
58+232.00	58+754.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
58+754.00	58+944.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
58+944.00	59+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
59+000.00	59+229.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
59+229.00	59+249.50	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
59+249.50	59+505.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
59+505.00	59+767.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
59+767.00	59+784.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
59+784.00	59+950.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
59+950.00	60+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
60+000.00	60+051.00	1.20	SC2	188.00.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
60+051.00	60+075.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
60+075.00	60+270.50	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
60+270.50	60+620.00	1.20	SC2	188.00.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
60+620.00	60+909.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
60+909.00	61+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
61+000.00	61+180.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
61+180.00	62+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
62+000.00	63+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
63+000.00	63+060.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35
63+060.00	63+216.52	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1.63	1.33	0.94	81393.35

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

CALCULO DE CARGA VERTICAL Y CARGA VIVA CH - 3 - Norma AWWA M45 ANEXO A4

Magnitud de carga de rueda de vehiculo (N) 89000 Asshto HS-25

Factor de multipresencia P_{ct} 1.20

$$W_c = \gamma_s h \qquad W_L = \frac{M_p P_{ct} I_f}{L_1 L_2}$$

LINEA 2

Progresiva (km) Inicio	Progresiva (km) Final	Cobertura de relleno h (m)	Categoria de rigidez de suelo de Relleno	Peso especifico suelo de relleno (N/m³)	Carga Vertical (N/m²) W_c	Factor de Impacto I_f	L1 (m)	h_{int}	L2 (m)	Carga Viva (N/m²) W_L
49+527 34	50+000.00	3 81	SC2	18800.00	71590.40	1 00	4 63	1 16	3 35	6877 40
50+000.00	50+380.00	1.96	SC2	18800.00	36829.20	1.07	2 50	1.16	2 29	19833 63
50+380.00	51+000.00	2.20	SC2	18800.00	41266.00	1.03	2 77	1.16	2 43	16386 67
51+000.00	51+260 00	2.28	SC2	18800.00	42864.00	1.02	2 87	1 16	2 48	15343 83
51+260.00	51+500.00	4.06	SC2	18800.00	76346.80	1 00	4 92	1 16	3 50	6201 77
51+500.00	51+520 00	3.99	SC2	18800.00	75030.80	1 00	4 84	1.16	3 46	6378 27
51+520.00	51+760 00	5.58	SC2	18800.00	104847 60	1 00	6 66	1 16	4 37	3666 13
51+760.00	52+000 00	6.87	SC2	18800.00	129231.20	1 00	8 16	1 16	5 12	2559 06
52+000.00	52+150.00	5.95	SC2	18800.00	111878.80	1 00	7 09	1 16	4 59	3282 38
52+150.00	52+260.00	3 42	SC2	18800.00	64333.60	1.00	4.19	1 16	3 13	814578
52+260.00	52+350.00	2.22	SC2	18800.00	41773.60	1 03	2 81	1 16	2 44	16045 38
52+350 00	52+460.00	1 20	SC2	18800 00	22560.00	1 17	1.63	1 16	1 86	41245 15
52+460.00	52+600.00	1.90	SC2	18800.00	35795.20	1.07	2 44	1.16	2.26	20776 70
52+600 00	52+640.00	4 59	SC2	18800.00	86386.00	1 00	S.S3	1 16	3 81	5068 92
52+640.00	52+800 00	7.50	SC2	18800 00	141000.00	1.00	8.88	1 16	S 48	2196 95
52+800.00	52+866 00	7.16	SC2	18800 00	134608 00	1 00	8 48	1 16	S 28	2383 26
52+866.00	53+000 00	7.57	SC2	18800 00	142334 80	1.00	8.96	1 16	5 S2	2160 82
53+000.00	53+035.00	7.12	SC2	18800.00	133950.00	1 00	8.44	1 16	5 26	2403 78
53+035.00	53+171.00	6 17	SC2	18800.00	115977.20	1.00	7 34	1 16	4 71	30 86 00
53+171 00	53+391.00	7 21	SC2	18800 00	135623 20	1 00	8 SS	1 16	5 31	2352 12
53+391.00	53+692.00	4.86	SC2	18800.00	91311.60	1.00	5.84	1 16	3.96	4624 22
53+692.00	53+972.00	5 12	SC2	18800.00	96293.60	1.00	6.14	1 16	411	4231 79
53+972.00	54+000 00	3 61	SC2	18800 00	67830.40	1.00	4.40	1 16	3 24	7493 87
54+000.00	54+614.00	2.88	SC2	18800.00	54050.00	1.00	3.56	1 16	2 82	10656 60
54+614.00	55+000.00	4 30	SC2	18800.00	80877.60	1.00	5.20	1 16	3.64	5647 46
55+000.00	55+033 00	3.79	SC2	18800.00	71233 20	1 00	4 61	1 16	3 34	6932 60
55+033.00	55+309.00	5.28	SC2	18800.00	99207.60	1.00	6.32	1 16	4 20	4025 13
55+309.00	55+524.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1.63	1.16	1.86	41245 15
55+524.00	55+550.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1.63	1 16	1 86	41245.15
55+550.00	55+709.00	13.22	SC2	18800.00	248554.80	1 00	15 45	1 16	8 77	788 26
55+709.00	55+727.00	9.66	SC2	18800.00	181664.40	1 00	11 36	1.16	6.72	1398.46
55+727.00	55+889.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
55+889.00	56+000.00	5 81	SC2	18800.00	109171 60	1 00	6 93	1 16	4 50	3422 63
56+000 00	56+137 50	4 24	SC2	18800.00	797 87 20	1.00	5.13	1 16	3 61	5773 80
56+137.50	56+560.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
56+560.00	56+583.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
56+583.00	56+689.00	10 78	SC2	18800.00	202701.60	1 00	12 65	1 16	7 36	1146 44
56+689.00	57+000.00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1.17	1 63	1.16	1 86	41245 15
57+000.00	57+949.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
57+949.00	58+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
58+000.00	58+089.00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
58+089.00	58+232 00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
58+232 00	58+754 00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1.17	1 63	1.16	1 86	41245 15
58+754.00	58+944.00	1.20	SC2	18800.00	22560 00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
58+944.00	59+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
59+000.00	59+229.00	1.20	SC2	18800.00	22560 00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
59+229.00	59+249.50	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
59+249 50	59+505 00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
59+505.00	59+767.00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1 17	1.63	1 16	1 86	41245 15
59+767.00	59+784.00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1 17	1.63	1 16	1 86	41245 15
59+784.00	59+950.00	1.20	SC2	18800 00	22560 00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
59+950.00	60+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560 00	1 17	1.63	1 16	1 86	41245 15
60+000.00	60+051.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1.63	1.16	1 86	41245 15
60+051.00	60+075 00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
60+075.00	60+270 50	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
60+270.50	60+620.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
60+620.00	60+909.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245.15
60+909.00	61+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245.15
61+000.00	61+180.00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
61+180.00	62+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
62+000.00	63+000.00	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1 17	1 63	1 16	1 86	41245 15
63+000.00	63+060.00	1.20	SC2	18800 00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15
63+060.00	63+216.52	1.20	SC2	18800.00	22560.00	1.17	1 63	1 16	1 86	41245 15

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Cálculo de pérdidas por fricción y cota piezométrica - CH - 3 ANEXO A2

Caudal L1: 0.640 m³/s
Rugosidad (k) : 0.000029 m
Viscocidad cinemática: 0.000001 m²/s

$$Re = \frac{VD}{\nu} \qquad \frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \qquad h_f = f\left(\frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}\right)$$

LINEA 2

DESCRIPCIÓN	Progresiva	Elevación (msnm)	Altura Acumulada (m)	Longitud de tramo (m)	Longitud acumulada (m)	Caudal (m³/s)	Diámetro comercial (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	k/D	Clase de Presión PN (Bar)	Comportamiento Hidráulico	Factor de Fricción Colebrook - White	Perdidas Darcy-Weisbach hf (m)	Pérdidas Locales (m)	Pérdidas Totales	Pérdidas Totales Acumuladas (m)	Cota Piezométrica L1 (msnm)
CH - 3	49+527.34	1016.61																1016.61
	50+000.00	959.92	56.69	472.66	472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 6	Hidraulicamente Liso	0.00987	2.03	0.08	2.11	2.11	1014.51
	50+380.00	927.5	89.11	380	852.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 6	Hidraulicamente Liso	0.01524	2.52	0.03	2.55	4.66	1011.96
	51+000.00	926.8	89.81	620	1472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01227	3.31	0.1	3.41	8.07	1008.55
	51+260.00	926.6	90.01	260	1732.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01228	1.39	0.08	1.47	9.54	1007.08
	51+500.00	918.5	98.11	240	1972.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01225	1.28	0.03	1.31	10.85	1005.77
	51+520.00	917.9	98.71	20	1992.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 10	Hidraulicamente Liso	0.01264	0.11	0.03	0.14	10.99	1005.64
	51+760.00	905	111.61	240	2232.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01225	1.28	0.05	1.33	12.32	1004.31
	52+000.00	883.4	133.21	240	2472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01225	1.28	0.03	1.31	13.63	1003.00
	52+150.00	869.9	146.71	150	2622.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01225	0.8	0.03	0.83	14.46	1002.18
	52+260.00	867.2	149.41	110	2732.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01232	0.59	0.03	0.62	15.08	1001.56
	52+350.00	868.4	148.21	90	2822.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01225	0.48	0.03	0.51	15.59	1001.06
	52+460.00	873.4	143.21	110	2932.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01232	0.59	0.03	0.62	16.21	1000.44
	52+600.00	882.1	134.51	140	3072.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01231	0.75	0.03	0.78	16.99	999.67
	52+640.00	882.1	134.51	40	3112.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01206	0.21	0.03	0.24	17.23	999.43
	52+800.00	861.9	154.71	160	3272.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01221	0.85	0.03	0.88	18.11	998.55
	52+866.00	853.5	163.11	66	3338.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01218	0.35	0.03	0.38	18.49	998.17
	53+000.00	839.3	177.31	134	3472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01217	0.71	0.03	0.74	19.23	997.43
	53+035.00	835.6	181.01	35	3507.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01247	0.19	0.03	0.22	19.45	997.22
	53+171.00	834.9	181.71	136	3643.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01233	0.73	0.03	0.76	20.21	996.47
	53+391.00	804.6	212.01	220	3863.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01222	1.17	0.03	1.2	21.41	995.27
	53+692.00	804	212.61	301	4164.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01229	1.61	0.03	1.64	23.05	993.63
	53+972.00	790.5	226.11	280	4444.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01223	1.49	0.03	1.52	24.57	992.11
	54+000.00	791.1	225.51	28	4472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01231	0.15	0.03	0.18	24.75	991.94
	54+614.00	797.3	219.31	614	5086.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01227	3.28	0.03	3.31	28.06	988.64
	55+000.00	815	201.61	386	5472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01226	2.06	0.03	2.09	30.15	986.55
	55+033.00	815.2	201.41	33	5505.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01253	0.18	0.03	0.21	30.36	986.35
	55+309.00	826.6	190.01	276	5781.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01224	1.47	0.03	1.5	31.86	984.85
	55+524.00	853.4	163.21	215	5996.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01229	1.15	0.05	1.2	33.06	983.65
	55+550.00	853.41	163.2	26	6022.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01237	0.14	0.03	0.17	33.23	983.49
	55+709.00	829.8	186.81	159	6181.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01228	0.85	0.03	0.88	34.11	982.61
	55+727.00	829.8	186.81	18	6199.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01276	0.1	0.03	0.13	34.24	982.49
	55+889.00	856.2	160.41	162	6361.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01220	0.86	0.03	0.89	35.13	981.6
	56+000.00	853.8	162.81	111	6472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01221	0.59	0.08	0.67	35.8	980.93
	56+137.50	838.4	178.21	137.5	6610.16	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01220	0.73	0.05	0.78	36.58	980.14
	56+560.00	879.5	137.11	422.5	7032.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01224	2.25	0.03	2.28	38.86	977.86
	56+583.00	879.7	136.91	23	7055.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01199	0.12	0.03	0.15	39.01	977.71
	56+689.00	859.3	157.31	106	7161.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01236	0.57	0.05	0.62	39.63	977.1
	57+000.00	854.9	161.71	311	7472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 16	Hidraulicamente Liso	0.01226	1.66	0.34	2	41.63	975.1
	57+949.00	841.7	174.91	949	8421.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01225	5.06	1.52	6.58	48.21	968.52
	58+000.00	825.9	190.71	51	8472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01216	0.27	0.08	0.35	48.56	968.17
	58+089.00	810.7	205.91	89	8561.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01213	0.47	0.05	0.52	49.08	967.64
	58+232.00	836.07	180.54	143	8704.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01221	0.76	0.08	0.84	49.92	966.8
	58+754.00	832.9	183.71	522	9226.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 20	Hidraulicamente Liso	0.01224	2.78	0.65	3.43	53.35	963.36
	58+944.00	801.2	215.41	190	9416.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01221	1.01	0.08	1.09	54.44	962.27
	59+000.00	801.5	215.11	56	9472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01231	0.3	0.03	0.33	54.77	961.95
	59+229.00	811.4	205.21	229	9701.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01224	1.22	0.03	1.25	56.02	960.7
	59+249.50	811.2	205.41	20.5	9722.16	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01233	0.11	0.03	0.14	56.16	960.56
	59+505.00	790.9	225.71	255.5	9977.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01223	1.36	0.03	1.39	57.55	959.17
	59+767.00	812.4	204.21	262	10239.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01228	1.4	0.03	1.43	58.98	957.75
	59+784.00	812.2	204.41	17	10256.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01216	0.09	0.03	0.12	59.1	957.63
	59+950.00	778.6	238.01	166	10422.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01232	0.89	0.03	0.92	60.02	956.72
	60+000.00	787.9	228.71	50	10472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01241	0.27	0.03	0.3	60.32	956.43
	60+051.00	805.6	211.01	51	10523.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01216	0.27	0.03	0.3	60.62	956.13
	60+075.00	805.9	210.71	24	10547.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01245	0.13	0.03	0.16	60.78	955.98
	60+270.50	776.9	239.71	195.5	10743.16	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01222	1.04	0.03	1.07	61.85	954.91
	60+620.00	786.9	229.71	349.5	11092.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01223	1.86	0.03	1.89	63.74	953.02
	60+909.00	738	278.61	289	11381.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01224	1.54	0.03	1.57	65.31	951.45
	61+000.00	753	263.61	91	11472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01237	0.49	0.03	0.52	65.83	950.94
	61+180.00	789.3	227.31	180	11652.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01225	0.96	0.03	0.99	66.82	949.95
	62+000.00	786.4	230.21	820	12472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01224	4.37	0.39	4.76	71.58	945.18
	63+000.00	782.9	233.71	1000	13472.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01227	5.34	0.37	5.71	77.29	939.48
	63+060.00	782.7	233.91	60	13532.66	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01225	0.32	0.05	0.37	77.66	939.11
	63+216.52	771.68	244.93	156.52	13689.18	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01233	0.84	0.08	0.92	78.58	938.2
	Conexión	771.68	244.93	2.76	13691.94	0.64	0.6	2.26353697	1358122.18	0.000048	PN 25	Hidraulicamente Liso	0.01665	0.02	0.05	0.07	78.65	938.15
	Turbina	771.68	244.93	36.68	13728.62	1.5	1	1.91	1910000	0.000001	PN 32	Hidraulicamente Liso	0.00880	0.06	0.06	0.12	78.77	938.01

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN VERTICAL PREVISTA Y PRESIÓN DE PANDEO ADMISIBLE CH - 3 - Norma AWWA M45 ANEXO A5

Factor de retraso de la deflexión	$D_L =$	1.5
Coeficiente de soporte de lecho	$K_x =$	0.1
Factor de correción para tener en cuenta efectos no lineales	$C_n =$	0.55
Factor de corrección por variabilidad de la rigidez del suelo compactado	$\varphi_s =$	0.9
Factor de corrección por módulo de Poisson del suelo	$k_v =$	0.74
Factor de seguridad	$FS =$	2.5

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{(D_L W_C + W_L)K_x}{149PS + 61000M_s}$$

$$q_a = \frac{(1.2C_n)(EI)^{0.33}(\varphi_s M_s k_v 10^6)^{0.67}}{(FS)r} R_h$$

$$(\gamma_w h_w + R_w W_t)10^{-3} + P_v \le q_a$$

$$(\gamma_w h_w + R_w W_t + W_L)10^{-3} \le q_a$$

LINEA 1

Progresiva (km) Inicio	Progresiva (km) Final	Carga Vertical (kPa)	Módulo de rigidez del relleno (Mpa) M_{sb}	Módulo de rigidez del suelo nativo (Mpa) M_{sn}	M_{sn}/M_{sb}	Diámetro (m)	Ancho de zanja (m) B_d	B_d/D	Factor de combinación de suelo S_C	Rigidez compuesta Suelo (Mpa) M_S	Rigidez Nominal Tuberia (kPa)	Deflexión Vertical prevista $\Delta_y/D < 5\%$		Factor de correción por profundidad de relleno R_h	Presión crítica de colapsamiento (kPa) q_a	Factor de flotación R_w	Considerando Vacio		Considerando Carga Viva	
49+527.34	50+000.00	69.71	11.21	10.3	0.919	0.8	2.1	2.6	0.99	11.05	134.08	0.016	Ok	1.02	297.63	1.00	169.71	Ok	79.25	Ok
50+000.00	50+380.00	34.95	10.31	10.3	0.999	0.8	2.1	2.6	1.00	10.31	134.08	0.011	Ok	1.00	278.74	1.00	134.95	Ok	56.54	Ok
50+380.00	51+000.00	39.39	10.43	10.3	0.988	0.8	2.1	2.6	1.00	10.41	134.08	0.012	Ok	1.00	281.66	1.00	139.39	Ok	57.13	Ok
51+000.00	51+260.00	40.98	10.47	10.3	0.984	0.8	2.1	2.6	1.00	10.44	134.08	0.012	Ok	1.00	282.65	1.00	140.98	Ok	57.56	Ok
51+260.00	51+500.00	74.47	11.30	10.3	0.912	0.8	2.1	2.6	0.98	11.12	134.08	0.017	Ok	1.02	299.23	1.00	174.47	Ok	83.05	Ok
51+500.00	51+520.00	73.15	11.27	10.3	0.914	0.8	2.1	2.6	0.98	11.10	134.08	0.017	Ok	1.02	298.79	1.00	173.15	Ok	81.99	Ok
51+520.00	51+760.00	102.97	11.79	10.3	0.874	0.8	2.1	2.6	0.98	11.53	134.08	0.022	Ok	1.02	308.09	1.00	202.97	Ok	108.00	Ok
51+760.00	52+000.00	127.35	12.21	10.3	0.843	0.8	2.1	2.6	0.97	11.88	134.08	0.026	Ok	1.03	315.11	1.00	227.35	Ok	130.84	Ok
52+000.00	52+150.00	110.00	11.91	10.3	0.865	0.8	2.1	2.6	0.98	11.63	134.08	0.023	Ok	1.02	310.15	1.00	210.00	Ok	114.49	Ok
52+150.00	52+260.00	62.45	11.03	10.3	0.934	0.8	2.1	2.6	0.99	10.90	134.08	0.015	Ok	1.01	294.24	1.00	162.45	Ok	73.80	Ok
52+260.00	52+350.00	39.89	10.44	10.3	0.987	0.8	2.1	2.6	1.00	10.42	134.08	0.012	Ok	1.00	281.98	1.00	139.89	Ok	57.25	Ok
52+350.00	52+460.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.8	2.1	2.6	1.01	9.72	134.08	0.019	Ok	0.98	262.51	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
52+460.00	52+600.00	33.92	10.27	10.3	1.003	0.8	2.1	2.6	1.00	10.27	134.08	0.011	Ok	1.00	277.73	1.00	133.92	Ok	56.57	Ok
52+600.00	52+640.00	84.51	11.47	10.3	0.898	0.8	2.1	2.6	0.98	11.26	134.08	0.019	Ok	1.02	302.47	1.00	184.51	Ok	91.50	Ok
52+640.00	52+800.00	139.12	12.42	10.3	0.830	0.8	2.1	2.6	0.97	12.05	134.08	0.028	Ok	1.03	318.36	1.00	239.12	Ok	142.11	Ok
52+800.00	52+866.00	132.73	12.31	10.3	0.837	0.8	2.1	2.6	0.97	11.96	134.08	0.027	Ok	1.03	316.62	1.00	232.73	Ok	135.98	Ok
52+866.00	53+000.00	140.45	12.44	10.3	0.828	0.8	2.1	2.6	0.97	12.06	134.08	0.028	Ok	1.03	318.69	1.00	240.45	Ok	143.40	Ok
53+000.00	53+035.00	132.07	12.30	10.3	0.838	0.8	2.1	2.6	0.97	11.95	134.08	0.027	Ok	1.03	316.44	1.00	232.07	Ok	135.35	Ok
53+035.00	53+171.00	114.10	11.98	10.3	0.859	0.8	2.1	2.6	0.98	11.69	134.08	0.024	Ok	1.02	311.34	1.00	214.10	Ok	118.32	Ok
53+171.00	53+391.00	133.74	12.33	10.3	0.836	0.8	2.1	2.6	0.97	11.97	268.17	0.026	Ok	1.03	398.35	1.00	233.74	Ok	136.95	Ok
53+391.00	53+692.00	89.43	11.56	10.3	0.891	0.8	2.1	2.6	0.98	11.34	268.17	0.019	Ok	1.02	382.13	1.00	189.43	Ok	95.80	Ok
53+692.00	53+972.00	94.41	11.64	10.3	0.885	0.8	2.1	2.6	0.98	11.41	268.17	0.020	Ok	1.02	384.05	1.00	194.41	Ok	100.23	Ok
53+972.00	54+000.00	65.95	11.12	10.3	0.926	0.8	2.1	2.6	0.99	10.98	268.17	0.015	Ok	1.02	371.99	1.00	165.95	Ok	76.37	Ok
54+000.00	54+614.00	53.11	10.79	10.3	0.955	0.7	2.1	3.0	1.00	10.74	268.17	0.014	Ok	1.01	366.37	1.00	153.11	Ok	67.66	Ok
54+614.00	55+000.00	79.94	11.39	10.3	0.904	0.7	2.1	3.0	0.99	11.28	268.17	0.018	Ok	1.02	381.53	1.00	179.94	Ok	87.59	Ok
55+000.00	55+033.00	70.29	11.22	10.3	0.918	0.7	2.1	3.0	0.99	11.13	268.17	0.016	Ok	1.02	377.34	1.00	170.29	Ok	79.71	Ok
55+033.00	55+309.00	98.27	11.71	10.3	0.880	0.7	2.1	3.0	0.99	11.57	268.17	0.020	Ok	1.02	389.08	1.00	198.27	Ok	103.71	Ok
55+309.00	55+524.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
55+524.00	55+550.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
55+550.00	55+709.00	247.61	14.07	10.3	0.732	0.7	2.1	3.0	0.97	13.60	268.17	0.043	Ok	1.03	436.71	1.00	347.61	Ok	248.67	Ok
55+709.00	55+727.00	180.72	13.05	10.3	0.789	0.7	2.1	3.0	0.98	12.76	268.17	0.033	Ok	1.03	417.82	1.00	280.72	Ok	182.60	Ok
55+727.00	55+889.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
55+889.00	56+000.00	108.23	11.88	10.3	0.867	0.7	2.1	3.0	0.99	11.72	268.17	0.022	Ok	1.03	393.02	1.00	208.23	Ok	112.85	Ok
56+000.00	56+137.50	78.85	11.37	10.3	0.906	0.7	2.1	3.0	0.99	11.26	268.17	0.017	Ok	1.02	381.07	1.00	178.85	Ok	86.68	Ok
56+137.50	56+560.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
56+560.00	56+583.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
56+583.00	56+689.00	201.76	13.37	10.3	0.770	0.7	2.1	3.0	0.97	13.02	268.17	0.036	Ok	1.03	423.85	1.00	301.76	Ok	203.30	Ok
56+689.00	57+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
57+000.00	57+949.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
57+949.00	58+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
58+000.00	58+089.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
58+089.00	58+232.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
58+232.00	58+754.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.7	2.1	3.0	1.00	9.69	268.17	0.018	Ok	0.98	332.13	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
58+754.00	58+944.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
58+944.00	59+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
59+000.00	59+229.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
59+229.00	59+249.50	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
59+249.50	59+505.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
59+505.00	59+767.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
59+767.00	59+784.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
59+784.00	59+950.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
59+950.00	60+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
60+000.00	60+051.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
60+051.00	60+075.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
60+075.00	60+270.50	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
60+270.50	60+620.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
60+620.00	60+909.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
60+909.00	61+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
61+000.00	61+180.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
61+180.00	62+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
62+000.00	63+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
63+000.00	63+060.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok
63+060.00	63+216.52	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.018	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	103.95	Ok

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

Cálculo de la Celeridad L1 - CH - 3 ANEXO A7

Densidad del líquido	1000	Kg/m³
Gravedad	9.81	m/seg²
Módulo elasticidad Agua	2.06	Gpa

$$a = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\rho}{g}\right)\left(\frac{1}{10^9 E_w} + \frac{D_{int}}{10^9 E_p t_t}\right)}}$$

LINEA 1

Progresiva	Material	Clase de Presión PN (Bar)	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Externo (mm)	Diámetro Interno (mm)	Espesor de la Tubería (mm)	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Celeridad de Onda (m/s)
50+000.00	GRP	PN 6	800	821	810.92	10.08	2500	10 35	341 37
50+380.00	GRP	PN 6	800	821	810.92	10.08	2500	10 35	341 37
51+000.00	GRP	PN 10	800	821	811.93	9.07	2500	17 86	418 39
51+260.00	GRP	PN 10	800	821	811.93	9.07	2500	17 86	418 39
51+500.00	GRP	PN 10	800	821	811.93	9.07	2500	17.86	418 39
51+520.00	GRP	PN 10	800	821	811.93	9.07	2500	17 86	418.39
51+760.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27 66	497 73
52+000.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8 64	2500	27 66	497 73
52+150.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27.66	497 73
52+260.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27.66	497 73
52+350.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27.66	497 73
52+460.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27.66	497 73
52+600.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8 64	2500	27.66	497.73
52+640.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27.66	497 73
52+800.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27.66	497.73
52+866.00	GRP	PN 16	800	821	812.36	8.64	2500	27.66	497.73
53+000.00	GRP	PN 20	800	821	812.43	8.57	2500	33 61	539.53
53+035.00	GRP	PN 20	800	821	812 43	8.57	2500	33 61	539.53
53+171.00	GRP	PN 20	800	821	812.43	8.57	2500	33.61	539.53
53+391.00	GRP	PN 25	800	821	810.46	10.54	5000	31 58	574.05
53+692.00	GRP	PN 25	800	821	810.46	10.54	5000	31 58	574.05
53+972.00	GRP	PN 25	800	821	810.46	10 54	5000	31 58	574 05
54+000.00	GRP	PN 25	800	821	810 46	10.54	5000	31 58	574 05
54+614.00	GRP	PN 25	700	719	709.65	9.35	5000	31 79	578 77
55+000.00	GRP	PN 20	700	719	709 57	9.43	5000	26 53	538 26
55+033.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538.26
55+309.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538 26
55+524.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538.26
55+550.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538.26
55+709.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538 26
55+727.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538.26
55+889.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538 26
56+000.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538.26
56+137.50	GRP	PN 20	700	719	709 57	9.43	5000	26.53	538.26
56+560.00	GRP	PN 16	700	719	709.37	9.63	5000	21 58	496 82
56+583.00	GRP	PN 16	700	719	709.37	9 63	5000	21 58	496 82
56+689.00	GRP	PN 16	700	719	709.37	9.63	5000	21 58	496 82
57+000.00	GRP	PN 16	700	719	709.37	9.63	5000	21 58	496.82
57+949.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538.26
58+000.00	GRP	PN 20	700	719	709 57	9 43	5000	26 53	538 26
58+089.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26.53	538.26
58+232.00	GRP	PN 20	700	719	709.57	9.43	5000	26 53	538 26
58+754.00	GRP	PN 20	700	719	709 57	9 43	5000	26 53	538 26
58+944.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
59+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
59+229.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
59+249.50	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
59+505.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584.78
59+767.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584.78
59+784.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8 15	5000	32 08	584 78
59+950.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+051.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+075.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+270.50	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+620.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+909.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
61+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
61+180.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
62+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
63+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
63+060.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
63+216.52	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

Cálculo de la Celeridad L2 - CH - 3 ANEXO A8

Densidad del líquido	1000	Kg/m³
Gravedad	9.81	m/seg²
Módulo elasticidad Agua	2.06	Gpa

$$a = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\rho}{g}\right)\left(\frac{1}{10^9 E_w} + \frac{D_{int}}{10^9 E_p t_t}\right)}}$$

LINEA 2

Progresiva	Material	Clase de Presión PN (Bar)	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Externo (mm)	Diámetro Interno (mm)	Espesor de la Tubería (mm)	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Celeridad de Onda (m/s)
50+000.00	GRP	PN 6	600	617	609 25	7.75	2500	10.48	347 13
50+380.00	GRP	PN 6	600	617	609 25	7.75	2500	10.48	347.13
51+000.00	GRP	PN 10	600	617	610.03	6.97	2500	18 15	425.81
51+260.00	GRP	PN 10	600	617	610.03	6.97	2500	18 15	425.81
51+500.00	GRP	PN 10	600	617	610.03	6.97	2500	18.15	425.81
51+520.00	GRP	PN 10	600	617	610.03	6.97	2500	18.15	425.81
51+760.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28 18	509.44
52+000.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28 18	509 44
52+150.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28 18	509.44
52+260.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28.18	509 44
52+350.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28 18	509.44
52+460.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28 18	509 44
52+600.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6 72	2500	28.18	509.44
52+640.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28.18	509 44
52+800.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28.18	509 44
52+866.00	GRP	PN 16	600	617	610.28	6.72	2500	28.18	509.44
53+000.00	GRP	PN 20	600	617	610.32	6 68	2500	34 02	550.89
53+035.00	GRP	PN 20	600	617	610.32	6.68	2500	34 02	550.89
53+171.00	GRP	PN 20	600	617	610.32	6.68	2500	34 02	550.89
53+391.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
53+692.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
53+972.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8 15	5000	32 08	584 78
54+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
54+614.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
55+000.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542 63
55+033.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542 63
55+309.00	GRP	PN 20	600	617	608 77	8 23	5000	26 58	542.63
55+524.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26.58	542 63
55+550.00	GRP	PN 20	600	617	608 77	8.23	5000	26.58	542.63
55+709.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26.58	542.63
55+727.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26.58	542 63
55+889.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542.63
56+000.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542.63
56+137.50	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26.58	542 63
56+560.00	GRP	PN 16	600	617	608.62	8.38	5000	21.88	502 92
56+583.00	GRP	PN 16	600	617	608.62	8.38	5000	21 88	502 92
56+689.00	GRP	PN 16	600	617	608.62	8.38	5000	21 88	502 92
57+000.00	GRP	PN 16	600	617	608.62	8 38	5000	21 88	502 92
57+949.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542 63
58+000.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542.63
58+089.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542 63
58+232.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542.63
58+754.00	GRP	PN 20	600	617	608.77	8.23	5000	26 58	542 63
58+944 00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
59+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584.78
59+229.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32.08	584.78
59+249.50	GRP	PN 25	600	617	608.85	8 15	5000	32 08	584 78
59+505.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32.08	584.78
59+767.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
59+784.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
59+950.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584.78
60+051.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+075.00	GRP	PN 25	600	617	608 85	8 15	5000	32 08	584.78
60+270.50	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+620.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
60+909.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8 15	5000	32 08	584.78
61+000 00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8 15	5000	32 08	584 78
61+180.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8 15	5000	32.08	584 78
62+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
63+000.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8 15	5000	32 08	584 78
63+060.00	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78
63+216.52	GRP	PN 25	600	617	608.85	8.15	5000	32 08	584 78

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CDI - 1 ANEXO 9 (6s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB): 0.0065 — Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG): 1 — Para agua

$$P_t \le \frac{HDB * E_y * 2 * t_t * 10^4}{1.8 * D_t} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_r \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tuberia SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tuberia (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (6s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	5559	2500	6	10.35	10.08	9.29	OK	5.45	OK	4.22	6.91	Sobre Presión
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	10.35	10.08	9.29	OK	8.54	Corregir	6.10	10.46	Sobre Presión
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	6.83	10.93	Sobre Presion
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	7.13	11.11	Sobre Presión
51+500.00	800	811.93	9353	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.17	OK	7.29	11.75	Sobre Presión
51+520.00	800	811.93	9407	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.22	OK	7.35	11.84	Sobre Presión
51+760.00	800	812.36	10640	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	10.43	OK	7.40	12.74	OK
52+000.00	800	812.36	12745	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.50	OK	7.53	14.31	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.78	OK	7.72	15.36	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.02	OK	7.82	15.60	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.88	OK	7.89	15.55	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.37	OK	7.95	15.23	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.48	OK	8.03	14.65	OK
52+640.00	800	812.36	127.23	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.47	OK	8.08	14.68	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.42	OK	8.15	16.12	Sobre Presión
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	15.22	OK	8.21	16.74	Sobre Presión
53+000.00	800	812.43	169.18	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.59	OK	8.25	17.74	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.94	OK	8.29	18.02	OK
53+171.00	800	812.43	173.17	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.98	OK	8.32	18.07	OK
53+391.00	800	810.46	202.96	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.90	OK	8.40	20.21	OK
53+692.00	800	810.46	202.87	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.89	OK	8.51	20.28	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.15	OK	8.68	21.31	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.08	OK	8.75	21.31	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	31.79	9.35	30.25	OK	20.21	OK	9.40	21.15	OK
55+000.00	700	709.57	186.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.31	OK	9.98	20.21	Sobre Presión
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.27	OK	10.17	20.31	Sobre Presión
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.04	OK	10.31	19.53	OK
55+524.00	700	709.57	145.99	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.31	OK	10.49	17.72	OK
55+550.00	700	709.57	145.84	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.30	OK	10.60	17.78	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.54	OK	10.65	19.43	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.53	OK	10.73	19.47	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	13.87	OK	10.78	17.61	OK
56+000.00	700	709.57	143.35	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.05	OK	10.88	17.81	OK
56+137.50	700	709.57	158.12	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.50	OK	10.97	18.91	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.29	OK	11.13	16.01	Sobre Presión
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.26	OK	11.32	16.13	Sobre Presión
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.21	OK	11.36	17.55	Sobre Presión
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.48	OK	11.52	17.85	Sobre Presión
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.22	OK	12.04	18.76	OK
58+000.00	700	709.57	160.56	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.74	OK	12.61	20.25	Sobre Presión
58+089.00	700	709.57	175.32	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.19	OK	12.67	21.33	Sobre Presión
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.63	OK	12.74	19.55	OK
58+754.00	700	709.57	149.52	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.66	OK	12.90	19.68	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.58	OK	13.18	21.97	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.49	OK	13.35	22.03	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.31	OK	13.39	21.21	OK
59+249.50	600	608.85	166.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.30	OK	13.53	21.31	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.05	OK	13.54	22.57	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	13.69	21.00	OK
59+784.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	13.94	21.17	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.84	OK	13.98	23.44	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.88	OK	14.14	22.87	OK
60+051.00	600	608.85	164.10	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.09	OK	14.24	21.66	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.03	OK	14.32	21.68	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	14.47	23.69	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.39	OK	14.75	22.96	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	21.91	OK	15.15	26.47	Sobre Presión
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	20.35	OK	15.44	25.57	Sobre Presión
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.62	OK	15.58	23.00	OK
62+000.00	600	608.85	164.05	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.08	OK	15.95	22.88	OK
63+000.00	600	608.85	157.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.44	OK	17.41	23.47	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.40	OK	18.44	24.17	OK
63+216.52	600	608.85	166.44	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.32	OK	18.60	24.94	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	28.87	OK	16.31	OK	18.79	25.07	Sobre Presión

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Proyecto

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO 9_(15s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB) 0.00
Gravedad específica del agua (SG) 1 Valor recomendado por AWWA M45 Para agua

$$P_r \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D_i} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_r \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (15s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	1035	10.08	9.29	OK	5.45	OK	2.06	5.37	OK
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	1035	10.08	9.29	OK	8.54	Corregir	3.44	8.56	Sobre Presión
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	5.22	9.78	OK
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	6.06	1035	Sobre Presión
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.17	OK	6.58	11.25	Sobre Presión
51+520.00	800	811.93	94.07	2500	10	1786	9.07	14.41	OK	9.22	OK	6.67	11.35	Sobre Presión
51+760.00	800	812.36	106.40	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	10.43	OK	7.00	12.45	OK
52+000.00	800	812.36	127.45	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.50	OK	7.32	1415	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	27.66	8.64	2125	OK	13.78	OK	7.47	1518	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	2125	OK	1402	OK	7.55	15.41	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.88	OK	7.63	15.37	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	1337	OK	7.73	15.07	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27.66	8.64	2125	OK	12.48	OK	7.90	14.56	OK
52+640.00	800	812.36	127.23	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.47	OK	7.96	14.60	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.42	OK	8.06	16.05	Sobre Presión
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	2125	OK	15.22	OK	8.13	16.68	Sobre Presión
53+000.00	800	812.43	169.18	2500	20	3361	8.57	2561	OK	1659	OK	8.20	17.70	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	3361	8.57	25.61	OK	1694	OK	8.24	17.98	OK
53+171.00	800	812.43	173.17	2500	20	33.61	8.57	2561	OK	16.98	OK	8.29	18.05	OK
53+391.00	800	810.46	202.96	5000	25	3158	10.54	2966	OK	19.90	OK	8.39	2020	OK
53+692.00	800	810.46	202.87	5000	25	3158	1054	29.66	OK	19.89	OK	8.52	2029	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	31.58	1054	29.66	OK	21.15	OK	8.67	21.30	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	3158	1054	2966	OK	21.08	OK	8.74	2130	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	3179	9.35	30.25	OK	20.21	OK	9.13	20.96	OK
55+000.00	700	709.57	186.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.31	OK	9.60	19.94	OK
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	18.27	OK	9.78	20.04	Sobre Presion
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	2653	9.43	2546	OK	17.04	OK	9.98	19.30	OK
55+524.00	700	709.57	145.99	5000	20	2653	9.43	2546	OK	1431	OK	10.25	1754	OK
55+550.00	700	709.57	145.84	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	14.30	OK	10.36	17.61	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	16.54	OK	10.45	19.28	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	1653	OK	10.53	19.33	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	13.87	OK	10.61	17.49	OK
56+000.00	700	709.57	143.35	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.05	OK	10.72	17.70	OK
56+137.50	700	709.57	158.12	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	15.50	OK	10.81	18.80	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	2158	9.63	2116	OK	11.29	OK	10.98	1591	OK
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	2158	9.63	21.16	OK	11.26	OK	11.17	16.02	Sobre Presión
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	2158	9.63	21.16	OK	13.21	OK	11.21	1744	Sobre Presión
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	2158	9.63	2116	OK	1348	OK	11.36	17.74	Sobre Presión
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	2653	9.43	2546	OK	1422	OK	1171	18.52	OK
58+000.00	700	709.57	160.56	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	15.74	OK	12.27	20.01	Sobre Presión
58+089.00	700	709.57	175.32	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	17.19	OK	12.30	21.06	Sobre Presión
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	14.63	OK	12.37	19.29	OK
58+754.00	700	709.57	149.52	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	14.66	OK	12.50	19.40	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.58	OK	12.83	2172	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.49	OK	13.02	21.80	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.31	OK	1310	2101	OK
59+249.50	600	608.85	166.30	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1630	OK	13.32	21.16	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.05	OK	13.35	22.43	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	15.70	OK	13.60	20.93	OK
59+784.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	15.70	OK	1385	2111	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.84	OK	13.87	23.36	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.88	OK	1401	2278	OK
60+051.00	600	608.85	164.10	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.09	OK	14.06	21.53	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	1603	OK	1410	2152	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	1412	23.44	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.39	OK	14.28	22.62	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	21.91	OK	1471	26.15	Sobre Presión
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	20.35	OK	1502	2527	Sobre Presión
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1662	OK	15.19	22.72	OK
62+000.00	600	608.85	164.05	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.08	OK	1562	22.65	OK
63+000.00	600	608.85	157.52	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	15.44	OK	16.88	23.09	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.40	OK	1789	23.77	OK
63+216.52	600	608.85	166.44	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.32	OK	18.01	24.52	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	1291	2887	OK	16.31	OK	1819	24.64	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO 9_(20s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB) 0.0065 Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG) 1 Para agua

$$P_t \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D_i} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0102} \qquad P_t \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (20s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	1035	10.08	9.29	OK	5.45	OK	1.72	5.12	OK
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	1035	1008	9.29	OK	8.54	Corregir	2.81	8.11	Sobre Presión
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	4.21	9.06	OK
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	4.91	9.53	OK
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	17.86	9.07	1441	OK	9.17	OK	5.50	10.48	Sobre Presión
51+520.00	800	811.93	94.07	2500	10	17.86	9.07	1441	OK	9.22	OK	5.60	10.59	Sobre Presión
51+760.00	800	812.36	106.40	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	10.43	OK	6.07	11.79	OK
52+000.00	800	812.36	127.45	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.50	OK	6.52	13.58	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.78	OK	6.80	14.71	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.02	OK	6.99	15.01	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.88	OK	7.14	15.02	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.37	OK	7.28	14.75	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.48	OK	7.46	14.24	OK
52+640.00	800	812.36	127.23	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.47	OK	7.55	14.30	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.42	OK	7.73	15.82	OK
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	15.22	OK	7.84	16.48	Sobre Presión
53+000.00	800	812.43	169.18	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.59	OK	7.98	17.54	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.94	OK	8.02	17.83	OK
53+171.00	800	812.43	173.17	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.98	OK	8.12	17.93	OK
53+391.00	800	810.46	202.96	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.90	OK	8.25	20.11	OK
53+692.00	800	810.46	202.87	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.89	OK	8.44	20.23	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.15	OK	8.67	21.30	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.08	OK	8.75	21.31	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	31.79	9.35	30.25	OK	20.21	OK	9.06	20.91	OK
55+000.00	700	709.57	186.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.31	OK	9.54	19.89	OK
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	1827	OK	9.72	20.00	OK
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	17.04	OK	9.91	19.25	OK
55+524.00	700	709.57	145.99	5000	20	2653	9.43	2546	OK	1431	OK	1016	17.48	OK
55+550.00	700	709.57	145.84	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.30	OK	10.27	1755	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.54	OK	10.39	19.24	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	16.53	OK	10.47	19.29	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	1387	OK	1057	1746	OK
56+000.00	700	709.57	143.35	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.05	OK	10.68	17.67	OK
56+137.50	700	709.57	158.12	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	1550	OK	10.78	18.77	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	21.58	9.63	2116	OK	11.29	OK	10.95	15.89	OK
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	21.58	9.63	2116	OK	1126	OK	1114	16.00	OK
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	2158	9.63	21.16	OK	13.21	OK	11.18	17.42	Sobre Presión
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	2158	9.63	2116	OK	1348	OK	11.28	17.68	Sobre Presión
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	14.22	OK	11.58	18.43	OK
58+000.00	700	709.57	160.56	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	1574	OK	12.14	1992	OK
58+089.00	700	709.57	175.32	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.19	OK	12.19	20.98	Sobre Presión
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.63	OK	12.26	1921	OK
58+754.00	700	709.57	149.52	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.66	OK	12.39	19.32	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1758	OK	12.69	21.62	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.49	OK	12.89	21.70	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.31	OK	12.96	20.91	OK
59+249.50	600	608.85	166.30	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.30	OK	13.18	21.06	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1805	OK	13.22	22.34	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1570	OK	1347	20.84	OK
59+784.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	13.72	21.02	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.84	OK	13.75	23.28	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.88	OK	13.92	2271	OK
60+051.00	600	608.85	164.10	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.09	OK	13.97	21.47	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.03	OK	14.02	21.47	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	14.05	2338	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.39	OK	14.25	22.60	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	21.91	OK	14.66	26.12	Sobre Presión
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	20.35	OK	1497	25.23	Sobre Presión
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1662	OK	15.15	2270	OK
62+000.00	600	608.85	164.05	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.08	OK	15.59	22.62	OK
63+000.00	600	608.85	157.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	1544	OK	16.74	22.99	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	15.40	OK	17.75	23.68	OK
63+216.52	600	608.85	166.44	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.32	OK	1786	24.41	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	1291	2887	OK	16.31	OK	1803	24.53	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO 9_(30s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB) 0.0065 Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad especifica del agua (SG) 1 Para agua

$$P_t \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D_i} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_t \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (30s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	10.35	10.08	9.29	OK	5.45	OK	1.29	4.81	OK
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	10.35	10.08	9.29	OK	8.54	Corregir	2.12	7.62	Sobre Presión
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	3.18	8.32	OK
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	3.74	8.69	OK
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.17	OK	4.11	9.48	OK
51+520.00	800	811.93	94.07	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.22	OK	4.19	9.58	OK
51+760.00	800	812.36	106.40	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	10.43	OK	4.49	10.66	OK
52+000.00	800	812.36	127.45	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.50	OK	4.90	12.42	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.78	OK	5.16	13.53	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.02	OK	5.33	13.82	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.88	OK	5.52	13.86	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.37	OK	5.70	13.62	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.48	OK	5.93	13.15	OK
52+640.00	800	812.36	127.23	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.47	OK	6.04	13.22	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.42	OK	6.25	14.76	OK
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	15.22	OK	6.38	15.43	OK
53+000.00	800	812.43	169.18	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.59	OK	6.58	16.54	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.94	OK	6.64	16.84	OK
53+171.00	800	812.43	173.17	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.98	OK	6.82	17.00	OK
53+391.00	800	810.46	202.96	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.90	OK	7.09	19.28	OK
53+692.00	800	810.46	202.87	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.89	OK	7.44	19.52	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.15	OK	7.76	20.65	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.08	OK	7.85	20.67	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	31.79	9.35	30.25	OK	20.21	OK	8.48	20.50	OK
55+000.00	700	709.57	186.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.31	OK	9.05	19.54	OK
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.27	OK	9.24	19.65	OK
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.04	OK	9.47	18.94	OK
55+524.00	700	709.57	145.99	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.31	OK	9.77	17.20	OK
55+550.00	700	709.57	145.84	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.30	OK	9.88	17.27	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.54	OK	10.00	18.96	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.53	OK	10.08	19.01	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	13.87	OK	10.18	17.18	OK
56+000.00	700	709.57	143.35	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.05	OK	10.30	17.40	OK
56+137.50	700	709.57	158.12	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.50	OK	10.41	18.51	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.29	OK	10.76	15.75	OK
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.26	OK	10.96	15.87	OK
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.21	OK	11.01	17.30	Sobre Presión
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.48	OK	11.14	17.58	Sobre Presión
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.22	OK	11.46	18.34	OK
58+000.00	700	709.57	160.56	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.74	OK	12.02	19.83	OK
58+089.00	700	709.57	175.32	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.19	OK	12.06	20.89	Sobre Presión
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.63	OK	12.12	19.11	OK
58+754.00	700	709.57	149.52	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.66	OK	12.26	19.23	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.58	OK	12.57	21.54	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.49	OK	12.77	21.62	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.31	OK	12.86	20.84	OK
59+249.50	600	608.85	166.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.30	OK	13.08	20.99	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.05	OK	13.15	22.29	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	13.42	20.80	OK
59+784.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	13.67	20.98	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.84	OK	13.71	23.25	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.88	OK	13.87	22.68	OK
60+051.00	600	608.85	164.10	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.09	OK	13.92	21.44	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.03	OK	13.98	21.44	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	14.04	23.38	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.39	OK	14.28	22.62	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	21.91	OK	14.67	26.13	Sobre Presión
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	20.35	OK	14.95	25.22	Sobre Presión
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.62	OK	15.09	22.65	OK
62+000.00	600	608.85	164.05	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.08	OK	15.55	22.59	OK
63+000.00	600	608.85	157.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.44	OK	16.56	22.86	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.40	OK	17.55	23.53	OK
63+216.52	600	608.85	166.44	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.32	OK	17.64	24.25	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	28.87	OK	16.31	OK	17.81	24.37	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO 9 (60s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB) 0.0065 Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG) Para agua

$$P_s \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_s * 10^6}{1.8 * D_i} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_c \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m^2) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre Presión Ps (60s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	10.35	10.08	9.29	OK	5.45	OK	0.70	4.39	OK
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	10.35	10.08	9.29	OK	8.54	Corregir	1.30	7.03	Sobre Presión
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	1.91	7.42	OK
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	2.33	7.69	OK
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.17	OK	2.61	8.41	OK
51+520.00	800	811.93	94.07	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.22	OK	2.68	8.50	OK
51+760.00	800	812.36	106.40	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	10.43	OK	2.87	9.50	OK
52+000.00	800	812.36	127.45	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.50	OK	3.11	11.15	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.78	OK	3.29	12.20	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.02	OK	3.40	12.45	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.88	OK	3.51	12.42	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.37	OK	3.61	12.13	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.48	OK	3.74	11.59	OK
52+640.00	800	812.36	127.23	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.47	OK	3.82	11.64	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.42	OK	3.95	13.12	OK
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	15.22	OK	4.05	13.77	OK
53+000.00	800	812.43	169.18	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.59	OK	4.18	14.83	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.94	OK	4.23	15.12	OK
53+171.00	800	812.43	173.17	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.98	OK	4.34	15.23	OK
53+391.00	800	810.46	202.96	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.90	OK	4.54	17.46	OK
53+692.00	800	810.46	202.87	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.89	OK	4.81	17.64	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.15	OK	5.05	18.71	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.08	OK	5.13	18.72	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	31.79	9.35	30.25	OK	20.21	OK	5.63	18.46	OK
55+000.00	700	709.57	186.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.31	OK	6.20	17.51	OK
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.27	OK	6.39	17.62	OK
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.04	OK	6.67	16.93	OK
55+524.00	700	709.57	145.99	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.31	OK	6.98	15.21	OK
55+550.00	700	709.57	145.84	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.30	OK	7.10	15.29	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.54	OK	7.26	17.00	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.53	OK	7.35	17.06	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	13.87	OK	7.51	15.27	OK
56+000.00	700	709.57	143.35	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.05	OK	7.68	15.53	OK
56+137.50	700	709.57	158.12	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.50	OK	7.87	16.70	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.29	OK	8.32	14.01	OK
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.26	OK	8.53	14.13	OK
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.21	OK	8.62	15.59	OK
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.48	OK	8.93	16.00	Sobre Presión
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.22	OK	9.79	17.15	OK
58+000.00	700	709.57	160.56	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.74	OK	10.38	18.66	OK
58+089.00	700	709.57	175.32	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.19	OK	10.46	19.75	OK
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.63	OK	10.59	18.02	OK
58+754.00	700	709.57	149.52	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.66	OK	10.95	18.29	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.58	OK	11.37	20.68	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.49	OK	11.60	20.78	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.31	OK	11.81	20.08	OK
59+249.50	600	608.85	166.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.30	OK	12.04	20.25	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.05	OK	12.22	21.62	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	12.61	20.22	OK
59+784.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	12.87	20.41	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.84	OK	12.98	22.73	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.88	OK	13.17	22.18	OK
60+051.00	600	608.85	164.10	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.09	OK	13.26	20.96	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.03	OK	13.33	20.97	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	13.47	22.97	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.39	OK	13.84	22.30	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	21.91	OK	14.31	25.87	Sobre Presión
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	20.35	OK	14.63	24.98	OK
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.62	OK	14.80	22.45	OK
62+000.00	600	608.85	164.05	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.08	OK	15.34	22.45	OK
63+000.00	600	608.85	157.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.44	OK	16.53	22.84	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.40	OK	17.54	23.53	OK
63+216.52	600	608.85	166.44	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.32	OK	17.64	24.26	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	28.87	OK	16.31	OK	17.83	24.39	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 1 ANEXO 10_(6s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB): 0.0065 — Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG): 1 — Para agua

$$P_t \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D_t} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_t \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (6s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000 00	600	609 25	54.59	2500	6	10 48	7 75	9 63	OK	5 35	OK	8 64	10 00	Sobre Presión
50+380 00	600	609 25	84 46	2500	6	10 48	7 75	9 63	OK	8 28	Corregir	5 09	9 55	Sobre Presión
51+000 00	600	610 03	81 75	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	8 01	OK	9 87	12.77	Sobre Presión
51+260 00	600	610 03	80 48	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	7 89	OK	10.39	13 06	Sobre Presión
51+500 00	600	610 03	87 27	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	8 56	OK	10 68	13.74	Sobre Presión
51+520 00	600	610 03	87 74	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	8 60	OK	10 82	13 87	Sobre Presión
51+760 00	600	610 28	99 31	2500	16	28 18	6 72	22 41	OK	9 74	OK	10 95	14.78	OK
52+000 00	600	610 28	119 60	2500	16	28 18	6 72	22 41	OK	11 73	OK	11.20	16 37	Sobre Presión
52+150 00	600	610 28	13228	2500	16	28 18	6.72	22 41	OK	12 97	OK	11.40	1741	Sobre Presión
52+260.00	600	610 28	134 36	2500	16	28 18	6 72	2241	OK	13 17	OK	1156	17 67	Sobre Presión
52+350 00	600	610.28	13266	2500	16	2818	6 72	2241	OK	13 01	OK	13 69	17.64	Sobre Presion
52+460 00	600	610.28	127 04	2 500	16	2818	6 72	22 41	OK	12.45	OK	11.80	17.33	Sobre Presión
52+600 00	600	610 28	11757	2 500	16	2818	6 72	22 41	OK	1153	OK	11 94	16 76	Sobre Presión
52+640 00	600	610 28	11733	2 500	16	2818	6 72	2241	OK	11 50	OK	1205	16 82	Sobre Presión
52+800 00	600	610 28	136 65	2 500	16	28 18	6.72	2241	OK	13 40	OK	12 15	1825	Sobre Presión
52+866 00	600	610 28	144 67	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	1418	OK	1228	18.90	Sobre Presión
53+000 00	600	610 32	15813	2 500	20	34 02	6 68	26 89	OK	15.50	OK	1239	19.92	OK
53+035 00	600	610 32	161.62	2500	20	34 02	6 68	26 89	OK	15 85	OK	12 47	20 23	Sobre Presión
53+171.00	600	610 32	161 57	2500	20	34 02	6 68	26 89	OK	15 84	OK	1256	20.29	Sobre Presión
53+391 00	600	608 85	190 67	5000	25	32 08	8.15	31.01	OK	18 69	OK	12.74	22.45	OK
53+692 00	600	608 85	189 63	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1859	OK	12 99	22.56	OK
53+972.00	600	608.85	201 61	5000	25	32.08	8 15	31 01	OK	1977	OK	13 28	23 60	OK
54+000 00	600	608 85	200 84	5000	25	32.08	8.15	31 01	OK	19 69	OK	13 44	23 67	OK
54+6 14 00	600	608 85	19134	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	18 76	OK	13 77	23.24	OK
55+000 00	600	608 77	17155	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	16 82	OK	1428	2221	Sobre Presión
55+033 00	600	608 77	171.15	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	16 78	OK	14 49	22.34	Sobre Presión
55+309 00	600	608.77	158 25	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1551	OK	14 62	21 52	Sobre Presión
55+524 00	600	608 77	130 25	5000	20	26 58	8 23	2595	OK	12 77	OK	14 80	19 69	OK
55+550 00	600	608 77	130 08	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 75	OK	1492	19.76	OK
55+709.00	600	608 77	15281	5000	20	26 58	8 23	2595	OK	14 98	OK	14 94	21.37	Sobre Presión
55+727 00	600	608 77	152.69	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1497	OK	15 02	2142	Sobre Presión
55+889 00	600	608 77	125 40	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1229	OK	15 03	19.52	OK
56+000 00	600	608.77	127.13	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12.46	OK	1518	19.75	OK
56+137 50	600	608.77	14174	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	13.90	OK	1531	2086	Sobre Presión
56+560 00	600	608 62	98 36	5000	16	2188	8 38	2176	OK	9 64	OK	1557	18 01	Sobre Presión
56+583 00	600	608 62	98 01	5000	16	21 88	8 38	2176	OK	9 61	OK	15 80	18.15	Sobre Presion
56+689 00	600	608 62	117 80	5000	16	2188	8 38	2176	OK	1155	OK	1585	19.57	Sobre Presión
57+000 00	600	608 62	120 20	5000	16	2188	8 38	21 76	OK	11.78	OK	15 94	19 80	Sobre Presion
57+949 00	600	608 77	126 82	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1243	OK	16 14	20.41	Sobre Presión
58+000 00	600	608 77	142 27	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	13 95	OK	16 48	2173	Sobre Presión
58+089 00	600	608 77	156 94	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	15 39	OK	16 48	22.76	Sobre Presión
58+232 00	600	608 77	130 73	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12.82	OK	16.46	20.91	Sobre Presión
58+754.00	600	608 77	130 46	5000	20	26 58	8 23	2595	OK	12 79	OK	16 42	20 86	Sobre Presión
58+944 00	600	608.85	16 1 07	5000	25	32 08	8.15	31 01	OK	15 79	OK	16 47	23.04	OK
59+000 00	600	608 85	16045	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	15 73	OK	16 52	23 03	OK
59+229 00	600	608 85	149 30	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	14 64	OK	16 53	22 26	OK
59+249 50	600	608.85	149 36	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	14 64	OK	16 57	22.30	OK
59+505 00	600	608.85	16827	5000	25	32 08	8.15	31 01	OK	16 50	OK	16 57	23.62	OK
59+767 00	600	608.85	14535	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	1425	OK	16 58	22.02	OK
59+784 00	600	608 85	145 43	5000	25	32 08	8 15	31.01	OK	1426	OK	16.56	22.01	OK
59+950.00	600	608.85	17812	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	17 46	OK	16 54	2429	OK
60+000 00	600	608.85	168 53	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	16 52	OK	16 53	23.61	OK
60+051 00	600	608.85	15053	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1476	OK	16.54	22.35	OK
60+075 00	600	608 85	150 08	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1471	OK	16 57	2235	OK
60+270 50	600	608.85	17801	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	17 45	OK	1665	2436	OK
60+6 20 00	600	608 85	166 12	5000	25	32 08	8.15	31 01	OK	16 29	OK	16 80	23.63	OK
60+909 00	600	608 85	213 45	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	20 93	OK	17 04	27 12	Sobre Presión
61+000 00	600	608 85	19794	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	19 41	OK	17.23	26.17	Sobre Presion
61+180 00	600	608 85	160 65	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1575	OK	1732	23.62	OK
62+000 00	600	608 85	158 78	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1557	OK	17 61	23 70	OK
63+000 00	600	608.85	156 58	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	15 35	OK	18 10	2389	OK
63+060 00	600	608 85	156 41	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	15.33	OK	18.58	2422	OK
63+216 52	600	608 85	166 52	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	16 33	OK	1865	24.98	OK
Turbina	1000	1012 09	16633	5000	25	31.94	12 91	2887	OK	16 31	OK	18 79	25 07	Sobre Presion

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO 10_ESSer

Base Hidrostática de Diseño (HDB) 0.0065 Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG) 1 Para agua

$$P_r \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_1 \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_r \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (1Ss) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000 00	600	609.25	54.59	2500	6	10 48	7 75	9 63	OK	5.35	OK	5 00	7.39	Sobre Presión
50+380.00	600	609.25	8446	2500	6	10 48	7 75	9 63	OK	8.28	Corregir	2 52	7.72	Sobre Presión
51+000 00	600	610.03	81 75	2500	10	1815	6 97	14.98	OK	8 01	OK	7 60	11.15	Sobre Presión
51+260 00	600	610 03	80 48	2500	10	18 15	6.97	14.98	OK	7 89	OK	8 88	11.98	Sobre Presión
51+500 00	600	610 03	8727	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	8 56	OK	9.78	13.10	Sobre Presión
51+520 00	600	610 03	87.74	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	8 60	OK	9 96	13.26	Sobre Presión
51+760 00	600	610 28	99 31	2500	16	2818	6 72	22.41	OK	9 74	OK	10 49	14.45	OK
52+000 00	600	610 28	119 60	2500	16	2818	6 72	22.41	OK	11 73	OK	11.00	16 23	Sobre Presion
52+150 00	600	610.28	132.28	2500	16	28 18	6 72	22.41	OK	12 97	OK	11.29	17.33	Sobre Presión
52+260 00	600	610 28	134 36	2500	16	28 18	6.72	22.41	OK	13.17	OK	1145	17.59	Sobre Presión
52+350 00	600	610 28	132 66	2500	16	28 18	6 72	22 41	OK	1301	OK	1159	17.57	Sobre Presión
52+460 00	600	610 28	127 04	2500	16	28 18	6 72	22.41	OK	1245	OK	11.71	17.26	Sobre Presión
52+600 00	600	610.28	117 57	2500	16	28 18	6 72	22.41	OK	11.53	OK	11.94	16 76	Sobre Presión
52+640 00	600	610 28	11733	2500	16	28 18	6 72	22 41	OK	11.50	OK	12.09	16.85	Sobre Presion
52+800 00	600	610 28	136 65	2500	16	28 18	6 72	22 41	OK	1340	OK	1224	18.31	Sobre Presión
52+866 00	600	610 28	144 67	2500	16	2818	6 72	2241	OK	14.18	OK	12.38	18.98	Sobre Presión
53+000 00	600	610 32	158 13	2500	20	34 02	6 68	26.89	OK	15.50	OK	12 49	20 00	OK
53+0 35 00	600	610 32	161.62	2500	20	34 02	6 68	26 89	OK	15 85	OK	12 58	20,30	Sobre Presión
53+171 00	600	610.32	161.57	2500	20	34 02	6 68	26 89	OK	15 84	OK	12.66	20.36	Sobre Presión
53+391 00	600	608 85	190 6 7	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	18.69	OK	1282	22 51	OK
53+6 92.00	600	608 85	189 63	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	18 59	OK	13 06	22.61	OK
53+972.00	600	608.85	201 61	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	19 77	OK	13.33	23 64	OK
54+000 00	600	608.85	200 84	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	19.69	OK	1349	23.70	OK
54+6 14 00	600	608 85	191 34	5000	25	32.08	8 15	31.01	OK	18.76	OK	13 72	23.20	OK
55+000 00	600	608 77	171.55	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	16.82	OK	14.19	22.15	Sobre Presion
55+033 00	600	608 77	171 15	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	16 78	OK	14 41	22.28	Sobre Presión
55+309 00	600	608 77	158 25	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1551	OK	1453	21 46	Sobre Presión
55+524 00	600	608 77	130 25	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 77	OK	1474	19 65	OK
55+550 00	600	608 77	130 08	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12.75	OK	1487	19.73	OK
55+709 00	600	608 77	152 81	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	14 98	OK	14.92	21.36	Sobre Presion
55+727 00	600	608 77	152.69	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1497	OK	1501	21 41	Sobre Presión
55+889 00	600	608.77	125 40	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 29	OK	15 04	19.52	OK
56+000 00	600	608 77	127 13	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 46	OK	15 13	19 71	OK
56+137.50	600	608.77	14174	5000	20	26 58	8 23	25.95	OK	13.90	OK	1520	20 78	Sobre Presión
56+560 00	600	608 6 2	98 36	5000	16	21.88	8 38	21 76	OK	9 64	OK	1528	17.80	Sobre Presión
56+583 00	600	608 6 2	98.01	5000	16	21 88	8 38	21 76	OK	9 61	OK	1545	17.90	Sobre Presión
56+689 00	600	608 62	117.80	5000	16	21.88	8 38	2176	OK	11 55	OK	1546	19.29	Sobre Presión
57+000 00	600	608.6 2	120 20	5000	16	21 88	8 38	21.76	OK	11 78	OK	15 51	1949	Sobre Presión
57+949 00	600	608 77	126 .82	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 43	OK	1563	20.04	Sobre Presión
58+000 00	600	608 77	142 27	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	13 95	OK	1601	21.40	Sobre Presion
58+089 00	600	608 77	156 94	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	15 39	OK	16 02	22.44	Sobre Presión
58+232.00	600	608 77	130 73	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1282	OK	16 05	20.62	Sobre Presion
58+754 00	600	608,77	130 46	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 79	OK	16 08	20 62	Sobre Presion
58+944 00	600	608 85	161 07	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	15 79	OK	16 21	2286	OK
59+000 00	600	60885	16045	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1573	OK	16 23	22.83	OK
59+229 00	600	608.85	149 30	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	14 64	OK	16.23	22.05	OK
59+249 50	600	608 85	149 36	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	14 64	OK	16 25	22.07	OK
59+505 00	600	608 85	168 27	5000	25	32.08	8 15	31.01	OK	16 50	OK	16 25	23.39	OK
59+76 7 00	600	608 85	14535	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	14.25	OK	16 26	21.79	OK
59+784 00	600	608 85	14543	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	1426	OK	16 29	21.82	OK
59+950 00	600	608 85	178 12	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	17 46	OK	16 31	24.12	OK
60+000 00	600	608 85	168.53	5000	25	32.08	8 15	31 01	OK	1652	OK	16 41	23.52	OK
60+051 00	600	608.85	150 53	5000	25	32.08	8 15	31 01	OK	1476	OK	16 46	22. 30	OK
60+075 00	600	608 85	150 08	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	14 71	OK	16.50	22.29	OK
60+270 50	600	608 85	17801	5000	25	32 08	8 15	31.01	OK	17.45	OK	16 58	24.31	OK
60+620 00	600	608 85	166 12	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	16 29	OK	16 77	23.61	OK
60+909 00	600	608 85	213 45	5000	25	32.08	8 15	31 01	OK	20 93	OK	17.00	27.09	Sobre Presión
61+000 00	600	608 85	197 94	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	19 41	OK	17.15	26.11	Sobre Presión
61+180 00	600	608 85	160 65	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1575	OK	17 21	23 54	OK
62+000 00	600	608 85	158 78	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1557	OK	17.30	23 48	OK
63+000 00	600	608.85	156 58	5000	25	32 08	8 15	31.01	OK	1535	OK	1773	23.63	OK
63+060 00	600	608 85	156 41	5000	25	32 08	8.15	31.01	OK	15.33	OK	18.10	23 88	OK
63+216 52	600	608.85	166 52	5000	25	32 08	8 15	31.01	OK	16 33	OK	18.12	24.60	OK
Turbina	1000	1012.09	166 33	5000	25	31-34	12 91	28 87	OK	16 31	OK	1819	24.64	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH. - 1 ANEXO 10 [20s]

Base Hidrostática de Diseño (HDB): 0.0065 — Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG): 1 — Para agua

$$P_c \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_t \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m^2) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (20s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	600	609.25	54.59	2500	6	10.48	7.75	9.63	OK	5.35	OK	4.16	6.80	Sobre Presión
50+380.00	600	609.25	84.46	2500	6	10.48	7.75	9.63	OK	8.28	Corregir	2.14	7.45	Sobre Presión
51+000.00	600	610.03	81.75	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.01	OK	6.31	10.23	Sobre Presión
51+260.00	600	610.03	80.48	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	7.89	OK	7.38	10.90	Sobre Presión
51+500.00	600	610.03	87.27	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.56	OK	8.18	11.95	Sobre Presión
51+520.00	600	610.03	87.74	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.60	OK	8.37	12.12	Sobre Presión
51+760.00	600	610.28	99.31	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	9.74	OK	9.10	13.46	OK
52+000.00	600	610.28	119.60	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.73	OK	9.82	15.39	OK
52+150.00	600	610.28	132.28	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	12.97	OK	10.31	16.63	Sobre Presión
52+260.00	600	610.28	134.36	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.17	OK	10.62	17.00	Sobre Presión
52+350.00	600	610.28	132.66	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.01	OK	10.88	17.06	Sobre Presión
52+460.00	600	610.28	127.04	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	12.45	OK	11.11	16.83	Sobre Presión
52+600.00	600	610.28	117.57	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.53	OK	11.37	16.35	Sobre Presión
52+640.00	600	610.28	117.33	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.50	OK	11.52	16.45	Sobre Presión
52+800.00	600	610.28	136.65	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.40	OK	11.79	17.99	Sobre Presión
52+866.00	600	610.28	144.67	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	14.18	OK	11.99	18.69	Sobre Presión
53+000.00	600	610.32	158.13	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.50	OK	12.20	19.79	OK
53+035.00	600	610.32	161.62	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.85	OK	12.30	20.10	Sobre Presión
53+171.00	600	610.32	161.57	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.84	OK	12.44	20.20	Sobre Presión
53+391.00	600	608.85	190.67	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	12.64	22.38	OK
53+692.00	600	608.85	189.63	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.59	OK	12.92	22.51	OK
53+972.00	600	608.85	201.61	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.77	OK	13.31	23.62	OK
54+000.00	600	608.85	200.84	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.69	OK	13.47	23.69	OK
54+614.00	600	608.85	191.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.76	OK	13.69	23.18	OK
55+000.00	600	608.77	171.55	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.82	OK	14.13	22.10	Sobre Presión
55+033.00	600	608.77	171.15	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.78	OK	14.34	22.23	Sobre Presión
55+309.00	600	608.77	158.25	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	15.51	OK	14.43	21.39	Sobre Presión
55+524.00	600	608.77	130.25	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.77	OK	14.61	19.56	OK
55+550.00	600	608.77	130.08	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.75	OK	14.73	19.63	OK
55+709.00	600	608.77	152.81	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	14.98	OK	14.76	21.24	Sobre Presión
55+727.00	600	608.77	152.69	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	14.97	OK	14.85	21.30	Sobre Presión
55+889.00	600	608.77	125.40	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.29	OK	14.86	19.40	OK
56+000.00	600	608.77	127.13	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.46	OK	14.95	19.58	OK
56+137.50	600	608.77	141.74	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	13.90	OK	15.01	20.65	Sobre Presión
56+560.00	600	608.62	98.36	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.64	OK	15.08	17.66	Sobre Presión
56+583.00	600	608.62	98.01	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.61	OK	15.25	17.75	Sobre Presión
56+689.00	600	608.62	117.80	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	11.55	OK	15.26	19.15	Sobre Presión
57+000.00	600	608.62	120.20	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	11.78	OK	15.31	19.35	Sobre Presión
57+949.00	600	608.77	126.82	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.43	OK	15.47	19.93	OK
58+000.00	600	608.77	142.27	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	13.95	OK	15.93	21.34	Sobre Presión
58+089.00	600	608.77	156.94	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	15.39	OK	15.94	22.38	Sobre Presión
58+232.00	600	608.77	130.73	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.82	OK	15.96	20.56	Sobre Presión
58+754.00	600	608.77	130.46	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.79	OK	16.00	20.56	Sobre Presión
58+944.00	600	608.85	161.07	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.79	OK	16.18	22.84	OK
59+000.00	600	608.85	160.45	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.73	OK	16.23	22.83	OK
59+229.00	600	608.85	149.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.64	OK	16.24	22.05	OK
59+249.50	600	608.85	149.36	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.64	OK	16.28	22.09	OK
59+505.00	600	608.85	168.27	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.50	OK	16.28	23.42	OK
59+767.00	600	608.85	145.35	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.25	OK	16.33	21.84	OK
59+784.00	600	608.85	145.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.26	OK	16.37	21.87	OK
59+950.00	600	608.85	178.12	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.46	OK	16.36	24.16	OK
60+000.00	600	608.85	168.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.52	OK	16.39	23.51	OK
60+051.00	600	608.85	150.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.76	OK	16.42	22.27	OK
60+075.00	600	608.85	150.08	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.71	OK	16.45	22.26	OK
60+270.50	600	608.85	178.01	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.45	OK	16.49	24.24	OK
60+62.00	600	608.85	166.12	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.29	OK	16.63	23.51	OK
60+909.00	600	608.85	213.45	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	20.93	OK	16.82	26.96	Sobre Presión
61+000.00	600	608.85	197.94	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.41	OK	16.98	25.99	Sobre Presión
61+180.00	600	608.85	160.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.75	OK	17.03	23.41	OK
62+000.00	600	608.85	158.78	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.57	OK	17.12	23.35	OK
63+000.00	600	608.85	156.58	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.35	OK	17.55	23.50	OK
63+060.00	600	608.85	156.41	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.33	OK	17.94	23.77	OK
63+216.52	600	608.85	166.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.33	OK	17.96	24.49	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	28.87	OK	16.31	OK	18.03	24.53	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO 10_(30s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB): 9.0065 — Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG): 1 — Para agua

$$P_t \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^4}{1.8 * D_t} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_t \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m^2) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (30s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	600	609.25	54.59	2500	6	1048	7.75	9.63	OK	5.35	OK	3.12	6.05	Sobre Presión
50+380.00	600	609.25	8446	2500	6	1048	7.75	9.63	OK	8.28	Corregir	1.59	7.05	Sobre Presión
51+000.00	600	610.03	81.75	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.01	OK	4.81	9.16	OK
51+260.00	600	610.03	80.48	2500	10	18.15	6.97	1498	OK	7.89	OK	5.72	9.72	OK
51+500.00	600	610.03	87.27	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.56	OK	6.34	10.64	Sobre Presión
51+520.00	600	610.03	87.74	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.60	OK	6.50	1079	Sobre Presión
51+760.00	600	610.28	99.31	2500	16	28.18	6.72	2241	OK	9.74	OK	6.91	11.89	OK
52+000.00	600	610.28	119.60	2500	16	28.18	6.72	2241	OK	11.73	OK	7.52	13.74	OK
52+150.00	600	610.28	132.28	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	1297	OK	7.94	14.94	OK
52+260.00	600	610.28	134.36	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	1317	OK	8.21	15.28	OK
52+350.00	600	610.28	132.66	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.01	OK	8.46	1533	OK
52+460.00	600	610.28	127.04	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	1245	OK	8.71	15.12	OK
52+600.00	600	610.28	11757	2500	16	28.18	6.72	2241	OK	1153	OK	9.06	14.70	OK
52+640.00	600	610.28	11733	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.50	OK	9.23	14.81	OK
52+800.00	600	610.28	136.65	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.40	OK	9.54	16.39	Sobre Presion
52+866.00	600	610.28	14467	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	1418	OK	9.77	1711	Sobre Presión
53+000.00	600	610.32	158.13	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.50	OK	10.04	18.25	OK
53+035.00	600	610.32	161.62	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.85	OK	1016	18.58	OK
53+171.00	600	610.32	161.57	2500	20	3402	6.68	26.89	OK	15.84	OK	1042	18.76	OK
53+391.00	600	608.85	190.67	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.69	OK	10.83	21.09	OK
53+692.00	600	608.85	189.63	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.59	OK	1137	21.40	OK
53+972.00	600	608.85	201.61	5000	25	32.08	8.15	31.01	Ok	19.77	Ok	11.90	22.62	OK
54+000.00	600	608.85	200.84	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	19.69	OK	12.09	2270	OK
54+614.00	600	608.85	191.34	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.76	OK	12.70	2247	OK
55+000.00	600	60877	171.55	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	16.82	OK	1332	2153	Sobre Presión
55+033.00	600	608.77	17115	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.78	OK	13.55	21.66	Sobre Presión
55+309.00	600	608.77	158.25	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	1551	OK	13.78	20.92	Sobre Presión
55+524.00	600	608.77	130.25	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	12.77	OK	14.05	19.16	OK
55+550.00	600	608.77	130.08	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.75	OK	1418	19.24	OK
55+709.00	600	608.77	152.81	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	1498	OK	1426	2089	Sobre Presión
55+727.00	600	608.77	152.69	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	14.97	OK	14.36	20.95	Sobre Presión
55+889.00	600	608.77	125.40	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.29	OK	1441	19.07	OK
56+000.00	600	608.77	12713	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.46	OK	14.52	19.27	OK
56+137.50	600	608.77	14174	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	13.90	OK	14.61	20.36	Sobre Presión
56+560.00	600	608.62	98.36	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.64	OK	1476	1743	Sobre Presión
56+583.00	600	608.62	98.01	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.61	OK	14.99	17.57	Sobre Presión
56+689.00	600	608.62	11780	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	11.55	OK	15.01	18.97	Sobre Presión
57+000.00	600	608.62	12020	5000	16	21.88	8.38	2176	OK	11.78	OK	15.07	19.18	Sobre Presión
57+949.00	600	608.77	12682	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	12.43	OK	15.26	19.78	OK
58+000.00	600	608.77	142.27	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	1395	OK	15.79	21.24	Sobre Presion
58+089.00	600	608.77	156.94	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	15.39	OK	15.82	22.29	Sobre Presión
58+232.00	600	608.77	13073	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.82	OK	15.85	20.48	Sobre Presión
58+754.00	600	608.77	130.46	5000	20	26.58	8.23	25.95	Ok	12.79	OK	15.91	20.50	Sobre Presion
58+944.00	600	608.85	161.07	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.79	OK	16.15	22.81	OK
59+000.00	600	608.85	16045	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	1573	OK	16.22	22.82	OK
59+229.00	600	608.85	149.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.64	OK	16.24	22.05	OK
59+249.50	600	608.85	14936	5000	25	32.08	8.15	3101	Ok	14.64	OK	16.31	2211	OK
59+505.00	600	608.85	168.27	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.50	OK	16.32	23.44	OK
59+767.00	600	60885	14535	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	14.25	OK	16.40	21.90	OK
59+784.00	600	608.85	14543	5000	25	32.08	8.15	31.01	Ok	14.26	OK	16.49	2196	OK
59+950.00	600	608.85	178.12	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.46	OK	16.49	24.25	OK
60+000.00	600	608.85	168.53	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.52	OK	16.54	2361	OK
60+051.00	600	608.85	150.53	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1476	OK	16.55	22.36	OK
60+075.00	600	608.85	150.08	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.71	OK	16.56	22.34	OK
60+270.50	600	608.85	178.01	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.45	OK	16.57	24.30	OK
60+620.00	600	608.85	166.12	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.29	OK	16.63	2351	OK
60+909.00	600	608.85	21345	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	20.93	OK	16.75	26.91	Sobre Presión
61+000.00	600	608.85	19794	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.41	OK	16.86	25.91	Sobre Presión
61+180.00	600	60885	160.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.75	OK	16.89	2332	OK
62+000.00	600	608.85	158.78	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1557	OK	16.95	23.23	OK
63+000.00	600	60885	156.58	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1535	OK	1727	23.30	OK
63+060.00	600	608.85	156.41	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.33	OK	17.70	23.59	OK
63+216.52	600	608.85	16652	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.33	OK	17.72	2432	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	1291	28.87	OK	16.31	OK	17.81	24.37	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO 10. (60s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB): 0.0065 — Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG): 1 — Para agua

$$P_t \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D_t} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_t \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (60s) (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000 00	600	609.25	54.59	2500	6	1048	7 75	9 63	OK	5 35	OK	1.94	5 21	OK
50+380 00	600	609.25	84 46	2500	6	1048	7 75	9 63	OK	8 28	Corregir	0 81	6 50	Sobre Presión
51+000 00	600	610 03	81 75	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	8 01	OK	3 02	7 88	OK
51+260 00	600	610 03	80 48	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	7 89	OK	3 70	8 28	OK
51+500 00	600	610.03	87 27	2500	10	18 15	6.97	14 98	OK	8 56	OK	4.18	9.10	OK
51+520.00	600	610 03	87 74	2500	10	18.15	6 97	14 98	OK	8 60	OK	4 34	9 24	OK
51+760 00	600	610.28	99 31	2500	16	28 18	6 72	2241	OK	9 74	OK	4 63	1026	OK
52+000 00	600	610.28	11960	2500	16	28.18	6 72	22.41	OK	1173	OK	5 03	11 97	OK
52+150 00	600	610.28	13228	2500	16	28 18	6 72	2241	OK	12 97	OK	5 33	1307	OK
52+260. 00	600	610.28	13436	2500	16	28.18	6 72	2241	OK	1317	OK	5 53	13 36	OK
52+350 00	600	610.28	132 66	2500	16	2818	6 72	2241	OK	13 01	OK	5 71	13 37	OK
52+460 00	600	610.28	127.04	2500	16	2818	6 72	22 41	OK	12.45	OK	5 88	13.09	OK
52+600 00	600	610.28	11757	2500	16	2818	6 72	22 41	OK	11.53	OK	6 09	12.58	OK
52+640 00	600	610.28	11733	2500	16	2818	6 72	2241	OK	11 50	OK	6 22	12 66	OK
52+800 00	600	610 28	136 65	2500	16	2818	6 72	2241	OK	1340	OK	6 42	1415	OK
52+866 00	600	610 28	144 67	2500	16	2818	6 72	22.41	OK	14.18	OK	6 59	14.84	OK
53+000 00	600	610 32	15813	2500	20	34.02	6 68	26 89	OK	15 50	OK	6 79	15.92	OK
53+035 00	600	610 32	161 62	2500	20	3402	6 68	26 89	OK	1585	OK	6 89	16 24	OK
53+171.00	600	610 32	161 57	2500	20	3402	6 68	26 89	OK	1584	OK	7 07	16 36	OK
53+391 00	600	608 85	190 67	5000	25	32 08	8.15	31.01	OK	18 69	OK	7 38	18.62	OK
53+6 92 00	600	608 85	189 63	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	1859	OK	7 82	1886	OK
53+972 00	600	608 85	20161	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	1977	OK	8 23	20 00	OK
54+000 00	600	608 85	200 84	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	19 69	OK	8 40	2007	OK
54+6 14 00	600	608.85	19134	5000	25	32 08	8 15	31.01	OK	18 76	OK	8 91	19 76	OK
55+000 00	600	608.77	17155	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	16 82	OK	9 53	1882	OK
55+033 00	600	608.77	17115	5000	20	26 58	8.23	2595	OK	16 78	OK	9.76	18.96	OK
55+309 00	600	608 77	15825	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	1551	OK	10 04	1826	OK
55+524 00	600	608.77	130 25	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12.77	OK	10 39	16.54	OK
55+550 00	600	608 77	130 08	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 75	OK	1053	16 63	OK
55+709 00	600	608.77	15281	5000	20	26 58	8.23	2595	OK	1498	OK	10 68	18. 33	OK
55+727 00	600	608 77	152 69	5000	20	26 58	8.23	25.95	OK	1497	OK	1079	1840	OK
55+889 00	600	608 77	12540	5000	20	26 58	8.23	25.95	OK	12 29	OK	1093	16 59	OK
56+000 00	600	608 77	12713	5000	20	26 58	8.23	25.95	OK	1246	OK	1111	16.84	OK
56+13750	600	608 77	141.74	5000	20	26 58	8 23	2595	OK	13.90	OK	1128	1798	OK
56+560 00	600	60862	98 36	5000	16	2188	8 38	2176	OK	9 64	OK	11 67	15.22	OK
56+583 00	600	60862	9801	5000	16	2188	8 38	2176	OK	9 61	OK	11 91	1537	OK
56+689 00	600	608 62	117 80	5000	16	2188	8 38	2176	OK	1155	OK	1199	16.81	Sobre Presión
57+000 00	600	60862	12020	5000	16	2188	8 38	2176	OK	11 78	OK	1228	17.19	Sobre Presión
57+949.00	600	608 77	126.82	5000	20	26 58	8 23	2595	OK	12.43	OK	13 11	18 24	OK
58+000 00	600	608 77	142.27	5000	20	26 58	8 23	25.95	OK	1395	OK	13 78	19 81	OK
58+089 00	600	608.77	156 94	5000	20	26 58	8 23	25.95	OK	15.39	OK	1386	2089	Sobre Presión
58+232 00	600	608 77	130 73	5000	20	26 58	8 23	25.95	OK	12.82	OK	13 99	19 15	OK
58+754 00	600	608 77	13046	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12.79	OK	14 34	19 38	OK
58+944 00	600	608 85	161 07	5000	25	32 08	8.15	31 01	OK	1579	OK	1475	21.82	OK
59+000 00	600	608.85	16045	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	1573	OK	14.88	21.87	OK
59+229 00	600	608.85	149 30	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	14 64	OK	14.98	21.16	OK
59+249 50	600	608 85	14936	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	14 64	OK	15 11	2125	OK
59 +505 00	600	608.85	168 27	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	16 50	OK	1520	22 64	OK
59+767 00	600	608 85	145 35	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	1425	OK	15 39	21.17	OK
59+784 00	600	608.85	14543	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	14.26	OK	15 53	21.28	OK
59+950 00	600	608 85	17812	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	17.46	OK	1558	23 60	OK
60+000 00	600	60885	168 53	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	16 52	OK	15 68	23 00	OK
60+051 00	600	608 85	150 53	5000	25	32 08	8.15	3101	OK	1476	OK	1572	21.77	OK
60+075 00	600	608.85	150 08	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	14.71	OK	1576	21.77	OK
60+270 50	600	608 85	17801	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	17 45	OK	15 80	23.75	OK
60+620 00	600	608 85	166 12	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	16 29	OK	15 96	23 03	OK
60+909 00	600	608 85	21345	5000	25	32 08	8 15	31.01	OK	2093	OK	16 20	26 52	Sobre Presión
61+000 00	600	608.85	19794	5000	25	32 08	8.15	3101	OK	1941	OK	16 36	25 55	Sobre Presión
61+180 00	600	608.85	160 65	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	15 75	OK	16 44	22 99	OK
62+000 00	600	608 85	15878	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1557	OK	16 61	2298	OK
63+000 00	600	608 85	156 58	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	15 35	OK	1711	23 19	OK
63+060 00	600	608 85	156 41	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	1533	OK	17 67	23 58	OK
63+216 52	600	608 85	16652	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	16 33	OK	1771	24 31	OK
Turbina	1000	1012 09	166.33	5000	25	31 34	1291	2887	OK	16 31	OK	17 83	2439	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN VERTICAL PREVISTA Y PRESIÓN DE PANDEO ADMISIBLE CH - 3 - Norma AWWA M45 ANEXO A6

Factor de retraso de la deflexión	$D_L =$	1.5
Coeficiente de soporte de lecho	$K_x =$	0.1
Factor de corrección para tener en cuenta efectos no lineales	$C_n =$	0.55
Factor de corrección por variabilidad de la rigidez del suelo compactado	$\varphi_s =$	0.9
Factor de corrección por módulo de Poisson del suelo	$k_v =$	0.74
Factor de seguridad	$FS =$	2.5

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{(D_L W_C + W_L)K_x}{149PS + 61000M_s}$$

$$q_a = \frac{(1)2C_n)(EI)^{0.33}(\varphi_s M_s k_v 10^6)^{0.67}}{(FS)r} R_h$$

$$(\gamma_w h_w + R_w W_c)10^{-3} + P_v \le q_a$$

$$(\gamma_w h_w + R_w W_c + W_L)10^{-3} \le q_a$$

LINEA 2

Progresiva (km) Inicio	Progresiva (km) Final	Carga Vertical (kPa)	Módulo de rigidez del relleno (Mpa) M_{sb}	Módulo de rigidez del suelo nativo (Mpa) M_{sn}	M_{sn}/M_{sb}	Diámetro (m)	Ancho de zanja (m) B_d	B_d/D	Factor de combinación de suelo S_c	Rigidez compuesta Suelo (Mpa) M_S	Rigidez Nominal Tuberia (kPa)	Deflexión Vertical prevista $\Delta_y/D < 5\%$		Factor de corrección por profundidad de relleno R_h	Presión crítica de colapsamiento (kPa) q_a	Factor de flotación R_w	Considerando Vacio		Considerando Carga Viva	
49+527.34	50+000.00	71.59	11.25	10.3	0.916	0.6	2.1	3.5	1.00	11.20	134.08	0.016	Ok	1.02	302.68	1.00	171.59	Ok	78.47	Ok
50+000.00	50+380.00	36.83	10.36	10.3	0.994	0.6	2.1	3.5	1.00	10.36	134.08	0.012	Ok	1.01	283.49	1.00	136.83	Ok	56.66	Ok
50+380.00	51+000.00	41.27	10.48	10.3	0.983	0.6	2.1	3.5	1.00	10.47	134.08	0.012	Ok	1.01	286.34	1.00	141.27	Ok	57.65	Ok
51+000.00	51+260.00	42.86	10.52	10.3	0.979	0.6	2.1	3.5	1.00	10.51	134.08	0.012	Ok	1.01	287.32	1.00	142.86	Ok	58.21	Ok
51+260.00	51+500.00	76.35	11.33	10.3	0.909	0.6	2.1	3.5	1.00	11.28	134.08	0.017	Ok	1.02	304.37	1.00	176.35	Ok	82.55	Ok
51+500.00	51+520.00	75.03	11.30	10.3	0.911	0.6	2.1	3.5	1.00	11.25	134.08	0.017	Ok	1.02	303.90	1.00	175.03	Ok	81.41	Ok
51+520.00	51+760.00	104.85	11.82	10.3	0.871	0.6	2.1	3.5	0.99	11.75	134.08	0.022	Ok	1.03	313.95	1.00	204.85	Ok	108.51	Ok
51+760.00	52+000.00	129.23	12.25	10.3	0.841	0.6	2.1	3.5	0.99	12.15	134.08	0.026	Ok	1.03	321.72	1.00	229.23	Ok	131.79	Ok
52+000.00	52+150.00	111.88	11.95	10.3	0.862	0.6	2.1	3.5	0.99	11.86	134.08	0.023	Ok	1.03	316.22	1.00	211.88	Ok	115.16	Ok
52+150.00	52+260.00	64.33	11.08	10.3	0.930	0.6	2.1	3.5	1.00	11.04	134.08	0.015	Ok	1.02	299.32	1.00	164.33	Ok	72.48	Ok
52+260.00	52+350.00	41.77	10.49	10.3	0.982	0.6	2.1	3.5	1.00	10.48	134.08	0.012	Ok	1.01	286.65	1.00	141.77	Ok	57.82	Ok
52+350.00	52+460.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	134.08	0.012	Ok	0.99	266.18	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
52+460.00	52+600.00	35.80	10.33	10.3	0.997	0.6	2.1	3.5	1.00	10.33	134.08	0.011	Ok	1.01	282.80	1.00	135.80	Ok	56.57	Ok
52+600.00	52+640.00	86.39	11.50	10.3	0.895	0.6	2.1	3.5	0.99	11.44	134.08	0.019	Ok	1.02	307.83	1.00	186.39	Ok	91.45	Ok
52+640.00	52+800.00	141.00	12.45	10.3	0.828	0.6	2.1	3.5	0.99	12.34	134.08	0.028	Ok	1.03	325.26	1.00	241.00	Ok	143.20	Ok
52+800.00	52+866.00	134.61	12.34	10.3	0.835	0.6	2.1	3.5	0.99	12.24	134.08	0.027	Ok	1.03	323.39	1.00	234.61	Ok	136.99	Ok
52+866.00	53+000.00	142.33	12.47	10.3	0.826	0.6	2.1	3.5	0.99	12.36	134.08	0.028	Ok	1.03	325.62	1.00	242.33	Ok	144.50	Ok
53+000.00	53+035.00	133.95	12.33	10.3	0.835	0.6	2.1	3.5	0.99	12.23	134.08	0.027	Ok	1.03	323.19	1.00	233.95	Ok	136.35	Ok
53+035.00	53+171.00	115.98	12.02	10.3	0.857	0.6	2.1	3.5	0.99	11.93	134.08	0.024	Ok	1.03	317.53	1.00	215.98	Ok	119.06	Ok
53+171.00	53+391.00	135.62	12.36	10.3	0.833	0.6	2.1	3.5	0.99	12.26	268.17	0.026	Ok	1.03	406.90	1.00	235.62	Ok	137.98	Ok
53+391.00	53+692.00	91.31	11.59	10.3	0.889	0.6	2.1	3.5	0.99	11.52	268.17	0.019	Ok	1.02	389.04	1.00	191.31	Ok	95.94	Ok
53+692.00	53+972.00	96.29	11.67	10.3	0.882	0.6	2.1	3.5	0.99	11.61	268.17	0.020	Ok	1.03	391.12	1.00	196.29	Ok	100.53	Ok
53+972.00	54+000.00	67.83	11.17	10.3	0.922	0.6	2.1	3.5	1.00	11.13	268.17	0.015	Ok	1.02	378.54	1.00	167.83	Ok	75.32	Ok
54+000.00	54+614.00	54.05	10.81	10.3	0.953	0.6	2.1	3.5	1.00	10.78	268.17	0.013	Ok	1.02	369.31	1.00	154.05	Ok	64.71	Ok
54+614.00	55+000.00	80.88	11.41	10.3	0.903	0.6	2.1	3.5	1.00	11.35	268.17	0.017	Ok	1.02	384.58	1.00	180.88	Ok	86.53	Ok
55+000.00	55+033.00	71.23	11.24	10.3	0.916	0.6	2.1	3.5	1.00	11.19	268.17	0.016	Ok	1.02	380.31	1.00	171.23	Ok	78.17	Ok
55+033.00	55+309.00	99.21	11.73	10.3	0.878	0.6	2.1	3.5	0.99	11.65	268.17	0.020	Ok	1.03	392.33	1.00	199.21	Ok	103.23	Ok
55+309.00	55+524.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
55+524.00	55+550.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
55+550.00	55+709.00	248.55	14.08	10.3	0.731	0.6	2.1	3.5	0.98	13.80	268.17	0.042	Ok	1.03	442.01	1.00	348.55	Ok	249.34	Ok
55+709.00	55+727.00	181.66	13.06	10.3	0.788	0.6	2.1	3.5	0.99	12.91	268.17	0.033	Ok	1.03	422.16	1.00	281.66	Ok	183.06	Ok
55+727.00	55+889.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
55+889.00	56+000.00	109.17	11.90	10.3	0.866	0.6	2.1	3.5	0.99	11.82	268.17	0.022	Ok	1.03	396.40	1.00	209.17	Ok	112.59	Ok
56+000.00	56+137.50	79.79	11.39	10.3	0.904	0.6	2.1	3.5	1.00	11.33	268.17	0.017	Ok	1.02	384.10	1.00	179.79	Ok	85.56	Ok
56+137.50	56+560.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
56+560.00	56+583.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
56+583.00	56+689.00	202.70	13.38	10.3	0.770	0.6	2.1	3.5	0.99	13.19	268.17	0.036	Ok	1.03	428.49	1.00	302.70	Ok	203.85	Ok
56+689.00	57+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
57+000.00	57+949.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
57+949.00	58+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
58+000.00	58+089.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
58+089.00	58+232.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
58+232.00	58+754.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
58+754.00	58+944.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
58+944.00	59+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
59+000.00	59+229.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
59+229.00	59+249.50	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
59+249.50	59+505.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
59+505.00	59+767.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
59+767.00	59+784.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
59+784.00	59+950.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
59+950.00	60+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
60+000.00	60+051.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
60+051.00	60+075.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
60+075.00	60+270.50	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
60+270.50	60+620.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
60+620.00	60+909.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
60+909.00	61+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
61+000.00	61+180.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
61+180.00	62+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
62+000.00	63+000.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
63+000.00	63+060.00	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok
63+060.00	63+216.52	22.56	9.65	10.3	1.067	0.6	2.1	3.5	1.00	9.67	268.17	0.012	Ok	0.99	334.60	1.00	122.56	Ok	63.81	Ok

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 NEXO A12 (60s) (6a)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	6	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_t \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_t \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_c \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	1035	10.08	9.29	OK	5.45	OK	1.24	4.78	OK
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	1035	10.08	9.29	OK	8.54	Corregir	1.69	5.89	OK
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	1.78	7.32	OK
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	1.74	7.27	OK
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	1786	9.07	1441	OK	9.17	OK	1.81	7.84	OK
51+520.00	800	811.93	94.07	2500	10	1786	9.07	1441	OK	9.22	OK	1.86	7.92	OK
51+760.00	800	812.36	106.40	2500	16	2766	8.64	2125	OK	1043	OK	1.86	8.78	OK
52+000.00	800	812.36	127.45	2500	16	2766	8.64	21.25	OK	12.50	OK	1.86	10.25	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	2766	8.64	21.25	OK	13.78	OK	1.85	1117	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	2125	OK	1402	OK	1.84	1133	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	2766	8.64	21.25	OK	1388	OK	1.84	1123	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	2766	8.64	21.25	OK	13.37	OK	1.82	10.85	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	1248	OK	1.80	1020	OK
52+640.00	800	812.36	127.23	2500	16	27.66	8.64	2125	OK	1247	OK	1.80	1020	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.42	OK	1.81	11.59	OK
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	15.22	OK	1.86	12.20	OK
53+000.00	800	812.43	169.18	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	1659	OK	1.88	13.19	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	1694	OK	1.90	13.46	OK
53+171.00	800	812.43	173.17	2500	20	33.61	8.57	2561	OK	1698	OK	1.92	13.50	OK
53+391.00	800	810.46	202.96	5000	25	3158	10.54	2966	OK	1990	OK	1.99	15.64	OK
53+692.00	800	810.46	202.87	5000	25	3158	10.54	29.66	OK	1989	OK	2.10	15.70	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	3158	10.54	29.66	OK	2115	OK	2.21	1669	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	2108	OK	2.28	1669	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	31.79	9.35	30.25	OK	20.21	OK	2.38	1614	OK
55+000.00	700	709.57	186.77	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	18.31	OK	2.72	1502	OK
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	18.27	OK	2.89	15.12	OK
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	17.04	OK	2.97	14.29	OK
55+524.00	700	709.57	145.99	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.31	OK	3.12	12.45	OK
55+550.00	700	709.57	145.84	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.30	OK	3.22	1252	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	1654	OK	3.26	1415	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	16.53	OK	3.33	1419	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	13.87	OK	3.37	1232	OK
56+000.00	700	709.57	143.35	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.05	OK	3.46	1251	OK
56+137.50	700	709.57	158.12	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	1550	OK	3.53	13.60	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	21.58	9.63	2116	OK	11.29	OK	3.65	1067	OK
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	2158	9.63	2116	OK	11.26	OK	3.84	10.78	OK
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	2158	9.63	21.16	OK	13.21	OK	3.88	12.21	OK
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.48	OK	4.02	1250	OK
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	14.22	OK	4.45	13.33	OK
58+000.00	700	709.57	160.56	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.74	OK	5.01	1482	OK
58+089.00	700	709.57	175.32	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.19	OK	5.06	1589	OK
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.63	OK	5.14	14.13	OK
58+754.00	700	709.57	149.52	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	14.66	OK	5.35	14.29	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.58	OK	5.70	1663	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1749	OK	5.91	1672	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	16.31	OK	6.06	1597	OK
59+249.50	600	608.85	166.30	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.30	OK	6.28	16.13	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.05	OK	6.39	1746	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	15.70	OK	6.73	1602	OK
59+784.00	600	608.85	160.15	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1570	OK	6.99	16.21	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.84	OK	7.08	18.51	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.88	OK	7.26	1795	OK
60+051.00	600	608.85	164.10	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1609	OK	7.33	1673	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.03	OK	7.39	16.73	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.69	OK	7.48	1869	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.39	OK	7.79	17.98	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	3208	8.15	3101	OK	2191	OK	8.20	2151	OK
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	3208	8.15	3101	OK	2035	OK	8.50	2061	OK
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1662	OK	8.65	1805	OK
62+000.00	600	608.85	164.05	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	1608	OK	9.03	17.94	OK
63+000.00	600	608.85	157.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.44	OK	10.21	18.33	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.40	OK	11.22	19.01	OK
63+216.52	600	608.85	166.44	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1632	OK	11.34	19.75	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	28.87	OK	1631	OK	1153	1988	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Proyecto.

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A12 (60s) (15s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	15	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_c \leq \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_t \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_c \geq \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810 92	55.59	2500	6	10 35	10.08	9 29	OK	5 45	OK	0 57	4.30	OK
50+380.00	800	810 92	87.15	2500	6	10 35	10.08	9 29	OK	8 54	Corregir	0 97	5.89	OK
51+000 .00	800	811 93	86.40	2500	10	17 86	9 07	14 41	OK	8 47	OK	1.67	7.24	OK
51+260.00	800	811.93	85 98	2500	10	1786	9 07	14.41	OK	8 43	OK	1 95	7.42	OK
51+500.00	800	811.93	93 53	2500	10	17 86	9 07	1441	Ok	9 17	OK	2.07	8 03	OK
51+520 00	800	811.93	94 07	2500	10	17 86	9 07	14 41	OK	9 22	OK	2 13	8 11	OK
51+760.00	800	812 36	10640	2500	16	2766	8 64	21 25	Ok	1043	OK	2.17	9.00	OK
52+000.00	800	812.36	12745	2500	16	27 66	8 64	2125	OK	1250	OK	2.24	10.52	OK
52+150 00	800	812 36	14060	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	13 78	OK	2.29	1148	OK
52+260.00	800	812.36	14304	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	1402	OK	2.30	1166	OK
52+350 00	800	812.36	141.62	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	13 88	OK	2.28	11 55	OK
52+460 00	800	812 36	136.36	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	13 37	OK	2 25	1116	OK
52+600.00	800	81236	12733	2500	16	27 66	8 64	2125	OK	12 48	OK	2 24	1052	OK
52+640 00	800	81236	12723	2500	16	27 66	8 64	2125	OK	12 47	OK	2.25	1052	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27 66	8 64	2125	OK	1442	OK	2.28	11 92	OK
52+866.00	800	812.36	15529	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	1522	OK	2 31	12 53	OK
53+000.00	800	812 43	169 .18	2500	20	33.61	8 57	25 61	OK	1659	OK	2 33	13 51	OK
53+035.00	800	812.43	172 79	2500	20	3361	8 57	25 61	OK	16 94	OK	2 35	13 78	OK
53+171.00	800	812 43	173 17	2500	20	3361	8 57	25 61	OK	16 98	OK	2 35	13 81	OK
53+391 00	800	81046	202 96	5000	25	3158	10.54	29 66	OK	19 90	Ok	2 43	15 95	OK
53+692 00	800	81046	20287	5000	25	31 58	10 54	29 66	OK	19 89	OK	2 53	1601	OK
53+972 00	800	810.46	215 73	5000	25	3158	1054	29.66	OK	2115	OK	2 61	16.97	OK
54+000 00	800	810.46	215.06	5000	25	3158	1054	29.66	Ok	2108	OK	2 66	16.96	OK
54+614.00	700	709 65	206 17	5000	25	31 79	9 35	30 25	OK	20 21	Ok	2 66	1634	OK
55+000.00	700	709 57	18677	5000	20	26 53	9 43	25.46	OK	18 31	OK	2 72	15.02	OK
55+033.00	700	709.57	186 40	5000	20	2653	9 43	25.46	OK	18.27	OK	2 89	15.12	OK
55+309.00	700	709.57	173 77	5000	20	26 53	9 43	25 46	OK	17 04	OK	2 98	14 30	OK
55+524.00	700	709 57	14599	5000	20	26 53	9 43	25 46	OK	1431	OK	3.13	12 46	OK
55+550 00	700	709 57	14584	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	14.30	OK	3 23	1252	OK
55+709.00	700	709 57	168 74	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	16 54	OK	3 27	14.15	OK
55+727 00	700	709 57	168 63	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	16 53	OK	3 34	14 20	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	26.53	9 43	25 46	OK	13 87	OK	3 37	12 32	OK
56+000.00	700	709.57	14335	5000	20	2653	9 43	25.46	OK	14 05	OK	3 46	12 51	OK
56+137.50	700	709.57	158 12	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	15 50	OK	3 53	13 60	OK
56+560.00	700	709.37	115 17	5000	16	2158	9 63	21 16	OK	1129	OK	3 64	1067	OK
56+583 00	700	709.37	114.84	5000	16	21 58	9 63	21 16	OK	1126	OK	3 83	10 78	OK
56+689.00	700	709 37	134 73	5000	16	2158	9 63	2116	OK	13 21	OK	3 88	1221	OK
57+000.00	700	709.37	13745	5000	16	21.58	9 63	2116	OK	1348	OK	4.02	12 49	OK
57+949.00	700	709 57	145 06	5000	20	26 53	9 43	2546	OK	14 22	OK	4 43	13 33	OK
58+000.00	700	709.57	160 56	5000	20	26.53	9 43	25.46	OK	15 74	OK	5 00	14 81	OK
58+089 00	700	709 57	17532	5000	20	2653	9 43	2546	OK	17 19	OK	5.05	15 89	OK
58+232.00	700	709.57	149 .25	5000	20	2653	9 43	25.46	OK	14 63	OK	5 14	1412	OK
58+754.00	700	709 57	149 52	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	14 66	OK	5 33	14 28	OK
58+944.00	600	608 85	179 .30	5000	25	3208	8 15	3101	OK	17 58	OK	5 68	1661	OK
59+000.00	600	60885	17843	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	17 49	OK	5 89	1670	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8 15	3101	OK	1631	OK	6 03	15 95	OK
59+249.50	600	60885	166.30	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1630	OK	6 25	16 11	OK
59+505.00	600	608 85	184 16	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	18 05	OK	6 35	17 43	OK
59+767 00	600	608.85	160 15	5000	25	3208	8 15	3101	OK	15 70	OK	6 68	15 99	OK
59+784 00	600	608.85	160 15	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	15 70	OK	6 93	1617	OK
59 +9 50 00	600	608 .85	19 2 14	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	18 84	OK	7 01	18 46	OK
60+000 00	600	60885	182 33	5000	25	3208	8 15	31.01	OK	17 88	OK	7 19	17 90	OK
60+051.00	600	608 85	164.10	5000	25	3208	8 15	3101	OK	16.09	OK	7.26	16 67	OK
60+075.00	600	60885	163.53	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1603	OK	7 32	1668	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1869	OK	7 41	18 64	OK
60+620.00	600	608 85	177 33	5000	25	3208	8 15	3101	OK	17 39	OK	7.70	17 92	OK
60+909.00	600	608 85	223 48	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	21 91	OK	8 11	21 44	OK
61+000 00	600	608 85	207 58	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	2035	OK	8 41	2055	OK
61+180.00	600	608.85	169 54	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	1662	OK	8 56	17 99	OK
62+000.00	600	608.85	164 05	5000	25	3208	8 15	31.01	OK	1608	OK	9 00	17.92	OK
63+000.00	600	60885	157 52	5000	25	32 08	8 15	31 01	Ok	1544	OK	1016	18 29	OK
63+060 00	600	60885	157 06	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	15 40	OK	11 16	18 97	OK
63+216.52	600	608 .85	16644	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	16 32	Ok	1128	19 71	OK
Turbina	1000	1012.09	16633	5000	25	3134	12 91	2887	OK	16 31	Ok	1147	19 84	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A12_(60s)_(20s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB) 0.0065 Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG) Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s) 20
Tiempo de válvula abierta (s) 60

$$P_c \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_c * 10^6}{1.8 * D_i} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_c \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	10.35	1008	9.29	OK	5.45	OK	0.42	4.20	OK
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	10.35	1008	9.29	OK	8.54	Corregir	0.77	5.89	OK
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	1.12	6.85	OK
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	1.48	7.08	OK
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.17	OK	1.65	7.73	OK
51+520.00	800	811.93	94.07	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.22	OK	1.72	7.81	OK
51+760.00	800	812.36	106.40	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	10.43	OK	1.75	8.70	OK
52+000.00	800	812.36	127.45	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.50	OK	1.89	10.27	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.78	OK	2.02	11.29	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.02	OK	2.09	11.51	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.88	OK	2.14	11.45	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.37	OK	2.18	11.10	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.48	OK	2.21	10.49	OK
52+640.00	800	812.36	127.23	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	12.47	OK	2.25	10.51	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.42	OK	2.28	11.92	OK
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	15.22	OK	2.34	12.55	OK
53+000.00	800	812.43	169.18	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.59	OK	2.41	13.57	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.94	OK	2.44	13.84	OK
53+171.00	800	812.43	173.17	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	16.98	OK	2.47	13.89	OK
53+391.00	800	810.46	202.96	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.90	OK	2.52	16.01	OK
53+692.00	800	810.46	202.87	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	19.89	OK	2.57	16.05	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.15	OK	2.64	16.99	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	21.08	OK	2.68	16.97	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	31.79	9.35	30.25	OK	20.21	OK	2.68	16.35	OK
55+000.00	700	709.57	186.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.31	OK	2.70	15.01	OK
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.27	OK	2.88	15.11	OK
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.04	OK	2.96	14.28	OK
55+524.00	700	709.57	145.99	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.31	OK	3.12	12.45	OK
55+550.00	700	709.57	145.84	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.30	OK	3.22	12.51	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.54	OK	3.25	14.14	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	16.53	OK	3.33	14.19	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	13.87	OK	3.36	12.31	OK
56+000.00	700	709.57	143.35	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.05	OK	3.46	12.51	OK
56+137.50	700	709.57	158.12	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.50	OK	3.53	13.59	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.29	OK	3.64	10.67	OK
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	11.26	OK	3.83	10.78	OK
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.21	OK	3.87	12.20	OK
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	21.58	9.63	21.16	OK	13.48	OK	4.01	12.49	OK
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.22	OK	4.42	13.32	OK
58+000.00	700	709.57	160.56	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.74	OK	4.98	14.80	OK
58+089.00	700	709.57	175.32	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	17.19	OK	5.03	15.87	OK
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.63	OK	5.12	14.11	OK
58+754.00	700	709.57	149.52	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.66	OK	5.31	14.26	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.58	OK	5.65	16.59	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.49	OK	5.86	16.68	OK
59+229.00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.31	OK	6.00	15.93	OK
59+249.50	600	608.85	166.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.30	OK	6.22	16.09	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.05	OK	6.33	17.42	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	6.66	15.97	OK
59+784.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	6.91	16.15	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.84	OK	7.00	18.45	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.88	OK	7.17	17.89	OK
60+051.00	600	608.85	164.10	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.09	OK	7.24	16.67	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.03	OK	7.30	16.67	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	7.39	18.63	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.39	OK	7.68	17.90	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	21.91	OK	8.09	21.43	OK
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	20.35	OK	8.39	20.53	OK
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.62	OK	8.54	17.97	OK
62+000.00	600	608.85	164.05	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.08	OK	8.99	17.91	OK
63+000.00	600	608.85	157.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.44	OK	10.15	18.28	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.40	OK	11.15	18.96	OK
63+216.52	600	608.85	166.44	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.32	OK	11.27	19.71	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	28.87	OK	16.31	OK	11.46	19.83	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A12 (60s) (30s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	30	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_c \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_i \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_c \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	10.35	10.08	9.29	OK	5.45	OK	0.43	4.20	OK
50+380.00	800	810.92	87.15	2500	6	1035	1008	9.29	OK	8.54	Corregir	0.71	5.89	OK
51+000.00	800	811.93	86.40	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.47	OK	0.86	6.67	OK
51+260.00	800	811.93	8598	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	8.43	OK	1.02	6.75	OK
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.17	OK	1.16	7.38	OK
51+520.00	800	811.93	94.07	2500	10	17.86	9.07	14.41	OK	9.22	OK	1.22	7.46	OK
51+760.00	800	812.36	10640	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	10.43	OK	1.32	8.39	OK
52+000.00	800	812.36	12745	2500	16	27.66	8.64	2125	OK	12.50	OK	1.42	9.94	OK
52+150.00	800	812.36	140.60	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.78	OK	1.51	10.92	OK
52+260.00	800	812.36	143.04	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	14.02	OK	1.55	1112	OK
52+350.00	800	812.36	14162	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.88	OK	1.58	1105	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	13.37	OK	1.61	10.70	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	2766	8.64	21.25	OK	12.48	OK	1.64	10.09	OK
52+640.00	800	812.36	12723	2500	16	2766	8.64	21.25	OK	12.47	OK	1.68	10.11	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	2766	8.64	21.25	OK	14.42	OK	1.73	11.54	OK
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27.66	8.64	21.25	OK	1522	OK	1.79	1215	OK
53+000.00	800	812.43	16918	2500	20	33.61	8.57	25.61	OK	1659	OK	1.85	13.17	OK
53+035.00	800	812.43	172.79	2500	20	3361	8.57	2561	OK	1694	OK	1.89	13.45	OK
53+171.00	800	812.43	17317	2500	20	3361	8.57	25.61	OK	16.98	OK	1.94	13.51	OK
53+391.00	800	810.46	20296	5000	25	3158	10.54	2966	OK	19.90	OK	1.98	15.63	OK
53+692.00	800	810.46	20287	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	1989	OK	2.08	15.69	OK
53+972.00	800	810.46	21573	5000	25	31.58	10.54	29.66	OK	2115	OK	2.19	1667	OK
54+000.00	800	810.46	215.06	5000	25	3158	10.54	29.66	OK	2108	OK	2.26	1667	OK
54+614.00	700	709.65	206.17	5000	25	31.79	9.35	30.25	OK	20.21	OK	2.37	16.13	OK
55+000.00	700	709.57	18677	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	1831	OK	2.70	1501	OK
55+033.00	700	709.57	186.40	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	18.27	OK	2.87	15.11	OK
55+309.00	700	709.57	173.77	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	17.04	OK	2.95	14.28	OK
55+524.00	700	709.57	14599	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.31	OK	3.11	12.44	OK
55+550.00	700	709.57	14584	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	14.30	OK	3.21	12.50	OK
55+709.00	700	709.57	168.74	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	1654	OK	3.24	14.13	OK
55+727.00	700	709.57	168.63	5000	20	26.53	9.43	2546	OK	16.53	OK	3.31	14.18	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	13.87	OK	3.35	12.30	OK
56+000.00	700	709.57	14335	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	1405	OK	3.44	12.49	OK
56+137.50	700	709.57	15812	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	15.50	OK	3.51	13.58	OK
56+560.00	700	709.37	115.17	5000	16	2158	9.63	21.16	OK	11.29	OK	3.63	1066	OK
56+583.00	700	709.37	11484	5000	16	2158	9.63	21.16	OK	11.26	OK	3.81	1077	OK
56+689.00	700	709.37	134.73	5000	16	2158	9.63	2116	OK	13.21	OK	3.85	12.18	OK
57+000.00	700	709.37	137.45	5000	16	2158	9.63	2116	OK	13.48	OK	3.97	12.46	OK
57+949.00	700	709.57	145.06	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	14.22	OK	4.38	13.29	OK
58+000.00	700	709.57	16056	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	15.74	OK	4.94	14.77	OK
58+089.00	700	709.57	17532	5000	20	2653	9.43	25.46	OK	17.19	OK	4.99	15.84	OK
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	1463	OK	5.07	1408	OK
58+754.00	700	709.57	14952	5000	20	26.53	9.43	25.46	OK	14.66	OK	5.27	14.23	OK
58+944.00	600	608.85	179.30	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	17.58	OK	5.62	1657	OK
59+000.00	600	608.85	178.43	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1749	OK	5.83	1666	OK
59+229.00	600	608.85	16634	5000	25	3208	8.15	3101	OK	16.31	OK	5.97	15.91	OK
59+249.50	600	608.85	16630	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	16.30	OK	6.19	1607	OK
59+505.00	600	608.85	184.16	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	1805	OK	6.30	17.39	OK
59+767.00	600	608.85	160.15	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	6.63	15.95	OK
59+784.00	600	608.85	16015	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.70	OK	6.88	16.13	OK
59+950.00	600	608.85	192.14	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.84	OK	6.97	18.43	OK
60+000.00	600	608.85	182.33	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	17.88	OK	7.15	17.88	OK
60+051.00	600	608.85	16410	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	16.09	OK	7.22	1665	OK
60+075.00	600	608.85	163.53	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1603	OK	7.28	1665	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1869	OK	7.37	18.61	OK
60+620.00	600	608.85	177.33	5000	25	3208	8.15	3101	OK	17.39	OK	7.66	17.89	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	3208	8.15	3101	OK	21.91	OK	8.09	21.43	OK
61+000.00	600	608.85	207.58	5000	25	3208	8.15	3101	OK	2035	OK	8.40	2054	OK
61+180.00	600	608.85	169.54	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1662	OK	8.56	1798	OK
62+000.00	600	608.85	16405	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1608	OK	9.02	17.93	OK
63+000.00	600	608.85	15752	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1544	OK	10.19	18.31	OK
63+060.00	600	608.85	157.06	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1540	OK	11.19	18.99	OK
63+216.52	600	608.85	16644	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.32	OK	1131	19.73	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	2887	OK	16.31	OK	11.50	1986	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A12 (60s) (60s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	60	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_c \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_c \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_s \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 1

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	800	810.92	55.59	2500	6	1035	1008	9 29	OK	5 45	OK	0 22	4 05	OK
50+380.00	800	81092	87.15	2500	6	1035	1008	9.29	OK	8 54	Corregir	0 47	5.89	OK
51+000.00	800	81193	86.40	2500	10	17 86	9 07	14 41	OK	8 47	OK	0 75	6 59	OK
51+260.00	800	811.93	85.98	2500	10	17 86	9.07	14.41	OK	8 43	OK	0.98	6 72	OK
51+500.00	800	811.93	93.53	2500	10	17 86	9 07	14 41	OK	9 17	OK	1 12	7 35	OK
51+520.00	800	811.93	94 07	2500	10	17 86	9 07	14 41	OK	9 22	OK	1 18	7 43	OK
51+760.00	800	812 36	10640	2500	16	27 66	8 64	21.25	OK	1043	OK	1 25	8 34	OK
52+000.00	800	812 36	127 45	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	12 50	OK	1 37	990	OK
52+150.00	800	81236	14060	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	13 78	OK	1 46	1089	OK
52+260.00	800	81236	143 04	2500	16	2766	8.64	21 25	OK	1402	OK	1 53	1111	OK
52+350.00	800	812.36	141.62	2500	16	2766	8 64	21.25	OK	13 88	OK	1 58	1105	OK
52+460.00	800	812.36	136.36	2500	16	2766	8 64	21 25	OK	13 37	OK	1 64	10 72	OK
52+600.00	800	812.36	127.33	2500	16	27 66	8 64	21 25	OK	12 48	OK	1.70	10 13	OK
52+640.00	800	812 36	127.23	2500	16	2766	8 64	21 25	OK	12 47	OK	1 75	10 16	OK
52+800.00	800	812.36	147.06	2500	16	27.66	8 64	2125	OK	1442	OK	1 80	11 58	OK
52+866.00	800	812.36	155.29	2500	16	27 66	8 64	21.25	OK	15 22	OK	1 86	12 20	OK
53+000.00	800	812 43	169.18	2500	20	33 61	8 57	25 61	OK	16 59	OK	1 91	13 21	OK
53+035.00	800	812 43	172.79	2500	20	3361	8 57	25.61	OK	16.94	OK	1 94	13 49	OK
53+171.00	800	812 43	17317	2500	20	3361	8 57	2561	OK	16.98	OK	1 98	13 54	OK
53+391.00	800	81046	202 96	5000	25	31.58	10.54	29 66	OK	19 90	OK	2 06	15 68	OK
53+69 2.00	800	810.46	202 87	5000	25	3158	1054	29.66	OK	19 89	OK	2 16	1575	OK
53+972.00	800	810.46	215.73	5000	25	3158	10.54	29 66	OK	2115	OK	2 28	16 74	OK
54+000.00	800	81046	215.06	5000	25	3158	10.54	29 66	OK	2108	OK	2 35	16 74	OK
54+614 00	700	709 65	206.17	5000	25	31.79	9 35	30 25	OK	20 21	OK	2 48	1621	OK
55+000 00	700	709 57	186 77	5000	20	26 53	9 43	2546	OK	18 31	OK	2 82	15 10	OK
55+033.00	700	709 57	18640	5000	20	26 53	9 43	2546	OK	18 27	OK	3 00	1519	OK
55+309.00	700	709 57	173 77	5000	20	26 53	9 43	2546	OK	17 04	OK	3 08	14 37	OK
55+524 00	700	709 57	145.99	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	14 31	OK	3 24	12 53	OK
55+550.00	700	709 57	14584	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	1430	OK	3 34	12 60	OK
55+709 00	700	709 57	16874	5000	20	26 53	943	25 46	OK	1654	OK	3 38	14 23	OK
55+727.00	700	709.57	16863	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	1653	OK	3 45	14.27	OK
55+889.00	700	709.57	141.50	5000	20	2653	9 43	25 46	OK	13 87	OK	3 49	12 40	OK
56+000.00	700	709 57	143 35	5000	20	2653	943	2546	OK	14 05	OK	3 58	12 60	OK
56+137.50	700	709 57	158 12	5000	20	26.53	9 43	2546	OK	15 50	OK	3 66	13 68	OK
56+560.00	700	709 37	115.17	5000	16	2158	9 63	21 16	OK	11.29	OK	3 79	1077	OK
56+583.00	700	709.37	114.84	5000	16	21.58	9 63	2116	OK	11 26	OK	3 98	1088	OK
56+689 00	700	709.37	134 73	5000	16	2158	9 63	21.16	OK	13 21	OK	4 02	12 31	OK
57+000.00	700	709.37	137 45	5000	16	21.58	9.63	2116	OK	1348	OK	4 15	12 59	OK
57+949.00	700	709.57	14506	5000	20	26 53	9 43	25 46	OK	14 22	OK	4 56	13 42	OK
58+000.00	700	709.57	16056	5000	20	26 53	9 43	25 46	OK	15 74	OK	5 12	14 90	OK
58+089 00	700	709 57	175.32	5000	20	26 53	9.43	25 46	OK	1719	OK	5 18	15 98	OK
58+232.00	700	709.57	149.25	5000	20	26.53	9.43	25 46	OK	14 63	OK	5 26	14 21	OK
58+754.00	700	709.57	149 52	5000	20	26 53	9.43	25 46	OK	14.66	OK	5 49	14 39	OK
58+944.00	600	608.85	179 30	5000	25	32.08	8 15	3101	OK	17.58	OK	5 84	16.73	OK
59+000.00	600	608.85	17843	5000	25	3208	8 15	3101	OK	17 49	OK	6 05	1682	OK
59+229 .00	600	608.85	166.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.31	OK	6 20	16 08	OK
59+249 50	600	60885	16630	5000	25	32.08	8 15	31 01	OK	16 30	OK	6 43	16 24	OK
59+505.00	600	608.85	18416	5000	25	3208	8 15	31.01	OK	1805	OK	6 54	17 57	OK
59+767 00	600	60885	160 15	5000	25	32.08	8 15	31 01	OK	15 70	OK	6 88	16 13	OK
59 +784.00	600	608 85	16015	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	15 70	OK	7 14	1631	OK
59 +950 00	600	60885	192 14	5000	25	32.08	8 15	31 01	OK	1884	OK	7 23	1862	OK
60+000.00	600	60885	18233	5000	25	32.08	8 15	3101	OK	17 88	OK	7 40	18 06	OK
60+051.00	600	60885	16410	5000	25	32.08	8 15	3101	OK	16 09	OK	7 48	1683	OK
60+075.00	600	608.85	163 53	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	1603	OK	7 54	1683	OK
60+270.50	600	608.85	190.65	5000	25	32.08	8.15	31 01	OK	1869	OK	7 62	18 79	OK
60+620.00	600	608.85	177 33	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	17 39	OK	7.92	18.07	OK
60+909.00	600	608.85	223.48	5000	25	3208	8.15	31 01	OK	2191	OK	8 35	2161	OK
61+000.00	600	60885	207 58	5000	25	3208	8 15	3101	OK	2035	OK	8 66	20 72	OK
61+180.00	600	608.85	169 54	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	16 62	OK	8 81	18 17	OK
62+000.00	600	608.85	16405	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1608	OK	9 28	1812	OK
63+000.00	600	608.85	157 52	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1544	OK	1045	1850	OK
63+060 00	600	608.85	15706	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1540	OK	1146	19 18	OK
63+216.52	600	608.85	16644	5000	25	3208	8 15	31.01	OK	1632	OK	11 57	1992	OK
Turbina	1000	1012.09	16633	5000	25	3134	12 91	2887	OK	16 31	OK	11 77	20.05	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A13 (60s) (6s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	6	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_t \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_t \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_t \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	600	609.25	54.59	2500	6	10.48	7.75	9.63	OK	5.35	OK	1.88	5.17	OK
50+380.00	600	609.25	84.46	2500	6	10.48	7.75	9.63	OK	8.28	Corregir	1.20	5.98	OK
51+000.00	600	610.03	81.75	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.01	OK	2.12	7.24	OK
51+260.00	600	610.03	80.48	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	7.89	OK	2.07	7.11	OK
51+500.00	600	610.03	87.27	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.56	OK	2.11	7.62	OK
51+520.00	600	610.03	87.74	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.60	OK	2.19	7.71	OK
51+760.00	600	610.28	99.31	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	9.74	OK	2.19	8.52	OK
52+000.00	600	610.28	119.60	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.73	OK	2.31	10.03	OK
52+150.00	600	610.28	132.28	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	12.97	OK	2.51	11.06	OK
52+260.00	600	610.28	134.36	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.17	OK	2.63	11.29	OK
52+350.00	600	610.28	132.66	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.01	OK	2.74	11.25	OK
52+460.00	600	610.28	127.04	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	12.45	OK	2.83	10.92	OK
52+600.00	600	610.28	117.57	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.53	OK	2.94	10.34	OK
52+640.00	600	610.28	117.33	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.50	OK	3.04	10.39	OK
52+800.00	600	610.28	136.65	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.40	OK	3.13	11.81	OK
52+866.00	600	610.28	144.67	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	14.18	OK	3.25	12.45	OK
53+000.00	600	610.32	158.13	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.50	OK	3.33	13.46	OK
53+035.00	600	610.32	161.62	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.85	OK	3.42	13.76	OK
53+171.00	600	610.32	161.57	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.84	OK	3.47	13.80	OK
53+391.00	600	608.85	190.67	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.69	OK	3.59	15.92	OK
53+692.00	600	608.85	189.63	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.59	OK	3.77	15.97	OK
53+972.00	600	608.85	201.61	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.77	OK	3.99	16.97	OK
54+000.00	600	608.85	200.84	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.69	OK	4.15	17.03	OK
54+614.00	600	608.85	191.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.76	OK	4.25	16.43	OK
55+000.00	600	608.77	171.55	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.82	OK	4.63	15.32	OK
55+033.00	600	608.77	171.15	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.78	OK	4.84	15.44	OK
55+309.00	600	608.77	158.25	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	15.51	OK	4.91	14.59	OK
55+524.00	600	608.77	130.25	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.77	OK	5.08	12.75	OK
55+550.00	600	608.77	130.08	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.75	OK	5.21	12.83	OK
55+709.00	600	608.77	152.81	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	14.98	OK	5.24	14.44	OK
55+727.00	600	608.77	152.69	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	14.97	OK	5.33	14.50	OK
55+889.00	600	608.77	125.40	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.29	OK	5.37	12.62	OK
56+000.00	600	608.77	127.13	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.46	OK	5.47	12.81	OK
56+137.50	600	608.77	141.74	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	13.90	OK	5.55	13.89	OK
56+560.00	600	608.62	98.36	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.64	OK	5.69	10.95	OK
56+583.00	600	608.62	98.01	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.61	OK	5.92	11.09	OK
56+689.00	600	608.62	117.80	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	11.55	OK	5.95	12.50	OK
57+000.00	600	608.62	120.20	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	11.78	OK	6.11	12.78	OK
57+949.00	600	608.77	126.82	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.43	OK	6.54	13.56	OK
58+000.00	600	608.77	142.27	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	13.95	OK	7.21	15.11	OK
58+089.00	600	608.77	156.94	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	15.39	OK	7.27	16.18	OK
58+232.00	600	608.77	130.73	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.82	OK	7.36	14.42	OK
58+754.00	600	608.77	130.46	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.79	OK	7.59	14.56	OK
58+944.00	600	608.85	161.07	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.79	OK	7.98	16.98	OK
59+000.00	600	608.85	160.45	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.73	OK	8.10	17.02	OK
59+229.00	600	608.85	149.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.64	OK	8.21	16.32	OK
59+249.50	600	608.85	149.36	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.64	OK	8.34	16.42	OK
59+505.00	600	608.85	168.27	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.50	OK	8.43	17.80	OK
59+767.00	600	608.85	145.35	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.25	OK	8.64	16.35	OK
59+784.00	600	608.85	145.43	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.26	OK	8.79	16.46	OK
59+950.00	600	608.85	178.12	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.46	OK	8.85	18.79	OK
60+000.00	600	608.85	168.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.52	OK	8.95	18.20	OK
60+051.00	600	608.85	150.53	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.76	OK	9.00	16.97	OK
60+075.00	600	608.85	150.08	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.71	OK	9.03	16.96	OK
60+270.50	600	608.85	178.01	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	17.45	OK	9.09	18.96	OK
60+620.00	600	608.85	166.12	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.29	OK	9.27	18.25	OK
60+909.00	600	608.85	213.45	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	20.93	OK	9.52	21.75	OK
61+000.00	600	608.85	197.94	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.41	OK	9.70	20.79	OK
61+180.00	600	608.85	160.65	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.75	OK	9.80	18.25	OK
62+000.00	600	608.85	158.78	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.57	OK	10.09	18.33	OK
63+000.00	600	608.85	156.58	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.35	OK	10.75	18.64	OK
63+060.00	600	608.85	156.41	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.33	OK	11.32	19.04	OK
63+216.52	600	608.85	166.52	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	16.33	OK	11.39	19.80	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	31.34	12.91	28.87	OK	16.31	OK	11.53	19.88	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A13_(60s)_(15s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad especifica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	15	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_c \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_t \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_c \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	600	609.25	54.59	2500	6	1048	7.75	9.63	OK	5.35	OK	0.97	4.51	OK
50+380.00	600	609.25	84.46	2500	6	10.48	7.75	9.63	OK	8.28	Corregir	0.51	5.98	OK
51+000.00	600	610.03	81.75	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.01	OK	1.62	6.88	OK
51+260.00	600	610.03	80.48	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	7.89	OK	2.03	7.09	OK
51+500.00	600	610.03	87.27	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	8.56	OK	2.19	7.68	OK
51+520.00	600	610.03	8774	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	8.60	OK	2.31	7.80	OK
51+760.00	600	610.28	99.31	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	9.74	OK	2.32	8.61	OK
52+000.00	600	610.28	11960	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	11.73	OK	2.40	10.09	OK
52+150.00	600	61028	132.28	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	12.97	OK	2.50	11.05	OK
52+260.00	600	610.28	13436	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	13.17	OK	2.62	1128	OK
52+350.00	600	610.28	132.66	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	1301	OK	2.72	1123	OK
52+460.00	600	61028	12704	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	12.45	OK	2.81	10.90	OK
52+600.00	600	61028	117.57	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	11.53	OK	2.91	1031	OK
52+640.00	600	610.28	117.33	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	1150	OK	3.01	10.37	OK
52+800.00	600	610.28	136.65	2500	16	2818	6.72	2241	OK	13.40	OK	3.10	11.78	OK
52+866.00	600	610.28	144.67	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	14.18	OK	3.22	12.43	OK
53+000.00	600	610.32	15813	2500	20	3402	6.68	26.89	OK	15.50	OK	3.30	13.43	OK
53+035.00	600	61032	161.62	2500	20	3402	6.68	26.89	OK	15.85	OK	3.38	13.74	OK
53+171.00	600	610.32	161.57	2500	20	3402	6.68	26.89	OK	15.84	OK	3.44	13.77	OK
53+391.00	600	608.85	190.67	5000	25	3208	8.15	3101	OK	18.69	OK	3.56	15.89	OK
53+692.00	600	60885	18963	5000	25	3208	8.15	3101	OK	18.59	OK	3.74	15.95	OK
53+972.00	600	608.85	201.61	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	19.77	OK	3.96	1695	OK
54+000.00	600	60885	20084	5000	25	3208	8.15	3101	OK	19.69	OK	4.12	17.00	OK
54+614.00	600	608.85	191.34	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	18.76	OK	4.22	16.41	OK
55+000.00	600	60877	171.55	5000	20	2658	8.23	2595	OK	1682	OK	4.60	15.30	OK
55+033.00	600	608.77	171.15	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.78	OK	4.81	1542	OK
55+309.00	600	608.77	15825	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	15.51	OK	4.89	14.57	OK
55+524.00	600	608.77	13025	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.77	OK	5.07	12.74	OK
55+550.00	600	608.77	130.08	5000	20	2658	8.23	2595	OK	12.75	OK	5.19	12.81	OK
55+709.00	600	608.77	152.81	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	1498	OK	5.22	14.43	OK
55+727.00	600	608.77	152.69	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	1497	OK	5.31	14.49	OK
55+889.00	600	608.77	12540	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.29	OK	5.36	12.61	OK
56+000.00	600	608.77	127.13	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.46	OK	5.47	12.81	OK
56+137.50	600	608.77	14174	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	13.90	OK	5.55	1389	OK
56+560.00	600	608.62	9836	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.64	OK	5.69	1095	OK
56+583.00	600	60862	9801	5000	16	2188	8.38	2176	OK	9.61	OK	5.91	11.09	OK
56+689.00	600	608.62	11780	5000	16	21.88	8.38	2176	OK	11.55	OK	5.96	1250	OK
57+000.00	600	608.62	120.20	5000	16	2188	8.38	2176	OK	11.78	OK	6.10	12.77	OK
57+949.00	600	608.77	126.82	5000	20	2658	8.23	2595	OK	1243	OK	6.52	13.54	OK
58+000.00	600	608.77	14227	5000	20	2658	8.23	2595	OK	1395	OK	7.18	15.09	OK
58+089.00	600	608.77	15694	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	15.39	OK	7.24	1616	OK
58+232.00	600	608.77	13073	5000	20	2658	8.23	2595	OK	1282	OK	7.33	1439	OK
58+754.00	600	608.77	130.46	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	12.79	OK	7.56	14.53	OK
58+944.00	600	608.85	16107	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.79	OK	7.94	1695	OK
59+000.00	600	608.85	160.45	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.73	OK	8.07	17.00	OK
59+229.00	600	60885	14930	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.64	OK	8.17	16.29	OK
59+249.50	600	608.85	14936	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.64	OK	8.30	16.39	OK
59+505.00	600	608.85	168.27	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1650	OK	8.38	17.77	OK
59+767.00	600	608.85	145.35	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.25	OK	8.59	16.32	OK
59+784.00	600	60885	145.43	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1426	OK	8.74	1643	OK
59+950.00	600	608.85	178.12	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.46	OK	8.80	18.76	OK
60+000.00	600	608.85	168.53	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1652	OK	8.90	18.16	OK
60+051.00	600	608.85	150.53	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.76	OK	8.94	1693	OK
60+075.00	600	608.85	15008	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.71	OK	8.98	1692	OK
60+270.50	600	608.85	178.01	5000	25	3208	8.15	3101	OK	17.45	OK	9.03	1892	OK
60+620.00	600	608.85	166.12	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.29	OK	9.21	18.21	OK
60+909.00	600	608.85	213.45	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	2093	OK	9.47	21.71	OK
61+000.00	600	608.85	197.94	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1941	OK	9.64	20.75	OK
61+180.00	600	608.85	16065	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1575	OK	9.74	18.21	OK
62+000.00	600	608.85	158.78	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.57	OK	10.02	18.28	OK
63+000.00	600	608.85	15658	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1535	OK	1069	1860	OK
63+060.00	600	608.85	15641	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.33	OK	1126	19.00	OK
63+216.52	600	60885	16652	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1633	OK	11.34	19.76	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	3134	12.91	2887	OK	16.31	OK	11.47	1984	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL

Proyecto

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A13 (60s) (20s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad especifica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	20	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_c \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_c \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_c \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	600	609.25	54.59	2500	6	1048	7.75	9.63	OK	5.35	OK	0.75	4.36	OK
50+380.00	600	609.25	8446	2500	6	10.48	7.75	9.63	OK	8.28	Corregir	0.28	5.98	OK
51+000.00	600	610.03	81.75	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	8.01	OK	1.29	6.64	OK
51+260.00	600	610.03	80.48	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	7.89	OK	1.65	6.81	OK
51+500.00	600	610.03	87.27	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.56	OK	1.87	7.44	OK
51+520.00	600	610.03	87.74	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	8.60	OK	2.00	7.58	OK
51+760.00	600	61028	99.31	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	9.74	OK	2.10	8.46	OK
52+000.00	600	610.28	119.60	2500	16	2818	6.72	2241	OK	1173	OK	2.32	10.03	OK
52+150.00	600	610.28	132.28	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	12.97	OK	2.50	11.05	OK
52+260.00	600	610.28	134.36	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	13.17	OK	2.63	11.28	OK
52+350.00	600	61028	132.66	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	1301	OK	2.73	11.24	OK
52+460.00	600	610.28	127.04	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	12.45	OK	2.81	10.90	OK
52+600.00	600	61028	117.57	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	11.53	OK	2.92	10.32	OK
52+640.00	600	61028	117.33	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.50	OK	3.02	10.37	OK
52+800.00	600	610.28	136.65	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	1340	OK	3.11	11.79	OK
52+866.00	600	61028	144.67	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	1418	OK	3.22	1243	OK
53+000.00	600	610.32	158.13	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.50	OK	3.31	13.43	OK
53+035.00	600	610.32	16162	2500	20	3402	6.68	26.89	OK	15.85	OK	3.39	13.74	OK
53+171.00	600	610.32	16157	2500	20	3402	6.68	26.89	OK	1584	OK	3.44	13.78	OK
53+391.00	600	60885	190.67	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	18.69	OK	3.56	15.90	OK
53+692.00	600	60885	189.63	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.59	OK	3.74	15.95	OK
53+972.00	600	608.85	20161	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	19.77	OK	3.95	16.94	OK
54+000.00	600	60885	200.84	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	19.69	OK	4.11	17.00	OK
54+614.00	600	608.85	191.34	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	18.76	OK	4.20	16.40	OK
55+000.00	600	608.77	171.55	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.82	OK	4.58	15.29	OK
55+033.00	600	608.77	17115	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.78	OK	4.80	1541	OK
55+309.00	600	608.77	158.25	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	15.51	OK	4.87	14.56	OK
55+524.00	600	608.77	13025	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.77	OK	5.05	12.73	OK
55+550.00	600	608.77	13008	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.75	OK	5.17	12.80	OK
55+709.00	600	60877	15281	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	14.98	OK	5.21	1442	OK
55+727.00	600	608.77	152.69	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	14.97	OK	5.30	14.48	OK
55+889.00	600	60877	12540	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.29	OK	5.35	12.60	OK
56+000.00	600	608.77	127.13	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.46	OK	5.45	12.80	OK
56+137.50	600	608.77	141.74	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	13.90	OK	5.54	13.88	OK
56+560.00	600	60862	98.36	5000	16	2188	8.38	21.76	OK	9.64	OK	5.68	10.94	OK
56+583.00	600	608.62	9801	5000	16	2188	8.38	21.76	OK	9.61	OK	5.90	11.08	OK
56+689.00	600	608.62	117.80	5000	16	2188	8.38	2176	OK	11.55	OK	5.95	12.50	OK
57+000.00	600	60862	120.20	5000	16	2188	8.38	21.76	OK	11.78	OK	6.09	12.77	OK
57+94 9.00	600	608.77	126.82	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.43	OK	6.52	13.54	OK
58+000.00	600	608.77	142.27	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	13.95	OK	7.18	15.09	OK
58+089.00	600	60877	156.94	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	15.39	OK	7.24	1616	OK
58+232.00	600	608.77	13073	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.82	OK	7.33	14.39	OK
58+754.00	600	608.77	13046	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	12.79	OK	7.54	14.52	OK
58+944.00	600	60885	16107	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	15.79	OK	7.93	16.94	OK
59+000.00	600	608.85	16045	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1573	OK	8.05	16.99	OK
59+22 9.00	600	60885	14930	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.64	OK	8.15	1628	OK
59+249.50	600	60885	14936	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.64	OK	8.28	16.38	OK
59+505.00	600	60885	168.27	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.50	OK	8.36	1776	OK
59+767.00	600	608.85	14535	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.25	OK	8.57	1630	OK
59+784.00	600	60885	14543	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	14.26	OK	8.71	1641	OK
59+950.00	600	60885	17812	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	17.46	OK	8.77	18.74	OK
60+000.00	600	608.85	168.53	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	16.52	OK	8.88	18.14	OK
60+051.00	600	608.85	15053	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.76	OK	8.92	16.91	OK
60+075.00	600	60885	150.08	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	1471	OK	8.95	16.90	OK
60+270.50	600	60885	17801	5000	25	3208	8.15	3101	OK	17.45	OK	9.01	18.90	OK
60+620.00	600	60885	166.12	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	16.29	OK	9.19	18.20	OK
60+909.00	600	60885	21345	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	20.93	OK	9.44	21.69	OK
61+000.00	600	608.85	197.94	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.41	OK	9.62	20.73	OK
61+180.00	600	608.85	16065	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.75	OK	9.72	18.19	OK
62+000.00	600	608.85	158.78	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1557	OK	10.00	18.26	OK
63+000.00	600	608.85	15658	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	1535	OK	10.68	18.59	OK
63+060.00	600	608.85	156.41	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.33	OK	1125	18.99	OK
63+216.52	600	60885	166.52	5000	25	3208	8.15	3101	OK	1633	OK	1132	19.75	OK
Turbina	1000	1012.09	16633	5000	25	31.34	12.91	2887	OK	1631	OK	11.46	19.83	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A13_(60s)_(30s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB)	0.0065	Valor recomendado por AWWA M45
Gravedad específica del agua (SG)	1	Para agua
Tiempo de parada de Turbina (s)	30	
Tiempo de válvula abierta (s)	60	

$$P_c \le \frac{HDB * E_p * 2 * t_t * 10^6}{1.8 * D_i} \qquad P_w = \frac{H_f * SG}{0.102} \qquad P_c \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	600	609.25	54.59	2500	6	1048	7 75	9 63	OK	5 35	OK	0 67	4 30	OK
50+380 00	600	609 25	84.46	2500	6	10 48	7 75	9 63	OK	8 28	Corregir	0 22	5 98	OK
51+000.00	600	610.03	81.75	2500	10	18.15	6 97	14.98	OK	8 01	OK	1 18	6 57	OK
51+260.00	600	61003	8048	2500	10	1815	6 97	14 98	OK	7 89	OK	1 63	6.80	OK
51+500.00	600	61003	87 27	2500	10	18 15	6 97	14 98	OK	8 56	OK	1 88	7 45	OK
51+520.00	600	61003	87 74	2500	10	18.15	6 97	14 98	OK	8 60	OK	2 01	7 58	OK
51+760 00	600	610.28	99.31	2500	16	2818	6 72	22 41	OK	9 74	OK	2 12	8 47	OK
52+000.00	600	610.28	119 60	2500	16	2818	6 72	22 41	OK	11 73	OK	2 33	1004	OK
52+150.00	600	610.28	13228	2500	16	28 18	6 72	22 41	OK	12 97	OK	2 52	1106	OK
52+260.00	600	61028	134.36	2500	16	2818	6 72	22 41	OK	13 17	OK	2 64	1129	OK
52+350.00	600	610.28	132.66	2500	16	2818	6 72	2241	OK	1301	OK	2.74	1125	OK
52+460 00	600	610.28	127 04	2500	16	2818	6.72	2241	OK	1245	OK	2 83	1092	OK
52+600 00	600	610.28	117.57	2500	16	2818	6 72	2241	OK	1153	OK	2 94	1033	OK
52+640 00	600	61028	11733	2500	16	2818	6 72	2241	OK	11 50	OK	3 03	1038	OK
52+800.00	600	610.28	136 65	2500	16	2818	6 72	22 41	OK	13 40	OK	3 12	1180	OK
52+866.00	600	610.28	144.67	2500	16	28.18	6 72	2241	OK	1418	OK	3 24	12 44	OK
53+000.00	600	61032	158 13	2500	20	34 02	6 68	2689	OK	15 50	OK	3 32	13 45	OK
53+035.00	600	610.32	161.62	2500	20	3402	6 68	2689	OK	15 85	OK	3 40	13 75	OK
53+171.00	600	610.32	16157	2500	20	3402	6 68	2689	OK	15 84	OK	3 46	13 78	OK
53+391 00	600	608.85	190 67	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	1869	OK	3 58	15 91	OK
53+692 00	600	608.85	18963	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1859	OK	3.75	15 96	OK
53+972.00	600	608.85	20161	5000	25	3208	8 15	31.01	OK	1977	OK	3 97	16 95	OK
54+000.00	600	60885	200 84	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1969	OK	4 12	1701	OK
54+614.00	600	608.85	191 34	5000	25	3208	8 15	3101	OK	18 76	OK	4.21	1641	OK
55+000 00	600	608 77	171 55	5000	20	2658	8 23	2595	OK	1682	OK	4 58	15 29	OK
55+033.00	600	608 77	171 15	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	16 78	OK	4 79	15 41	OK
55+309.00	600	608.77	15825	5000	20	26 58	8 23	2595	OK	15.51	OK	4 86	1455	OK
55+524.00	600	608. 77	130.25	5000	20	26 58	8.23	25 95	OK	12 77	OK	5 03	12 72	OK
55+550.00	600	608 77	130 08	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 75	OK	5 16	12 79	OK
55+709.00	600	60877	152.81	5000	20	26.58	8 23	25 95	OK	1498	OK	5 19	1440	OK
55+727.00	600	60877	15269	5000	20	2658	8 23	25 95	OK	1497	OK	5 28	14 46	OK
55+889.00	600	608.77	12540	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 29	OK	5 32	12 58	OK
56+000.00	600	608 77	127 13	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 46	OK	5 43	12 78	OK
56+137.50	600	608 77	141 74	5000	20	2658	8 23	25 95	OK	13 90	OK	5 51	13 86	OK
56+560.00	600	608 62	9836	5000	16	21 88	8 38	21 76	OK	9 64	OK	5 67	10 94	OK
56+583.00	600	60862	98.01	5000	16	21.88	8 38	2176	OK	9 61	OK	5 90	1108	OK
56+689.00	600	608.62	11780	5000	16	2188	8.38	21 76	OK	11 55	OK	5 94	12 49	OK
57+000.00	600	608.62	12020	5000	16	2188	8.38	2176	OK	1178	OK	6 08	12 76	OK
57+949.00	600	608.77	126.82	5000	20	26 58	8 23	2595	OK	12 43	OK	6 51	13 53	OK
58+000 .00	600	608.77	142 27	5000	20	2658	8 23	2595	OK	13 95	OK	7 17	1508	OK
58+089.00	600	608.77	156.94	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	15 39	OK	7 23	16 15	OK
58+232.00	600	608 77	130.73	5000	20	26 58	8 23	25.95	OK	12 82	OK	7 31	14 38	OK
58+754 00	600	608.77	130.46	5000	20	26 58	8 23	25 95	OK	12 79	OK	7 53	1452	OK
58+944.00	600	608.85	161 07	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	15 79	OK	7 91	1693	OK
59+000.00	600	608.85	160.45	5000	25	32.08	8.15	31 01	OK	15 73	OK	8.04	1698	OK
59+229.00	600	608.85	149 30	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1464	OK	8 13	16 26	OK
59+249.50	600	608.85	149.36	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1464	OK	8 26	1636	OK
59+505.00	600	608.85	168.27	5000	25	32 08	8 15	3101	OK	16 50	OK	8 34	17 74	OK
59+767.00	600	60885	145 35	5000	25	3208	8 15	3101	OK	14 25	OK	8 55	16 28	OK
59+784.00	600	60885	145 43	5000	25	3208	8.15	31 01	OK	14 26	OK	8 70	16 40	OK
59+950.00	600	608.85	178 12	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1746	OK	8 75	18 73	OK
60+000.00	600	608.85	168.53	5000	25	3208	8 15	3101	OK	16 52	OK	8 86	18 13	OK
60+051.00	600	608 85	150.53	5000	25	3208	8 15	3101	OK	14 76	OK	8 91	1690	OK
60+075.00	600	60885	150 08	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14 71	OK	8 94	1690	OK
60+270.50	600	60885	17801	5000	25	3208	8 15	3101	OK	17 45	OK	9.00	18 89	OK
60+620.00	600	608.85	16612	5000	25	32 08	8 15	31 01	OK	16 29	OK	9 18	18 19	OK
60+909.00	600	60885	21345	5000	25	3208	8 15	3101	OK	2093	OK	9 44	21 69	OK
61+000 00	600	608.85	19794	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	1941	OK	9 62	20.73	OK
61+180.00	600	608.85	160 65	5000	25	3208	8 15	3101	OK	15 75	OK	9 72	1819	OK
62+000 00	600	608.85	158.78	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	15 57	OK	1002	18 28	OK
63+000.00	600	60885	156.58	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1535	OK	1072	18 62	OK
63+060 00	600	60885	156.41	5000	25	3208	8 15	31 01	OK	1533	OK	1129	19 02	OK
63+216.52	600	60885	16652	5000	25	3208	8 15	3101	OK	1633	OK	1137	19 78	OK
Turbina	1000	1012.09	16633	5000	25	3134	1291	2887	OK	1631	OK	11 50	1986	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Proyecto:

Verificación de Sobre Presión sin Protección - CH - 3 ANEXO A13_(60s)_(60s)

Base Hidrostática de Diseño (HDB) 0.0065
Gravedad específica del agua (SG) 1
Tiempo de parada de Turbina (s) 60
Tiempo de válvula abierta (s) 60

Valor recomendado por AWWA M45
Para agua

$$P_c \le \frac{HDB \cdot E_p \cdot 2 \cdot t_c \cdot 10^6}{1.8 \cdot D_i} \qquad P_w = \frac{H_f \cdot SG}{0.102} \qquad P_s \ge \frac{P_w + P_s}{1.4}$$

LINEA 2

Progresiva	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Presión Estática (m) H_f	Rigidez de la Tubería SN (N/m²) (Pa)	Clase de Presión PN (Bar)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Espesor de la Tubería (mm)	Verificación PC (Bar)		Presión de Trabajo Pw (Bar)		Sobre presión Ps (Bar)	Verificación Pc (Bar)	
50+000.00	600	609.25	54.59	2500	6	1048	7.75	9.63	OK	5.35	OK	0.69	4.31	OK
50+380.00	600	609.25	84.46	2500	6	1048	7.75	9.63	OK	8.28	Corregir	0.23	5.98	OK
51+000.00	600	610.03	81.75	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	8.01	OK	1.21	6.59	OK
51+260.00	600	61003	80.48	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	7.89	OK	1.67	6.83	OK
51+500.00	600	61003	87.27	2500	10	1815	6.97	14.98	OK	8.56	OK	1.92	7.49	OK
51+520.00	600	61003	87.74	2500	10	18.15	6.97	14.98	OK	8.60	OK	2.06	7.62	OK
51+760.00	600	61028	99.31	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	9.74	OK	2.17	8.50	OK
52+000.00	600	61028	119.60	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.73	OK	2.39	10.08	OK
52+150.00	600	61028	132.28	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	12.97	OK	2.58	11.11	OK
52+260.00	600	610.28	134.36	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	13.17	OK	2.71	11.34	OK
52+350.00	600	610.28	132.66	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	13.01	OK	2.81	11.30	OK
52+460.00	600	610.28	127.04	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	12.45	OK	2.90	10.97	OK
52+600.00	600	61028	117.57	2500	16	28.18	6.72	22.41	OK	11.53	OK	3.01	10.38	OK
52+640.00	600	61028	117.33	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	11.50	OK	3.11	10.44	OK
52+800.00	600	61028	136.65	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	13.40	OK	3.20	11.85	OK
52+866.00	600	61028	144.67	2500	16	2818	6.72	22.41	OK	14.18	OK	3.32	12.50	OK
53+000.00	600	61032	158.13	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.50	OK	3.41	13.51	OK
53+035.00	600	61032	161.62	2500	20	34.02	6.68	26.89	OK	15.85	OK	3.49	13.81	OK
53+171.00	600	61032	161.57	2500	20	3402	6.68	26.89	OK	15.84	OK	3.55	13.85	OK
53+391.00	600	608.85	190.67	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	18.69	OK	3.68	15.98	OK
53+692.00	600	608.85	189.63	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	18.59	OK	3.86	16.04	OK
53+972.00	600	608.85	201.61	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	19.77	OK	4.09	17.04	OK
54+000.00	600	608.85	200.84	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	19.69	OK	4.24	17.09	OK
54+614.00	600	608.85	191.34	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	18.76	OK	4.34	16.50	OK
55+000.00	600	608.77	171.55	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.82	OK	4.72	15.39	OK
55+033.00	600	608.77	171.15	5000	20	26.58	8.23	25.95	OK	16.78	OK	4.94	15.51	OK
55+309.00	600	60877	158.25	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	15.51	OK	5.01	14.66	OK
55+524.00	600	608.77	130.25	5000	20	2658	8.23	2595	OK	12.77	OK	5.19	12.83	OK
55+550.00	600	60877	130.08	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.75	OK	5.31	12.90	OK
55+709.00	600	608.77	152.81	5000	20	2658	8.23	2595	OK	14.98	OK	5.34	14.52	OK
55+727.00	600	608.77	152.69	5000	20	2658	8.23	2595	OK	14.97	OK	5.43	14.57	OK
55+889.00	600	608.77	125.40	5000	20	2658	8.23	2595	OK	12.29	OK	5.48	12.70	OK
56+000.00	600	608.77	127.13	5000	20	2658	8.23	2595	OK	12.46	OK	5.59	12.90	OK
56+137.50	600	608.77	141.74	5000	20	2658	8.23	2595	OK	13.90	OK	5.68	13.98	OK
56+560.00	600	60862	98.36	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	9.64	OK	5.87	11.08	OK
56+583.00	600	60862	98.01	5000	16	2188	8.38	21.76	OK	9.61	OK	6.10	11.22	OK
56+689.00	600	608.62	117.80	5000	16	21.88	8.38	21.76	OK	11.55	OK	6.15	12.64	OK
57+000.00	600	608.62	120.20	5000	16	2188	8.38	21.76	OK	11.78	OK	6.29	12.91	OK
57+949.00	600	608.77	126.82	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.43	OK	6.75	13.70	OK
58+000.00	600	608.77	142.27	5000	20	26.58	8.23	2595	OK	13.95	OK	7.41	15.26	OK
58+089.00	600	608.77	156.94	5000	20	2658	8.23	2595	OK	15.39	OK	7.47	16.32	OK
58+232.00	600	608.77	130.73	5000	20	2658	8.23	2595	OK	12.82	OK	7.56	14.55	OK
58+754.00	600	608.77	130.46	5000	20	2658	8.23	25.95	OK	12.79	OK	7.78	14.69	OK
58+944.00	600	608.85	161.07	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.79	OK	8.16	17.11	OK
59+000.00	600	608.85	160.45	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	15.73	OK	8.29	17.15	OK
59+229.00	600	608.85	149.30	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.64	OK	8.37	16.44	OK
59+249.50	600	608.85	149.36	5000	25	32.08	8.15	31.01	OK	14.64	OK	8.50	16.53	OK
59+505.00	600	60885	168.27	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	16.50	OK	8.57	17.91	OK
59+767.00	600	608.85	145.35	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	14.25	OK	8.78	16.45	OK
59+784.00	600	60885	145.43	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	14.26	OK	8.93	16.56	OK
59+950.00	600	608.85	178.12	5000	25	3208	8.15	3101	OK	17.46	OK	8.99	18.89	OK
60+000.00	600	608.85	168.53	5000	25	3208	8.15	3101	OK	16.52	OK	9.09	18.30	OK
60+051.00	600	608.85	150.53	5000	25	3208	8.15	3101	OK	14.76	OK	9.14	17.07	OK
60+075.00	600	608.85	150.08	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	14.71	OK	9.17	17.06	OK
60+270.50	600	60885	178.01	5000	25	3208	8.15	3101	OK	17.45	OK	9.24	19.07	OK
60+620.00	600	60885	166.12	5000	25	3208	8.15	3101	OK	16.29	OK	9.44	18.37	OK
60+909.00	600	608.85	213.45	5000	25	3208	8.15	3101	OK	20.93	OK	9.69	21.87	OK
61+000.00	600	608.85	197.94	5000	25	32.08	8.15	3101	OK	19.41	OK	9.87	20.91	OK
61+180.00	600	608.85	160.65	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	15.75	OK	9.97	18.37	OK
62+000.00	600	60885	158.78	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	15.57	OK	10.28	18.46	OK
63+000.00	600	60885	156.58	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.35	OK	10.98	18.81	OK
63+060.00	600	60885	156.41	5000	25	3208	8.15	3101	OK	15.33	OK	11.56	19.21	OK
63+216.52	600	60885	166.52	5000	25	3208	8.15	31.01	OK	16.33	OK	11.63	19.97	OK
Turbina	1000	1012.09	166.33	5000	25	3134	12.91	28.87	OK	16.31	OK	11.77	20.05	OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

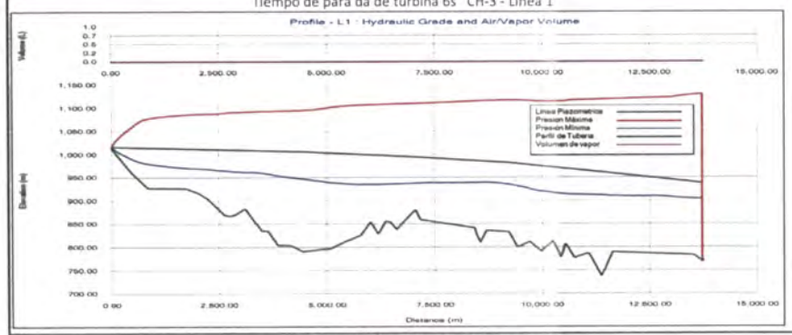
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

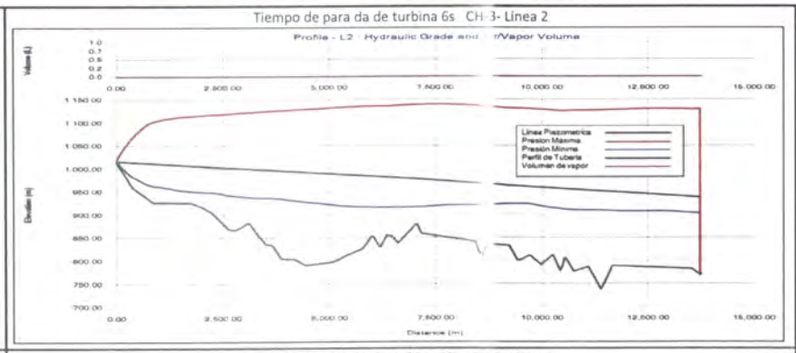
Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Envolvente de presiones máximas y mínimas CH-3 Sin dispositivos de protección ANEXO A11

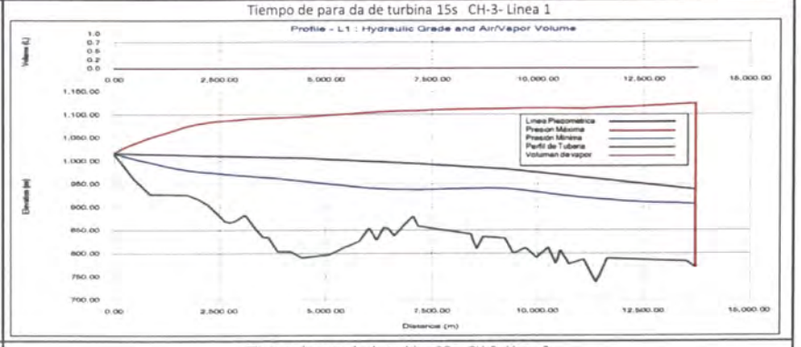
Tiempo de para da de turbina 6s CH-3 - Linea 1



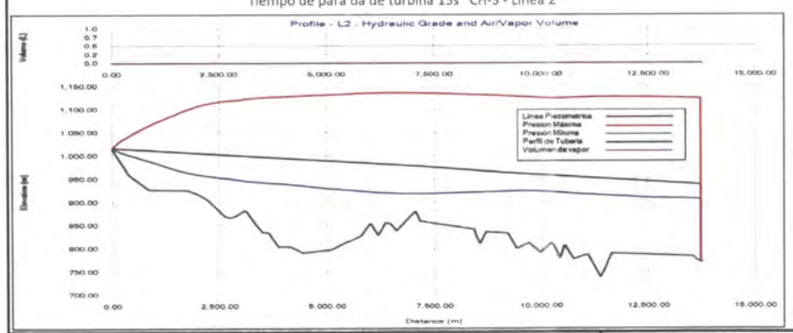
Tiempo de para da de turbina 6s CH-3- Linea 2



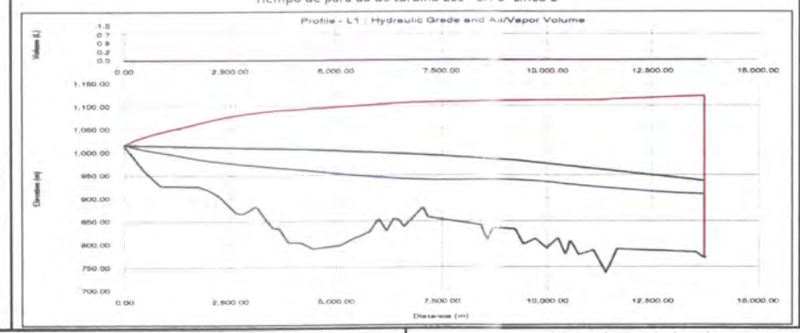
Tiempo de para da de turbina 15s CH-3- Linea 1



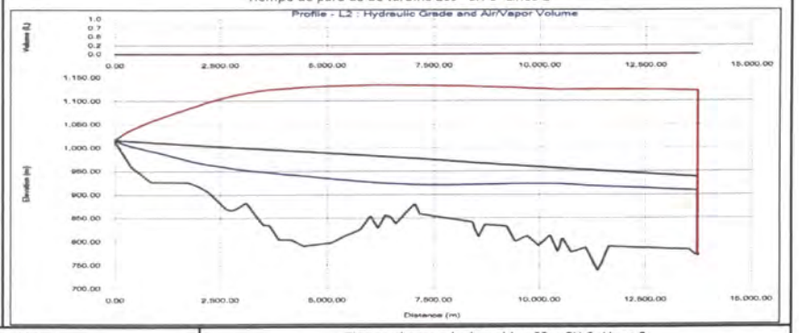
Tiempo de para da de turbina 15s CH-3 - Linea 2



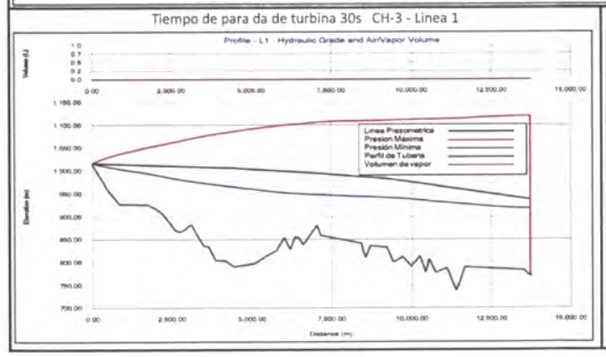
Tiempo de para da de turbina 20s CH-3- Linea 1



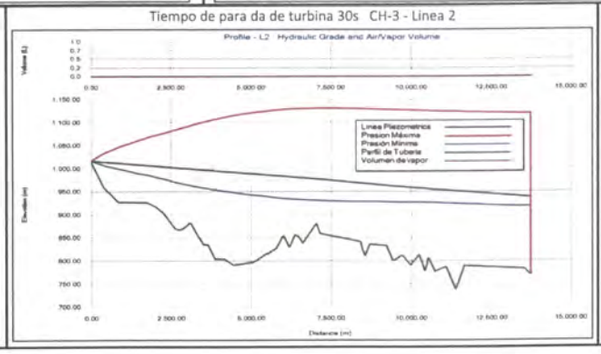
Tiempo de para da de turbina 20s CH-3- Linea 2



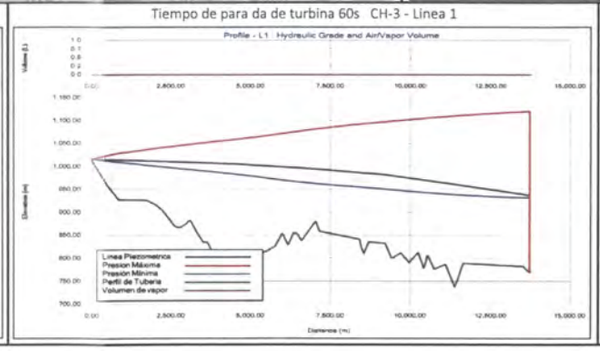
Tiempo de para da de turbina 30s CH-3 - Linea 1



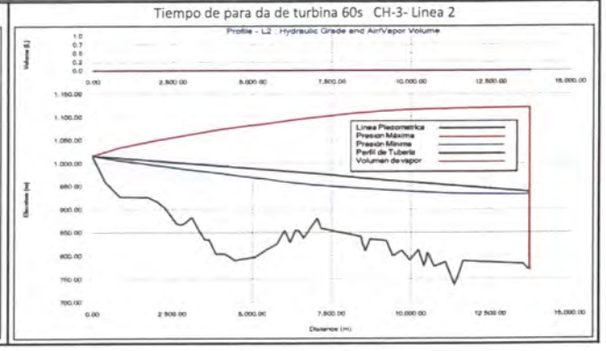
Tiempo de para da de turbina 30s CH-3 - Linea 2



Tiempo de para da de turbina 60s CH-3 - Linea 1



Tiempo de para da de turbina 60s CH-3- Linea 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Selección de Turbina y altura de sección CH - 3 ANEXO A15

1. Datos

Caudal (Q)	1.50	m^3/s	
Altura Neta (Hn)	165.66	m	
Cota	772.18		
Potencia (P)	2.08	MW	2829.114 CV
Temperatura (T)	20.0	C°	

2. Número de revoluciones (N_e) $N_e = 60\frac{f_r}{P_a}$

Frecuencia (f_r) 60 Hz

P_a	2	3	4	5	6	7	8
(N_e)	1800	1200	900	720	600	514.29	450

3. Velocidad específica (N_S) $N_S = \frac{N_e\sqrt{P}}{H_n^{5/4}}$

(N_S)	161.09	107.40	80.55	64.44	53.70	46.03	40.27

Tipo de turbina. Francis

Elegimos. Ns = 80.55 Ne = 900.00

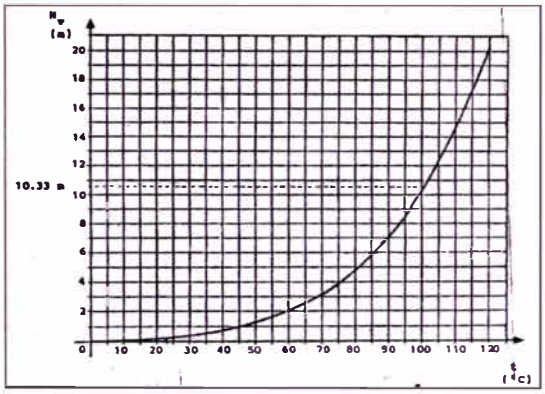
4. Número de grupos generadores $N_T = \left(\frac{N_s}{N_s'}\right)^2$

Según Schapov (N´s) 108.0210776 $N_s = \frac{2420}{\sqrt{H_n}} - 80$

Según la USBR (N´s) 120.6598073 < N´s < 181.339337 $\frac{1553}{\sqrt{H_n}} < N_s < \frac{2334}{\sqrt{H_n}}$

Elegimos (N´s) 108.0210776

Número de Unidades (NT) 1 und



5. Cálculo de altura de succión

H_B = 9.442

Presión de Vaporización de agua H_v = 0.397

Coeficiente de Thoma σ = 0.02305

Altura de Succión $H_s <$ 5.226

N_s	0	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
σ	0	0.02	0.05	0.11	0.21	0.35	0.53	0.75	1.15	1.6	2	2.3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

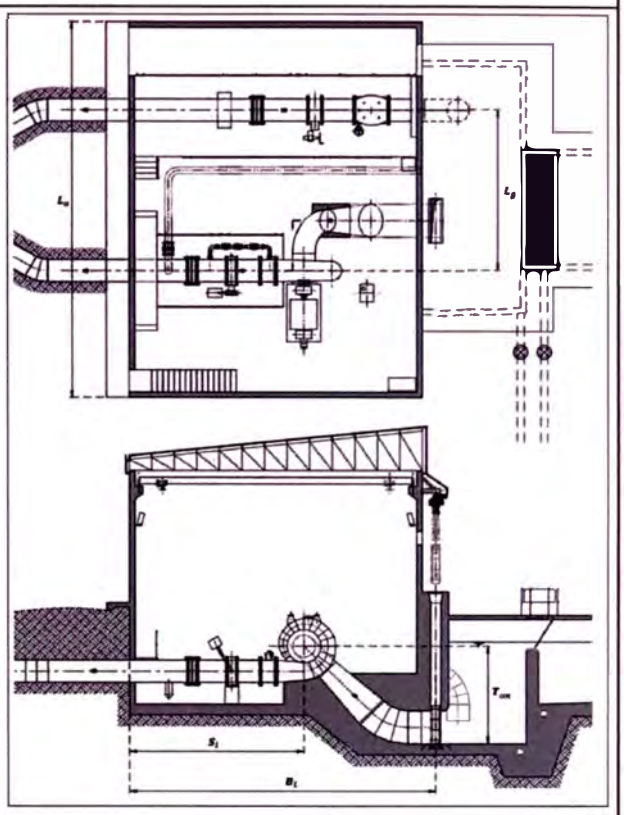
Dimensiones de casa de máquina CH - 3 ANEXO A16

1. Datos

Altura Neta (Hn)	165.66	m
Número de revoluciones	900.00	rpm
Velocidad específica	80.55	rpm
Numero de Unidades	1	

2. Dimensionamiento de casa de máquinas

$K_u =$	0.51		$K_u = 0.31 + 2.5(10^{-3})N_s$
$D_r =$	3021.50	mm	$D_r = (84.5)(K_u)\left(\frac{\sqrt{H_n}}{N_e}\right)$
$D_r =$	3.02	m	
$L_g =$	11.28	m	$L_g = 0.1D_r^{\,2} + 2.9D_r + 1.6$
$L_g =$	12.0	m	Adoptado
$L_a =$	22.55	m	$L_a = (Z_u + 1)L_g$
$L_a =$	4.0	m	Adoptado
$S_l =$	9.06	m	$S_l = \propto D_r$ $\quad 1.8 < \propto < 6$
$S_l =$	14.75	m	Adoptado
$B_l =$	18.60	m	$B_l = 5 + 4.5D_r$
$B_l =$	20.00	m	Adoptado
$T_{an} =$	3.90	m	$T_{an} = 2.33D_r$
$T_{an} =$	4.50	m	Adoptado



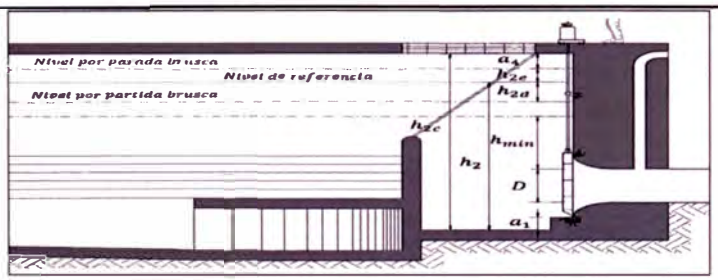
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

DISEÑO DE CÁMARA DE CARGA - 49 + 480 ANEXO A17



1) Datos

	Linea 1	Linea 2	
Caudal de diseño	0.86	0.64	m³/s
Altura Bruta	244 4	244.42	m
Longitud de Tubería	13689 18	13689 18	m
Diámetro	0 8	0 6	m

2) Pre dimensionamiento de la cámara de carga

Linea 1				Linea 2		
$a_1 =$	0.3	m	$0.3 < a_1 < 0.5$	$a_1 =$	0 3	m
$D_1 =$	0 8	m		$D_2 =$	0 6	m
$h_{min} =$	0.83	m	$h_{min} = 0.543 V D^{1/2}$	$h_{min} =$	0 95	m
$h_{\min\ asumido} =$	0.90	m		$h_{\min\ asumido} =$	1 00	m
$V_{cc} =$	0.6	m/s	$(0.6 \leq V_{cc} < 1)$	$V_{cc} =$	0 6	m
$h_{2\ calculado} =$	2.00	m		$h_{2\ calculado} =$	1 90	m
$h_{2\ asumido} =$	3.70	m		$h_{2\ asumido} =$	3 50	m
$b_{2\ calculado} =$	0.72	m	$b_2 = \frac{Q}{V_{cc} * h_2}$	$b_{2\ calculado} =$	0.56	m
$b_{2\ asumido} =$	6 00	m	Para conservar los ejes de la tubería existente y la maniobrabilidad se considera $b_2 = 6.0$ m	$b_{2\ asumido} =$	6 00	m
$h_{2d} =$	0.01	m	$h_{2d} = \frac{Q}{7 * b_2 * \sqrt{h_2}}$	$h_{2d} =$	0 01	m
$h_{2d\ asumido} =$	0.1	m		$h_{2d\ asumido} =$	0 1	m
$h_{2e} =$	0.02	m	$h_{2e} = \frac{0.25 * Q}{b_2 * \sqrt{h_2}}$	$h_{2e} =$	0.01	m
$h_{2e\ asumido} =$	0.1	m		$h_{2e\ asumido} =$	0 1	m
$L_{cc} =$	44.01	m	$L_{cc} = 0.304 \frac{QL\sqrt{h_2}}{(H_1) D^2}$	$L_{cc} =$	56 63	m
$\Delta\forall_{L1} =$	197 46	m³	$\Delta\forall = \frac{0.693 * A * V^2}{l * g}$ El volumen de la cámara de carga sera la suma de ambos volumenes = 290.73 m³	$\Delta\forall_{L2} =$	93 27	m³

3) Dimensionamiento de la cámara de carga

Para el dimensionamiento de la camara de carga se tendra en cuenta los valores calculados anteriormente y el volumen calculado

Ancho de la cámara	6 0 m	
Altura de la cámara	1.7 m	
Largo de la cámara	38 m	
Vol de la cámara	387 6 m³	OK

4) Verificación

$h_{2e} = a_1 + D + h_{min} + h_{2d}$	$h_{2e} =$	1 90	$h_{2e} < h_2$ OK

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 1 - 3 CENTRALES ANEXO A18

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	9,394,429.53 USD
Aportes a reguladoras	1.75%
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%
Precio energía hora Punta	46.61 USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4 USD/MWh
Precio Prima de Energía	60 USD/MWh
Energía Anual	27887.67 Mw-año
Tasa de descuento	12.0%

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
BASE	2022	9,394,429.53			9,394,429.53			-9,394,429.53
1	2023		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
2	2024		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
3	2025		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
4	2026		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
5	2027		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
6	2028		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
7	2029		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
8	2030		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
9	2031		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
10	2032		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
11	2033		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
12	2034		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
13	2035		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
14	2036		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
15	2037		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
16	2038		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
17	2039		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
18	2040		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
19	2041		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
20	2042		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
21	2043		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
22	2044		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
23	2045		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
24	2046		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
25	2047		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
26	2048		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
27	2049		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
28	2050		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
29	2051		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75
30	2052		469,721.48	29,106.36	498,827.84	1,663,220.59	1,663,220.59	1,164,392.75

Resultados

VAN=	1,422,030.37
TIR=	11.98%
B/C=	1.12

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 1 - CH-1 ANEXO A19

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	3,835,170.66	USD
Aportes a reguladoras	1.75%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%	
Precio energía hora Punta	46.61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	13687.09	Mwaño
Tasa de descuento	12.0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	3,835,170.66			3,835,170.66			-3,835,170.66
1	2023		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
2	2024		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
3	2025		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
4	2026		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
5	2027		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
6	2028		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
7	2029		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
8	2030		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
9	2031		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
10	2032		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
11	2033		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
12	2034		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
13	2035		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
14	2036		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
15	2037		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
16	2038		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
17	2039		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
18	2040		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
19	2041		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
20	2042		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
21	2043		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
22	2044		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
23	2045		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
24	2046		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
25	2047		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
26	2048		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
27	2049		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
28	2050		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
29	2051		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62
30	2052		191,758.53	14,371.45	206,129.98	821,225.60	821,225.60	615,095.62

Resultados

VAN=	1,708,350.46
TIR=	15.84%
B/C=	1.35

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 1 - CH-2 ANEXO A20

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	2,290,374.70 USD
Aportes a reguladoras	1.75%
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%
Precio energía hora Punta	46.61 USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4 USD/MWh
Precio Prima de Energía	60 USD/MWh
Energía Anual	2100.44 Mw-año
Tasa de descuento	12.0%

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	2,290,374.70			2,290,374.70			-2,290,374.70
1	2023		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
2	2024		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
3	2025		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
4	2026		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
5	2027		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
6	2028		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
7	2029		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
8	2030		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
9	2031		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
10	2032		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
11	2033		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
12	2034		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
13	2035		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
14	2036		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
15	2037		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
16	2038		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
17	2039		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
18	2040		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
19	2041		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
20	2042		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
21	2043		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026 19	9,301.99
22	2044		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
23	2045		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
24	2046		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
25	2047		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
26	2048		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
27	2049		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
28	2050		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
29	2051		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99
30	2052		114,518.73	2,205.46	116,724.19	126,026.19	126,026.19	9,301.99

Resultados

VAN=	-1,869,308.70
TIR=	-10.35%
B/C=	0.35

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 1 - CH-3 ANEXO A21

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	3,268,884.17	USD
Aportes a reguladoras	1.75%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%	
Precio energía hora Punta	46.61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	12100.14	Mw-año
Tasa de descuento	12.0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	3,268,884.17			3,268,884.17			-3,268,884.17
1	2023		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
2	2024		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
3	2025		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
4	2026		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
5	2027		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
6	2028		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
7	2029		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
8	2030		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
9	2031		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
10	2032		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
11	2033		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
12	2034		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
13	2035		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
14	2036		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
15	2037		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
16	2038		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
17	2039		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
18	2040		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
19	2041		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
20	2042		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
21	2043		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
22	2044		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
23	2045		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
24	2046		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
25	2047		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
26	2048		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
27	2049		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
28	2050		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
29	2051		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01
30	2052		163,444.21	12,705.15	176,149.35	726,008.36	726,008.36	549,859.01

Resultados

VAN=	1,662,595.52
TIR=	16.66%
B/C=	1.40

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 1 - 3 CENTRALES ANEXO A22

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	15,008,315.06 USD
Aportes a reguladoras	0.00%
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%
Precio energía hora Punta	46.61 USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4 USD/MWh
Precio Prima de Energía	60 USD/MWh
Energía Anual	27887.67 Mw-año
Tasa de descuento	12.0%

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	15,008,315.06			15,008,315.06			-15,008,315.06
1	2023		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
2	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
3	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
4	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
5	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
6	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
7	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
8	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
9	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
10	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
11	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
12	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
13	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
14	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
15	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
16	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
17	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
18	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
19	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
20	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
21	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
22	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
23	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
24	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
25	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
26	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
27	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
28	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
29	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46
30	2024		750,415.75	0.00	750,415.75	1,199,309.21	1,199,309.21	448,893.46

Resultados

VAN=	-9,136,711.54
TIR=	-0.69%
B/C=	0.51

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 1 - CH-1 ANEXO A23

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	6,894,438.22 USD
Aportes a reguladoras	0.00%
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%
Precio energía hora Punta	46.61 USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4 USD/MWh
Precio Prima de Energía	60 USD/MWh
Energía Anual	13687.09 Mw-año
Tasa de descuento	12.0%

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	6,894,438.22			6,894,438.22			6,894,438.22
1	2023		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
2	2024		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
3	2025		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
4	2026		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
5	2027		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
6	2028		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
7	2029		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
8	2030		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
9	2031		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
10	2032		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
11	2033		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
12	2034		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
13	2035		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
14	2036		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
15	2037		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
16	2038		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
17	2039		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
18	2040		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
19	2041		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
20	2042		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
21	2043		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
22	2044		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
23	2045		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
24	2046		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
25	2047		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
26	2048		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
27	2049		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
28	2050		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
29	2051		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54
30	2052		344,721.91	0.00	344,721.91	588,613.45	588,613.45	243,891.54

Resultados

VAN=	3,893,643.08
TIR=	0.39%
B/C=	0.55

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 1 - CH-2 ANEXO A24

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	3,781,315.93	USD
Aportes a reguladoras	0.00%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%	
Precio energía hora Punta	46.61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	2100.44	Mw-año
Tasa de descuento	12.0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	3,781,315.93			3,781,315.93			-3,781,315.93
1	2023		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
2	2024		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
3	2025		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
4	2026		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
5	2027		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
6	2028		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
7	2029		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
8	2030		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
9	2031		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
10	2032		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
11	2033		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
12	2034		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
13	2035		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
14	2036		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
15	2037		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
16	2038		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
17	2039		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
18	2040		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
19	2041		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
20	2042		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
21	2043		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
22	2044		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
23	2045		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
24	2046		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
25	2047		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
26	2048		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
27	2049		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
28	2050		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
29	2051		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53
30	2052		189,065.80	0.00	189,065.80	90,329.27	90,329.27	-98,736.53

Resultados

VAN=	-4,008,341.58
TIR=	#INUM!
B/C=	0.15

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 1 - CH-3 ANEXO A25

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	4,332,560.91	USD
Aportes a reguladoras	0.00%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%	
Precio energía hora Punta	46.61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	12100.14	Mw-año
Tasa de descuento	12.0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	4,332,560.91			4,332,560.91			-4,332,560.91
1	2023		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
2	2024		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
3	2025		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
4	2026		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
5	2027		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
6	2028		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
7	2029		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
8	2030		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
9	2031		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
10	2032		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
11	2033		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
12	2034		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
13	2035		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
14	2036		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
15	2037		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
16	2038		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
17	2039		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
18	2040		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
19	2041		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
20	2042		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
21	2043		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
22	2044		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
23	2045		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
24	2046		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
25	2047		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
26	2048		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
27	2049		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
28	2050		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
29	2051		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45
30	2052		216,628.05	0.00	216,628.05	520,366.49	520,366.49	303,738.45

Resultados

VAN=	-1,234,726.87
TIR=	5.67%
B/C=	0.77

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 2 - 3 CENTRALES ANEXO A26

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	6,092,561.76	USD
Aportes a reguladoras	1 75%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5 00%	
Precio energía hora Punta	46 61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39 4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	28026 04	Mw-año
Tasa de descuento	12 0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado: Venta de Energía USD	Inyección Sistema Interconectado: Subtotal USD	USD
0	2022	6,092,561 76			6,092,561 76			6,092,561 76
1	2023		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
2	2024		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
3	2025		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562.63	1,681,562 63	1,347,507 19
4	2026		304,628.09	29,427 35	334,055 43	1,681,562.63	1,681,562.63	1,347,507 19
5	2027		304,628.09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
6	2028		304,628.09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
7	2029		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
8	2030		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
9	2031		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
10	2032		304,628 09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
11	2033		304,628.09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
12	2034		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562.63	1,347,507 19
13	2035		304,628 09	29,427.35	334,055.43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
14	2036		304,628 09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
15	2037		304,628.09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562.63	1,347,507 19
16	2038		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
17	2039		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
18	2040		304,628 09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507.19
19	2041		304,628 09	29,427 35	334,055.43	1,681,562.63	1,681,562 63	1,347,507 19
20	2042		304,628 09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
21	2043		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
22	2044		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
23	2045		304,628.09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
24	2046		304,628 09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
25	2047		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
26	2048		304,628.09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562.63	1,347,507 19
27	2049		304,628.09	29,427.35	334,055 43	1,681,562.63	1,681,562 63	1,347,507.19
28	2050		304,628 09	29,427 35	334,055.43	1,681,562.63	1,681,562 63	1,347,507 19
29	2051		304,628.09	29,427.35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19
30	2052		304,628 09	29,427 35	334,055 43	1,681,562 63	1,681,562 63	1,347,507 19

Resultados

VAN=	5,702,939.42
TIR=	22.06%
B/C=	1.73

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 2 - CH-1 ANEXO A27

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	2,388,812.09	USD
Aportes a reguladoras	1.75%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%	
Precio energía hora Punta	46.61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	13812.04	Mw-año
Tasa de descuento	12.0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	2,388,812.09			2,388,812.09			-2,388,812.09
1	2023		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
2	2024		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
3	2025		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
4	2026		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
5	2027		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
6	2028		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
7	2029		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
8	2030		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
9	2031		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
10	2032		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
11	2033		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
12	2034		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
13	2035		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
14	2036		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
15	2037		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
16	2038		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
17	2039		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
18	2040		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
19	2041		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
20	2042		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
21	2043		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
22	2044		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
23	2045		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
24	2046		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
25	2047		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
26	2048		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
27	2049		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
28	2050		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
29	2051		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86
30	2052		119,440.60	14,502.64	133,943.24	828,722.10	828,722.10	694,778.86

Resultados

VAN=	3,579,304.04
TIR=	29.07%
B/C=	2.16

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 2 - CH-2 ANEXO A28

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	1,907,845.29 USD
Aportes a reguladoras	1.75%
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%
Precio energía hora Punta	46.61 USD/MWh
Precio energía hora F Punta	39.4 USD/MWh
Precio Prima de Energía	60 USD/MWh
Energía Anual	2062.08 Mw-año
Tasa de descuento	12.0%

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	1,907,845.29			1,907,845.29			-1,907,845.29
1	2023		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
2	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
3	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
4	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
5	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
6	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
7	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
8	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
9	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
10	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
11	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
12	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
13	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
14	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
15	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
16	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
17	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
18	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
19	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
20	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
21	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
22	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
23	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
24	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
25	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
26	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
27	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
28	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
29	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42
30	2024		95,392.26	2,165.19	97,557.45	123,724.86	123,724.86	26,167.42

Resultados

VAN=	-1,408,452.46
TIR=	-4.98%
B/C=	0.41

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA VENTA DE ENERGÍA - ALT 2 - CH-3 ANEXO A29

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	1,795,904 38	USD
Aportes a reguladoras	1 75%	
Costos de Operación y Mantenimiento	S 00%	
Precio energía hora Punta	46 61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	12151 93	Mw-año
Tasa de descuento	12.0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	1,795,904.38			1,795,904.38			-1,795,904 38
1	2023		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
2	2024		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
3	2025		89,795.22	12,759 52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
4	2026		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
5	2027		89,795.22	12,759 52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
6	2028		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
7	2029		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115.66	729,115.66	626,560 92
8	2030		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
9	2031		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
10	2032		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
11	2033		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
12	2034		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
13	2035		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
14	2036		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
15	2037		89,795.22	12,759 52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
16	2038		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
17	2039		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
18	2040		89,795.22	12,759 52	102,554.74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
19	2041		89,795.22	12,759 52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
20	2042		89,795.22	12,759 52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
21	2043		89,795.22	12,759 52	102,554.74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
22	2044		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115.66	729,115 66	626,560.92
23	2045		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
24	2046		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
25	2047		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
26	2048		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
27	2049		89,795.22	12,759.52	102,554.74	729,115 66	729,115.66	626,560 92
28	2050		89,795.22	12,759 52	102,554.74	729,115.66	729,115 66	626,560 92
29	2051		89,795 22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92
30	2052		89,795.22	12,759.52	102,554 74	729,115 66	729,115 66	626,560 92

Resultados

VAN=	3,532,087 84
TIR=	34.88%
B/C=	2 51

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 1 - 3 CENTRALES ANEXO A30

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	11,706,447 29	USD
Aportes a reguladoras	0.00%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%	
Precio energía hora Punta	46 61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39 4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	28026.04	Mw-año
Tasa de descuento	12 0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	11,706,447 29			11,706,447 29			-11,706,447 29
1	2023		585,322 36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
2	2024		585,322 36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
3	2025		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
4	2026		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260 01	1,205,260 01	619,937 65
5	2027		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260 01	1,205,260.01	619,937 65
6	2028		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
7	2029		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
8	2030		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
9	2031		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
10	2032		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260 01	1,205,260.01	619,937 65
11	2033		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
12	2034		585,322 36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937.65
13	2035		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
14	2036		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937 65
15	2037		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
16	2038		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
17	2039		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
18	2040		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937 65
19	2041		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937 65
20	2042		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937.65
21	2043		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260 01	1,205,260.01	619,937.65
22	2044		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260 01	1,205,260.01	619,937.65
23	2045		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937 65
24	2046		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937.65
25	2047		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
26	2048		585,322.36	0.00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
27	2049		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260.01	619,937 65
28	2050		585,322.36	0.00	585,322.36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937 65
29	2051		585,322.36	0 00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937 65
30	2052		585,322.36	0 00	585,322 36	1,205,260.01	1,205,260 01	619,937 65

Resultados

VAN=	-4,953,307.63
TIR=	3.29%
B/C=	0 66

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 2 - CH-1 ANEXO A31

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	5,448,079.65	USD
Aportes a reguladoras	1.75%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%	
Precio energía hora Punta	46.61	USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39 4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	13812 04	Mw-año
Tasa de descuento	12.0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	5,448,079.65			5,448,079.65			-5,448,079 65
1	2023		272,403 98	10,394.76	282,798 75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
2	2024		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
3	2025		272,403 98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
4	2026		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
5	2027		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986 57	311,187.82
6	2028		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
7	2029		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986 57	311,187 82
8	2030		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986 57	311,187 82
9	2031		272,403.98	10,394.76	282,798 75	593,986.57	593,986 57	311,187 82
10	2032		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
11	2033		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
12	2034		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
13	2035		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
14	2036		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
15	2037		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187.82
16	2038		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986 57	311,187 82
17	2039		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986 57	311,187 82
18	2040		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
19	2041		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986 57	311,187 82
20	2042		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
21	2043		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187.82
22	2044		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187.82
23	2045		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986 57	311,187 82
24	2046		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
25	2047		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
26	2048		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
27	2049		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187.82
28	2050		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82
29	2051		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187.82
30	2052		272,403.98	10,394.76	282,798.75	593,986.57	593,986.57	311,187 82

Resultados

VAN=	-2,113,610 71
TIR=	3.90%
B/C=	0.69

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 2 - CH-2 ANEXO A32

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	3,398,786.52 USD
Aportes a reguladoras	0.00%
Costos de Operación y Mantenimiento	5.00%
Precio energía hora Punta	46.61 USD/MWh
Precio energía hora F. Punta	39.4 USD/MWh
Precio Prima de Energía	60 USD/MWh
Energía Anual	2062.08 Mw-año
Tasa de descuento	12.0%

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	3,398,786.52			3,398,786.52			-3,398,786.52
1	2023		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
2	2024		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
3	2025		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
4	2026		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
5	2027		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
6	2028		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
7	2029		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
8	2030		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
9	2031		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
10	2032		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
11	2033		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
12	2034		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
13	2035		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
14	2036		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
15	2037		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
16	2038		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
17	2039		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
18	2040		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
19	2041		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
20	2042		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
21	2043		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
22	2044		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
23	2045		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
24	2046		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
25	2047		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
26	2048		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
27	2049		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
28	2050		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
29	2051		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53
30	2052		169,939.33	0.00	169,939.33	88,679.80	88,679.80	-81,259.53

Resultados

VAN=	-3,542,524.23
TIR=	#¡NUM!
B/C=	0.17

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA USO AGROINDUSTRIAL - ALT 2 - CH-3 ANEXO A33

Datos:

Costo de Inversión sin IGV	2,859,581 12	USD
Aportes a reguladoras	0.00%	
Costos de Operación y Mantenimiento	5 00%	
Precio energía hora Punta	46 61	USD/MWh
Precio energia hora F. Punta	39 4	USD/MWh
Precio Prima de Energía	60	USD/MWh
Energía Anual	12151 93	Mw-año
Tasa de descuento	12 0%	

Años		Egresos				Ingresos		Flujo Económico USD
		Inversión USD	Operación & Mantenimiento USD	Aportes Reguladores USD	Subtotal USD	Inyección Sistema Interconectado		
						Venta de Energía USD	Subtotal USD	
0	2022	2,859,581.12			2,859,581 12			-2,859,581 12
1	2023		142,979 06	0.00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
2	2024		142,979 06	0.00	142,979.06	522,593 65	522,593.65	379,614 59
3	2025		142,979.06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
4	2026		142,979 06	0.00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
5	2027		142,979 06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
6	2028		142,979 06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
7	2029		142,979 06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
8	2030		142,979.06	0.00	142,979 06	522,593.65	522,593.65	379,614 59
9	2031		142,979 06	0.00	142,979 06	522,593 65	522,593.65	379,614 59
10	2032		142,979 06	0.00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
11	2033		142,979.06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
12	2034		142,979.06	0.00	142,979.06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
13	2035		142,979 06	0.00	142,979 06	522,593 65	522,593.65	379,614 59
14	2036		142,979 06	0 00	142,979.06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
15	2037		142,979.06	0 00	142,979.06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
16	2038		142,979 06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
17	2039		142,979 06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
18	2040		142,979 06	0 00	142,979.06	522,593.65	522,593 65	379,614 59
19	2041		142,979.06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
20	2042		142,979.06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
21	2043		142,979 06	0 00	142,979 06	522,593.65	522,593 65	379,614 59
22	2044		142,979.06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
23	2045		142,979.06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
24	2046		142,979 06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
25	2047		142,979 06	0.00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
26	2048		142,979.06	0 00	142,979 06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
27	2049		142,979 06	0.00	142,979.06	522,593 65	522,593.65	379,614 59
28	2050		142,979 06	0.00	142,979.06	522,593 65	522,593 65	379,614 59
29	2051		142,979.06	0.00	142,979 06	522,593 65	522,593.65	379,614 59
30	2052		142,979.06	0.00	142,979.06	522,593.65	522,593.65	379,614 59

Resultados

VAN=	628,066.82
TIR=	12.93%
B/C=	1.18

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

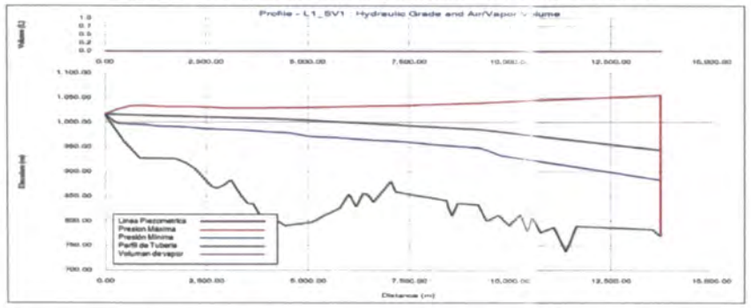
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

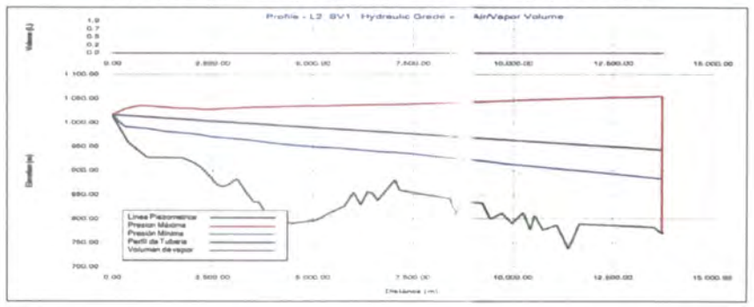
Proyecto: TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Envolvente de presiones máximas y mínimas CH-3 Con dispositivos de protección ANEXO A14

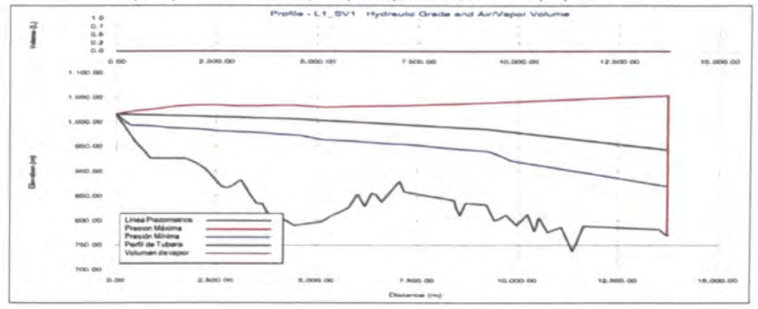
Tiempo de para da de turbina 6s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 1



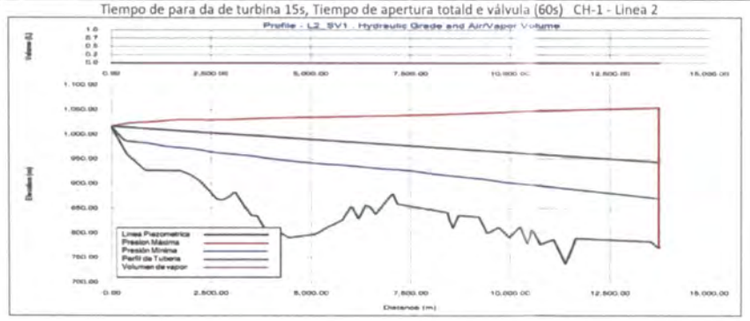
Tiempo de para da de turbina 6s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 2



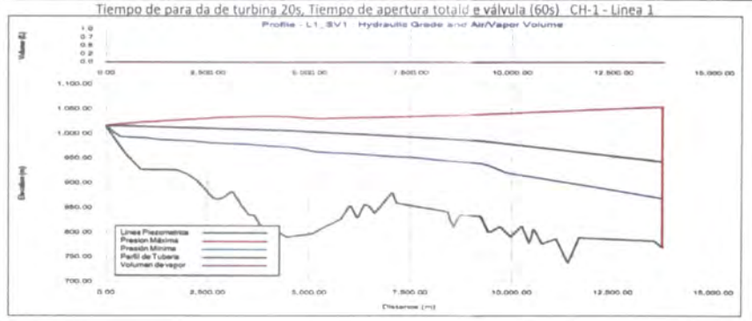
Tiempo de para da de turbina 15s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 1



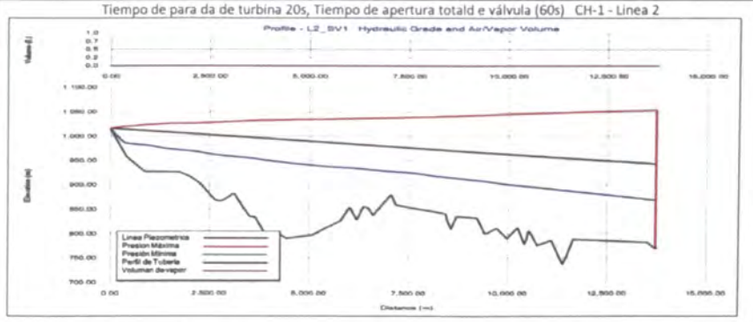
Tiempo de para da de turbina 15s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 2



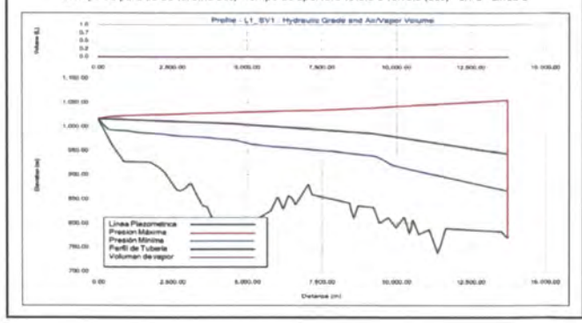
Tiempo de para da de turbina 20s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 1



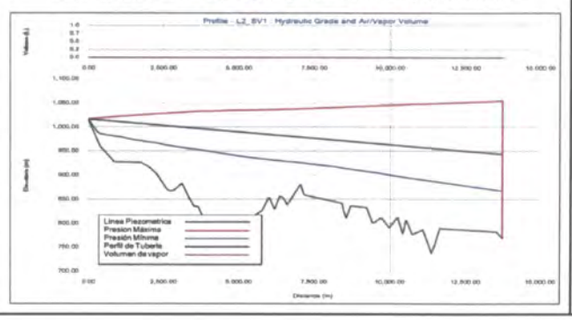
Tiempo de para da de turbina 20s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 2



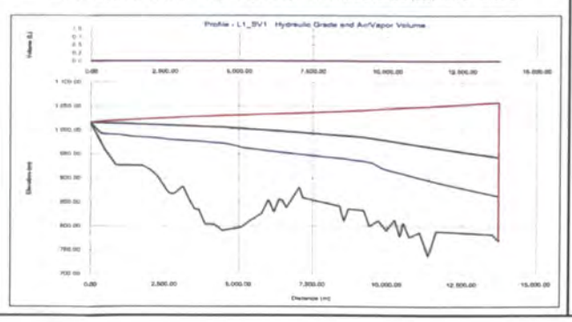
Tiempo de para da de turbina 30s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 1



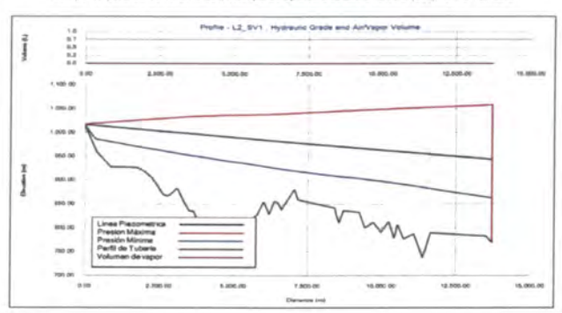
Tiempo de para da de turbina 30s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 2



Tiempo de para da de turbina 60s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 1



Tiempo de para da de turbina 60s, Tiempo de apertura totald e válvula (60s) CH-1 - Linea 2



Inicio de la conducción Jaguay - Ilo

Canal San Antonio - Jaguay

0+000

4+000

8+000

12+000

16+000

20+000

24+000

28+000

32+000

36+000

40+000

44+000

48+000

52+000

56+000

60+000

63+274

Cámara de carga 24+400

Cámara de carga 49+480

Cámara de carga 63+258.70

MARISCAL NIETO

MOQUEGUA

MOQUEGUA

PACOCHA

EL ALGARROBAL

ILO

ILO

Pueblo Nuevo

Ilo

Camiara

Locumba

TACNA

Camiarita Sur

Camiarita Norte

OCÉANO PACÍFICO

UBICACIÓN

ECUADOR

COLOMBIA

BRASIL

OCÉANO PACÍFICO

PERU

BOLIVIA

CHILE

Area de Estudio

LEYENDA

- Cámaras de carga
- Conducción Jaguay - Ilo
- Canal San Antonio - Jaguay
- Límite Departamental
- Límite Provincial
- Límite Distrital
- Areas Urbanas
- Irrigación Lomas de Ilo

0 4.5 9 Km

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

Titulo de plano: CONDUCCIÓN JAGUAY - ILO

Plano N°: B1

Elaboro:	Reviso:	Escala:
CHV	ERZ	1: 90 000
Dibujo:	Aprobo:	Fecha:
CHV	ERZ	JUNIO 2020

Inicio de la conducción Jaguay - Ilo

Canal San Antonio - Jaguay

Cámara de carga 2 + 619.44

CH - 1 12 + 600

CH - 2 24 + 400

CH - 3 49 + 480

CH - 4 51 + 260

CH - 5 63+258.70

0+000 4+000 8+000 12+000 16+000 20+000 24+000 28+000 32+000 36+000 40+000 44+000 48+000 52+000 56+000 60+000 63+274

MARISCAL NIETO

MOQUEGUA

PACOCHA

ILO

EL ALGARROBAL

Pueblo Nuevo

Ilo

OCÉANO PACÍFICO

Camiara

Locumba

TACNA

Camiarita Sur

Camiarita Norte

ECUADOR COLOMBIA BRASIL PERU OCÉANO PACÍFICO BOLIVIA CHILE

Area de Estudio

UBICACIÓN

LEYENDA

- Centrales Hidroelectricas
- Cámara de carga
- Conducción Jaguay - Ilo
- Canal San Antonio - Jaguay
- Límite Departamental
- Límite Provincial
- Límite Distrital
- Areas Urbanas
- Irrigación Lomas de Ilo

0 4.5 9 Km

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

Titulo de plano: ALTERNATIVA 1			Plano N°: B2
Elaboro: CHV	Reviso: ERZ	Escala: 1: 90 000	
Dibujo: CHV	Aprobo: ERZ	Fecha: JUNIO 2020	

Inicio de la conducción
Jaguay - Ilo

Canal
San Antonio - Jaguay

Cámara de carga
2 + 619.44

CH - 1
24 + 400

CH - 2
49 + 480

CH - 3
63+258.70

0+000
4+000
8+000
12+000
16+000
20+000
24+000
28+000
32+000
36+000
40+000
44+000
48+000
52+000
56+000
60+000
63+274

MARISCAL NIETO
MOQUEGUA
PACOCHA
EL ALGARROBAL
ILO
Pueblo Nuevo
Ilo
OCÉANO PACÍFICO
Camiara
Locumba
TACNA
Camiarita Sur
Camiarita Norte

UBICACIÓN

LEYENDA

- Centrales Hidroelectricas
- Cámara de carga
- Conducción Jaguay - Ilo
- Canal San Antonio - Jaguay
- Límite Departamental
- Límite Provincial
- Límite Distrital
- Areas Urbanas
- Irrigación Lomas de Ilo

0 4.5 9 Km

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto:
TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

Titulo de plano:
ALTERNATIVA 2

Plano N°:
B3

Elaboro:	Reviso:	Escala:
CHV	ERZ	1: 90 000
Dibujo:	Aprobo:	Fecha:
CHV	ERZ	JUNIO 2020

Inicio de la conducción Jaguay - Ilo

Canal San Antonio - Jaguay

0+000

4+000

8+000

12+000

16+000

20+000

24+000

28+000

32+000

36+000

40+000

44+000

48+000

52+000

56+000

60+000

63+274

Cámara rompe presión 24 + 400

Cámara de carga 49 + 480

CH - 3 63+258.70

MARISCAL NIETO

MOQUEGUA

PACOCHA

EL ALGARROBAL

ILO

Pueblo Nuevo

Ilo

OCÉANO PACÍFICO

Camiara

Camiarita Sur

Camiarita Norte

Locumba

TACNA

UBICACIÓN

ECUADOR

COLOMBIA

BRASIL

OCÉANO PACÍFICO

PERU

BOLIVIA

CHILE

Area de Estudio

LEYENDA

- Centrales Hidroelectricas
- Cámara de carga
- Cámara rompe presión
- Conducción Jaguay - Ilo
- Canal San Antonio - Jaguay
- Límite Departamental
- Límite Provincial
- Límite Distrital
- Areas Urbanas
- Irrigación Lomas de Ilo

0 4.5 9 Km

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto:
TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

Titulo de plano:
ALTERNATIVA SELECCIONADA

Plano N°:
B4

Elaboro:	Reviso:	Escala:
CHV	ERZ	1: 90 000
Dibujo:	Aprobo:	Fecha:
CHV	ERZ	JUNIO 2020

Inicio de la conducción
Jaguay - Ilo

Canal
San Antonio - Jaguay

Camara rompe presion
24 + 400

Camara de carga
49 + 480

CH - 3
63+258.70

0+000
4+000
8+000
12+000
16+000
20+000
24+000
28+000
32+000
36+000
40+000
44+000
48+000
52+000
56+000
60+000
63+274

MAPA DE UBICACION DEPARTAMENTAL

LEYENDA

- Qh-fl
- Qpl-al
- Qh-e
- Qh-al
- N-se
- Js-gu
- Nm-hu
- P-so
- PPe-gn
- Js-gu_s
- Js-gu_i
- Ji-cho
- KsP-ya/di
- Qpl-te
- Jm-gdh
- Ppr-gr
- D-ca
- PN-mo_s
- Ki-il/gd-h
- Ki-il/di-c
- Jim-pc/gd-h
- Kp-gr
- Qh-m
- Ki-il-gd/di
- Qh-fl
- Pueblo
- Qh-c
- Ki-ma
- Ks-pa/tbl+lt
- Qh-el
- PN-mo_i
- mar
- Ks-hu/lv+cz+fk
- Jim-pc/di-h
- KsP-ya/gd-h
- KsP-ya/di-h
- KsP-ya/si-gr
- KsP-ya/gd-to
- Qh-e
- Np-mi
- KsP-to

Conducción Jaguay - Ilo

Centrales Hidroelectricas

0 2.5 5 10 Km

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto:
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Titulo de plano:
GEOLOGÍA REGIONAL
ALTERNATIVA SELECCIONADA

Plano N°:
B5

Elaboro:	Reviso:	Escala:
CHV	ERZ	1: 100 000
Dibujo:	Aprobo:	Fecha:
CHV	ERZ	JUNIO 2020

Qbrda 1
Qbrda 2
Qbrda 3
Qbrda 4
Qbrda 5
Qbrda 6
Qbrda 7
Qbrda 8
Qbrda 10
Qbrda 12
Qbrda 9
Qbrda 11
Qbrda 13
Qbrda 14
Qbrda 15
Qbrda 16
Qbrda 17
Qbrda 18
Qbrda 19

MOQUEGUA
MARISCAL NIETO
MOQUEGUA
PACOCHA
EL ALGARROBAL
ILO
Ilo
ILO
Camiara
TACNA
OCÉANO PACÍFICO

ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
OCÉANO PACÍFICO
PERU
BOLIVIA
CHILE
Area de Estudio
UBICACIÓN

LEYENDA

- Centrales Hidroelectricas
- Cámara de carga
- Cámara rompe presion
- Conducción Jaguay - Ilo
- Cuencas de Quebradas
- Límite Departamental
- Límite Provincial
- Límite Distrital
- Areas Urbanas
- Irrigación Lomas de Ilo

0 3.5 7 Km

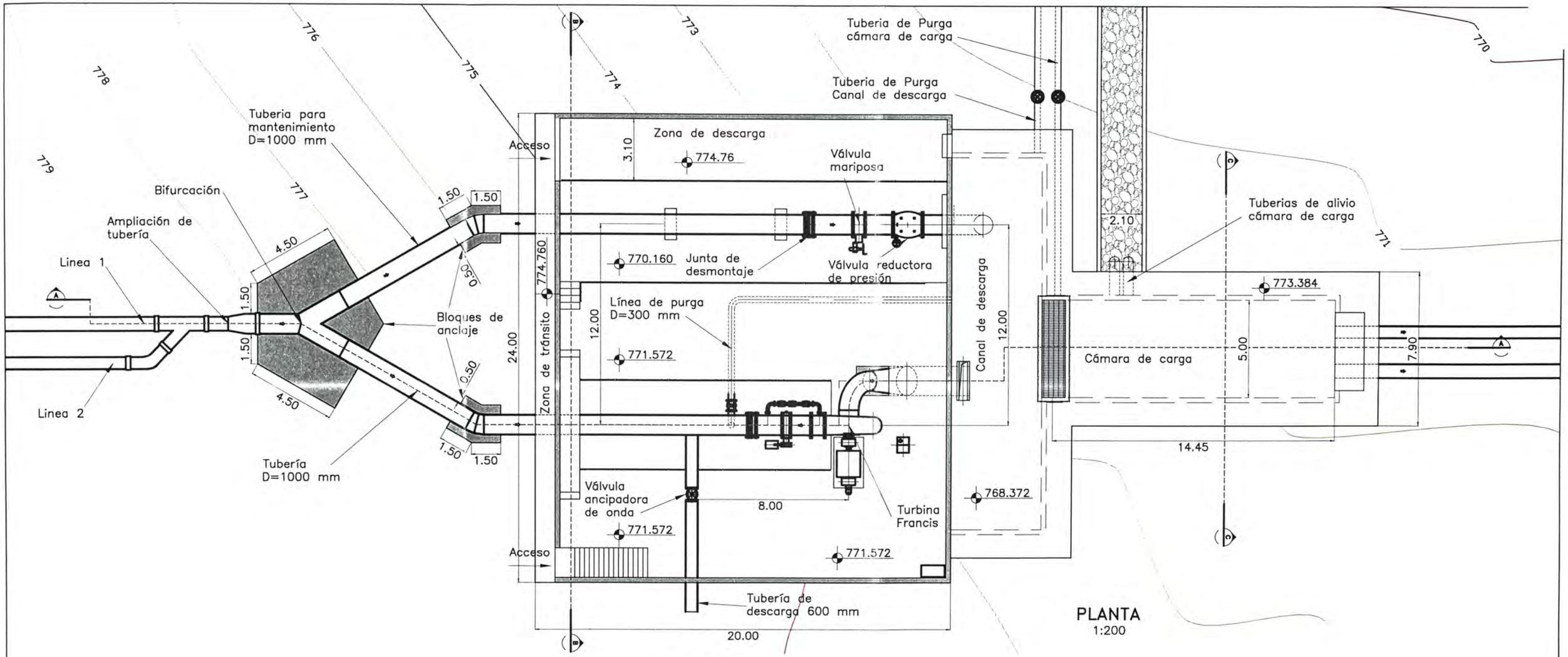
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto:
TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

Titulo de plano:
CUENCAS DE QUEBRADAS

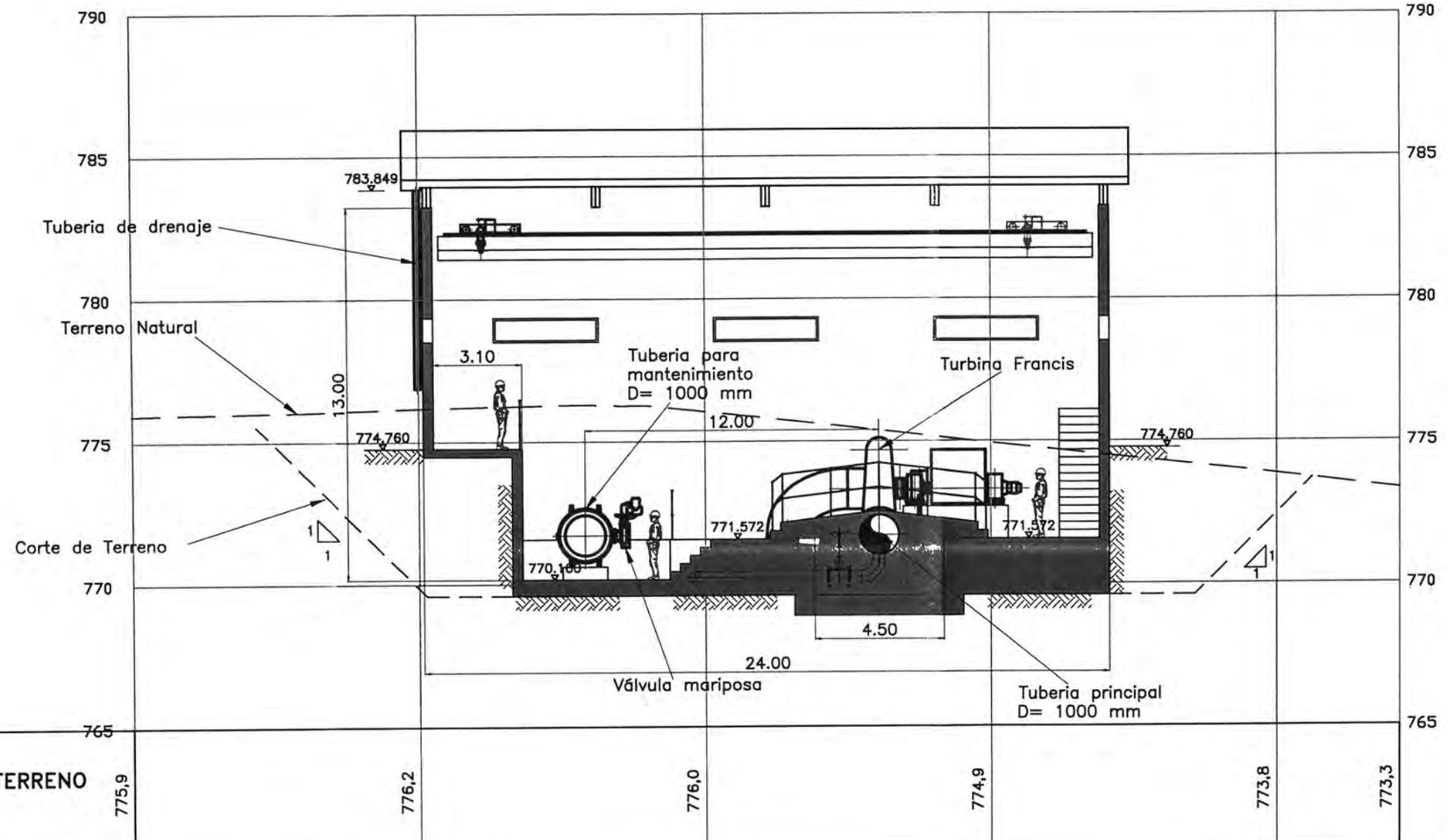
Plano N°:
B6

Elaboro:	Reviso:	Escala:
CHV	ERZ	1: 70 000
Dibujo:	Aprobo:	Fecha:
CHV	ERZ	JUNIO 2020

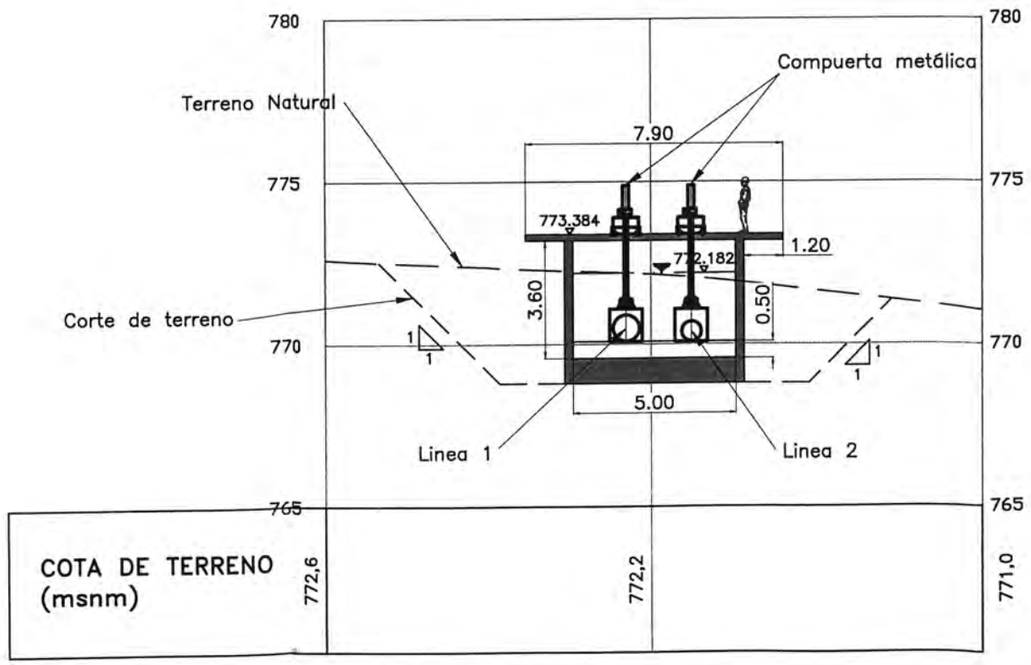


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL			
Título de Plano: CASA DE MAQUINAS PLANTA Y PERFIL			Plano N° B7
Elaborado: CHV	Revisó: ERZ	Escala: INDICADA	
Dibujo: CHV	Aprobo: ERZ	Fecha: JUNIO 2020	



CORTE B–B
1:200



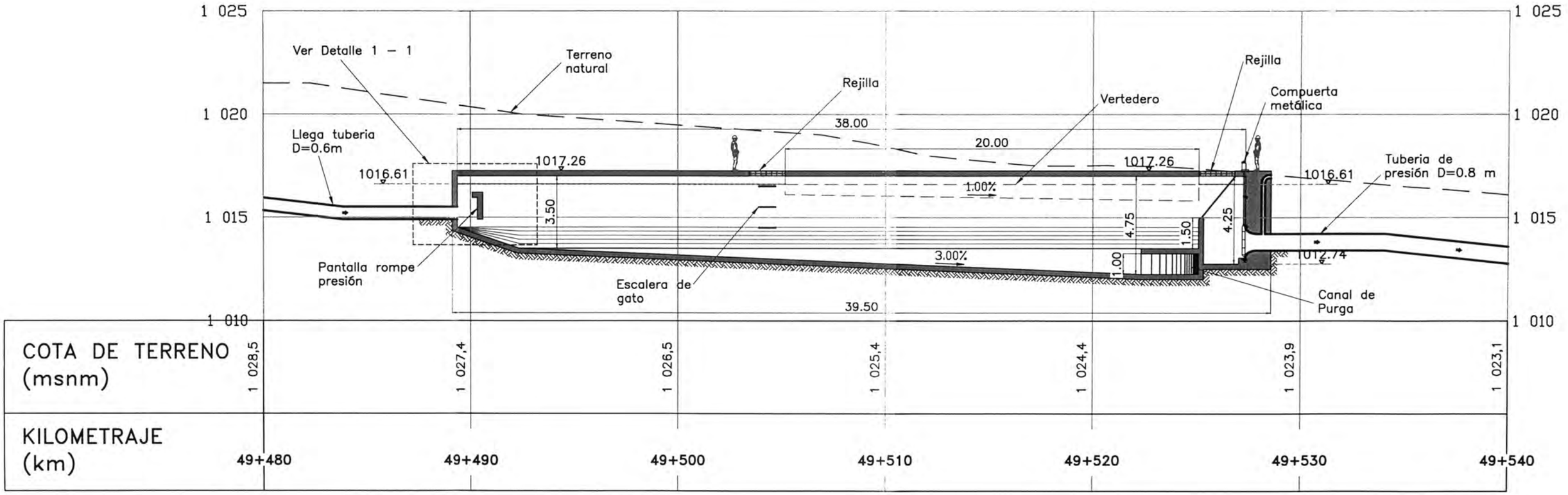
CORTE C–C
1:200

Curva mayor

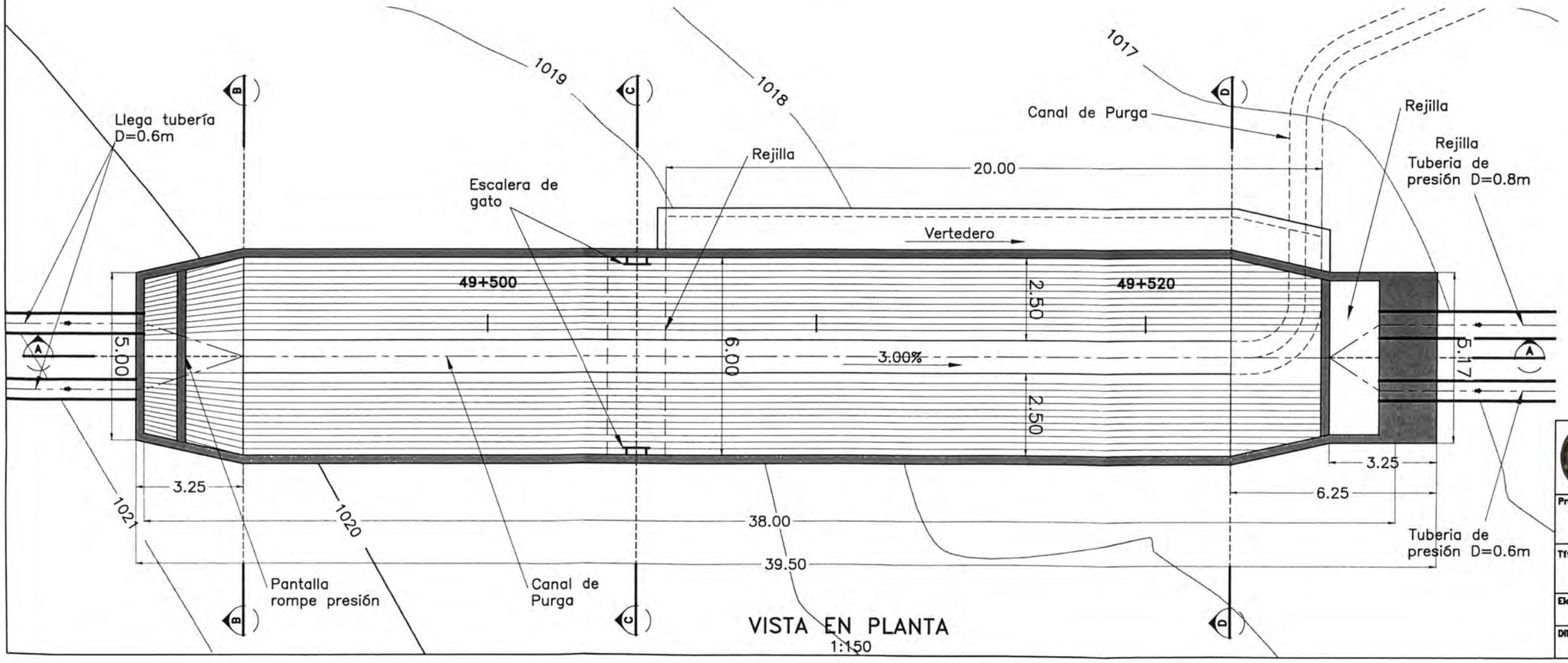
Curva menor

Terreno natural

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGÍA			
Proyecto: TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL			
Título de Plano: CASA DE MAQUINAS SECCIONES			Plano N° B8
Elaborado: CHV	Revisó: ERZ	Escala: INDICADA	
Dibujo: CHV	Aprobó: ERZ	Fecha: JUNIO 2020	



CORTE A – A
1:200



VISTA EN PLANTA
1:150

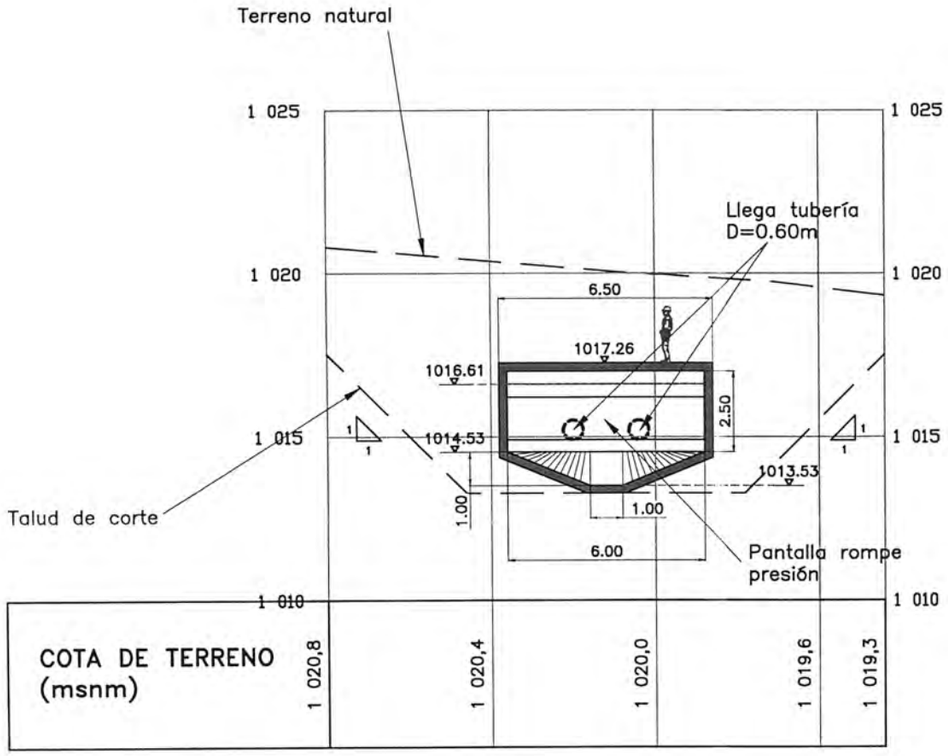
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto: TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

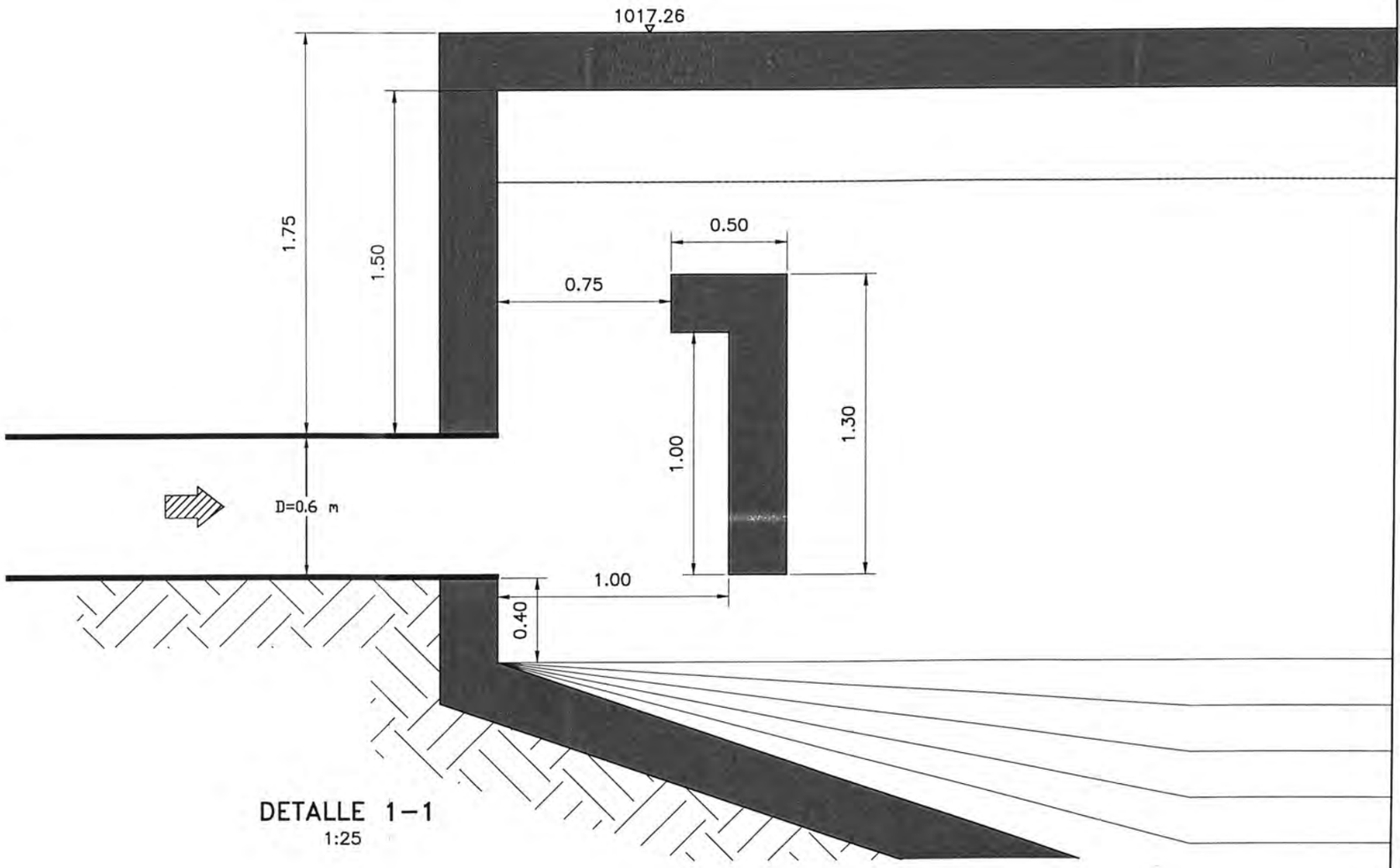
Título de Plano: CAMARA DE CARGA PLANTA Y PERFIL

Plano N° B9

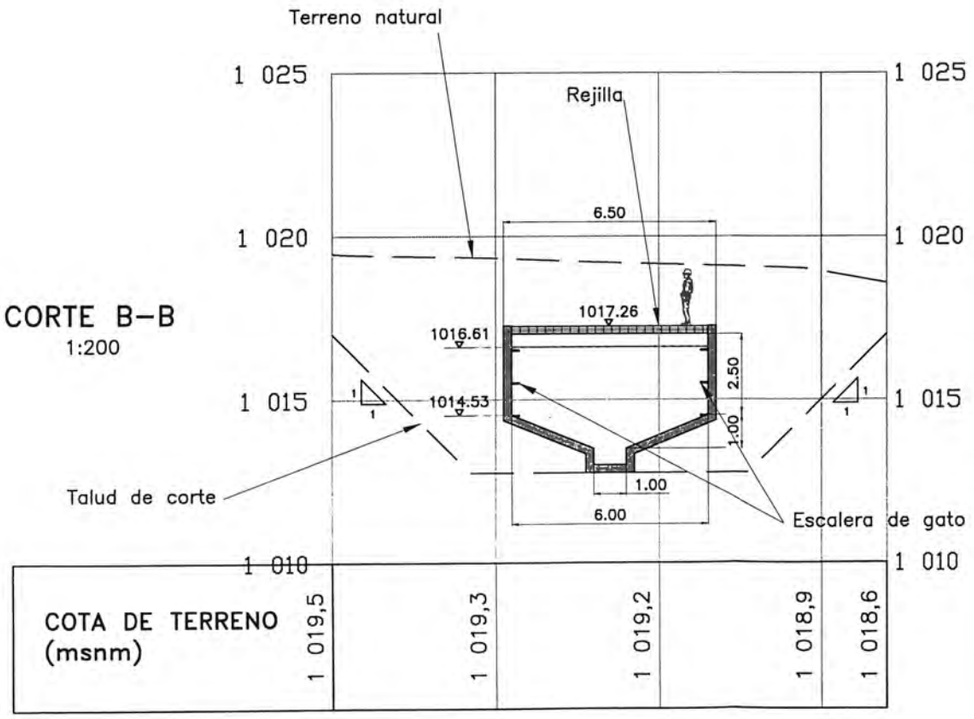
Elaborado:	Revisó:	Escala:
CHV	ERZ	
Dibujo:	**Aprobó:**	**Fecha:**
CHV	ERZ	JUNIO 2020



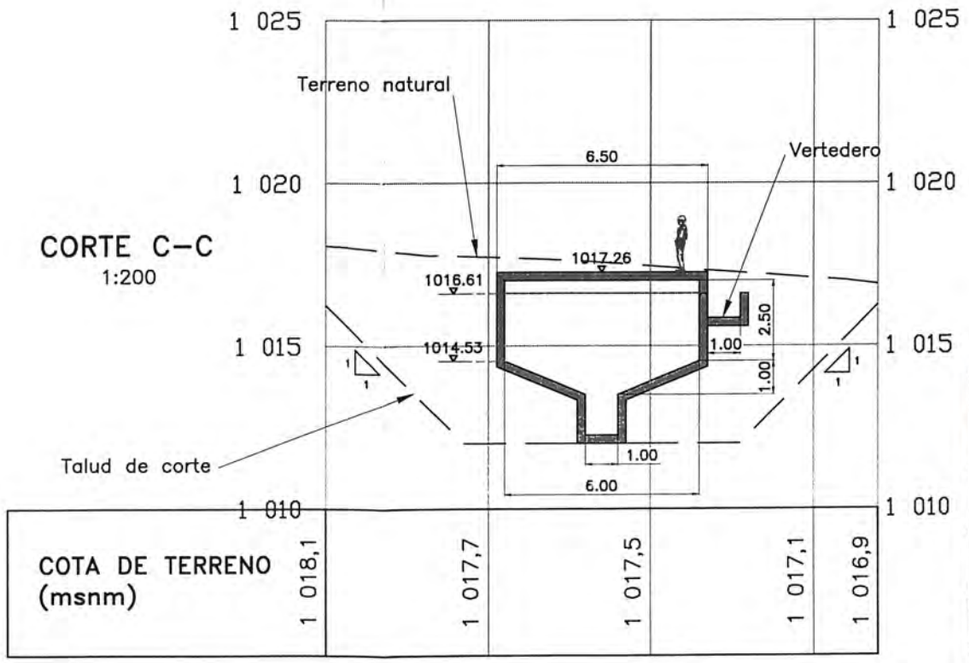
CORTE A–A
1:200



DETALLE 1–1
1:25



CORTE B–B
1:200



CORTE C–C
1:200

Curva mayor

Curva menor

Terreno natural

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGÍA

Proyecto:
TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

Título de Plano: CAMARA DE CARGA SECCIONES			Plano N°
Elaborado: CHV	Revisó: ERZ	Escala: INDICADA	B10
Dibujo: CHV	Aprobó: ERZ	Fecha: JUNIO 2020	