

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



“ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA POR BOMBEO EN UNA PRESA DE RELAVE”

Tesis presentada por el bachiller:
Campos Veliz, Bryan Alejandro
para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Civil
Asesor: Ing. Rendón Dávila, Víctor O.

AREQUIPA – PERÚ

2018

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

*Análisis técnico-económico para optimización
del sistema de recuperación de agua por bombeo
en una presa de relave*

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

- Campos Veliz, Bryon Alejandro

Nuestro DICTAMEN es:

Aprobado

OBSERVACIONES:

Arequipa, 30 de Mayo. del 2018

[Signature]
COO: 1950.

[Signature]
COO: 1938

[Signature]
COO 2592

AGRADECIMIENTO

A Dios, por iluminar mi camino.

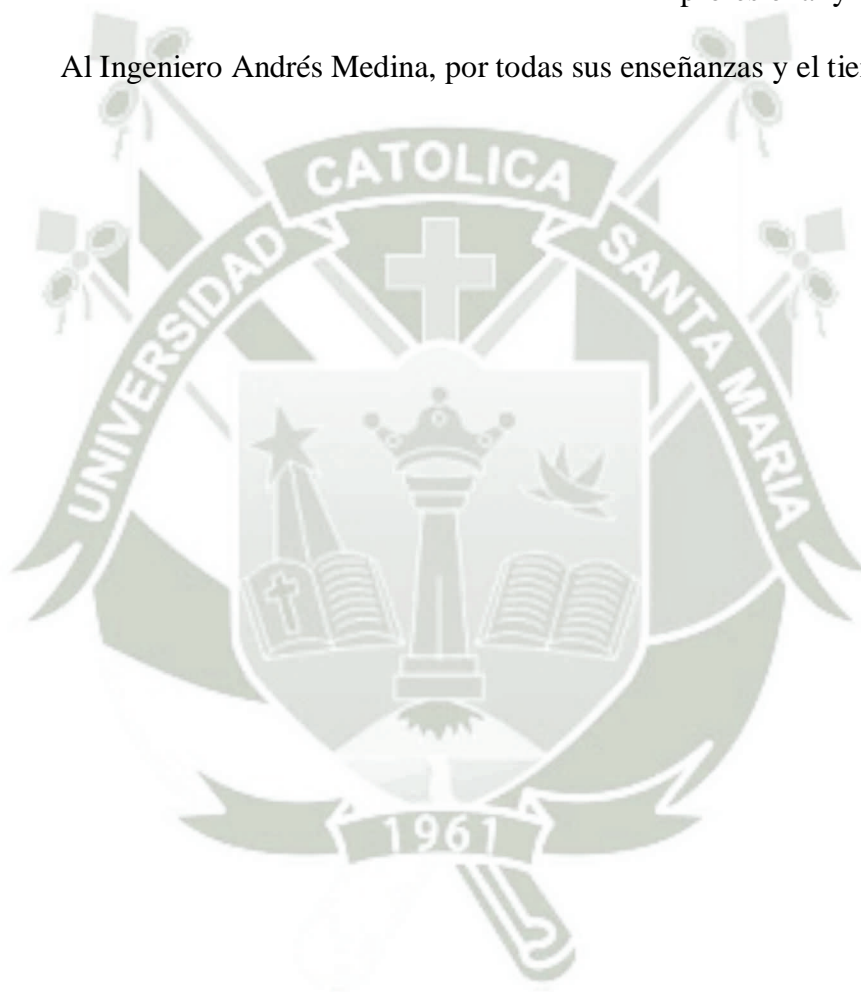
A mi madre, por toda su paciencia.

A mi padre, por ser un gran ejemplo de profesional.

A mi hermana, por sus consejos.

A los docentes de la Universidad Católica de Santa María, por incentivar a ser mejor profesional y mejor persona.

Al Ingeniero Andrés Medina, por todas sus enseñanzas y el tiempo brindado.



RESUMEN

El presente documento presenta un análisis técnico-económico para seleccionar un nuevo diseño de un sistema de bombeo de agua en la presa de relave ubicada en Quebrada Honda.

La puesta en marcha de la ampliación de la concentradora ubicada en Toquepala llamada “mejora tecnológica” hará que se requiera más caudal del normalmente demandado cuando entre en condiciones normales de operación. Por este motivo se debe garantizar que los desechos generados por esta nueva área asegure un crecimiento sostenido de los diques para que el tiempo de vida útil de la presa de relave no se vea reducido considerablemente.

Se realizó una recopilación de información sobre el sitio consultado información de cartas nacionales y estaciones pluviométricas de tal manera que se cuente con suficientes datos y poder dar un enfoque adecuado de la situación; después se identificó los caudales requeridos por cada zona y el caudal que requerirá la mejora tecnológica y se propuso diferentes configuraciones de bombas trabajando en paralelo.

Se procedió a realizar la parte del diseño con cada una de las diferentes configuraciones de bombas, para finalizar se hizo una comparación entre las mismas mediante un análisis técnico-económico.

Para el apoyo del diseño en ingeniería del sistema se utilizó el programa de computación Pipe Flow Expert v6.38.

Palabras clave: Sistema de bombeo, análisis técnico, análisis económico, caudal máxima venida.

ABSTRACT

This document presents a technical-economic analysis to select a new design of a water pumping system in the tailings dam located in Quebrada Honda.

The start-up of the expansion of the concentrator located in Toquepala called "technological improvement" will require more flow than normally demanded when start normal operating conditions. For this reason it must be ensured that the waste generated by this new area ensures a sustained growth of the dams so that the useful life of the tailings dam is not significantly reduced.

A compilation of information on the site consulted information on national charts and rainfall stations was made in such a way that there is sufficient data and to be able to give an adequate approach to the situation; Afterwards, the flow rates required by each zone and the approximate flow required by the technological improvement were identified and different configurations of pumps were proposed working in parallel.

The design part was carried out with each one of the different pump configurations, to finalize a comparison between them by means of a technical-economic analysis.

For the support of the design in system engineering, the computer program Pipe Flow Expert v6.38 will be used.

Keywords: Pumping system, technical analysis, economic analysis, maximum flow coming.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	DISCIPLINAS	1
1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3.1	Problema de investigación.....	1
1.3.2	Descripción del área en estudio	2
1.3.3	Análisis u Operacionalización de las Variables.....	3
1.4	REGLAMENTOS Y NORMAS	4
1.5	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6	OBJETIVOS	4
1.6.1	Objetivo general.....	4
1.6.2	Objetivos específicos.....	4
1.7	HIPÓTESIS	4
1.8	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.9	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	5
2	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	CONCEPTOS FUNDAMENTALES	6
2.1.1	Presión:	6
2.1.2	Compresibilidad:	6

2.1.3	Viscosidad:	7
2.1.4	Numero de Reynolds:	7
2.1.5	Tasa de flujo de fluido.....	8
2.1.6	Conservación de la energía – Ecuación de Bernoulli:	9
2.1.7	Perdida de altura debido a la fricción:.....	11
2.1.8	Pérdidas de altura debido a accesorios	12
2.1.9	Ecuación general de la energía:	12
2.1.10	Equilibrio del sistema.....	14
2.2	SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE BOMBAS	14
2.2.1	Definición de bombas:.....	14
2.2.2	Clasificación de las bombas.....	14
2.2.3	Potencia que requieren las bombas.	28
2.2.4	Eficiencia mecánica de las bombas.....	29
2.2.5	Curvas características de las bombas.	29
2.2.6	Curva de la bomba y del sistema.	29
2.2.7	Reglas de semejanzas en bombas centrifugas	30
2.2.8	Datos del fabricante de bombas centrifugas	31
2.2.9	Punto de operación de una bomba	31
2.2.10	Altura neta de succión (NPSH: Net positive suction head).....	31
2.2.11	Cavitación.....	32
2.2.12	Presión de vapor.....	32

2.2.13	Bombas que operan en paralelo	33
2.2.14	Bombas que operan en serie	33
2.2.15	Bombas de etapas múltiples	33
2.2.16	Elección de la bomba	33
2.3	TUBERÍAS.....	35
2.3.1	Tuberías de HDPE (High Density Poly Ethylene).....	35
2.3.2	Tuberías de acero	37
2.3.3	Tuberías de poliuretano	39
2.4	TIPOS DE VÁLVULAS,	40
2.4.1	Válvulas de retención:	40
2.4.2	Válvulas de venteo:.....	42
2.4.3	Válvulas de control de presión.....	44
2.4.4	Válvulas de control de globo	44
2.5	ANÁLISIS TÉCNICO	45
2.6	ANÁLISIS DE DIÁMETRO ECONÓMICO.....	46
2.7	GOLPE DE ARIETE.....	46
2.7.1	Descripción del golpe de ariete.....	46
2.7.2	Valor de la celeridad:	49
2.7.3	Tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas. Cierre lento y cierre rápido.....	49
2.7.4	Cálculo del golpe de ariete.	51
3	CAPITULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO	52

3.1	DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	52
3.1.1	Descripción del sistema.....	52
3.1.2	Calculo del crecimiento anual del espejo de agua de la presa de relave ..	68
3.2	NORMAS DE DISEÑO DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN	70
3.2.1	Normas de material y diseño de tubería y accesorios	70
3.3	CALIDAD DEL AGUA.....	71
3.4	INGENIERÍA BÁSICA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS	71
3.4.1	Calculo de la presión nominal	71
3.4.2	Selección y ubicación de las tuberías.....	71
3.4.3	Velocidad de transporte del fluido	72
3.4.4	Selección y configuración de bombas.....	72
3.5	HERRAMIENTAS DE DISEÑO	74
3.5.1	Software Pipe Flow Expert v6.38	74
3.5.2	Metodología de diseño	74
4	CAPITULO IV: DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	76
4.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	76
4.2	CONDICIONES DE OPERACIÓN	76
4.2.1	Área “A”	76
4.2.2	Área “B”	76
4.2.3	Área “C”	77
4.2.4	Área “D”	77

4.2.5	Área “E”	78
4.3	CAUDAL MÁXIMO DE OPERACIÓN Y CAUDAL DE DISEÑO	78
4.4	MODELAMIENTO DEL SISTEMA	79
4.4.1	Configuración de los parámetros para el cálculo	79
4.4.2	Configuración del fluido.....	80
4.4.3	Configuración de los diámetros de tubería	81
4.4.4	Configuración de los nodos	82
4.5	ANÁLISIS, DISEÑO Y CÁLCULO HIDRÁULICO	83
4.5.1	Nodos y tuberías	83
4.5.2	Sistema de solución del software	83
4.6	CALCULO DEL SISTEMA.....	83
4.6.1	Diseño – Año 2018.....	84
4.6.2	Verificación por golpe de ariete.....	94
4.6.3	Curva de la bomba y curva del sistema.....	94
4.6.4	Diseño – Año 2022.....	101
4.6.5	Diseño – Año 2027.....	102
4.6.6	Diseño – Año 2032.....	103
4.6.7	Diseño – Año 2037.....	104
4.7	AJUSTE DE LAS BOMBAS A TRAVÉS DE LOS AÑOS	105
4.8	NUMERO DE BOMBAS REQUERIDAS	106
5	CAPITULO V: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	108

5.1	DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	108
5.2	BASES PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO	109
5.2.1	COSTOS DE INVERSIÓN	109
5.2.2	COSTOS DE OPERACIÓN.....	114
5.3	COSTOS DE INVERSIÓN	121
5.4	COSTOS DE OPERACIÓN.....	135
5.5	RESUMEN DE LOS COSTOS	149
CONCLUSIONES		153
RECOMENDACIONES		154
ANEXOS		155
ANEXO 1 – RESULTADOS DEL SOFTWARE PIPEFLOW EXPERT		156
ANEXO 2 – CURVAS DE LAS BOMBAS DEL SOFTWARE E-PRISM		181
ANEXO 3 – COEFICIENTE DE PERDIDA EN ACCESORIOS		199
ANEXO 4 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN LOCUMBA		200
ANEXO 5 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN SAMA GRANDE.....		201
ANEXO 6 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN MOQUEGUA		202
ANEXO 7 – VERIFICACIÓN POR GOLPE DE ARIETE OPCIÓN 4 - ALTERNATIVA 2.....		203
PLANOS.....		210

PLANO N° 001 – UBICACIÓN – QUEBRADA HONDA.....	211
PLANO N° 002 – PROCESS FLOW DIAGRAM - PFD	212
PLANO N° 003 – TOPOGRÁFICO QUEBRADA HONDA	213
PLANO N° 004 – ARREGLO GENERAL DEL PROYECTO	214
PLANO N° 005 – PERFIL LONGITUDINAL	215
PLANO N° 006 – ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PRESA	216
BIBLIOGRAFÍA.....	217



FIGURAS

Figura 1: Localización del área en estudio	2
Figura 2: Elemento de fluido respecto a nivel de referencia.	9
Figura 3: Sistema sin pérdida de energía.....	10
Figura 4 Sistema de flujo en tuberías	13
Figura 5: Bomba de engranes	16
Figura 6: Bomba de pistón hidráulico	17
Figura 7: Bomba de paletas	18
Figura 8: Bomba de tornillo.....	18
Figura 9: Bomba de cavidad progresiva	19
Figura 10: Bomba de lóbulos.....	20
Figura 11: Bomba de pistón.....	20
Figura 12: Bomba de diafragma.....	21
Figura 13: Bomba peristáltica.....	22
Figura 14: Bomba tipo voluta	23
Figura 15: Bomba de chorro	24
Figura 16: Bomba centrífuga de molino.....	25
Figura 17: Bomba vertical sumergible	27
Figura 18: Bomba vertical de turbina.....	28
Figura 19: Tubería lisa de HDPE	37
Figura 20: Tubería de acero al carbón.....	39
Figura 21: Tubería de poliuretano.....	40
Figura 22: Válvula de retención tipo clapeta oscilante	41
Figura 23: Válvula de retención de disco oscilante	41
Figura 24. Válvula de retención de tipo pistón.....	42

Figura 25: Válvula de retención de bola.....	42
Figura 26: Válvula de venteo.....	43
Figura 27: Válvula control de presión.....	44
Figura 28: Válvula de Globo	45
Figura 29: Esquema de bombeo directo contra la red	52
Figura 30: Ventana de dialogo inicial software HYFRAN v1.1.....	58
Figura 31: Introducción de datos de precipitaciones máximas de 24 horas	58
Figura 32: Estadística base de datos de precipitaciones máximas de 24 horas	59
Figura 33: Curva de observaciones de datos de precipitaciones máximas de 24 horas .	59
Figura 34: Distribución Normal de máxima verosimilitud.....	59
Figura 35: Distribución Log-normal (máxima verosimilitud).....	60
Figura 36: Distribución Log-normal 3 parámetros (máxima verosimilitud)	60
Figura 37: Distribución Gumbel (Método de momentos)	60
Figura 38: Distribución Gamma (Método de momentos)	61
Figura 39: Distribución Pearson tipo III (Método de momentos).....	61
Figura 40: Distribución Log-Pearson tipo III (Método de momentos)	61
Figura 41: Comparación de las distribuciones para un periodo de retorno de 200 años	62
Figura 42: Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años	64
Figura 43: Clasificación del tipo de suelo	65
Figura 44: Configuración de parámetros en el software HEC-HMS v4.2.1.....	66
Figura 45: Introducción del número de curva y la impermeabilidad	66
Figura 46: Introducción del tiempo de retraso.....	66
Figura 47: Introducción del hietograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años	67
Figura 48: Modelamiento del sistema Cuenca-Salida.....	67

Figura 49: Caudal máximo para un periodo de retorno de 200 años	67
Figura 50: Diferentes alternativas de instalación de bombas verticales	73
Figura 51: Configuración de los parámetros de cálculo	79
Figura 52: Configuración del fluido	80
Figura 53: Configuración del material de la tubería	81
Figura 54: Configuración de los diámetros de la tubería	82
Figura 55: Configuración de los nodos	83
Figura 56: Modelamiento del sistema Opción 1 – Alternativa 1	85
Figura 57: Modelamiento del sistema Opción 2 – Alternativa 1	86
Figura 58: Modelamiento del sistema Opción 2 – Alternativa 2	87
Figura 59: Modelamiento del sistema Opción 2 – Alternativa 3	87
Figura 60: Modelamiento del sistema Opción 3 – Alternativa 1	88
Figura 61: Modelamiento del sistema Opción 3 – Alternativa 2	89
Figura 62: Modelamiento del sistema Opción 3 – Alternativa 3	89
Figura 63: Modelamiento del sistema Opción 4 – Alternativa 1	90
Figura 64: Modelamiento del sistema Opción 4 – Alternativa 2	91
Figura 65: Modelamiento del sistema Opción 4 – Alternativa 3	91
Figura 66: Modelamiento del sistema Opción 5 – Alternativa 1	92
Figura 67: Modelamiento del sistema Opción 5 – Alternativa 2	93
Figura 68: Modelamiento del sistema Opción 5 – Alternativa 3	93
Figura 69: Curva bomba y curva del sistema Opción 1 – Alternativa 1	94
Figura 70: Curva bomba y curva del sistema Opción 2 – Alternativa 1	95
Figura 71: Curva bomba y curva del sistema Opción 2 – Alternativa 2	95
Figura 72: Curva bomba y curva del sistema Opción 2 – Alternativa 3	96
Figura 73: Curva bomba y curva del sistema Opción 3 – Alternativa 1	96

Figura 74: Curva bomba y curva del sistema Opción 3 – Alternativa 2	97
Figura 75: Curva bomba y curva del sistema Opción 3 – Alternativa 3	97
Figura 76: Curva bomba y curva del sistema Opción 4 – Alternativa 1	98
Figura 77: Curva bomba y curva del sistema Opción 4 – Alternativa 2	98
Figura 78: Curva bomba y curva del sistema Opción 4 – Alternativa 3	99
Figura 79: Curva bomba y curva del sistema Opción 5 – Alternativa 1	99
Figura 80: Curva bomba y curva del sistema Opción 5 – Alternativa 2	100
Figura 81: Curva bomba y curva del sistema Opción 5 – Alternativa 3	100
Figura 82: Ficha técnica de tubería HDPE lisa PE-100 y PE-80.....	113
Figura 83: Precio de tubería lisa HDPE PE-100.....	113
Figura 84: Facturación por venta de energía	117
Figura 85: Venta de energía.....	118
Figura 86: Precio de la energía sector industrial.....	118
Figura 87: Resumen de costos Opción 1 – Alternativa 1	150
Figura 88: Resumen de costos Opción 2 – Alternativa 1, 2 y 3	150
Figura 89: Resumen de costos Opción 3 – Alternativa 1, 2 y 3	151
Figura 90: Resumen de costos Opción 4 – Alternativa 1, 2 y 3	151
Figura 91: Resumen de costos Opción 5 – Alternativa 1, 2 y 3	152

TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los tipos de bomba	15
Tabla 2: Valores del coeficiente empírico “C”	50
Tabla 3: Valores del coeficiente empírico “K”	50
Tabla 4: Tiempo de concentración del proyecto	54
Tabla 5: Estaciones base del proyecto	54
Tabla 6: Datos de análisis dudosos	55
Tabla 7: Metodo de Water Resources Council	56
Tabla 8: Calculo de la ecuación de regresión	56
Tabla 9: Valores de parámetros de la fórmula de regresión	57
Tabla 10: Precipitación media anual corregida en la cuenca de Quebrada Honda	57
Tabla 11: Precipitación máxima de 24 horas en la cuenca de la presa	58
Tabla 12: Precipitación total para diferentes periodos de retorno (mm)	62
Tabla 13: Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno (mm/h)	63
Tabla 14: Calculo del hietograma de diseño para T=200 años	64
Tabla 15: Valores del caudal de extracción en operaciones normales	68
Tabla 16: Crecimiento anual del espejo de agua de la presa de relave	69
Tabla 17: Altura del espejo de agua de la presa de relave a través de los años	70
Tabla 18: Calidad del agua	71
Tabla 19: Coeficiente de rugosidad para diferentes materiales de tubería	72
Tabla 20: Caudal máximo y Caudal de diseño	79
Tabla 21: Características del sistema – Año 2018	84
Tabla 22: Características del sistema – Año 2022	101
Tabla 23: Características del sistema – Año 2027	102
Tabla 24: Características del sistema – Año 2032	103

Tabla 25: Características del sistema – Año 2037	104
Tabla 26: Ajuste de las bombas a través de los años (parte 1)	105
Tabla 27: Ajuste de las bombas a través de los años (parte 2)	106
Tabla 28: Bombas operando según los requerimientos	107
Tabla 29: Número total de bombas usadas en cada opción	108
Tabla 30: Características de las bombas en cada opción	110
Tabla 31: Cantidad total de tubería lisa HDPE a utilizar	112
Tabla 32: Precio referencial de Balsa flotante metálica	114
Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio	117
Tabla 34: Precio de la energía eléctrica para el sector industrial	119
Tabla 35: Tiempo de operación de cada área	120
Tabla 36: Factor de corrección de acuerdo a los requerimientos del sistema	121
Tabla 37: Costos de inversión Opción 1 – Alternativa 1	122
Tabla 38 Costos de inversión Opción 2 – Alternativa 1	123
Tabla 39: Costos de inversión Opción 2 – Alternativa 2	124
Tabla 40: Costos de inversión Opción 2 – Alternativa 3	125
Tabla 41: Costos de inversión Opción 3 – Alternativa 1	127
Tabla 42: Costos de inversión Opción 3 – Alternativa 2	128
Tabla 43: Costos de inversión Opción 3 – Alternativa 3	129
Tabla 44: Costos de inversión Opción 4 – Alternativa 1	130
Tabla 45: Costos de inversión Opción 4 – Alternativa 2	131
Tabla 46: Costos de inversión Opción 4 – Alternativa 3	132
Tabla 47: Costos de inversión Opción 5 – Alternativa 1	133
Tabla 48: Costos de inversión Opción 5 – Alternativa 2	134
Tabla 49: Costos de inversión Opción 5 – Alternativa 3	135

Tabla 50: Costos de operación Opción 1 – Alternativa 1	136
Tabla 51: Costos de operación Opción 2 – Alternativa 1	137
Tabla 52: Costos de operación Opción 2 – Alternativa 2.....	138
Tabla 53: Costos de operación Opción 2 – Alternativa 3.....	139
Tabla 54: Costos de operación Opción 3 – Alternativa 1.....	140
Tabla 55: Costos de operación Opción 3 – Alternativa 2.....	141
Tabla 56: Costos de operación Opción 3 – Alternativa 3.....	142
Tabla 57: Costos de operación Opción 4 – Alternativa 1.....	143
Tabla 58: Costos de operación Opción 4 – Alternativa 2.....	144
Tabla 59: Costos de operación Opción 4 – Alternativa 3.....	145
Tabla 60: Costos de operación Opción 5 – Alternativa 1.....	146
Tabla 61: Costos de operación Opción 5 – Alternativa 2.....	147
Tabla 62: Costos de operación Opción 5 – Alternativa 3.....	148
Tabla 63: Resumen de costos.....	149

1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de transportar agua para realizar sus actividades, una de las primeras soluciones fue transportarlo por envases, canaletas, canales, tuberías, etc. llegando hasta los actuales sistemas de bombeo.

En la búsqueda de la mejora continua respecto a la tecnología que requieren las grandes empresas, compañías, industrias, sociedades etc. se hace necesario que usen tecnología de alta eficiencia que garanticen funcionamientos óptimos de equipos a precios económicos para el correcto funcionamiento de otras áreas.

El diseño de bombeo actual para recuperar agua en Quebrada Honda no satisfará la demanda futura es decir cuando la mejora tecnológica ubicada en la Concentradora Toquepala empiece sus operaciones normales, al mismo tiempo esto hará que la presa de relave reduzca su tiempo de vida poniendo en riesgo la estabilidad de los diques si no se incrementa el caudal retirado o bombeado hacia otras áreas.

1.2 DISCIPLINAS

Área general:	Ingeniería y Tecnología
Área específica:	Ingeniería Civil
Especialidad:	Hidráulica
Línea:	Hidrodinámica/Sistema de Bombeo

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 Problema de investigación

En Tacna y Moquegua se encuentra la presa de relaves de Quebrada Honda la cual tiene un sistema de bombeo de agua actualmente operativo. La estación de bombeo ubicada sobre el espejo de agua se llama barcazas.

Debido al incremento del nivel del espejo de agua de la presa, las ampliaciones dentro de la planta minera a la cual pertenece esta presa y la mejora tecnológica que actualmente se está ejecutando, hace que este sistema opere de una forma

inadecuada, se produzcan operaciones cerca a puntos de cavitación, sobrecalentamiento de motores y mayor consumo de energía.

1.3.2 Descripción del área en estudio

El presente proyecto de investigación, realiza un análisis técnico-económico aplicado a un sistema de bombeo en la zona de Quebrada Honda ubicado entre los departamentos de Tacna y Moquegua.

Ubicación específica: Presa de relaves, Quebrada Honda

Ubicación general: Parte Sur del Perú, en el límite departamental de Tacna y Moquegua como se ve en la Figura 1: Localización del área en estudio.

Altura sobre el nivel del mar: 1220 m.s.n.m.

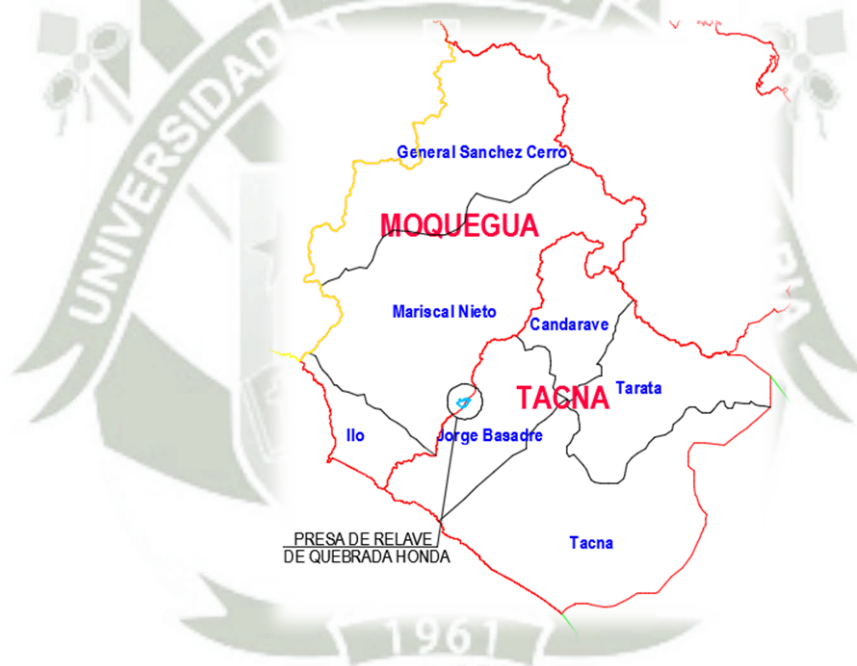


Figura 1: Localización del área en estudio

Fuente: Elaboración propia

La presa de relave posee un área de 11,129,453.97 m² y un perímetro de 119,887.7926 m, se encuentra ubicado en las provincias de Jorge Basadre y Mariscal Nieto pertenecientes a los departamentos de Tacna y Moquegua respectivamente.

El sistema de bombeo viene trabajando desde el año 1995 y requiere su reubicación debido a las modificaciones en la altura de la presa, ya que esta crece constantemente,

asimismo por el incremento del flujo de la ampliación de Toquepala es necesario rediseñar este sistema para que sea funcional en las condiciones futuras de operación. El sistema consta de una primera estación de bombeo con 6 bombas verticales en balsas.

1.3.3 Análisis u Operacionalización de las Variables

VARIABLE	INDICADORES	FUENTES
Bombas	Costo	Cotizaciones de bombas
	Potencia	Curva de la bomba
	Tipo de bomba	Catálogos de bomba
	Cantidad	Análisis técnico-económico
	Rendimiento	Curva de la bomba

VARIABLE	INDICADORES	FUENTES
Tubería	Costo	Cotizaciones de tubería
	Longitud	Topografía y ubicación
	Material	Catálogos de tubería
	Diámetro	Análisis técnico-económico

VARIABLE	INDICADORES	FUENTES
Presa de relave	Altura espejo de agua	Precipitación y cantidad de relave

1.3.3.1 Tipo de Investigación

- Comparativo

1.4 REGLAMENTOS Y NORMAS

Se pondrá en uso las normas actualizadas y/o modificadas que se encuentren en el Reglamento nacional de Edificaciones para el diseño del sistema de bombeo (Norma OS.070, OS.080, OS.100), en el caso de las tuberías la norma NTP ISO 4427 PE 100 y las normas técnicas internacionales del sector.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La puesta en marcha de la ampliación de Toquepala llamada “mejora tecnológica”, requerirá que la planta minera utilice más agua cuando esta entre en operación, por tal motivo y para asegurar el crecimiento sostenido de los diques y no reducir considerablemente el tiempo de vida de la presa de relave, es que se necesita tratar más agua en la presa para bombear a esta nueva zona y las constantes ampliaciones y/o mejoras.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

- Realizar un análisis técnico-económico de un sistema de recuperación de agua por bombeo en una presa de relave

1.6.2 Objetivos específicos

- Determinar el material de tubería a usar.
- Determinar el crecimiento de la presa de relave.
- Determinar el tipo de bomba a usar.
- Determinar la opción y alternativa que resuelva correctamente el problema.

1.7 HIPÓTESIS

Dado que el sistema de recuperación de agua por bombeo en Quebrada Honda será ineficiente por la futura demanda de agua para garantizar un crecimiento sostenido de los diques durante la operación de la ampliación de la planta concentradora de Toquepala:

Es probable que una solución eficaz sea el diseño con 5 bombas trabajando paralelo en el sistema de bombeo con tuberías de diámetros que entreguen velocidades bajas ($v=0.6$ m/s).

1.8 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de esta tesis está definido por el análisis técnico-económico del sistema de bombeo usando tubería de polietileno y bombas verticales de turbina, evaluando los precios en base a la información otorgada y primando el enfoque al diseño de obras civiles a realizarse.

1.9 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Se considera el diseño del sistema de bombeo solo hasta las zonas de requerimientos, ya que es muy complicado el proceso que sigue el agua bombeada dentro de cada área.

La información obtenida se desarrolla a partir de los datos que las empresas que laboran dentro del sector proporcionan, y que por razones de privacidad podrían resistirse a brindarnos.

Esta tesis también se limita a estudiar el diseño y análisis de la bomba, su motor y su rotor, los cuales forman parte de un diseño de maquinaria hidráulica de ingeniería mecánica.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1.1 Presión:

La presión según Mott (2006) se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de una sustancia o sobre una superficie, por medio de la ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde “P” es la presión, “F” es la fuerza y “A” el área donde se aplica la fuerza.

Los fluidos están sujetos a variaciones grandes de presión, en función del sistema en el que se utiliza.

Al hacer cálculos que involucren presión de un fluido, se deben efectuar en relación con alguna presión de referencia. Es normal que la atmósfera sea la presión de referencia. Así, la presión que arroja la medición de un fluido se llama presión manométrica. La presión que se mide en relación con un vacío perfecto se denomina presión absoluta. La relación de los dos sistemas de medición según Mott, 2006 es sencilla y se presenta en la siguiente ecuación:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

Donde: “ P_{abs} ” es la presión absoluta, “ P_{man} ” es la presión manométrica y “ P_{atm} ” es la presión atmosférica.

2.1.2 Compresibilidad:

La compresibilidad según Mott (2006) se define como el cambio de volumen que sufre una sustancia cuando se le sujeta a un cambio de presión. La cantidad que se usa para medir este fenómeno es el módulo volumétrico de elasticidad:

$$E = \frac{-\Delta p}{(\Delta V)/V}$$

Donde “E” es el módulo volumétrico, “ Δp ” es el cambio de presión, “ ΔV ” es el cambio de volumen y “V” es el volumen.

2.1.3 Viscosidad:

La viscosidad es una medida cuantitativa de la resistencia de un fluido a fluir. Más concretamente, la viscosidad determina la velocidad de deformación del fluido cuando se le aplica un esfuerzo cortante dado. Podemos movernos fácilmente a través del aire, que tiene una viscosidad baja. (White, 2008)

2.1.3.1 Viscosidad dinámica:

Según Mott (2006) conforme un fluido se mueve, dentro de él se desarrolla un esfuerzo cortante, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido, el esfuerzo cortante es definido como la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra. El esfuerzo cortante es directamente proporcional al gradiente de velocidad y se enuncia de forma matemática así:

$$\tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

Donde “ η ” es la viscosidad dinámica, “ τ ” es el esfuerzo cortante, “ Δv ” es el cambio de velocidad y “ Δy ” es el cambio de altura.

2.1.3.2 Viscosidad cinemática:

Según Mott (2006) los cálculos de dinámica de fluidos que involucran la razón de la viscosidad dinámica en la densidad del fluido. Por conveniencia se define como:

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

Donde “ v ” es la viscosidad cinemática, “ η ” es la viscosidad dinámica y “ ρ ” es la densidad del fluido.

2.1.4 Numero de Reynolds:

El parámetro que determina el comportamiento de los fluidos newtonianos es el número adimensional de Reynolds. (White, 2008)

Parámetro adimensional que describe la relación entre las fuerzas inerciales de un flujo y las fuerzas viscosas. Se usa para determinar si el flujo se encuentra bajo régimen laminar ($Re < 2000$) o régimen turbulento ($Re > 4000$). (Saldarriaga, 2007)

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Donde “ ν ” es la viscosidad cinemática, “ V ” es la velocidad del fluido y L la longitud de la tubería.

2.1.4.1 Flujo turbulento hidráulicamente liso:

Es el flujo en una tubería en el cual el espesor de la subcapa laminar viscosa es mayor que el tamaño de la rugosidad absoluta del material que conforma la pared interna de la tubería ($k_s < 0.305\delta$). Para este tipo de flujo las pérdidas de energía y, por consiguiente el factor de fricción son únicamente dependientes de las propiedades del fluido y las características del flujo. (Saldarriaga, 2007)

2.1.4.2 Flujo turbulento hidráulicamente rugoso:

Flujo turbulento en una tubería en el cual el tamaño de la rugosidad absoluta de la pared interna de la tubería es mayor que el espesor de la sub capa laminar viscosa ($k_s > 6.10\delta$). En este tipo de flujo las pérdidas de energía y, por consiguiente, el factor de fricción son únicamente función de la rugosidad relativa de la tubería. (Saldarriaga, 2007)

2.1.4.3 Flujo turbulento transicional:

El tamaño de la rugosidad absoluta de la pared interna de la tubería es mayor que el espesor de la sub capa laminar viscosa, se encuentra, está en los límites ($0.305\delta < k_s < 6.10\delta$). (Saldarriaga, 2007)

2.1.5 Tasa de flujo de fluido

Según Mott (2006) la cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede ser expresado por medio de tres términos:

- Q es el flujo volumétrico es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo
- W es el flujo en peso es el peso del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo
- M es el flujo másico es la masa del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo

Para Mott (2006) el más importante es el flujo volumétrico y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = v * A$$

Donde “A” es el área de la sección transversal y “v” es la velocidad promedio del flujo.

2.1.6 Conservación de la energía – Ecuación de Bernoulli:

En física se aprendió que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma de una forma en otra. Este es el enunciado de la ley de conservación de la energía. (Mott, 2006)

Hay tres formas de energía según Mott (2006) que se toman siempre en consideración cuando se analiza un problema de flujo en tuberías. Considerando un elemento de fluido dentro de una tubería en un sistema de flujo. Se localiza a cierta elevación “z”, tiene velocidad “v” y presión “p”. Este sistema posee las siguientes formas de energía ilustradas en la Figura 2: Elemento de fluido respecto a nivel de referencia.

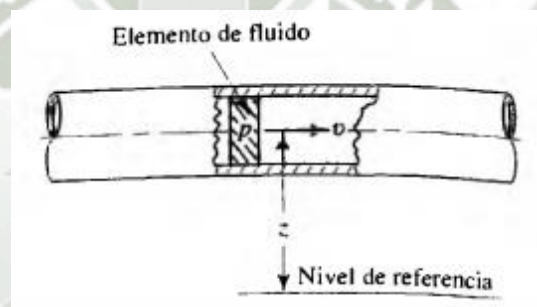


Figura 2: Elemento de fluido respecto a nivel de referencia.

Fuente: Mott, R. (2006), Mecánica de Fluidos

- Energía potencial: Debido a su elevación, la energía potencial del elemento es relación con algún nivel de referencia es:

$$EP = w * z$$

Donde “w” es el peso del elemento y “z” la altura respecto al nivel de referencia.

- Energía cinética: Debido a su velocidad, la energía cinética del elemento es:

$$EC = w * v^2 / 2g$$

- Energía de flujo: A veces llamada energía de presión o trabajo de flujo y representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión p .

$$EF = w * p/\gamma$$

Donde “ γ ” es el peso específico del fluido y “ p ” es la presión.

Entonces la cantidad total de energía de estas tres formas que posee el elemento de fluido sería la suma:

$$E = EF + EP + EC$$

En un sistema como en el de la Figura 3: Sistema sin pérdida de energía si no hay energía que se agregue o pierda en el fluido entre las secciones 1 y 2 entonces el principio de la conservación de energía es:

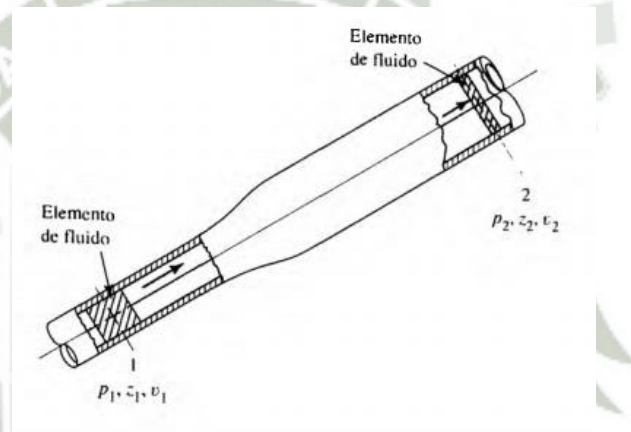


Figura 3: Sistema sin pérdida de energía

Fuente: Mott, R. (2006), Mecanica de Fluidos

$$E_1 = E_2$$

Reemplazando valores:

$$\frac{wp_1}{\gamma} + wz_1 + \frac{wv_1^2}{2g} = \frac{wp_2}{\gamma} + wz_2 + \frac{wv_2^2}{2g}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Esta última ecuación es la conocida como ecuación de Bernoulli.

El principio de continuidad establece que el flujo másico es el mismo a través de un sistema de flujo estable es decir:

$$Q_1 = Q_2$$

2.1.7 Pérdida de altura debido a la fricción:

Los líquidos circulando por conducciones están sometidos a pérdidas de energía debido a la fricción de este con las paredes del conducto y su propia fricción interna. Cuando se trata de conductos cerrados simples, el único tipo de energía que puede perderse por razón del movimiento del fluido es la energía de presión, ya que la energía cinética debe permanecer constante si el área es constante, y la energía potencial solo depende de la posición. (Saldarriaga, 2007)

Un fluido en movimiento presenta resistencia por fricción al fluir. Parte de la energía del sistema se confiere en energía térmica, que se disipa a través de las paredes de la tubería por la que circula el fluido, velocidad del flujo, tamaño de la tubería, acabado de la pared de la tubería y longitud de la misma. (Mott, 2006)

Existen básicamente dos procedimientos para el cálculo de la pérdida por fricción, el primero basado en la ecuación de Darcy-Weisbach adaptada a un diagrama práctico llamado Abaco de Moody y el segundo está basado en la ecuación empírica propuesta por Hazen y Williams.

2.1.7.1 Ecuación de Darcy-Weisbach:

La pérdida de carga en tuberías según esta ecuación es:

$$h_f = f \frac{l v^2}{d 2g}$$

Donde “f” es el factor de fricción, “l” la longitud de la tubería, “v” la velocidad del flujo, “d” diámetro de la tubería y “g” la aceleración de la gravedad.

En el flujo laminar, es decir con número de Reynolds menores a 2000, las pérdidas son debidas a la viscosidad del fluido y se calculan:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Cuando se pasa de flujo laminar a turbulento es muy difícil predecir este valor y por eso es mejor usar el Abaco de Moody, dentro del flujo turbulento se hace diferencia de 3 categorías: flujo hidráulicamente liso, flujo hidráulicamente rugoso y flujo en la zona intermedia de los 2 flujos anteriores.

En el caso del flujo hidráulicamente liso el factor de fricción se calcula con la ecuación de Blasius:

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$$

Para el caso del flujo hidráulicamente rugoso el factor de fricción se calcula con la ecuación de Prandtl-von Karman:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left(\frac{d}{k_s} \right) + 1.14$$

Para el flujo transicional en el año de 1939 Colebrook y White proponen la siguiente ecuación empírica para tuberías comerciales.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

2.1.8 Pérdidas de altura debido a accesorios

Es común que elementos que controlan la dirección o el flujo volumétrico del fluido en un sistema generen turbulencia local en este, lo que ocasiona que la energía se disipe como calor. Siempre que hay una restricción, por ejemplo un cambio en la velocidad o dirección del flujo hay pérdidas de este tipo. En un sistema grande la magnitud de las pérdidas por válvulas y accesorios por lo general es pequeña en comparación con las pérdidas por fricción en tuberías por tal motivo reciben el nombre de pérdidas menores. (Mott, 2006)

Estas pérdidas también son llamadas menores o secundarias y se calculan mediante la forma análoga de la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$H_m = K \frac{v^2}{2g}$$

El valor de K se adjunta en el ANEXO 3 – COEFICIENTE DE PERDIDA EN ACCESORIOS

2.1.9 Ecuación general de la energía:

Los términos que expresan la energía que posee un fluido por unidad de peso de fluido que circula por un sistema es:

- p/γ es la carga de presión
- z es la carga de elevación

- $v^2/2g$ es la carga de velocidad

La suma de los tres términos es la carga total, todo esto se compone en la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Sin embargo esta ecuación solo es válida para fluidos incompresibles, entre los 2 puntos no puede haber bombas o turbinas, tampoco considera perdidas por fricción o accesorios.

Para un sistema como el expresado en la Figura 4 Sistema de flujo en tuberías

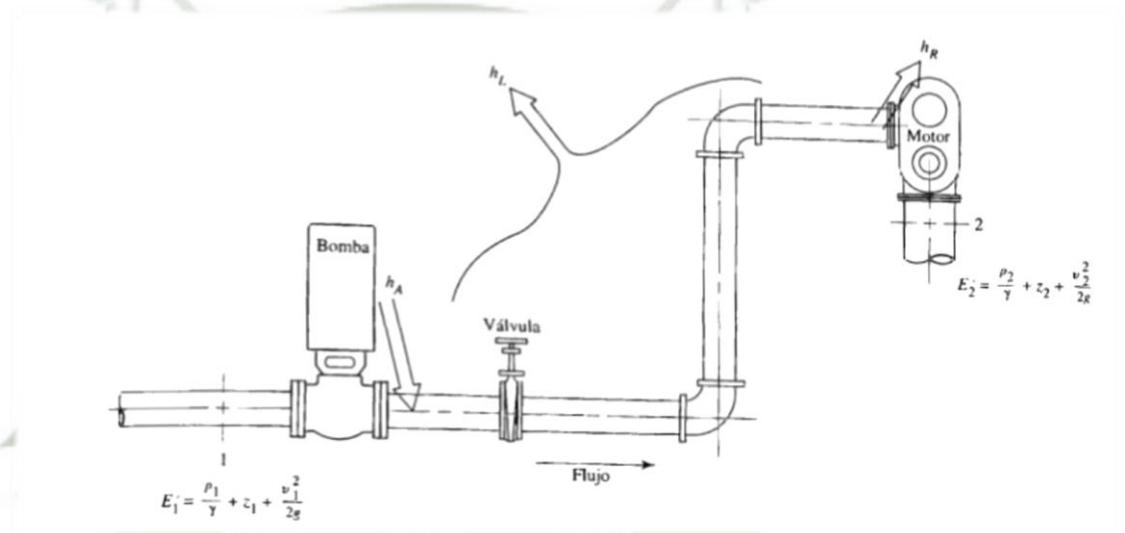


Figura 4 Sistema de flujo en tuberías

Fuente: Mott, R. (2006), Mecanica de Fluidos

El principio de conservación de la energía parte de la ecuación general de Bernoulli:

$$E'_1 = E'_2$$

$$E'_1 + h_A - h_L - h_R = E'_2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde " h_A " es una ganancia de energía que podría ser producida por una bomba, " h_R " es una remoción de y " h_L " es una pérdida de energía por fricción o accesorios

2.1.10 Equilibrio del sistema

El análisis de las redes se basa en un principio de continuidad que señala que el flujo que entra a un nudo debe ser igual al flujo que sale y la pérdida por fricción y accesorios en un sistema cerrado es igual a cero.

2.2 SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE BOMBAS

2.2.1 Definición de bombas:

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos a través de un sistema de tuberías, la bomba es el ingenio más antiguo que se conoce para transferir energía a un fluido. (White, 2008)

Las bombas son dispositivos mecánicos que añaden energía a un fluido. Un motor eléctrico o algún otro aditamento importante impulsan un eje rotatorio en la bomba. Entonces, la bomba aprovecha esta energía cinética y la transmite al fluido, lo que provoca el movimiento de este y el incremento de su presión. (Mott, 2006)

2.2.2 Clasificación de las bombas

Existe dos tipos de bombas según White (2008) como se muestra en Tabla 1: Clasificación de los tipos de bomba: las de desplazamiento positivo y las dinámicas.

Desplazamiento positivo	Rotatorias	Engranés
		Aspa
		Tornillo
		Cavidad progresiva
		Lóbulo o leva
		Tubo flexible (peristáltico)

	Recíprocas	Pistón
		Embolo
		Diafragma
Dinámicas	Flujo radial (Centrifugas)	
	Flujo axial (de impulsor)	
	Flujo mixto	

Tabla 1: Clasificación de los tipos de bomba

Fuente: Adaptado de Mecánica de Fluidos (Mott, 2006)

2.2.2.1 Bombas de desplazamiento positivo:

Tienen un contorno móvil que, por cambios de volumen, obligan al fluido a avanzar a través de la máquina. Se abre una cavidad en la que el fluido penetra a través de la toma. Después se cierra la cavidad y se expulsa el fluido por la abertura de salida. Un ejemplo clásico es el corazón de los mamíferos. (White, 2008)

Lo ideal es que las bombas de desplazamiento positivo envíen una cantidad fija de fluido en cada revolución del rotor o eje impulsor de las bombas. La capacidad de la bomba solo se ve afectada en forma moderada por los cambios de presión, debido a deslizamientos pequeños ocasionados a su vez por las holguras entre las cascara y el rotor, pistones, aspas y otros elementos activos. La mayoría de las bombas de desplazamiento positivo operan con líquidos con un rango amplio de velocidades. (Mott, 2006)

2.2.2.1.1 Bombas de engranes:

Se usa para aplicaciones en potencia y para distribuir lubricantes a componentes específicos de maquinaria. Se componen de dos engranes que giran dentro de una carcasa, en sentido contrario y muy ajustados uno con el otro. La periferia exterior de los dientes del engrane se ajusta muy bien con la superficie interior de la carcasa. Se lleva el fluido del almacenamiento del suministro al puerto de succión, y se conduce en los espacios entre los dientes al puerto de descarga, desde donde se envía a alta presión al sistema. La presión

con la que se envía depende de la resistencia del sistema. Las bombas de engranes desarrollan presiones en el sistema en el rango de 1500 a 4000 psi. El flujo que entregan varían con el tamaño de los engranes y la velocidad de rotación, que puede ser de hasta 4000 rpm, es posible tener flujos volumétricos de 1 a 50 gal/min. (Mott, 2006)



Figura 5: Bomba de engranes

Fuente: Marzo Pumps. (2010). Bombas a engranajes para trasvase.

2.2.2.1.2 Bombas de pistón:

Utilizan una placa de derrame giratoria que actúa como leva para hacer reciprocitar los pistones. Los pistones llevan de forma alternada fluido al interior de sus cilindros a través de válvulas de succión y luego lo fuerzan a salir por válvulas de descarga contra la presión del sistema. La entrega de fluido varía de cero a máxima si se cambia el ángulo de la placa del sistema y con ello la carrera de los pistones. La capacidad de presión llega hasta los 5000 psi. (Mott, 2006)



Figura 6: Bomba de pistón hidráulico

Fuente: SCHWING BIOSSET. (2012). Bombas de pistón pastas y relaves espesados

2.2.2.1.3 Bombas de aspas:

La bomba de aspas también se utiliza para potencia de fluido, consisten en un rotor excéntrico que contiene un conjunto de aspas deslizantes que corren dentro de una carcasa. Un anillo de levas controla la posición radial de las aspas. El fluido entra por el puerto de succión, después es capturado en un espacio entre dos aspas sucesivas, y así se lleva al puerto de descarga a la presión del sistema. Después las aspas se retraen hacia sus ranuras en el rotor conforme regresan al lado de entrada o succión de la bomba. Las bombas de aspas de desplazamientos variables son capaces de cero hasta el flujo volumétrico máximo, cuando varían la posición del rotor respecto del anillo de levas y la carcasa. La selección de la entrega variable es manual, eléctrica, hidráulica o neumática para adecuar el rendimiento de la unidad de potencia de fluido a las necesidades del sistema que se opera. Las capacidades comunes de presión van de 2000 psi a 4000psi. (Mott, 2006)

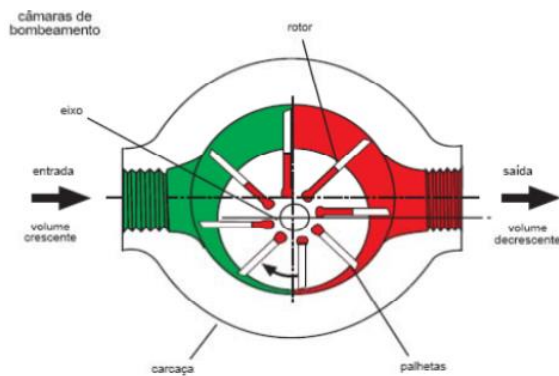


Figura 7: Bomba de paletas

Fuente: Parker, H. (2004). Bombas de paletas Catálogo General Simples, dobles, triples Series T7 - T67 - T6C.

2.2.2.1.4 Bombas de tornillo:

Una desventaja de las bombas de engranes, pistón y aspas es que distribuyen un flujo por impulsos hacia la salida, debido a que cada elemento funcional mueve un elemento o volumen capturado de fluido de la succión a la descarga. Las bombas de tornillo no tienen ese problema, poseen un rotor de impulso central, semejante a una espiral, se acopla muy bien con los dos rotores impulsados, con lo que se crea un confinamiento dentro de la carcasa que se mueve en forma axial de la succión a la descarga y proporciona un flujo uniforme continuo. Las bombas de tornillo operan a 3000 psi, funcionan a velocidades altas y son más silenciosas que la mayoría de bombas hidráulicas. (Mott, 2006)

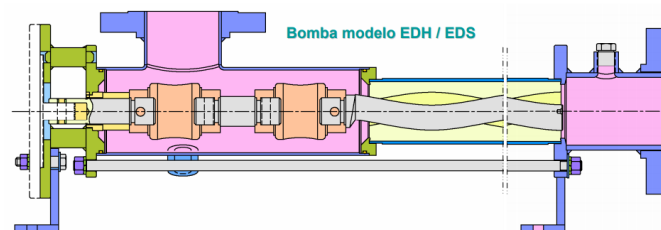


Figura 8: Bomba de tornillo

Fuente: Bornemann Pumps. (2008). Selección y mantenimiento preventivo de bombas de tornillo

2.2.2.1.5 Bombas de cavidad progresiva:

Estas bombas también producen un flujo suave que no pulsa y se utilizan sobre todo para enviar fluidos de procesos, más que en aplicaciones hidráulicas. Conforme el rotor central gira dentro del estator, se forman cavidades que avanzan hacia el extremo de descarga de la bomba que mueve el material en cuestión. Es común que el rotor este hecho de una placa de acero con capas gruesas de cromo duro con el fin de aumentar la resistencia a la abrasión. Las capacidades de flujo llegan a ser de hasta 7040 l/min y la capacidad de presión alcanza los 6.2 MPa, este tipo de bombas maneja una gran variedad de fluidos como agua dulce inclusive agua que contiene solidos pesados, líquidos muy viscosos como los adhesivos, mezclas de cemento, champú, jarabe de manzana e inclusive masa de pan. (Mott, 2006)

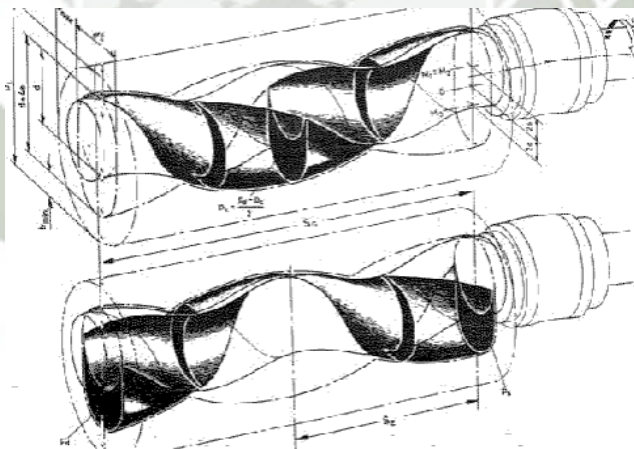


Figura 9: Bomba de cavidad progresiva

Fuente: Bombeo de cavidad progresiva: operaciones, diagnostico, análisis de falla.

2.2.2.1.6 Bombas de lóbulo:

Llamada también bomba de levas, opera en forma similar a la de engranes. Los dos rotores que giran en sentido contrario tienen dos, tres o más lóbulos que

coinciden uno con otro y se ajustan muy bien en su contenedor. El fluido se mueve alrededor de la cavidad formada entre los lóbulos contiguos. (Mott, 2006)

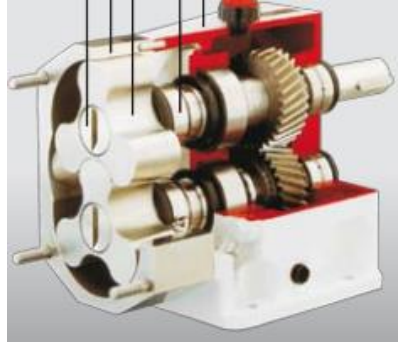


Figura 10: Bomba de lóbulos

Fuente: SIMES. (2008). Bombas de lóbulos inoxidable

2.2.2.1.7 Bombas de pistón para transferencia de fluidos:

Las bombas de pistón para transferencia de fluidos se clasifican como simplex (de actuación única) o dúplex (de actuación doble). En principio son parecidas a las bombas de pistón de potencia de fluido, pero es común que tengan una capacidad de flujo mayor y operen a presiones bajas y por lo general trabajan con un impulsor tipo cigüeñal. (Mott, 2006)



Figura 11: Bomba de pistón

Fuente: SCHWING BIOSET. (2012). Bombas de pistón pastas y relaves espesados.

2.2.2.1.8 Bombas de diafragma:

Una barra reciprocante mueve un diafragma flexible dentro de una cavidad, con lo que descarga fluido conforme aquel se mueve en forma alternada, una ventaja de este tipo de bombas es que solo el diafragma entra en contacto con el fluido, con lo que se elimina la contaminación provocada por los elementos de operación. Las válvulas de succión y descarga se abren y cierran en forma alternada. Las bombas de diafragma grande se usan en la construcción, minería, aceites y gas, procesamiento de alimentos, procesos químicos, tratamiento de aguas residuales y otras aplicaciones industriales. La mayor parte son de actuación doble con dos diafragmas a lados opuestos de la bomba. Puertos de succión y descarga en paralelo así como válvulas de verificación, proporcionan una circulación relativamente suave aun cuando manejen cierto contenido de sólidos pesados. (Mott, 2006)

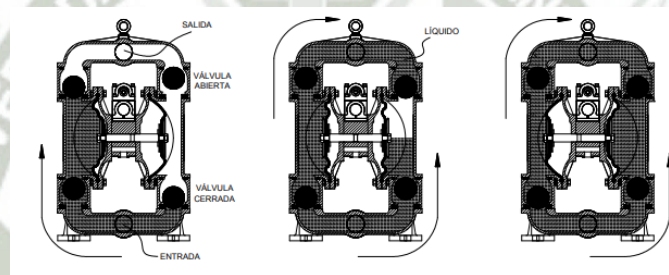


Figura 12: Bomba de diafragma

Fuente: INDESUR. (2014). Bombas Neumáticas de doble diafragma

2.2.2.1.9 Bombas peristálticas:

Son únicas en cuanto el fluido se captura por completo dentro de un tubo flexible a través del ciclo de bombeo. El tubo se dirige entre un conjunto de rodillos giratorios y una carcasa fija. Los rodillos exprimen el tubo y atrapan un volumen dado entre rodillos adyacentes. El diseño elimina la posibilidad de que el producto se contamine, lo que hace atractivas estas bombas para aplicaciones químicas, médicas y procesamiento de alimentos. (Mott, 2006)



Figura 13: Bomba peristáltica

Fuente: VERDETEX. (2015). Bombas peristálticas industriales

2.2.2.2 Bombas dinámicas:

Las bombas dinámicas añaden cantidad de movimiento al fluido por medio de paletas, alabes giratorios ciertos dispositivos especiales. No hay volúmenes cerrados: el fluido aumenta su cantidad de movimiento mientras se mueve a través de pasajes abiertos, para convertir después su alta velocidad en incremento de presión al salir a través de un difusor. (White, 2008)

Las bombas dinámicas agregan energía al fluido cuando lo aceleran con la rotación de un impulsor. El fluido se lleva al centro del impulsor y después es lanzado hacia afuera por las aspas. Al salir del impulsor el fluido pasa por una voluta en forma de espiral donde baja en forma gradual y ocasiona que parte de la energía cinética se convierta en presión de fluido. (Mott, 2006)

Las bombas dinámicas proporcionan generalmente mayor caudal que las de desplazamiento positivo y una descarga más estacionaria, pero son poco efectivas para bombear líquidos muy viscosos. Las bombas dinámicas generalmente deben ser cebadas, esto es, si están llenas congas no pueden succionar líquido, situado por debajo, hasta su entrada. En cambio las bombas BDP son auto cebantes en la mayor parte de las aplicaciones. Una bomba dinámica proporciona grandes caudales hasta (300 000 gal/min) con bajos incrementos de presión (unas pocas atmosferas), mientras que las BDP pueden funcionar a presiones muy altas (300 atm) pero normalmente proporcionan caudales bajos (100 gal/min). (White, 2008)

2.2.2.2.1 Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga es la más conocida de las dinámicas, es sencilla en estructura ya que consiste en impulsores y cascaras, los líquidos se succión con el impulsor y se descargan en la circunferencia de la carcasa, estas máquinas se basa en el mismo principio de los ventiladores centrífugos, generalmente son usadas con motores eléctricos aunque también pueden funcionar por motores de explosión, estas bombas se deben de cebar con un líquido para que empiecen a trabajar, debido a que no contienen piezas con ajuste preciso pueden manejar líquidos que contengan impurezas. Conocida también como bomba de flujo radial, el agua entra a la bomba en forma axial pero sale impulsada en dirección radial. (Saldarriaga, 2007)

- Bomba de tipo voluta: El impulsor descarga el fluido en una caja de forma espiralada que se expande gradualmente de tal forma que la velocidad del líquido se reduce gradualmente, este tipo de bomba solo tiene una fase, una entrada y una carcasa.



Figura 14: Bomba tipo voluta

Fuente: GOULDS PUMPS. (2018). Guía de selección de bombas

- Bomba de chorro: Están compuestas por una bomba centrífuga junto con un ensamble de chorro o eyector. La bomba principal y el motor se encuentran a nivel del terreno y el ensamble del chorro esta abajo cerca del nivel de agua. La bomba envía agua a presión hacia abajo, a través de un tubo de presión y hacia una boquilla crea un vacío tras de si misma lo que hace que el agua que se encuentra abajo salga junto con el chorro. La corriente combinada pasa a través de un difusor, donde el

flujo disminuye su velocidad y así convierte la energía cinética en presión. Debido a que el difusor se encuentra dentro del tubo de succión, el agua es conducida a la entrada de la bomba donde es movida por el impulsor. Parte del flujo de salida se descarga al sistema que se suministra y el resto vuelve a circular hacia el chorro para que la operación continúe. (Mott, 2006)

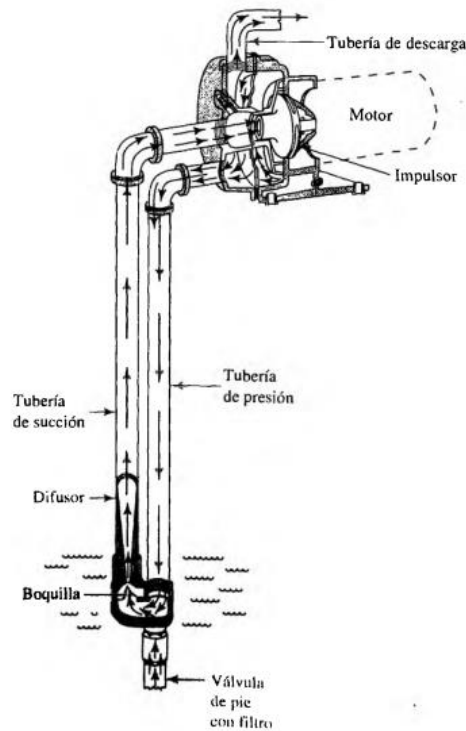


Figura 15: Bomba de chorro

Fuente: Mott, R. (2006), Mecánica de Fluidos

- Bombas de autoarranque: Es esencial que existan las condiciones adecuadas en el puerto de succión de una bomba cuando esta arranque, con objeto de garantizar que el fluido llegue al impulsor y se establezca un flujo constante de líquido. El termino arranque describe este proceso. El método predilecto para arrancar una bomba consiste en colocar la fuente del fluido arriba de la línea central del eje del impulsor y dejar que por efecto de la gravedad llene el puerto de succión. Sin embargo es frecuente que sea necesario retirar el fluido de una fuente

por debajo de la bomba, lo que requiere que esta cree el vacío parcial para elevar el fluido, al mismo tiempo que expelle cualquier cantidad de aire que se halle en la tubería de succión. Generalmente estas bombas tienen una cámara grande de entrada que conserva alguna cantidad de líquido durante los periodos en que está apagada. Cuando arranca el impulsor comienza a jalar aire y agua de la tubería de succión hacia la carcasa. Cierta cantidad del agua que se bombea vuelve a circular, con objeto de mantener la acción de bombeo. De modo simultaneo, el aire sale del puerto de descarga y el proceso continúa hasta que se establece el flujo del líquido solamente. (Mott, 2006)

- Bombas centrifugas de molino: Cuando es necesario bombear líquidos que contienen una variedad de sólidos, una buena solución es utilizar una bomba con un molino integrado a ella. El molino se halla junto al eje impulsor en la entrada de la bomba de modo que reduce el tamaño de los sólidos antes de que pasen al impulsor y vayan al tubo de descarga para su disposición final. Es frecuente que tales bombas estén equipadas con interruptores de flotación que actúan en forma automática para controlar el nivel de fluido en la cisterna. (Mott, 2006)



Figura 16: Bomba centrifuga de molino

Fuente: GOULDS PUMPS. (2018). Guía de selección de bombas

2.2.2.2.2 Bomba de flujo axial

Este tipo de bomba desarrolla su columna de agua por medio de la acción de impulsores, tienen un rodete impulsor en el cual la dirección del flujo y la velocidad son dirigidas hacia adelante, es decir son paralelas con el eje de rotación de la bomba. El agua entra y sale de la bomba en forma axial, usualmente son bombas de baja altura piezométrica y alta capacidad. (Saldarriaga, 2007)

- Bombas sumergibles: Las bombas sumergibles están diseñadas de modo que pueda sumergirse todo el conjunto de la bomba centrífuga, el motor impulsor y los aparatos de succión y descarga, estas bombas sirven para retirar agua que no se desea en sitios de construcción, minas, servicios en sótanos, tanques industriales y bodegas en barcos de carga. La succión de estas bombas está en el fondo, donde fluye el agua a través de un filtro y hacia el ojo del impulsor resistencia la abrasión. La descarga fluye hacia arriba a través de un pasaje anular entre el núcleo y la carcasa del motor. Arriba de la unidad el flujo se reúne y fluye hacia un tubo o manguera de descarga que se localiza en el centro. El motor seco se encuentra sellado y en el centro de la bomba. (Mott, 2006)

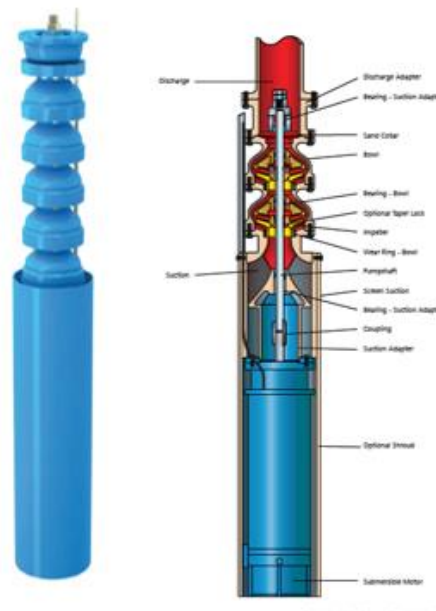


Figura 17: Bomba vertical sumergible

Fuente: GOULDS PUMPS. (2018). Guía de selección de bombas

- Bombas verticales de turbina: Este tipo de bombas producen remolinos en el líquido por medio de los alabes a velocidades muy altas, dentro de una tubería que generalmente es metálica donde gira el impulsor. Es frecuente que el bombeo del fluido de un tanque se realice de mejor modo por medio de una bomba vertical de turbina, la bomba se monta directamente sobre el tanque, en una brida soportando la carga de descarga donde está conectada la tubería de salida. En el extremo inferior de una tubería pesado que se extiende al tanque están montados impulsores múltiples en serie. El impulsor inferior lleva fluido a la boquilla de succión y lo mueve hacia arriba al impulsor siguiente. Cada etapa incrementa la capacidad de carga de la bomba. Los impulsores se mueven por medio de un eje conectado a un motor eléctrico que se halla sobre la unidad. Rodamientos guían al eje en cada impulsor, a la carga de descarga y a puntos intermedios para ejes largos. Se pone cuidado especial para evitar fugas del producto hacia el ambiente. (Mott, 2006)

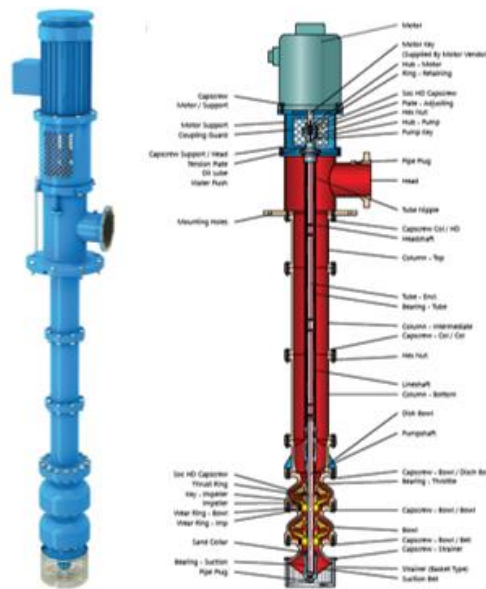


Figura 18: Bomba vertical de turbina

Fuente: GOULDS PUMPS. (2018). Guía de selección de bombas

2.2.2.2.3 Bomba de flujo mixto.

Este tipo de bombas es una combinación de flujo axial y centrífugo, es decir el flujo tiene una componente radial y una axial, estas bombas son de tipo abierto y ocupan una posición intermedia entre la bomba centrífuga y la axial.

El agua entra a la bomba en dirección axial, y sale con componentes de velocidad tanto en dirección axial como en dirección radial. (Saldarriaga, 2007)

2.2.3 Potencia que requieren las bombas.

La potencia se define como la rapidez en que se realiza un trabajo es decir la potencia es la rapidez con que se transfiere la energía. (Mott, 2006)

$$Pot = \frac{\gamma * H_b * Q}{n}$$

Dónde: “ γ ” es el peso específico, “ H_b ” es la altura de la bomba, “ Q ” es el caudal y “ n ” es la eficiencia de la bomba.

2.2.4 Eficiencia mecánica de las bombas.

El término eficiencia según Mott (2006) se utiliza para denotar la relación de la potencia transmitida por la bomba al fluido a la potencia que se suministra a la bomba. Debido a las pérdidas de energía por fricción mecánica en los componentes de la bomba, fricción del fluido y turbulencia excesiva en esta, no toda la potencia de entrada se transmite al fluido. Entonces la eficiencia es:

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}}$$

Este valor siempre será menor a uno.

2.2.5 Curvas características de las bombas.

Debido a que las bombas centrifugas no son de los tipos de desplazamiento positivo, existe una dependencia fuerte entre la capacidad y la presión que debe desarrollar la bomba. La curva de rendimiento común grafica la carga total sobre la bomba versus la capacidad o descarga. (Mott, 2006)

Las curvas características se trazan casi siempre para velocidad de giro del eje n (normalmente en rpm) normalmente constante. El caudal Q se toma como variable independiente básica. Como variables dependientes se consideran la altura manométrica H , la potencia al freno P_f y el rendimiento. (White, 2008)

2.2.6 Curva de la bomba y del sistema.

Las curvas de caudal contra altura piezométrica total y contra eficiencia son suministradas por los fabricantes de las bombas. Por lo general, la curva de caudal contra la altura piezométrica total para una bomba centrifuga se puede expresar de la siguiente forma funcional, la cual permite simular, de manera simple bombas dentro de sistema complejos de tubería. (Mott, 2006)

$$H_m = A Q^2 + B Q + C$$

Donde los coeficientes A , B y C pueden ser calculados tomando tres puntos de la curva del fabricante y así obtener una ecuación parabólica.

Si partimos de la ecuación de energía se obtiene:

$$H_m = H_T + \sum h_f + \sum h_m$$

$$H_m = H_T + \sum f_i \frac{l_i v^2}{d_i 2g} + \sum k_{mi} \frac{v^2}{2g}$$

$$H_m = H_T + \left(\sum f_i \frac{l_i}{d_i} + \sum k_{mi} \right) \frac{v^2}{2g}$$

Finalmente al reemplazar la velocidad por el caudal dividido:

$$H_m = H_T + \left(\sum f_i \frac{l_i}{d_i} + \sum k_{mi} \right) \frac{Q^2}{2gA^2}$$

2.2.7 Reglas de semejanzas en bombas centrífugas

La mayoría de las bombas centrífugas se operan a velocidades distintas para obtener capacidades variables. Además, una carcasa de bomba de tamaño dado es susceptible de dar acomodo a impulsores de diámetros diferentes. Es importante entender la manera en que varían la capacidad, la carga y la potencia, cuando se modifica la velocidad o el diámetro del impulsor. (Mott, 2006)

- Cuando la velocidad de rotación del impulsor varia:

La capacidad varía en forma directa con la velocidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

La capacidad de carga total varía con el cuadrado de la velocidad:

$$\frac{H_{a1}}{H_{a2}} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

La potencia que requiere la bomba varía con el cubo de la velocidad:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

- Cuando el diámetro del impulsor varia:

La capacidad varía en forma directa con el diámetro del impulsor:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

La carga total varía con el cuadrado del diámetro del impulsor:

$$\frac{H_{a1}}{H_{a2}} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

La potencia que requiere la bomba varía con el cubo del diámetro del impulsor:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3$$

La eficiencia permanece casi constante para cambios en la velocidad y para cambios pequeños en el diámetro del impulsor. (Mott, 2006)

2.2.8 Datos del fabricante de bombas centrifugas

Debido a que es posible utilizar diámetros de impulsor y velocidades distintos, los fabricantes de bombas cubren un rango amplio de requerimientos de capacidad y carga con unos cuantos tamaños básicos de bombas. (Mott, 2006)

2.2.9 Punto de operación de una bomba

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviara cuando se instale en un sistema dado. La carga total que desarrolla la bomba se determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico. La curva de rendimiento de la bomba es la gráfica del flujo volumétrico que la bomba distribuye como función de la carga total, y a la que está sujeta por el sistema del que forma parte. El punto de operación verdadero de la bomba de este sistema es donde se interseca la curva de éste con la curva de rendimiento de la bomba. Esto determina cuanto flujo se envía en realidad al sistema. Una vez que se activa la bomba buscara en forma automática este punto de operación.

Una vez construidas las curvas de la bomba y del sistema es fácil encontrar el punto de operación de esta; es decir, el caudal que está siendo enviado y la altura dinámica suministrada por la bomba. Dicho punto de operación es el corte de las dos curvas anteriores. (Saldarriaga, 2007)

2.2.10 Altura neta de succión (NPSH: Net positive suction head).

Es la carga disponible a la entrada de la bomba para evitar la cavitación o evaporación del líquido. La entrada de la bomba o zona de succión es la región donde la presión es más baja y donde puede aparecer antes la cavitación. (White, 2008)

Una parte importante del proceso de selección de la bomba es garantizar que la condición del fluido que entra a la bomba sea la apropiada para mantener un flujo

completo de líquido. El factor principal es la presión del fluido en la entrada de la bomba, al que es común llamar puerto de succión. (Mott, 2006)

En el caso de bombas, el fenómeno de cavitación puede ocurrir tanto en la tubería de succión como en los alabes del impulsor debido a que en esos lugares la presión podría llegar a ser menor que la atmosférica. Esto es particularmente probable cuando se trata de bombas localizadas por encima del nivel de succión. La cavitación, además de producir daños físicos y ruidos molestos, puede llegar a reducir de manera considerable el caudal descargado. Con el fin de evitar todos estos efectos se tiene que impedir que la presión de entrada sea menor que un cierto límite, el cual a su vez es influenciado por una reducción adicional de presión posterior a dicha entrada. Para establecer ese límite se debe plantear según Saldarriaga (2007):

El término $\frac{P_s - P_v}{\rho g}$ representa la altura (energía potencial de presión por unidad de peso) absoluta a la entrada “por encima de la presión de vapor”.

$$NPSH = \frac{P_s - P_v}{\rho g}$$
$$NPSH = \frac{P_a}{\rho g} - H_s - \frac{P_v}{\rho g}$$

Dónde: P_a = presión atmosférica absoluta, P_v = presión de vapor y H_s = altura manométrica de succión.

2.2.11 Cavitación

Cuando la presión de succión en la entrada de la bomba es demasiado bajo, se forman burbujas en el fluido, como si hirviera. (Mott, 2006)

El fluido entra a la bomba por el puerto de succión en el ojo central de impulsión. La rotación de este acelera el fluido hacia afuera, a lo largo de las aspas en dirección a la carcasa, en lo que se llama una voluta.

2.2.12 Presión de vapor

La propiedad del fluido que determina las condiciones en que se forma burbujas de vapor en un fluido, es la presión de vapor que es común reportar como presión absoluta. Cuando en una sustancia existe en equilibrio en forma tanto de vapor como de líquido, hay un balance del vapor que sale del líquido debido a la energía térmica y la condensación de vapor en líquido, provocado a su vez por las fuerzas

de atracción entre moléculas. En estas condiciones la presión del líquido se denomina presión de vapor. Un líquido recibe el calificativo de volátil si tiene una presión de vapor alta y se evapora con rapidez en las condiciones de ambiente. (Mott, 2006)

2.2.13 Bombas que operan en paralelo

Muchos sistemas de flujos requieren flujos volumétricos que varían mucho, por lo que son difíciles de obtener con una bomba sin provocar que opere muy lejos de su punto óptimo de eficiencia. Una solución frecuente de este problema es utilizar dos o más bombas en paralelo, cada una de las cuales extraen el fluido de la misma fuente de entrada y lo envía a un colector común para hacerlo llegar a todo el sistema. El pronóstico del rendimiento de sistema en paralelo requiere comprender la relación entre las curvas de las bombas y la curva del sistema en aplicación. En teoría al agregar una segunda bomba duplica la capacidad del sistema. Sin embargo, conforme ocurre un flujo volumétrico más grande en el sistema de tubería, se crea una carga mayor, lo que hace que cada bomba envíe menos flujo. (Mott, 2006)

2.2.14 Bombas que operan en serie

Dirigir la salida de una bomba hacia la entrada de otra permite obtener la misma capacidad con una carga total igual a la suma de los valores de las dos. Este método permite operar contra cargas inusuales. (Mott, 2006)

2.2.15 Bombas de etapas múltiples

Es posible obtener un rendimiento similar al que se logra con el uso de bombas en serie, por medio del empleo de bombas de etapas múltiples como las bombas verticales de turbina. Se dispone de dos o más impulsores en la misma carcasa, de modo que el fluido pasa en forma sucesiva de uno al siguiente. Cada etapa incrementa la presión del fluido, por lo que se desarrolla una carga total elevada. (Mott, 2006)

2.2.16 Elección de la bomba

La naturaleza del fluido se caracteriza por su temperatura y condiciones de bombeo, gravedad específica, viscosidad y tendencia a corroer o erosionar las

partes de la bomba y su presión de vapor a la temperatura del bombeo. (Mott, 2006)

Para Mott (2006) al seleccionar una bomba se debe considerar los siguientes factores:

- Naturaleza del líquido a bombear.
- Capacidad requerida (flujo volumétrico).
- Condiciones del lado de succión de la bomba.
- Condiciones del lado de descarga de la bomba.
- Carga total sobre la bomba.
- Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido
- Tipo de fuente de potencia.
- Limitaciones de espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.
- Costos de adquisición e instalación de la bomba.
- Costos de operación de la bomba.
- Códigos y estándares gubernamentales.

Después de seleccionar la bomba según Mott (2006) debe especificarse lo siguiente:

- Tipo de Bomba su fabricante.
- Tamaño de la bomba
- Tamaño de la conexión de succión y su tipo.
- Tamaño y tipo de la conexión de descarga.
- Velocidad de operación.
- Especificaciones para el impulsor
- Tipo de acoplamiento, fabricante y número del modelo
- Detalles del montaje
- Materiales y accesorios especiales que se requieran
- Diseño y materiales del sello del eje.

2.3 TUBERÍAS

En esta sección se describirá diferentes tipos de tuberías más utilizados por la industria minera.

2.3.1 Tuberías de HDPE (High Density Poly Ethylene)

El HDPE o polietileno de alta densidad es el termoplástico con el que se está más familiarizado estos días, presente en botellas, juguetes, cascos, envases de cosméticos, etc. De hecho es el polímero sintético con mayor volumen de producción en todo el mundo; es inodoro, insípido y no tóxico. (ARISTEGUI)

La designación del material según la norma ISO 12162, tiene relación directa con el tipo de resina de acuerdo al nivel aplicable de resistencia mínima (MRS). Esta debe ser considerada en el diseño de tuberías HDPE en servicio a largo plazo mínimo 50 años y a 20°C. (CIDELSA, 2000)

El HDPE toma su denominación de sus siglas en inglés (High Density Polyethylene) y a veces es llamado PEAD (Polietileno de alta densidad), entre sus características están su ligereza, su flexibilidad y su alta resistencia a impactos. Los productos químicos, así como los ácidos no le provocan daño y también soporta agua por encima del centenar de grados. (DURATEC, 2016)

El uso de tuberías de este material es habitual para conducción de líquidos, su ventaja hace que se emplee además en la construcción, la minería, industria química y la pesca. (CIDELSA, 2000)

Las tuberías HDPE están diseñadas para trabajar enterradas a 20°C durante una vida útil de 50 años, con coeficientes mínimos de seguridad de 1.25 para condiciones de agua y 2.0 para gases, debido a su inercia química son resistentes a los ácidos inorgánicos (clorhídrico, sulfúrico), álcalis, detergentes, rebajadores de tensión, aceites minerales y productos de fermentación, el polietileno no conduce electricidad ya que es un aislante eléctrico, lo que evita que un sistema eléctrico pueda ser conectado a tierra por instalación de tuberías. Además son flexibles, admiten ser curvadas en frío lo cual acelera y abarata su instalación, que por otra parte es muy sencilla, ya que se adapta perfectamente a las irregularidades que pueda presentar el terreno. (CIDELSA, 2000)

El polietileno de alta densidad resiste prácticamente todos los elementos corrosivos de la industria minera y las tuberías se aplican en los rangos de temperatura que van desde los -40°C a 60°C y presiones de hasta 25 bares. (CIDELSA, 2000)

Están diseñadas para conducir fluidos a presión. Fabricadas desde 32mm hasta 2000 mm, ofrecen alternativas a problemas tradicionales minimizando costos de instalación y mantenimiento, en innumerables aplicaciones mineras, las tuberías HDPE han reemplazado a las tuberías de acero recubiertas con goma y las tuberías de acero inoxidable. (CIDELSA, 2000)

El HDPE se diferencia del polietileno de densidad convencional porque tiene un peso molecular superior, es más duro, fuerte y pesa más, además de ser menos dúctil. (DURATEC, 2016)

Para DURATEC (2016) las características más sobresalientes del HDPE son:

- Rápida instalación, gracias a su ligereza, el proceso de transporte, manipulación e instalación se acorta, además no hace falta maquinaria pesada para trasladarlo.
- Flexibilidad, se adaptan a cambios de dirección y curvas, por lo que no hacen accesorios o herramientas adicionales.
- Resistencia, aguantan cargas verticales debido a que transfieren la mayor parte de la carga al suelo que esta alrededor de la tubería. Esto debido a su pared exterior corrugada.
- Vida útil, resistente a los efectos de líquidos abrasivos, a los impactos y a otros agentes químicos, la vida útil de las tuberías HDPE es de 50 años.
- Seguridad, no emplean juntas, ya que las soldaduras se efectúan por termo fusión, con lo cual la seguridad de la instalación es completa
- Eficiencia, gracias a su interior liso, facilitan el flujo de líquido al interior de las tuberías de otros materiales. Además no acumula sedimentos e incrustaciones en su interior.



Figura 19: Tubería lisa de HDPE

Fuente: CIDELSA. (2000). Manual técnico de tubería HDPE

2.3.2 Tuberías de acero

Es frecuente construir con tuberías de acero las líneas de propósito general. Los tamaños estándar de tuberías se denominan por medio de su tamaño nominal y número de cedula. Los números de cedula están relacionados con la presión permisible de operación y el esfuerzo permisible en el acero en la tubería. El rango de número de cedula va de 10 a 160, y los más altos indican un espesor mayor de pared. Debido a que todas las cedulas de tubería de un tamaño nominal dado tienen el mismo diámetro exterior, las más grandes tienen un diámetro interior más pequeño. Al sistema de número de cedula también se le conoce como Iron Pipe Size (IPS). (Mott, 2006)

La materia prima con la que se hacen estas tuberías son bobinas de acero laminadas en caliente, el procedimiento de soldadura es SAW (soldadura por arco sumergido). El tipo de extremo o junta necesaria se decide de acuerdo al uso que se va a dar a la tubería, el transporte de estas tuberías se hace usando herramientas adecuadas para proteger los tubos y los revestimientos durante todo el proceso de transporte. (ALMESA, 2015)

Para ALMESA (2015) las características y propiedades más importantes de las tuberías de acero son:

- Habilidad para resistir cambios extremos de temperatura.
- Resistencia presión y elementos destructivos
- Ideales para cualquier industria
- Pueden tener cualquier forma (redonda, cuadrada o rectangular)
- Son fuertes, firmes y duraderas por que contienen aluminio, manganeso, titanio y tungsteno.
- Altamente resistentes
- Resistentes a la presión y a los impactos fuertes
- Alta capacidad de carga
- Estabilidad y larga duración
- Elasticidad
- Ductilidad

Dentro de las aplicaciones más comunes se tiene:

- Campo doméstico, donde pueden ser encontrados en electrodomésticos, tuberías de gas, entre otros.
- Campo industrial, las industrias prefieren utilizar los tubos de acero por sus características, ya que son valiosos por su fuerza y gran resistencia ante cambios extremos de temperatura.
- Campo automotriz, desde los años 90 se viene utilizando en las partes internas de autos, como en los controles, inyección de combustible y suspensión.

Las ventajas de uso de las tuberías de acero son:

- Conducción de petróleo
- Tuberías para conducción de agua
- Tuberías para conducción de gas
- Pilotes
- Pilotes industriales
- Estructuras de acero
- En refinerías para el transporte de hidrocarburos líquidos



Figura 20: Tubería de acero al carbón

Fuente: ALMESA. (2015). Tubería de acero al carbono

2.3.3 Tuberías de poliuretano

Las tuberías de poliuretano poseen una alta flexibilidad y adaptación a pequeños radios de curvatura, pueden ser fabricados en base a poliéster o poliéter. Posee buena resistencia a la temperatura desde -50°C a 80°C , puntas ocasionales de 100°C , punto de quebrado a -70°C , producto muy utilizado en sistemas neumáticos, incluso en instalaciones con espacios reducidos debido a la flexibilidad y manejabilidad del producto. Su elasticidad asegura una excelente resistencia torceduras, doblajes y aplastamientos. Mantiene una alta flexibilidad incluso en condiciones de bajas temperaturas y ofrece una gran posibilidad de utilización a diferentes grados, posee también alto poder amortiguador, excelente resistencia a la abrasión y cortes, buena resistencia química, diseñados para trabajar con una amplia gama de fittings en el sector industrial. (NIOCO, 2012)

Dentro de las aplicaciones más sobresalientes NIOCO (2012) considera:

- El poliuretano de base poliéster: Gran resistencia química y larga duración.
- El poliuretano de base poliéter: Gran resistencia a la humedad y ambientes salinos.

- Su resistencia a bajas temperaturas (soporta hasta -50°C), la excelente resistencia a la abrasión, al contacto con hidrocarburos, su óptimo rendimiento en hidrociclones y en válvulas de bombas de impulsión de lodo, hacen de este material el termo-rígido de mayor aplicación en distintas áreas de la industria.



Figura 21: Tubería de poliuretano

Fuente: NIOCO. (2012). Tubos de poliuretano PUR.

2.4 TIPOS DE VÁLVULAS,

2.4.1 Válvulas de retención:

Según COMEVAL (2014) Son aquellas que accionadas por la propia presión del fluido permiten el paso del mismo e impiden el retroceso del mismo hacia la parte presurizada cuando la presión del sistema cesa. Son válvulas unidireccionales que abren en un sentido del flujo y son cerradas en el sentido opuesto del flujo. Existen diversos tipos de válvulas de retención en función de su diseño y básicamente la utilización de ellas depende de ciertos factores ya que todas cumplen la misma función por ejemplo conexiones a tuberías, materiales constructivos, naturaleza del fluido, etc. son:

2.4.1.1 Válvula de retención de tipo clapeta oscilante

El obturador es un disco retenido por un eje y situado en posición vertical o inclinada el cual abre por movimiento de oscilación causado por el flujo. En las

clapetas el eje de giro está en un extremo, en las de disco oscilante en un punto intermedio. (COMEVAL, 2014)

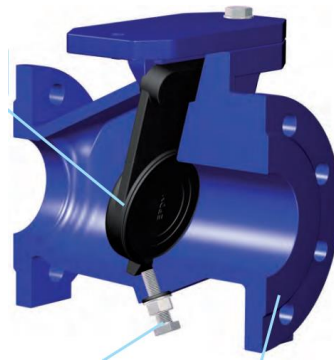


Figura 22: Válvula de retención tipo clapeta oscilante

Fuente: COMEVAL. (2014). Válvulas de retención.

2.4.1.2 Válvula de retención de disco oscilante

Con movimiento de apertura y cierre axial en el mismo plano, con un disco guiado, construcción de tipo Wafer. (COMEVAL, 2014)

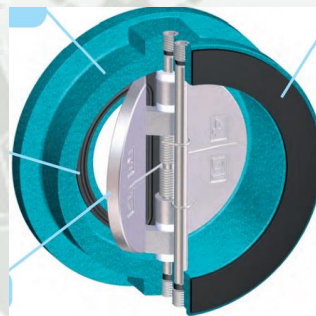


Figura 23: Válvula de retención de disco oscilante

Fuente: COMEVAL. (2014). Válvulas de retención.

2.4.1.3 Válvula de retenciones de tipo pistón

Un disco reforzado con muelle y sujeto por un pasador permite el paso del fluido desde abajo hacia arriba cuando existe presión en el sistema. (COMEVAL, 2014)



Figura 24. Válvula de retención de tipo pistón

Fuente: COMEVAL. (2014). Válvulas de retención.

2.4.1.4 Válvula de retención de bola

El órgano de cierre es una bola calibrada revestida de caucho la cual cae por gravedad al despresurizarse el sistema provocando el cierre. (COMEVAL, 2014)

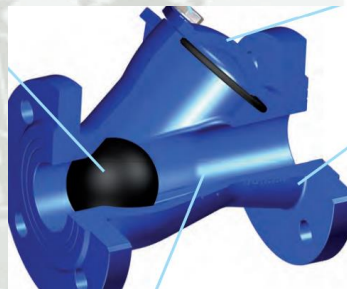


Figura 25: Válvula de retención de bola

Fuente: COMEVAL. (2014). Válvulas de retención.

2.4.2 Válvulas de venteo:

Las ventosas son dispositivos mecánicos sencillos, imprescindibles en todo tipo de redes de distribución de agua, cuya misión es asegurar el correcto funcionamiento de las tuberías, regulando la cantidad de aire libre que existe en el interior de las mismas. (Serrano, 2011)

Las ventosas según Serrano (2011) son dispositivos automáticos que permiten el paso del aire desde la tubería a la atmósfera o de la atmósfera a la tubería, según que la presión en esta sea superior o inferior a la presión atmosférica. Así pues las ventosas tienen las siguientes misiones:

- Expulsar el aire del interior de la tubería o permitir que entre desde el exterior.
- Extraer el aire de las conducciones e impedir su entrada.
- Permitir la entrada de aire del exterior a las conducciones pero evitar su expulsión.



Figura 26: Válvula de venteo

Fuente: Serrano, J. (2011). Ventosas-Uralita sistema de tuberías

2.4.2.1 Purgador o ventosa de pequeño orificio o de alta presión

Tienen un orificio de salida de aire de pequeño diámetro, no mayor de 12 mm y su misión es evacuar las pequeñas burbujas que se liberan durante el normal funcionamiento de las tuberías, por tanto, evacuan pequeñas cantidades de aire a la presión de funcionamiento de la instalación. Aunque este tipo también permite la entrada del aire del exterior, lo hace en tan pequeñas cantidades que este efecto es despreciable. (Serrano, 2011)

2.4.2.2 Ventosa de gran orificio o de baja presión

Estas tienen un orificio de grandes dimensiones, de 25 a 400 mm de diámetro, de manera que permite la salida de grandes cantidades de aire, cuando la instalación se llena y así mismo la entrada de grandes cantidades de aire, cuando

las tuberías se vacían, voluntaria o accidentalmente debido a rotura de las mismas. Por tanto, estas ventosas se utilizan para el llenado y el vaciado de las conducciones. (Serrano, 2011)

2.4.3 Válvulas de control de presión

El principio de operación de estas válvulas está basado en el deslizamiento lineal del pistón de cierre a través de dos casquillos de diferentes diámetros que, firmemente conectados al cuerpo, forman una cámara de estanqueidad llamada cámara de compensación de la presión aguas-abajo y aguas-arriba. (COMEVAL, 2014)

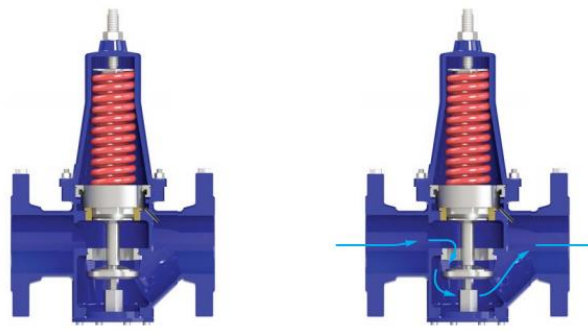


Figura 27: Válvula control de presión

Fuente: COMEVAL (2014). Válvulas de control de presión de acción directa

2.4.4 Válvulas de control de globo

Son de diseño convencional con husillo exterior y puente y superficies de cierre metálicas. Son válvulas unidireccionales y de segura operación ampliamente utilizadas en la industria energética, química y del petróleo. El flujo entra por debajo del disco en sentido favorable. Su diseño “Top Entry” permite el mantenimiento de las partes desmontando el bonete superior. La empaquetadura del eje es de grafito flexible y la junta de unión de acero inoxidable con fibra de grafito. Las válvulas se operan mediante un ergonómico volante manual, pero pueden ser provistas también de reductores y actuadores diversos. (COMEVAL, 2014)



Figura 28: Válvula de Globo

Fuente: COMEVAL. (2014). Válvulas de globo

2.5 ANÁLISIS TÉCNICO

El análisis técnico es el estudio del comportamiento del inversor y su efecto sobre los movimientos de precios en el mercado. Los movimientos hacia arriba y hacia abajo que se pueden ver en los gráficos de precios reflejan las fluctuaciones entre la oferta y la demanda. Los analistas examinan estas figuras de subida y bajada para identificar la tendencia que crean y, de esta forma calcular los posibles movimientos futuros del mercado. (Caicedo & Gaviria, 2010)

El análisis técnico es un término comúnmente usado para definir y englobar todo lo concerniente al análisis basado en la utilización de gráficos, si bien, es una técnica que toma como base las cotizaciones, pero que, a través de procedimientos matemáticos, estadísticos y modelos econométricos, pretende presentar indicadores que eliminen la subjetividad generada por la interpretación de los gráficos y servir de apoyo y mejora en el objetivo de predecir la evolución de cotizaciones. (Mateu Gordon, 2008)

Para Caicedo & Gaviria (2010) un análisis técnico esta técnica debe ser utilizada para prever la dirección futura de las cotizaciones mediante el estudio de datos de los mercados, principalmente de las cotizaciones, los volúmenes y el interés abierto; el análisis técnico es una de las principales herramientas disponibles para prever el comportamiento de los mercados financieros. Se ha demostrado que es

una herramienta eficaz para los inversores y cada vez recibe más aceptación entre los integrantes de los mercados

2.6 ANÁLISIS DE DIÁMETRO ECONÓMICO

Se sabe que un menor diámetro tiene menor costo que uno mayor, sin embargo un diámetro menor produce mayores pérdidas de fricción debido a la velocidad, lo que conlleva a mayor gasto de energía en la bomba, el diámetro económico es aquel que en el que la suma del costo de adquisición y costo de operación de la bomba sea el mínimo.

Para el diseño de un sistema de bombeo los ingenieros hidráulicos usaban fórmulas como la de Bresse.

$$D = 1.5 * Q^2$$

Esta fórmula sin embargo no considera costos de adquisición ni de operación, solo dimensiona el diámetro para que se obtengan velocidades bajas de conducción.

En este documento se estudiaron no solo tuberías que entreguen velocidades bajas (0.6 m/s) de conducción, si no, también se hizo análisis de tuberías con velocidades medias (1.8 m/s) y altas (3.0 m/s) para poder dar un enfoque adecuado de cuál es la solución más económica. Es decir se analiza diferentes diámetros para diferentes configuraciones de bomba.

2.7 GOLPE DE ARIETE

2.7.1 Descripción del golpe de ariete

El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, es decir, básicamente es una variación de presión, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad. El valor de la sobrepresión debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar las tuberías, mientras que, en general, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños. No obstante, si el valor de la depresión iguala a la tensión de vapor del líquido se producirá cavitación, y al

llegar la fase de sobrepresión estas cavidades de vapor se destruirán bruscamente, pudiendo darse el caso, no muy frecuente, de que el valor de la sobrepresión producida rebase a la de cálculo, con el consiguiente riesgo de rotura. Los principales elementos protectores en este caso serían las ventosas. (Mendiluce, 1987)

2.7.1.1 Descripción del fenómeno en abastecimientos por gravedad

Si el agua se mueve por una tubería con una velocidad determinada y mediante una válvula se le corta el paso totalmente, el agua más próxima a la válvula se detendrá bruscamente y será empujada por la que viene detrás. Como el agua es algo compresible, empezará a comprimirse en las proximidades de la válvula, y el resto del líquido comprimirá al que le precede hasta que se anule su velocidad. Esta compresión se va trasladando hacia el origen conforme el agua va comprimiendo al límite la que le precede, de manera que al cabo de un cierto tiempo toda el agua de la tubería está en estas condiciones, concluyendo la primera etapa del golpe de ariete. En definitiva, se forma una onda de máxima compresión que se inicia en las proximidades de la válvula y se traslada al origen. La energía cinética que lleva el agua se transforma en energía de compresión. Cuando el agua se detiene, ha agotado su energía cinética y se inicia la descompresión en el origen de la conducción trasladándose hacia la válvula, y por la ley pendular esta descompresión no se detiene en el valor de equilibrio, sino que lo sobrepasa para repetir el ciclo. Esta descompresión supone una depresión, que retrocede hasta la válvula para volver a transformarse en compresión, repitiendo el ciclo y originando en el conducto unas variaciones ondulatorias de presión que constituyen el golpe de ariete. En definitiva, se producen transformaciones sucesivas de energía cinética en energía de compresión y viceversa, comportándose el agua como un resorte. (Mendiluce, 1987)

2.7.1.2 Descripción del fenómeno en impulsiones

En una impulsión, la parada brusca de motores produce el mismo fenómeno, pero al contrario, es decir, se inicia una depresión aguas arriba de la bomba, que se traslada hacia el final para transformarse en compresión que retrocede a la

bomba. En efecto, cuando se produce la parada del grupo de bombeo, el fluido, inicialmente circulando con velocidad v , continuará en movimiento a lo largo de la tubería hasta que la depresión a la salida del grupo ocasionada por la ausencia de líquido (el que avanza no es repuesto, no es “empujado”), provoque su parada. En estas condiciones, viaja una onda depresiva hacia el depósito, que además va deteniendo el fluido, de tal manera que al cabo de un cierto tiempo toda la tubería está bajo los efectos de una depresión y con el líquido en reposo. Ha concluido la primera etapa del golpe de ariete. Como la presión en el depósito es siempre superior a la de la tubería, que se encuentra bajo los efectos de la depresión, se inicia un retroceso del fluido hacia la válvula de retención con velocidad $-v$. Con el agua a velocidad de régimen, pero en sentido contrario, nuevamente se tiene la presión de partida en la tubería, de manera que al cabo de un cierto tiempo toda ella estará sometida a la presión inicial y con el fluido circulando a velocidad $-v$. El inicio de la tercera fase es una consecuencia del choque del líquido contra la válvula de retención. El resultado es un brusco aumento de presión y una detención progresiva del fluido, de modo que al cabo de un cierto tiempo todo el líquido de la tubería está en reposo y la conducción sometida a una sobrepresión de la misma magnitud que la depresión inicial. Esta tercera fase del golpe de ariete en una impulsión es semejante a la primera fase en el caso de abastecimientos por gravedad. En la cuarta fase comienza la descompresión, iniciándose de nuevo el movimiento, por lo que al cabo de un tiempo la situación es idéntica a la que teníamos al principio. Comienza un nuevo ciclo. (Mendiluce, 1987)

Tanto como para abastecimientos por gravedad o como para las impulsiones la duración de cada una de estas se fase se puede determinar con la fórmula:

$$t = \frac{L}{a}$$

Donde t es el tiempo de onda, L la longitud de tubería y a la celeridad

2.7.2 Valor de la celeridad:

La celeridad es la velocidad de propagación de una onda de presión a través del agua contenida en la tubería, se establece con la ecuación de Allievi que es una ecuación cuando el fluido circulante es agua. (Mendiluce, 1987)

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K * \frac{D}{e}}}$$

Donde D es el diámetro interior de la tubería, e espesor de la tubería y K es un coeficiente en función del módulo de elasticidad (ϵ) del material constitutivo de la tubería, que representa principalmente el efecto de la inercia del grupo motobomba, cuyo valor es:

$$K = \frac{10^{10}}{\epsilon}$$

2.7.3 Tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas. Cierre lento y cierre rápido.

Se define el tiempo (T) como el intervalo entre el inicio y el término de la maniobra, sea cierre o apertura, total o parcial, ya que durante este tiempo se produce la modificación del régimen de movimiento del fluido. Este concepto es aplicable tanto a conducciones por gravedad como a impulsiones, conociéndose en el primer caso como tiempo de cierre de la válvula y como tiempo de parada en el segundo. El tiempo de cierre de una válvula puede medirse con un cronómetro, es un tiempo físico y real, fácilmente modificable, por ejemplo, con des multiplicadores, cambiando la velocidad de giro en válvulas motorizadas, etc. Por el contrario, en el caso de las bombas, el tiempo de parada no puede medirse de forma directa y es más difícil de controlar. En resumen, en las conducciones por gravedad, el cierre de la válvula se puede efectuar a diferente ritmo, y por tanto, el tiempo T es una variable sobre la que se puede actuar, pero en las impulsiones el tiempo de parada viene impuesto y no es posible actuar sobre él, salvo adicionando un volante al grupo motobomba o un sistema similar. Mendiluce (1987) propone la siguiente expresión para el cálculo del tiempo de parada:

$$T = C + \frac{K * L * v}{g * H_m}$$

Donde L es la longitud de la conducción, v es la velocidad del agua, g es la aceleración de la gravedad, Hm es la altura proporcionada por el grupo de bombeo y C,K son coeficientes de ajuste empíricos.

El coeficiente C es función de la pendiente hidráulica. Toma el valor C=1 para pendientes hidráulicas crecientes de hasta el 20%, y se reduce progresivamente a partir de este valor hasta hacerse cero para pendientes del 40%. Pendientes superiores al 50% implican paradas muy rápidas, aconsejándose considerar el golpe de ariete máximo de Allievi en toda la longitud de la tubería.

$\frac{Hm}{L} < 0.20$	$C = 1$
$\frac{Hm}{L} > 0.40$	$C = 0$
$\frac{Hm}{L} = 0.30$	$C = 0.6$

Tabla 2: Valores del coeficiente empírico “C”

El coeficiente K depende de la longitud de la tubería y puede obtenerse a partir de la gráfica o de la tabla siguientes, propuestas por Mendiluce (1987). Este autor recomienda la utilización de los valores de K redondeados recogidos en la tabla, ya que ha comprobado que las pequeñas diferencias respecto a la gráfica tienen una repercusión despreciable en el golpe de ariete y siempre del lado de la seguridad, y es de más sencillo manejo.

L	K
$L < 500$	2
$L = 500$	1.75
$500 < L < 1500$	1.5
$L = 1500$	1.25
$L > 1500$	1

Tabla 3: Valores del coeficiente empírico “K”

Puesto que “L” es la longitud de la tubería y “a” la celeridad que es la velocidad de propagación de la onda de presión, $\frac{2L}{a}$ será el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa. Por lo tanto, si $T > \frac{2L}{a}$, la maniobra ya habrá concluido cuando se produzca el retorno de la onda de presión y tendremos un cierre rápido, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería. Sin embargo, si $T < \frac{2L}{a}$, estaremos ante un cierre lento y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima, ya que la primera onda positiva reflejada regresa antes de que se genere la última negativa. (Mendiluce, 1987)

$$T < \frac{2L}{a} \text{ Cierre rápido}$$

$$T > \frac{2L}{a} \text{ Cierre lento}$$

2.7.4 Cálculo del golpe de ariete.

Se debe definir la longitud crítica “L_c” que es la distancia que separa el final de la impulsión del punto crítico o de coincidencia:

$$L_c = \frac{aT}{2}$$

Si $L < L_c$ y $T > \frac{2L}{a}$ se define como una impulsión corta de cierre lento y la sobrepresión del golpe de ariete se calcula con la fórmula propuesta por Michaud:

$$\Delta P = \frac{2Lv}{gT}$$

Donde L es la longitud de la tubería, v la velocidad, T el tiempo de cierre o parada y g la aceleración de la gravedad.

Si $L > L_c$ y $T < \frac{2L}{a}$ se define como una impulsión larga de cierre rápido y la sobrepresión del golpe de ariete se calcula con la fórmula propuesta por Allievi:

$$\Delta P = \frac{av}{g}$$

Donde v la velocidad, a la celeridad de la onda y g la aceleración de la gravedad.

3 CAPITULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO

En el presente capítulo se desarrolla la ingeniería del sistema de bombeo de Quebrada Honda, también se detalla la metodología usada y una explicación del software Pipe Flow Expert v6.38.

3.1 DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La Figura 29: Esquema de bombeo directo contra la red muestra el diseño conceptual del sistema de bombeo de agua directo contra la red.

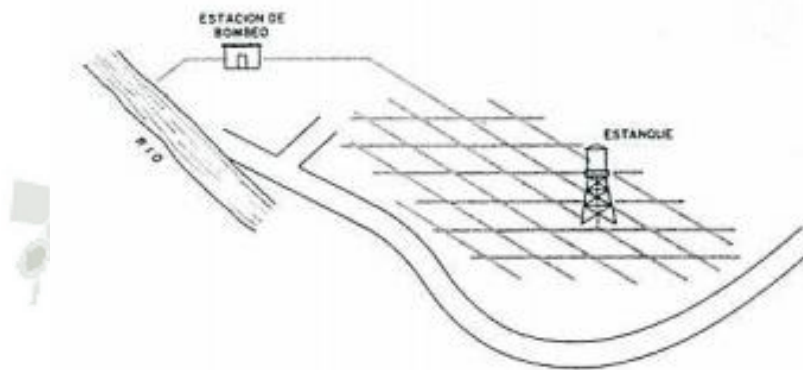


Figura 29: Esquema de bombeo directo contra la red

Fuente: Arocha, S. (1985). Abastecimiento de agua

3.1.1 Descripción del sistema

Se consideró un solo sistema para todas las áreas que requieran agua para sus procesos, el bombeo es directamente desde la presa a las zonas.

Los cálculos además consideran diferentes escenarios de ubicación de las bombas de acuerdo al crecimiento del espejo de agua de la presa de relave como se muestra en la Tabla 17: Altura del espejo de agua de la presa de relave a través de los años

El crecimiento del espejo de agua de la presa de relave depende fundamentalmente de 2 factores: El primero es los desechos que se depositan en la presa que de acuerdo a la gente de procesos es de 2.5 m³/s los cuales están compuestos en un 40% de sólidos y en un 60% de líquidos y de la precipitación que ocurre en la zona, para estimar correctamente estos valores se usó de apoyo

las estaciones de Locumba, Sama Grande y Moquegua ubicadas en el departamento de Tacna y Moquegua, los valores de dichas estaciones se encuentran en el ANEXO 4 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN LOCUMBA, ANEXO 5 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN SAMA GRANDE y ANEXO 6 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN MOQUEGUA; la ubicación de las estaciones base se encuentran en la Tabla 5: Estaciones base del proyecto, los valores del área de la cuenca y su perímetro se encuentran en el PLANO N° 006 – ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PRESA.

3.1.1.1 Parámetros Geomorfológicos

- **Área de la cuenca de la presa de relave:** 235,38 Km²
- **Perímetro de la cuenca de la presa de relave:** 119887,79 m
- **Área de la presa de relave:** 11,13 Km²
- **Tiempo de concentración:** El tiempo de concentración se calculó por el promedio aritmético del método de Kirpich, el método de California Culvuters Practice y el método de Giandotti.

Tiempo de concentración por el método de Kirpich:

$$T_c = 0.06628 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde “Tc” es el tiempo de concentración (h), “L” la longitud del cauce principal (Km) y “S” la pendiente del cauce principal.

Tiempo de concentración por el método de California Culvuters Practice:

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

Donde “Tc” es el tiempo de concentración (min), “L” la longitud del cauce principal (m) y “H” desnivel del cauce principal (m).

Tiempo de concentración por el método de Giandotti:

$$T_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1.5 * L}{25.3 \sqrt{S * L}}$$

Donde “Tc” es el tiempo de concentración (h), “L” la longitud del cauce principal (Km) y “A” área de la cuenca (km²).

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

FORMULA DE KIRPICH	4.406	h.
MÉTODO DE CALIFORNIA CULVERTS PRACTICE	4.411	h.
MÉTODO DE GIANDOTTI	3.321	h.
PROMEDIO	4.05	h.
	242.79	min.

Tabla 4: Tiempo de concentración del proyecto

3.1.1.1.1 Información pluviométrica

Se determinó la probabilidad de ocurrencia y una distribución en el tiempo de una tormenta el cual se realizó gracias al hietograma de lluvia del proyecto.

La información pluviométrica constituye parámetros aleatorios, sin embargo los datos históricos son la fuente ideal para un análisis estadístico.

La serie de precipitaciones máximas de 24 horas se encuentran en el ANEXO 4 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN LOCUMBA, ANEXO 5 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN SAMA GRANDE y ANEXO 6 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN MOQUEGUA

Las estaciones utilizadas en este proyecto fueron:

ESTACIONES BASE			
ESTACIÓN	COTA ESTE (m)	COTA NORTE (m)	ALTITUD (msnm)
LOCUMBA	19K314291	8051335	616
SAMA GRANDE	19K342236	8033098	534
MOQUEGUA	19K294540	8100708	1450
CG CUENCA	19K310438	8088224	2025

Tabla 5: Estaciones base del proyecto

Esta tesis abordó el problema de inundación que podría presentarse en el área de estudio para lo cual se determinó la siguiente información:

- Hietograma de diseño o tormenta de diseño asociada a una probabilidad de ocurrencia (periodo de retorno), es decir la precipitación que podría ocurrir y su distribución en el tiempo durante la duración de la tormenta.
- La escorrentía de acuerdo a las características de la impermeabilización de la superficie de la cuenca de la presa para determinar el caudal máximo de diseño.

Se analizó la información para ver si era homogénea o libre de saltos por el método propuesto por Water Resources Council.

N°	Año	EST. LOCUMBA			EST. SAMA GRANDE			EST. MOQUEGUA		
		P max (mm)	Y=Log(P max)	(Y1-Y)^3	P max (mm)	Y=Log(P max)	(Y1-Y)^3	P max (mm)	Y=Log(P max)	(Y1-Y)^3
1	1997	1.80	0.26	-3.02	5.60	0.75	-5.38	9.40	0.97	-0.15
2	1998	1.20	0.08	-4.26	4.70	0.67	-6.11	2.90	0.46	-1.12
3	1999	0.30	-0.52	-10.98	2.50	0.40	-9.29	4.40	0.64	-0.63
4	2000	1.20	0.08	-4.26	3.00	0.48	-8.28	6.00	0.78	-0.38
5	2001	1.10	0.04	-4.56	0.60	-0.22	-20.16	9.30	0.97	-0.15
6	2002	1.50	0.18	-3.54	2.00	0.30	-10.63	7.80	0.89	-0.22
7	2004	0.15	-0.84	-16.34	1.16	0.07	-14.43	4.60	0.66	-0.59
8	2008	0.30	-0.52	-10.98	1.00	0.00	-15.63	5.00	0.70	-0.51
9	2009	0.40	-0.40	-9.23	2.10	0.32	-10.33	1.20	0.08	-2.87
10	2010	0.70	-0.15	-6.38	1.00	0.00	-15.63	4.30	0.63	-0.65
11	2011	2.50	0.40	-2.21	2.00	0.30	-10.63	5.40	0.73	-0.45
12	2012	3.30	0.52	-1.65	2.80	0.45	-8.65	11.30	1.05	-0.09
13	2013	2.00	0.30	-2.74	2.00	0.30	-10.63	4.30	0.63	-0.65
14	2014	0.20	-0.70	-13.81	5.50	0.74	-5.45	1.50	0.18	-2.32
15	2015	1.60	0.20	-3.35	7.70	0.89	-4.20	15.60	1.19	-0.03
16	2016	0.20	-0.70	-13.81	2.30	0.36	-9.78	3.30	0.52	-0.95

Tabla 6: Datos de análisis dudosos

El valor de la desviación estándar se calcula con la siguiente formula:

$$S_y = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2 \right)^{1/2}$$

El valor del coeficiente de asimetría se calcula con la siguiente formula:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^3}{(n-1)(n-2)S_y^3}$$

El valor del umbral de datos dudosos altos se calcula con la siguiente formula

$$Y_H = Y + K_n * S_y$$

El valor del umbral de datos dudosos bajos se calcula con la siguiente formula

$$Y_H = Y - K_n * S_y$$

VARIABLES	MÉTODO DE WATER RESOURCES COUNCIL		
	LOCUMBA	SAMA	MOQUEGUA
n	16	16	16
\bar{Y}	-0.111	0.325	0.671
DESV EST.	0.438	0.304	0.297
COEF. ASIM.	-85.111	-27.919	-2.142
K_n	2.279	2.279	2.279
YH	0.887	1.019	1.347
YL	-1.110	-0.368	-0.006
QH	7.712	10.438	22.220
QL	0.078	0.428	0.987

Tabla 7: Metodo de Water Resources Council

De este análisis se verifico que los datos tenían consistencia y estaban libres de saltos.

3.1.1.2 Cálculo de la ecuación de influencia en la cuenca de la presa.

Se procedido a hacer el cálculo de la ecuación de regresión y la ecuación de precipitación corregida.

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD MEDIA msnm	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL mm	ECUACIÓN DE REGRESIÓN				PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL CORREGIDA mm
			$P = (B_0 + B_1 * H)^{(1/2)}$				
			X^2	Y^2	$X * Y^2$	Y^4	
LOCUMBA	616.00	2.56	3.79E+05	6.57E+00	4.05E+03	4.32E+01	7.68
SAMA	534.00	10.18	2.85E+05	1.04E+02	5.54E+04	1.08E+04	7.49
MOQUEGUA	1,450.00	9.65	2.10E+06	9.32E+01	1.35E+05	8.69E+03	9.41
SUMA	2,600.00	22.40	2.77E+06	2.03E+02	1.95E+05	1.95E+04	24.57
n	3	3	3	3	3	3	3
PROMEDIO	866.67	7.47	9.22E+05	6.78E+01	6.49E+04	6.50E+03	8.19

Tabla 8: Calculo de la ecuación de regresión

El coeficiente independiente de la fórmula de regresión se calcula con la expresión:

$$B_0 = \frac{\sum y^2 - \left(\frac{\sum x * \sum y^2}{n} \right) * \sum x}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

El coeficiente dependiente de la fórmula de regresión se calcula con la expresión:

$$B_1 = \frac{\sum y^4 - \frac{\sum x * \sum y^2}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

VALORES DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN		
COEF. INDEPENDIENTE	B0	3.71E+01
COEF. DEPENDIENTE	B1	0.04

Tabla 9: Valores de parámetros de la fórmula de regresión

ESTACIÓN	ALTITUD (msnm)	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL CORREGIDA(mm)
C.G. CUENCA QUEBRADA HONDA	2,025.00	10.44

Tabla 10: Precipitación media anual corregida en la cuenca de Quebrada Honda

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1997	4.19	1.36	6.17	0.00	1.23	0.18	0.87	1.72	3.27	0.44	0.72	0.91	21.05
1998	3.94	1.64	0.09	0.41	0.00	0.18	0.05	0.61	0.26	0.09	0.09	2.29	9.66
1999	0.00	1.34	2.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.26	0.25	0.23	1.01	5.71
2000	5.08	3.45	0.29	0.09	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.28
2001	0.00	6.68	1.02	0.97	0.97	0.97	0.00	0.09	0.11	0.00	0.00	0.00	10.79
2002	0.34	4.48	1.99	0.18	0.00	0.00	2.62	0.18	0.18	0.18	0.00	0.29	10.43
2004	1.38	2.64	0.00	0.00	0.00	0.18	0.69	0.18	0.20	0.00	0.00	0.02	5.29
2008	2.70	0.29	2.87	0.00	0.00	0.24	0.00	0.36	0.18	0.00	0.00	0.12	6.77
2009	0.00	0.93	0.24	0.00	0.00	0.37	0.66	0.00	0.18	0.18	0.54	0.35	3.44
2010	2.47	0.60	0.00	0.77	0.00	1.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	4.93
2011	3.15	6.30	0.00	0.00	0.00	0.71	1.20	0.32	0.26	0.18	0.18	0.66	12.95
2012	8.31	6.36	0.52	6.35	0.00	0.18	0.39	0.68	0.56	0.49	0.00	0.99	24.81
2013	1.54	3.51	2.83	0.00	1.54	0.00	0.32	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	10.09
2014	0.86	0.00	0.46	0.00	0.00	1.21	0.00	0.11	0.44	0.00	0.53	0.54	4.14
2015	2.49	2.80	11.97	0.05	0.00	0.00	1.50	3.29	0.77	0.91	0.14	0.46	24.38
2016	0.40	1.98	0.00	0.00	0.00	0.18	0.24	0.00	0.00	0.00	0.02	0.42	3.24
Media	2.30	2.77	1.94	0.55	0.23	0.36	0.53	0.50	0.42	0.17	0.15	0.50	10.44
Máxima	8.31	6.68	11.97	6.35	1.54	1.21	2.62	3.29	3.27	0.91	0.72	2.29	24.81

Mínima	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.24
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabla 11: Precipitación máxima de 24 horas en la cuenca de la presa

3.1.1.3 Selección del periodo de retorno

El Manual de hidrología, hidráulica y drenaje sugiere un periodo de retorno para estructuras de encausamiento de 2 a 50 años, sin embargo por ser este proyecto para la industria minera se eligió un periodo de 200 años.

3.1.1.4 Estadística aplicada a la hidrología

La finalidad de esta es sección fue calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria se distribuya según cierta función de probabilidades usando el software HYFRAN v1.1.

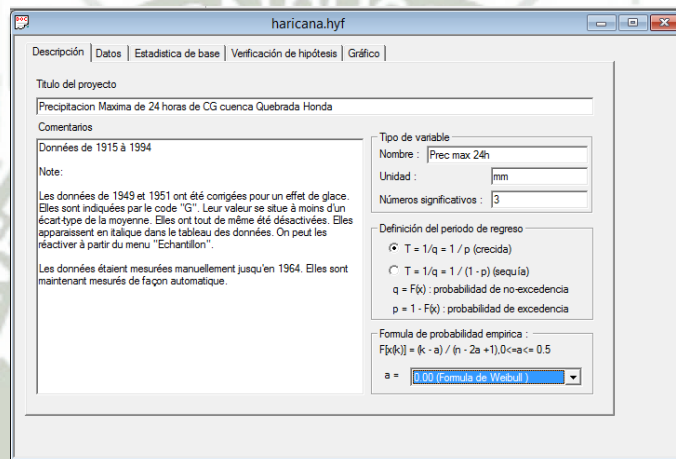


Figura 30: Ventana de dialogo inicial software HYFRAN v1.1

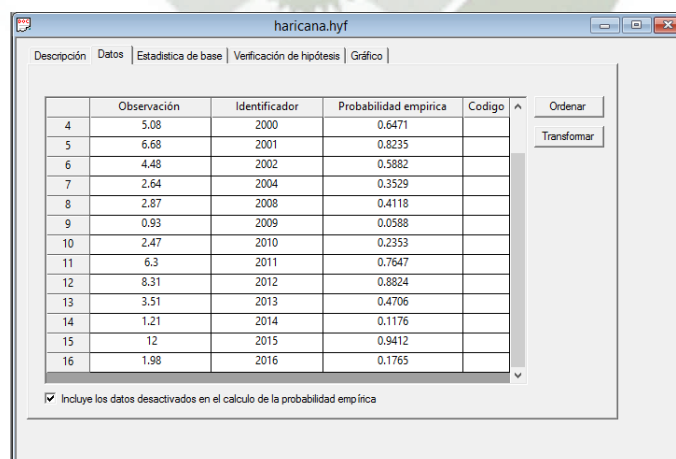


Figura 31: Introducción de datos de precipitaciones máximas de 24 horas

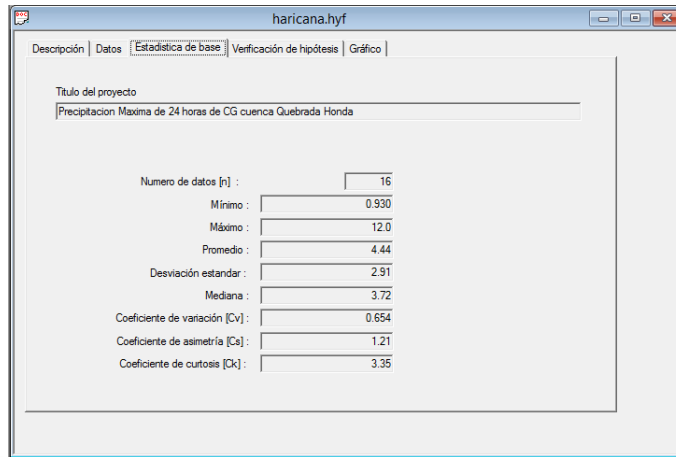


Figura 32: Estadística base de datos de precipitaciones máximas de 24 horas

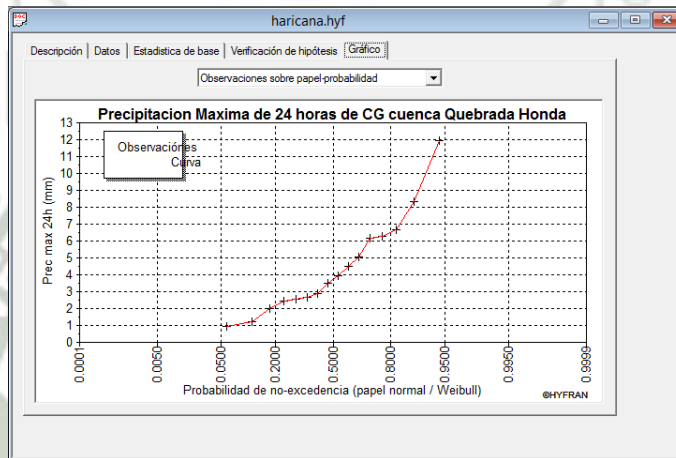


Figura 33: Curva de observaciones de datos de precipitaciones máximas de 24 horas

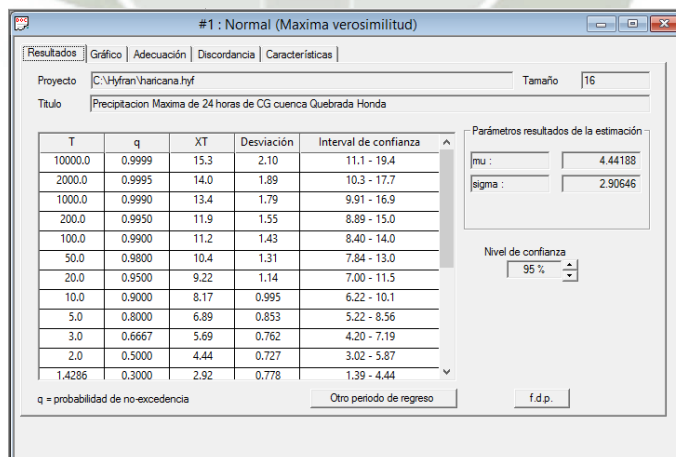


Figura 34: Distribución Normal de máxima verosimilitud

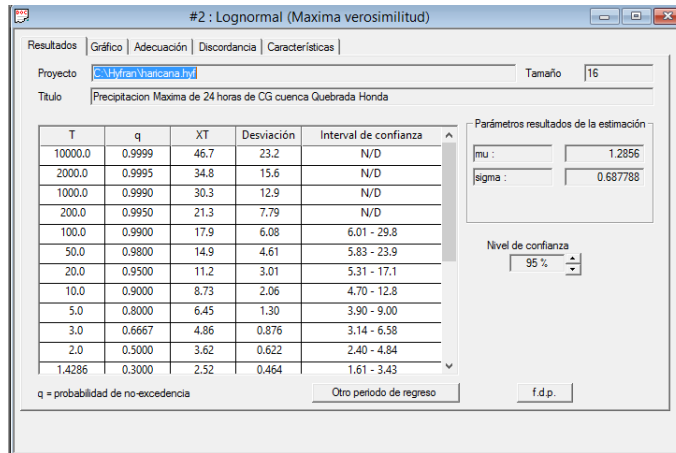


Figura 35: Distribución Log-normal (máxima verosimilitud)

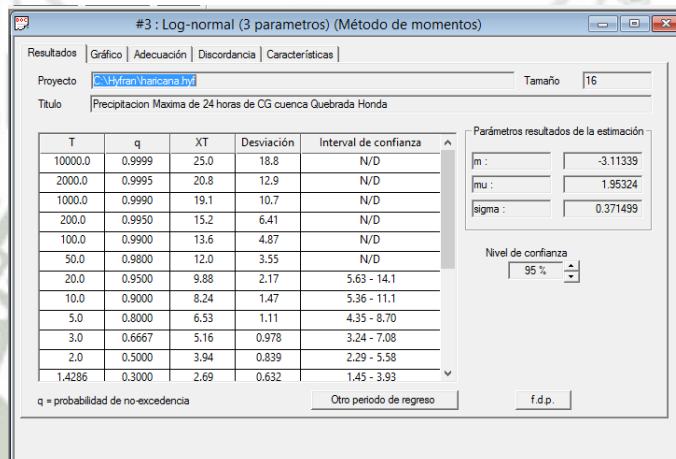


Figura 36: Distribución Log-normal 3 parámetros (máxima verosimilitud)

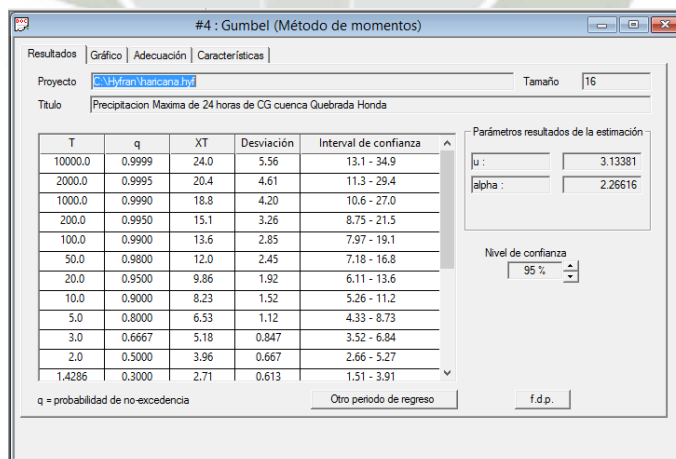


Figura 37: Distribución Gumbel (Método de momentos)

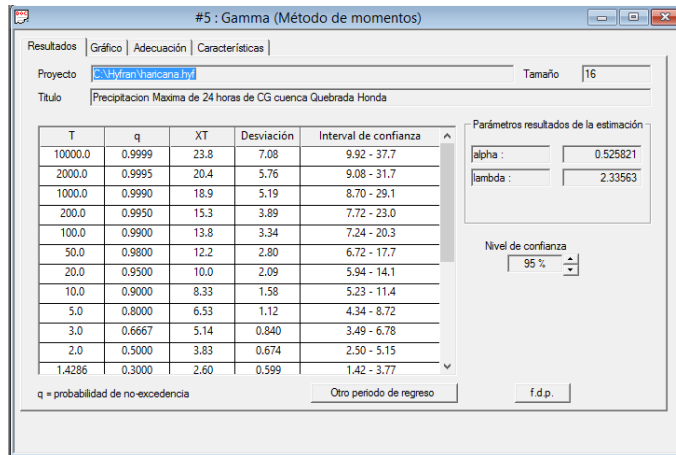


Figura 38: Distribución Gamma (Método de momentos)

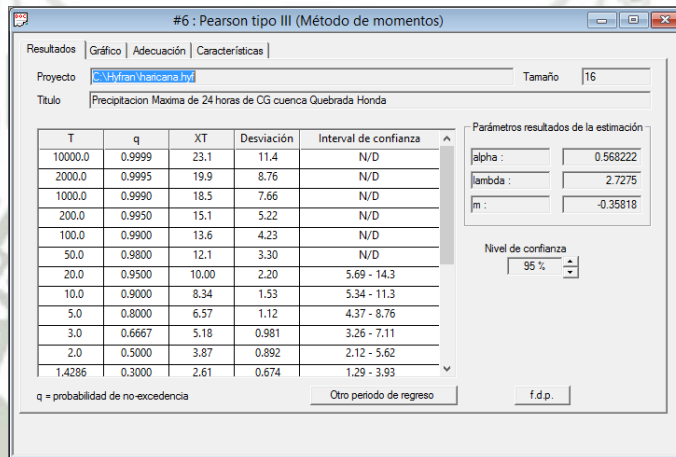


Figura 39: Distribución Pearson tipo III (Método de momentos)

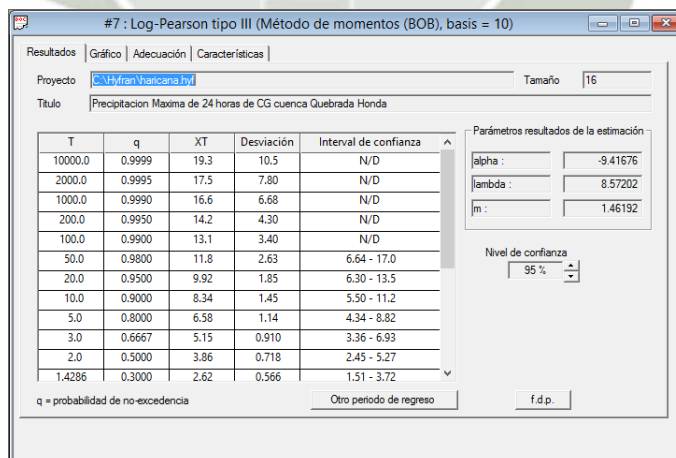


Figura 40: Distribución Log-Pearson tipo III (Método de momentos)

Criterios de comparación de las distribuciones

Período de retorno $T=200$ ¡ADVERTENCIA!: El sistema de ayuda para la decisión (criterios de comparación, tal y como se indica en el menú de HYFRAN) está todavía en desarrollo. Así, deberá ser utilizado solamente como título indicativo.

Tamaño de la muestra $n=16$

Modelo	Nb. param.	XT	P(M)	P(M x)	BIC	AIC
Gamma (Método de momentos)	2	15.347	14.29	31.30	79.010	77.465
Lognormal (Maxima verosimilitud)	2	21.274	14.29	29.72	79.114	77.569
Gumbel (Método de momentos)	2	15.135	14.29	16.93	80.239	78.694
Log-Pearson tipo III (Método de momentos (B	3	14.249	14.29	8.37	81.649	79.331
Pearson tipo III (Método de momentos)	3	15.108	14.29	6.46	82.166	79.848
Log-normal (3 parametros) (Método de mom	3	15.249	14.29	4.76	82.778	80.461
Normal (Maxima verosimilitud)	2	11.930	14.29	2.46	84.093	82.548

P(M): Probabilidad a priori P(M|x): Probabilidad a posteriori (método de Schwartz) P(M): Probabilidad a priori AIC: criterio de información de Akaike

Promedio ponderado para la probabilidad A posteriori de los cuantiles: 16.8755

OK Impresión

Figura 41: Comparación de las distribuciones para un periodo de retorno de 200 años

Para la selección del método estadístico apropiado se recomienda el uso de distribuciones de tres parámetros, por tal motivo el modelo de distribución utilizado en el proyecto es el de Log-Pearson tipo III (Método de momentos).

3.1.1.5 Hietograma de diseño

Se utilizó la ecuación de Dick Peschke, que relaciona la duración y la precipitación máxima de 24 horas.

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

Donde “Pd” es la precipitación total (mm), “P24h” es la precipitación máxima en 24 horas (mm) y “d” la duración (min).

Para ver el comportamiento de la lluvia se usó el método del bloque alterno.

T	P. Max (mm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
2	3.86	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3
3	5.15	1.5	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0	3.1
5	6.58	1.9	2.3	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9
10	8.34	2.4	2.9	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0
20	9.92	2.9	3.4	3.8	4.0	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9
50	11.8	3.4	4.1	4.5	4.8	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.2	6.3	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0
100	13.1	3.8	4.5	5.0	5.3	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.7	6.9	7.0	7.2	7.3	7.4	7.6	7.7	7.8
200	14.2	4.1	4.9	5.4	5.8	6.1	6.4	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.6	7.8	7.9	8.1	8.2	8.3	8.4

Tabla 12: Precipitación total para diferentes periodos de retorno (mm)

T	P. Max (mm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
2	3.86	6.7	4.0	2.9	2.4	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
3	5.15	8.9	5.3	3.9	3.2	2.7	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
5	6.58	11.4	6.8	5.0	4.0	3.4	3.0	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3
10	8.34	14.4	8.6	6.3	5.1	4.3	3.8	3.4	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7
20	9.92	17.2	10.2	7.5	6.1	5.1	4.5	4.0	3.6	3.3	3.1	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1	2.1	2.0
50	11.8	20.4	12.2	9.0	7.2	6.1	5.3	4.7	4.3	3.9	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3
100	13.1	22.7	13.5	10.0	8.0	6.8	5.9	5.3	4.8	4.4	4.0	3.8	3.5	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6
200	14.2	24.6	14.6	10.8	8.7	7.4	6.4	5.7	5.2	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	2.9	2.8

Tabla 13: Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno (mm/h)

Con los datos obtenidos se procedió a obtener el hietograma de diseño por el método del bloque alterno.

DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/h)	PREC. ACUM. (mm)	PREC. INCRE. (mm)	TIEMPO (min)	BLOQUE ORDENADO
10	24.60	4.10	4.10	0-10	0.12
20	14.62	4.87	0.78	10-20	0.13
30	10.79	5.39	0.52	20-30	0.15
40	8.70	5.80	0.40	30-40	0.16
50	7.36	6.13	0.33	40-50	0.19
60	6.42	6.42	0.29	50-60	0.23
70	5.72	6.67	0.25	60-70	0.29
80	5.17	6.89	0.23	70-80	0.40
90	4.73	7.10	0.21	80-90	0.78
100	4.37	7.29	0.19	90-100	4.10
110	4.07	7.47	0.18	100-110	0.52
120	3.81	7.63	0.16	110-120	0.33
130	3.59	7.78	0.15	120-130	0.25
140	3.40	7.93	0.15	130-140	0.21

150	3.23	8.07	0.14	140-150	0.18
160	3.07	8.20	0.13	150-160	0.15
170	2.94	8.32	0.13	160-170	0.14
180	2.81	8.44	0.12	170-180	0.13

Tabla 14: Cálculo del hietograma de diseño para T=200 años

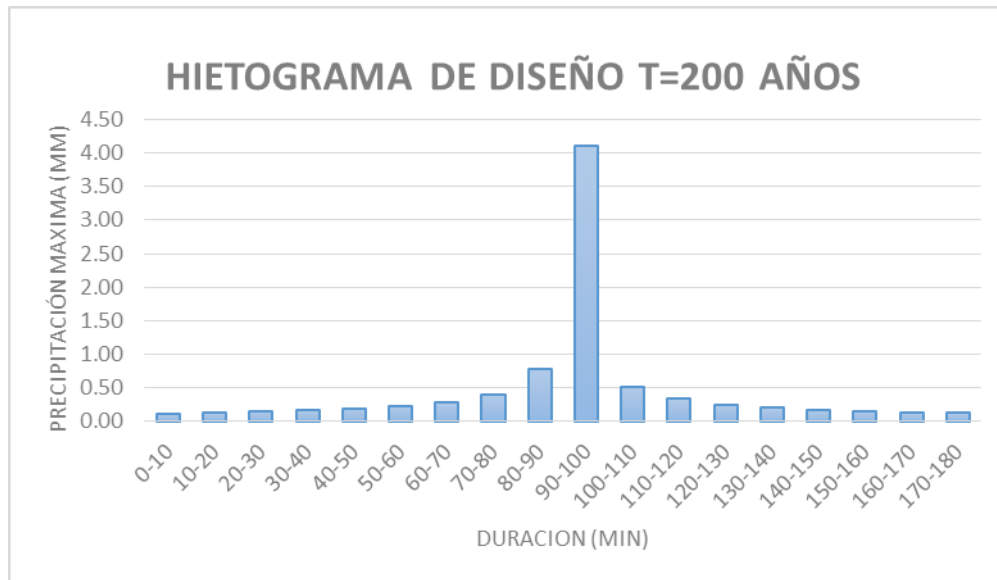


Figura 42: Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años

3.1.1.6 Cálculo del caudal máximo

Para este cálculo se utilizó el software HEC-HMS v4.2.1, el cual nos solicita por datos de entrada el número de curva y la impermeabilidad; el número de curva es un parámetro empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos.

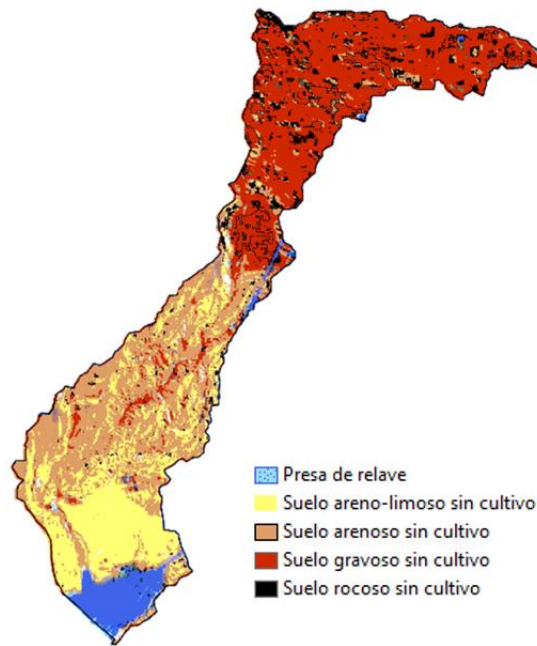
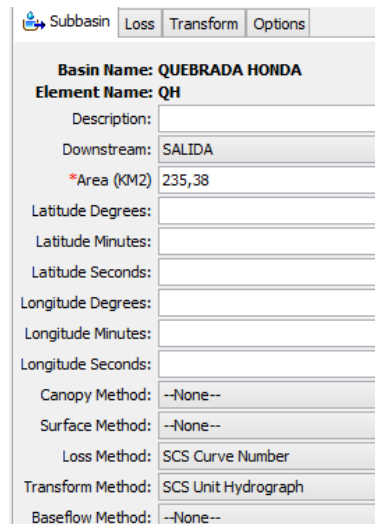


Figura 43: Clasificación del tipo de suelo

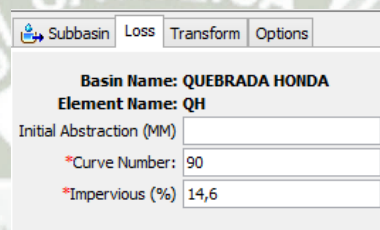
Nro.	Descripción	Área (m2)	Porcentaje (%)	CN	A*CN
1	Presa de relave	12.7	5.39	100	1269.0
2	Suelo areno-limoso sin cultivo	47.0	19.96	94	4415.2
3	Suelo arenoso sin cultivo	75.2	31.94	91	6841.1
4	Suelo gravoso sin cultivo	97.5	41.44	86	8387.7
5	Suelo rocoso sin cultivo	3.0	1.28	77	231.9
	Total	235.4			21144.9
	CN medio	90			
	% Impermeabilización	14.6			

Todos estos valores y/o parámetros se ingresaron al software HEC-HMS v4.2.1 para el cálculo del caudal máximo.



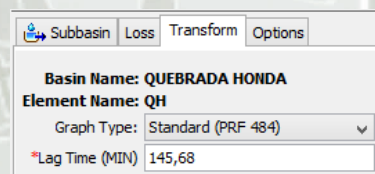
Subbasin	
Basin Name:	QUEBRADA HONDA
Element Name:	QH
Description:	
Downstream:	SALIDA
*Area (KM2)	235,38
Latitude Degrees:	
Latitude Minutes:	
Latitude Seconds:	
Longitude Degrees:	
Longitude Minutes:	
Longitude Seconds:	
Canopy Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Figura 44: Configuración de parámetros en el software HEC-HMS v4.2.1



Subbasin	
Basin Name:	QUEBRADA HONDA
Element Name:	QH
Initial Abstraction (MM)	
*Curve Number:	90
*Impervious (%)	14,6

Figura 45: Introducción del número de curva y la impermeabilidad



Subbasin	
Basin Name:	QUEBRADA HONDA
Element Name:	QH
Graph Type:	Standard (PRF 48-4)
*Lag Time (MIN)	145,68

Figura 46: Introducción del tiempo de retraso

Time (ddMMYYYY, H...	Precipitation (MM)
21ene2018, 02:00	
21ene2018, 02:10	0,12
21ene2018, 02:20	0,13
21ene2018, 02:30	0,15
21ene2018, 02:40	0,16
21ene2018, 02:50	0,19
21ene2018, 03:00	0,23
21ene2018, 03:10	0,29
21ene2018, 03:20	0,40
21ene2018, 03:30	0,78
21ene2018, 03:40	4,10
21ene2018, 03:50	0,52
21ene2018, 04:00	0,33
21ene2018, 04:10	0,25
21ene2018, 04:20	0,21
21ene2018, 04:30	0,18
21ene2018, 04:40	0,15
21ene2018, 04:50	0,14
21ene2018, 05:00	0,13

Figura 47: Introducción del hietograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años

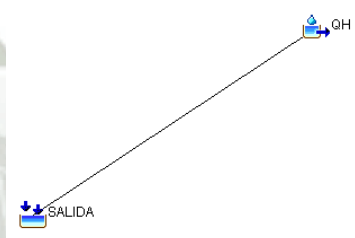


Figura 48: Modelamiento del sistema Cuenca-Salida

Una vez introducidos estos valores se obtuvieron los valores de caudal máximo para un periodo de retorno de 200 años:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
QH	235,38	26,2	21ene2018, 06:10	1,30
SALIDA	235,38	26,2	21ene2018, 06:10	1,30

Figura 49: Caudal máximo para un periodo de retorno de 200 años

3.1.2 Cálculo del crecimiento anual del espejo de agua de la presa de relave

Con toda esta información se procedió a calcular los volúmenes de agua que entran y salen de la presa: Ingresan 2,5 m³ de desechos, de los un 40% son sólidos y un 60% líquidos, al día ingresa un caudal de 90720 m³ de agua y al año 33112800 m³. Este caudal no crece descontroladamente, si no que con el agua que se trata gracias a la planta de cal, se puede volver a reutilizar parte de este, de acuerdo a los requerimientos de operación normales se tiene que el caudal de extracción es el que se muestra en la Tabla 15: Valores del caudal de extracción :

CAUDAL DE EXTRACCIÓN		
ÁREA A	145	m ³ /h
ÁREA B	130	m ³ /h
ÁREA C	1895	m ³ /h
ÁREA D	30	m ³ /h
ÁREA E	1000	m ³ /h
TOTAL	3200	m ³ /h
TOTAL	19023800	m ³ /año

Tabla 15: Valores del caudal de extracción en operaciones normales

De acuerdo a la precipitación de la estación de la cuenca de la presa y al área de influencia de la cuenca de la presa se calculó el volumen de agua que entra a la presa por la precipitación como se muestra en Tabla 16:

AÑO	PRECIP ANUAL (mm)	VOL. PRECIP. (m ³)	VOL. TOTAL INGRESO (m ³)	VOL. TOTAL DE SALIDA (m ³)	VOL. TOTAL REMANENTE (m ³)	ÁREA DEL ESPEJO DE AGUA DE LA PRESA (km ²)	ALTURA DEL VOLUMEN DE AGUA TOTAL DE INGRESO(m)
2018	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	11.13	1.29
2019	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	11.41	1.26
2020	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	11.70	1.23
2021	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	11.98	1.20
2022	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	12.27	1.17
2023	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	12.55	1.15
2024	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	12.84	1.12
2025	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	13.12	1.10

2026	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	13.41	1.07
2027	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	13.70	1.05
2028	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	13.98	1.03
2029	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	14.27	1.01
2030	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	14.55	0.99
2031	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	14.84	0.97
2032	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	15.12	0.95
2033	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	15.41	0.93
2034	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	15.69	0.92
2035	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	15.98	0.90
2036	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	16.26	0.89
2037	1.3	305993.8	33418793.76	19023800	14394993.8	16.55	0.87
PROMEDIO (M/AÑO)							1.06

Tabla 16: Crecimiento anual del espejo de agua de la presa de relave

Por lo tanto se estimó que el valor de crecimiento anual del espejo de agua de la presa de relave es de 1 metro, gracias a este valor se calculó que dentro de 20 años la cota del espejo de agua sería de 1191 m estaría muy cerca de inundar el área “D” la cual tiene una cota de altura máxima de 1200m. Es por esto que se tomó como tiempo de estudio 20 años.

ESCENARIO	AÑO	ALTURA DEL ESPEJO DE AGUA DE LA PRESA (msnm)
1	2018	1172
2	2019	1173
3	2020	1174
4	2021	1175
5	2022	1176
6	2023	1177
7	2024	1178
8	2025	1179
9	2026	1180
10	2027	1181
11	2028	1182

12	2029	1183
13	2030	1184
14	2031	1185
15	2032	1186
16	2033	1187
17	2034	1188
18	2035	1189
19	2036	1190
20	2037	1191

Tabla 17: Altura del espejo de agua de la presa de relave a través de los años

El sistema de tubería será modificado completamente proveyendo un sistema totalmente nuevo.

Para el dimensionamiento de las bombas, se diseñaron con el caudal de diseño (115% del caudal nominal, el cual es el caudal máximo demandado).

La red está constituida por tuberías HDPE de varios diámetros comprendida por varios ramales, la NTP-ISO 4427:2008 señala que la presión máxima de operación puede ser de hasta 25 bares, la red principal cuya presión máxima aproximada es de 10,4 bar, está constituida por tuberías que van desde 1 sola hasta 5 tuberías operando en paralelo, las cuales alimentaran las redes de distribución media las cuales tienen una presión aproximada de 9.8 bar, las redes de distribución serán las que alimenten directamente a las áreas que requerirán del agua para sus operaciones; todas las redes usa tubería HDPE.

3.2 NORMAS DE DISEÑO DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN

3.2.1 Normas de material y diseño de tubería y accesorios

Las tuberías y accesorios HDPE son fabricadas de acuerdo con las normas NTP ISO 4427: 2008 PE-80 y PE-100 y la norma ASTM F-714:2012, así también como las especificaciones técnicas que tiene la distribuidora.

Las tuberías usaran resina tipo PE-100 que tienen la clasificación de MRS 10.0 MPa. Las resinas deberán cumplir también con las especificaciones de cada distribuidora.

De acuerdo a la norma ISO 12162 y especificación técnica que use la distribuidora, el valor del coeficiente de diseño C de las tuberías es 1.25 para todos los tipos de HDPE.

3.3 CALIDAD DEL AGUA

El agua de la presa de relave es tratada por una planta, la cual entrega agua con los siguientes valores

Parámetro	Unidad	Valor
PH	und	9.0
Temperatura	°C	20
Oxígeno disuelto	mg/l	5.5
Sulfatos	mg/l	2000
Alcalinidad	mg/l	6.5
Potasio disuelto	mg/l	4
Sodio disuelto	mg/l	170

Tabla 18: Calidad del agua

3.4 INGENIERÍA BÁSICA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

3.4.1 Cálculo de la presión nominal

Para el cálculo de la presión nominal de diseño de una tubería HDPE se usa la fórmula:

$$e = \frac{PN * D}{2\sigma_s + PN}$$

Donde “PN” es la presión nominal, “D” es el diámetro exterior del tubo, “e” es el espesor de la tubería “ σ_s ” es la tensión del material.

3.4.2 Selección y ubicación de las tuberías

Para la selección del material de la tubería se eligió entre los 3 materiales más utilizados en la industria minera, al mismo tiempo son los que poseen la menor rugosidad en el mercado, se seleccionó el polietileno de alta densidad, por poseer un tiempo de vida alto así como un coeficiente de rugosidad más bajo.

Material	Coefficiente de Rugosidad (mm)
HDPE	0.007
Acero	0.05
Poliuretano	0.009

Tabla 19: Coeficiente de rugosidad para diferentes materiales de tubería

Existen varias configuraciones para la distribución de las tuberías, sin embargo se le dio preferencia a seguir una pendiente uniforme que evite crear estructuras especiales para el sostenimiento de las mismas, la decisión de instalar configuraciones de redes dobles en ciertos puntos se sustenta por la sobrepresión producida por el golpe de ariete.

3.4.3 Velocidad de transporte del fluido

La velocidad de transporte del fluido debe ser como mínimo 0.6 m/s y como máximo 3m/s.

3.4.4 Selección y configuración de bombas

Para la selección de las bombas, se revisó diferentes catálogos y dentro de todas las posibles elecciones y de acuerdo a las condiciones de trabajo de las bombas se llegó a la conclusión de que las bombas no se pueden instalar al pie de la laguna ya que el nivel del espejo sube constantemente, por tal motivo la única solución es instalarlas sobre el espejo de agua, para ello existen diferentes alternativas Figura 50: Diferentes alternativas de instalación de bombas verticales, el problema de la mayoría es que su instalación es a una altura fija ya sea con perfiles de acero o usando concreto, sin embargo la solución con balsas solucionario el problema del crecimiento constate del espejo de agua.

Por lo expuesto anteriormente para el diseño de la balsa se debe buscar una bomba que tenga simetría tanto en el eje “x” como en el eje “y”, para no complicar el diseño de la misma, recordando también que el empuje que produce la bomba debería estar aplicado lo más centrado al centro de gravedad de la balsa, por tal

motivo las bombas que cumplen este requisito son: Las bombas verticales de turbina y las bombas sumergibles, ambas bombas son eficientes en el transporte de aguas residuales, pueden soportar diferentes agentes químicos, etc.

Sin embargo dentro de estas dos opciones existe una gran diferencia de costos, mientras que las bombas sumergibles entregan caudales relativamente bajos, consumen una gran cantidad de energía y su precio es elevado a comparación de las bombas verticales de turbina, por tal motivo en este proyecto se seleccionó bombas verticales de turbina.

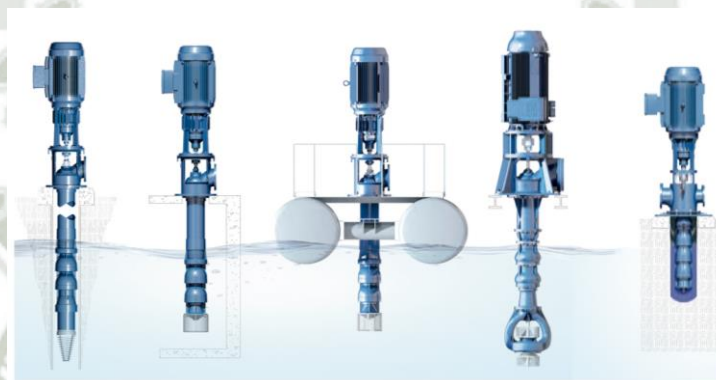


Figura 50: Diferentes alternativas de instalación de bombas verticales

Fuente: HIDROSTAL. (2017). Bombas Verticales Tipo Turbina

Para la configuración de las bombas se propuso trabajar con 5 diferentes opciones, las cuales son:

- Opción 1: Impulsión directa con 1 sola bomba operando sobre la presa de relave
- Opción 2: Impulsión directa con 2 bombas operando en paralelo sobre la presa de relave
- Opción 3: Impulsión directa con 3 bombas operando en paralelo sobre la presa de relave
- Opción 4: Impulsión directa con 4 bombas operando en paralelo sobre la presa de relave
- Opción 5: Impulsión directa con 5 bombas operando en paralelo sobre la presa de relave

3.5 HERRAMIENTAS DE DISEÑO

Para el diseño de este sistema de bombeo, se contó con herramientas de diseño como el software AutoCAD, diseño asistido por computador, y el software Pipe Flow Expert v6.38, según la norma OS.040 el proyecto deberá indicar los siguientes aspectos básicos de diseño:

- Caudal de bombeo
- Altura dinámica total
- Tipo de energía.

3.5.1 Software Pipe Flow Expert v6.38

Este software permite modelar sistemas complicados de tubería para poder analizar las características del mismo, cuando el programa analiza la programación y configuración dada calcula presiones y caudales para que el sistema se encuentre en equilibrio.

Es posible crear reportes de cada sistema en formato pdf, donde se muestra: presiones de los nodos, pérdidas de fricción, velocidades, caudales, etc.

3.5.2 Metodología de diseño

Los valores máximos de velocidad del agua para un sistema de tubería es de 3 m/s para evitar la erosión de la tubería y los valores mínimos son de 0.6 m/s para evitar sedimentación de sólidos, si los parámetros mencionados no están dentro de lo establecido se modifican los diámetros de la tubería y se vuelve a “correr” el programa, esta operación se repite varias veces hasta llegar a un diseño aceptable.

Sin embargo es un límite de velocidades es ligeramente amplio, por lo que se procedió a definir 3 clases de alternativas en cada opción:

- Alternativa 1: Se busca que todos los diámetros obtengan una velocidad de conducción cercana a la mínima permisible (0.6 m/s)
- Alternativa 2: Se busca que todos los diámetros obtengan una velocidad de conducción cercana a la velocidad promedio (1.8 m/s)

- Alternativa 3: Se busca que todos los diámetros obtengan una velocidad de conducción cercana la velocidad máxima permisible (3.0 m/s)



4 CAPITULO IV: DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

En este capítulo se realiza el diseño y análisis de las redes de distribución de agua, en el diseño completo se va a dar más importancia al diseño correspondiente de la parte civil.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la zona Norte de la presa de relaves donde se ubican las bombas verticales y los alrededores de la presa de relave donde se ubican las diferentes zonas que van a necesitar agua para sus procesos, esta zona es conocida como Quebrada Honda, el área de estudio es de vocación industrial. El incremento del nivel del espejo, la ampliación de la planta y la mejora tecnológica, hacen que este sistema opere de forma inadecuada, consumiendo más energía y sobrecalentamiento de motores.

4.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

El bombeo que se realiza desde la presa de relave de Quebrada Honda a las distintas áreas requiere caudales que varían respecto al tiempo, las condiciones de operación requeridas son:

4.2.1 Área “A”

El consumo de agua de dilución que necesita esta área depende en parte de la dilución deseada en los ciclones ubicados en otra área.

- El requerimiento 1 de operación máxima de carga de 320 m³/h siendo esta operación por un tiempo aproximado de 30 minutos al día.
- El requerimiento 2 de operación normal es de 145 m³/h siendo esta operación casi siempre.
- El requerimiento 3 llamado “Cambio de cancha”, el caudal requerido es de 145 m³/h y es aproximadamente de una hora al día.
- El requerimiento 4 en las paradas generales el caudal requerido es de 320 m³/h siendo esta operación de una hora a la semana.

4.2.2 Área “B”

Esta área tiene instalada un estanque de donde se distribuye el agua para ser utilizada en sus servicios y operaciones, el nivel del mismo es controlado por válvulas on/off.

- El requerimiento 1 de operación máxima de carga de 215 m³/h siendo esta operación por un tiempo aproximado de 30 minutos al día.
- El requerimiento 2 de operación normal es de 130 m³/h siendo esta operación casi siempre.
- El requerimiento 3 llamado “Cambio de cancha”, el caudal requerido es de 200 m³/h y es aproximadamente de una hora al día.
- El requerimiento 4 en las paradas generales el caudal requerido es de 0 m³/h, siendo esta operación de una hora a la semana.

4.2.3 Área “C”

El área “C” es una especie de reservorio abierto donde se consume agua para diferentes operaciones, una parte se usa para abastecer un sistema de dilución parecido al que alimenta el área “A”, este consumo es casi constante; otra parte del flujo es destinada para 3 baterías para ciclones.

- El requerimiento 1 de operación máxima de carga de 3800 m³/h siendo esta operación por un tiempo aproximado de 30 minutos al día.
- El requerimiento 2 de operación normal con 3 bombas Wirth es de 1895 m³/h siendo esta operación casi siempre.
- El requerimiento 3 llamado “Cambio de cancha” con 2 Wirth y 1 Wirth lavando, el caudal requerido es de 1505 m³/h y es aproximadamente de una hora al día.
- El requerimiento 4 en las paradas generales (limpieza de líneas) el caudal requerido es de 2000 m³/h, siendo esta operación de una hora a la semana.

4.2.4 Área “D”

El área “D” utiliza agua para abastecer a la planta de cal que trata el agua del relave antes de ser bombeada a otras áreas.

- El requerimiento 1 de operación máxima de carga de 30 m³/h siendo esta operación por un tiempo aproximado de 30 minutos al día.
- El requerimiento 2 de operación normal es de 30 m³/h siendo esta operación casi siempre.
- El requerimiento 3 llamado “Cambio de cancha”, el caudal requerido es de 0 m³/h y es aproximadamente de una hora al día.

- El requerimiento 4 en las paradas generales (limpieza de líneas) el caudal requerido es de 0 m³/h, siendo esta operación de una hora a la semana.

4.2.5 Área “E”

El área “E” utilizara agua para abastecer a la nueva “mejora tecnológica” la cual es la ampliación de la planta minera a la cual pertenece esta presa de relave el caudal que será utilizado por esta área se conversó con la gente de procesos y los valores estimados son:

- El requerimiento 1 de operación máxima de carga de 2000 m³/h siendo esta operación por un tiempo aproximado de 30 minutos al día.
- El requerimiento 2 de operación normal es de 1000 m³/h siendo esta operación casi siempre.
- El requerimiento 3 llamado “Cambio de cancha”, el caudal requerido es de 1000 m³/h y es aproximadamente de una hora al día.
- El requerimiento 4 en las paradas generales el caudal requerido es de 500 m³/h, siendo esta operación de una hora a la semana.

4.3 CAUDAL MÁXIMO DE OPERACIÓN Y CAUDAL DE DISEÑO

El caudal máximo de operación de cada área se presenta en la Tabla 20: Caudal máximo y Caudal de diseño, y el caudal de diseño se amplificara en un 15% como medida de seguridad.

	Caudal máximo de operación (m3/h)	Caudal de diseño (m3/h)
ÁREA "A"	320	368
ÁREA "B"	215	247.25
ÁREA "C"	3800	4370
ÁREA "D"	30	34.5
ÁREA "E"	2000	2300

TOTAL (m3/h)	6365	7319.75
---------------------	------	---------

Tabla 20: Caudal máximo y Caudal de diseño

Fuente: Elaboración propia

4.4 MODELAMIENTO DEL SISTEMA

4.4.1 Configuración de los parámetros para el cálculo

Los parámetros del software y su exactitud se pueden variar en el programa como se observa en la Figura 51: Configuración de los parámetros de cálculo que es la siguiente ventana de dialogo Configuration Options.

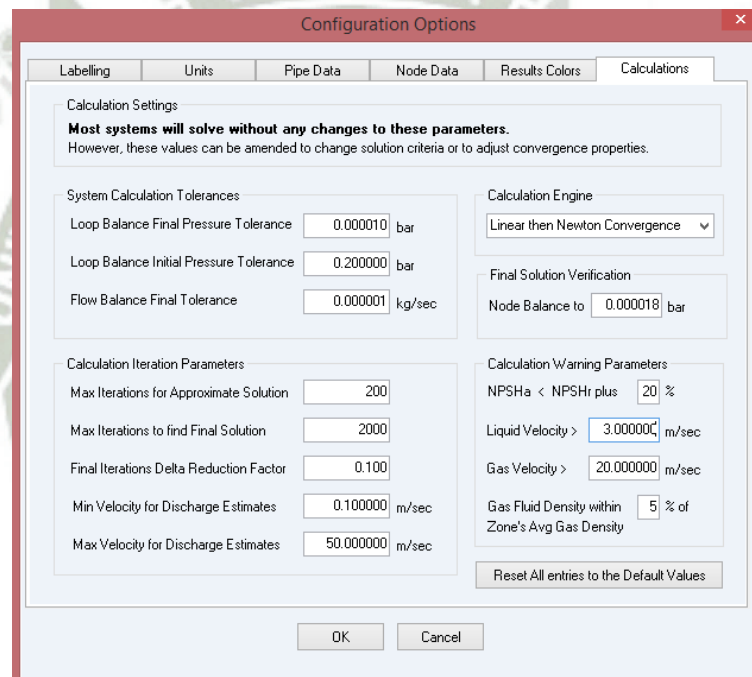


Figura 51: Configuración de los parámetros de cálculo

El método de cálculo se hará a través del método lineal de Newton, y se considera como velocidad máxima de conducción de líquido de 3 m/s.

4.4.2 Configuración del fluido

Este software posee una base de datos para diferentes fluidos a diferentes temperaturas, el fluido a usar en este caso será agua a 20°C, el cual posee una densidad de 998 kg/m³ y una viscosidad de 1.002 Centipoise.

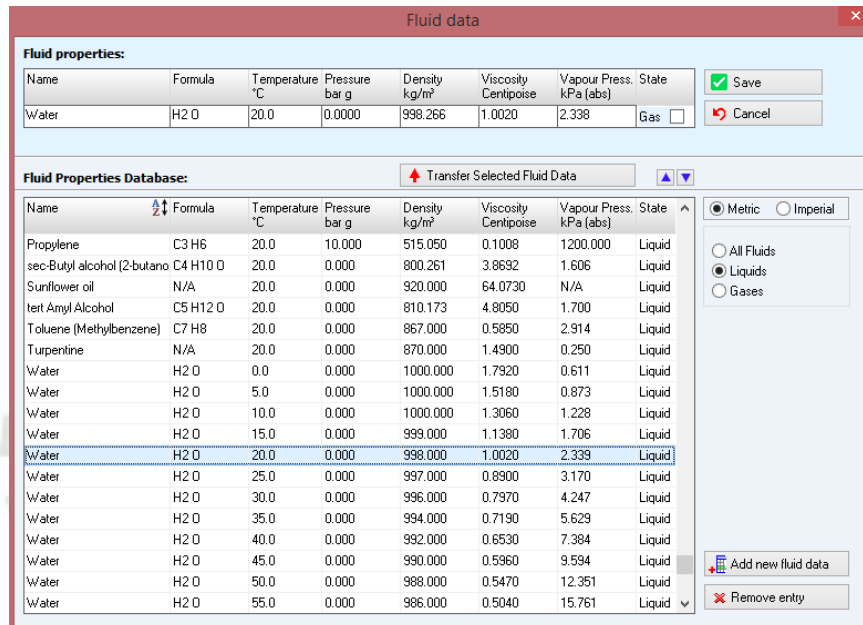


Figura 52: Configuración del fluido

Para este proyecto se utiliza completamente tubería de polietileno de alta densidad (HDPE), según CIDELSA (2000) este tiene una rugosidad de 0.007 mm, el programa posee una base de datos con tuberías HDPE de rugosidad 0.0015 mm por tal motivo se procedió a ampliar la base de datos con esta rugosidad, la clasificación de este material MRS es de 10.0 MPa.

La norma ISO 12162 señala que el coeficiente de diseño C para todas las tuberías HDPE es de 1.25. El tipo de resina a usar es PE-100.

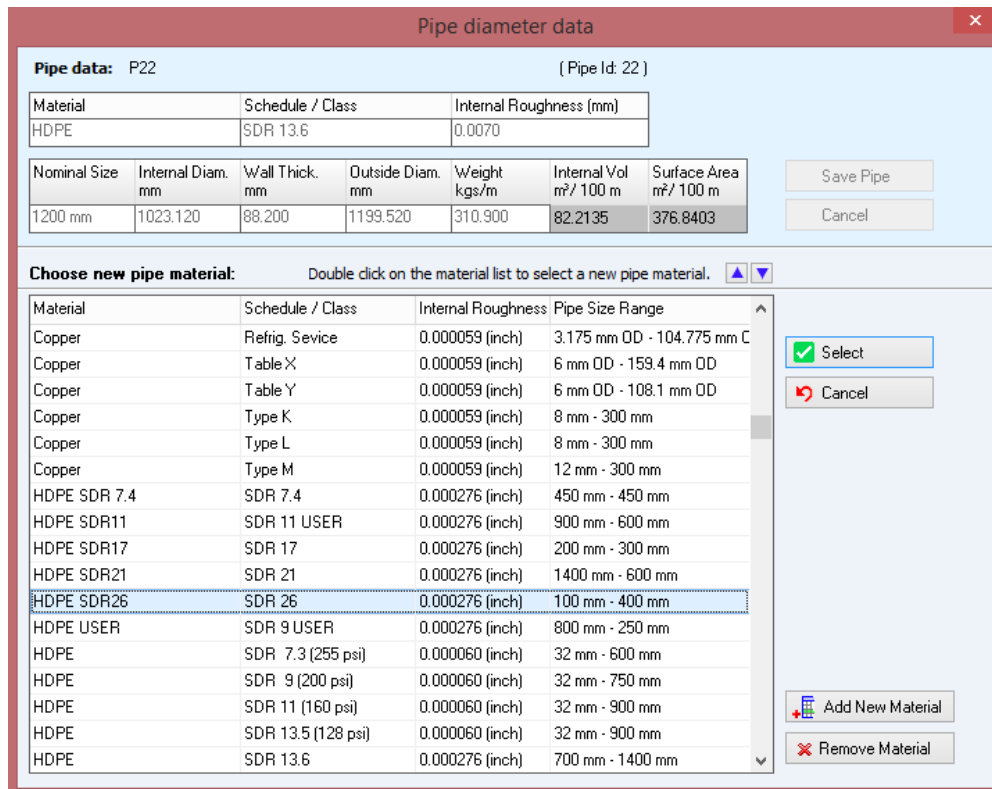


Figura 53: Configuración del material de la tubería

4.4.3 Configuración de los diámetros de tubería

Este proyecto utiliza en todas sus tuberías el polietileno de alta densidad, con SDR de 9, 11, 13.6, 17, 21 y 26 y con diámetros que van desde las 10” hasta las 72”.

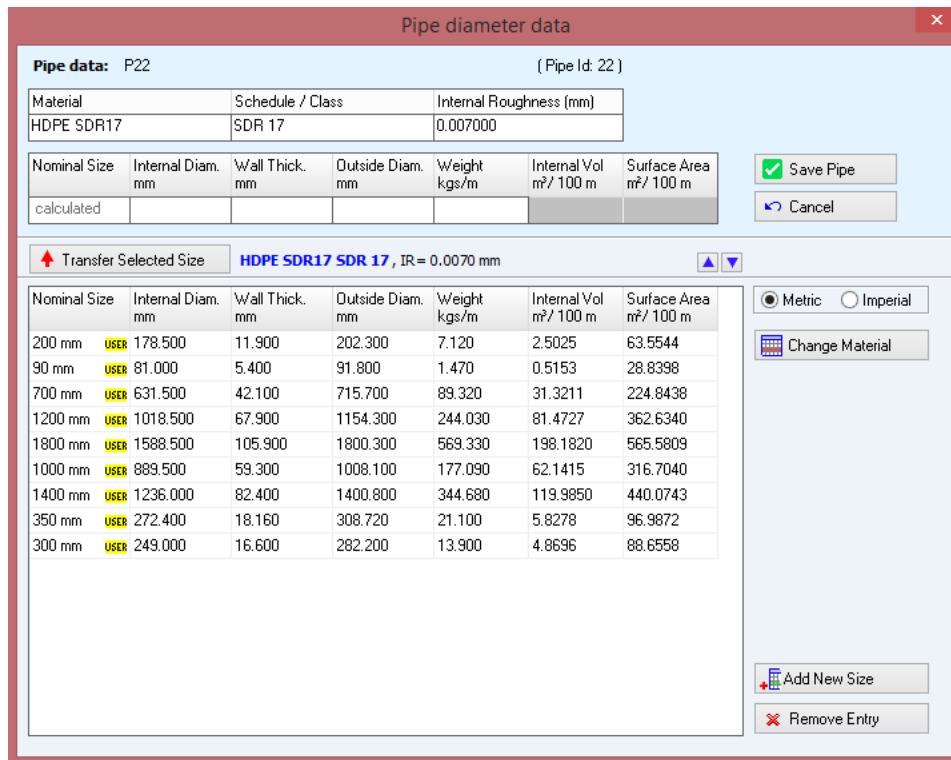


Figura 54: Configuración de los diámetros de la tubería

4.4.4 Configuración de los nodos

Los nodos son los lugares donde se unen las tuberías en el sistema de bombeo, para este proyecto se han colocado los nodos en cada cambio de diámetro de tubería y también para colocar válvulas reguladoras de caudal, al mismo tiempo un nodo puede ser definido como un tanque y es así como se definió cada área y el caudal requerido se ajustó con las válvulas reguladoras de caudal.

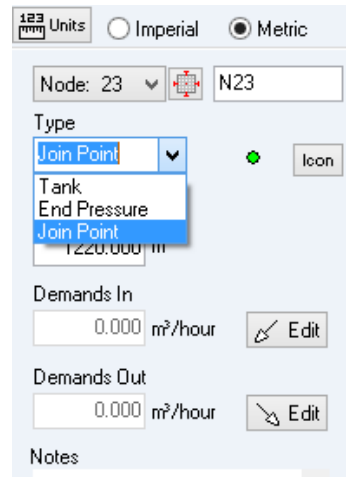


Figura 55: Configuración de los nodos

4.5 ANÁLISIS, DISEÑO Y CÁLCULO HIDRÁULICO

4.5.1 Nodos y tuberías

Las soluciones de sistemas de tuberías son no lineales, las mismas cuando son resueltas deben ser balanceadas para que tenga sentido físico, el software Pipe Flow Expert v6.38 analiza automáticamente un sistema identificando circuitos abiertos y cerrados, generando ecuaciones de presión por toda la red, al mismo tiempo genera ecuaciones de continuidad en cada nodo y las verifica para que los sistemas tengan sentido físico.

4.5.2 Sistema de solución del software

Pipe Flow Expert v6.38 genera valores iniciales de flujos aproximados en cada nodo del sistema, estos flujos sirven para estimar el caudal en cada tubería, las pérdidas de fricción son calculadas con la ecuación de Colebrook-White y la pérdida de presión por fricción por la ecuación de Darcy-Weisbach, estos valores son ajustados por el método de Newton para obtener resultados coherentes.

4.6 CALCULO DEL SISTEMA

Para este proyecto se consideró 5 configuraciones diferentes de bombas, las cuales van desde 1 bomba trabajando sola, hasta 5 bombas trabajando en paralelo, también se consideró diferentes diámetros en cada una de las diferentes configuraciones.

Los resultados se encuentran en el ANEXO 1 – RESULTADOS DEL SOFTWARE PIPEFLOW EXPERT.

4.6.1 Diseño – Año 2018

En la tabla se presentan los resultados obtenidos del cálculo para las 5 opciones (1, 2, 3, 4 y 5 bombas trabajando en paralelo). Los resultados completos se muestran en la Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio.

		Caudal total	Cantidad bombas	Caudal por bomba	ADT	Eficiencia Bomba	Pot. Consumida por Bomba
		m3/h	und	m3/h	mca	%	Kw
OPC. 1	ALT. 1	7,319.8	1	7,319.8	90.9	87.4	2070.93
OPC. 2	ALT. 1	7,319.8	2	3,659.9	89.8	87.6	1020.60
	ALT. 2	7,319.8	2	3,659.9	107	86	1238.93
	ALT. 3	7,319.8	2	3,659.9	137.7	83	1651.73
OPC. 3	ALT. 1	7,319.8	3	2,439.9	89.7	88.6	671.97
	ALT. 2	7,319.9	3	2,440.0	106	88.6	794.23
	ALT. 3	7,319.9	3	2,440.0	135.4	88.9	1010.91
OPC. 4	ALT. 1	7,319.8	4	1,830.0	89.8	89.8	497.80
	ALT. 2	7,319.8	4	1,830.0	107.7	86.9	616.95
	ALT. 3	7,319.8	4	1,830.0	135.5	88.5	762.16
OPC. 5	ALT. 1	7,320.0	5	1,464.0	90	84.5	424.17
	ALT. 2	7,320.0	5	1,464.0	107.8	86.7	495.17
	ALT. 3	7,319.8	5	1,464.0	135.6	87.6	616.58

Tabla 21: Características del sistema – Año 2018

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de este cuadro son encontrados gracias al software E-Prism perteneciente a la empresa ITT Goulds Pump que se adjuntan en el ANEXO 2 – CURVAS DE LAS BOMBAS DEL SOFTWARE E-PRISM

4.6.1.1 Opción 1 – Alternativa 1

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 1 sola bomba trabajando sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades bajas (0.6 m/s).

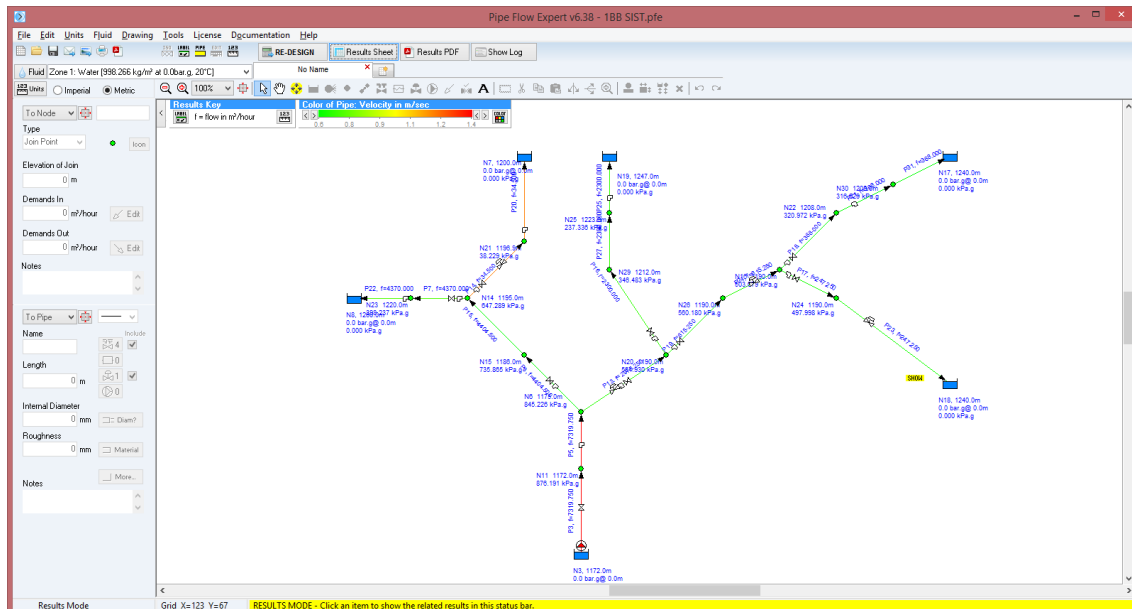


Figura 56: Modelamiento del sistema Opción 1 – Alternativa 1

4.6.1.2 Opción 1 – Alternativa 2

La fricción producida por esta opción (velocidades de conducción cercanas a 1.8 m/s) producen una pérdida de fricción elevada, por lo tanto incrementan la altura dinámica de la bomba, cuando se hizo la verificación por golpe de ariete se encontró que no existe tubería comercial que pueda soportar tal sobrepresión en la línea principal; por tal motivo se descartó esta alternativa.

4.6.1.3 Opción 1 – Alternativa 3

La fricción producida por esta opción (velocidades de conducción cercanas a 3 m/s) producen una pérdida de fricción muy elevada, por lo tanto incrementan la altura dinámica de la bomba, cuando se hizo la verificación por golpe de ariete se encontró que no existe tubería comercial que pueda soportar tal sobrepresión en la línea principal; por tal motivo se descartó esta alternativa.

4.6.1.4 Opción 2 – Alternativa 1

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 2 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades bajas (0.6 m/s).

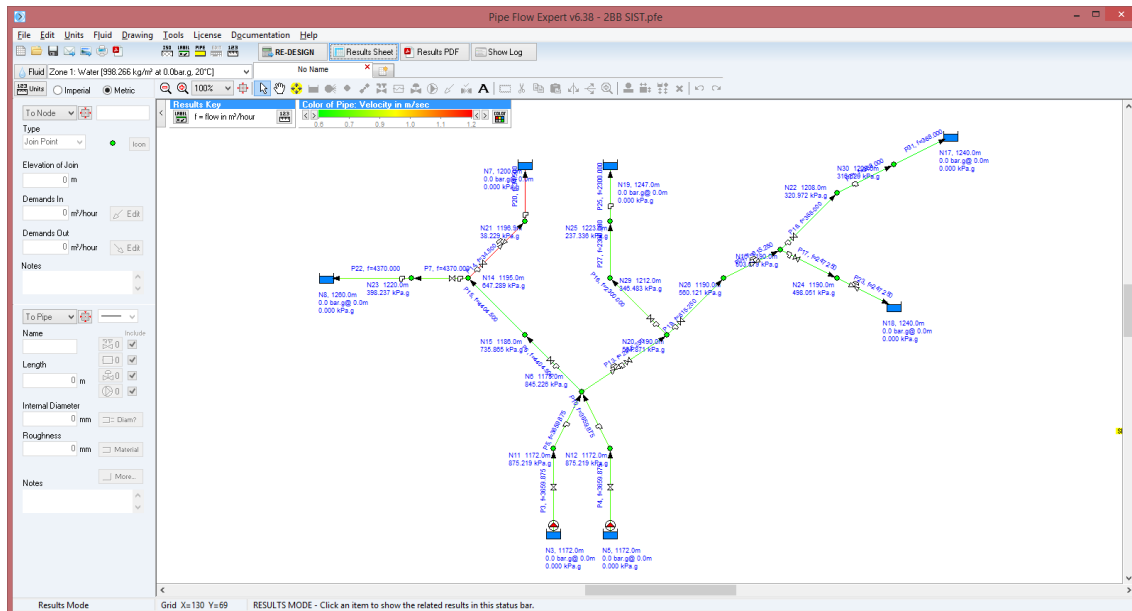


Figura 57: Modelamiento del sistema Opción 2 – Alternativa 1

4.6.1.5 Opción 2 – Alternativa 2

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 2 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades promedio (1.8 m/s).

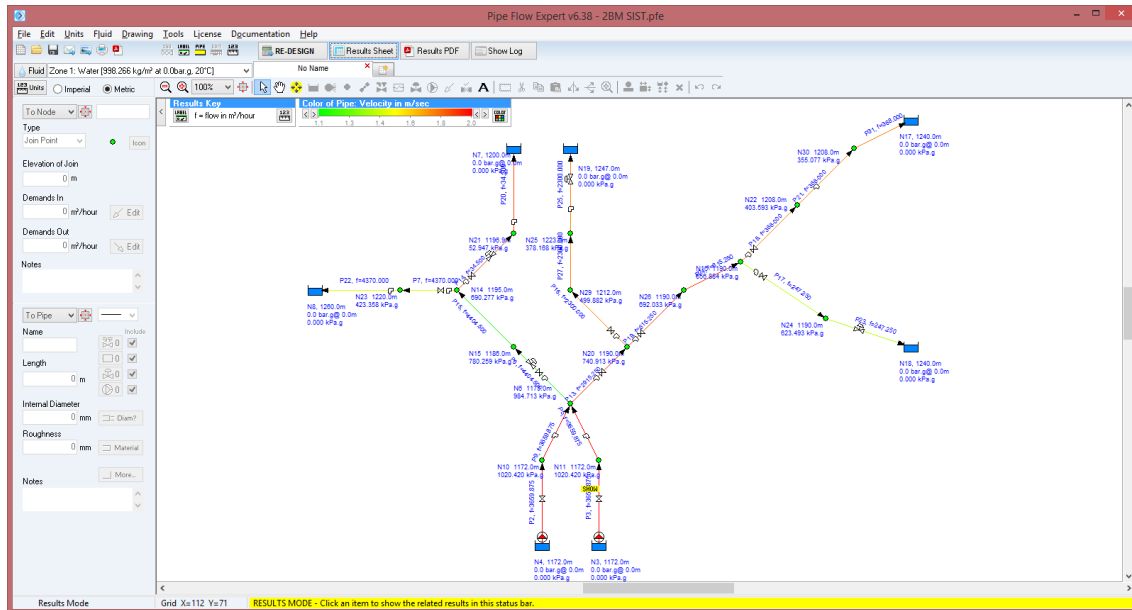


Figura 58: Modelamiento del sistema Opción 2 – Alternativa 2

4.6.1.6 Opción 2 – Alternativa 3

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 2 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades altas (3.0 m/s).

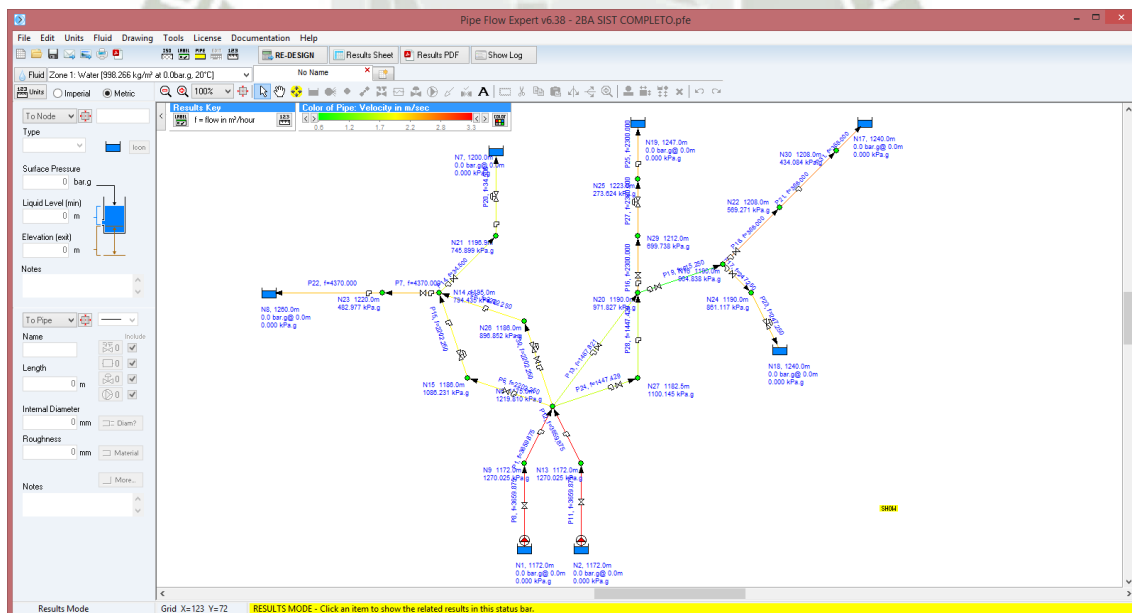


Figura 59: Modelamiento del sistema Opción 2 – Alternativa 3

4.6.1.7 Opción 3 – Alternativa 1

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 3 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades bajas (0.6 m/s).

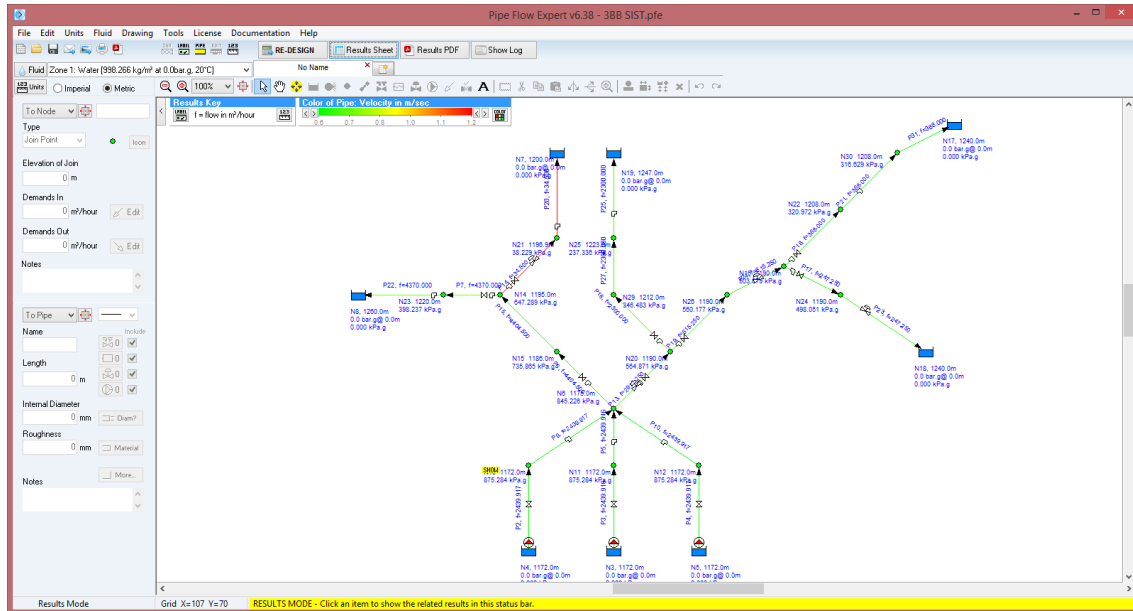


Figura 60: Modelamiento del sistema Opción 3 – Alternativa 1

4.6.1.8 Opción 3 – Alternativa 2

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 3 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades promedio (1.8 m/s).

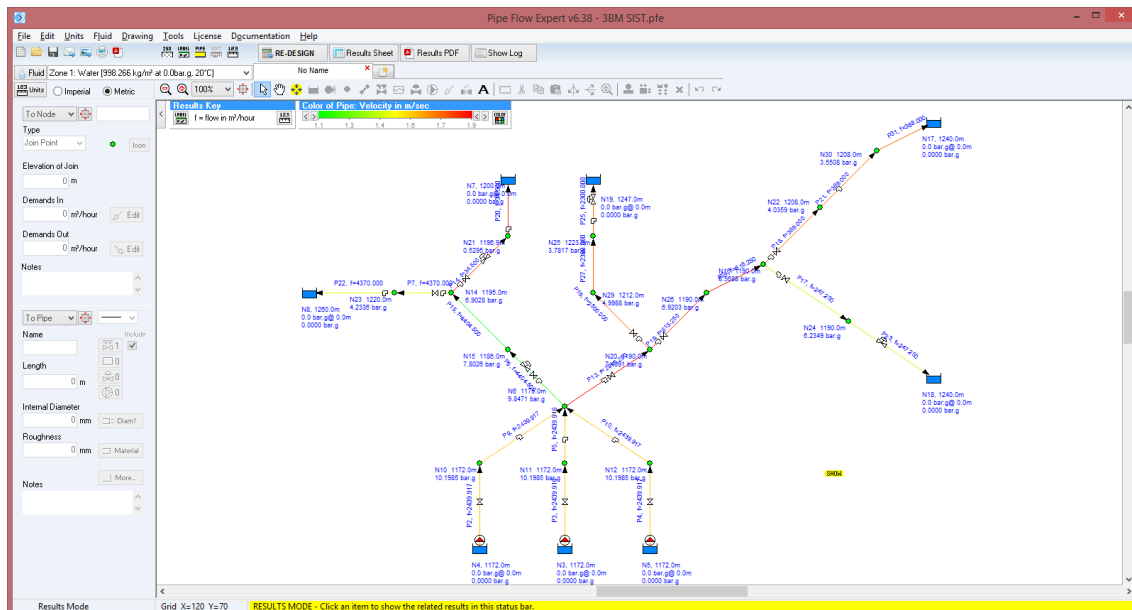


Figura 61: Modelamiento del sistema Opción 3 – Alternativa 2

4.6.1.9 Opción 3 – Alternativa 3

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 3 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades altas (3.0 m/s).

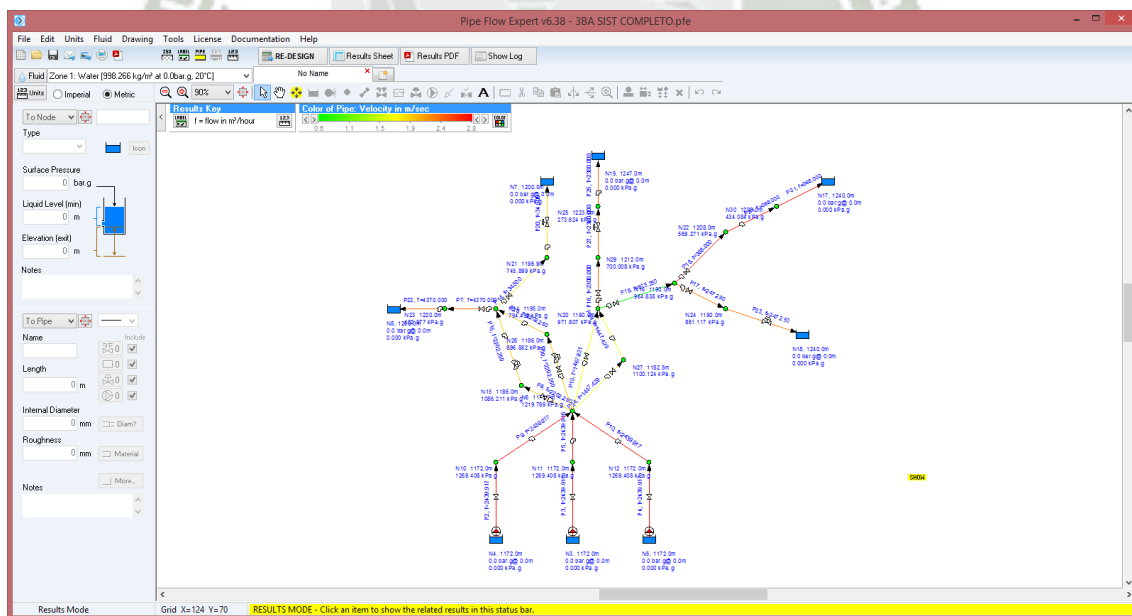


Figura 62: Modelamiento del sistema Opción 3 – Alternativa 3

4.6.1.10 Opción 4 – Alternativa 1

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 4 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades bajas (0.6 m/s).

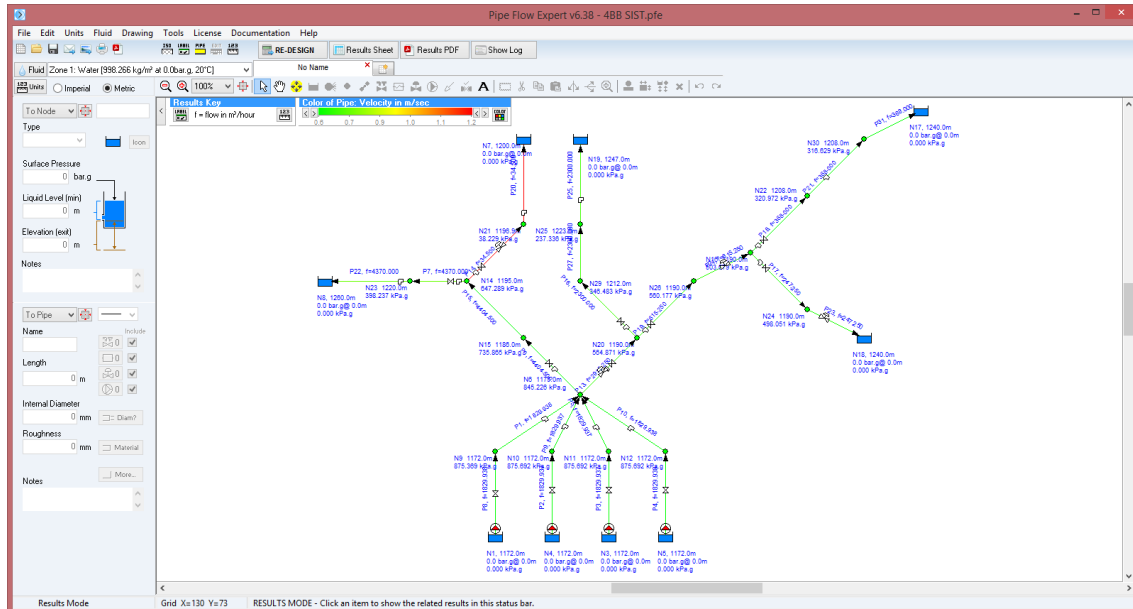


Figura 63: Modelamiento del sistema Opción 4 – Alternativa 1

4.6.1.11 Opción 4 – Alternativa 2

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 4 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades promedio (1.8 m/s).

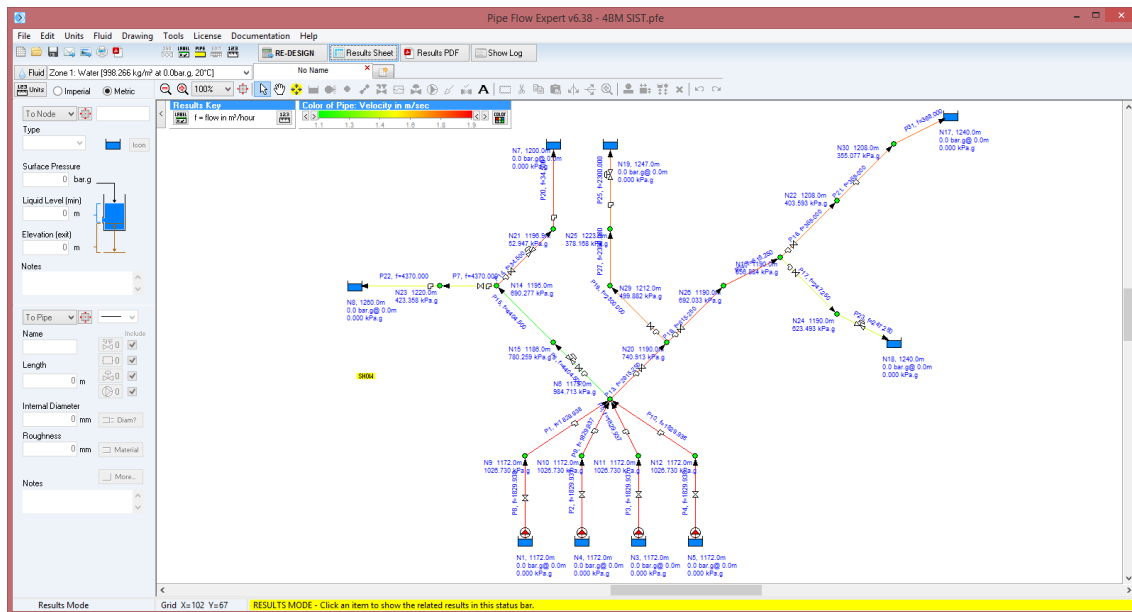


Figura 64: Modelamiento del sistema Opción 4 – Alternativa 2

4.6.1.12 Opción 4 – Alternativa 3

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 4 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades altas (3.0 m/s).

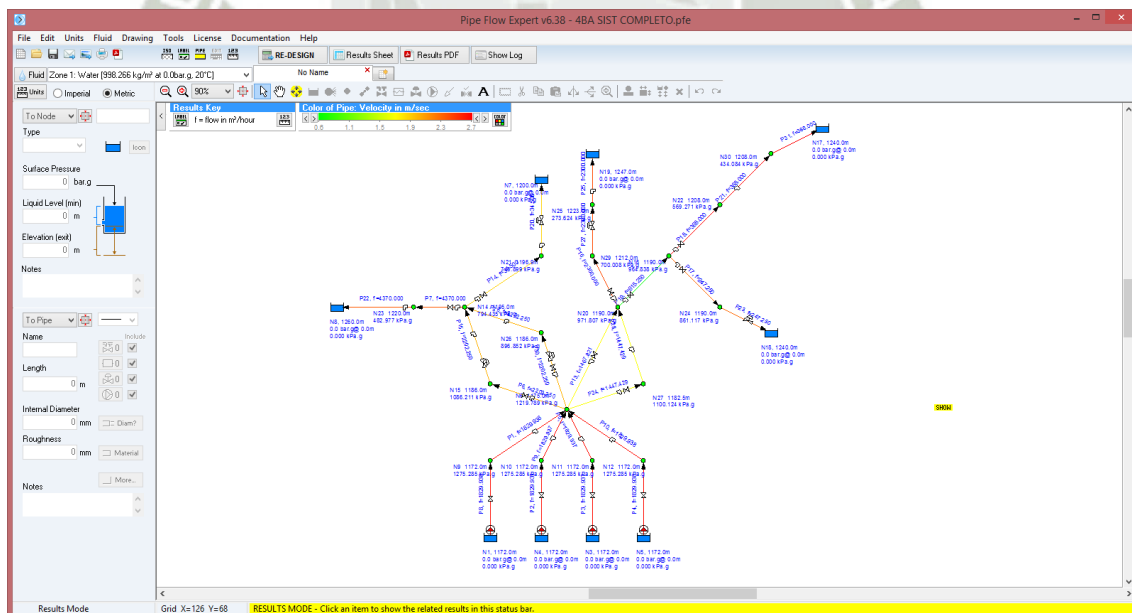


Figura 65: Modelamiento del sistema Opción 4 – Alternativa 3

4.6.1.13 Opción 5 – Alternativa 1

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 5 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades bajas (0.6 m/s).

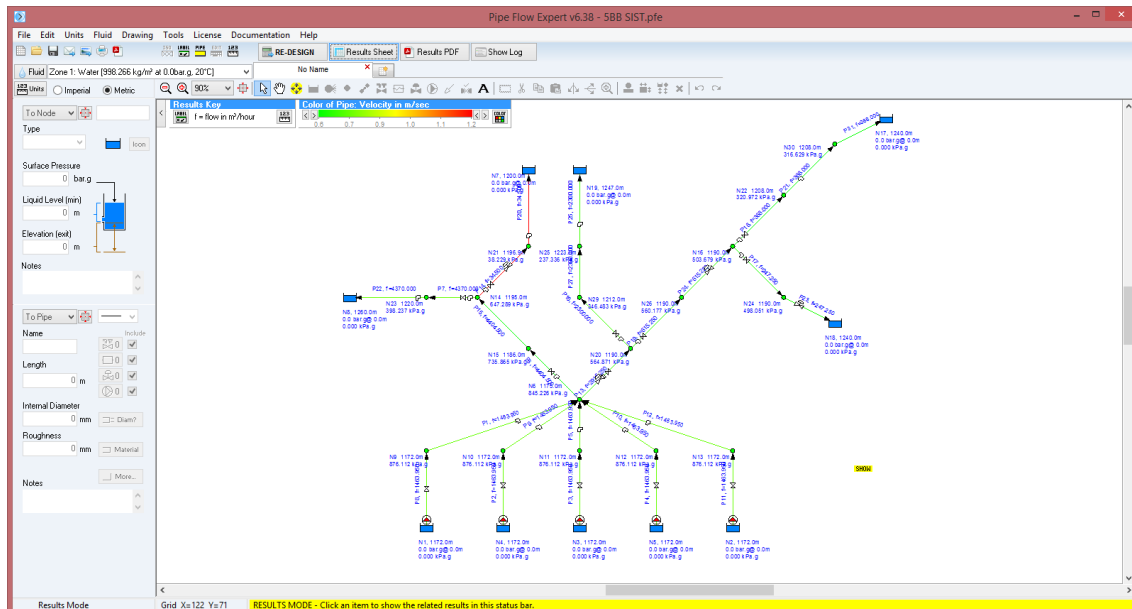


Figura 66: Modelamiento del sistema Opción 5 – Alternativa 1

4.6.1.14 Opción 5 – Alternativa 2

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 5 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades promedio (1.8 m/s).

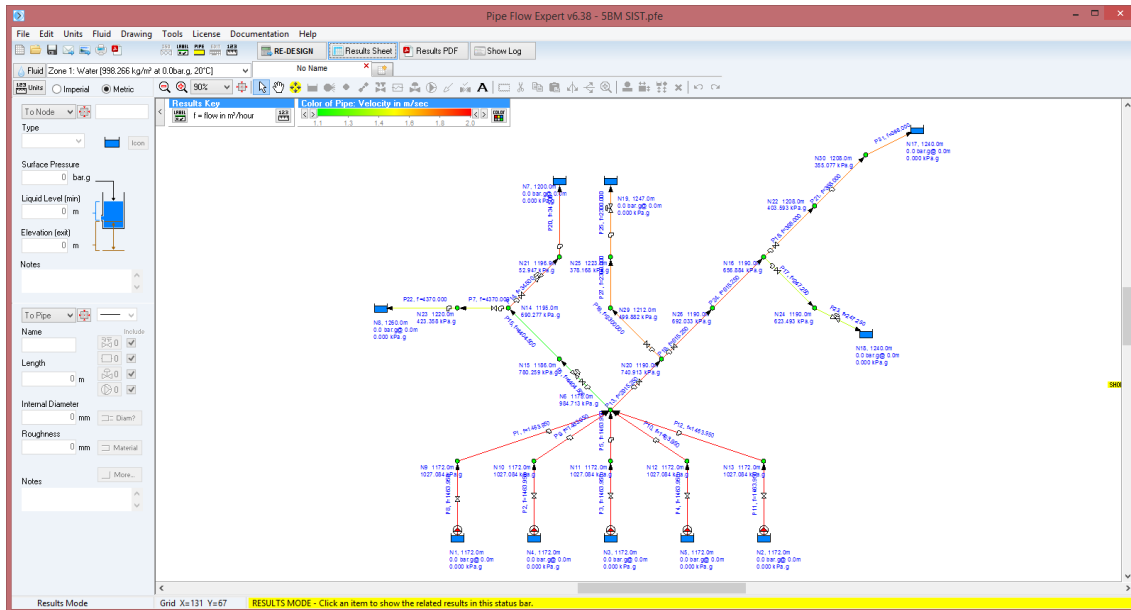


Figura 67: Modelamiento del sistema Opción 5 – Alternativa 2

4.6.1.15 Opción 5 – Alternativa 3

Se presenta el esquema de operación, la cual muestra 5 bombas trabajando en paralelo sobre el espejo de agua en la presa de relave, en la cual se buscó que los diámetros entreguen fluido a velocidades altas (3.0 m/s).

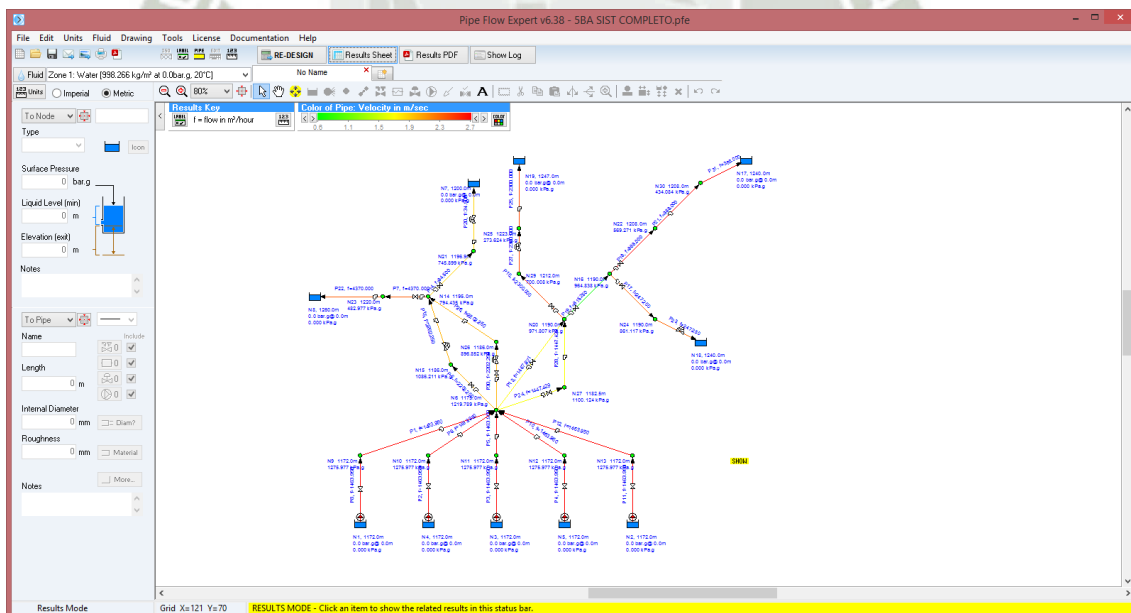


Figura 68: Modelamiento del sistema Opción 5 – Alternativa 3

4.6.2 Verificación por golpe de ariete

Se presenta en el ANEXO 7 – VERIFICACIÓN POR GOLPE DE ARIETE OPCIÓN 4 -ALTERNATIVA 2, para calcular el espesor de las tuberías.

4.6.3 Curva de la bomba y curva del sistema

De los resultados que se obtuvieron del software, se realizó la selección de la bomba y en base a esto se muestra los gráficos de cada una de las opciones y cada una de las alternativas:

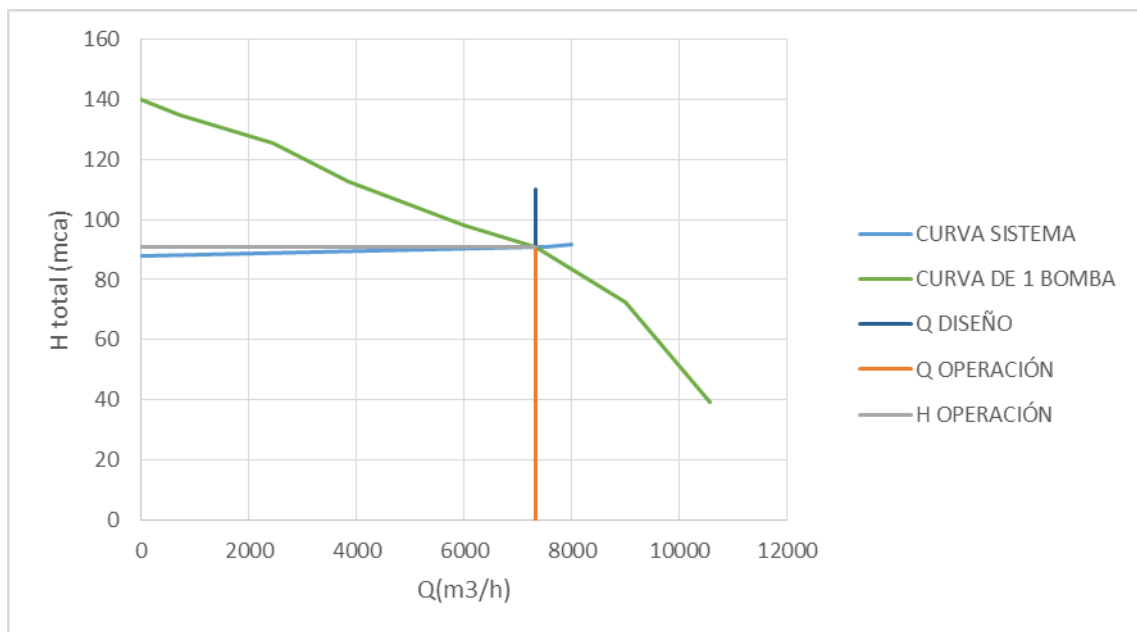


Figura 69: Curva bomba y curva del sistema Opción 1 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

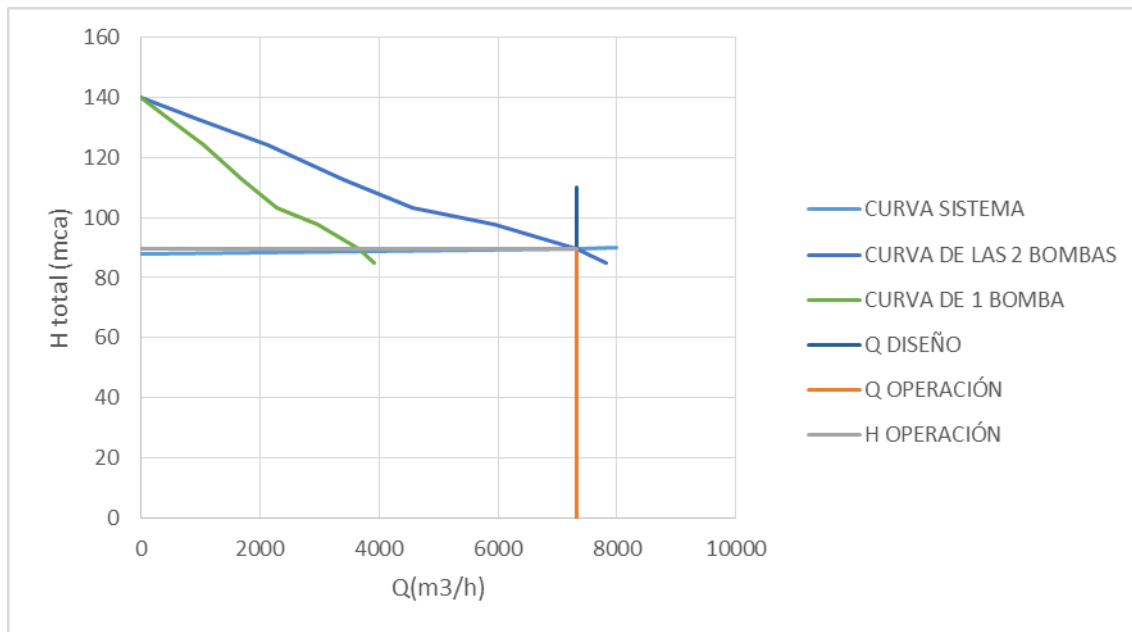


Figura 70: Curva bomba y curva del sistema Opción 2 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

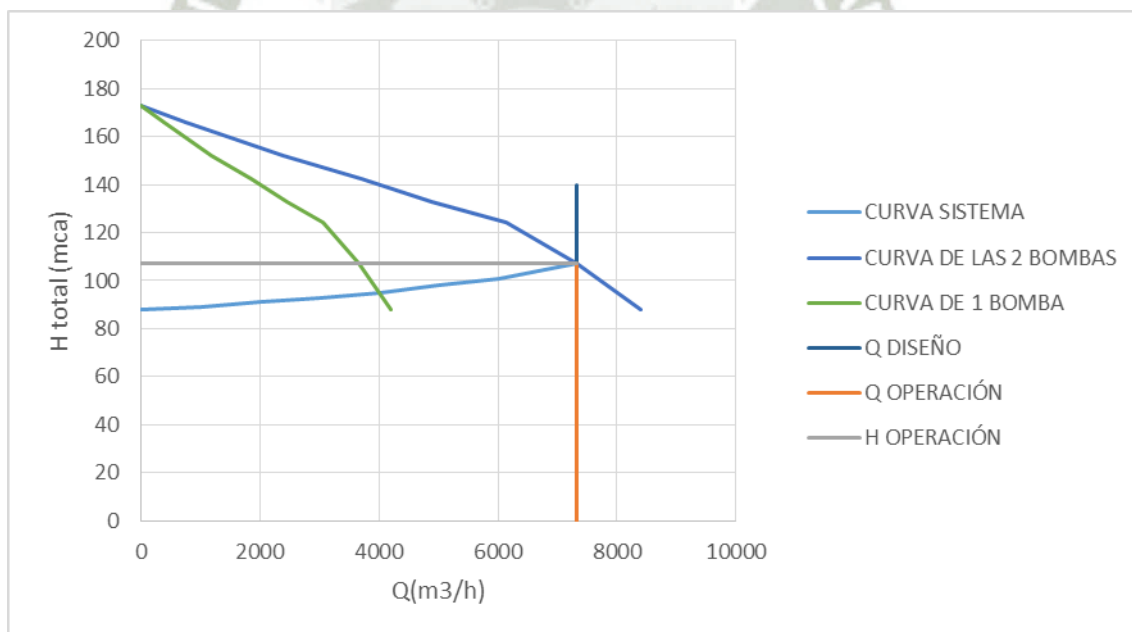


Figura 71: Curva bomba y curva del sistema Opción 2 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

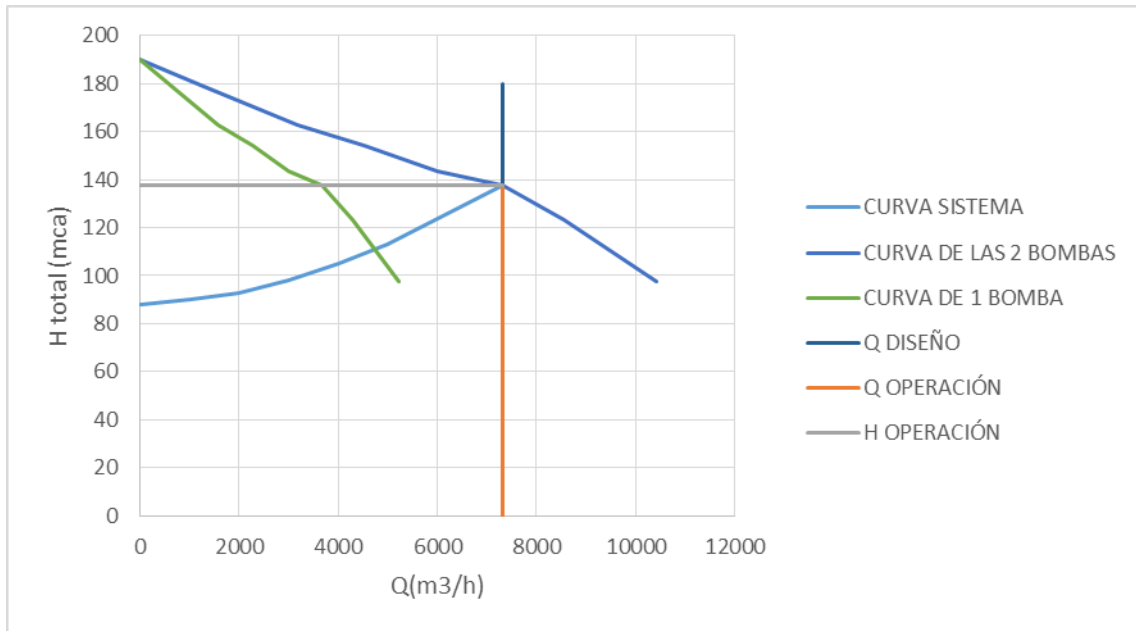


Figura 72: Curva bomba y curva del sistema Opción 2 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

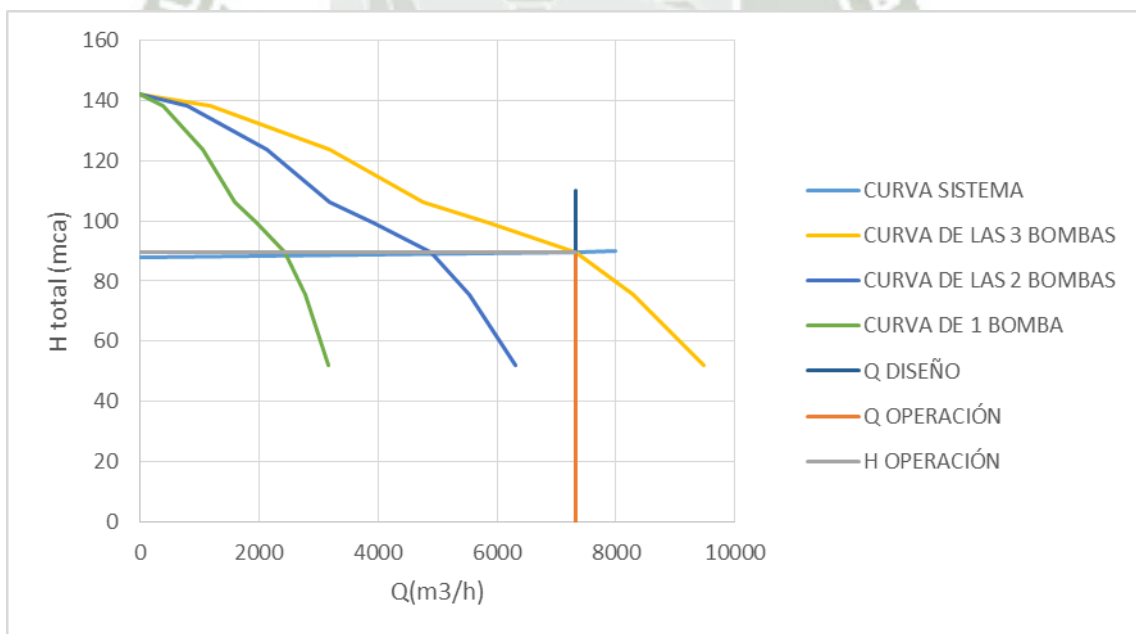


Figura 73: Curva bomba y curva del sistema Opción 3 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

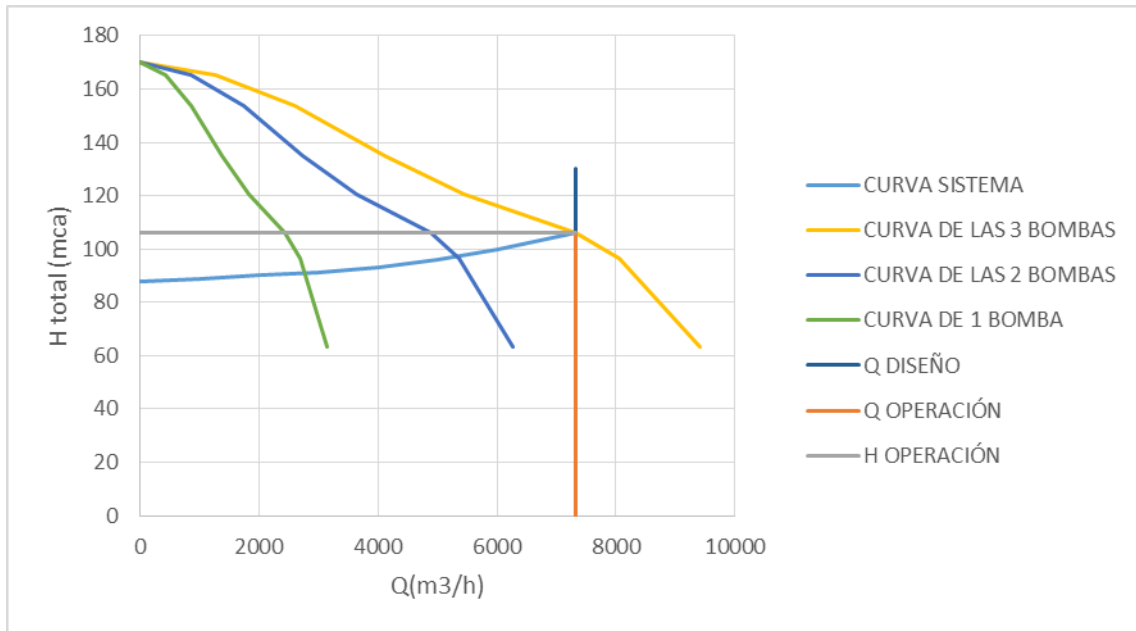


Figura 74: Curva bomba y curva del sistema Opción 3 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

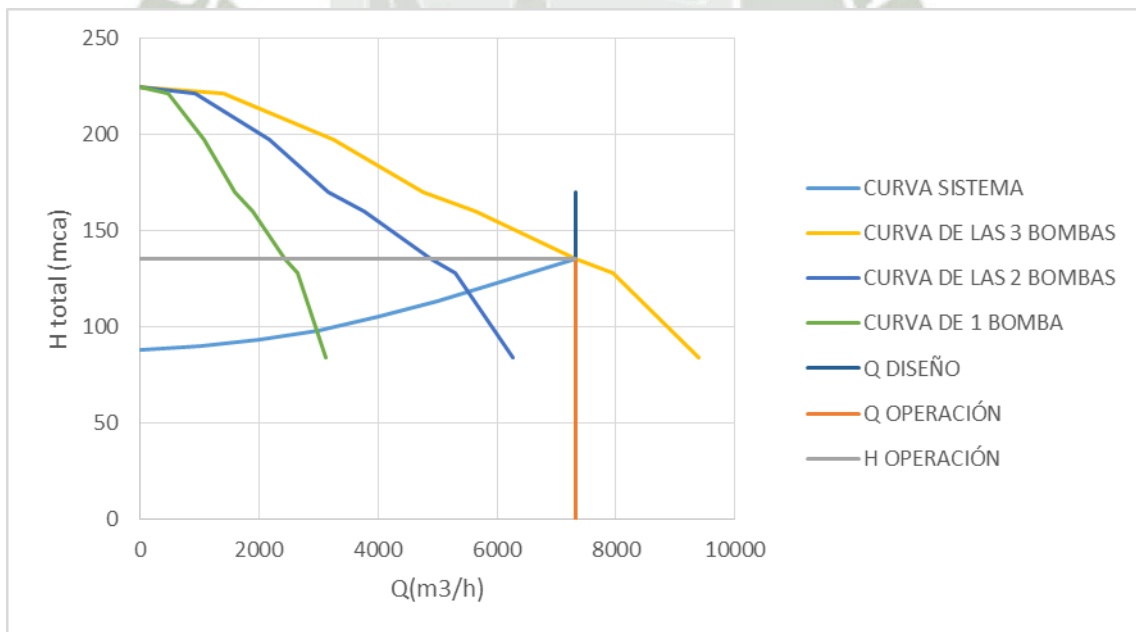


Figura 75: Curva bomba y curva del sistema Opción 3 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

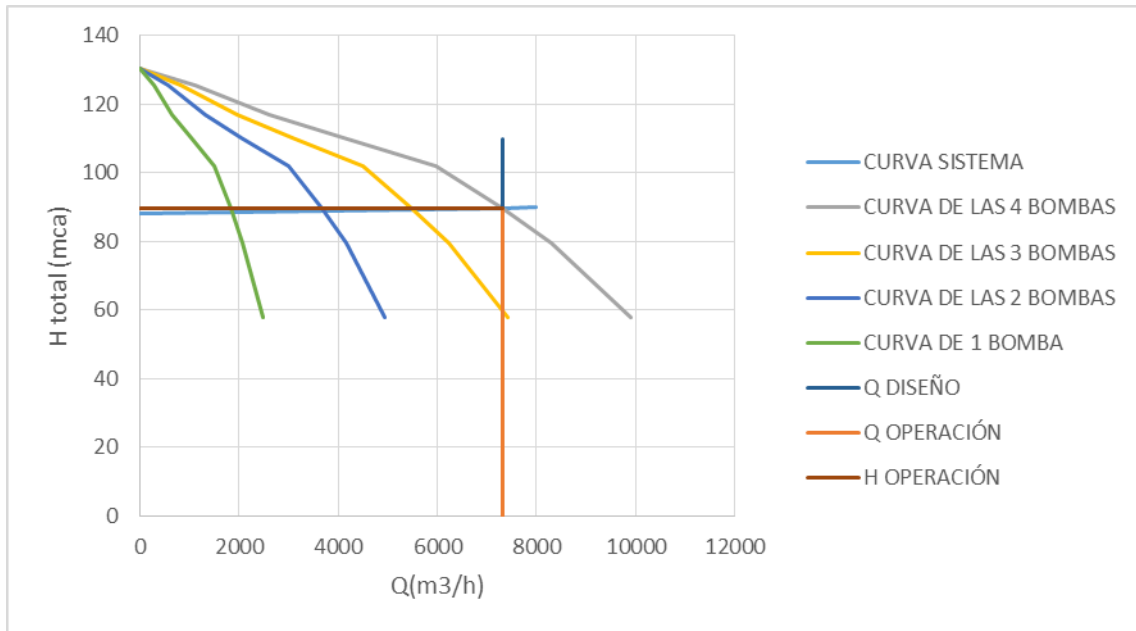


Figura 76: Curva bomba y curva del sistema Opción 4 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

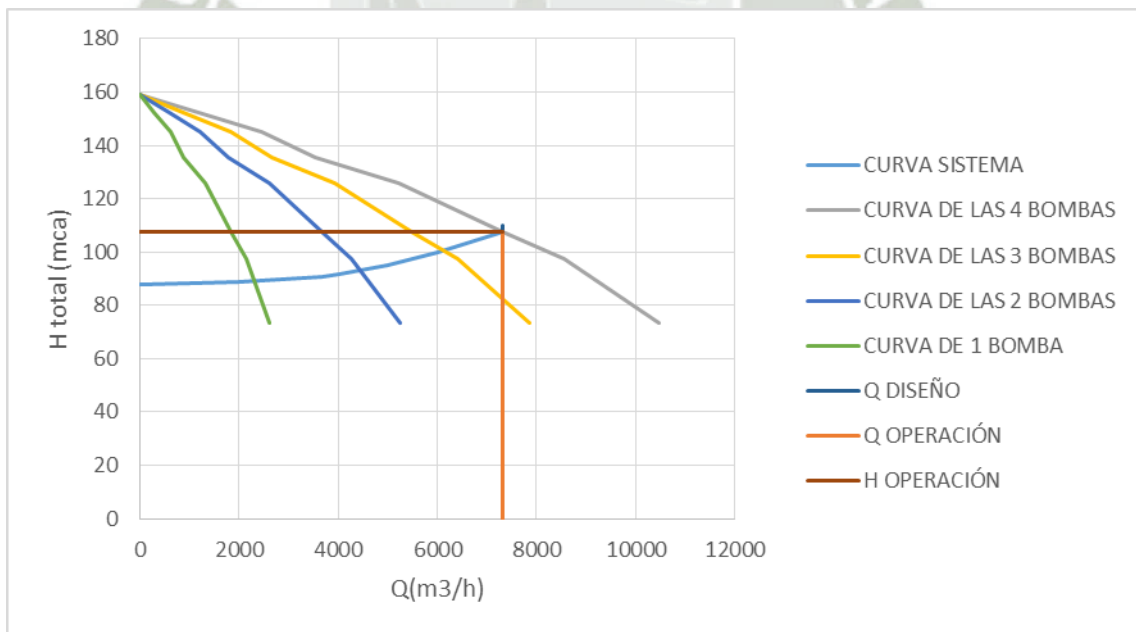


Figura 77: Curva bomba y curva del sistema Opción 4 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

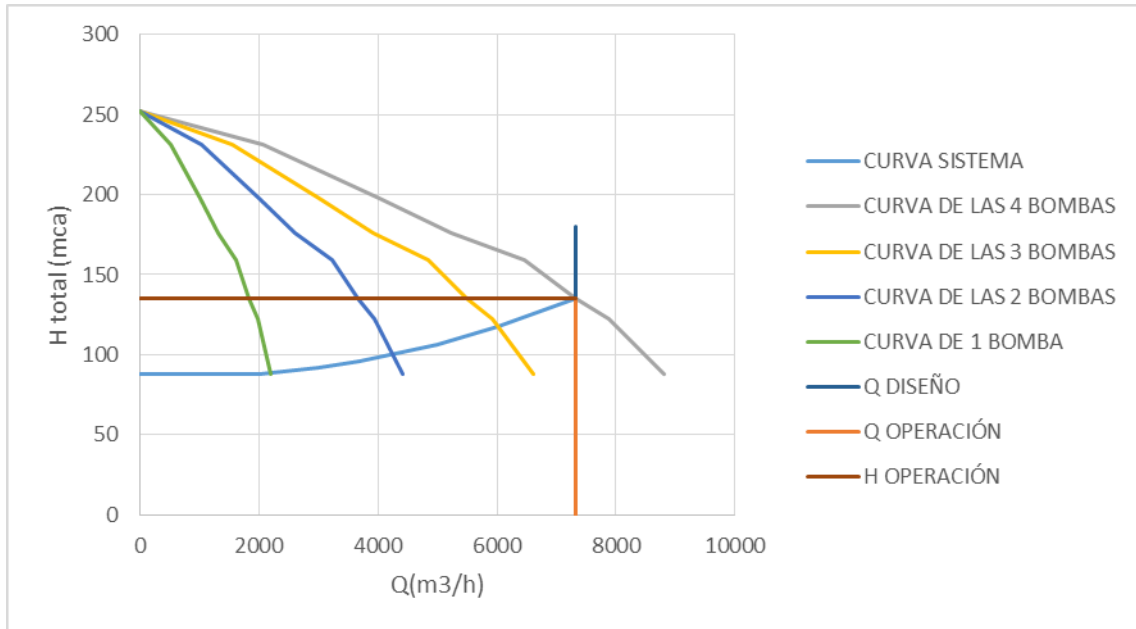


Figura 78: Curva bomba y curva del sistema Opción 4 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

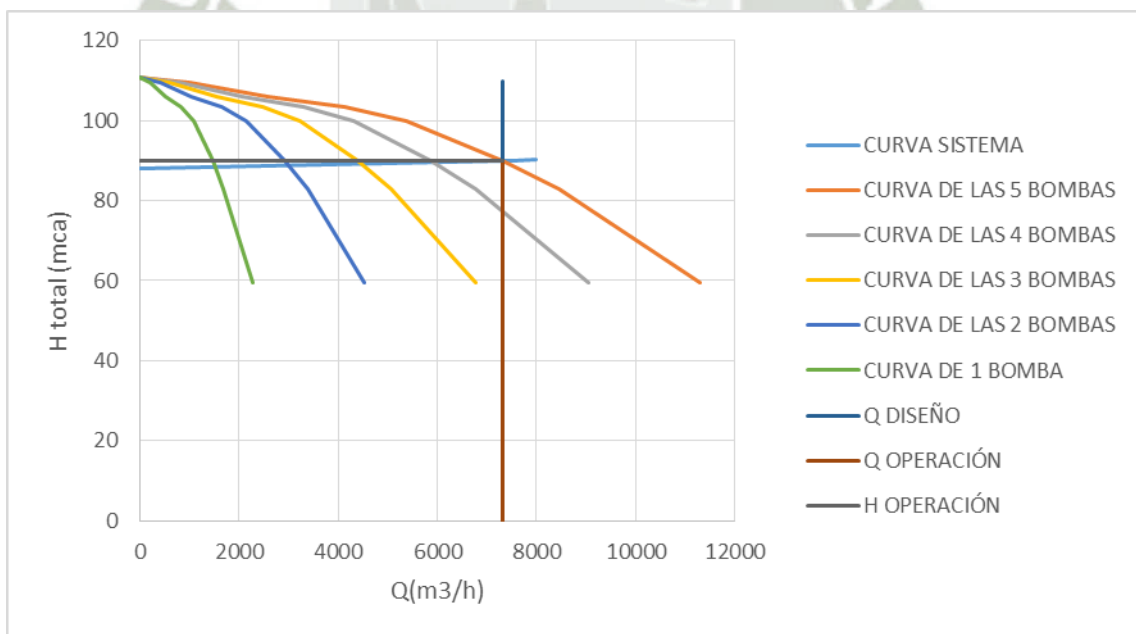


Figura 79: Curva bomba y curva del sistema Opción 5 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

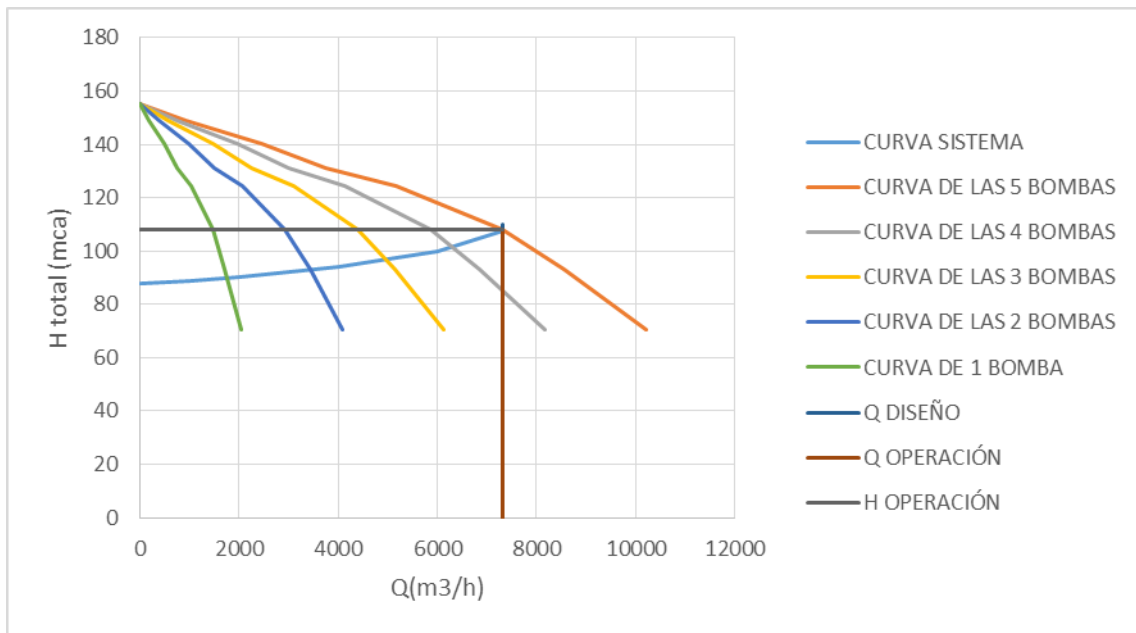


Figura 80: Curva bomba y curva del sistema Opción 5 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

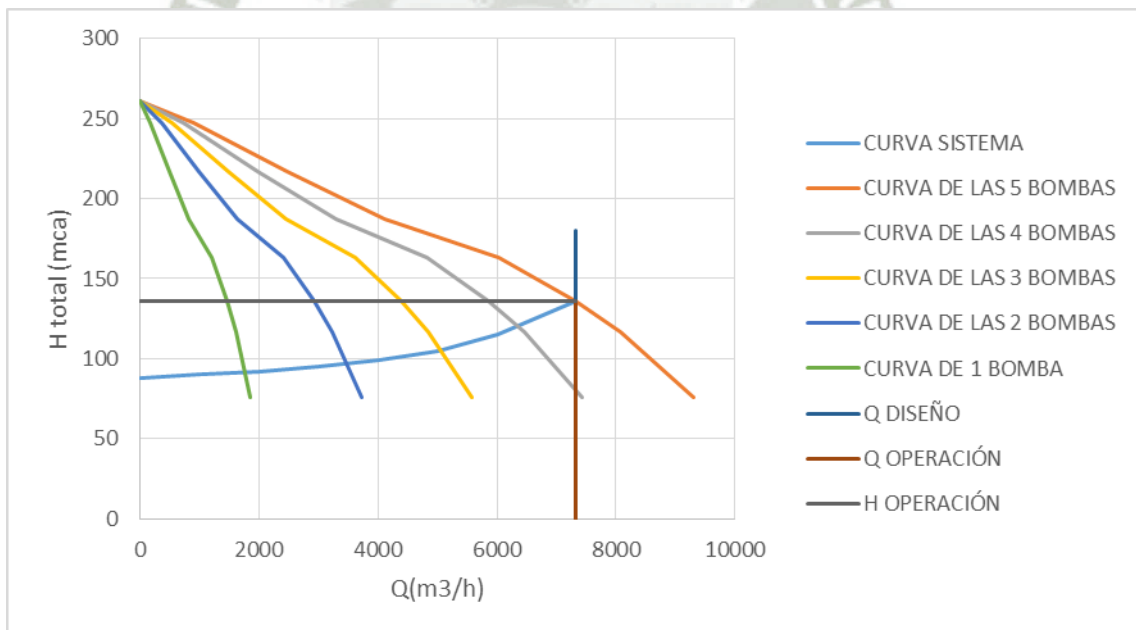


Figura 81: Curva bomba y curva del sistema Opción 5 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

4.6.4 Diseño – Año 2022

En la tabla se presentan los resultados obtenidos del cálculo para las 5 opciones (1, 2, 3, 4 y 5 bombas trabajando en paralelo). Los resultados se encuentran mejor detallados en el la Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio.

		Caudal total	Cantidad bombas	Caudal por bomba	ADT	Eficiencia Bomba	Pot. Consumida por Bomba
		m3/h	und	m3/h	mca	%	Kw
OPC. 1	ALT. 1	7,319.8	1	7,319.8	86.9	87.5	1977.49
OPC. 2	ALT. 1	7,319.8	2	3,659.9	85.76	87.3	978.03
	ALT. 2	7,319.8	2	3,659.9	103	86	1192.63
	ALT. 3	7,319.8	2	3,659.9	133.7	83	1603.75
OPC. 3	ALT. 1	7,319.8	3	2,439.9	85.7	88.9	639.84
	ALT. 2	7,319.9	3	2,440.0	102	88.9	761.68
	ALT. 3	7,319.9	3	2,440.0	131.4	89.2	977.74
OPC. 4	ALT. 1	7,319.8	4	1,830.0	85.8	85.5	499.54
	ALT. 2	7,319.8	4	1,830.0	103.7	86.8	594.72
	ALT. 3	7,319.8	4	1,830.0	131.5	88.3	741.34
OPC. 5	ALT. 1	7,320.0	5	1,464.0	86	85	402.92
	ALT. 2	7,320.0	5	1,464.0	103.8	86.6	477.33
	ALT. 3	7,319.8	5	1,464.0	131.6	87.7	597.72

Tabla 22: Características del sistema – Año 2022

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de este cuadro son encontrados gracias al software E-Prism perteneciente a la empresa ITT Goulds Pump que se adjuntan en el ANEXO 2 – CURVAS DE LAS BOMBAS DEL SOFTWARE E-PRISM.

4.6.5 Diseño – Año 2027

En la tabla se presentan los resultados obtenidos del cálculo para las 5 opciones (1, 2, 3, 4 y 5 bombas trabajando en paralelo). Los resultados se encuentran mejor detallados en la Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio.

		Caudal total	Cantidad bombas	Caudal por bomba	ADT	Eficiencia Bomba	Pot. Consumida por Bomba
		m3/h	und	m3/h	mca	%	Kw
OPC. 1	ALT. 1	7,319.8	1	7,319.8	81.898	87.5	1863.71
OPC. 2	ALT. 1	7,319.8	2	3,659.9	80.76	87.2	922.07
	ALT. 2	7,319.8	2	3,659.9	98.02	86.5	1128.19
	ALT. 3	7,319.8	2	3,659.9	128.7	83.5	1534.53
OPC. 3	ALT. 1	7,319.8	3	2,439.9	80.7	89.2	600.48
	ALT. 2	7,319.9	3	2,440.0	97.02	89.3	721.11
	ALT. 3	7,319.9	3	2,440.0	126.4	89.3	939.48
OPC. 4	ALT. 1	7,319.8	4	1,830.0	80.8	84.9	473.76
	ALT. 2	7,319.8	4	1,830.0	98.7	86.6	567.35
	ALT. 3	7,319.8	4	1,830.0	126.5	88	715.58
OPC. 5	ALT. 1	7,320.0	5	1,464.0	81	85.5	377.28
	ALT. 2	7,320.0	5	1,464.0	98.8	86.3	455.92
	ALT. 3	7,319.8	5	1,464.0	126.63	87.3	577.65

Tabla 23: Características del sistema – Año 2027

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de este cuadro son encontrados gracias al software E-Prism perteneciente a la empresa ITT Goulds Pump que se adjuntan en el ANEXO 2 – CURVAS DE LAS BOMBAS DEL SOFTWARE E-PRISM.

4.6.6 Diseño – Año 2032

En la tabla se presentan los resultados obtenidos del cálculo para las 5 opciones (1, 2, 3, 4 y 5 bombas trabajando en paralelo). Los resultados se encuentran mejor detallados en la Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio.

		Caudal total	Cantidad bombas	Caudal por bomba	ADT	Eficiencia Bomba	Pot. Consumida por Bomba
		m3/h	und	m3/h	mca	%	Kw
OPC. 1	ALT. 1	7,319.8	1	7,319.8	76.9	87.6	1747.93
OPC. 2	ALT. 1	7,319.8	2	3,659.9	75.76	86.7	869.97
	ALT. 2	7,319.8	2	3,659.9	93.02	86	1076.86
	ALT. 3	7,319.8	2	3,659.9	123.7	84.5	1457.45
OPC. 3	ALT. 1	7,319.8	3	2,439.9	75.7	88.8	565.81
	ALT. 2	7,319.9	3	2,440.0	92.02	89.2	684.71
	ALT. 3	7,319.9	3	2,440.0	121.4	88.8	907.40
OPC. 4	ALT. 1	7,319.8	4	1,830.0	75.8	80.3	469.90
	ALT. 2	7,319.8	4	1,830.0	93.7	86.3	540.48
	ALT. 3	7,319.8	4	1,830.0	121.5	88.5	683.42
OPC. 5	ALT. 1	7,320.0	5	1,464.0	76	85.5	353.99
	ALT. 2	7,320.0	5	1,464.0	93.8	86.9	429.86
	ALT. 3	7,319.8	5	1,464.0	121.6	87.1	556.11

Tabla 24: Características del sistema – Año 2032

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de este cuadro son encontrados gracias al software E-Prism perteneciente a la empresa ITT Goulds Pump que se adjuntan en el ANEXO 2 – CURVAS DE LAS BOMBAS DEL SOFTWARE E-PRISM.

4.6.7 Diseño – Año 2037

En la tabla se presentan los resultados obtenidos del cálculo para las 5 opciones (1, 2, 3, 4 y 5 bombas trabajando en paralelo). Los resultados se encuentran mejor detallados en la Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio.

		Caudal total	Cantidad bombas	Caudal por bomba	ADT	Eficiencia Bomba	Pot. Consumida por Bomba
		m3/h	und	m3/h	mca	%	Kw
OPC. 1	ALT. 1	7,319.8	1	7,319.8	71.9	87.3	1639.89
OPC. 2	ALT. 1	7,319.8	2	3,659.9	70.76	88.5	796.02
	ALT. 2	7,319.8	2	3,659.9	88.02	86.5	1013.09
	ALT. 3	7,319.8	2	3,659.9	118.7	84.5	1398.54
OPC. 3	ALT. 1	7,319.8	3	2,439.9	70.7	88.7	529.04
	ALT. 2	7,319.9	3	2,440.0	87.02	88.8	650.42
	ALT. 3	7,319.9	3	2,440.0	116.4	89.1	867.09
OPC. 4	ALT. 1	7,319.8	4	1,830.0	70.8	86.9	405.57
	ALT. 2	7,319.8	4	1,830.0	88.7	85.8	514.62
	ALT. 3	7,319.8	4	1,830.0	116.5	88.4	656.03
OPC. 5	ALT. 1	7,320.0	5	1,464.0	71	85.5	330.70
	ALT. 2	7,320.0	5	1,464.0	88.8	86.8	407.41
	ALT. 3	7,319.8	5	1,464.0	116.6	87.5	530.82

Tabla 25: Características del sistema – Año 2037

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de este cuadro son encontrados gracias al software E-Prism perteneciente a la empresa ITT Goulds Pump que se adjuntan en el ANEXO 2 – CURVAS DE LAS BOMBAS DEL SOFTWARE E-PRISM.

4.7 AJUSTE DE LAS BOMBAS A TRAVÉS DE LOS AÑOS

Para mantener la eficiencia de los escenarios planteados (recordando que el espejo de agua de la presa de relave crece aproximadamente 1 m/año), esto hace que las curvas del sistema se modifiquen a través de los años, por tal motivo es necesario hacer unos arreglos a las bombas para que no se entregue más caudal del necesario; este arreglo esta principalmente aplicado al diámetro de los impulsores de las bombas y a reducir fases (las fases son la cantidad de impulsores en paralelo que tiene una bomba de turbina vertical) de la bomba.

			Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024	Año 2025	Año 2026	Año 2027	
OPC. 1	ALT. 1	D imp (mm)	689.0	684.3	680.0	675.6	671.1	666.7	662.2	657.7	653.1	648.6	
		Fases	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
OPC. 2	ALT. 1	D imp (mm)	518.2	514.7	511.2	508.0	508.0	508.0	508.0	508.0	508.0	508.0	508.0
		Fases	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	ALT. 2	D imp (mm)	704.3	701.5	698.7	696.0	693.2	690.4	687.6	684.8	681.9	679.0	679.0
		Fases	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	ALT. 3	D imp (mm)	693.6	690.1	686.7	683.3	679.9	676.5	673.1	669.7	666.3	662.8	662.8
		Fases	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
OPC. 3	ALT. 1	D imp (mm)	446.0	443.6	441.2	438.7	436.3	433.8	431.3	428.8	426.3	423.7	423.7
		Fases	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	ALT. 2	D imp (mm)	443.8	441.9	439.9	438.0	436.0	434.0	432.1	430.1	428.1	426.0	426.0
		Fases	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	ALT. 3	D imp (mm)	436.6	435.2	433.8	432.4	431.0	429.5	428.1	426.7	425.2	423.7	423.7
		Fases	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
OPC. 4	ALT. 1	D imp (mm)	509.3	507.3	505.1	502.9	500.7	498.5	496.3	494.1	491.9	489.6	489.6
		Fases	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	ALT. 2	D imp (mm)	552.9	550.2	547.6	544.9	542.2	539.5	536.8	534.0	531.3	528.4	528.4
		Fases	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	ALT. 3	D imp (mm)	345.0	343.8	342.6	341.5	340.3	339.1	338.0	336.8	335.6	334.4	334.4
		Fases	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
OPC. 5	ALT. 1	D imp (mm)	473.6	471.2	468.8	466.3	463.9	461.4	458.9	456.4	453.9	451.3	451.3
		Fases	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ALT. 2	D imp (mm)	537.3	534.7	532.1	529.4	526.7	524.5	522.6	520.6	518.7	516.7	516.7
		Fases	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	ALT. 3	D imp (mm)	342.5	341.7	340.9	340.1	342.7	341.9	337.6	336.7	335.9	335.1	335.1
		Fases	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tabla 26: Ajuste de las bombas a través de los años (parte 1)

Fuente: Elaboración propia

			Año 2028	Año 2029	Año 2030	Año 2031	Año 2032	Año 2033	Año 2034	Año 2035	Año 2036	Año 2037
OPC. 1	ALT. 1	D imp (mm)	644.1	756.6	749.6	742.6	735.5	728.3	721.0	713.7	706.3	698.9
		Fases	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
OPC. 2	ALT. 1	D imp (mm)	508.0	508.0	508.0	508.0	508.0	508.0	586.9	579.8	572.6	565.2
		Fases	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
	ALT. 2	D imp (mm)	676.0	672.9	669.8	666.7	663.3	659.8	656.4	653.1	649.7	646.4
		Fases	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	ALT. 3	D imp (mm)	659.3	655.8	652.3	648.7	645.2	641.6	638.0	634.3	631.0	628.2
		Fases	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
OPC. 3	ALT. 1	D imp (mm)	421.1	418.5	416.0	413.7	411.3	409.0	406.8	447.6	444.3	441.1
		Fases	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
	ALT. 2	D imp (mm)	424.0	421.9	419.8	417.7	415.8	413.9	446.9	444.4	442.0	439.5
		Fases	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5
	ALT. 3	D imp (mm)	447.2	445.6	444.0	442.3	440.7	439.1	437.4	435.8	434.2	432.5
		Fases	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
OPC. 4	ALT. 1	D imp (mm)	525.3	523.3	521.2	519.1	517.4	515.3	513.1	511.0	508.9	506.7
		Fases	5	5	5	5	4	4	2	2	2	2
	ALT. 2	D imp (mm)	525.6	523.6	521.5	519.4	517.4	515.3	513.1	511.0	508.9	506.7
		Fases	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	ALT. 3	D imp (mm)	333.2	332.0	330.8	329.7	348.4	347.1	345.8	344.4	343.1	341.7
		Fases	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7
OPC. 5	ALT. 1	D imp (mm)	448.8	446.2	443.7	441.4	439.1	436.8	434.4	432.1	429.7	427.3
		Fases	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ALT. 2	D imp (mm)	514.7	512.7	510.7	508.7	506.9	505.8	504.7	503.6	502.5	501.4
		Fases	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4
	ALT. 3	D imp (mm)	334.2	333.4	332.5	331.6	330.8	329.9	329.0	328.1	327.2	326.3
		Fases	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7

Tabla 27: Ajuste de las bombas a través de los años (parte 2)

Fuente: Elaboración propia

4.8 NUMERO DE BOMBAS REQUERIDAS

Para cumplir con los requerimientos de operación, se define la detención de algunas bombas la Tabla 28: Bombas operando según los requerimientos, muestra la cantidad de bombas que se deberán usar en cada requerimiento.

		NUMERO DE BOMBAS OPERANDO			
		Req. 1	Req. 2	Req. 3	Req. 4
OPCIÓN 1 (1 BOMBA)	Alternativa 1	1	1	1	1
OPCIÓN 2 (2 BOMBAS)	Alternativa 1	2	1	1	1
	Alternativa 2	2	1	1	1
	Alternativa 3	2	1	1	1
OPCIÓN 3 (3 BOMBAS)	Alternativa 1	3	2	2	2
	Alternativa 2	3	2	2	2
	Alternativa 3	3	2	2	2
OPCIÓN 4 (4 BOMBAS)	Alternativa 1	4	3	2	2
	Alternativa 2	4	2	2	2
	Alternativa 3	4	2	2	2
OPCIÓN 5 (5 BOMBAS)	Alternativa 1	5	3	3	3
	Alternativa 2	5	3	2	2
	Alternativa 3	5	3	2	2

Tabla 28: Bombas operando según los requerimientos

Fuente: Elaboración propia

5 CAPITULO V: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

Este capítulo presenta un análisis técnico económico comparativo de todas las opciones y alternativas planteadas que alimentaran a las diferentes áreas, se incluye el costo de inversión y el costo de operación.

5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La norma OS.040 señala que toda estación de bombeo deberá considerar como mínimo con una bomba de reserva. El total de bombas se muestra en la Tabla 29: Número total de bombas usadas en cada opción.

		NUMERO DE BOMBAS OPERANDO	BOMBAS EN ALMACÉN	TOTAL DE BOMBAS
OPCIÓN 1	Alternativa 1	1	1	2
	Alternativa 1	2	1	3
OPCIÓN 2	Alternativa 2	2	1	3
	Alternativa 3	2	1	3
OPCIÓN 3	Alternativa 1	3	1	4
	Alternativa 2	3	1	4
	Alternativa 3	3	1	4
OPCIÓN 4	Alternativa 1	4	1	5
	Alternativa 2	4	1	5
	Alternativa 3	4	1	5
OPCIÓN 5	Alternativa 1	5	1	6
	Alternativa 2	5	1	6
	Alternativa 3	5	1	6

Tabla 29: Número total de bombas usadas en cada opción

Fuente: Elaboración propia

Además el análisis se realizó para diferentes años en los cuales el espejo de la presa de relave varía como se muestra en la Tabla 17: Altura del espejo de agua de la presa de relave a través de los años.

5.2 BASES PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO

Los aspectos considerados para el análisis son:

5.2.1 COSTOS DE INVERSIÓN

5.2.1.1 Equipo mecánico.

En la Tabla 30: Características de las bombas en cada opción, se muestra las características de las bombas para cada una de las opciones planteadas.

		CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA								
		Marca	Modelo	Tamaño	RPM	Stages	F (Hz)	D. Imp. (mm)	Potencia (HP)	Precio (US\$)
OPCIÓN 1	Alternativa 1	GOULDS	VIT	44GHXC /44GHC	590	4	60	689.03	2777.1	1,644,996.0
	Alternativa 1	GOULDS	VIT	34EHO/34EHO	890	3	60	518.21	1368.0	822,498.00
OPCIÓN 2	Alternativa 2	GOULDS	VIT	59DDS/36DLC	710	4	60	704.31	1661.4	822,498.00
	Alternativa 3	GOULDS	VIC/VIT/VIDS	59DDS/36DLC	890	3	60	689.69	2228.4	822,498.00
OPCIÓN 3	Alternativa 1	GOULDS	VIC/VIT	26GHO/26GHO	890	5	60	446.03	901.12	569,720.00
	Alternativa 2	GOULDS	VIC/VIT	26GHO/26GHO	890	6	60	443.83	1066.8	569,720.00
	Alternativa 3	GOULDS	VIC/VIT	26GHO/26GHO	890	8	60	436.61	1355.6	569,720.00

OPCIÓN 4	Alternativa 1	GOULDS	VIC/VIT/ VIS	28CHC	890	3	60	509.26	697.05	411,249.00
	Alternativa 2	GOULDS	VIC/VIT/ VIS	28CHC	890	3	60	564.55	827.34	411,249.00
	Alternativa 3	GOULDS	VIC/VIT	20GHO/ 20GHO	118 0	8	60	344.95	1022.0	411,249.00
OPCIÓN 5	Alternativa 1	GOULDS	VIC/VIT/ VIDS	41BDS	178 0	1	60	473.62	568.82	373,863.00
	Alternativa 2	GOULDS	VIC/VIT/ VIS	28CHC	710	5	60	537.28	664.03	373,863.00
	Alternativa 3	GOULDS	VIC/VIT	20GHXC /20GLC	118 0	8	60	342.54	826.88	373,863.00

Tabla 30: Características de las bombas en cada opción

Fuente: Elaboración propia

La información de precios fue proporcionada por la empresa HIDROSTAL S.A., siendo estos precios referenciales.

5.2.1.2 Tubería lisa HDPE

En la Tabla 31: Cantidad total de tubería lisa HDPE a utilizar, se presenta la cantidad total de tubería que necesita cada alternativa.

TUBERÍA LISA HDPE PE-100											
OPCIÓN 1	Alt. 1	D (pulg)	SDR 13.6	SDR 17		SDR 21			SDR 26		
			64"	54"	72"	24"	48"	64"	4"	16"	20"
		Long (m)	730	2670	664	1060	1670	3300	120	1355	1960
OPCIÓN 2	Alt. 1	D (pulg)	SDR 13.6	SDR 17		SDR 21			SDR 26		
			64"	54"	72"	24"	48"	64"	4"	16"	20"

		Long (m)	730	2670	664	1060	1670	3300	120	1355	1960	
Alt. 2			SDR 11			SDR 13.6			SDR 17			
	D (pulg)	36"	40"	54"	48"	32"	16"	12"	11"	3"		
	Long (m)	2670	730	664	3300	1670	1060	1960	1355	120		
Alt. 3			SDR 11		SDR 17	SDR 9						
	D (pulg)	28"	40"	3"	32"	28"	11"	10"				
	Long (m)	2730	3300	120	2058	5340	1960	1355				
OPCIÓN 3	Alt. 1		SDR 13.6	SDR 17	SDR 21			SDR 26				
		D (pulg)	54"	54"	72"	24"	48"	64"	4"	16"	20"	
		Long (m)	730	2670	664	1060	1670	3300	120	1355	1960	
	Alt. 2		SDR 11	SDR 13.6			SDR 17					
		D (pulg)	36"	54"	48"	32"	16"	12"	11"	3"		
		Long (m)	3400	664	3300	1670	1060	1960	1355	120		
	Alt. 3		SDR 11	SDR 17	SDR 9							
		D (pulg)	28"	40"	3"	32"	28"	11"	10"			
		Long (m)	2730	3300	120	2058	5340	1960	1355			
OPCIÓN 4	Alt. 1		SDR 13.6	SDR 17	SDR 21			SDR 26				
		D (pulg)	48"	54"	72"	24"	48"	64"	4"	16"	20"	
		Long (m)	730	2670	664	1060	1670	3300	120	1355	1960	
	Alt. 2		SDR 11	SDR 13.6			SDR 17					
		D (pulg)	36"	28"	54"	48"	32"	16"	12"	11"	3"	

		Long (m)	2670	730	664	3300	1670	1060	1960	1355	120
	Alt.3		SDR 11		SDR 17		SDR 9				
		D (pulg)	28"	40"	3"	24"	28"	32"	11"	10"	
		Long (m)	2730	3300	120	730	5340	1328	1960	1355	
OPCIÓN 5	Alt. 1		SDR 13.6		SDR 17		SDR 21		SDR 26		
		D (pulg)	40"	54"	72"	24"	48"	64"	4"	16"	20"
		Long (m)	730	2670	664	1060	1670	3300	120	1355	1960
	Alt. 2		SDR 11		SDR 13.6			SDR 17			
		D (pulg)	36"	24"	54"	48"	32"	16"	12"	11"	3"
		Long (m)	2670	730	664	3300	1670	1060	1960	1355	120
	Alt. 3		SDR 11		SDR 17		SDR 9				
		D (pulg)	28"	40"	3"	22"	28"	32"	11"	10"	
		Long (m)	2730	3300	120	730	5340	1328	1960	1355	

Tabla 31: Cantidad total de tubería lisa HDPE a utilizar

Fuente: Elaboración propia

Los precios de la tubería HDPE lisa PE-100 dependen del peso del material y se venden a S/.2.85/kg el cálculo se adjuntan en la Figura 83: Precio de tubería lisa HDPE PE-100.

La ficha técnica de esta tubería se muestra en la Figura 82: Ficha técnica de tubería HDPE lisa PE-100 y PE-80.

Relación estándar de dimensiones (SDR)																	
		SDR 33 (S16)		SDR 26 (S12.5)		SDR 21 (S10)		SDR 17 (S8)		SDR 13.6 (S6.3)		SDR 11 (S5)		SDR 9 (S4)		SDR 7.4 (S3.2)	
Presión Nominal																	
PE-80		equiv. 4.0 bar		5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar	
PE-100		equiv. 5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar		25.0 bar	
DN (mm)	DN Equiv. (pulg)	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml
20	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.12	2.3	0.13	3.0	0.16
25	3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.148	2.3	0.17	3.0	0.21	3.5	0.24
32	1	-	-	-	-	-	-	2.0	0.2	2.4	0.23	3.0	0.28	3.6	0.33	4.4	0.39
40	1-1/4	-	-	-	-	2.0	0.245	2.4	0.29	3.0	0.36	3.7	0.43	4.5	0.51	5.5	0.61
50	1-1/2	-	-	2.0	0.31	2.4	0.367	3.0	0.50	3.7	0.55	4.6	0.67	5.6	0.79	6.9	0.94
63	2.00	-	-	2.5	0.49	3.0	0.570	3.8	0.72	4.7	0.88	5.8	1.06	8.1	1.27	8.6	1.48
75	2-1/2	-	-	2.9	0.67	3.6	0.819	4.5	1.02	5.6	1.24	6.8	1.48	8.4	1.78	10.3	2.12
90	3	-	-	3.5	0.97	4.3	1.170	5.4	1.47	6.7	1.78	8.2	2.14	10.1	2.57	12.3	3.03
110	4	-	-	4.2	1.41	5.3	1.78	6.6	2.18	8.1	2.64	10.0	3.18	12.3	3.82	15.1	4.54
160	6	-	-	6.2	3.06	7.7	3.74	9.5	4.56	11.8	5.56	14.6	6.74	17.9	8.05	21.9	9.56
200	8	-	-	7.7	4.73	9.6	5.83	11.9	7.12	14.7	8.65	18.2	10.50	22.4	12.60	27.4	14.94
250	10	-	-	9.6	7.37	11.9	9.02	14.8	11.06	18.4	13.54	22.7	16.35	27.9	19.60	34.2	23.32
280	11	-	-	10.7	9.19	13.4	11.38	16.6	13.90	20.6	16.96	25.4	20.50	31.3	24.64	38.3	29.24
315	12	9.7	9.34	12.1	11.70	15.0	14.30	18.7	17.60	23.2	21.50	28.6	25.95	35.2	31.16	43.1	37.01
355	14	10.9	11.81	13.6	14.79	16.9	18.16	21.1	22.40	26.1	27.25	32.2	32.94	39.7	39.58	48.5	46.93
400	16	12.3	15.01	15.3	18.75	19.1	23.16	23.7	28.31	29.4	34.56	36.3	41.82	44.7	50.21	54.7	59.60
450	18	13.8	18.94	17.2	23.71	21.5	29.28	26.7	35.87	33.1	43.78	40.9	52.96	50.3	63.57	61.5	74.55
500	20	15.3	23.68	19.1	29.25	23.9	36.13	29.7	44.32	36.8	54.02	45.4	65.34	55.8	78.44	-	-
560	22	17.2	29.80	21.4	36.67	26.7	45.22	33.2	55.52	41.2	67.77	50.8	81.86	62.5	98.38	-	-
630	24	19.3	37.60	24.1	46.46	30.0	57.12	37.4	70.32	46.3	85.66	57.2	103.97	70.3	124.46	-	-
710	28	21.8	47.83	27.2	59.14	33.8	72.89	42.1	89.32	52.2	108.93	64.5	131.91	79.3	158.21	-	-
800	32	24.5	60.55	30.6	74.94	38.1	92.30	47.4	113.29	58.8	138.24	72.6	167.29	89.3	200.73	-	-
900	36	27.6	76.70	34.4	94.75	42.9	116.88	53.3	143.29	66.2	175.06	81.7	211.75	-	-	-	-
1000	40	30.6	94.46	38.2	116.90	47.7	144.36	59.3	177.09	72.5	213.25	90.2	259.91	-	-	-	-
1200	48	36.7	135.88	45.9	168.45	57.2	207.67	67.9	244.03	88.2	310.90	-	-	-	-	-	-
1400	54	42.9	185.15	53.5	229.03	66.7	282.49	82.4	344.68	102.9	423.24	-	-	-	-	-	-
1600	64	49.0	241.63	61.2	299.43	76.2	368.91	94.1	449.89	117.6	552.83	-	-	-	-	-	-
1800	72	54.5	302.56	69.1	380.25	85.7	466.60	105.9	569.33	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	80	60.6	373.72	76.9	469.88	95.2	576.01	117.6	702.55	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 82: Ficha técnica de tubería HDPE lisa PE-100 y PE-80

Fuente: CIDELSA. (2000). Manual técnico de tubería HDPE

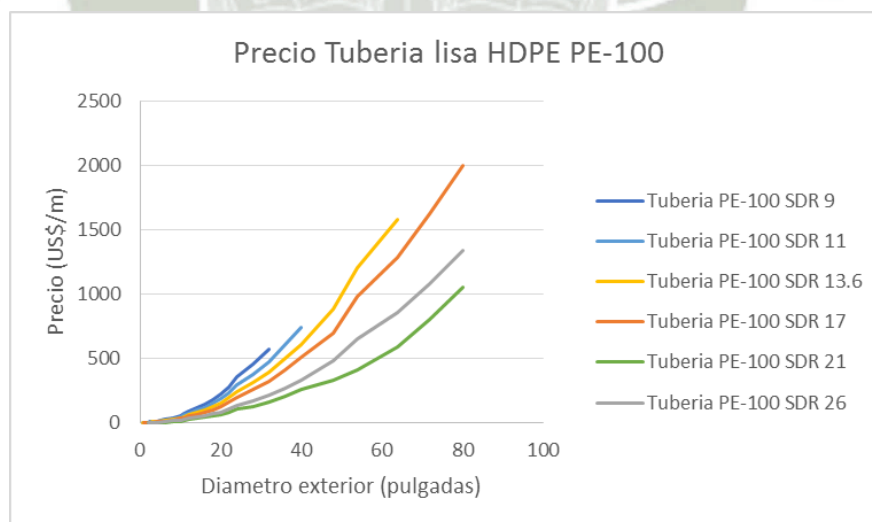


Figura 83: Precio de tubería lisa HDPE PE-100

Fuente: Elaboración propia

Los precios de tubería HDPE lisa fueron proporcionados gracias a GLOBALPLAST S.A.C., siendo estos precios referenciales.

5.2.1.3 Balsas

Dado que las barcazas actuales presentan problemas en su estabilización se consideró reemplazarlas, asumiendo una barcaza por bomba. El precio referencial se muestra en la Tabla 32: Precio referencial de Balsa flotante metálica

ÍTEM	PRECIO (US\$)
BALSA FLOTANTE METÁLICA 5,00mx5,00mx1.25m	212,400.00

Tabla 32: Precio referencial de Balsa flotante metálica

El precio de la balsa fue proporcionado por HIDROSTAL S.A., siendo este un precio aproximado.

5.2.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Los principales aspectos para los costos de operación son:

5.2.2.1 Consumo eléctrico

En la Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio, se muestra el total de cálculo de potencia para todos los años de estudio.

		Opción 1		Opción 2		Opción 3		Opción 4			Opción 5			
		ALT. 1	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
Año 2018	Hb (mca)	90.9	89.8	107.0	137.7	89.7	106.0	135.4	89.8	107.7	135.5	90.0	107.8	135.6
	Ef.	87.4%	87.6%	86.0%	82.5%	88.6%	88.6%	88.9%	86.0%	86.9%	88.5%	84.5%	86.7%	87.6%
	Pot. (kW)	2070.9	1020.1	1238.9	1661.7	672.0	794.2	1010.9	519.8	616.9	762.2	424.2	495.2	616.6
Año 2019	Hb (mca)	89.9	88.8	106.0	136.7	88.7	105.0	134.4	88.8	106.7	134.5	89.0	106.8	134.6
	Ef.	87.4%	87.5%	86.0%	82.5%	88.7%	88.7%	88.7%	85.9%	86.9%	88.4%	84.5%	86.7%	87.6%

	Pot. (kW)	2048.1	1009.9	1227.4	1649.7	663.7	785.8	1005.7	514.6	611.2	757.4	419.4	490.6	612.0
Año 2020	Hb (mca)	88.9	87.8	105.0	135.7	87.7	104.0	133.4	87.8	105.7	133.5	88.0	105.8	133.6
	Ef.	87.4%	87.4%	86.0%	83.0%	88.7%	88.8%	89.1%	85.7%	86.9%	88.4%	84.5%	86.6%	87.5%
	Pot. (kW)	2025.3	999.7	1215.8	1627.7	656.2	777.5	993.7	510.0	605.5	751.8	414.7	486.5	608.2
Año 2021	Hb (mca)	87.9	86.8	104.0	134.7	86.7	103.0	132.4	86.8	104.7	132.5	87.0	104.8	132.6
	Ef.	87.4%	87.3%	86.0%	83.0%	88.8%	88.9%	89.1%	85.6%	86.8%	88.4%	85.0%	86.6%	87.5%
	Pot. (kW)	2002.5	989.4	1204.2	1615.7	648.0	769.1	986.3	504.8	600.5	746.1	407.6	481.9	603.6
Año 2022	Hb (mca)	86.9	85.8	103.0	133.7	85.7	102.0	131.4	85.8	103.7	131.5	86.0	103.8	131.6
	Ef.	87.5%	87.3%	86.0%	83.0%	88.9%	88.9%	89.2%	85.5%	86.8%	88.3%	85.0%	86.6%	87.7%
	Pot. (kW)	1977.5	978.0	1192.6	1603.7	639.8	761.7	977.7	499.5	594.7	741.3	402.9	477.3	597.7
Año 2023	Hb (mca)	85.9	84.8	102.0	132.7	84.7	101.0	130.4	84.8	102.7	130.5	85.0	102.8	130.6
	Ef.	87.5%	87.2%	86.0%	83.0%	89.0%	89.0%	89.3%	85.4%	86.7%	88.2%	85.0%	86.5%	87.7%
	Pot. (kW)	1954.7	967.7	1181.1	1591.7	631.7	753.4	969.2	494.3	589.7	736.5	398.2	473.3	593.2
Año 2024	Hb (mca)	84.9	83.8	101.0	131.7	83.7	100.0	129.4	83.8	101.7	129.5	84.0	101.8	129.6
	Ef.	87.5%	87.2%	86.0%	83.5%	89.1%	89.1%	89.3%	85.3%	86.7%	88.1%	85.0%	86.5%	87.4%
	Pot. (kW)	1932.0	956.3	1169.5	1570.3	623.5	745.1	961.8	489.0	583.9	731.7	393.6	468.7	590.7
Año 2025	Hb (mca)	83.9	82.8	100.0	130.7	82.7	99.0	128.4	82.8	100.7	128.5	83.0	100.8	128.6
	Ef.	87.5%	87.2%	86.0%	83.5%	89.2%	89.2%	89.3%	85.1%	86.7%	88.0%	85.0%	86.4%	87.4%
	Pot. (kW)	1909.2	944.9	1157.9	1558.4	615.4	736.8	954.3	484.3	578.2	726.9	388.9	464.6	586.1
Año 2026	Hb (mca)	82.9	81.8	99.0	129.7	81.7	98.0	127.4	81.8	99.7	127.5	82.0	99.8	127.6
	Ef.	87.5%	87.2%	86.0%	83.5%	89.2%	89.3%	89.3%	85.0%	86.6%	88.0%	85.5%	86.3%	87.4%
	Pot. (kW)	1886.5	933.5	1146.3	1546.4	607.9	728.5	946.9	479.1	573.1	721.2	381.9	460.5	581.5
Año 2027	Hb (mca)	81.9	80.8	98.0	128.7	80.7	97.0	126.4	80.8	98.7	126.5	81.0	98.8	126.6
	Ef.	87.5%	87.2%	86.5%	83.5%	89.2%	89.3%	89.3%	84.9%	86.6%	88.0%	85.5%	86.3%	87.3%
	Pot. (kW)	1863.7	922.1	1128.2	1534.5	600.5	721.1	939.5	473.8	567.4	715.6	377.3	455.9	577.6
Año 2028	Hb (mca)	80.9	79.8	97.0	127.7	79.7	96.0	125.4	79.8	97.7	125.5	80.0	97.8	125.6
	Ef.	87.6%	87.2%	86.5%	84.0%	89.3%	89.2%	88.5%	78.2%	86.6%	88.0%	85.5%	86.2%	87.3%
	Pot. (kW)	1838.8	910.6	1116.7	1513.5	592.4	714.5	940.5	508.0	561.6	709.9	372.6	451.8	573.1
Año 2029	Hb (mca)	79.9	78.8	96.0	126.7	78.7	95.0	124.4	78.8	96.7	124.5	79.0	96.8	124.6
	Ef.	87.6%	87.1%	86.5%	84.0%	89.4%	89.3%	88.6%	77.9%	86.5%	87.9%	85.5%	86.1%	87.2%
	Pot. (kW)	1816.1	900.3	1105.2	1501.7	584.3	706.2	931.9	503.5	556.5	705.1	368.0	447.7	569.2

Año 2030	Hb (mca)	78.9	77.8	95.0	125. 7	77.7	94.0	123. 4	77.8	95.7	123. 5	78.0	95.8	123. 6
	Ef.	87.6%	87.0%	86.5 %	84.0 %	89.2 %	89.4 %	88.6 %	77.7 %	86.4 %	87.8 %	85.5 %	86.0 %	87.2 %
	Pot. (kW)	1793.4	889.9	1093 .7	1489 .8	578. 2	698. 0	924. 4	498. 4	551. 4	700. 2	363. 3	443. 6	564. 6
Año 2031	Hb (mca)	77.9	76.8	94.0	124. 7	76.7	93.0	122. 4	76.8	94.7	122. 5	77.0	94.8	122. 6
	Ef.	87.6%	86.9%	86.5 %	84.0 %	89.0 %	89.5 %	88.7 %	77.4 %	86.4 %	88.5 %	85.5 %	85.9 %	87.1 %
	Pot. (kW)	1770.7	879.4	1082 .1	1478 .0	572. 0	689. 8	915. 9	493. 9	545. 6	689. 0	358. 6	439. 5	560. 7
Año 2032	Hb (mca)	76.9	75.8	93.0	123. 7	75.7	92.0	121. 4	75.8	93.7	121. 5	76.0	93.8	121. 6
	Ef.	87.6%	86.7%	86.0 %	84.5 %	88.8 %	89.2 %	88.8 %	80.3 %	86.3 %	88.5 %	85.5 %	86.9 %	87.1 %
	Pot. (kW)	1747.9	870.0	1076 .9	1457 .5	565. 8	684. 7	907. 4	469. 9	540. 5	683. 4	354. 0	429. 9	556. 1
Año 2033	Hb (mca)	75.9	74.8	92.0	122. 7	74.7	91.0	120. 4	74.8	92.7	120. 5	75.0	92.8	120. 6
	Ef.	87.3%	86.5%	86.0 %	84.5 %	88.7 %	89.0 %	88.8 %	80.0 %	86.2 %	88.5 %	85.5 %	86.9 %	87.0 %
	Pot. (kW)	1731.1	860.5	1065 .3	1445 .7	559. 0	678. 8	899. 9	465. 4	535. 3	677. 8	349. 3	425. 3	552. 2
Año 2034	Hb (mca)	74.9	73.8	91.0	121. 7	73.7	90.0	119. 4	73.8	91.7	119. 5	74.0	91.8	119. 6
	Ef.	87.3%	88.6%	86.0 %	84.5 %	88.6 %	88.5 %	88.9 %	86.9 %	86.1 %	88.4 %	85.5 %	86.9 %	87.5 %
	Pot. (kW)	1708.3	828.8	1053 .7	1433 .9	552. 1	675. 1	891. 4	422. 8	530. 2	672. 9	344. 7	420. 7	544. 5
Año 2035	Hb (mca)	73.9	72.8	90.0	120. 7	72.7	89.0	118. 4	72.8	90.7	118. 5	73.0	90.8	118. 6
	Ef.	87.3%	88.6%	86.5 %	84.5 %	88.5 %	88.6 %	89.0 %	86.9 %	86.0 %	88.4 %	85.5 %	86.9 %	87.5 %
	Pot. (kW)	1685.5	817.6	1036 .1	1422 .1	545. 2	666. 9	883. 0	417. 0	525. 0	667. 3	340. 0	416. 1	539. 9
Año 2036	Hb (mca)	72.9	71.8	89.0	119. 7	71.7	88.0	117. 4	71.8	89.7	117. 5	72.0	89.8	117. 6
	Ef.	87.3%	88.6%	86.5 %	84.5 %	88.6 %	88.7 %	89.0 %	86.9 %	85.9 %	88.4 %	85.5 %	86.9 %	87.5 %
	Pot. (kW)	1662.7	806.4	1024 .6	1410 .3	537. 1	658. 6	875. 5	411. 3	519. 8	661. 7	335. 4	411. 5	535. 4

Año 2037	Hb (mca)	71.90	70.76	88.0 2	118. 7	70.7	87.0 2	116. 4	70.8	88.7	116. 5	71	88.8	116. 63
	Ef.	87.3%	88.5%	86.5 %	84.5 %	88.7 %	88.8 %	89.1 %	86.9 %	85.8 %	88.4 %	85.5 %	86.8 %	87.5 %
	Pot. (kW)	1639.9	796.0	1013 .1	1398 .5	529. 0	650. 4	867. 1	405. 6	514. 6	656. 0	330. 7	407. 4	530. 8

Tabla 33: Calculo de la potencia para todos los años de estudio

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación del precio de la energía eléctrica, se hizo la consulta en la empresa Electrosur S.A. que es la empresa que abastece de consumo eléctrico a la ciudad de Tacna y Moquegua, sin embargo la empresa que se encarga de abastecer de energía eléctrica al sector industrial en Tacna y Moquegua es la empresa EGASA S.A., el cálculo del precio se muestra a continuación en la tabla.

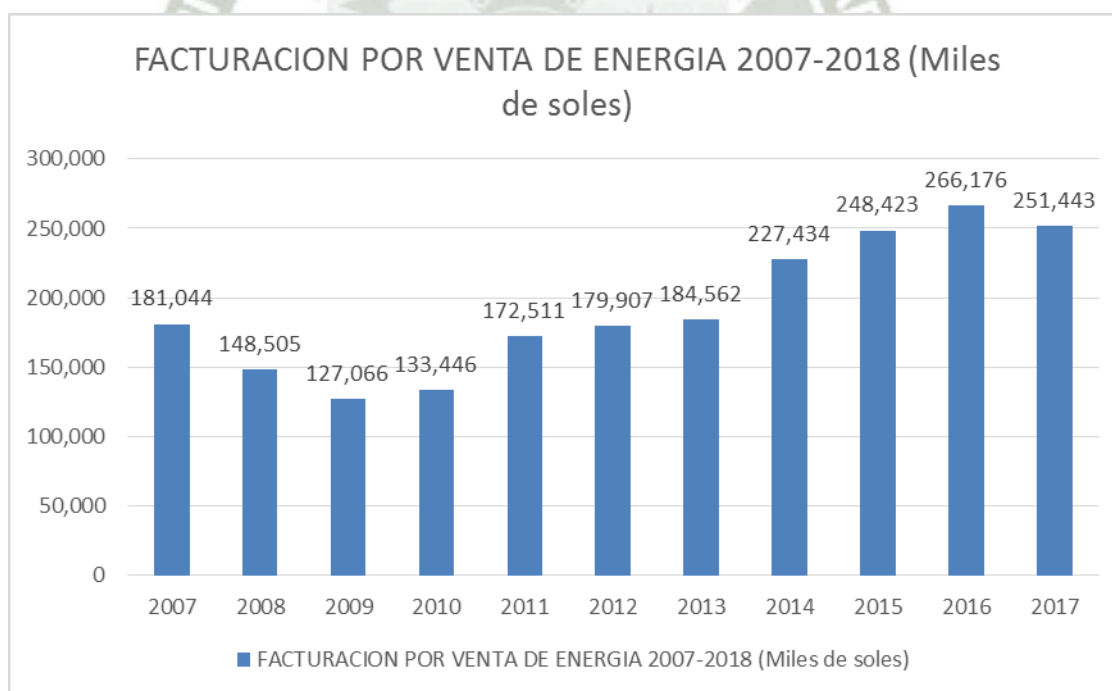


Figura 84: Facturación por venta de energía

Fuente: Adaptado de EGASA

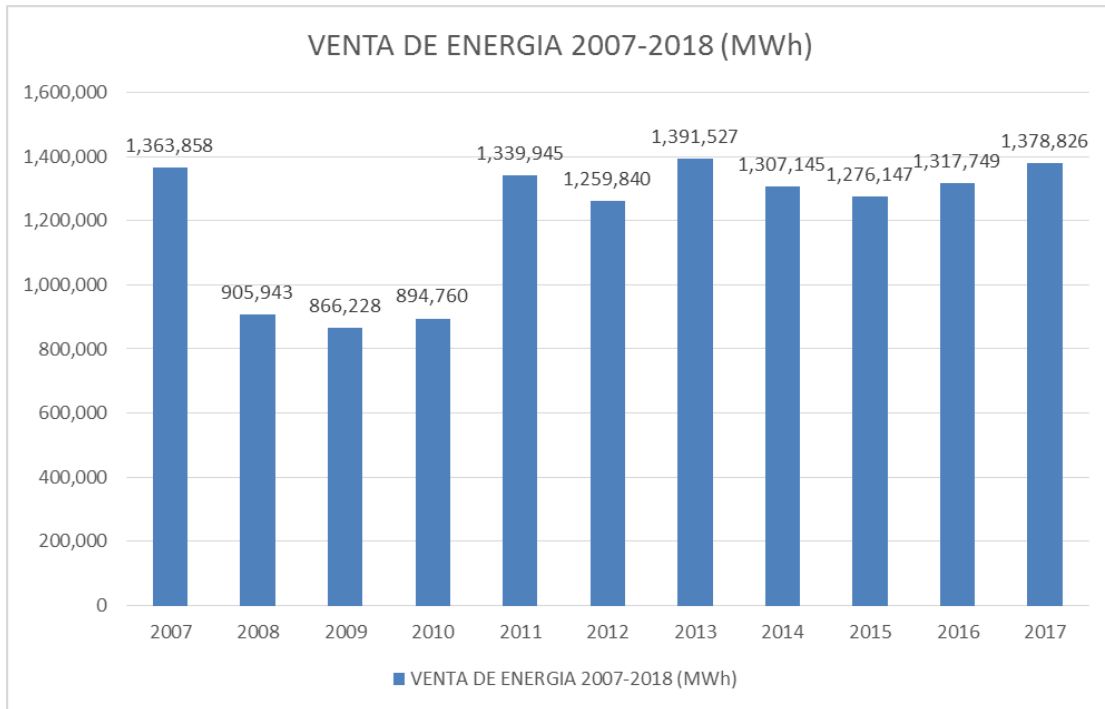


Figura 85: Venta de energía

Fuente: Adaptado de EGASA

La línea de tendencia del precio de la energía eléctrica se estimó de acuerdo a una función lineal.

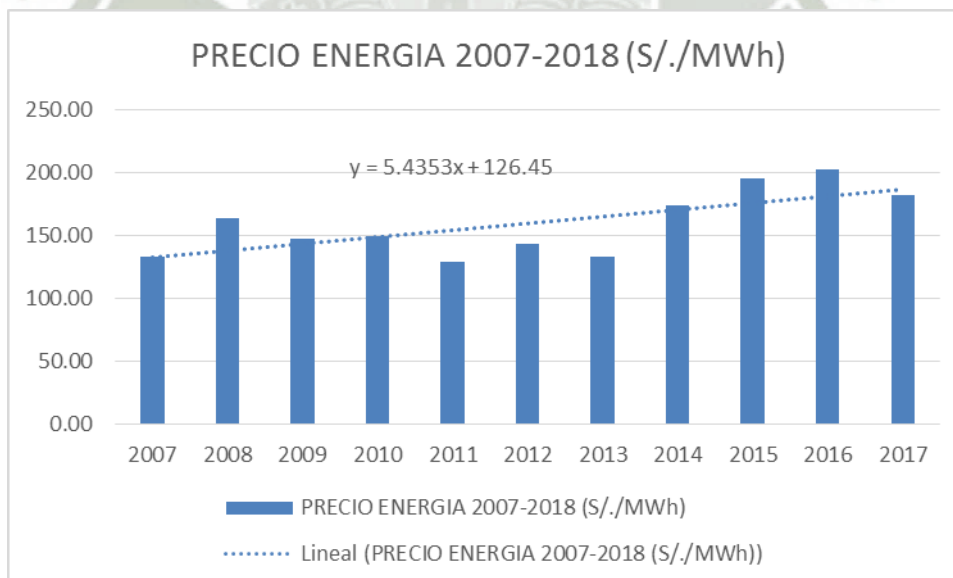


Figura 86: Precio de la energía sector industrial

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se puede establecer precios estimados en base a la línea de tendencia propuesta según los gráficos de EGASA S.A.

AÑO	PRECIO ENERGÍA ELÉCTRICA (S./MWh)
2018	191.7
2019	197.1
2020	202.5
2021	208.0
2022	213.4
2023	218.9
2024	224.3
2025	229.7
2026	235.2
2027	240.6
2028	246.0
2029	251.5
2030	256.9
2031	262.3
2032	267.8
2033	273.2
2034	278.6
2035	284.1
2036	289.5
2037	294.9

Tabla 34: Precio de la energía eléctrica para el sector industrial

Fuente: Elaboración propia

Se estima que los equipos operan los 365 días, normalmente las operaciones mineras son de día y según la gente de procesos de la mina; las horas de bombeo son de 14 horas al día aproximadamente.

	OPERACIÓN DE MÁXIMA DEMANDA (m3/h)	OPERACIÓN NORMAL (m3/h)	OPERACIÓN DE CAMBIO DE CANCHA (m3/h)	PARADA GENERAL (m3/h)
	Req. 1	Req. 2	Req. 3	Req. 4
ÁREA "A"	320	145	145	320
ÁREA "B"	215	130	200	0
ÁREA "C"	3800	1895	1505	2000
ÁREA "D"	30	30	0	0
ÁREA "E"	2000	1000	1000	500
Q TOTAL nominal	6365	3200	2850	2820
Q TOTAL diseño	7319.75	3680	3277.5	3243
Tiempo de Operación (h/sem)	Eventual 3	A menudo 74	Ocasionalmente 6	Rara vez 1
Porcentaje de operación	3.6%	88.1%	7.1%	1.2%

Tabla 35: Tiempo de operación de cada área

Fuente: Elaboración propia

Para poder dar un valor certero de los costos de energía eléctrica, se debe realizar un ajuste al consumo anual, un factor de corrección, este se calculó multiplicando el número de bombas requeridas por el porcentaje del tiempo de operación para cada requerimiento como se muestra en la Tabla 36: Factor de corrección de acuerdo a los requerimientos del sistema.

		NUMERO DE BOMBAS OPERANDO				FACTOR DE CORRECCIÓN DE CONSUMO
		Req. 1	Req. 2	Req. 3	Req. 4	
OPCIÓN 1 (1 BOMBA)	Alternativa 1	1	1	1	1	1.000
OPCIÓN 2 (2 BOMBAS)	Alternativa 1	2	1	1	1	0.518
	Alternativa 2	2	1	1	1	0.518
	Alternativa 3	2	1	1	1	0.518
OPCIÓN 3 (3 BOMBAS)	Alternativa 1	3	2	2	2	0.679
	Alternativa 2	3	2	2	2	0.679
	Alternativa 3	3	2	2	2	0.679
OPCIÓN 4 (4 BOMBAS)	Alternativa 1	4	3	2	2	0.738
	Alternativa 2	4	2	2	2	0.518
	Alternativa 3	4	2	2	2	0.518
OPCIÓN 5 (5 BOMBAS)	Alternativa 1	5	3	3	3	0.614
	Alternativa 2	5	3	2	2	0.598
	Alternativa 3	5	3	2	2	0.598

Tabla 36: Factor de corrección de acuerdo a los requerimientos del sistema

Fuente: Elaboración propia

5.3 COSTOS DE INVERSIÓN

En esta sección se procedió a estimar los costos de inversión necesarios para cada opción y alternativa. (Tipo de cambio Abril 2018 US\$ 1= S/. 3.22)

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$/m)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.01.01	Diámetro exterior 64"	m	730	1,575.57	1,150,162.82

1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	2670	982.34	2,622,842.46
1.01.02.02	Diámetro exterior 72"	m	664	1,622.59	1,077,400.09
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 21				
1.01.03.01	Diámetro exterior 24"	m	1060	102.97	109,148.73
1.01.03.02	Diámetro exterior 48"	m	1670	333.11	556,290.36
1.01.03.03	Diámetro exterior 64"	m	3300	591.86	1,953,136.35
1.01.04	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 26				
1.01.04.01	Diámetro exterior 4"	m	120	4.02	482.22
1.01.04.02	Diámetro exterior 16"	m	1355	53.44	72,407.81
1.01.04.03	Diámetro exterior 20"	m	1960	83.36	163,390.50
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 44GHXC/44GHC	und	2	1,644,996.00	3,289,992.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	1	212,400.00	212,400.00
TOTAL (US\$)					11,207,653.34
GG Y UTILIDAD (15%)					1,681,148.00
TOTAL (S/.)					41,501,940.32

Tabla 37: Costos de inversión Opción 1 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
------	-------------	------	-------	------------------------------	--------------

1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.01.01	Diámetro exterior 64"	m	730	1,575.57	1,150,162.82
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	2670	982.34	2,622,842.46
1.01.02.02	Diámetro exterior 72"	m	664	1,622.59	1,077,400.09
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 21				
1.01.03.01	Diámetro exterior 24"	m	1060	102.97	109,148.73
1.01.03.02	Diámetro exterior 48"	m	1670	333.11	556,290.36
1.01.03.03	Diámetro exterior 64"	m	3300	591.86	1,953,136.35
1.01.04	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 26				
1.01.04.01	Diámetro exterior 4"	m	120	4.02	482.22
1.01.04.02	Diámetro exterior 16"	m	1355	53.44	72,407.81
1.01.04.03	Diámetro exterior 20"	m	1960	83.36	163,390.50
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 34EHO/34EHO	und	3	822,498.00	2,467,494.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	2	212,400.00	424,800.00
				TOTAL (US\$)	10,597,555.34
				GG Y UT (15%)	1,589,633.30
				TOTAL (S/.)	39,242,747.42

Tabla 38 Costos de inversión Opción 2 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 36"	m	2670	603.49	1,611,311.63
1.01.01.02	Diámetro exterior 40"	m	730	740.74	540,742.76
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	664	1206.23	800,939.38
1.01.02.02	Diámetro exterior 48"	m	3300	886.07	2,924,014.50
1.01.02.03	Diámetro exterior 32"	m	1670	393.98	657,953.28
1.01.02.04	Diámetro exterior 16"	m	1060	98.50	104,405.76
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.03.01	Diámetro exterior 12"	m	1960	50.16	98,313.60
1.01.03.02	Diámetro exterior 11"	m	1355	39.615	53,678.33
1.01.03.03	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 59DDS/36DLC	und	3	822,498.00	2,467,494.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	2	212,400.00	424,800.00
				TOTAL (US\$)	9,684,155.96
				GG Y UT (15%)	1,452,623.39
				TOTAL (S/.)	35,860,429.52

Tabla 39: Costos de inversión Opción 2 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 28"	m	2730	375.94	1,026,325.76
1.01.01.02	Diámetro exterior 40"	m	3300	740.74	2,444,453.55
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 9				
1.01.03.01	Diámetro exterior 32"	m	2058	572.08	1,177,341.67
1.01.03.02	Diámetro exterior 28"	m	5340	450.90	2,407,797.99
1.01.03.03	Diámetro exterior 11"	m	1960	70.22	137,639.04
1.01.03.04	Diámetro exterior 10"	m	1355	55.86	75,690.30
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 59DDS/36DLC	und	3	822,498.00	2,467,494.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	2	212,400.00	424,800.00
				TOTAL (US\$)	10,162,045.04
				GG Y UT (15%)	1,524,306.76
				TOTAL (S/.)	37,630,052.80

Tabla 40: Costos de inversión Opción 2 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.01.01	Diámetro exterior 54"	m	730	1206.23	880,550.82
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	2670	982.34	2,622,842.46
1.01.02.02	Diámetro exterior 72"	m	664	1622.59	1,077,400.09
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 21				
1.01.03.01	Diámetro exterior 24"	m	1060	102.97	109,148.73
1.01.03.02	Diámetro exterior 48"	m	1670	333.11	556,290.36
1.01.03.03	Diámetro exterior 64"	m	3300	591.86	1,953,136.35
1.01.04	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 26				
1.01.04.01	Diámetro exterior 4"	m	120	4.0185	482.22
1.01.04.02	Diámetro exterior 16"	m	1355	53.44	72,407.81
1.01.04.03	Diámetro exterior 20"	m	1960	83.36	163,390.50
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 26GHO/26GHO	und	4	569,720.00	2,278,880.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	3	212,400.00	637,200.00
				TOTAL (US\$)	10,351,729.34

	GG Y UT (15%)	1,552,759.40
	TOTAL (S/.)	38,332,453.76

Tabla 41: Costos de inversión Opción 3 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 36"	m	3400	603.49	2,051,857.50
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	664	1206.23	800,939.38
1.01.02.02	Diámetro exterior 48"	m	3300	886.07	2,924,014.50
1.01.02.03	Diámetro exterior 32"	m	1670	393.98	657,953.28
1.01.02.04	Diámetro exterior 16"	m	1060	98.50	104,405.76
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.03.01	Diámetro exterior 12"	m	1960	50.16	98,313.60
1.01.03.02	Diámetro exterior 11"	m	1355	39.615	53,678.33
1.01.03.03	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 26GHO/26GHO	und	4	569,720.00	2,278,880.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	3	212,400.00	637,200.00
				TOTAL (US\$)	9,607,745.08

	GG Y UT (15%)	1,441,161.76
	TOTAL (S/.)	35,577,480.03

Tabla 42: Costos de inversión Opción 3 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 28"	m	2730	375.94	1,026,325.76
1.01.01.02	Diámetro exterior 40"	m	3300	740.74	2,444,453.55
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 9				
1.01.03.01	Diámetro exterior 32"	m	2058	572.08	1,177,341.67
1.01.03.02	Diámetro exterior 28"	m	5340	450.90	2,407,797.99
1.01.03.03	Diámetro exterior 11"	m	1960	70.22	137,639.04
1.01.03.04	Diámetro exterior 10"	m	1355	55.86	75,690.30
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 26GHO/26GHO	und	4	569,720.00	2,278,880.00
2.02	BALSA FLOTANTE				

2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	3	212,400.00	637,200.00
				TOTAL (US\$)	10,185,831.04
				GG Y UT (15%)	1,527,874.66
				TOTAL (S/.)	37,718,132.36

Tabla 43: Costos de inversión Opción 3 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.01.01	Diámetro exterior 48"	m	730	886.07	646,827.45
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	2670	982.34	2,622,842.46
1.01.02.02	Diámetro exterior 72"	m	664	1622.59	1,077,400.09
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 21				
1.01.03.01	Diámetro exterior 24"	m	1060	102.97	109,148.73
1.01.03.02	Diámetro exterior 48"	m	1670	333.11	556,290.36
1.01.03.03	Diámetro exterior 64"	m	3300	591.86	1,953,136.35
1.01.04	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 26				
1.01.04.01	Diámetro exterior 4"	m	120	4.02	482.22
1.01.04.02	Diámetro exterior 16"	m	1355	53.44	72,407.81
1.01.04.03	Diámetro exterior 20"	m	1960	83.36	163,390.50

2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 28CHC	und	5	411,249.00	2,056,245.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	4	212,400.00	849,600.00
				TOTAL (US\$)	10,107,770.97
				GG Y UT (15%)	1,516,165.65
				TOTAL (S/.)	37,429,075.92

Tabla 44: Costos de inversión Opción 4 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 36"	m	2670	603.49	1,611,311.63
1.01.01.02	Diámetro exterior 28"	m	730	375.94	274,438.76
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	664	1206.23	800,939.38
1.01.02.02	Diámetro exterior 48"	m	3300	886.07	2,924,014.50
1.01.02.03	Diámetro exterior 32"	m	1670	393.98	657,953.28
1.01.02.04	Diámetro exterior 16"	m	1060	98.50	104,405.76
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.03.01	Diámetro exterior 12"	m	1960	50.16	98,313.60
1.01.03.02	Diámetro exterior 11"	m	1355	39.615	53,678.33
1.01.03.03	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74

2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 28CHC	und	5	411,249.00	2,056,245.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	4	212,400.00	849,600.00
				TOTAL (US\$)	9,431,402.96
				GG Y UT (15%)	1,414,710.44
				TOTAL (S/.)	34,924,485.16

Tabla 45: Costos de inversión Opción 4 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 28"	m	2730	375.94	1,026,325.76
1.01.01.02	Diámetro exterior 40"	m	3300	740.74	2,444,453.55
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 9				
1.01.03.01	Diámetro exterior 24"	m	730	354.71	258,939.03
1.01.03.02	Diámetro exterior 28"	m	5340	450.90	2,407,797.99
1.01.03.03	Diámetro exterior 32"	m	1328	572.08	759,722.90
1.01.03.04	Diámetro exterior 11"	m	1960	70.22	137,639.04
1.01.03.05	Diámetro exterior 10"	m	1355	55.86	75,690.30

2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 20GHO/20GHO	und	5	411,249.00	2,056,245.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	4	212,400.00	849,600.00
				TOTAL (US\$)	10,016,916.31
				GG Y UT (15%)	1,502,537.45
				TOTAL (S/.)	37,092,641.09

Tabla 46: Costos de inversión Opción 4 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.01.01	Diámetro exterior 40"	m	730	607.76	443,666.63
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	2670	982.34	2,622,842.46
1.01.02.02	Diámetro exterior 72"	m	664	1622.59	1,077,400.09
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 21				
1.01.03.01	Diámetro exterior 24"	m	1060	102.97	109,148.73
1.01.03.02	Diámetro exterior 48"	m	1670	333.11	556,290.36
1.01.03.03	Diámetro exterior 64"	m	3300	591.86	1,953,136.35
1.01.04	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 26				
1.01.04.01	Diámetro exterior 4"	m	120	4.0185	482.22

1.01.04.02	Diámetro exterior 16"	m	1355	53.44	72,407.81
1.01.04.03	Diámetro exterior 20"	m	1960	83.36	163,390.50
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 41BDS	und	6	373,863.00	2,243,178.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	5	212,400.00	1,062,000.00
				TOTAL (US\$)	10,303,943.15
				GG Y UT (15%)	1,545,591.47
				TOTAL (S/.)	38,155,501.48

Tabla 47: Costos de inversión Opción 5 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 36"	m	2670	603.49	1,611,311.63
1.01.01.02	Diámetro exterior 24"	m	730	296.31	216,309.59
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 13.6				
1.01.02.01	Diámetro exterior 54"	m	664	1206.23	800,939.38
1.01.02.02	Diámetro exterior 48"	m	3300	886.07	2,924,014.50
1.01.02.03	Diámetro exterior 32"	m	1670	393.98	657,953.28
1.01.02.04	Diámetro exterior 16"	m	1060	98.50	
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.03.01	Diámetro exterior 12"	m	1960	50.16	98,313.60
1.01.03.02	Diámetro exterior 11"	m	1355	39.615	53,678.33

1.01.03.03	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 28CHC	und	6	373,863.00	2,243,178.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	5	212,400.00	1,062,000.00
				TOTAL (US\$)	9,668,201.03
				GG Y UT (15%)	1,450,230.15
				TOTAL (S/.)	35,801,348.42

Tabla 48: Costos de inversión Opción 5 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

Nro.	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (US\$)	TOTAL (US\$)
1.00	CIVIL				
1.01	TUBERÍA				
1.01.01	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 11				
1.01.01.01	Diámetro exterior 28"	m	2730	375.94	1,026,325.76
1.01.01.02	Diámetro exterior 40"	m	3300	740.74	2,444,453.55
1.01.02	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 17				
1.01.02.01	Diámetro exterior 3"	m	120	4.1895	502.74
1.01.03	Tubería HDPE PE-100 lisa SDR 9				
1.01.03.01	Diámetro exterior 22"	m	730	280.38	204,679.59
1.01.03.02	Diámetro exterior 28"	m	5340	450.90	2,407,797.99
1.01.03.03	Diámetro exterior 32"	m	1328	572.08	759,722.90

1.01.03.04	Diámetro exterior 11"	m	1960	70.22	137,639.04
1.01.03.05	Diámetro exterior 10"	m	1355	55.86	75,690.30
2.00	MECÁNICO				
2.01	BOMBA				
2.01.01	Bomba turbina vertical 20GHO/20GHO	und	6	373,863.00	2,243,178.00
2.02	BALSA FLOTANTE				
2.02.01	Balsa Flotante metálica	und	5	212,400.00	1,062,000.00
				TOTAL (US\$)	10,361,989.87
				GG Y UT (15%)	1,554,298.48
				TOTAL (S/.)	38,370,448.48

Tabla 49: Costos de inversión Opción 5 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

5.4 COSTOS DE OPERACIÓN

A continuación se presenta los costos de operación por cada año y afectados por el factor de reducción para cada opción y alternativa.

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	10582.42872	10582.42872	191.67	2,028,372.21
2019	10465.77753	10465.77753	197.11	2,062,897.90
2020	10349.35917	10349.35917	202.54	2,096,202.67
2021	10232.94081	10232.94081	207.98	2,128,241.91
2022	10104.96071	10104.96071	213.41	2,156,548.17
2023	9988.675406	9988.675406	218.85	2,186,022.61
2024	9872.390098	9872.390098	224.29	2,214,232.96
2025	9756.10479	9756.10479	229.72	2,241,179.22
2026	9639.819481	9639.819481	235.16	2,266,861.39

2027	9523.534173	9523.534173	240.59	2,291,279.47
2028	9396.509996	9396.509996	246.03	2,311,791.41
2029	9280.357434	9280.357434	251.46	2,333,656.31
2030	9164.204871	9164.204871	256.90	2,354,258.57
2031	9048.052309	9048.052309	262.33	2,373,598.18
2032	8931.899747	8931.899747	267.77	2,391,675.14
2033	8846.041848	8846.041848	273.20	2,416,766.06
2034	8729.490136	8729.490136	278.64	2,432,371.16
2035	8612.938424	8612.938424	284.07	2,446,709.29
2036	8496.386712	8496.386712	289.51	2,459,780.42
2037	8379.834999	8379.834999	294.94	2,471,584.57
TOTAL OPCIÓN 1, ALTERNATIVA 1 (S/.)				45,664,029.63

Tabla 50: Costos de operación Opción 1 – Alternativa 1

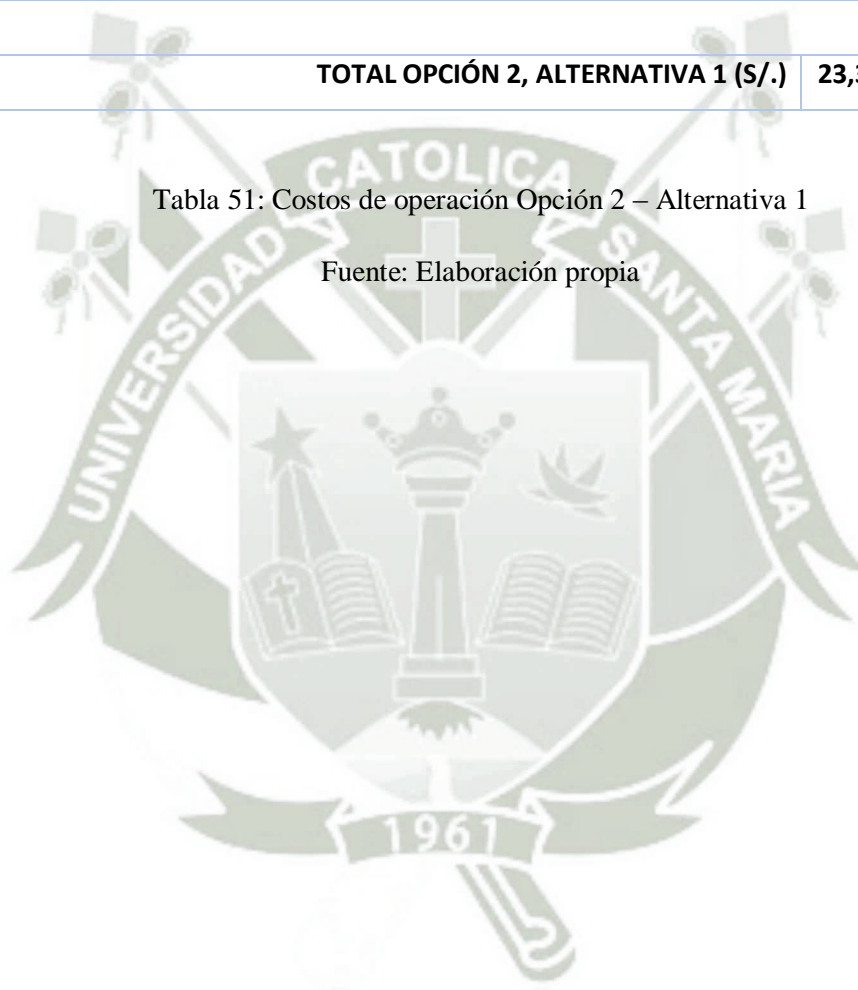
Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	10425.854	5399.102967	191.67	1,034,865.50
2019	10321.48396	5345.054193	197.11	1,053,557.75
2020	10216.87508	5290.881737	202.54	1,071,637.41
2021	10112.02655	5236.585175	207.98	1,089,102.37
2022	9995.474833	5176.228039	213.41	1,104,683.67
2023	9890.252161	5121.737726	218.85	1,120,892.81
2024	9773.566789	5061.311373	224.29	1,135,178.25
2025	9656.881417	5000.885019	229.72	1,148,806.81
2026	9540.196044	4940.458666	235.16	1,161,778.50
2027	9423.510672	4880.032312	240.59	1,174,093.32
2028	9306.825299	4819.605959	246.03	1,185,751.27
2029	9200.691178	4764.643646	251.46	1,198,126.34

2030	9094.313071	4709.554983	256.90	1,209,871.49
2031	8987.690135	4654.339534	262.33	1,220,984.53
2032	8891.064686	4604.301355	267.77	1,232,883.64
2033	8793.992413	4554.031786	273.20	1,244,175.60
2034	8470.715342	4386.620445	278.64	1,222,280.90
2035	8355.873756	4327.14891	284.07	1,229,229.20
2036	8241.032171	4267.677374	289.51	1,235,531.01
2037	8135.372722	4212.960874	294.94	1,242,588.80
TOTAL OPCIÓN 2, ALTERNATIVA 1 (S/.)				23,316,019.16

Tabla 51: Costos de operación Opción 2 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia



AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	12661.91509	6557.063171	191.67	1,256,815.90
2019	12543.60155	6495.793659	197.11	1,280,378.74
2020	12425.28801	6434.524147	202.54	1,303,275.55
2021	12306.97447	6373.254635	207.98	1,325,506.31
2022	12188.66093	6311.985123	213.41	1,347,071.04
2023	12070.34739	6250.715611	218.85	1,367,969.74
2024	11952.03385	6189.446099	224.29	1,388,202.39
2025	11833.72031	6128.176587	229.72	1,407,769.02
2026	11715.40677	6066.907075	235.16	1,426,669.60
2027	11530.058	5970.922895	240.59	1,436,552.10
2028	11412.42836	5910.007542	246.03	1,454,019.06
2029	11294.79871	5849.092189	251.46	1,470,823.84
2030	11177.16906	5788.176836	256.90	1,486,966.42
2031	11059.53942	5727.261483	262.33	1,502,446.82
2032	11005.52552	5699.290003	267.77	1,526,086.35
2033	10887.21198	5638.020491	273.20	1,540,324.68
2034	10768.89844	5576.750979	278.64	1,553,896.97
2035	10589.02083	5483.600071	284.07	1,557,746.56
2036	10471.39118	5422.684718	289.51	1,569,916.03
2037	10353.76153	5361.769365	294.94	1,581,423.31
TOTAL OPCIÓN 2, ALTERNATIVA 2 (S./.)				28,783,860.43

Tabla 52: Costos de operación Opción 2 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (\$/./MWh)	Consumo (\$/./Año)
2018	16982.9407	8794.737147	191.67	1,685,718.93
2019	16859.60779	8730.868322	197.11	1,720,931.85
2020	16635.45396	8614.788657	202.54	1,744,875.48
2021	16512.86403	8551.304584	207.98	1,778,496.05
2022	16390.27409	8487.820512	213.41	1,811,426.52
2023	16267.68416	8424.336439	218.85	1,843,666.87
2024	16048.41701	8310.787382	224.29	1,863,988.27
2025	15926.56115	8247.683454	229.72	1,894,663.62
2026	15804.70529	8184.579525	235.16	1,924,652.98
2027	15682.84943	8121.475597	240.59	1,953,956.37
2028	15468.3686	8010.40517	246.03	1,970,772.75
2029	15347.23808	7947.67686	251.46	1,998,537.92
2030	15226.10755	7884.948551	256.90	2,025,621.20
2031	15104.97702	7822.220241	262.33	2,052,022.59
2032	14895.18467	7713.577777	267.77	2,065,447.75
2033	14774.77089	7651.220641	273.20	2,090,337.20
2034	14654.35711	7588.863505	278.64	2,114,548.78
2035	14533.94333	7526.506368	284.07	2,138,082.51
2036	14413.52955	7464.149232	289.51	2,160,938.38
2037	14293.11577	7401.792095	294.94	2,183,116.39
TOTAL OPCIÓN 2, ALTERNATIVA 3 (\$/.)				39,021,802.43

Tabla 53: Costos de operación Opción 2 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	10301.23392	6990.123018	191.67	1,339,822.04
2019	10174.96447	6904.440176	197.11	1,360,926.61
2020	10060.25236	6826.599813	202.54	1,382,688.20
2021	9934.34031	6741.159496	207.98	1,402,022.98
2022	9808.711531	6655.911396	213.41	1,420,470.00
2023	9683.365063	6570.854864	218.85	1,438,032.24
2024	9558.299957	6485.989256	224.29	1,454,712.69
2025	9433.515265	6401.31393	229.72	1,470,514.32
2026	9319.446157	6323.909892	235.16	1,487,105.35
2027	9205.377048	6246.505854	240.59	1,502,854.96
2028	9081.127304	6162.193528	246.03	1,516,063.52
2029	8957.155523	6078.069819	251.46	1,528,402.99
2030	8863.169723	6014.293741	256.90	1,545,055.22
2031	8768.761515	5950.231028	262.33	1,560,938.98
2032	8673.928045	5885.879745	267.77	1,576,049.07
2033	8568.99488	5814.675097	273.20	1,588,587.26
2034	8463.824847	5743.309717	278.64	1,600,306.63
2035	8358.417141	5671.78306	284.07	1,611,204.40
2036	8234.141676	5587.45328	289.51	1,617,618.01
2037	8110.146426	5503.313646	294.94	1,623,170.99
TOTAL OPCIÓN 3, ALTERNATIVA 1 (S./.)				30,026,546.48

Tabla 54: Costos de operación Opción 3 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	12196.25968	8276.033356	191.67	1,586,297.11
2019	12047.06616	8174.794896	197.11	1,611,324.83
2020	11918.91671	8087.836341	202.54	1,638,144.34
2021	11791.05556	8001.073419	207.98	1,664,059.25
2022	11676.60152	7923.408175	213.41	1,690,972.57
2023	11549.1563	7836.92749	218.85	1,715,112.36
2024	11421.99715	7750.640925	224.29	1,738,355.60
2025	11295.12311	7664.547828	229.72	1,760,705.29
2026	11168.53323	7578.647548	235.16	1,782,164.44
2027	11054.59186	7501.330189	240.59	1,804,754.78
2028	10952.91579	7432.335714	246.03	1,828,552.29
2029	10826.70911	7346.695471	251.46	1,847,414.00
2030	10700.78478	7261.246816	256.90	1,865,393.98
2031	10575.14184	7175.989108	262.33	1,882,495.16
2032	10496.63936	7122.719563	267.77	1,907,234.95
2033	10405.90187	7061.147695	273.20	1,929,127.44
2034	10349.72092	7023.024911	278.64	1,956,884.42
2035	10223.19794	6937.170028	284.07	1,970,667.56
2036	10096.96023	6851.508729	289.51	1,983,573.44
2037	9971.006849	6766.040362	294.94	1,995,605.04
TOTAL OPCIÓN 3, ALTERNATIVA 2 (S/.)				36,158,838.85

Tabla 55: Costos de operación Opción 3 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	15497.18335	10515.94585	191.67	2,015,629.20
2019	15417.30806	10461.74475	197.11	2,062,103.00
2020	15233.89742	10337.28754	202.54	2,093,757.63
2021	15119.70029	10259.79663	207.98	2,133,827.37
2022	14988.68084	10170.89057	213.41	2,170,618.58
2023	14857.95484	10082.18364	218.85	2,206,486.90
2024	14744.01346	10004.86628	224.29	2,243,945.44
2025	14630.07209	9927.54892	229.72	2,280,563.49
2026	14516.13072	9850.231561	235.16	2,316,341.05
2027	14402.18935	9772.914202	240.59	2,351,278.13
2028	14417.40728	9783.240656	246.03	2,406,937.44
2029	14286.29323	9694.270405	251.46	2,437,739.66
2030	14171.45164	9616.342186	256.90	2,470,411.38
2031	14040.7627	9527.660401	262.33	2,499,414.97
2032	13910.36809	9439.178349	267.77	2,527,508.02
2033	13795.78516	9361.425644	273.20	2,557,570.51
2034	13665.8128	9273.230113	278.64	2,583,878.00
2035	13536.13251	9185.232773	284.07	2,609,283.06
2036	13421.80706	9107.654794	289.51	2,636,748.03
2037	13292.54618	9019.942048	294.94	2,660,380.49
TOTAL OPCIÓN 3, ALTERNATIVA 3 (S./.)				47,264,422.35

Tabla 56: Costos de operación Opción 3 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	10624.55592	7841.934134	191.67	1,503,091.75
2019	10518.47317	7763.634956	197.11	1,530,281.55
2020	10424.29265	7694.120768	202.54	1,558,399.54
2021	10317.60416	7615.374498	207.98	1,583,841.78
2022	10210.6661	7536.444026	213.41	1,608,388.69
2023	10103.4776	7457.328705	218.85	1,632,037.13
2024	9996.037779	7378.027885	224.29	1,654,783.94
2025	9899.96543	7307.117341	229.72	1,678,596.11
2026	9791.906984	7227.359917	235.16	1,699,557.05
2027	9683.593983	7147.414607	240.59	1,719,605.77
2028	10383.14789	7663.752011	246.03	1,885,486.85
2029	10292.51862	7596.858979	251.46	1,910,320.59
2030	10188.05966	7519.758322	256.90	1,931,804.86
2031	10096.08878	7451.875049	262.33	1,954,869.01
2032	9604.760981	7089.228343	267.77	1,898,267.08
2033	9513.591779	7021.936789	273.20	1,918,414.90
2034	8641.109066	6377.961454	278.64	1,777,144.97
2035	8524.020868	6291.539212	284.07	1,787,260.82
2036	8406.932669	6205.11697	289.51	1,796,437.21
2037	8289.84447	6118.694728	294.94	1,804,674.13
TOTAL OPCIÓN 4, ALTERNATIVA 1 (S./.)				34,833,263.73

Tabla 57: Costos de operación Opción 4 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	12610.399	6530.385198	191.67	1,251,702.44
2019	12493.3108	6469.750238	197.11	1,275,245.35
2020	12376.22261	6409.115278	202.54	1,298,129.13
2021	12273.25783	6355.794235	207.98	1,321,874.91
2022	12156.03474	6295.089419	213.41	1,343,465.25
2023	12052.69724	6241.575358	218.85	1,365,969.39
2024	11935.33895	6180.800525	224.29	1,386,263.32
2025	11817.98065	6120.025692	229.72	1,405,896.59
2026	11714.13346	6066.247685	235.16	1,426,514.54
2027	11596.63964	6005.402673	240.59	1,444,847.64
2028	11479.14583	5944.557661	246.03	1,462,519.31
2029	11374.78687	5890.514629	251.46	1,481,240.00
2030	11270.18634	5836.346497	256.90	1,499,341.07
2031	11152.42055	5775.360641	262.33	1,515,064.80
2032	11047.44115	5720.996307	267.77	1,531,898.60
2033	10942.21817	5666.505839	273.20	1,548,106.96
2034	10836.75078	5611.888795	278.64	1,563,687.71
2035	10731.03811	5557.144735	284.07	1,578,638.67
2036	10625.07931	5502.273215	289.51	1,592,957.62
2037	10518.87353	5447.27379	294.94	1,606,642.35
TOTAL OPCIÓN 4, ALTERNATIVA 2 (S/.)				28,900,005.64

Tabla 58: Costos de operación Opción 4 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	15578.61792	8067.498564	191.67	1,546,326.49
2019	15481.13938	8017.018608	197.11	1,580,225.72
2020	15366.03797	7957.412521	202.54	1,611,727.75
2021	15250.93656	7897.806435	207.98	1,642,581.83
2022	15152.97653	7847.077133	213.41	1,674,682.40
2023	15054.79437	7796.232798	218.85	1,706,206.33
2024	14956.38932	7745.273039	224.29	1,737,151.66
2025	14857.76062	7694.197463	229.72	1,767,516.43
2026	14742.13602	7634.32044	235.16	1,795,256.26
2027	14626.51143	7574.443417	240.59	1,822,345.19
2028	14510.88683	7514.566394	246.03	1,848,783.22
2029	14411.6391	7463.170246	251.46	1,876,702.97
2030	14312.16529	7411.657023	256.90	1,904,033.94
2031	14083.99037	7293.495012	262.33	1,913,320.78
2032	13969.01902	7233.956277	267.77	1,937,020.56
2033	13854.04767	7174.417542	273.20	1,960,073.11
2034	13754.61826	7122.927313	278.64	1,984,721.07
2035	13639.51685	7063.321227	284.07	2,006,503.80
2036	13524.41544	7003.71514	289.51	2,027,638.57
2037	13409.31404	6944.109054	294.94	2,048,125.38
TOTAL OPCIÓN 4, ALTERNATIVA 3 (S./.)				36,390,943.45

Tabla 59: Costos de operación Opción 4 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	10837.53637	6657.343771	191.67	1,276,037.05
2019	10716.82648	6583.193411	197.11	1,297,606.01
2020	10596.4127	6509.224946	202.54	1,318,405.76
2021	10414.3754	6397.402031	207.98	1,330,528.48
2022	10294.66993	6323.868674	213.41	1,349,607.17
2023	10174.96447	6250.335317	218.85	1,367,886.51
2024	10055.25901	6176.801961	224.29	1,385,366.50
2025	9935.553541	6103.268604	229.72	1,402,047.14
2026	9758.445456	5994.473638	235.16	1,409,636.44
2027	9639.440024	5921.3703	240.59	1,424,630.18
2028	9520.434592	5848.266963	246.03	1,438,829.24
2029	9401.429159	5775.163626	251.46	1,452,233.62
2030	9282.423727	5702.060289	256.90	1,464,843.32
2031	9163.418294	5628.956952	262.33	1,476,658.35
2032	9044.412862	5555.853615	267.77	1,487,678.70
2033	8925.40743	5482.750278	273.20	1,497,904.37
2034	8806.401997	5409.646941	278.64	1,507,335.37
2035	8687.396565	5336.543604	284.07	1,515,971.69
2036	8568.391132	5263.440267	289.51	1,523,813.33
2037	8449.3857	5190.33693	294.94	1,530,860.29
TOTAL OPCIÓN 5, ALTERNATIVA 1 (S./.)				28,457,879.50

Tabla 60: Costos de operación Opción 5 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	12651.57024	7560.819356	191.67	1,449,209.46
2019	12533.86627	7490.477222	197.11	1,476,439.73
2020	12430.84574	7428.910191	202.54	1,504,682.67
2021	12313.35192	7358.693649	207.98	1,530,457.43
2022	12195.85811	7288.477106	213.41	1,555,468.88
2023	12092.32772	7226.605374	218.85	1,581,543.31
2024	11974.69807	7156.307656	224.29	1,605,055.33
2025	11870.79188	7094.211339	229.72	1,629,687.19
2026	11766.64489	7031.971113	235.16	1,653,610.20
2027	11648.74264	6961.510481	240.59	1,674,878.86
2028	11544.21723	6899.044106	246.03	1,697,348.36
2029	11439.44902	6836.432629	251.46	1,719,102.34
2030	11334.43717	6773.675544	256.90	1,740,138.28
2031	11229.18081	6710.772342	262.33	1,760,453.69
2032	10982.87304	6563.574127	267.77	1,757,513.80
2033	10865.78484	6493.599989	273.20	1,774,071.65
2034	10748.69664	6423.625851	278.64	1,789,868.83
2035	10631.60844	6353.651713	284.07	1,804,905.35
2036	10514.52025	6283.677576	289.51	1,819,181.21
2037	10409.41066	6220.862082	294.94	1,834,807.81
TOTAL OPCIÓN 5, ALTERNATIVA 2 (S/.)				33,358,424.38

Tabla 61: Costos de operación Opción 5 – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

AÑO	POTENCIA CONSUMIDA (MWh/Año)	POTENCIA REAL CONSUMIDA (MWh/Año)	PRECIO (S./MWh)	Consumo (S./Año)
2018	15754.20249	9415.011486	191.67	1,804,609.15
2019	15637.61948	9345.339262	197.11	1,842,049.54
2020	15539.20574	9286.525334	202.54	1,880,931.84
2021	15422.92043	9217.031019	207.98	1,916,953.50
2022	15271.72831	9126.675731	213.41	1,947,767.68
2023	15155.70819	9057.339897	218.85	1,982,199.74
2024	15091.31172	9018.855337	224.29	2,022,797.58
2025	14974.89336	8949.281509	229.72	2,055,835.21
2026	14858.475	8879.707681	235.16	2,088,116.54
2027	14758.94331	8820.225644	240.59	2,122,069.55
2028	14642.3916	8750.572121	246.03	2,152,873.51
2029	14542.49796	8690.873779	251.46	2,185,423.63
2030	14425.81258	8621.140378	256.90	2,214,746.82
2031	14325.5556	8561.224895	262.33	2,245,887.53
2032	14208.73626	8491.411433	267.77	2,273,726.56
2033	14108.11453	8431.277968	273.20	2,303,451.28
2034	13911.21142	8313.604922	278.64	2,316,489.57
2035	13794.92611	8244.110607	284.07	2,341,935.00
2036	13678.64081	8174.616292	289.51	2,366,624.99
2037	13562.3555	8105.121976	294.94	2,390,559.53
TOTAL OPCIÓN 5, ALTERNATIVA 3 (S./.)				42,455,048.76

Tabla 62: Costos de operación Opción 5 – Alternativa 3

Fuente: Elaboración propia

5.5 RESUMEN DE LOS COSTOS

La Tabla 63: Resumen de costos, muestra un resumen de los costos totales de cada opción y alternativa.

		COSTOS DE OPERACIÓN (S/.)	COSTOS DE INVERSIÓN (S/.)	TOTAL (S/.)
OPCIÓN 1 (1 BOMBA)	Alternativa 1	45,664,029.63	41,501,940.32	87,165,969.94
OPCIÓN 2 (2 BOMBAS)	Alternativa 1	23,316,019.16	39,242,747.42	62,558,766.59
	Alternativa 2	28,783,860.43	35,860,429.52	64,644,289.95
	Alternativa 3	39,021,802.43	37,630,052.80	76,651,855.22
OPCIÓN 3 (3 BOMBAS)	Alternativa 1	30,026,546.48	38,332,453.76	68,359,000.24
	Alternativa 2	36,158,838.85	35,577,480.03	71,736,318.89
	Alternativa 3	47,264,422.35	37,718,132.36	84,982,554.70
OPCIÓN 4 (4 BOMBAS)	Alternativa 1	34,833,263.73	37,429,075.92	72,262,339.65
	Alternativa 2	28,900,005.64	34,924,485.16	63,824,490.80
	Alternativa 3	36,390,943.45	37,092,641.09	73,483,584.54
OPCIÓN 5 (5 BOMBAS)	Alternativa 1	28,457,879.50	38,155,501.48	66,613,380.98
	Alternativa 2	33,358,424.38	35,801,348.42	69,159,772.80
	Alternativa 3	42,455,048.76	38,370,448.48	80,825,497.24

Tabla 63: Resumen de costos

Fuente: Elaboración propia

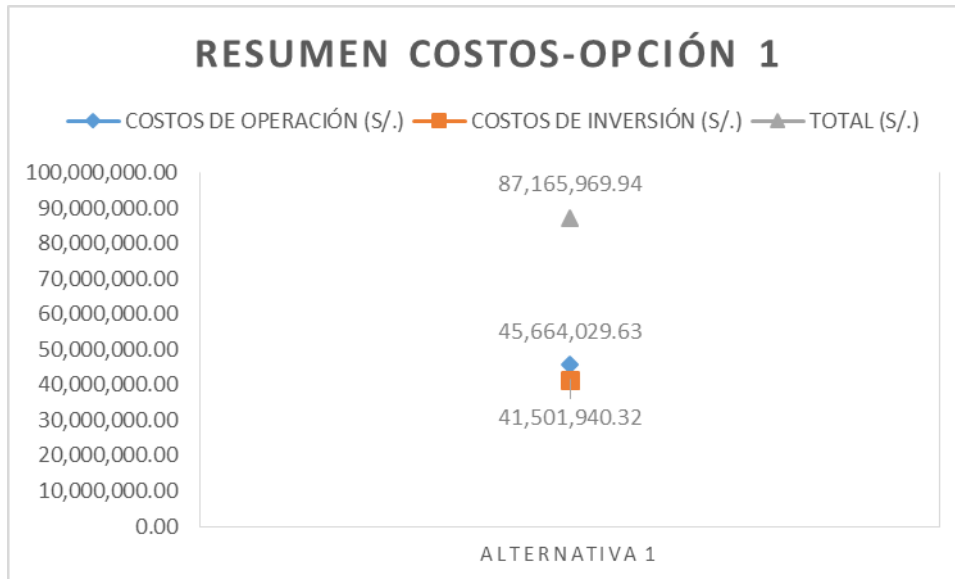


Figura 87: Resumen de costos Opción 1 – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia

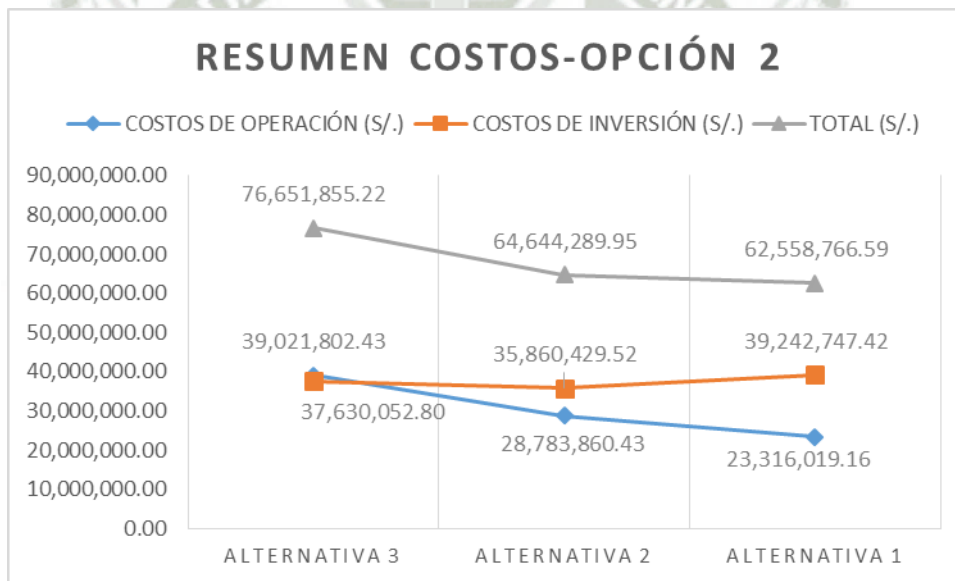


Figura 88: Resumen de costos Opción 2 – Alternativa 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración propia

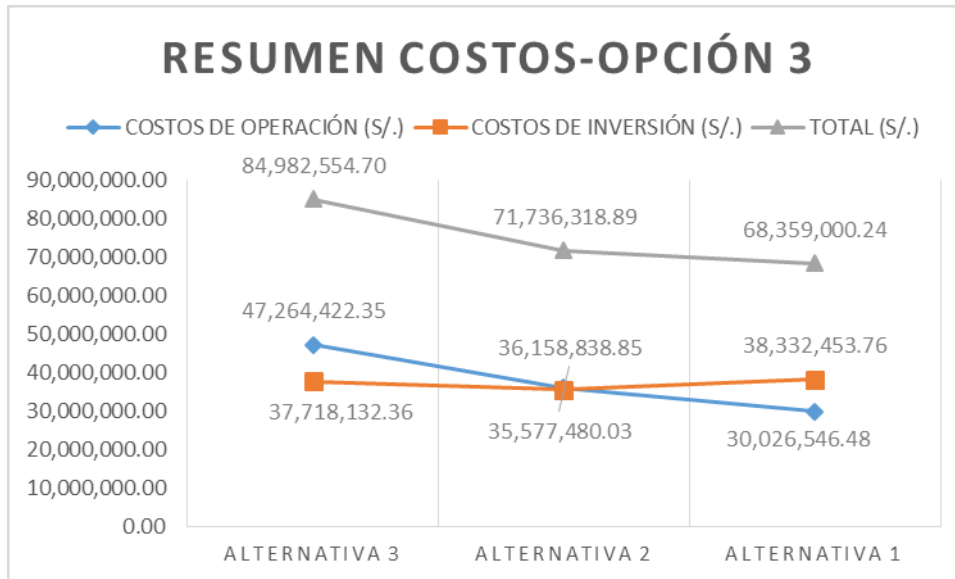


Figura 89: Resumen de costos Opción 3 – Alternativa 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración propia

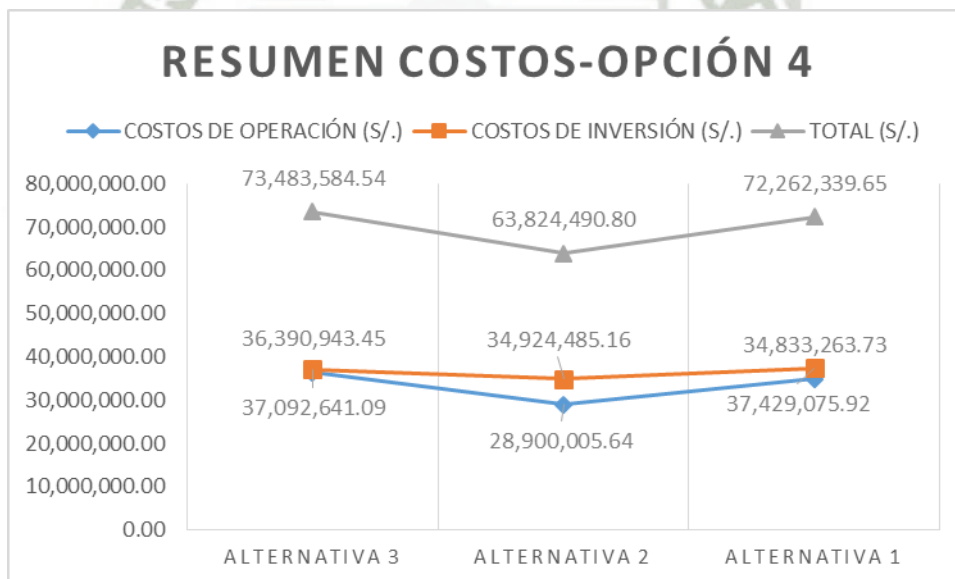


Figura 90: Resumen de costos Opción 4 – Alternativa 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración propia

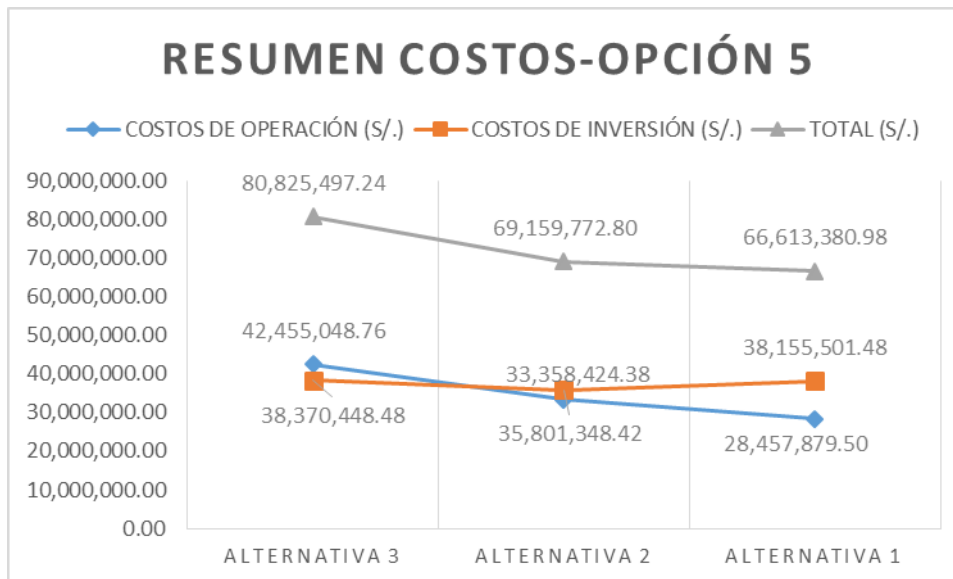
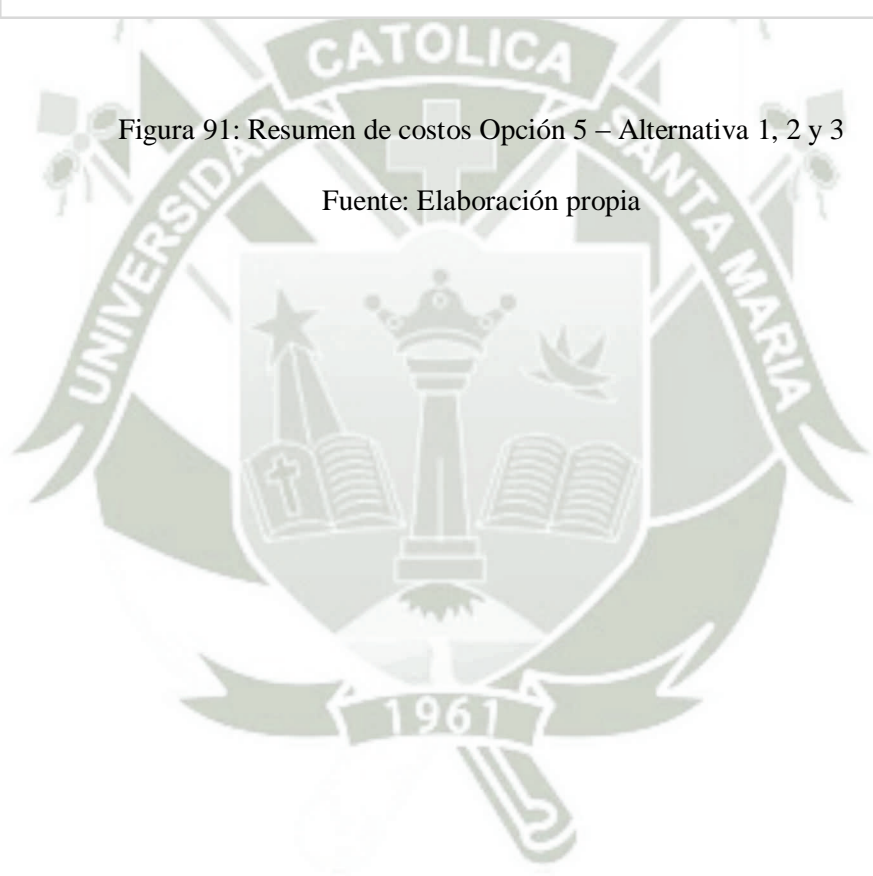


Figura 91: Resumen de costos Opción 5 – Alternativa 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración propia

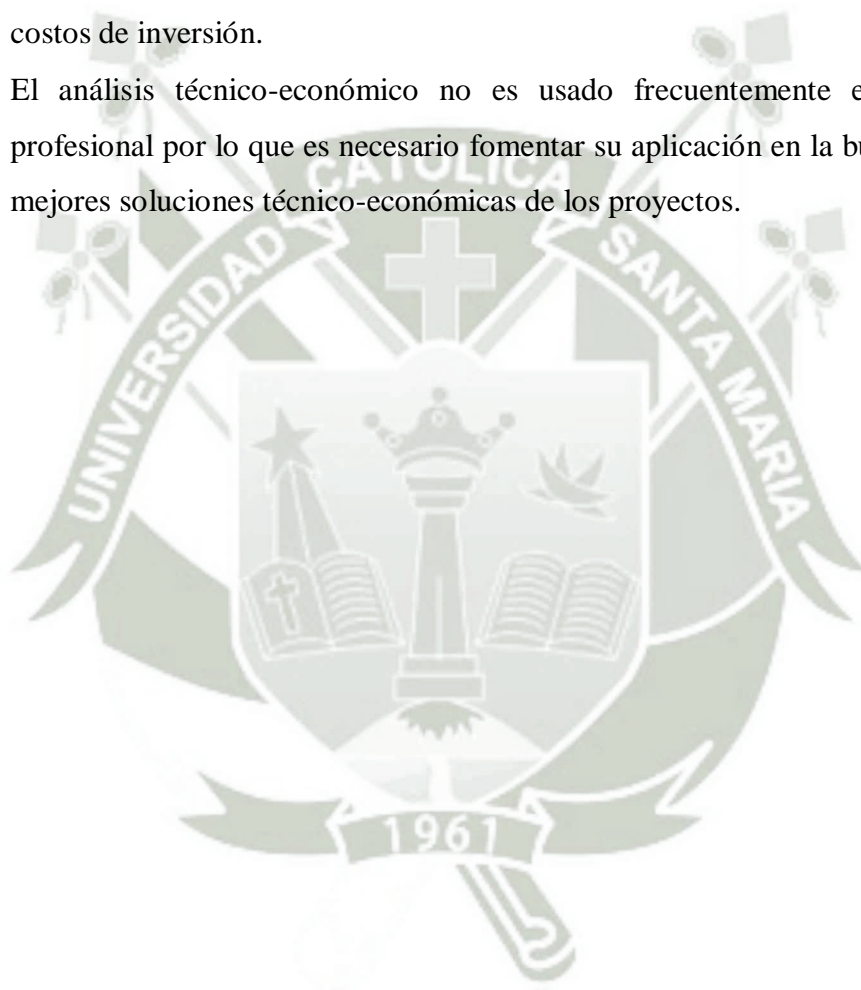


CONCLUSIONES

- Del análisis técnico – económico realizado se concluye que la solución con los menores costos totales es la Opción 2 – Alternativa 1, la cual tiene un costo de operación de S/.23,316,019.16 y un costo de inversión de S/.39,242,747.42; la solución con los mayores costos totales es la Opción 1 – Alternativa 1, la cual tiene un costo de operación de S/.45,664,029.63 y un costo de inversión de S/.41,501,940.32.
- El crecimiento del espejo de la presa de relave es de 1.06 m/año.
- El material de tubería seleccionado en este proyecto fue el polietileno de alta densidad, ya que este material soporta gran variedad de agentes químicos que son usados en minería además de poseer el menor el menor coeficiente de rugosidad de las tuberías propuestas y tener grandes curvaturas gracias a su gran flexibilidad, lo cual influenciaría en un ahorro en los gastos de accesorios.
- El tipo de bomba seleccionada en este proyecto fue las bombas verticales de turbina, ya que el análisis de estabilidad de las balsas necesitaría alternativa que posea la misma inercia en ambos ejes de análisis además estas bombas pueden modificar su curva por medio de fases y ser más económicas respecto a las bombas verticales sumergibles.
- La Opción 1 - Alternativa 1 posee los menores costos totales del proyecto, sin embargo al entrar en condiciones normales de operación esta alternativa produciría sedimentación en las tuberías ($v < 0.6$ m/s) ya que el caudal se reduciría casi a la mitad, por tal motivo la solución que resolvería esta situación sería la Opción 4 – Alternativa 2 la que posee un costo de S/.63,824,490.80.

RECOMENDACIONES

- En el análisis de caudal máximo los datos históricos de precipitaciones constituyen parámetros aleatorios sin embargo estos son la fuente más confiable para un análisis estadístico por tal motivo es importante tener datos exactos de las precipitaciones máximas de 24 horas para dar una respuesta adecuada del sistema.
- Es muy importante definir el tiempo de vida del proyecto ya que al no considerar el tiempo total se tendrían costos de operación bastante menores respecto a los costos de inversión, con lo cual la solución dependería fundamentalmente por los costos de inversión.
- El análisis técnico-económico no es usado frecuentemente en la práctica profesional por lo que es necesario fomentar su aplicación en la búsqueda de las mejores soluciones técnico-económicas de los proyectos.



ANEXOS



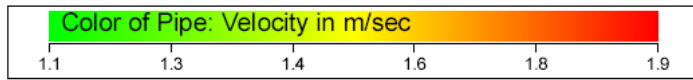
ANEXO 1 – RESULTADOS DEL SOFTWARE PIPEFLOW EXPERT



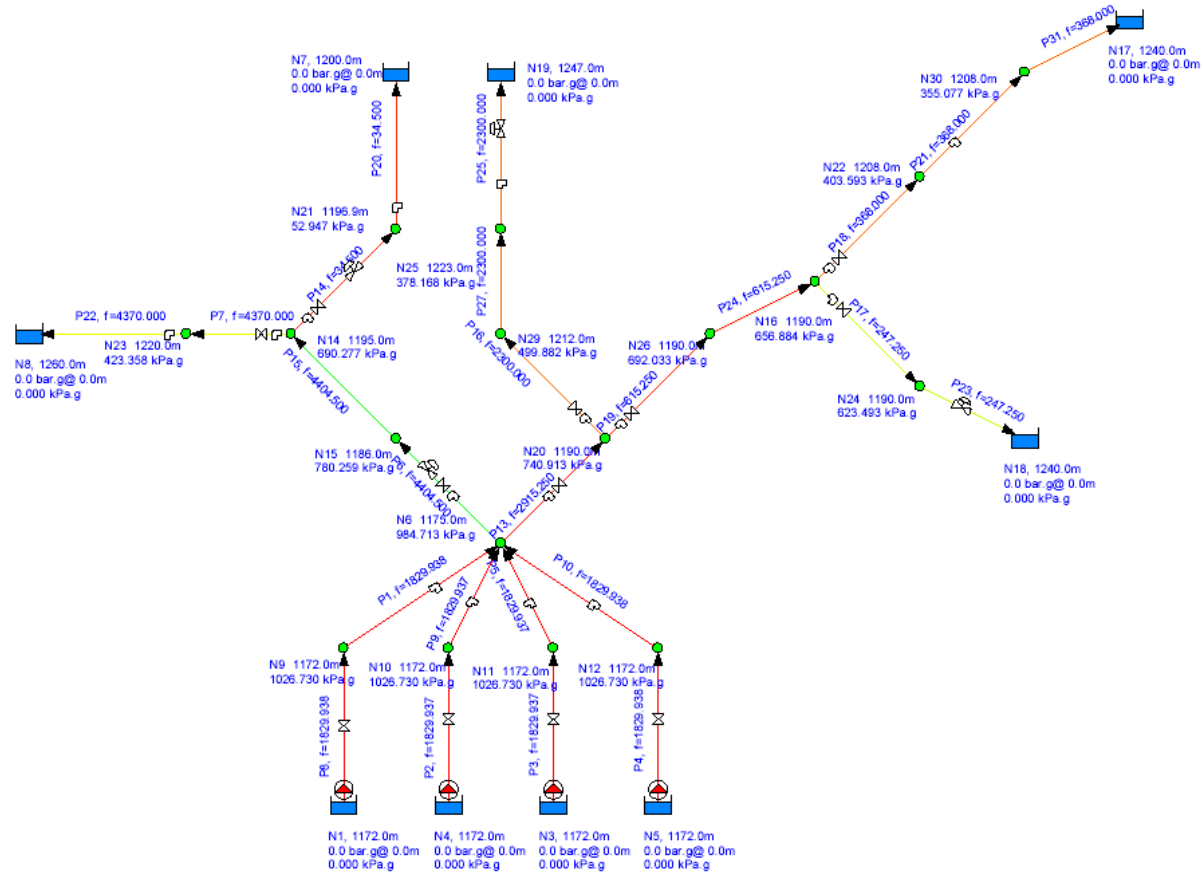


AÑO 2018 - OPCION 4 ALTERNATIVA 2

CONDICIONES MAXIMA DE OPERACION



Pipe Flow Expert Results Key
f = flow in m³/hour



Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure kPa.g	Density kg/m ³	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure kPa.a	State
1	Water	H2 O	20.000	0.000	998.266	1.004	1.002	2.338000	Liquid

Pump Data

Pipe Id	Pipe Name	Pump Name	Speed rpm	Pref. Op From m ³ /hour	Pref. Op To m ³ /hour	Flow In/Out m ³ /hour	Velocity m/sec	Suction Pressure kPa.g	Discharge Pressure kPa.g	Pump Head (+) m.hd Fluid	Pump NPSHr m.hd (absolute)	Pump NPSHa m.hd (absolute)	Pump Efficiency Percentage	Pump Power Kilowatts
2	P2	Pump	Set Flow Rate			1829.937	1.921	0.000	1052.802	107.542	Not known	8.762	Not known	Not Known
3	P3	Pump	Set Flow Rate			1829.937	1.921	0.000	1052.802	107.542	Not known	8.762	Not known	Not Known
4	P4	Pump	Set Flow Rate			1829.938	1.921	0.000	1052.802	107.542	Not known	8.762	Not known	Not Known
8	P8	Pump	Set Flow Rate			1829.938	1.921	0.000	1052.802	107.542	Not known	8.762	Not known	Not Known

Pipe Data

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Material	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Mass Flow kg/sec	Flow m ³ /hour	Velocity m/sec	Entry Pressure kPa.g	Exit Pressure kPa.g
1	P1	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4347	1829.938	1.921	1026.730	984.713
2	P2	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4344	1829.937	1.921	0.000	1026.730
3	P3	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4344	1829.937	1.921	0.000	1026.730
4	P4	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4347	1829.938	1.921	0.000	1026.730
5	P5	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4344	1829.937	1.921	1026.730	984.713
6	P6	1400 mm HDPE SDR 13.6	1193.640	0.007000	332.000	7.5400	1221.3507	4404.500	1.093	984.713	780.259
7	P7	1200 mm HDPE SDR 13.6	1023.120	0.007000	1615.000	2.9000	1211.7840	4370.000	1.477	690.277	423.358
8	P8	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4347	1829.938	1.921	0.000	1026.730
9	P9	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4344	1829.937	1.921	1026.730	984.713
10	P10	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4347	1829.938	1.921	1026.730	984.713
13	P13	900 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	735.300	0.007000	2670.000	12.4800	808.3875	2915.250	1.907	984.713	740.913
14	P14	90 mm HDPE SDR17 SDR 17	81.000	0.007000	60.000	4.6500	9.5667	34.500	1.860	690.277	52.947
15	P15	1400 mm HDPE SDR 13.6	1193.640	0.007000	332.000	0.0000	1221.3507	4404.500	1.093	780.259	690.277
16	P16	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	732.000	4.4000	637.7811	2300.000	1.748	740.913	499.882
17	P17	300 mm HDPE SDR17 SDR 17	249.000	0.007000	431.150	8.7400	68.5615	247.250	1.410	656.884	623.493

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Material	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Mass Flow kg/sec	Flow m ³ /hour	Velocity m/sec	Entry Pressure kPa.g	Exit Pressure kPa.g
18	P18	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	915.000	4.4000	102.0450	368.000	1.754	656.884	403.593
19	P19	400 mm HDPE SDR 13.6	341.040	0.007000	530.000	7.8600	170.6064	615.250	1.871	740.913	692.033
20	P20	90 mm HDPE SDR17 SDR 17	81.000	0.007000	60.000	0.4000	9.5667	34.500	1.860	52.947	0.000
21	P21	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	501.000	6.5200	102.0450	368.000	1.754	403.593	355.077
22	P22	1200 mm HDPE SDR 13.6	1023.120	0.007000	1685.000	10.9600	1211.7840	4370.000	1.477	423.358	0.000
23	P23	300 mm HDPE SDR17 SDR 17	249.000	0.007000	923.000	0.0000	68.5615	247.250	1.410	623.493	0.000
24	P24	400 mm HDPE SDR 13.6	341.040	0.007000	530.000	0.0000	170.6064	615.250	1.871	692.033	656.884
25	P25	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	396.000	5.5600	637.7811	2300.000	1.748	378.168	0.000
27	P27	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	542.000	0.0000	637.7811	2300.000	1.748	499.882	378.168
31	P31	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	544.000	0.0000	102.0450	368.000	1.754	355.077	0.000

Energy Data

Pipe Id	Pipe Name	Energy Loss To Pipe Friction	Energy Loss To Pipe Fittings	Energy Loss To Pipe Components	Energy Loss To Pipe Control Valves	Energy Loss To Pump Inefficiency	SUBTOTAL Loss Pipe Items +Pump	Energy Loss To Discharge Pressure	Energy Loss To Change in Elevation	TOTAL USED Sum of All Items
		Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts
1	P1	2.741900	3.687444	0.000000	0.000000	N/A	6.429345	0.000000	14.928703	21.358048
2	P2	0.018910	13.233598	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252508	0.000000	0.000000	13.252508
3	P3	0.018910	13.233598	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252508	0.000000	0.000000	13.252508
4	P4	0.018910	13.233620	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252530	0.000000	0.000000	13.252530
5	P5	2.741896	3.687438	0.000000	0.000000	N/A	6.429334	0.000000	14.928695	21.358030
6	P6	2.294369	5.504232	0.000000	110.594024	N/A	118.392625	0.000000	131.750950	250.143575
7	P7	23.090508	3.830584	0.000000	0.000000	N/A	26.921092	0.000000	297.088540	324.009632
8	P8	0.018910	13.233620	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252530	0.000000	0.000000	13.252530
9	P9	2.741896	3.687438	0.000000	0.000000	N/A	6.429334	0.000000	14.928695	21.358030
10	P10	2.741900	3.687444	0.000000	0.000000	N/A	6.429345	0.000000	14.928703	21.358048
13	P13	60.168407	18.344790	0.000000	0.000000	N/A	78.513198	0.000000	118.913597	197.426795
14	P14	0.209958	0.076931	0.000000	5.642603	N/A	5.929492	0.000000	0.178253	6.107745
15	P15	2.294369	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	2.294369	0.000000	107.796231	110.090600
16	P16	12.103852	4.289671	0.000000	0.000000	N/A	16.393522	0.000000	137.598903	153.992425
17	P17	1.697338	0.596008	0.000000	0.000000	N/A	2.293346	0.000000	0.000000	2.293346
18	P18	7.188350	0.690712	0.000000	0.000000	N/A	7.879061	0.000000	18.012947	25.892009
19	P19	6.006977	2.346849	0.000000	0.000000	N/A	8.353826	0.000000	0.000000	8.353826
20	P20	0.209958	0.006618	0.000000	0.000000	N/A	0.216576	0.000000	0.290834	0.507410
21	P21	3.935916	1.023509	0.000000	0.000000	N/A	4.959425	0.000000	0.000000	4.959425
22	P22	24.091335	14.476967	0.000000	0.000000	N/A	38.568302	0.000000	475.341665	513.909966
23	P23	3.633638	0.000000	0.000000	5.570286	N/A	9.203924	0.000000	33.617914	42.821838
24	P24	6.006977	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	6.006977	0.000000	0.000000	6.006977
25	P25	6.547985	5.420584	0.000000	79.530890	N/A	91.499459	0.000000	150.107894	241.607353
27	P27	8.962142	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	8.962142	0.000000	68.799451	77.761593
31	P31	4.273729	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	4.273729	0.000000	32.023017	36.296747

Node Data

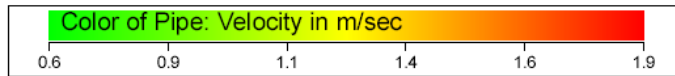
Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. bar.g	Press. at Node kPa.g	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In m ³ /hour	Demand Out m ³ /hour	Total Flow In m ³ /hour	Total Flow Out m ³ /hour
1	Tank	N1	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.000	1829.938
3	Tank	N3	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.000	1829.937
4	Tank	N4	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.000	1829.937
5	Tank	N5	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.000	1829.938
6	Join Point	N6	1175.000	N/A	N/A	984.713	1275.587	0.000	0.000	7319.750	7319.750
7	Tank	N7	1200.000	0.000	0.0000	0.000	1200.000	N/A	N/A	34.500	0.000
8	Tank	N8	1260.000	0.000	0.0000	0.000	1260.000	N/A	N/A	4370.000	0.000
9	Join Point	N9	1172.000	N/A	N/A	1026.730	1276.879	0.000	0.000	1829.938	1829.938
10	Join Point	N10	1172.000	N/A	N/A	1026.730	1276.879	0.000	0.000	1829.937	1829.937
11	Join Point	N11	1172.000	N/A	N/A	1026.730	1276.879	0.000	0.000	1829.937	1829.937
12	Join Point	N12	1172.000	N/A	N/A	1026.730	1276.879	0.000	0.000	1829.938	1829.938
14	Join Point	N14	1195.000	N/A	N/A	690.277	1265.511	0.000	0.000	4404.500	4404.500
15	Join Point	N15	1186.000	N/A	N/A	780.259	1265.702	0.000	0.000	4404.500	4404.500
16	Join Point	N16	1190.000	N/A	N/A	656.884	1257.100	0.000	0.000	615.250	615.250
17	Tank	N17	1240.000	0.000	0.0000	0.000	1240.000	N/A	N/A	368.000	0.000
18	Tank	N18	1240.000	0.000	0.0000	0.000	1240.000	N/A	N/A	247.250	0.000
19	Tank	N19	1247.000	0.000	0.0000	0.000	1247.000	N/A	N/A	2300.000	0.000
20	Join Point	N20	1190.000	N/A	N/A	740.913	1265.683	0.000	0.000	2915.250	2915.250
21	Join Point	N21	1196.900	N/A	N/A	52.947	1202.308	0.000	0.000	34.500	34.500
22	Join Point	N22	1208.000	N/A	N/A	403.593	1249.227	0.000	0.000	368.000	368.000
23	Join Point	N23	1220.000	N/A	N/A	423.358	1263.246	0.000	0.000	4370.000	4370.000
24	Join Point	N24	1190.000	N/A	N/A	623.493	1253.689	0.000	0.000	247.250	247.250
25	Join Point	N25	1223.000	N/A	N/A	378.168	1261.629	0.000	0.000	2300.000	2300.000
26	Join Point	N26	1190.000	N/A	N/A	692.033	1260.690	0.000	0.000	615.250	615.250
29	Join Point	N29	1212.000	N/A	N/A	499.882	1263.062	0.000	0.000	2300.000	2300.000
30	Join Point	N30	1208.000	N/A	N/A	355.077	1244.271	0.000	0.000	368.000	368.000



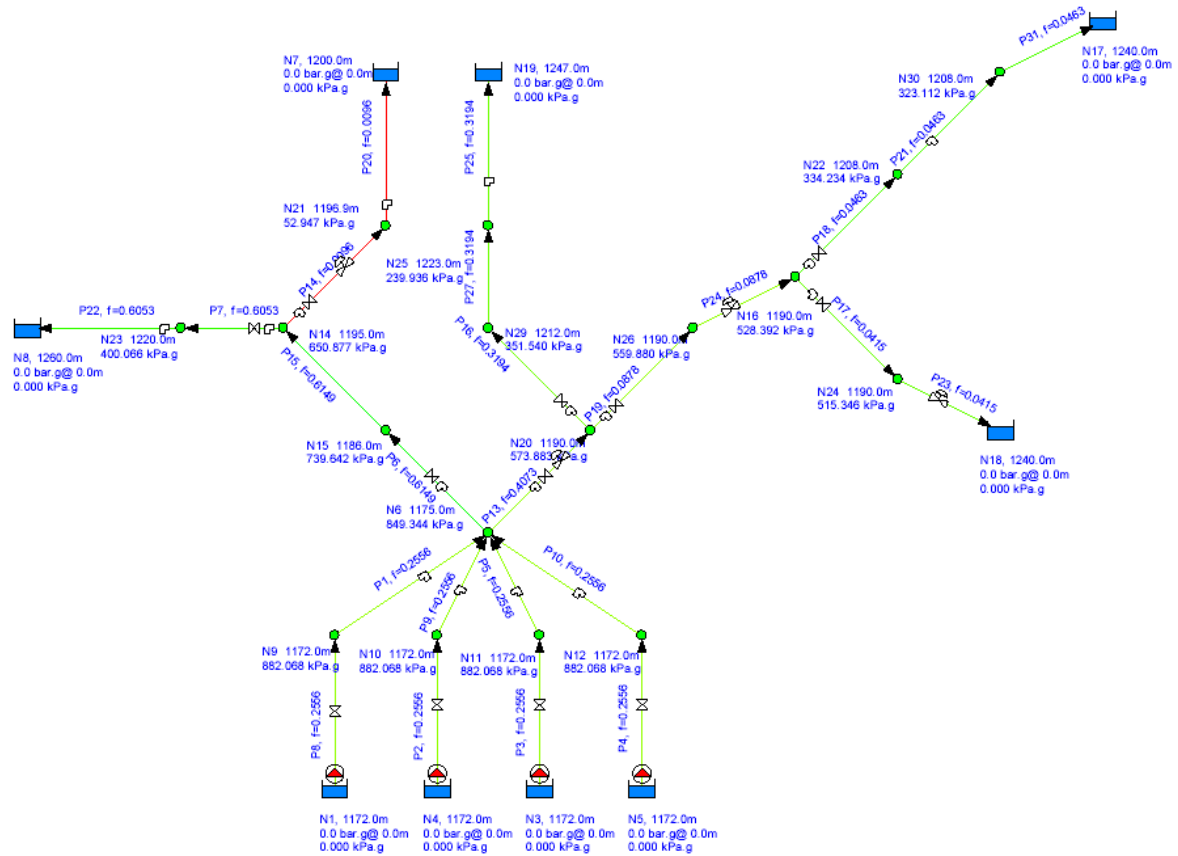


AÑO 2018 - OPCION 4 - ALTERNATIVA 2

CONDICION NORMALES DE OPERACION



Pipe Flow Expert Results Key
f = flow in m³/sec



Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure kPa.g	Density kg/m ³	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure kPa.a	State
1	Water	H2 O	20.000	0.000	998.266	1.004	1.002	2.338000	Liquid

Pump Data

Pipe Id	Pipe Name	Pump Name	Speed rpm	Pref. Op From m ³ /sec	Pref. Op To m ³ /sec	Flow In/Out m ³ /sec	Velocity m/sec	Suction Pressure kPa.g	Discharge Pressure kPa.g	Pump Head (+) m.hd Fluid	Pump NPSHr m.hd (absolute)	Pump NPSHa m.hd (absolute)	Pump Efficiency Percentage	Pump Power Kilowatts
2	P2	Pump	Set Flow Rate			0.2556	0.966	0.000	888.658	90.775	Not known	8.762	Not known	Not Known
3	P3	Pump	Set Flow Rate			0.2556	0.966	0.000	888.658	90.775	Not known	8.762	Not known	Not Known
4	P4	Pump	Set Flow Rate			0.2556	0.966	0.000	888.658	90.775	Not known	8.762	Not known	Not Known
8	P8	Pump	Set Flow Rate			0.2556	0.966	0.000	888.658	90.775	Not known	8.762	Not known	Not Known

Pipe Data

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Material	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Mass Flow kg/sec	Flow m ³ /sec	Velocity m/sec	Entry Pressure kPa.g	Exit Pressure kPa.g
1	P1	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	255.1124	0.2556	0.966	882.068	849.344
2	P2	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	255.1124	0.2556	0.966	0.000	882.068
3	P3	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	255.1124	0.2556	0.966	0.000	882.068
4	P4	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	255.1124	0.2556	0.966	0.000	882.068
5	P5	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	255.1124	0.2556	0.966	882.068	849.344
6	P6	1400 mm HDPE SDR 13.6	1141.640	0.007000	332.000	7.5400	613.8643	0.6149	0.601	849.344	739.642
7	P7	1200 mm HDPE SDR 13.6	1023.120	0.007000	1615.000	2.9000	604.2976	0.6053	0.736	650.877	400.066
8	P8	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	255.1124	0.2556	0.966	0.000	882.068
9	P9	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	255.1124	0.2556	0.966	882.068	849.344
10	P10	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	255.1124	0.2556	0.966	882.068	849.344
13	P13	900 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	735.300	0.007000	2670.000	12.4800	406.5854	0.4073	0.959	849.344	573.883
14	P14	90 mm HDPE SDR17 SDR 17	81.000	0.007000	60.000	4.6500	9.5667	0.0096	1.860	650.877	52.947
15	P15	1400 mm HDPE SDR 13.6	1141.640	0.007000	332.000	0.0000	613.8643	0.6149	0.601	739.642	650.877
16	P16	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	732.000	4.4000	318.8905	0.3194	0.874	573.883	351.540
17	P17	300 mm HDPE SDR17 SDR 17	249.000	0.007000	431.150	8.7400	41.4558	0.0415	0.853	528.392	515.346

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Material	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Mass Flow kg/sec	Flow m ³ /sec	Velocity m/sec	Entry Pressure kPa.g	Exit Pressure kPa.g
18	P18	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	915.000	4.4000	46.2391	0.0463	0.795	528.392	334.234
19	P19	400 mm HDPE SDR 13.6	341.040	0.007000	530.000	7.8600	87.6949	0.0878	0.962	573.883	559.880
20	P20	90 mm HDPE SDR17 SDR 17	81.000	0.007000	60.000	0.4000	9.5667	0.0096	1.860	52.947	0.000
21	P21	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	501.000	6.5200	46.2391	0.0463	0.795	334.234	323.112
22	P22	1200 mm HDPE SDR 13.6	1023.120	0.007000	1685.000	10.9600	604.2976	0.6053	0.736	400.066	0.000
23	P23	300 mm HDPE SDR17 SDR 17	249.000	0.007000	923.000	0.0000	41.4558	0.0415	0.853	515.346	0.000
24	P24	400 mm HDPE SDR 13.6	341.040	0.007000	530.000	0.0000	87.6949	0.0878	0.962	559.880	528.392
25	P25	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	396.000	5.5600	318.8905	0.3194	0.874	239.936	0.000
27	P27	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	542.000	0.0000	318.8905	0.3194	0.874	351.540	239.936
31	P31	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	544.000	0.0000	46.2391	0.0463	0.795	323.112	0.000

Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. bar.g	Press. at Node kPa.g	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In m ³ /sec	Demand Out m ³ /sec	Total Flow In m ³ /sec	Total Flow Out m ³ /sec
1	Tank	N1	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.0000	0.2556
3	Tank	N3	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.0000	0.2556
4	Tank	N4	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.0000	0.2556
5	Tank	N5	1172.000	0.000	0.0000	0.000	1172.000	N/A	N/A	0.0000	0.2556
6	Join Point	N6	1175.000	N/A	N/A	849.344	1261.759	0.0000	0.0000	1.0222	1.0222
7	Tank	N7	1200.000	0.000	0.0000	0.000	1200.000	N/A	N/A	0.0096	0.0000
8	Tank	N8	1260.000	0.000	0.0000	0.000	1260.000	N/A	N/A	0.6053	0.0000
9	Join Point	N9	1172.000	N/A	N/A	882.068	1262.102	0.0000	0.0000	0.2556	0.2556
10	Join Point	N10	1172.000	N/A	N/A	882.068	1262.102	0.0000	0.0000	0.2556	0.2556
11	Join Point	N11	1172.000	N/A	N/A	882.068	1262.102	0.0000	0.0000	0.2556	0.2556
12	Join Point	N12	1172.000	N/A	N/A	882.068	1262.102	0.0000	0.0000	0.2556	0.2556
14	Join Point	N14	1195.000	N/A	N/A	650.877	1261.486	0.0000	0.0000	0.6149	0.6149
15	Join Point	N15	1186.000	N/A	N/A	739.642	1261.553	0.0000	0.0000	0.6149	0.6149
16	Join Point	N16	1190.000	N/A	N/A	528.392	1243.975	0.0000	0.0000	0.0878	0.0878
17	Tank	N17	1240.000	0.000	0.0000	0.000	1240.000	N/A	N/A	0.0463	0.0000
18	Tank	N18	1240.000	0.000	0.0000	0.000	1240.000	N/A	N/A	0.0415	0.0000
19	Tank	N19	1247.000	0.000	0.0000	0.000	1247.000	N/A	N/A	0.3194	0.0000
20	Join Point	N20	1190.000	N/A	N/A	573.883	1248.621	0.0000	0.0000	0.4073	0.4073
21	Join Point	N21	1196.900	N/A	N/A	52.947	1202.308	0.0000	0.0000	0.0096	0.0096
22	Join Point	N22	1208.000	N/A	N/A	334.234	1242.142	0.0000	0.0000	0.0463	0.0463
23	Join Point	N23	1220.000	N/A	N/A	400.066	1260.866	0.0000	0.0000	0.6053	0.6053
24	Join Point	N24	1190.000	N/A	N/A	515.346	1242.642	0.0000	0.0000	0.0415	0.0415
25	Join Point	N25	1223.000	N/A	N/A	239.936	1247.509	0.0000	0.0000	0.3194	0.3194
26	Join Point	N26	1190.000	N/A	N/A	559.880	1247.191	0.0000	0.0000	0.0878	0.0878
29	Join Point	N29	1212.000	N/A	N/A	351.540	1247.909	0.0000	0.0000	0.3194	0.3194
30	Join Point	N30	1208.000	N/A	N/A	323.112	1241.006	0.0000	0.0000	0.0463	0.0463

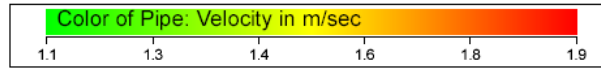
Energy Data

Pipe Id	Pipe Name	Energy Loss To Pipe Friction	Energy Loss To Pipe Fittings	Energy Loss To Pipe Components	Energy Loss To Pipe Control Valves	Energy Loss To Pump Inefficiency	SUBTOTAL Loss Pipe Items +Pump	Energy Loss To Discharge Pressure	Energy Loss To Change in Elevation	TOTAL USED Sum of All Items
		Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts
1	P1	0.388846	0.468576	0.000000	0.000000	N/A	0.857422	0.000000	7.505395	8.362817
2	P2	0.002682	1.681640	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	1.684322	0.000000	0.000000	1.684322
3	P3	0.002682	1.681640	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	1.684322	0.000000	0.000000	1.684322
4	P4	0.002682	1.681640	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	1.684322	0.000000	0.000000	1.684322
5	P5	0.388846	0.468576	0.000000	0.000000	N/A	0.857422	0.000000	7.505395	8.362817
6	P6	0.404481	0.835159	0.000000	0.000000	N/A	1.239640	0.000000	66.219472	67.459112
7	P7	3.199351	0.475053	0.000000	0.000000	N/A	3.674404	0.000000	148.153364	151.827768
8	P8	0.002682	1.681640	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	1.684322	0.000000	0.000000	1.684322
9	P9	0.388846	0.468576	0.000000	0.000000	N/A	0.857422	0.000000	7.505395	8.362817
10	P10	0.388846	0.468576	0.000000	0.000000	N/A	0.857422	0.000000	7.505395	8.362817
13	P13	8.527958	2.334046	0.000000	41.521974	N/A	52.383977	0.000000	59.808614	112.192592
14	P14	0.209958	0.076931	0.000000	5.265019	N/A	5.551908	0.000000	0.178253	5.730161
15	P15	0.404481	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	0.404481	0.000000	54.179568	54.584049
16	P16	1.690600	0.536209	0.000000	0.000000	N/A	2.226809	0.000000	68.799451	71.026261
17	P17	0.410028	0.131755	0.000000	0.000000	N/A	0.541783	0.000000	0.000000	0.541783
18	P18	0.766916	0.064261	0.000000	0.000000	N/A	0.831178	0.000000	8.162117	8.993295
19	P19	0.911432	0.318729	0.000000	0.000000	N/A	1.230162	0.000000	0.000000	1.230162
20	P20	0.209958	0.006618	0.000000	0.000000	N/A	0.216576	0.000000	0.290834	0.507410
21	P21	0.419918	0.095224	0.000000	0.000000	N/A	0.515142	0.000000	0.000000	0.515142
22	P22	3.338023	1.795372	0.000000	0.000000	N/A	5.133395	0.000000	237.045383	242.178778
23	P23	0.877783	0.000000	0.000000	0.196270	N/A	1.074053	0.000000	20.327111	21.401164
24	P24	0.911432	0.000000	0.000000	1.854700	N/A	2.766132	0.000000	0.000000	2.766132
25	P25	0.914587	0.677573	0.000000	0.000000	N/A	1.592160	0.000000	75.053947	76.646107
27	P27	1.251783	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	1.251783	0.000000	34.399726	35.651509
31	P31	0.455959	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	0.455959	0.000000	14.510430	14.966389

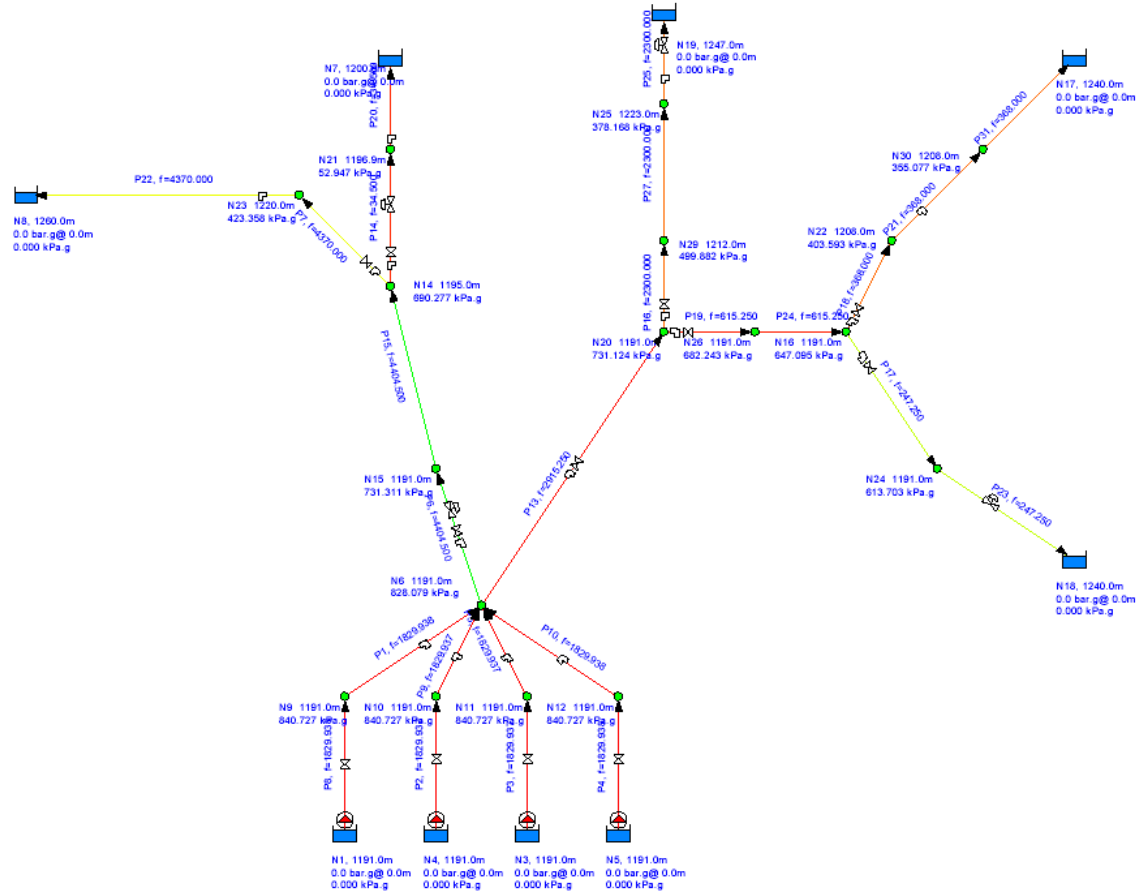


AÑO 2037 - OPCION 4 ALTERNATIVA 2

CONDICIONES MAXIMA DE OPERACION



Pipe Flow Expert Results Key
f = flow in m³/hour



Fluid Data

Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure kPa.g	Density kg/m ³	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure kPa.a	State
1	Water	H2 O	20.000	0.000	998.266	1.004	1.002	2.338000	Liquid

Pump Data

Pipe Id	Pipe Name	Pump Name	Speed rpm	Pref. Op From m ³ /hour	Pref. Op To m ³ /hour	Flow In/Out m ³ /hour	Velocity m/sec	Suction Pressure kPa.g	Discharge Pressure kPa.g	Pump Head (+) m.hd Fluid	Pump NPSHr m.hd (absolute)	Pump NPSHa m.hd (absolute)	Pump Efficiency Percentage	Pump Power Kilowatts
2	P2	Pump	Set Flow Rate			1829.937	1.921	0.000	866.798	88.542	Not known	8.762	Not known	Not Known
3	P3	Pump	Set Flow Rate			1829.937	1.921	0.000	866.798	88.542	Not known	8.762	Not known	Not Known
4	P4	Pump	Set Flow Rate			1829.938	1.921	0.000	866.798	88.542	Not known	8.762	Not known	Not Known
8	P8	Pump	Set Flow Rate			1829.938	1.921	0.000	866.798	88.542	Not known	8.762	Not known	Not Known

Pipe Data

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Material	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Mass Flow kg/sec	Flow m ³ /hour	Velocity m/sec	Entry Pressure kPa.g	Exit Pressure kPa.g
1	P1	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4347	1829.938	1.921	840.727	828.079
2	P2	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4344	1829.937	1.921	0.000	840.727
3	P3	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4344	1829.937	1.921	0.000	840.727
4	P4	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4347	1829.938	1.921	0.000	840.727
5	P5	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4344	1829.937	1.921	840.727	828.079
6	P6	1400 mm HDPE SDR 13.6	1193.640	0.007000	332.000	7.5400	1221.3507	4404.500	1.093	828.079	731.311
7	P7	1200 mm HDPE SDR 13.6	1023.120	0.007000	1615.000	2.9000	1211.7840	4370.000	1.477	690.277	423.358
8	P8	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	1.000	14.1400	507.4347	1829.938	1.921	0.000	840.727
9	P9	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4344	1829.937	1.921	840.727	828.079
10	P10	700 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	580.500	0.007000	145.000	3.9400	507.4347	1829.938	1.921	840.727	828.079
13	P13	900 mm HDPE SDR11 SDR 11 USER	735.300	0.007000	2670.000	12.4800	808.3875	2915.250	1.907	828.079	731.124
14	P14	90 mm HDPE SDR17 SDR 17	81.000	0.007000	120.000	4.4000	9.5667	34.500	1.860	690.277	52.947
15	P15	1400 mm HDPE SDR 13.6	1193.640	0.007000	332.000	0.0000	1221.3507	4404.500	1.093	731.311	690.277
16	P16	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	732.000	4.4000	637.7811	2300.000	1.748	731.124	499.882
17	P17	300 mm HDPE SDR17 SDR 17	249.000	0.007000	431.150	8.7400	68.5615	247.250	1.410	647.095	613.703

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Material	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Mass Flow kg/sec	Flow m ³ /hour	Velocity m/sec	Entry Pressure kPa.g	Exit Pressure kPa.g
18	P18	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	915.000	4.4000	102.0450	368.000	1.754	647.095	403.593
19	P19	400 mm HDPE SDR 13.6	341.040	0.007000	530.000	7.8600	170.6064	615.250	1.871	731.124	682.243
20	P20	90 mm HDPE SDR17 SDR 17	81.000	0.007000	60.000	0.4000	9.5667	34.500	1.860	52.947	0.000
21	P21	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	501.000	6.5200	102.0450	368.000	1.754	403.593	355.077
22	P22	1200 mm HDPE SDR 13.6	1023.120	0.007000	1685.000	10.9600	1211.7840	4370.000	1.477	423.358	0.000
23	P23	300 mm HDPE SDR17 SDR 17	249.000	0.007000	923.000	0.0000	68.5615	247.250	1.410	613.703	0.000
24	P24	400 mm HDPE SDR 13.6	341.040	0.007000	530.000	0.0000	170.6064	615.250	1.871	682.243	647.095
25	P25	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	396.000	5.5600	637.7811	2300.000	1.748	378.168	0.000
27	P27	800 mm HDPE SDR 13.6	682.080	0.007000	542.000	0.0000	637.7811	2300.000	1.748	499.882	378.168
31	P31	350 mm HDPE SDR17 SDR 17	272.400	0.007000	544.000	0.0000	102.0450	368.000	1.754	355.077	0.000

Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. bar.g	Press. at Node kPa.g	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In m ³ /hour	Demand Out m ³ /hour	Total Flow In m ³ /hour	Total Flow Out m ³ /hour
1	Tank	N1	1191.000	0.000	0.0000	0.000	1191.000	N/A	N/A	0.000	1829.938
3	Tank	N3	1191.000	0.000	0.0000	0.000	1191.000	N/A	N/A	0.000	1829.937
4	Tank	N4	1191.000	0.000	0.0000	0.000	1191.000	N/A	N/A	0.000	1829.937
5	Tank	N5	1191.000	0.000	0.0000	0.000	1191.000	N/A	N/A	0.000	1829.938
6	Join Point	N6	1191.000	N/A	N/A	828.079	1275.587	0.000	0.000	7319.750	7319.750
7	Tank	N7	1200.000	0.000	0.0000	0.000	1200.000	N/A	N/A	34.500	0.000
8	Tank	N8	1260.000	0.000	0.0000	0.000	1260.000	N/A	N/A	4370.000	0.000
9	Join Point	N9	1191.000	N/A	N/A	840.727	1276.879	0.000	0.000	1829.938	1829.938
10	Join Point	N10	1191.000	N/A	N/A	840.727	1276.879	0.000	0.000	1829.937	1829.937
11	Join Point	N11	1191.000	N/A	N/A	840.727	1276.879	0.000	0.000	1829.937	1829.937
12	Join Point	N12	1191.000	N/A	N/A	840.727	1276.879	0.000	0.000	1829.938	1829.938
14	Join Point	N14	1195.000	N/A	N/A	690.277	1265.511	0.000	0.000	4404.500	4404.500
15	Join Point	N15	1191.000	N/A	N/A	731.311	1265.702	0.000	0.000	4404.500	4404.500
16	Join Point	N16	1191.000	N/A	N/A	647.095	1257.100	0.000	0.000	615.250	615.250
17	Tank	N17	1240.000	0.000	0.0000	0.000	1240.000	N/A	N/A	368.000	0.000
18	Tank	N18	1240.000	0.000	0.0000	0.000	1240.000	N/A	N/A	247.250	0.000
19	Tank	N19	1247.000	0.000	0.0000	0.000	1247.000	N/A	N/A	2300.000	0.000
20	Join Point	N20	1191.000	N/A	N/A	731.124	1265.683	0.000	0.000	2915.250	2915.250
21	Join Point	N21	1196.900	N/A	N/A	52.947	1202.308	0.000	0.000	34.500	34.500
22	Join Point	N22	1208.000	N/A	N/A	403.593	1249.227	0.000	0.000	368.000	368.000
23	Join Point	N23	1220.000	N/A	N/A	423.358	1263.246	0.000	0.000	4370.000	4370.000
24	Join Point	N24	1191.000	N/A	N/A	613.703	1253.689	0.000	0.000	247.250	247.250
25	Join Point	N25	1223.000	N/A	N/A	378.168	1261.629	0.000	0.000	2300.000	2300.000
26	Join Point	N26	1191.000	N/A	N/A	682.243	1260.690	0.000	0.000	615.250	615.250
29	Join Point	N29	1212.000	N/A	N/A	499.882	1263.062	0.000	0.000	2300.000	2300.000
30	Join Point	N30	1208.000	N/A	N/A	355.077	1244.271	0.000	0.000	368.000	368.000

Energy Data

Pipe Id	Pipe Name	Energy Loss To Pipe Friction	Energy Loss To Pipe Fittings	Energy Loss To Pipe Components	Energy Loss To Pipe Control Valves	Energy Loss To Pump Inefficiency	SUBTOTAL Loss Pipe Items +Pump	Energy Loss To Discharge Pressure	Energy Loss To Change in Elevation	TOTAL USED Sum of All Items
		Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts
1	P1	2.741900	3.687444	0.000000	0.000000	N/A	6.429345	0.000000	0.000000	6.429345
2	P2	0.018910	13.233598	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252508	0.000000	0.000000	13.252508
3	P3	0.018910	13.233598	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252508	0.000000	0.000000	13.252508
4	P4	0.018910	13.233620	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252530	0.000000	0.000000	13.252530
5	P5	2.741896	3.687438	0.000000	0.000000	N/A	6.429334	0.000000	0.000000	6.429334
6	P6	2.294369	5.504232	0.000000	110.594024	N/A	118.392625	0.000000	0.000000	118.392625
7	P7	23.090508	3.830584	0.000000	0.000000	N/A	26.921092	0.000000	297.088540	324.009632
8	P8	0.018910	13.233620	0.000000	0.000000	Efficiency Not Specified	13.252530	0.000000	0.000000	13.252530
9	P9	2.741896	3.687438	0.000000	0.000000	N/A	6.429334	0.000000	0.000000	6.429334
10	P10	2.741900	3.687444	0.000000	0.000000	N/A	6.429345	0.000000	0.000000	6.429345
13	P13	60.168407	18.344790	0.000000	0.000000	N/A	78.513198	0.000000	0.000000	78.513198
14	P14	0.419916	0.072795	0.000000	5.436782	N/A	5.929492	0.000000	0.178253	6.107745
15	P15	2.294369	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	2.294369	0.000000	47.909436	50.203805
16	P16	12.103852	4.289671	0.000000	0.000000	N/A	16.393522	0.000000	131.344407	147.737930
17	P17	1.697338	0.596008	0.000000	0.000000	N/A	2.293346	0.000000	0.000000	2.293346
18	P18	7.188350	0.690712	0.000000	0.000000	N/A	7.879061	0.000000	17.012228	24.891289
19	P19	6.006977	2.346849	0.000000	0.000000	N/A	8.353826	0.000000	0.000000	8.353826
20	P20	0.209958	0.006618	0.000000	0.000000	N/A	0.216576	0.000000	0.290834	0.507410
21	P21	3.935916	1.023509	0.000000	0.000000	N/A	4.959425	0.000000	0.000000	4.959425
22	P22	24.091335	14.476967	0.000000	0.000000	N/A	38.568302	0.000000	475.341665	513.909966
23	P23	3.633638	0.000000	0.000000	5.570286	N/A	9.203924	0.000000	32.945556	42.149480
24	P24	6.006977	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	6.006977	0.000000	0.000000	6.006977
25	P25	6.547985	5.420584	0.000000	79.530890	N/A	91.499459	0.000000	150.107894	241.607353
27	P27	8.962142	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	8.962142	0.000000	68.799451	77.761593
31	P31	4.273729	0.000000	0.000000	0.000000	N/A	4.273729	0.000000	32.023017	36.296747

ANEXO 2 – CURVAS DE LAS BOMBAS DEL SOFTWARE E-PRISM

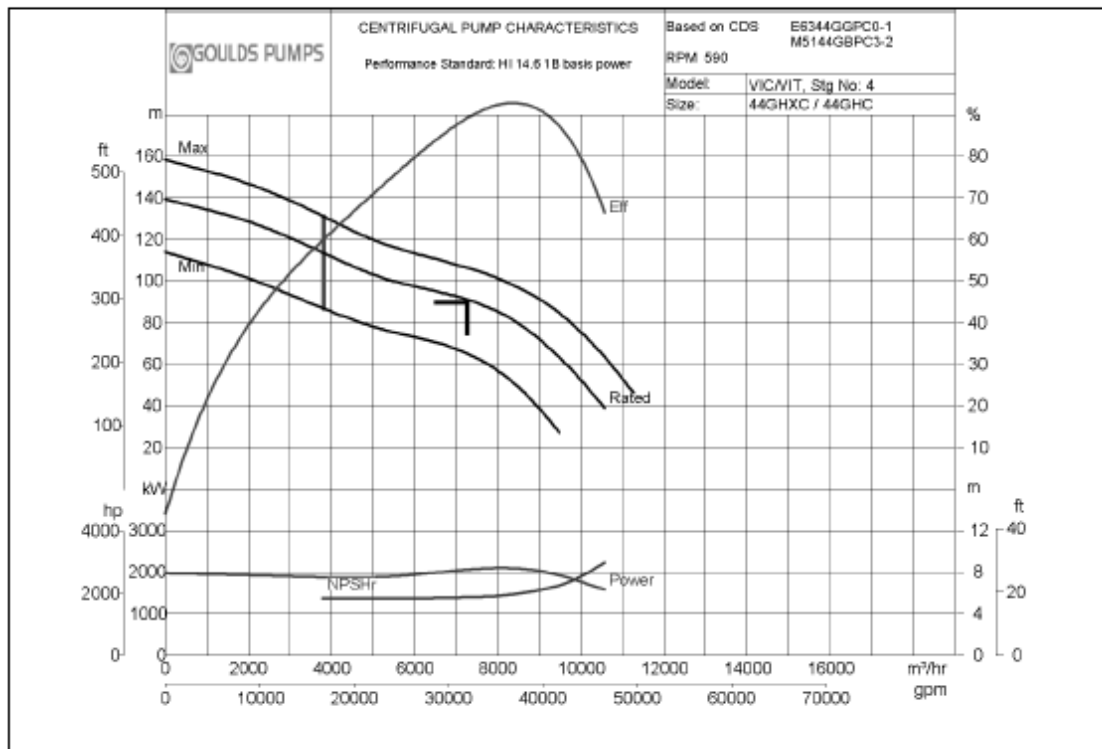


ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 1 – ALTERNATIVA 1

Model: VIT	Size: 44GHXC / 44GHC	60Hz	RPM: 590	Stages: 4
-------------------	-----------------------------	-------------	-----------------	------------------

Job/Inq.No. :		Issued by :	Rev. : 0
Purchaser :	UNDEFINED	Quotation No. :	Date : 04/10/2018
End User :			
Item/Equip.No. :	ITEM 001		
Service :			
Order No. :			
Operating Conditions		Pump Performance	
Liquid:	Water	Published Efficiency:	87.9 %
Temp.:	20.0 deg C	Rated Pump Efficiency:	87.4 %
Rated Total Power:	2,070.04 kW	Min. Hydraulic Flow:	3,812.15 m³/hr
Non-Overloading Power:	2,103.74 kW		
Imp. Dia. First Stg(s):	781.05 mm	Imp. Dia. Adl Stg(s):	689.03 mm
NPSHr:	5.61 m	Shut off Head:	139.45 m
Max. Solids Size:	149.10 mm	% Susp. Solids (by wtg):	
		Specific Speed 1st stg:	4,923 m³/hr,m
		S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp
		Flow:	7,319.75 m³/hr
		TDH:	90.90 m
		NPSHa:	11.00 m
		Solid size:	
		Vapor Press:	

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 2 – ALTERNATIVA 1

Model: VIT	Size: 34EHO	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
-------------------	--------------------	-------------	-----------------	------------------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :

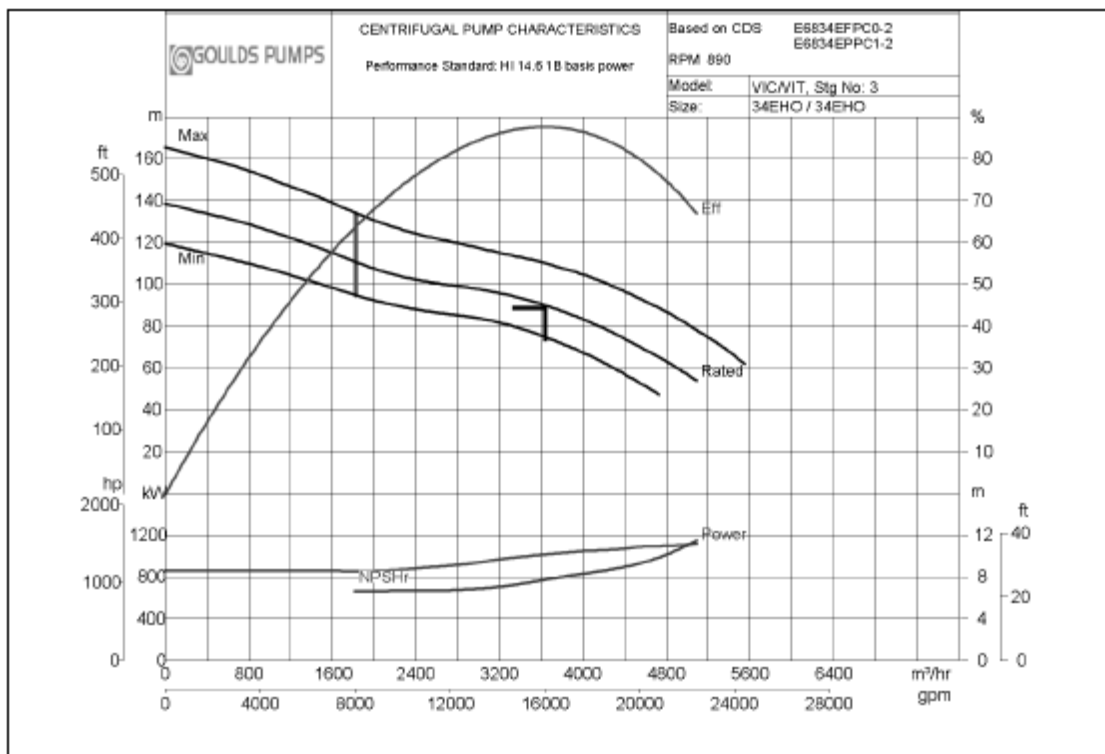
Rev. : 0
Date : 04/10/2018

Operating Conditions
Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 1,019.47 kW
Non-Overloading Power: 1,118.47 kW
Imp. Dia. First Stg(s): 590.55 mm
NPSHr: 7.78 m
Max. Solids Size: 33.78 mm

Pump Performance
Published Efficiency: 89.0 %
Rated Pump Efficiency: 87.6 %
Min. Hydraulic Flow: 1,824.95 m³/hr
Imp. Dia. Adl Stg(s): 518.21 mm
Shut off Head: 138.72 m
% Susp. Solids (by wtg):

Specific Speed 1st stg: 3,794 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 3,659.88 m³/hr
TDH: 89.76 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.8.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 2 – ALTERNATIVA 2

Model: VIT	Size: 59DDS / 36DLC	60Hz	RPM: 710	Stages: 4
-------------------	----------------------------	-------------	-----------------	------------------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :

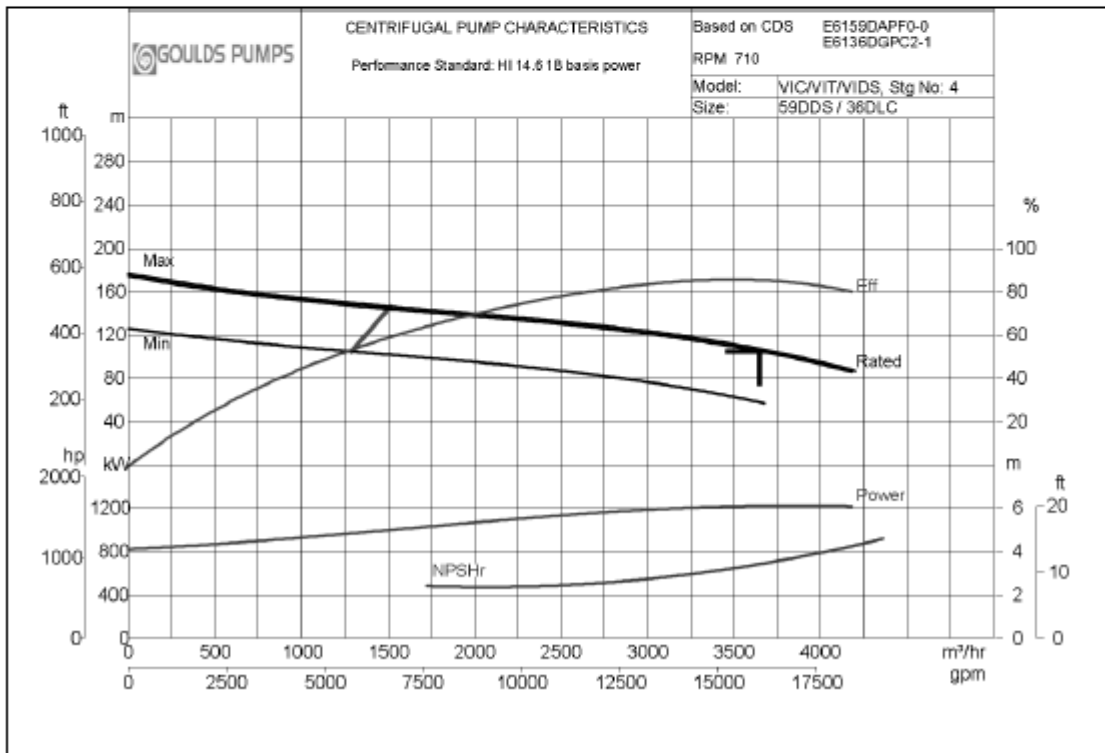
Rev. : 0
Date : 04/10/2018

Operating Conditions
Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 1,238.22 kW
Non-Overloading Power: 1,238.45 kW
Imp. Dia. First Stg(s): 614.17 mm
NPSHr: 3.45 m
Max. Solids Size: 25.40 mm

Pump Performance
Published Efficiency: 85.0 %
Rated Pump Efficiency: 86.0 %
Min. Hydraulic Flow: 1,515.70 m³/hr
Imp. Dia. Adl Stg(s): 704.31 mm
Shut off Head: 170.83 m
% Susp. Solids (by wtg):

Specific Speed 1st stg: 4,357 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 3,659.88 m³/hr
TDH: 107.02 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 2 – ALTERNATIVA 3

Model: VIT	Size: 59DDS / 36DLC	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
-------------------	----------------------------	-------------	-----------------	------------------

Job/Inq.No. :
 Purchaser : UNDEFINED
 End User :
 Item/Equip.No. : ITEM 001
 Service :
 Order No. :

Issued by :
 Quotation No. :
 Rev. : 0
 Date : 04/08/2018

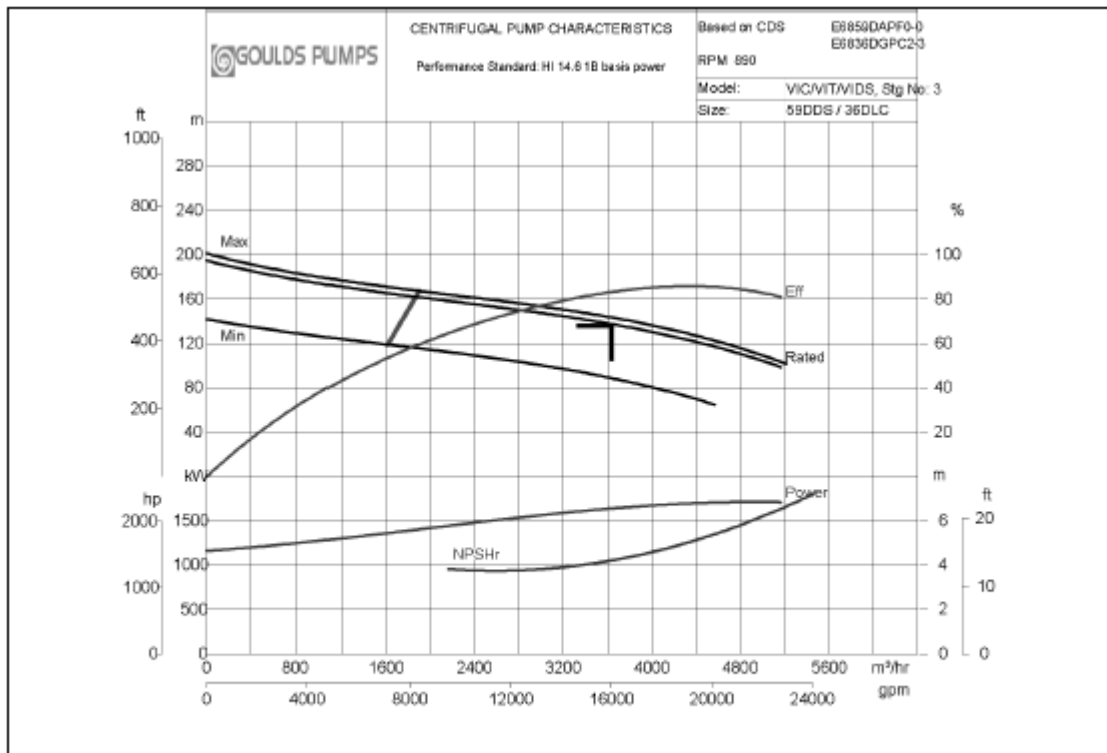
Operating Conditions

Liquid: Water
 Temp.: 20.0 deg C
 Rated Total Power: 1,656.97 kW
 Non-Overloading Power: 1,711.40 kW
 Imp. Dia. First 1 Stg(s): 614.17 mm
 NPSHr: 4.22 m
 Max. Solids Size: 25.40 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 82.0 %
 Rated Pump Efficiency: 82.5 %
 Min. Hydraulic Flow: 1,899.96 m³/hr
 Specific Speed 1st stg: 4,357 m³/hr,m
 S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
 Flow: 3,659.90 m³/hr
 TDH: 137.70 m
 Imp. Dia. Adl Stg(s): 693.64 mm
 NPSHa: 11.00 m
 Shut off Head: 190.92 m
 Solid size:
 % Susp. Solids (by wtg):
 Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 3 – ALTERNATIVA 1

Model: VIT	Size: 26GHO	60Hz	RPM: 890	Stages: 5
-------------------	--------------------	-------------	-----------------	------------------

Job/Inq.No. :
 Purchaser : UNDEFINED
 End User :
 Item/Equip.No. : ITEM 001
 Service :
 Order No. :

Issued by :
 Quotation No. :

Rev. : 0
 Date : 04/10/2018

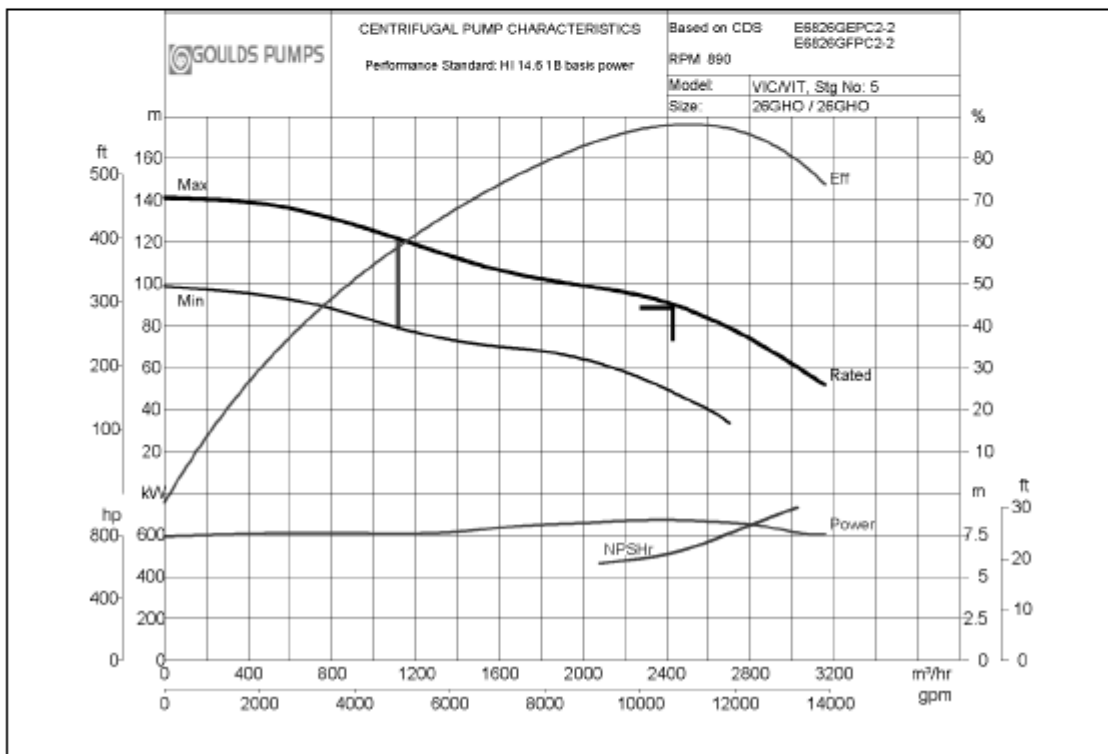
Operating Conditions

Liquid: Water
 Temp.: 20.0 deg C
 Rated Total Power: 671.70 kW
 Non-Overloading Power: 672.29 kW
 Imp. Dia. First 1 Stg(s): 447.68 mm
 NPSHr: 6.47 m
 Max. Solids Size: 60.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 88.7 %
 Rated Pump Efficiency: 88.6 %
 Min. Hydraulic Flow: 1,113.91 m³/hr
 Specific Speed 1st stg: 4,854 m³/hr,m
 S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
 Flow: 2,439.92 m³/hr
 TDH: 89.68 m
 NPSHa: 11.00 m
 Shut off Head: 141.08 m
 Solid size:
 Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 3 – ALTERNATIVA 2

Model: VIT	Size: 26GHO	60Hz	RPM: 890	Stages: 6
------------	-------------	------	----------	-----------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :
Rev. : 0
Date : 04/10/2018

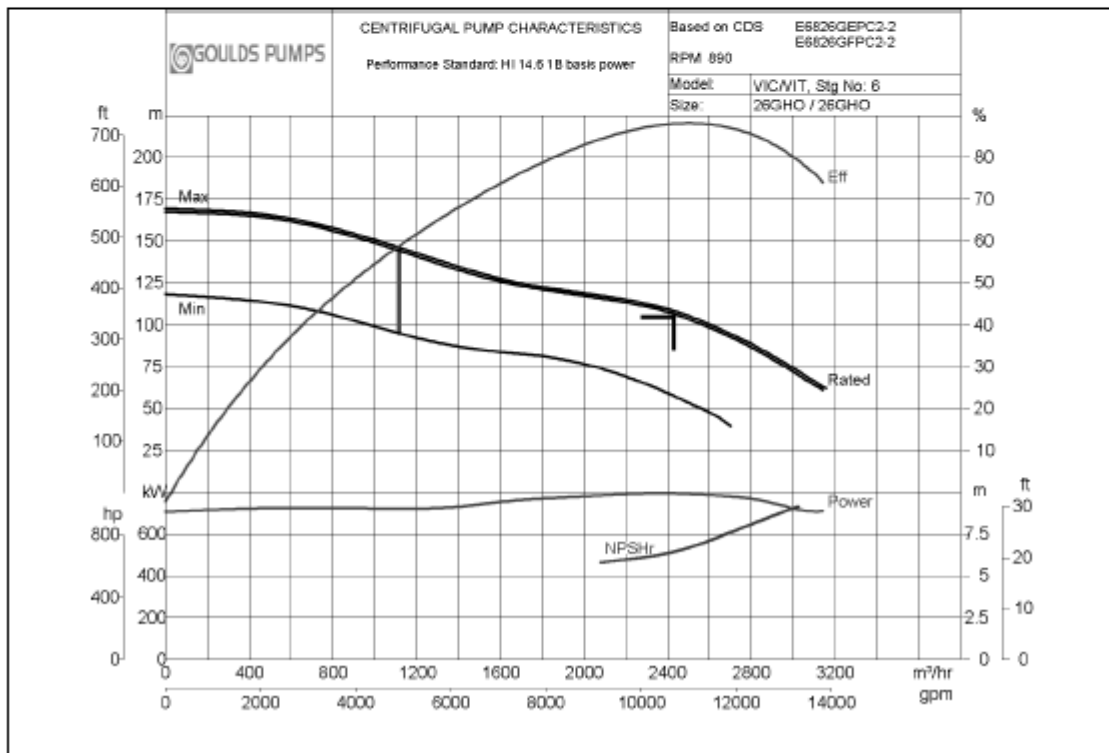
Operating Conditions

Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 793.48 kW
Non-Overloading Power: 794.69 kW
Imp. Dia. First 1 Stg(s): 447.68 mm
NPSHr: 6.47 m
Max. Solids Size: 60.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 88.7 %
Rated Pump Efficiency: 88.6 %
Min. Hydraulic Flow: 1,113.91 m³/hr
Imp. Dia. Adl Stg(s): 443.83 mm
Shut off Head: 167.55 m
% Susp. Solids (by wtg):
Specific Speed 1st stg: 4,854 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 2,439.92 m³/hr
TDH: 106.02 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 3 – ALTERNATIVA 3

Model: VIT	Size: 26GHO	60Hz	RPM: 890	Stages: 8
-------------------	--------------------	-------------	-----------------	------------------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :

Rev. : 0
Date : 04/10/2018

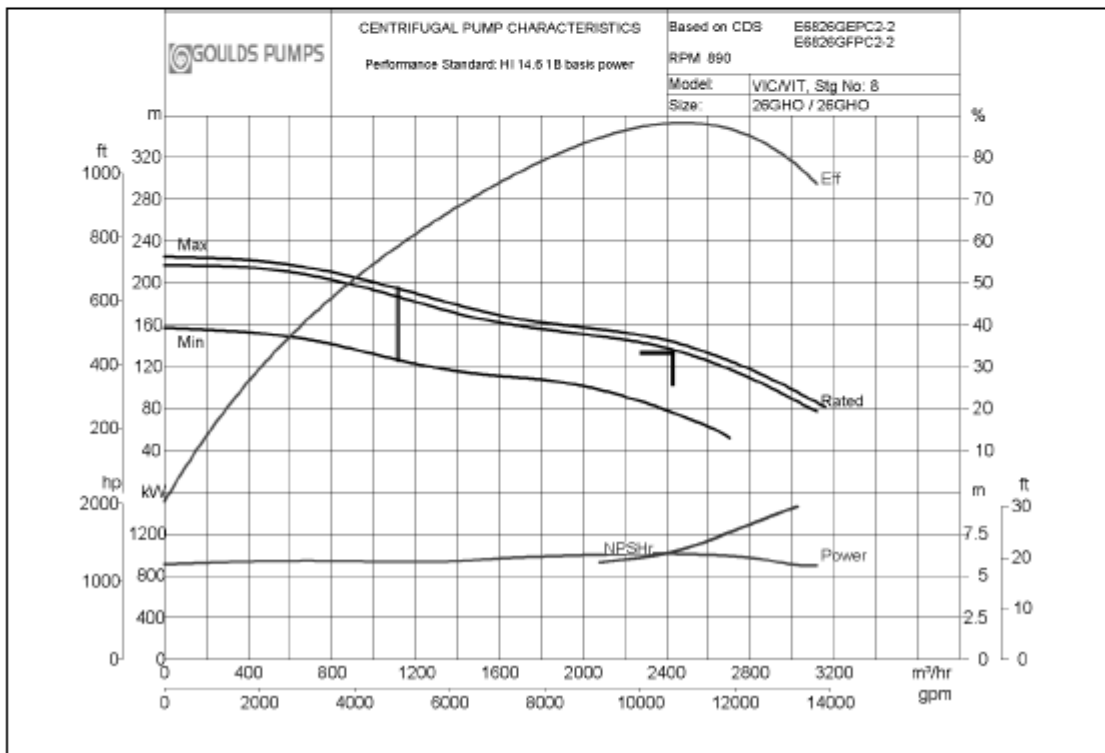
Operating Conditions

Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 1,009.90 kW
Non-Overloading Power: 1,013.93 kW
Imp. Dia. First 1 Stg(s): 447.68 mm
NPSHr: 6.47 m
Max. Solids Size: 60.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 88.7 %
Rated Pump Efficiency: 88.9 %
Min. Hydraulic Flow: 1,113.91 m³/hr
Imp. Dia. Adl Stg(s): 436.61 mm
Shut off Head: 217.06 m
% Susp. Solids (by wtg):
Specific Speed 1st stg: 4,854 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 2,439.92 m³/hr
TDH: 135.34 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 4 – ALTERNATIVA 1

Model: VIT	Size: 28CHC	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
-------------------	--------------------	-------------	-----------------	------------------

Job/Inq.No. :
 Purchaser : UNDEFINED
 End User :
 Item/Equip.No. : ITEM 001
 Service :
 Order No. :

Issued by :
 Quotation No. :
 Rev. : 0
 Date : 04/10/2018

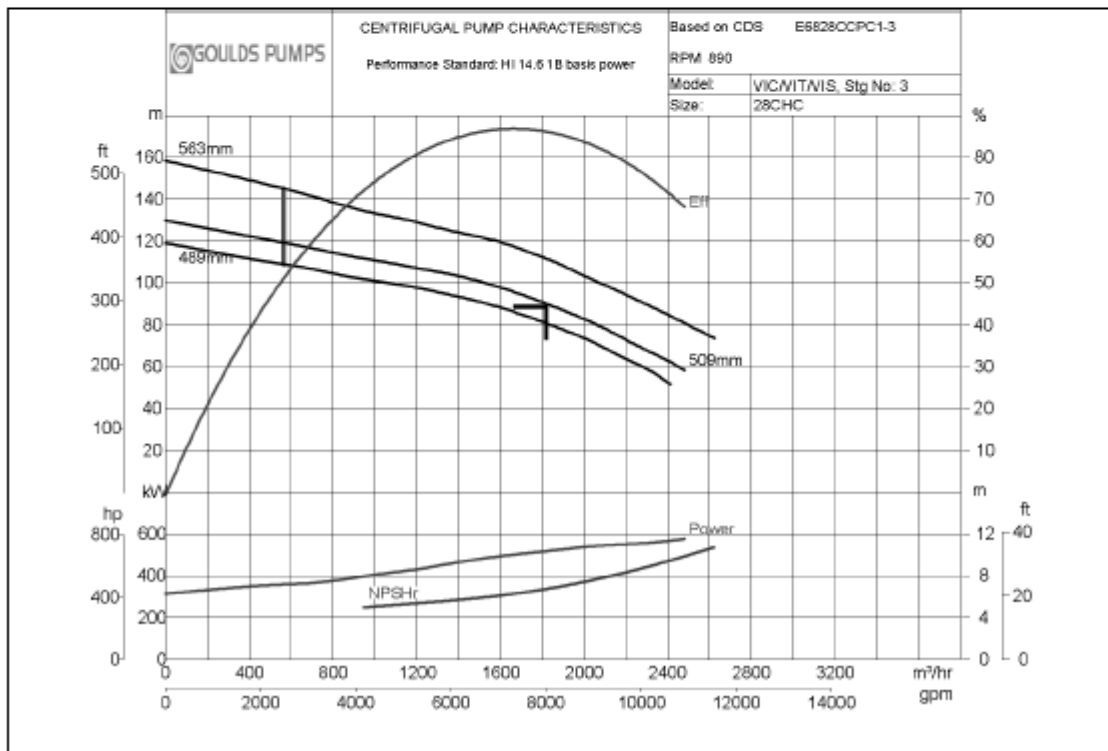
Operating Conditions

Liquid: Water
 Temp.: 20.0 deg C
 Rated Total Power: 519.49 kW
 Non-Overloading Power: 580.53 kW
 Imp. Dia. First 1 Stg(s): 509.26 mm
 NPSHr: 6.82 m
 Max. Solids Size: 44.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 86.0 %
 Rated Pump Efficiency: 86.0 %
 Min. Hydraulic Flow: 565.51 m³/hr
 Specific Speed 1st stg: 2,593 m³/hr,m
 S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
 Flow: 1,829.94 m³/hr
 TDH: 89.73 m
 NPSHa: 11.00 m
 Shut off Head: 129.89 m
 Solid size:
 Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 4 – ALTERNATIVA 2

Model: VIT	Size: 28CHC	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
------------	-------------	------	----------	-----------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :
Rev. : 0
Date : 04/10/2018

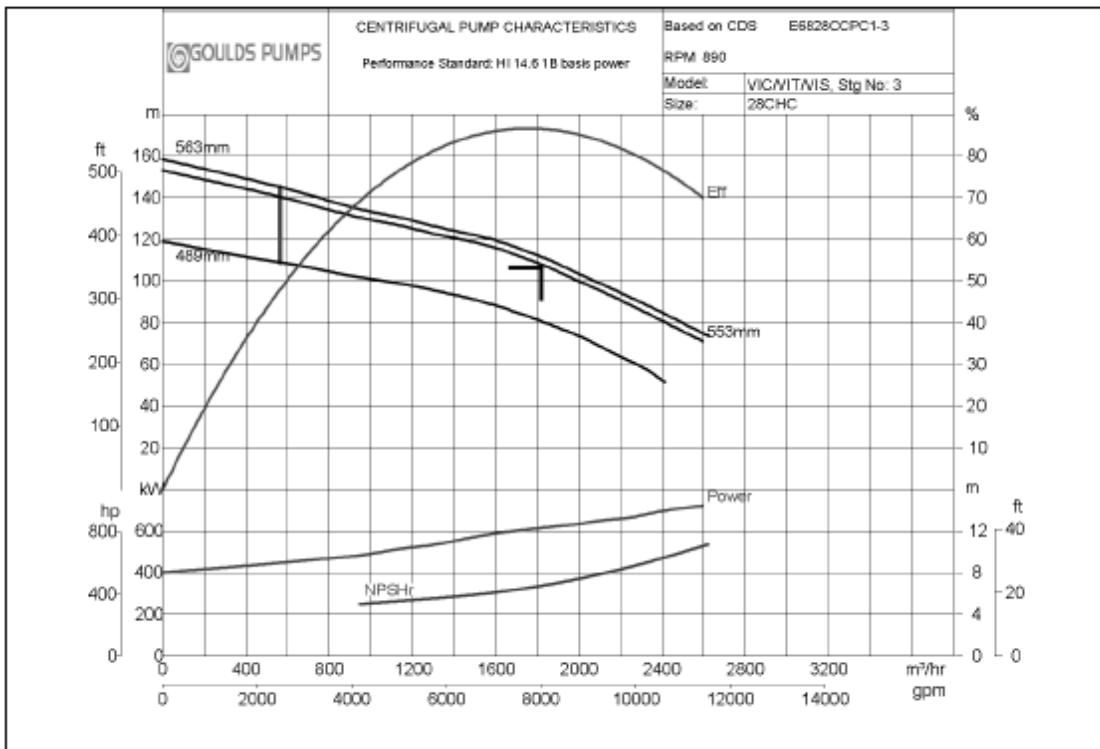
Operating Conditions

Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 616.50 kW
Non-Overloading Power: 717.12 kW
Imp. Dia. First Stg(s): 552.86 mm
NPSHr: 6.81 m
Max. Solids Size: 44.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 86.9 %
Rated Pump Efficiency: 86.9 %
Min. Hydraulic Flow: 564.56 m³/hr
Imp. Dia. Adl Stg(s): 552.86 mm
Shut off Head: 153.15 m
% Susp. Solids (by wtg):
Specific Speed 1st stg: 2,593 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 1,829.94 m³/hr
TDH: 107.55 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

Model: VIT	Size: 28CHC	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
------------	-------------	------	----------	-----------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :

Rev. : 0
Date : 04/14/2018

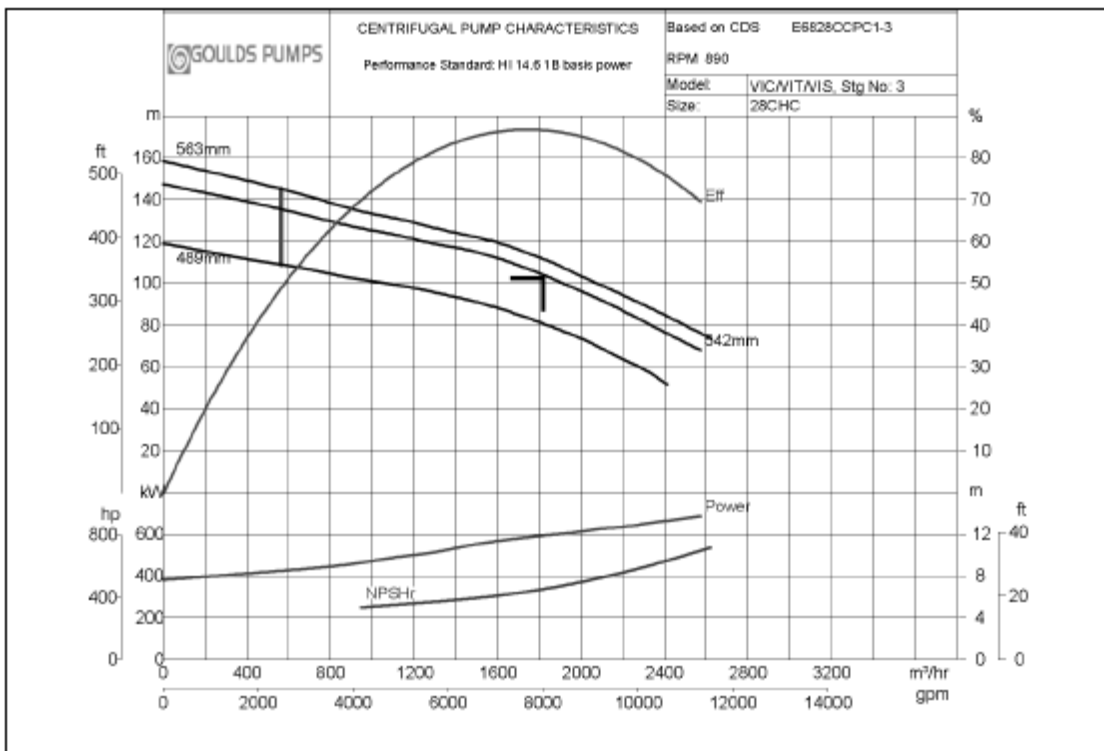
Operating Conditions

Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 594.32 kW
Non-Overloading Power: 676.10 kW
Imp. Dia. First 1 Stg(s): 542.20 mm
NPSHr: 6.81 m
Max. Solids Size: 44.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 86.8 %
Rated Pump Efficiency: 86.8 %
Min. Hydraulic Flow: 565.51 m³/hr
Imp. Dia. Adl Stg(s): 542.20 mm
Shut off Head: 147.47 m
% Susp. Solids (by wtg):
Specific Speed 1st stg: 2,593 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 1,829.94 m³/hr
TDH: 103.55 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

Model: VIT	Size: 28CHC	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
------------	-------------	------	----------	-----------

Job/Inq.No. :
 Purchaser : UNDEFINED
 End User :
 Item/Equip.No. : ITEM 001
 Service :
 Order No. :

Issued by :
 Quotation No. :

Rev. : 0
 Date : 04/14/2018

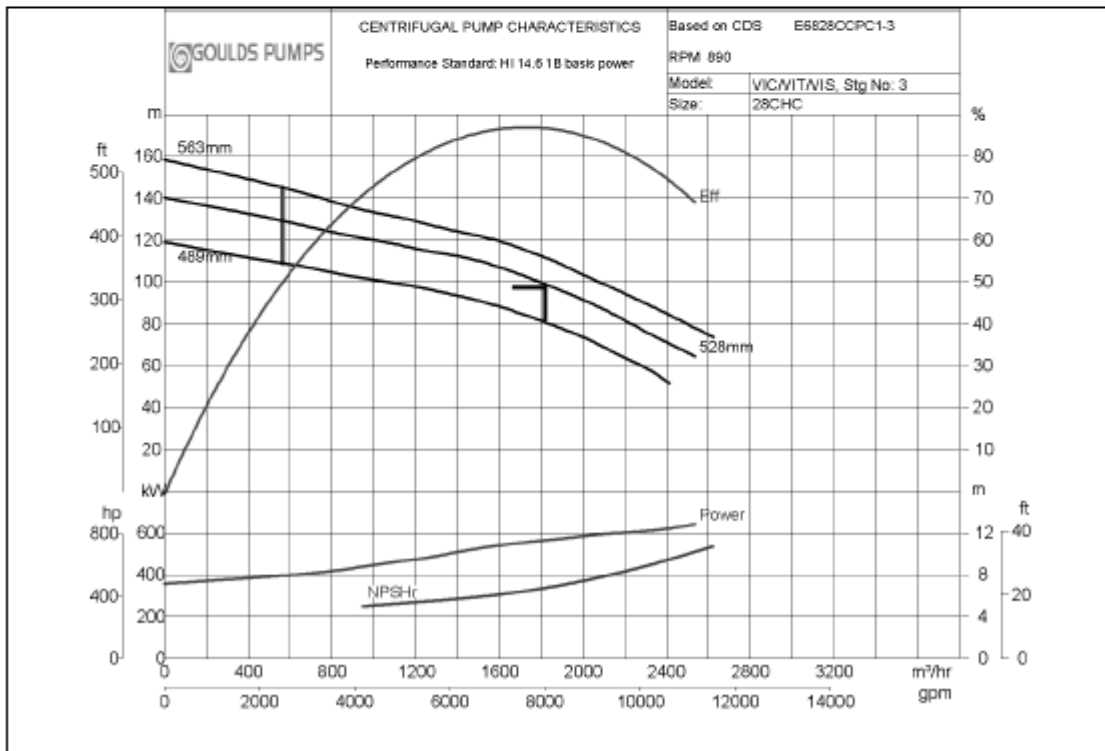
Operating Conditions

Liquid: Water
 Temp.: 20.0 deg C
 Rated Total Power: 566.31 kW
 Non-Overloading Power: 623.17 kW
 Imp. Dia. First 1 Stg(s): 528.43 mm
 NPSHr: 6.79 m
 Max. Solids Size: 44.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 86.6 %
 Rated Pump Efficiency: 86.6 %
 Min. Hydraulic Flow: 566.05 m³/hr
 Imp. Dia. Adl Stg(s): 528.43 mm
 Shut off Head: 140.28 m
 % Susp. Solids (by wtg):
 Specific Speed 1st stg: 2,593 m³/hr,m
 S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
 Flow: 1,829.94 m³/hr
 TDH: 98.55 m
 NPSHa: 11.00 m
 Solid size:
 Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

Model: VIT	Size: 28CHC	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
------------	-------------	------	----------	-----------

Job/Inq.No. :
 Purchaser : UNDEFINED
 End User :
 Item/Equip.No. : ITEM 001
 Service :
 Order No. :

Issued by :
 Quotation No. :

Rev. : 0
 Date : 04/14/2018

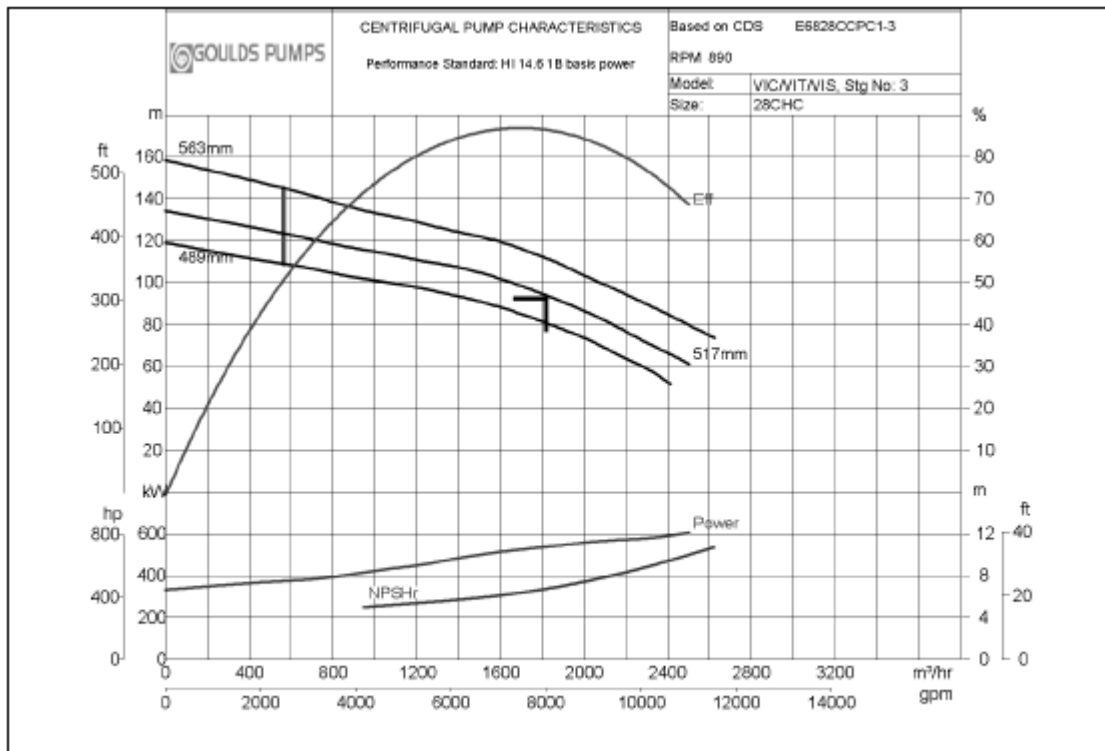
Operating Conditions

Liquid: Water
 Temp.: 20.0 deg C
 Rated Total Power: 539.30 kW
 Non-Overloading Power: 608.30 kW
 Imp. Dia. First 1 Stg(s): 517.35 mm
 NPSHr: 6.81 m
 Max. Solids Size: 44.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 86.3 %
 Rated Pump Efficiency: 86.3 %
 Min. Hydraulic Flow: 565.92 m³/hr
 Imp. Dia. Adl Stg(s): 517.35 mm
 Shut off Head: 134.27 m
 % Susp. Solids (by wtg):
 Specific Speed 1st stg: 2,593 m³/hr,m
 S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
 Flow: 1,829.94 m³/hr
 TDH: 93.55 m
 NPSHa: 11.00 m
 Solid size:
 Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

Model: VIT	Size: 28CHC	60Hz	RPM: 890	Stages: 3
------------	-------------	------	----------	-----------

Job/Inq.No. :
 Purchaser : UNDEFINED
 End User :
 Item/Equip.No. : ITEM 001
 Service :
 Order No. :

Issued by :
 Quotation No. :

Rev. : 0
 Date : 04/14/2018

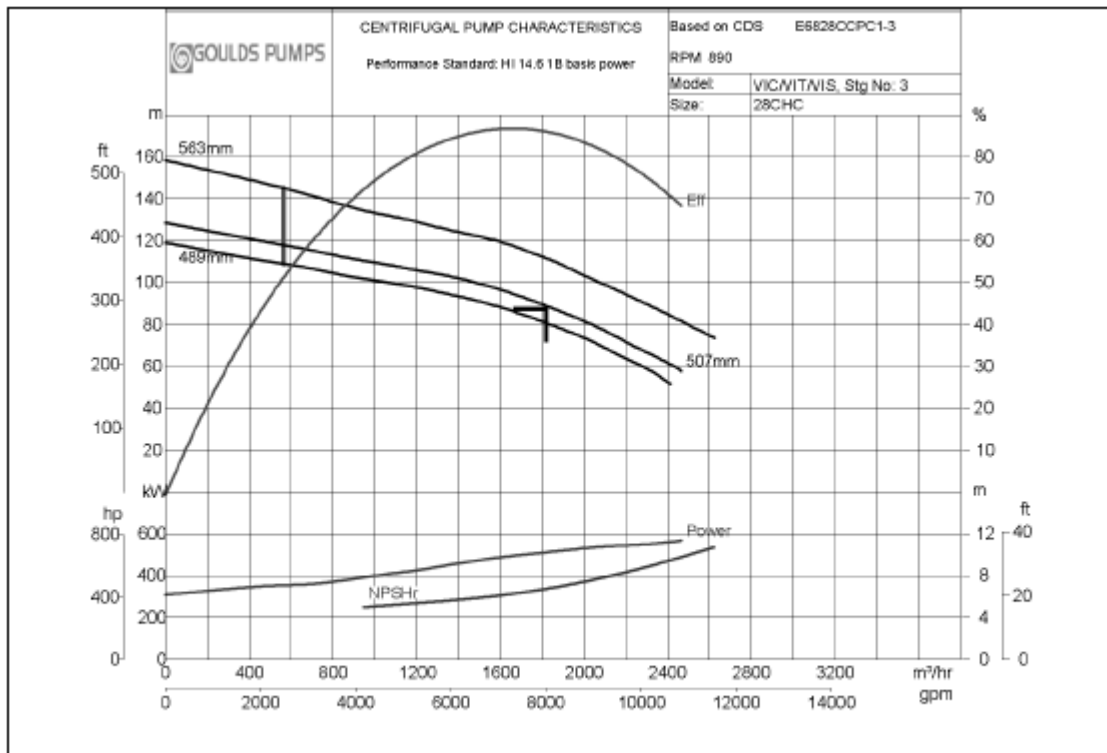
Operating Conditions

Liquid: Water
 Temp.: 20.0 deg C
 Rated Total Power: 513.42 kW
 Non-Overloading Power: 571.23 kW
 Imp. Dia. First Stg(s): 506.72 mm
 NPSHr: 6.82 m
 Max. Solids Size: 44.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 85.8 %
 Rated Pump Efficiency: 85.8 %
 Min. Hydraulic Flow: 565.32 m³/hr
 Imp. Dia. Adl Stg(s): 506.72 mm
 Shut off Head: 128.54 m
 % Susp. Solids (by wtg):
 Specific Speed 1st stg: 2,593 m³/hr,m
 S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
 Flow: 1,829.94 m³/hr
 TDH: 88.55 m
 NPSHa: 11.00 m
 Solid size:
 Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 5 – ALTERNATIVA 1

Model: VIT	Size: 41BDS	60Hz	RPM: 1780	Stages: 1
------------	-------------	------	-----------	-----------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :

Rev. : 0
Date : 04/10/2018

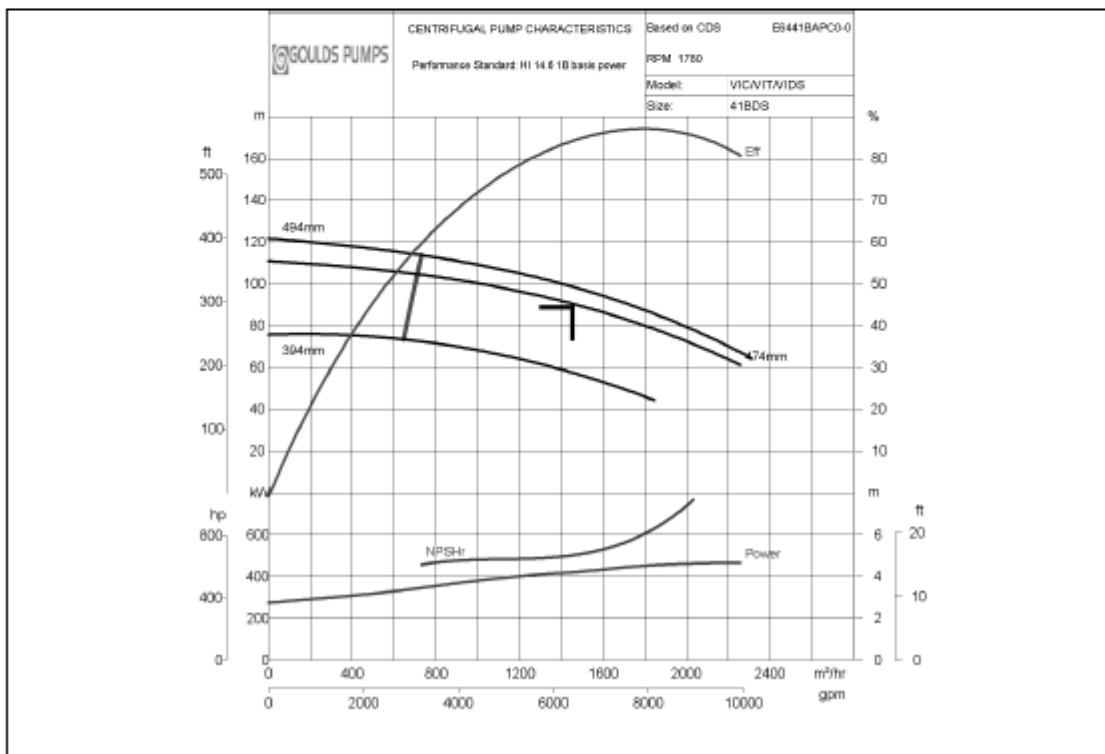
Operating Conditions

Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 422.84 kW
Non-Overloading Power: 463.69 kW
Imp. Dia. First Stg(s): 473.62 mm
NPSHr: 5.07 m
Max. Solids Size: 38.10 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 84.5 %
Rated Pump Efficiency: 84.5 %
Min. Hydraulic Flow: 712.87 m³/hr
Shut off Head: 110.88 m
% Susp. Solids (by wtg):
Specific Speed 1st stg: 2,614 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 1,463.95 m³/hr
TDH: 89.89 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 5 – ALTERNATIVA 2

Model: VIT	Size: 28CHC	60Hz	RPM: 710	Stages: 5
------------	-------------	------	----------	-----------

Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :

Rev. : 0
Date : 04/10/2018

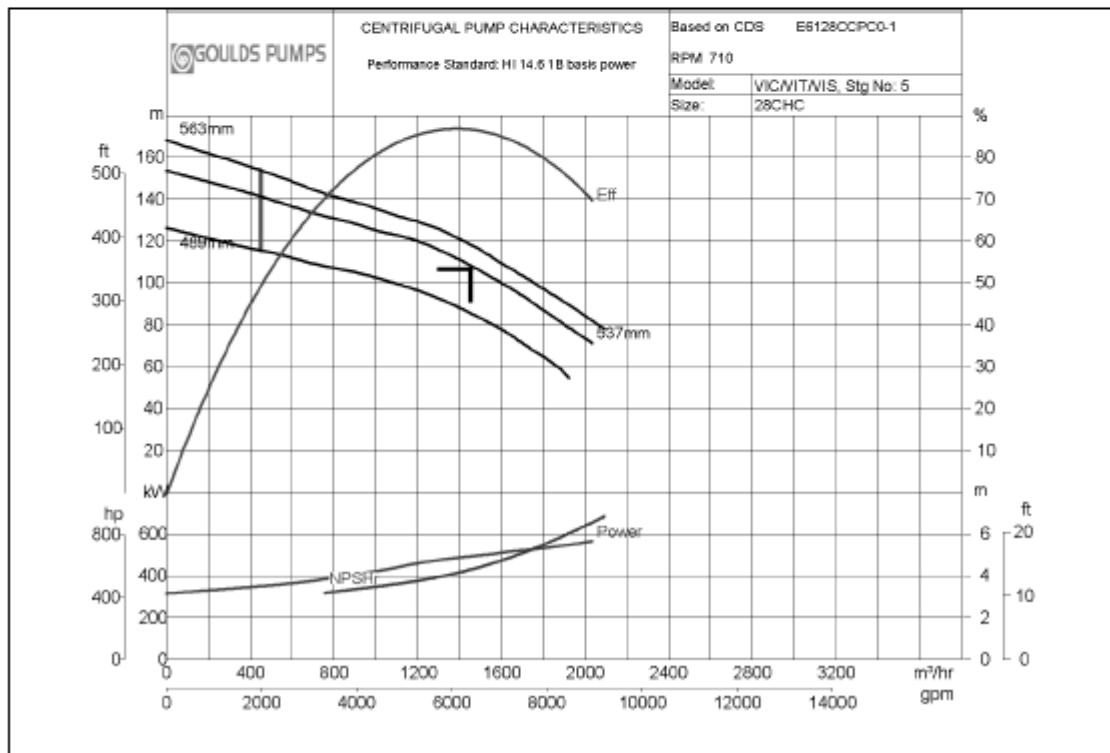
Operating Conditions

Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 494.88 kW
Non-Overloading Power: 556.00 kW
Imp. Dia. First 1 Stg(s): 537.28 mm
NPSHr: 4.34 m
Max. Solids Size: 44.45 mm

Pump Performance

Published Efficiency: 86.7 %
Rated Pump Efficiency: 86.7 %
Min. Hydraulic Flow: 451.36 m³/hr
Imp. Dia. Adl Stg(s): 537.28 mm
Shut off Head: 153.68 m
% Susp. Solids (by wtg):
Specific Speed 1st stg: 2,593 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 1,463.95 m³/hr
TDH: 107.68 m
NPSHa: 11.00 m
Solid size:
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



ANEXO 2 - CURVA DE LA BOMBA OPCIÓN 5 – ALTERNATIVA 3

Model: VIT	Size: 20GHXC / 20GLC	60Hz	RPM: 1180	Stages: 8
------------	----------------------	------	-----------	-----------

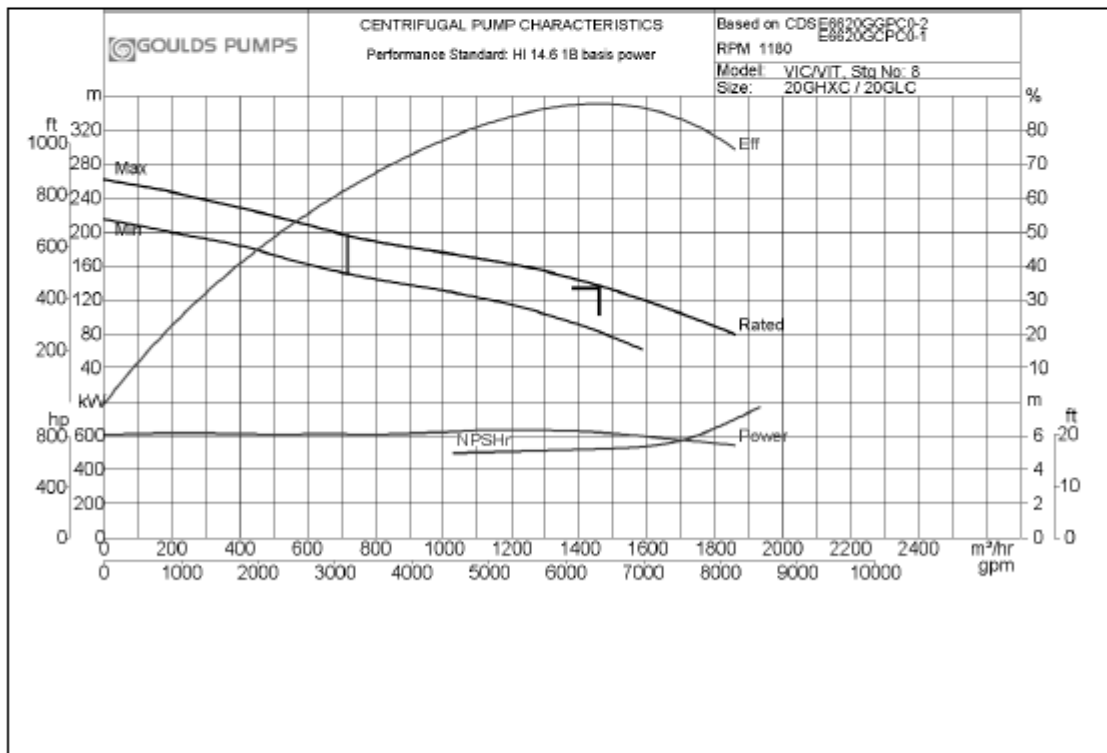
Job/Inq.No. :
Purchaser : UNDEFINED
End User :
Item/Equip.No. : ITEM 001
Service :
Order No. :

Issued by :
Quotation No. :
Rev. : 0
Date : 04/10/2018

Operating Conditions
Liquid: Water
Temp.: 20.0 deg C
Rated Total Power: 615.86 kW
Non-Overloading Power: 630.52 kW
Imp. Dia. First Stg(s): 341.31 mm
NPSHr: 5.21 m
Max. Solids Size: 39.62 mm

Pump Performance
Published Efficiency: 85.9 %
Rated Pump Efficiency: 87.6 %
Min. Hydraulic Flow: 716.87 m³/hr
Specific Speed 1st stg: 4,943 m³/hr,m
S.G./Visc.: 1.000/1.000 cp
Flow: 1,463.95 m³/hr
TDH: 135.63 m
NPSHa: 11.00 m
Shut off Head: 261.40 m
Solid size:
% Susp. Solids (by wtg):
Vapor Press:

Notes: 1. The Mechanical seal increased drag effect on power and efficiency is not included, unless the correction is shown in the appropriate field above. 2. Magnetic drive eddy current on power and efficiency is not included. 3. Curve shown is at ambient temperature conditions. 4. Non Overloading power does not reflect v-belt/gear losses.



ANEXO 3 – COEFICIENTE DE PERDIDA EN ACCESORIOS

Accesorio	k_m
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00-1.15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0
Codo de radio corto ($r/d \pm 5 \ 6 \ 1$)	0.9
Codo de radio mediano	0.75-0.80
Codo de gran radio ($r/d \pm 5 \ 6 \ 1.5$)	0.6
Codo de 45°	0.4-0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

ANEXO 4 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN LOCUMBA

ESTACIÓN : LOCUMBA

Latitud : 17° 37' 1" S Departamento : Tacna
 Longitud : 70° 45' 1" W Provincia : Jorge Basadre
 Elevación : 616 m s.n.m Distrito : Locumba

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1997	1.70	0.00	0.40	0.00	0.80	0.00	0.20	0.50	1.80	0.00	0.00	0.20	5.60
1998	1.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	2.30
1999	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
2000	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20
2001	0.00	1.10	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30
2002	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.10	0.60
2009	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	1.10
2010	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
2011	0.80	2.50	0.00	0.00	0.00	0.30	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	4.70
2012	1.50	1.50	0.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.30	0.20	0.00	0.00	0.30	7.10
2013	0.70	2.00	0.30	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80
2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
2015	1.20	0.00	1.50	0.05	0.00	0.00	0.30	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.20	0.00	0.00	0.00	0.02	0.16	0.52
Media	0.52	0.52	0.29	0.28	0.15	0.16	0.21	0.17	0.13	0.00	0.02	0.12	2.56
Máxima	1.70	2.50	1.50	3.30	0.80	0.80	1.50	1.60	1.80	0.00	0.30	0.80	7.10
Mínima	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15

ANEXO 5 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN SAMA

GRANDE

ESTACIÓN : SAMA GRANDE

Latitud : 17° 47' 2.2" S Departamento : Tacna
 Longitud : 70° 29' 18" W Provincia : Tacna
 Elevación : 534 m s.n.m Distrito : Inclan

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Annual
1997	1.00	1.50	1.60	0.00	1.50	1.00	3.60	3.40	5.60	2.50	4.10	3.80	29.60
1998	4.70	1.70	0.50	2.00	0.00	1.04	0.30	3.50	1.50	0.50	0.50	1.00	17.24
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.50	1.40	1.30	2.50	7.20
2000	3.00	0.00	0.00	0.50	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.60	0.00	0.00	0.00	1.10
2002	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	7.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.16	0.00	0.00	0.00	3.16
2008	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	2.00	8.10
2010	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	1.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59
2011	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	1.80	1.50	1.00	1.00	0.00	11.30
2012	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.20	1.80	1.80	2.80	0.00	1.60	12.20
2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80
2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	0.60	2.50	0.00	3.00	3.10	14.70
2015	0.00	2.20	6.80	0.00	0.00	0.00	6.50	7.70	4.40	5.20	0.78	2.60	36.18
2016	2.30	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.77
Media	0.81	0.49	0.56	0.23	0.09	0.95	1.28	1.51	1.47	0.96	0.73	1.10	10.18
Máxima	4.70	2.20	6.80	2.00	1.50	5.50	6.50	7.70	5.60	5.20	4.10	3.80	36.18
Mínima	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10

ANEXO 6 – PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS ESTACIÓN

MOQUEGUA

ESTACIÓN : MOQUEGUA

Latitud : 17° 10' 9" S Departamento : Moquegua
 Longitud : 70° 55' 54" W Provincia : Mariscal Nieto
 Elevación : 1450 m s.n.m Distrito : Moquegua

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1997	3.40	1.90	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.20	0.00	0.00	0.00	15.80
1998	2.90	1.70	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	6.70
1999	0.00	1.70	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	7.10
2000	5.40	6.00	0.50	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.10
2001	0.00	9.30	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40
2002	0.60	7.80	0.30	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	9.70
2004	2.40	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	7.93
2008	4.40	0.50	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.90
2009	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20
2010	4.30	0.20	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.94
2011	3.50	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	9.20
2012	11.30	7.60	0.90	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	24.50
2013	1.20	1.90	4.30	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40
2014	1.50	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30
2015	1.80	4.20	15.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.60
2016	0.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	3.70
Media	2.67	3.58	2.58	0.29	0.06	0.01	0.11	0.06	0.01	0.00	0.00	0.28	9.65
Máxima	11.30	9.30	15.60	4.10	1.00	0.20	0.90	0.90	0.20	0.00	0.00	2.00	24.50
Mínima	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20

ANEXO 7 – VERIFICACIÓN POR GOLPE DE ARIETE OPCIÓN 4 - ALTERNATIVA 2

CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE						
1. TUBERÍAS						
ZONA DE BOMBAS A N6						
DATOS DE CONDUCCIÓN				DATOS DE INSTALACIÓN		
L	146	m		$\Delta H + h_{N6}$	103.5875729	mca
D exterior	709.5	mm		Hf		mca
SDR	11			Hm		mca
e	64.5	mm	450018	h ZB	107.542	mca
E	90000000	kg/m ²		Q	0.508315972	m ³ /s
Kt	111.1111111			v	1.920611066	m/s
PE	100			S	2.71	%
D int	580.5			PESO ESP. AGUA	998.266	kg/m ³
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN						
CELERIDAD				Tiempo de viaje de la onda		
a	305.7682599	m/s	T	0.95497159	s	
K	2					
C	1					
T parada bomba	1.531587992	s	CIERRE LENTO			
3. LONGITUD CRITICA						
Lc	234.1554975	m	IMPULSIÓN CORTA			
			MICHAUD			
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE						
ΔP	37.32598852	mca		P ZB	107355.5222	kg/m ²
P'M	--	mca		PT	144616.7874	kg/m ²
5. ESPESOR						
e	57.76793929	mm	OK	PN soporte	163155.2	kg/m ² OK
TUBERÍA DE	D ext=709.5mm SDR=11y PE=100					
CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE						
1. TUBERÍAS						
N6 A N15						
DATOS DE CONDUCCIÓN				DATOS DE INSTALACIÓN		
L	664	m		$\Delta H + h_{N15}$	90.51119265	mca
D exterior	1399.44	mm		Hf		mca
SDR	13.6			Hm		mca
e	102.9	mm		h N6	100.5881775	mca

ε	90000000	kg/m ²		Q	1.2234	m ³ /s	
Kt	111.1111111			v	1.093281167	m/s	
PE	100			S	1.52	%	
D int	1193.64			PESO ESP AGUA	998.266	kg/m ³	
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN							
CELERIDAD							
a	270.7315159	m/s	T	4.90522869	s		
K	1.5						
C	1						
T parada bomba	2.103507422	s	CIERRE RÁPIDO				
3. LONGITUD CRITICA							
Lc	284.7428765	m	IMPULSIÓN LARGA				
			ALLIEVI				
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE							
ΔP	30.17183155	mca	P N6	100413.7576	kg/m ²		
P'M	94.83250235	mca	PT	124787.5764	kg/m ²		
5. ESPESOR							
e	99.42993272	mm	OK	PN soporte	129488.254	kg/m ²	OK
TUBERÍA DE	D ext=1399.44mm SDR=13.6y PE=100						
<u>CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE</u>							
1. TUBERÍAS							
NUDO 14 A NUDO 8		TUB CASI FIJA					
DATOS DE CONDUCCIÓN				DATOS DE INSTALACIÓN			
L	3300	m		ΔH + h N8	65	mca	
D exterior	1199.52	mm		Hf		mca	
SDR	13.6			Hm		mca	
e	88.2	mm		h N14	70.51161646	mca	
ε	90000000	kg/m ²		Q	1.2139	m ³ /s	
Kt	111.1111111			v	1.476521861	m/s	
PE	100			S	0.17	%	
D int	1023.12			PESO ESP AGUA	998.266	kg/m ³	
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN							
CELERIDAD							
a	270.7315159	m/s	T	24.3783956	s		
K	1						
C	1						
T parada bomba	8.044077784	s	CIERRE RÁPIDO				
3. LONGITUD CRITICA							

Lc	1088.892686	m	IMPULSIÓN LARGA				
			ALLIEVI				
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE							
ΔP	40.74831821	mca		P N14	70389.34931	kg/m ²	
P'M	66.8186542	mca		PT	107380.4513	kg/m ²	
5. ESPESOR							
e	74.07130669	mm	OK	PN soporte	129488.254	kg/m ²	OK
TUBERÍA DE	D ext=1199.52mm SDR=13.6y PE=100						
CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE							
1. TUBERÍAS							
NUDO 14 A NUDO 7		NO HAY SDR CON MENOR DIÁMETRO					
DATOS DE CONDUCCIÓN				DATOS DE INSTALACIÓN			
L	120	m		ΔH + h N7	5	mca	
D exterior	91.8	mm		Hf		mca	
SDR	17			Hm		mca	
e	5.4	mm		h N14	70.51161646	mca	
Ε	90000000	kg/m ²		Q	0.0096	m ³ /s	
Kt	111.1111111			v	1.86299339	m/s	
PE	100			S	54.59	%	
D int	81			PESO ESP AGUA	998.266	kg/m ³	
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN							
CELERIDAD							
a	239.060241	m/s	T	1.00393106	s		
K	2						
C	0						
T parada bomba	0.646387393	s	CIERRE RÁPIDO				
3. LONGITUD CRITICA							
Lc	77.26276296	m	IMPULSIÓN LARGA				
			ALLIEVI				
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE							
ΔP	45.39935257	mca		P N14	70389.34931	kg/m ²	
P'M	47.18007078	mca		PT	92418.89063	kg/m ²	
5. ESPESOR							
e	4.921228198	mm	OK	PN soporte	101972	kg/m ²	OK
TUBERÍA DE	D ext=91.8mm SDR=17y PE=100						
CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE							
1. TUBERÍAS							
NUDO 6 A NUDO 20		FLUJO CASI FIJO					
DATOS DE CONDUCCIÓN				DATOS DE INSTALACIÓN			

L	2670	m		$\Delta H + h$ N20	90.68361583	mca	
D exterior	898.7	mm		Hf		mca	
SDR	11			Hm		mca	
e	81.7	mm		h N15	100.5881775	mca	
ϵ	90000000	kg/m ²		Q	0.8098	m ³ /s	
Kt	111.1111111			v	1.907035419	m/s	
PE	100			S	0.37	%	
D int	735.3	750		PESO ESP AGUA	998.266	kg/m ³	
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN							
CELERIDAD							
a	305.7682599	m/s	T	17.4642064	s		
K	1						
C	1						
T parada bomba	6.160051947	s		CIERRE RÁPIDO			
3. LONGITUD CRITICA							
Lc	941.7741823	m		IMPULSIÓN LARGA			
				ALLIEVI			
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE							
ΔP	59.44045887	mca		P N15	100413.7576	kg/m ²	
P'M	94.17719651	mca		PT	153351.2824	kg/m ²	
5. ESPESOR							
e	77.21247354	mm	OK	PN soporte	163155.2	kg/m ²	OK
TUBERÍA DE	D ext=898.7mm SDR=11y PE=100						
CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE							
1. TUBERÍAS							
NUDO 20 A NUDO 19							
DATOS DE CONDUCCIÓN				DATOS DE INSTALACIÓN			
L	1670	m		$\Delta H + h$ N19	57	mca	
D exterior	799.68	mm		Hf		mca	
SDR	13.6			Hm		mca	
e	58.8	mm		h N20	75.68407072	mca	
ϵ	90000000	kg/m ²		Q	0.6388	m ³ /s	
Kt	111.1111111			v	1.748253456	m/s	
PE	100			S	1.12	%	
D int	682.08			PESO ESP AGUA	998.266	kg/m ³	
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN							
CELERIDAD							
a	270.7315159	m/s	T	12.3369457	s		
K	1						

C	1						
T parada bomba	4.932306638	s	CIERRE RÁPIDO				
3. LONGITUD CRITICA							
Lc	667.6654265	m	IMPULSIÓN LARGA				
			ALELEVÍ				
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE							
ΔP	48.24743204	mca		P N20	75552.83454	kg/m2	
P'M	64.46988506	mca		PT	112521.8653	kg/m2	
5. ESPESOR							
e	51.59270316	mm	OK	PN soporte	129488.254	kg/m2	OK
TUBERÍA DE	D ext=799.68mm SDR=13.6y PE=100						
CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE							
1. TUBERÍAS							
NUDO 20 A NUDO 16							
DATOS DE CONDUCCIÓN				DATOS DE INSTALACIÓN			
L	1060	m		ΔH + h N16	67.10012687	mca	
D exterior	399.84	mm		Hf		mca	
SDR	13.6			Hm		mca	
e	29.4	mm		h N20	75.68407072	mca	
ε	90000000	kg/m2		Q	0.17090278	m3/s	
Kt	111.1111111			v	1.87089152	m/s	
PE	100			S	0.81	%	
D int	341.04			PESO ESP AGUA	998.266	kg/m3	
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN							
CELERIDAD							
a	270.7315159	m/s	T	7.83063617	s		
K	1.5						
C	1						
T parada bomba	5.006565441	s	CIERRE RÁPIDO				
3. LONGITUD CRITICA							
Lc	677.7175257	m	IMPULSIÓN LARGA				
			ALLIEVI				
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE							
ΔP	51.63193653	mca		P N20	75552.83454	kg/m2	
P'M	72.58832421	mca		PT	124004.8628	kg/m2	
5. ESPESOR							
e	28.2429498	mm	OK	PN soporte	129488.254	kg/m2	OK
TUBERÍA DE	D ext=399.84mm SDR=13.6y PE=100						

CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE						
1. TUBERÍAS						
TUBERÍA SALIDA DE NUDO 16 HACIA N17						
DATOS DE CONDUCCIÓN			DATOS DE INSTALACIÓN			
L	1960	m		$\Delta H + h_{N17}$	50	mca
D exterior	308.72	mm		Hf		mca
SDR	17			Hm		mca
e	18.16	mm		h N16	67.10053017	mca
ϵ	90000000	kg/m ²		Q	0.1022	m ³ /s
Kt	111.1111111			v	1.753665701	m/s
PE	100			S	0.87	%
D int	272.4			PESO ESP AGUA	998.266	kg/m ³
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN						
CELERIDAD						
a	239.060241	m/s	T	16.3975406	s	
K	1					
C	1					
T parada bomba	6.221651948	s		CIERRE RÁPIDO		
3. LONGITUD CRITICA						
Lc	743.6748071	m		IMPULSIÓN LARGA		
				ALLIEVI		
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE						
ΔP	42.73514222	mca		P 16	66984.17785	kg/m ²
P'M	56.48838443	mca		PT	99051.47305	kg/m ²
5. ESPESOR						
e	17.66965757	mm	OK	PN soporte	101972	kg/m ² OK
TUBERÍA DE	D ext=308.72mm SDR=17y PE=100					
CALCULO DEL GOLPE DE ARIETE						
1. TUBERÍAS						
NUDO16 A NUDO 18						
DATOS DE CONDUCCIÓN			DATOS DE INSTALACIÓN			
L	1355	m		$\Delta H + h_{N18}$	50	mca
D exterior	282.2	mm		Hf		mca
SDR	17			Hm		mca
e	16.6	mm		h N16	67.10053017	mca
ϵ	90000000	kg/m ²		Q	0.0687	m ³ /s
Kt	111.1111111			v	1.410808805	m/s
PE	100			S	1.26	%

D int	249			PESO ESP AGUA	998.266	kg/m3	
2. FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN							
CELERIDAD							
a	239.060241	m/s	T	11.3360548	s		
K	1.5						
C	1						
T parada bomba	5.356159337	s	CIERRE RÁPIDO				
3. LONGITUD CRITICA							
Lc	640.222371	m	IMPULSIÓN LARGA				
			ALLIEVI				
4. SOBREPRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE							
ΔP	34.38005025	mca		P N16	66984.17785	kg/m2	
P'M	58.07980957	mca		PT	92299.53443	kg/m2	
5. ESPESOR							
e	15.10972847	mm	OK	PN soporte	101972	kg/m2	OK
TUBERÍA DE	D ext=282.2mm SDR=17y PE=100						

PLANOS



PLANO N° 001 – UBICACIÓN – QUEBRADA HONDA

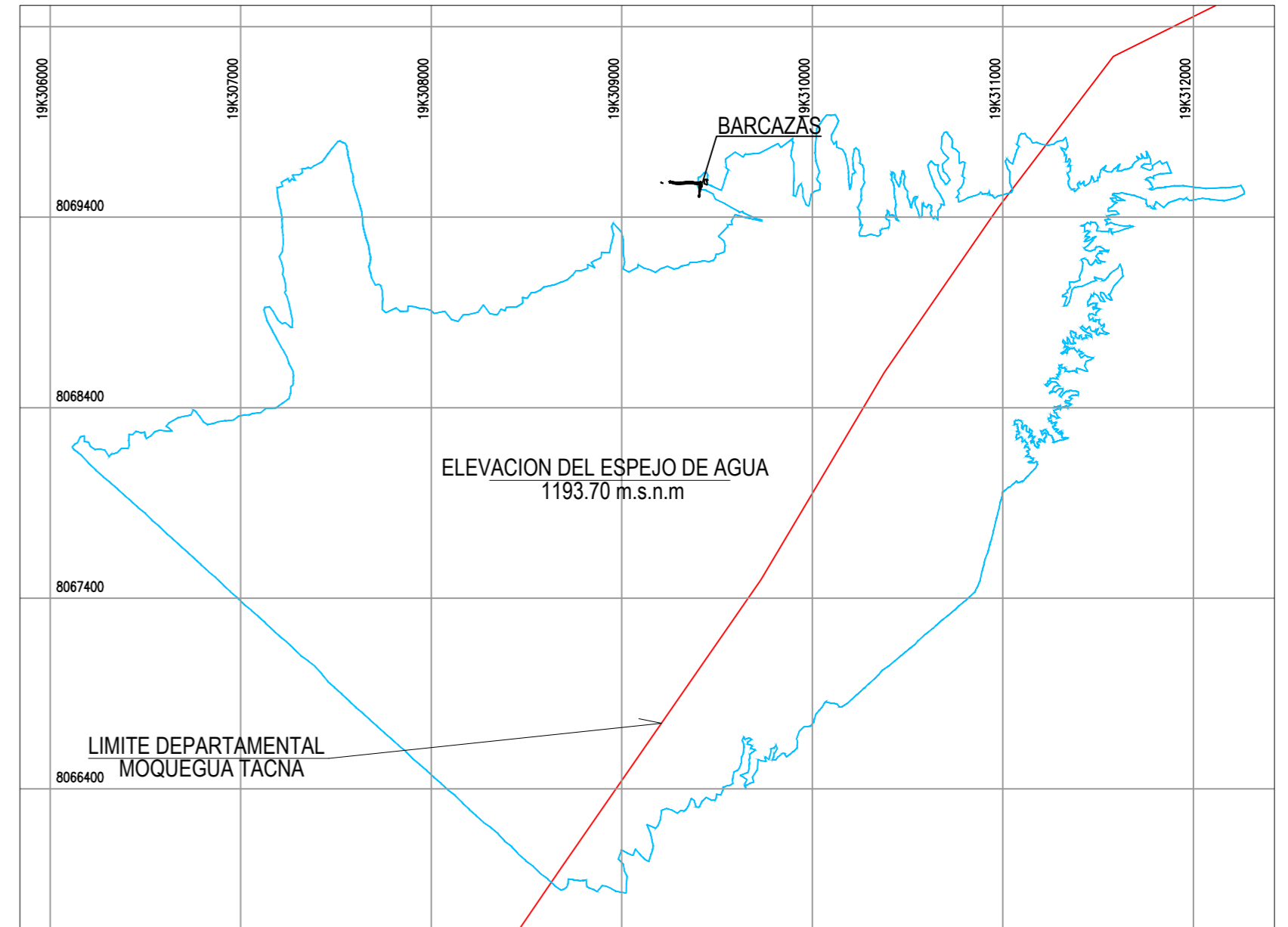




MAPA POLITCO DEL PERU
ESC: 1/7500000



MAPA POLITCO DE TACNA Y MOQUEGUA
ESC: 1/2000000



PRESA DE RELAVE - QUEBRADA HONDA
ESC: 1/30000



SISTEMA DE BOMBEO DE QUEBRADA HONDA
ESC: 1/1000

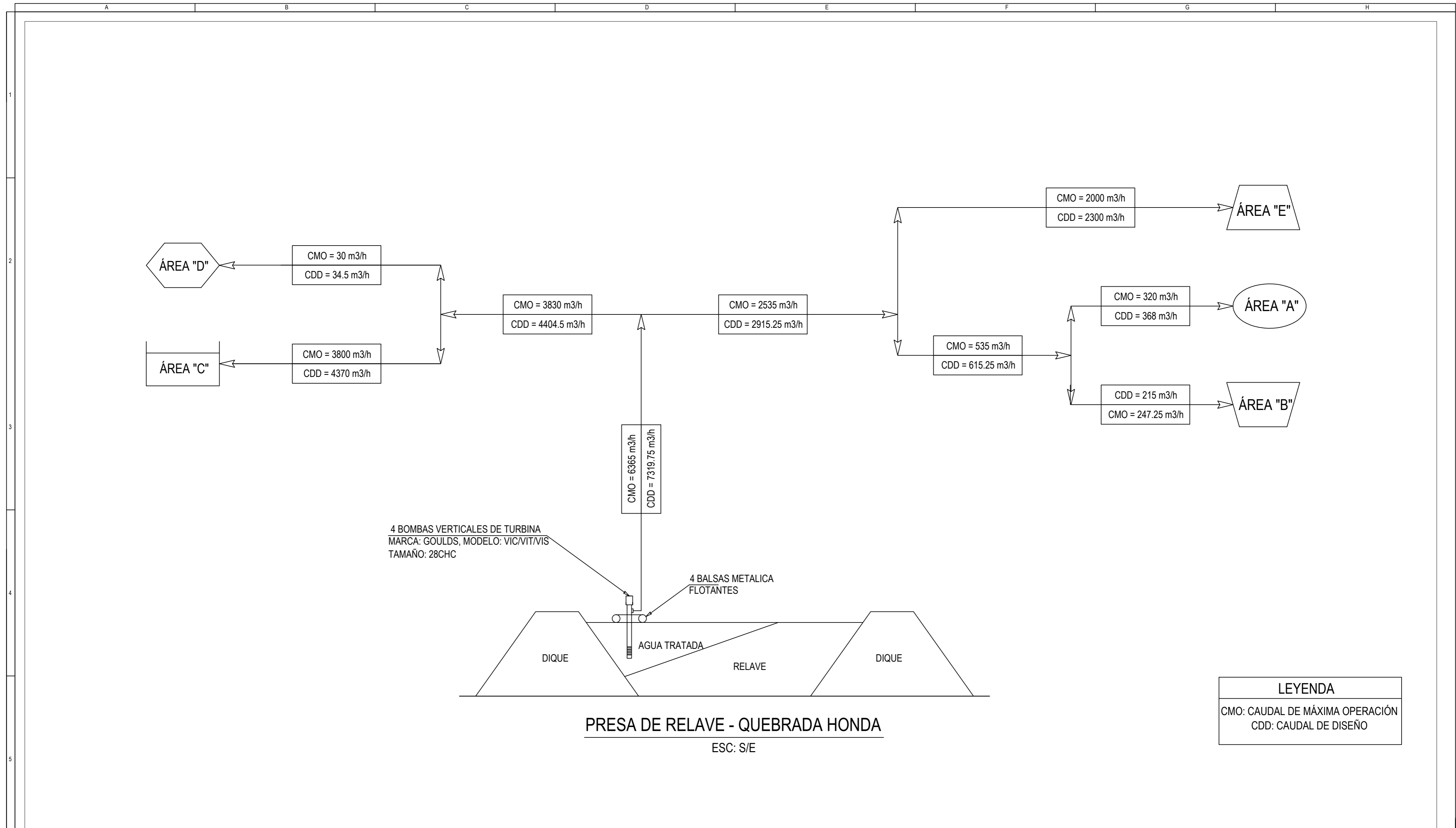
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
PRESENTADO POR: CAMPOS VELIZ, BRYAN ALEJANDRO

BORRADOR DE TESIS:
"ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA POR BOMBEO EN UNA PRESA DE RELAVE"
PLANO DE UBICACIÓN- QUEBRADA HONDA

FECHA:	PLANO N°:
ABR-18	001
ESCALA:	
INDICADA	

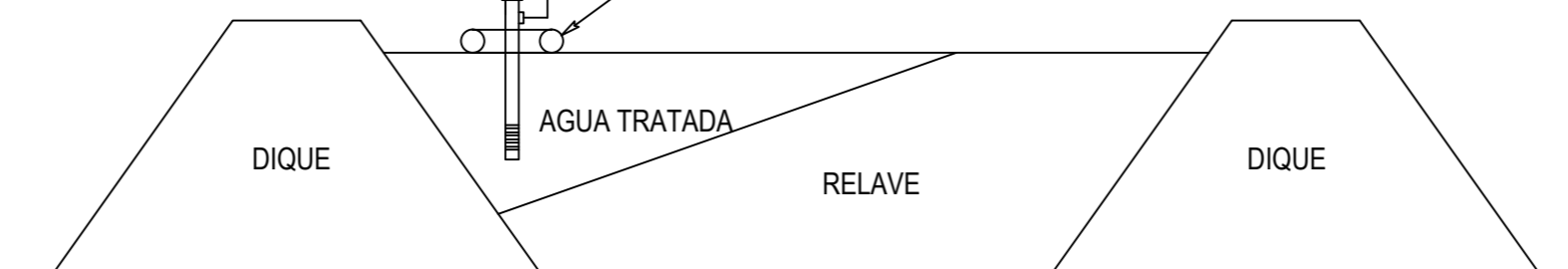
PLANO N° 002 – PROCESS FLOW DIAGRAM - PFD





4 BOMBAS VERTICALES DE TURBINA
 MARCA: GOULDS, MODELO: VIC/VIT/VIS
 TAMAÑO: 28CHC

4 BALSAS METALICA
 FLOTANTES



PRESA DE RELAVE - QUEBRADA HONDA
 ESC: S/E

LEYENDA	
CMO:	CAUDAL DE MÁXIMA OPERACIÓN
CDD:	CAUDAL DE DISEÑO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 PRESENTADO POR: CAMPOS VELIZ, BRYAN ALEJANDRO

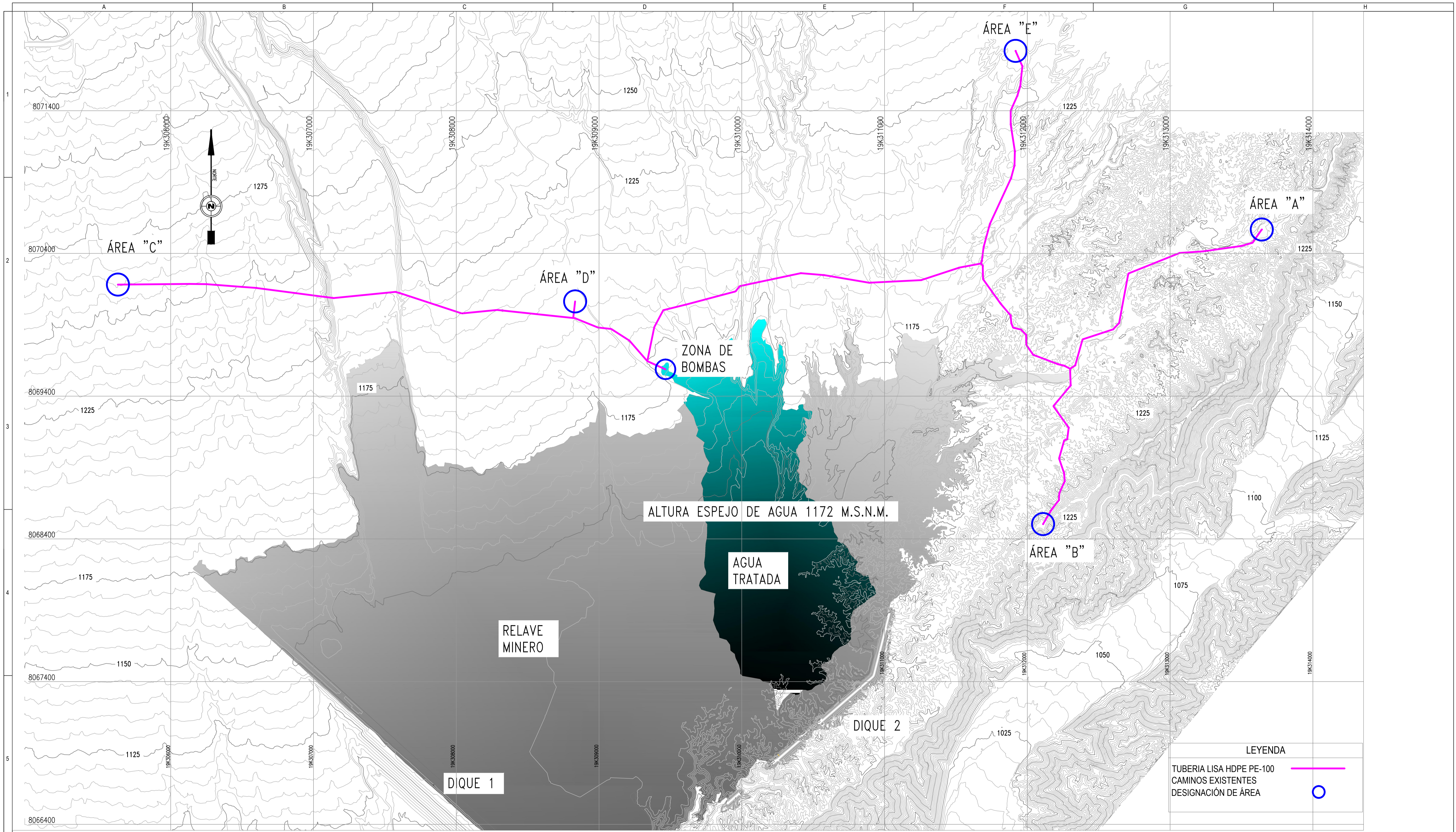
BORRADOR DE TESIS:
 "ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA
 DE RECUPERACIÓN DE AGUA POR BOMBEO EN UNA PRESA DE RELAVE"
 PROCESS FLOW DIAGRAM - PFD

FECHA:
 ABR-18
 ESCALA:
 INDICADA

PLANO N°:
002

PLANO N° 003 – TOPOGRÁFICO QUEBRADA HONDA



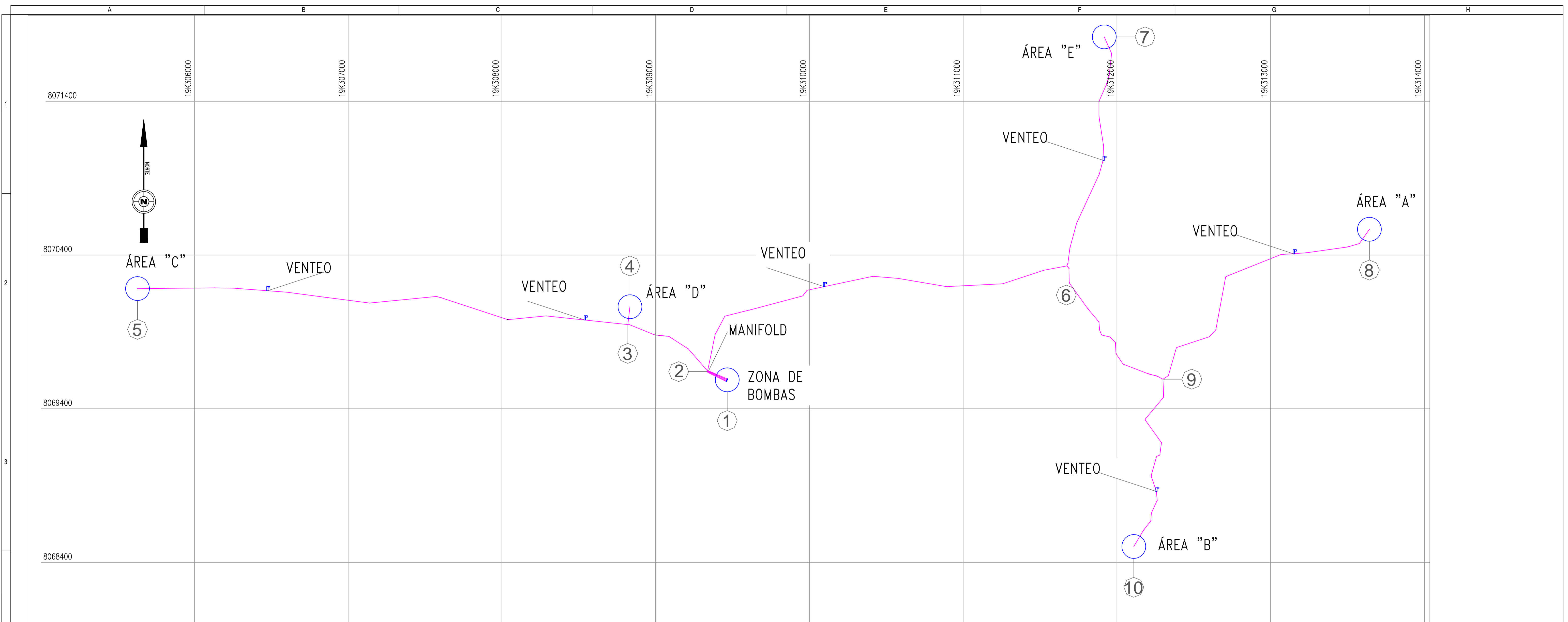


LEYENDA	
TUBERIA LISA HDPE PE-100	
CAMINOS EXISTENTES	
DESIGNACIÓN DE ÁREA	

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL PRESENTADO POR: CAMPOS VELIZ, BRYAN ALEJANDRO	BORRADOR DE TESIS:	FECHA:	PLANO N°:
	"ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA POR BOMBEO EN UNA PRESA DE RELAVE"	ABR-18	003
	PLANO TOPOGRÁFICO - QUEBRADA HONDA	ESCALA 1/12500	

PLANO N° 004 – ARREGLO GENERAL DEL PROYECTO





ARREGLO GENERAL OPCIÓN 4 - ALTERNATIVA 2
 ESC:1/12500

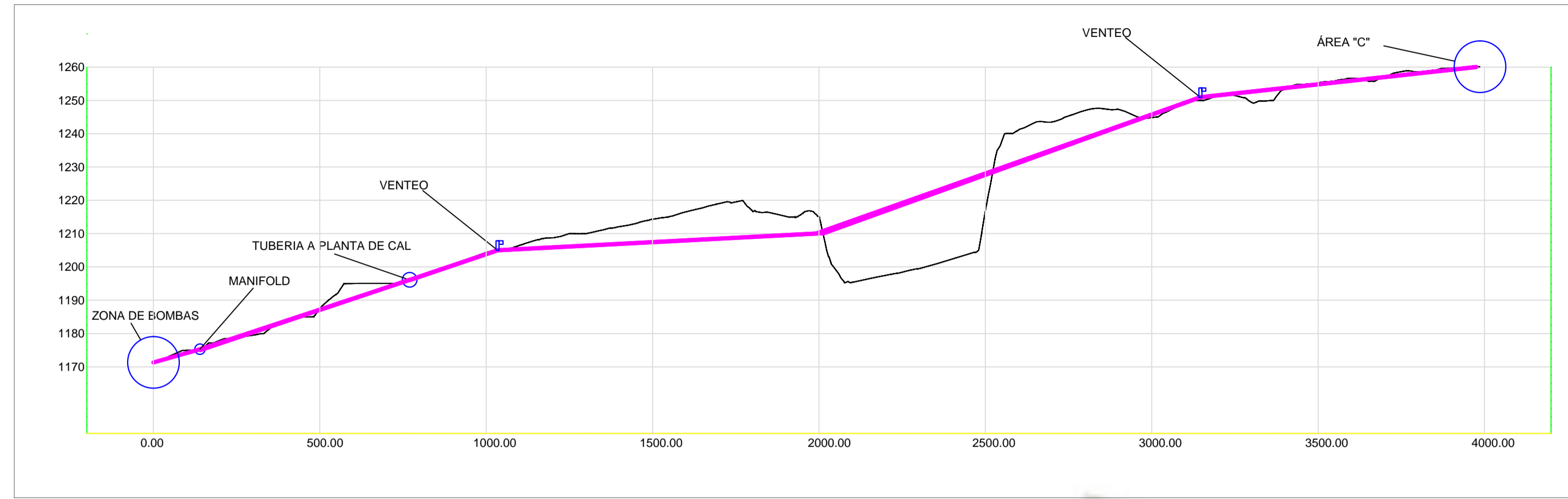
PUNTO DE INICIO	NOMBRE	COTA (msnm)	PUNTO DE FIN	NOMBRE	COTA (msnm)	LONGITUD (m)	DIAM. EXT. DE TUBERÍA	SDR	NUMERO DE TUBERÍA
1	ZONA BOMBAS	1172	2	MANIFOLD	1175	146	710	11	4
2	MANIFOLD	1175	3	-	1195	664	1400	13.6	1
3	-	1195	5	ÁREA "C"	1260	3300	1200	13.6	1
3	-	1195	4	ÁREA "D"	1200	120	90	17	1
2	MANIFOLD	1175	6	-	1190	2670	900	11	1
6	-	1190	7	ÁREA "E"	1247	1670	800	13.6	1
6	-	1190	9	-	1190	1060	400	13.6	1
9	-	1190	8	ÁREA "A"	1240	1960	315	17	1
9	-	1190	10	ÁREA "B"	1240	1355	280	17	1

LEYENDA	
TUBERIA LISA HDPE PE-100	
DESIGNACIÓN DE ÁREA	
DESIGNACIÓN DE PUNTO	
VALVULA DE VENTEO	

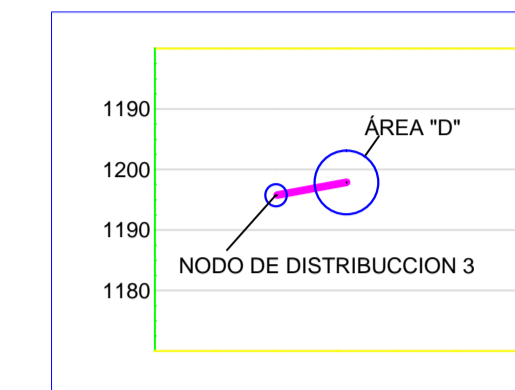
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL PRESENTADO POR: CAMPOS VELIZ, BRYAN ALEJANDRO	BORRADOR DE TESIS:	FECHA:	PLANO N°:
	"ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA POR BOMBEO EN UNA PRESA DE RELAVE" ARREGLO GENERAL - QUEBRADA HONDA	ABR-18	
		ESCALA:	
		1/12500	

PLANO N° 005 – PERFIL LONGITUDINAL

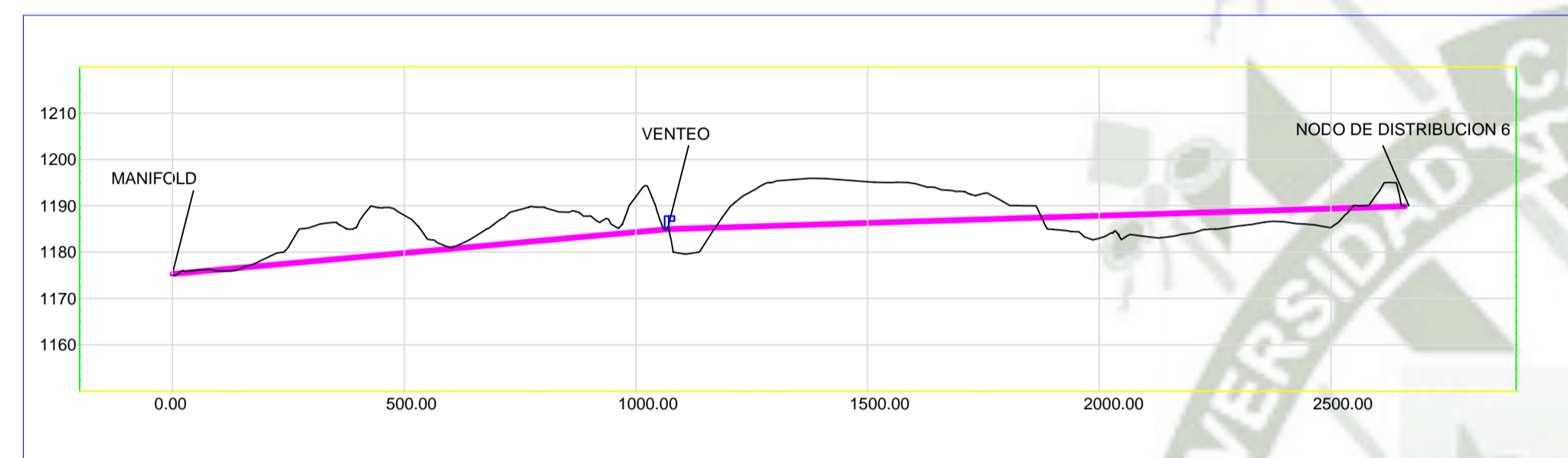




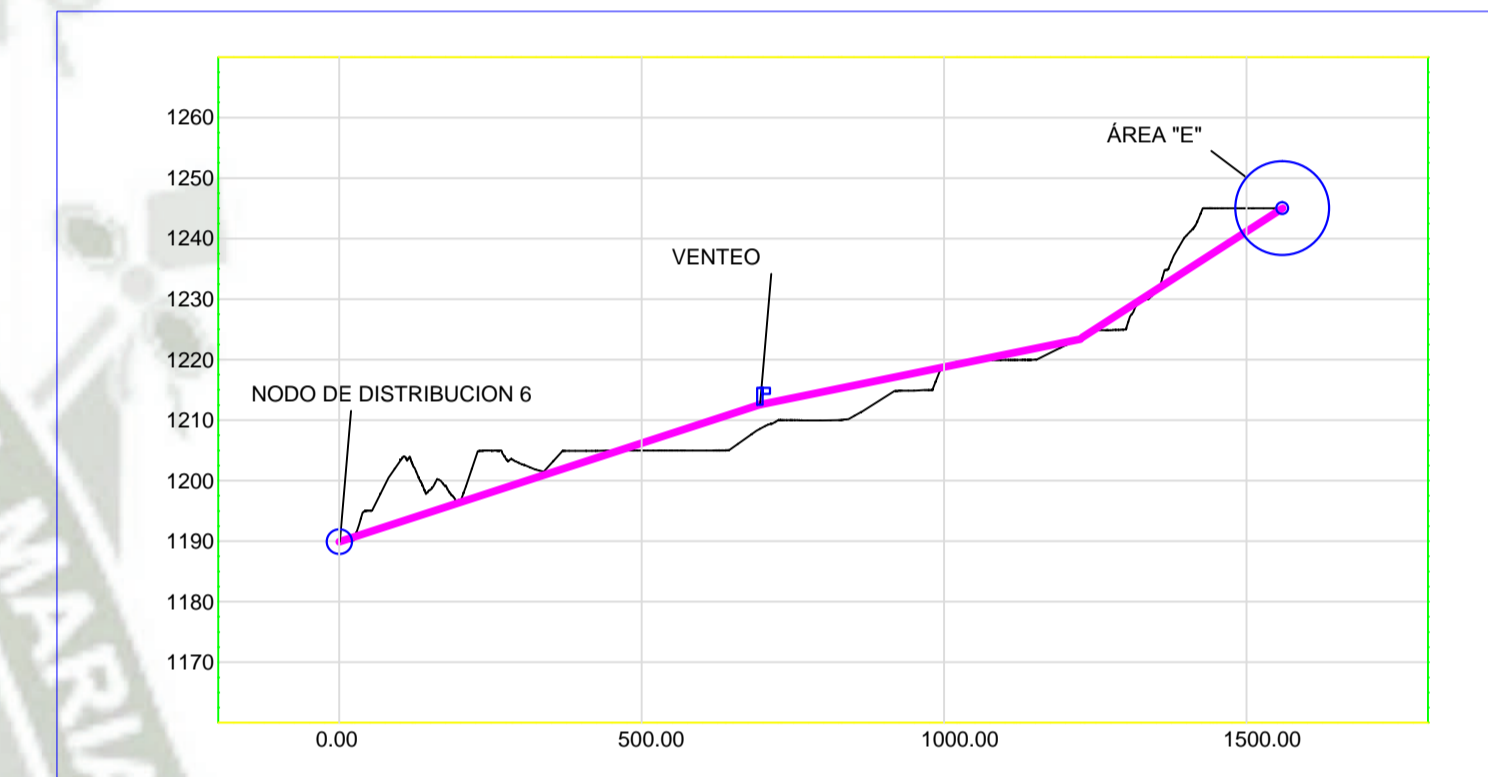
PERFIL LONGITUDINAL: ZONA BOMBAS - ÁREA "C"



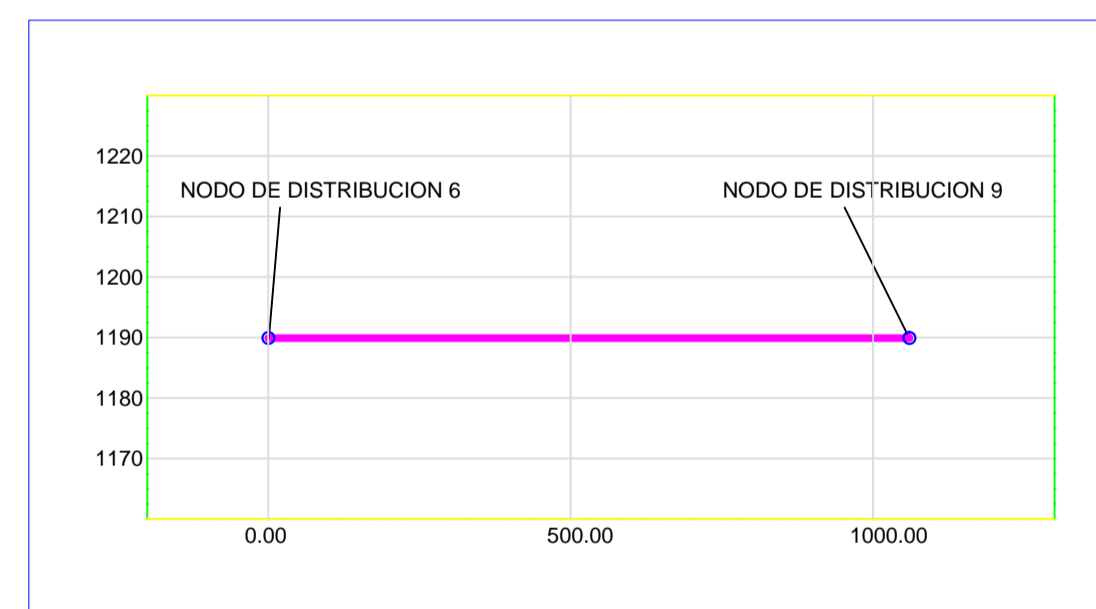
PERFIL LONGITUDINAL: NODO DE DISTRIBUCION 3 - ÁREA "D"



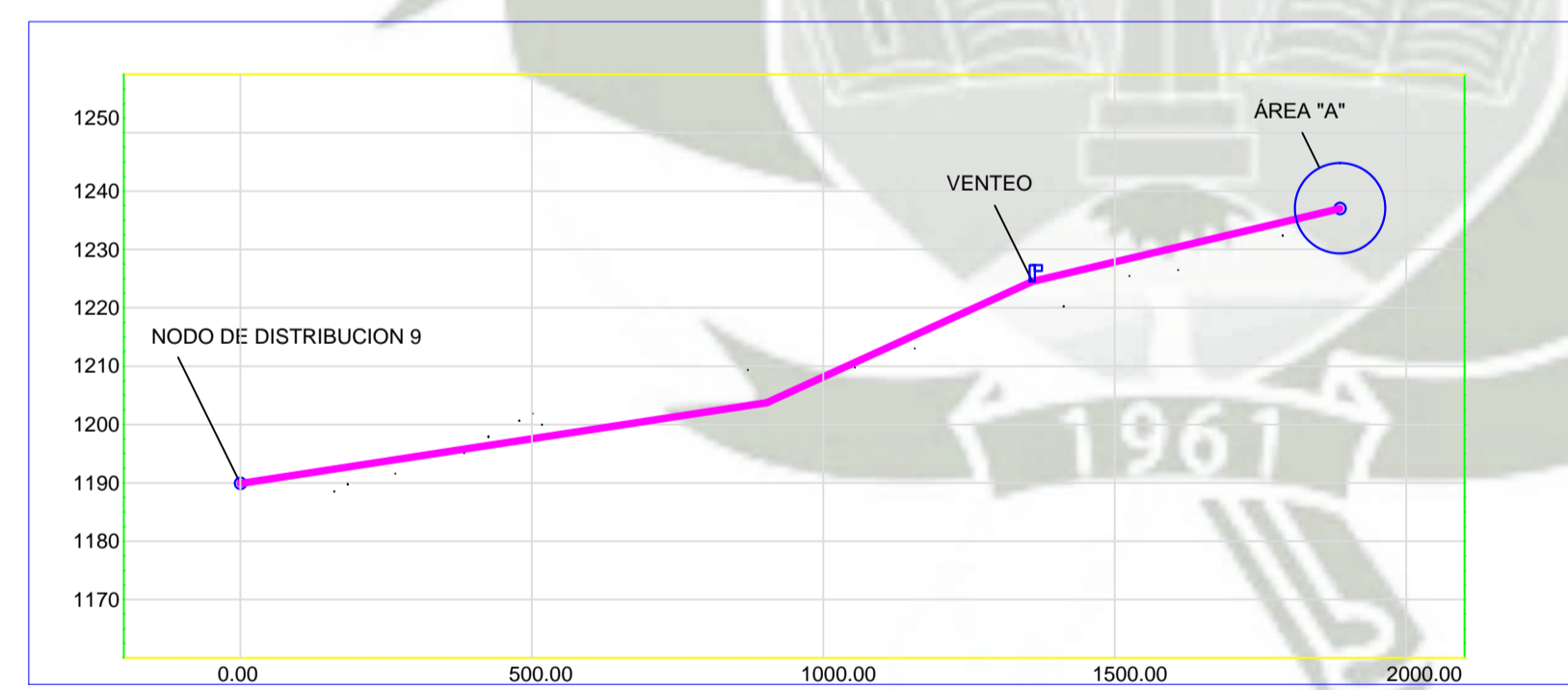
PERFIL LONGITUDINAL: MANIFOLD - NODO DE DISTRIBUCION 6



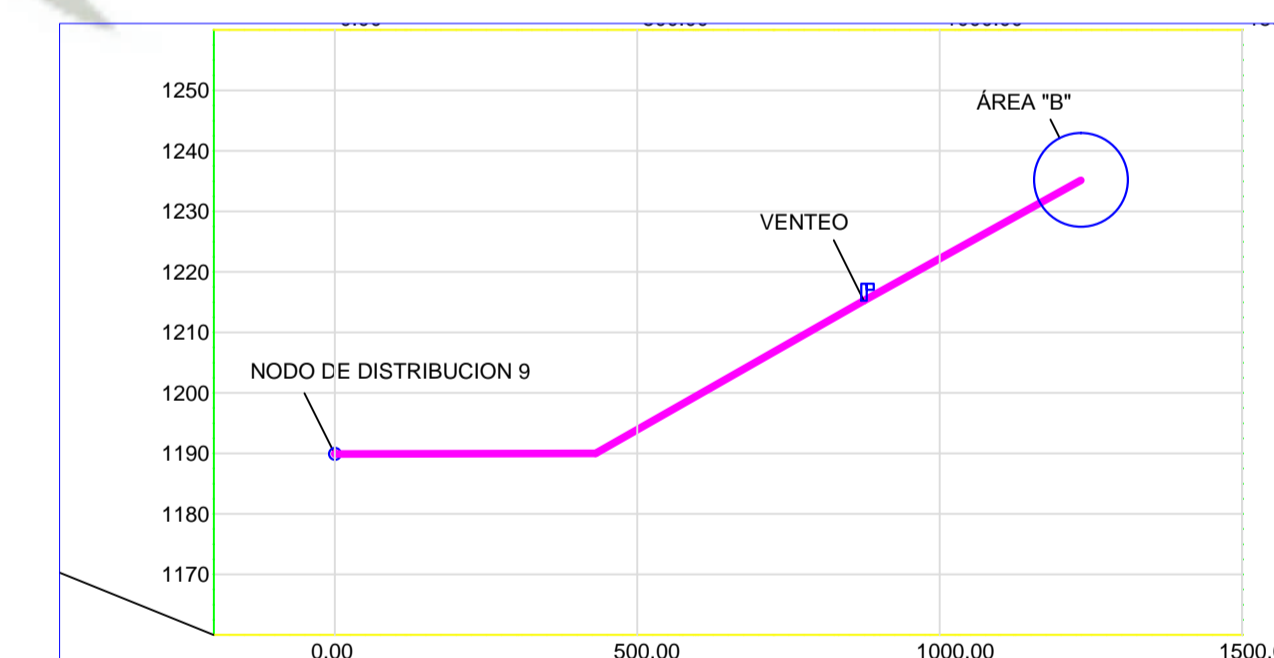
PERFIL LONGITUDINAL: ZONA BOMBAS - ÁREA "C"



PERFIL LONGITUDINAL: NODO DE DISTRIBUCION 6 - NODO DE DISTRIBUCION 9



PERFIL LONGITUDINAL: NODO DE DISTRIBUCION 9 - ÁREA "A"



PERFIL LONGITUDINAL: NODO DE DISTRIBUCION 9 - ÁREA "B"

LEYENDA	
TUBERIA LISA HDPE PE-100	
DESIGNACIÓN DE ÁREA	
VALVULA DE VENTEO	
TERRENO NATURAL	

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 PRESENTADO POR: CAMPOS VELIZ, BRYAN ALEJANDRO

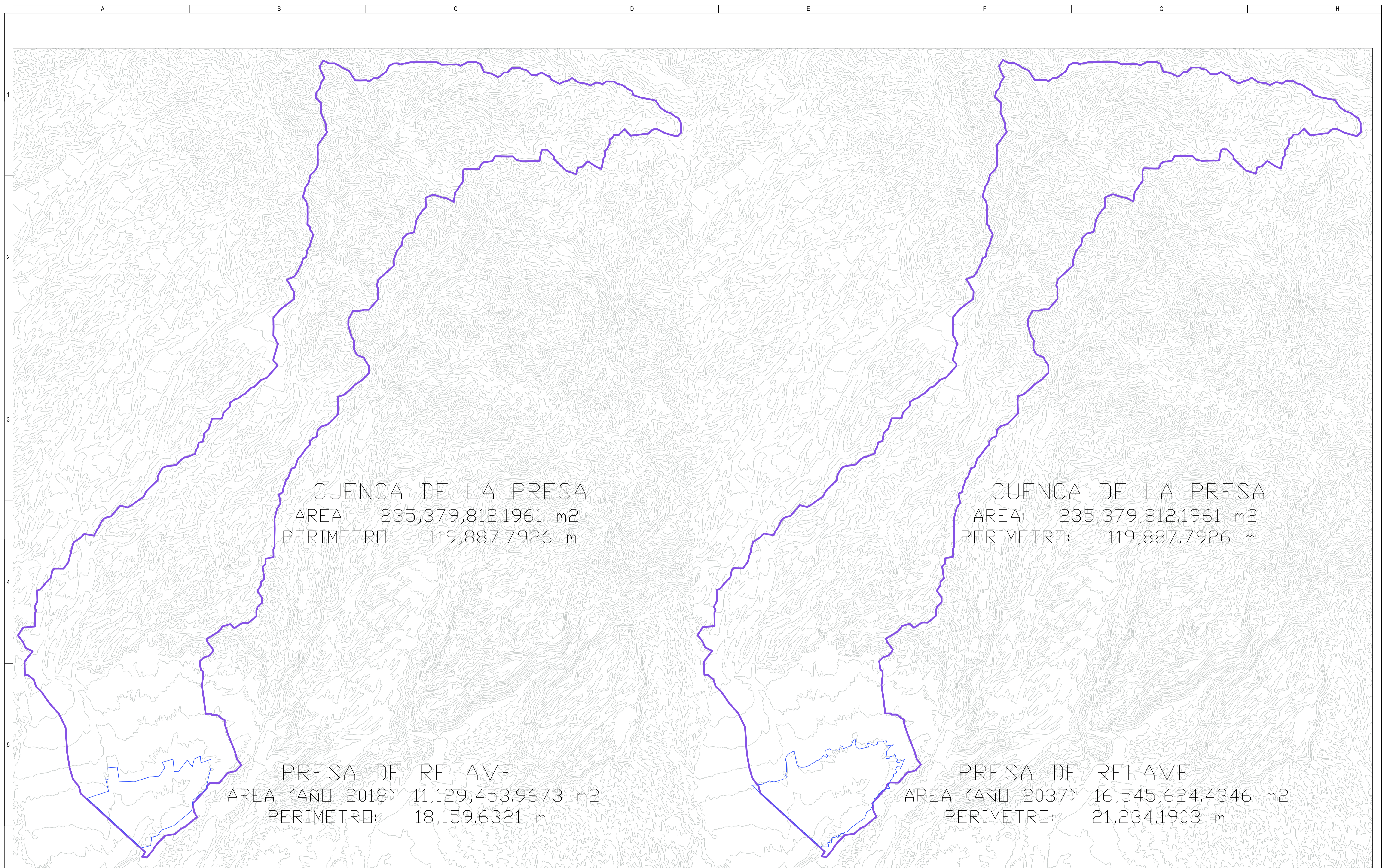
BORRADOR DE TESIS:
 "ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA POR BOMBEO EN UNA PRESA DE RELAVE"
 PERFIL LONGITUDINAL DE TUBERIA - QUEBRADA HONDA

FECHA:
 ABR-18
 ESCALA:
 1/12500

PLANO N°:
005

PLANO N° 006 – ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PRESA





ÁREA DE LA PRESA (AÑO 2018)

ESC: 1/80000

ÁREA DE LA PRESA (AÑO 2037)

ESC: 1/80000

LEYENDA	
CUENCA DE LA PRESA	
LIMITE DE LA PRESA	

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 PRESENTADO POR: CAMPOS VELIZ, BRYAN ALEJANDRO

BORRADOR DE TESIS:
 "ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA
 DE RECUPERACIÓN DE AGUA POR BOMBEO EN UNA PRESA DE RELAVE"
 CUENCA DE LA PRESA DE RELAVE - QUEBRADA HONDA

FECHA:	ABR-18
ESCALA:	1/80000

PLANO N°:	006
-----------	------------

BIBLIOGRAFÍA

- ALMESA. (2015). *Tubería de acero al carbono*. Obtenido de http://www.almesa.com/wp-content/uploads/CATALOGO_TECNICO_ISO9001.pdf
- Arocha, S. (1985). *Abastecimiento de agua*. Bogota: Ediciones Vega.
- Bornemann Pumps. (2008). *Selección y mantenimiento preventivo de bombas de tornillo*. Obtenido de <https://bornemann.files.wordpress.com/2009/09/seleccion-y-mantenimiento-preventivo-bombas-de-tornillo-excentrico.pdf>
- Caicedo, A., & Gaviria, M. (2010). *Guía básica para el análisis técnico*. Obtenido de <https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/6503/126120.pdf;sequence=1>
- CIDELSA. (2000). *Manual técnico de tubería HDPE*. Obtenido de <http://www.sedapal.com.pe/Contenido/licitaciones/LP-0048-2016-SEDAPAL%20-%20BASES%20INTEGRADAS/2.0.%20EXPEDIENTE%20TECNICO/2.10.CATALOGOS%20DE%20MATERIALES%20Y%20EQUIPOS/LINEAS%20DE%20ALCANTARILLADO/CIDELSA-HDPE.pdf>
- COMEVAL. (2014). *Válvulas de control de presión de acción directa*. Obtenido de <http://www.comeval.es/pdf/aguas/03-Valvulas-de-control-de-presion-de-accion-directa.pdf>

- COMEVAL. (2014). *Valvulas de globo*. Obtenido de http://www.comeval.es/pdf/cat_tec/API/valvulas_globo_api_esp.pdf
- COMEVAL. (2014). *Válvulas de retención*. Obtenido de <http://www.comeval.es/pdf/aguas/comeval-fichas-tecnicas-retencion.pdf>
- DURATEC. (2016). *Tuberias y fittings de HDPE*. Obtenido de www.duratec.cl
- ESP Oil International. (s.f.). *Bombeo de cavidad progresiva: operaciones, diagnostico, analisis de falla*. Obtenido de <https://christian3306.files.wordpress.com/2010/10/bombeo-de-cavidad-progresiva.pdf>
- FLOTEC. (2011). *Owner's manual Jet Pumps*. Obtenido de https://www.verderflex.com/fileadmin/files/verderflex/documents/Verderflex_Brochures/Industrial_Peristaltic_Hose_and_Tube_Pump/Bomba_Peristalticas_Industriales.pdf
- GOULDS PUMPS. (2018). *Guia de seleccion de bombas*. Obtenido de <https://www.gouldspumps.com/Home/>
- GOULDS PUMPS. (2018). *Vertical Turbine Pumps*. Obtenido de <https://www.gouldspumps.com/Home/>
- HIDROSTAL. (2017). *Bombas Verticales Tipo Turbina*. Obtenido de http://www.hidrostal.com.pe/pag%20bombas/L2/bomba_turb_vertical_VLT.html

- INDESUR. (2014). *Bombas Neumaticas de doble diafragma*. Obtenido de http://indesur.com.ar/archivos/bombas/60/DV0001_Manual%20Bombas%20de%20Diafragma.pdf
- Ingersoll-Dresser Pumps. (1996). *Cameron Hydraulic Data*. Memphis: Heald.
- Marzo Pumps. (2010). *Bombas a engranajes para trasvase*. Obtenido de <http://www.marzopumps.com.ar/?section=bombas-a-engranajes-para-trasvase-baja-presion#>
- Mateu Gordon, J. L. (2008). *Guía Inversis para el analisis técnico*. Obtenido de <https://www.inversis.com/>
- Mendiluce, E. (1987). *El golpe de ariete en impulsiones*. Madrid: Bellisco.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. Naucalpan de Juarez: Pearson Educación de Mexico.
- NIOCO. (2012). *Tubos de poliuretano PUR*. Obtenido de <http://www.nioco.com/spa/item/Poliuretano.html>
- Parker, H. (2004). *Bombas de paletas Catálogo General Simple, dobles, triples Series T7 - T67 - T6C*. Obtenido de <http://www.parker.com/parkerimages/vanepump/VaneProducts/ES/T7-ES.pdf>
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Deposito legal biblioteca nacional.
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías*. Bogota: Alfaomega.

- SCHWING BIOSET. (2012). *Bombas de piston pastas y relaves espesados*. Obtenido de <https://www.tecniflow.com/fichastecnicas/schwingbioset/schwingbioset1.pdf>
- Serrano, J. (2011). *Ventosas-Uralita sistema de tuberías*. Obtenido de http://www.construmatica.com/archivos/28051/documentacion_tecnica/04_valvulas_y_control/05_ventosas.pdf
- SIMES. (2008). *Bombas de lobulos inoxidables*. Obtenido de http://www.simes-sa.com.ar/espanol/descargas/bombas_de_lObulos_inoxidables_sanitarias.pdf
- VERDETEX. (2015). *Bombas peristalticas industriales*. Obtenido de https://www.verderflex.com/fileadmin/files/verderflex/documents/Verderflex_Brochures/Industrial_Peristaltic_Hose_and_Tube_Pump/Bomba_Peristalticas_Industriales.pdf
- White, F. (2008). *Mecánica de fluidos*. Madrid: McGrawHill.