

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y
Mecatrónica



**“REINGENIERÍA DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA
EMPRESA CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A DE
370 KW”**

Tesis presentada por el Bachiller
Silva Abuhadba, Samuel Nicolas
para optar el Título profesional de:
Ingeniero Mecánico

Asesor: Ing. Valencia Salas, Mario

Arequipa-Perú

2018



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“REINGENIERIA DE UNA MINI CENTRAL
HIDROELECTRICA PARA LA EMPRESA CENTRAL
AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A DE
370 KW”**

Presentado por el Bachiller:

SILVA ABUHADBA SAMUEL NICOLAS

Nuestro DICTAMEN es:

“PROCEDE”

OBSERVACIONES:

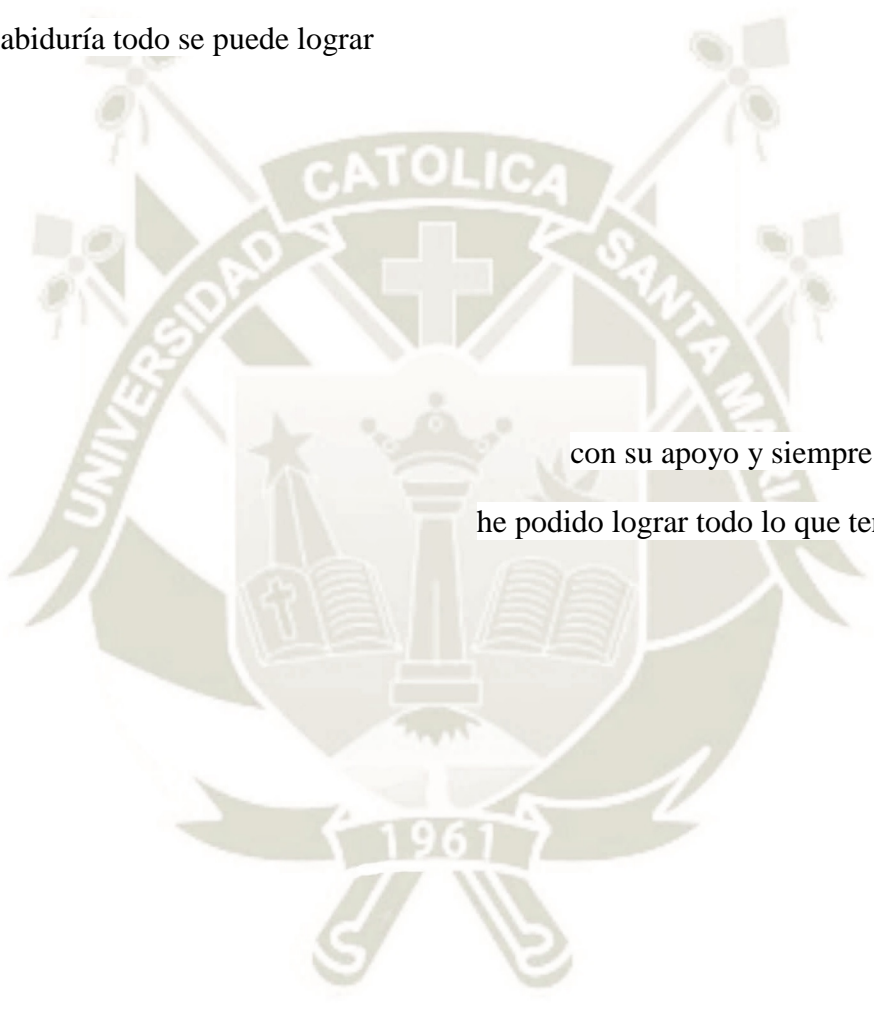
Arequipa, 10 Diciembre 201


ING. MARIO VALENCIA SALAS


ING. MARCO CARPIO RIVERA

DEDICATORIA

A Dios, porque el representa
la humanidad, humildad, paciencia
y con sabiduría todo se puede lograr



A mi familia
con su apoyo y siempre sabios consejos
he podido lograr todo lo que tengo en esta vida

INTRODUCCIÓN

La Central Azucarera Chucarapi Pampa Blanca S.A. fundada en el año 1915, ubica en el km 1042 de la panamericana sur en el Fundo Chucarapi en Cocachacra, provincia de Islay. Es una empresa dedicada a la extracción de caña de azúcar y a la producción de azúcar rubia para el mercado nacional.

Cada día son más las nuevas industrias que se crean en el Perú. Esto conlleva directamente en el crecimiento en el sector eléctrico. Es por ello por lo que las inversiones en el aprovechamiento de recursos renovable han crecido. Lo que nos puede asegurar un crecimiento en el futuro, y además ayuda a preservar el medio ambiente.

Las principales ventajas de la energía hidroeléctrica son que es limpia, autóctona e inagotable. Y hoy en día existen tecnologías que ayudan a aprovechar mejor estas energías, tanto como la creación de nuevas turbinas como equipos electromecánicos.

Las culturas modernas, tanto como los entornos actuales ya desde hace varios años se ha llegado a la conclusión de una necesidad de cambiar las fuentes de energía. Las consecuencias por la contaminación que hemos creado ya las estamos viviendo cada día más, así como cambio climático, la lluvia acida o el deterioro de la capa de ozono. Muchas de las causas las conocemos y nos hemos visto en la urgencia de energía basada los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural, los cuales no solucionan el problema del todo etc. Los nuevos tratados internacionales han llegado a tomar conciencia y por ende tienen como meta una generación de energía que no utilice los recursos naturales. llamadas energías renovables y limpias, para las futuras generaciones.

La energía que proviene del sol es un ejemplo de este tipo de energía renovables y limpias que hoy en día se está utilizando para poder producir energía. Otra de las principales fuentes de energía limpia, es la energía hidroeléctrica. El crecimiento y a su vez la demanda de energía eléctrica cada día crece más y más, y el papel que cumple la energía hidroeléctrica es grande, ya que puede dar respuesta a este aumento de demanda.

Cuando una central hidroeléctrica produce menos de 10 megawatts se le conoce como central minihidráulica. Una gran diferencia entre una central hidroeléctrica normal ante una central minicentral hidroeléctrica es que se pueden poner en muchos lugares, ya sea con pequeños saltos hidrológicos o caudales. Pero una de las principales diferencias es que

también la potencia producida sería aprovechada al máximo a diferencia de las grandes centrales.



RESUMEN

Se escribe el siguiente proyecto con el fin de desarrollar una reingeniería para aprovechar un potencial hidroeléctrico, así como las pautas que se debe de llevar para su diseño. En la actualidad ya están listas las obras hidráulicas con una turbina Francis de cámara abierta que producía 85 kW y otra turbina que producía 45 kW en corriente alterna. El proyecto se basa en una reingeniería para cambiar y mejorar las instalaciones actuales. Uno de los retos es tratar de modificar lo menos posible las instalaciones actuales para disminuir el costo del proyecto.

Tiene como principales objetivos el aprovechamiento de energía renovable del río Tambo, y el diseño óptimo para el mayor aprovechamiento posible del caudal de agua y la caída que se tiene.

Un factor importante para la elaboración de este proyecto es la viabilidad económica, ya que se cuenta con una previa instalación antigua y el objetivo es tratar de realizar las mínimas modificaciones para reducir los costos.

Se definirán los detalles, condiciones, y características de la posible reingeniería de esta minicentral hidroeléctrica, para fines propios de la empresa.

Después de haber realizado los diferentes cálculos de los diferentes componentes y haber realizado modificaciones a las estructuras actuales. Se logro una reingeniería con un diseño con una nueva turbina Kaplan tipo S. Esta turbina daría una potencia de 370 kW y se podría recuperar la inversión en 2 años y medio.

Palabras clave: Reingeniería, potencia, turbina, inversión, recuperación.

ABSTRACT

The following project is written in order to develop a reengineering to take advantage of hydroelectric potential, as well as the guidelines that must be followed for its design. At present the hydraulic works are ready with an open-chamber Francis turbine that produced 85 kW and another turbine that produced 45 kW in alternating current. The project is based on a reengineering to change and improve current facilities. One of the challenges is to try to modify as little as possible the current facilities to reduce the cost of the project.

Its main objectives are the use of renewable energy from the Tambo river. and the optimal design for the best possible use of the water flow and the fall that you have.

An important factor for the development of this project is the economic viability, since it has a previous old installation and the objective is to try to make the minimum modifications to reduce costs.

The details, conditions, and characteristics of the possible reengineering of this mini-hydroelectric plant will be defined for the company's own purposes.

After having made the different calculations of the different components and having made modifications to the current structures. Reengineering was achieved with a design with a new Kaplan type S turbine. This turbine would give a power of 370 kW and could recover the investment in almost years.

Keywords: Reengineering, power, turbine, investment, recovery.

INDICE

DEDICATORIA.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
CAPITULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 Problema en general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II.....	4
2. MARCO TEORICO.....	4
2.1 INTRODUCCIÓN.....	4
2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	4
2.2.1 Clasificación de las minicentrales por su potencia.....	4
2.2.2 Clasificación de las minicentrales hidroeléctricas por su altura de caída.....	5
2.2.3 Clasificación de las minicentrales por su captación de agua.....	5
2.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PCH.....	6
2.4 ESTUDIOS PREVIOS PARA UNA CONSTRUCCIÓN DE UNA PCH.....	7
2.4.1 Estudio hidrológico del Rio Tambo.....	8
2.4.1.1 Ubicación del rio Tambo.....	8
2.4.1.2 Resultados de la investigación de los estudios hidrológicos.....	10

2.5 COMPONENTES DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA	10
2.6 Obras civiles de una pch.....	11
2.6.1 Bocatomas	11
2.6.2 Presa de derivación y azudes	12
2.6.3 Canal de conducción.....	13
2.6.4 Desarenador	21
2.6.4.1 Diseño de un desarenador.....	24
2.6.4.2 Cálculos complementarios de un desarenador.....	29
2.6.4.3 Metodologías de diseño	31
2.6.4.4 Tanque colector del desarenador	34
2.6.5 Vertederos o aliviadores	35
2.6.5.1 Diseño de un vertedero	36
2.6.6 Cámara de carga	38
2.6.6.1 Diseño de una cámara de carga	39
2.6.6.2 Rejillas.....	42
2.6.7 Tubería de fuerza o tubería de presión	43
2.6.7.1 Material de la tubería de presión.	44
2.6.7.2 Diseño y selección de la tubería de presión.....	46
2.6.7.3 Espesor de la tubería.....	48
2.6.7.4 Golpe de ariete.....	49
2.6.7.5 Válvulas en la tubería de presión.....	53
2.6.7.6 Dispositivos de seguridad anti-ariete.....	55
2.6.8 Apoyos y anclajes	56
2.6.8.1 Consideraciones previas de diseño	56
2.6.8.2 Diseño de los apoyos	60
2.6.8.4 Diseño de anclajes	61
2.6.8.4 Comprobaciones de diseño.....	68

2.6.9 Perdidas en el sistema.....	69
2.6.9.1 Perdidas en la entrada de la tubería	70
2.6.9.2 Perdidas por fricción en la tubería.....	70
2.6.9.3 Perdidas por accesorios	73
2.6.9.4 Perdidas por rejillas	73
2.7 CASA DE MAQUINAS.....	74
2.8 EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS.....	74
2.8.1 Turbinas hidráulicas	74
2.8.1.1 Clasificación de las turbinas	75
2.8.1.2 Partes de una turbina hidráulica.....	75
2.8.2 Tipos de turbinas	76
2.8.3 Selección del tipo de turbina	80
2.8.3.1 Numero específico de una turbina	81
CAPITULO III	84
3. CALCULO Y RESULTADOS	84
3.1 ANALISIS DE LA BOCATOMA	84
3.2 MEDICIÓN DEL CAUDAL EN EL CANAL DE ADUCCIÓN.	84
3.3 CÁLCULOS Y RESULTADOS DEL CANAL DE ADUCCIÓN	87
3.3.1 Calculo de la pendiente	87
3.3.2 Calculo del radio hidráulico	87
3.3.3 Coeficiente de rugosidad	88
3.3.4 Velocidad del agua dentro del canal.....	88
3.3.5 Comprobaciones del diseño del canal de aducción.	89
3.4 CÁLCULOS Y RESULTADOS DEL DESARENADOR.....	89
3.4.2 Método I	90
3.4.1.1 Calculo del vertedero.....	92
3.4.1.2 Cálculos complementarios.....	93

3.4.2 Método II	94
3.4.3 Comparaciones del método I y método II, para el diseño de un desarenador. ...	95
3.4.4 Tanque colector del desarenador	96
3.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LA CÁMARA DE CARGA.....	97
3.5.1 Metodología de diseño A, para una cámara de carga.	98
3.5.2 Metodología de diseño B, para una cámara de carga.	99
3.5.3 Comparaciones del método A y método B, para el diseño de una cámara de carga.	99
3.5.4 Cálculos y resultados de las rejillas.....	99
3.6 CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.	100
3.6.1 Cálculos y resultados del golpe de ariete.	102
3.6.2 Resultados de los equipos de regulación y equipos anti-ariete.	104
3.7 CALCULO Y RESULTADOS DE LOS APOYOS Y ANCLAJES.....	105
3.7.1 Cálculo de las consideraciones previas de diseño.	106
3.7.2 Resultados y cálculos de la distancia entre apoyos.	106
3.7.2.1 Resultados y cálculos de la deflexión máxima de la tubería (Flecha máxima).	107
3.7.3 Calculo y resultados del anclaje N°1.....	108
3.7.3.1 Calculo y resultados de las fuerzas que soportara el anclaje N°1.	108
3.7.3.2 Calculo y dimensiones del anclaje N°1	112
3.7.3.3 Calculo y resultados de las comprobaciones de diseño del anclaje N°1... ..	114
3.7.4 Calculo y resultados del apoyo N°1.	116
3.7.4.1 Calculo y resultados de las fuerzas que soportara el apoyo N°1.	117
3.7.4.2 Calculo, resultados y dimensiones del apoyo N°1.	118
3.7.4.3 Calculo y resultados de las comprobaciones de diseño del apoyo N°1.....	119
3.7.5 Calculo y resultados del anclaje N°2.....	124
3.7.5.1 Calculo y resultados de las fuerzas que soporta el anclaje N°2.	124
3.7.5.2 Calculo y dimensiones del anclaje N°2.....	127

3.7.5.3 Resultados y comprobaciones de diseño del anclaje N°2.	128
3.8 CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LAS PERDIDAS.....	130
3.8.1 Resultados de las pérdidas a la entrada de la tubería.....	130
3.8.2 Resultados de las pérdidas por fricción en la tubería.	130
3.8.3 Resultados de las perdidas por accesorios.....	132
3.8.4 Resultados por perdidas por rejillas.	133
3.8.5 Sumatoria total de los perdidas.....	133
3.9 RESULTADOS DE LA SELECCIÓN DE LA TURBINA	134
CAPITULO IV	140
4. COSTOS Y PRESUPUESTOS	140
4.1 ANTECEDENTES	140
4.2 COSTO DEL PROYECTO	142
4.3 COMPARACIONES DEL COSTO BENEFICIO	143
CONCLUSIONES.....	144
RECOMENDACIONES	145
BIBLIOGRAFIA	146
ANEXOS	148
PLANOS.....	177

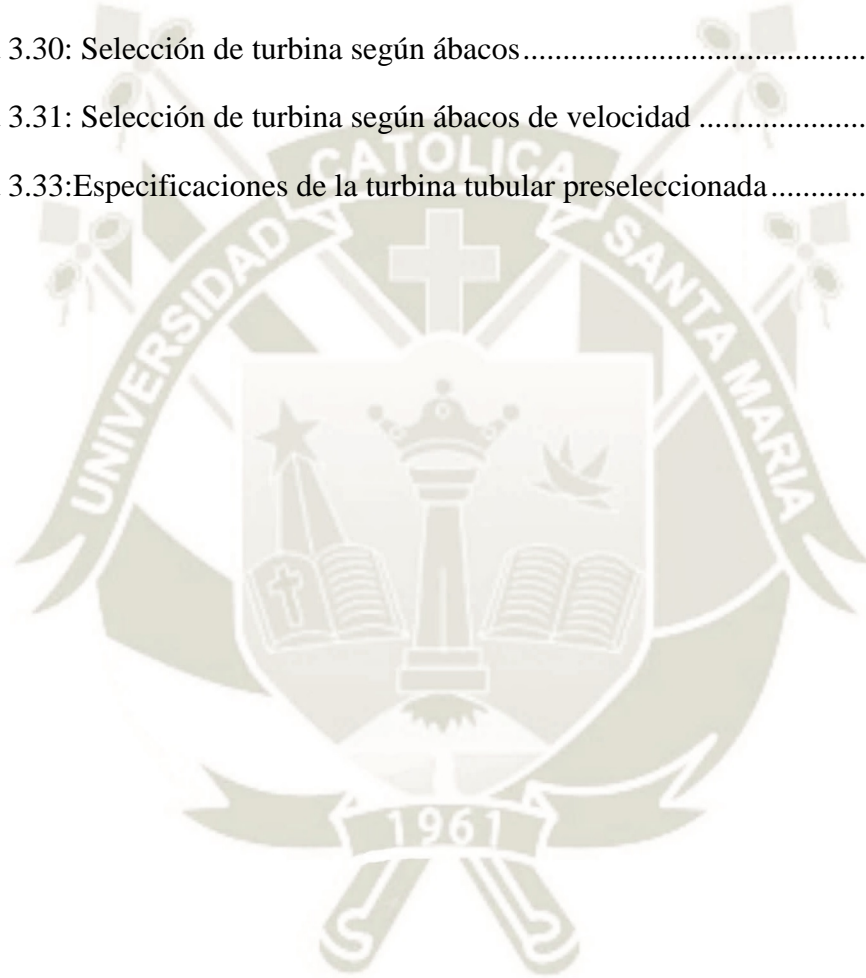
INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema de una central de agua fluyente	5
Figura 2.2: Esquema de una central a pie de presa.....	6
Figura 2.3: Esquema típico de una PCH	7
Figura 2.4: Mapa de la provincia de Islay	9
Figura 2.5: Mapa de la provincia de Islay	9
Figura 2.6: Bocatoma Tuti.....	12
Figura 2.7: Canal tipo trapecoidal	13
Figura 2.8: Canal tipo rectangular	14
Figura 2.9: Canal tipo triangular	14
Figura 2.10: Canal tipo parabólico	15
Figura 2.11: Ejemplo de desnivel o pendiente de un canal de conducción	16
Figura 2.12: Fórmulas para calcular el perímetro mojado.....	19
Figura 2.13: Formulas para calcular el radio hidráulico.....	20
Figura 2.14: Esquema de un desarenador al inicio de un canal.....	22
Figura 2.15: Ejemplo de un desarenador al inicio de un canal.....	22
Figura 2.16: Esquema de un desarenador antes de la cámara de carga.....	23
Figura 2.17 Ejemplo de un desarenador antes de la cámara de carga	23
Figura 2.18: Grafico de Stokes y Sellerio para seleccionar una velocidad de sedimentación recomendada.....	25
Figura 2.19: Comportamiento de una partícula de arena, bajo efectos de turbulencia.....	31
Figura 2.20: Representación de la medida “dr”.....	34
Figura 2.21: Ejemplo de un desarenador con vertedero	36
Figura 2.22: Dimensiones del radio y ángulo del vertedero.....	37
Figura 2.23: Diferentes componentes de una cámara de carga.	39
Figura 2.24: Altura mínima en una cámara de carga para la tubería de fuerza.....	40
Figura 2.25: Coeficiente de contracción dependiendo de la forma de la barra	42
Figura 2.26: Componentes de una tubería de fuerza.	43

Figura 2.27: Diferentes tipos de cierre y apertura de las válvulas mariposa	53
Figura 2.28: Ejemplo de una válvula tipo guillotina	54
Figura 2.29:Diferentes tipos de cierre y apertura de las válvulas mariposa	55
Figura 2.30: Abaco para seleccionar distancia entre soportes.....	58
Figura 2.31: Carga distribuida sobre una viga.....	58
Figura 2.32: Deflexión de una viga simplemente apoyada.	59
Figura 2.33: Diagrama de fuerzas que influyen en los soportes.....	60
Figura 2.34: Fuerzas que influyen en los soportes dependiendo de la inclinación	61
Figura 2.35: Fuerza uno para diseñar un anclaje	62
Figura 2.36: Fuerza dos para diseñar un anclaje	63
Figura 2.37:Fuerza tres para diseñar un anclaje	63
Figura 2.38: Angulo de la tubería.....	64
Figura 2.39: Fuerza cuatro para diseñar un anclaje	64
Figura 2.40: Fuerza cinco para diseñar un anclaje	65
Figura 2.41: Fuerza seis para diseñar un anclaje	66
Figura 2.42: Fuerza siete para diseñar un anclaje.....	66
Figura 2.43: Fuerza ocho para diseñar un anclaje	67
Figura 2.44: Fuerza nueve para diseñar un anclaje	68
Figura 2.45: Coeficientes de pérdidas a la entrada de la tubería	70
Figura 2.46: Diagrama de Moody.....	72
Figura 2.47: Rodete de una turbina Pelton	76
Figura 2.48: Funcionamiento de una turbina Pelton	77
Figura 2.49: Rodete de una turbina Michell Banki	77
Figura 2.50: Funcionamiento de una turbina Michell Banki.....	78
Figura 2.51: Turbina Francis, rodete y espiral	78
Figura 2.52: Rodete de la turbina Francis	79
Figura 2.53: Turbina Kaplan	79

Figura 2.54: Turbina tubular.....	80
Figura 2.55: Turbina bulbo.....	80
Figura 2.56: Ábacos para seleccionar turbias según el caudal y el salto.....	82
Figura 2.57: Abaco para selección de turbina según “Ns”	83
Figura 3.1: Tramo que se utilizó para medir el caudal	85
Figura 3.2: Mediciones en la secciones transversales	85
Figura 3.3: Dimensiones del canal de aducción	88
Figura 3.4: Dimensiones de la altura de la cámara de carga	98
Figura 3.5: Esquema de la tubería de presión.....	101
Figura 3.6: Esquema de los anclajes.....	105
Figura 3.7: Resultados de distancia entre soportes.....	107
Figura 3.8: Fuerza uno del anclaje uno.....	109
Figura 3.9: Fuerza tres del anclaje uno.....	109
Figura 3.10: Fuerza cuatro del anclaje uno	110
Figura 3.11: Fuerza ocho del anclaje uno.....	111
Figura 3.12: Distribución de todas las fuerzas que ejercen sobre el anclaje N°1.....	112
Figura 3.13: Esquema y dimensiones del anclaje N°1	112
Figura 3.14: Diagrama de cuerpo libre del anclaje N°1	115
Figura 3.15: Esquema del apoyo N°1	117
Figura 3.16: Distribución de las fuerzas en el apoyo N°1	117
Figura 3.17: Volúmenes del apoyo N°1	118
Figura 3.18: DCL del apoyo N°1.	120
Figura 3.19: Medidas del tope del apoyo N°1	121
Figura 3.20: Distancia perpendicular del punto 1 hacia la fuerza F1	122
Figura 3.21: Distancia perpendicular del punto 1 hacia la fuerza F2	122
Figura 3.22: Fuerza uno del anclaje dos	124
Figura 3.23: Fuerza tres del anclaje dos	125

Figura 3.24: Fuerza cuatro del anclaje dos	125
Figura 3.25: Fuerza ocho del anclaje dos	126
Figura 3.26: Distribución de todas las fuerzas que influyen en el anclaje N°2.....	127
Figura 3.27: Esquema y dimensiones del anclaje N°2	127
Figura 3.28: Diagrama de cuerpo libre del anclaje N°2	129
Figura 3.29: Selección del diagrama de Moody	131
Figura 3.30: Selección de turbina según ábacos.....	136
Figura 3.31: Selección de turbina según ábacos de velocidad	136
Figura 3.33: Especificaciones de la turbina tubular preseleccionada.....	138



INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia.....	4
Tabla 2.2 Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su aprovechamiento hidroenergético	5
Tabla 2.3 Velocidades máximas recomendadas	16
Tabla 2.4 Límites de velocidad del agua en el canal según diferentes tipos de suelo y revestimiento	17
Tabla 2.5 Coeficientes de rugosidad para la fórmula de Manning.....	18
Tabla 2.6 Coeficiente de sedimentación.....	21
Tabla 2.7 Diámetro límite según el salto hidráulico.....	24
Tabla 2.8 Diámetro de partículas a eliminar según el tipo de turbina	24
Tabla 2.9 Constante “a” en función del diámetro de partícula.....	25
Tabla 2.10 Velocidad de sedimentación recomendada según el diámetro de la partícula según Arkhgelski	26
Tabla 2.11 Constante “k” según la naturaleza y la forma para la fórmula de Owens	26
Tabla 2.12 Valores del coeficiente de arrastre	33
Tabla 2.13 Separación entre rejillas dependiendo el tipo de turbina.....	42
Tabla 2.14 Diferentes características de los materiales para tuberías de presión.....	46
Tabla 2.15 Diferentes fórmulas para hallar el diámetro de una tubería de presión.....	47
Tabla 2.16 Valores de los coeficientes C y K para el cálculo del tiempo de cierre	51
Tabla 2.17 Coeficiente "k" para la fórmula de fricción según el material de la tubería.....	72
Tabla 2.18 Clasificación de las turbinas según su salto y Ns	83
Tabla 3.1 Medidas de las secciones transversales del canal.....	85
Tabla 3.2 Tiempo de las botellas en recorrer el tramos recto.....	86
Tabla 3.3 Iteración de N° de Reynolds y el valor Cd.....	90
Tabla 3.4 Velocidades de sedimentación según diferentes autores.....	95
Tabla 3.5 Comparaciones de medidas entre las metodologías de diseño de un desarenador	96

Tabla 3.6 Análisis de agua para la PCH	97
Tabla 3.7 Diferencias de medidas entre las metodologías de diseño de una cámara de carga	99
Tabla 3.8 Diámetros de tubería recomendados, según varios autores de la tabla 2.15	101
Tabla 3.9 Coeficiente de fricción entre concreto y suelo	114
Tabla 3.10 RPM, según diferentes números de polos y frecuencias	134
Tabla 3.11 Resultados de Ns, con una frecuencia de 60 Hz y la potencia en kW.....	135
Tabla 3.12 Resultados de Ns, con una frecuencia de 60 Hz y la potencia en CV.....	135
Tabla 3.13 Turbinas según su Ns.....	137
Tabla 4.1 Consumo en 440 v de la fabrica	140
Tabla 4.2 Consumo de 200 v de la fabrica	140
Tabla 4.3 Consumo de energía eléctrica en la empresa durante el 2018.....	141
Tabla 4.4 Variación de la tarifa anual de la energía consumida.....	142
Tabla 4.5 Resumen de costos del proyecto	143

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En sus principios la mayoría de los equipos funcionaban a base de vapor, tanto motores como equipos especializados en la producción de azúcar. Anteriormente la empresa contaba con siete calderas acuatubulares que funcionaban a la perfección y la producción de vapor era la necesaria para la funcionalidad de las máquinas, equipos y motores.

Por la baja calidad de vapor y la escasez de bagazo, que es el combustible de las calderas, se tuvo que electrificar la mayoría de los equipos. Esto hizo que el consumo de energía eléctrica aumente considerablemente y los gastos mensuales subieron.

La hacienda contaba con una turbina Francis tipo cámara abierta y eje horizontal. Que contaba con un caudal de 1500 Litros por segundo y una caída de agua de 5 metros. La cual producía 85 kW en corriente continua. También contaba con otra turbina, que lamentablemente no ha especificaciones, pero producía 48 kW en corriente alterna. Esta potencia era dirigida para un grupo pequeños en la fábrica y una parte se convertía en corriente continua para el alumbrado público del pueblo de Chucarapi. Solamente quedo el canal de agua y algunas estructuras civiles, como la casa de máquinas, las paredes que contenían la turbina, pero tanto como los generadores, turbinas, tableros, cables eléctricos, compuertas han sido desmanteladas.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la fábrica de azúcar de la Central Azucarera Chucarapi Pampa Blanca S.A, tiene una potencia de consumo muy elevada. Todos los equipos abarcan un total de 850 kW , y contamos con una potencia contrata de la empresa SEAL de una cantidad 956.80 kW. La planta funciona las 24 horas del día de lunes a sábado y el consumo diario es elevado. Esto se ve reflejado en el recibo de consumo de energía eléctrica.

Bajo estos conceptos se ve la necesidad de tratar de reducir este consumo mediante otra alternativa de producción de energía.

1.2.1 Problema en general

¿En qué medida se puede aprovechar la caída de agua y el caudal actual para poder reducir los costos de energía eléctrica en la fábrica, mirando siempre el factor costo/beneficio?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿La potencia producida por esta minicentral será la suficiente para tener un efecto grande en la reducción del costo mensual de la energía eléctrica?
- ¿Qué tanto se deben modificar las instalaciones actuales para poder producir una potencia significativa?
- ¿Cuál será la magnitud del beneficio del proyecto ante la inversión de suma de dinero para poder realizarlo?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El consumo de energía eléctrica que tiene en la fábrica es uno de los principales gastos que tiene la empresa. Entonces al tratar de reducir este consumo, se vio la oportunidad de modificar o crear una minicentral para producir energía hidroeléctrica.

Frente a otras alternativas de producción eléctrica, como la energía solar o la energía eólica, se vio más rentable la producción de energía hidroeléctrica, ya que se cuenta con unas instalaciones previas y esto reduciría la inversión inicial del proyecto.

Se vio la manera también de instalar un turbogenerador que trabaje en función de vapor, pero la tendencia de generar energía limpia con recursos renovables es mejor aceptada por la empresa y la sociedad.

Los proyectos de minicentrales, menores a 20 megawatts, son más rentables a las termoeléctricas ya que estas operaran por más tiempo.

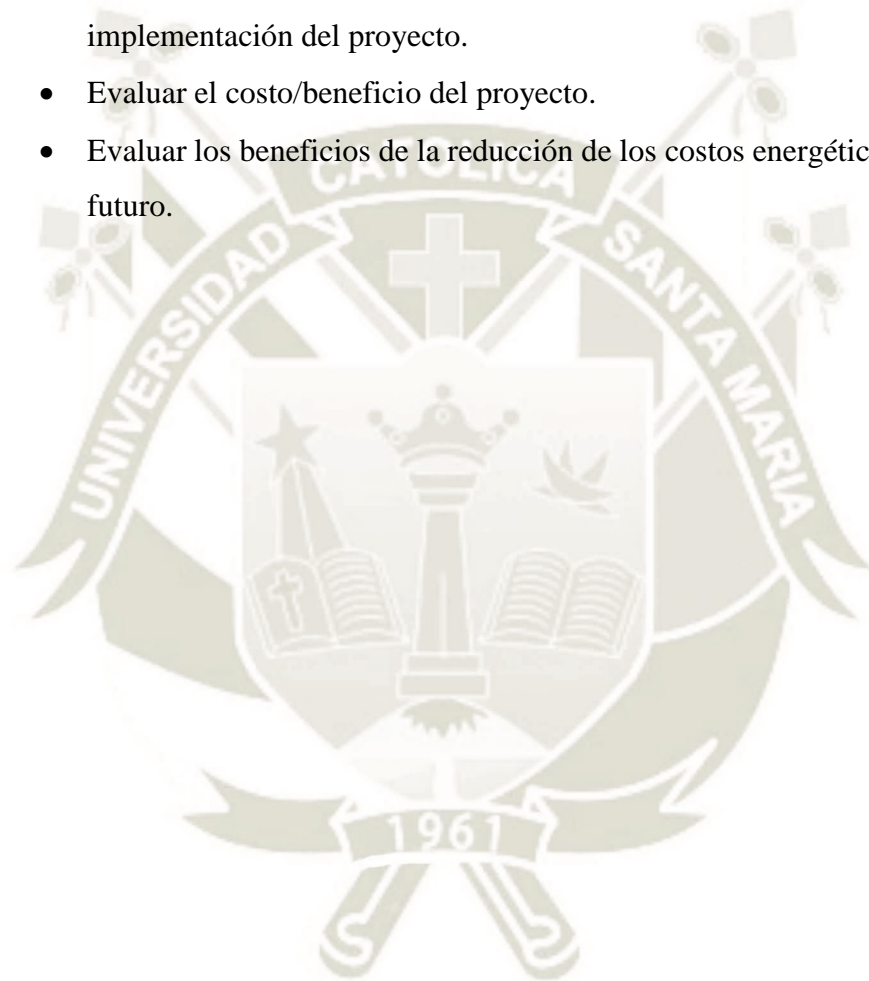
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una reingeniería para la minicentral hidroeléctrica realizando pocos cambios con las estructuras ya existentes.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros de diseño utilizando estudios hidrológicos con ayuda de los antecedentes.
- Definición los componentes de una minicentral hidroeléctrica como obras civiles, generadores, transformadores, tablero de distribución, equipos eléctricos, etc.
- Definición de un presupuesto propio o con alguna entidad externa para la implementación del proyecto.
- Evaluar el costo/beneficio del proyecto.
- Evaluar los beneficios de la reducción de los costos energéticos de la fábrica a futuro.



CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Para poder lograr energía hidroeléctrica mediante el agua se crean instalaciones llamadas centrales hidroeléctricas. El principio de funcionamiento es crear canales de conducciones de agua hacia una cámara de carga. Inmediatamente después de esta cámara de carga va conecta una tubería, llamada tubería de fuerza y esta llega a la casa de máquinas, donde se encuentran las turbinas. Gracias a la fuerza del agua y la cantidad de esta misma se logra mover las turbinas, que van conectadas a un eje que mueve a un generador. Así se logra la creación de energía hidroeléctrica.

Como ya escrito con anterioridad a las centrales hidroeléctricas que producen potencia menor a 10 megawatts se les denominan minicentrales hidroeléctricas o pequeñas centrales. Las principales cualidades de estas minicentrales es que estas no crean mucho impacto ambiental, ni social ya que no es necesaria construir grandes instalaciones, ni tampoco destrucción de terreno. Se podría decir que la energía producida, es renovable, limpia y sostenible.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

2.2.1 Clasificación de las minicentrales por su potencia

Por una primera instancia se puede clasificar las minicentrales hidroeléctricas por la cantidad de potencia que pueden producir, a continuación, veremos un cuadro sobre estas potencias.

Tabla 2.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia

TIPO	POTENCIA (KW)
PICOCENTRALES	0.5 a 5
MICROCENTRALES	5 a 50
MINICENTRALES	50 a 500
PEQUEÑAS CENTRALES	500 a 10000

Fuente: (Ortiz Flores Ramiro, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas)

2.2.2 Clasificación de las minicentrales hidroeléctricas por su altura de caída

También se pueden clasificar las minicentrales hidroeléctricas mediante el aprovechamiento según la altura de caída.

Tabla 2.2 Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su aprovechamiento hidroenergético

TIPO	ALTURA DE CAIDA (m)		
	BAJA	MEDIA	ALTA
MICROCENTRALES	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
MINICENTRALES	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
PEQUEÑAS CENTRALES	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Fuente: (Ortiz Flores Ramiro, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas).

2.2.3 Clasificación de las minicentrales por su captación de agua

Existen dos maneras de poder clasificar a las minicentrales según la captación de agua.

- Captación por agua fluvente:



Figura 2.1: Esquema de una central de agua fluvente

Fuente: (Ente Vasco de la energía 2017)

La lista de partes de este tipo de minicentral es:

1. Azud
 2. Obra de toma
 3. Canal de derivación
 4. Cámara de carga
 5. Tubería forzada
 6. Casa de maquinas
 7. Canal de salida
- Captación por pie de presa

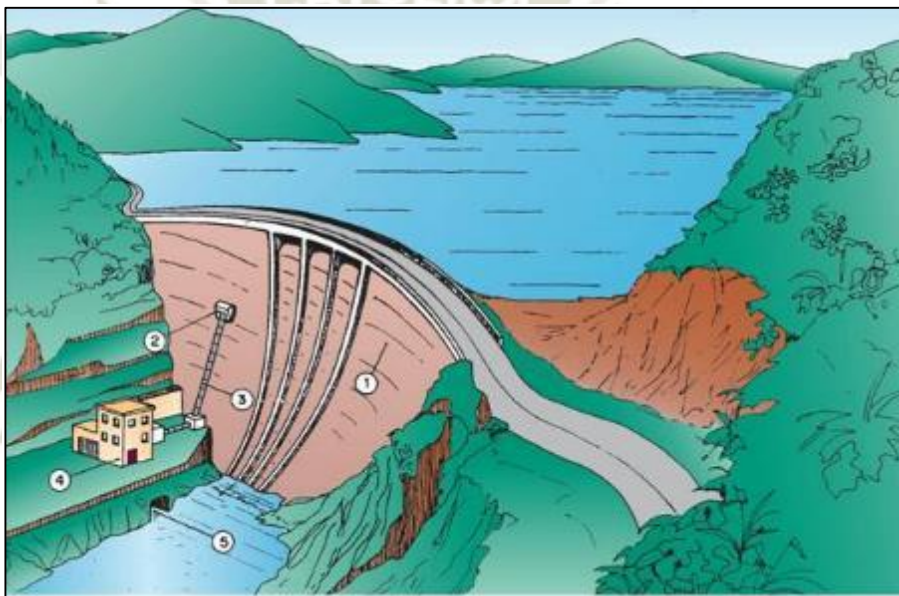


Figura 2.2: Esquema de una central a pie de presa

Fuente: (Ente Vasco de la energía 2017)

1. Presa
2. Toma de agua
3. Tubería forzada
4. Casa de maquinas
5. Canal de salida

2.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PCH

Para entender el principio de funcionamiento nos ayudaremos viendo la figura 2.3. La primera instancia se debe tener un flujo contante de agua, ya sea por captación de un río o creando una presa. Inmediatamente sea el tipo de PCH, el agua debe ser

conducida por mediante una tubería llamada “Tubería de fuerza” o canal, la cual va directamente a la alimentación de la turbina. La energía que posee el agua a esta velocidad y presión se llama energía hidráulica. Esta energía hidráulica es transformada a energía mecánica, moviendo el rodete de la turbina que a su vez está conectada al eje del generador. Al girar este eje, el generador de por si crea energía eléctrica, llegando así a la transformación de energía hidráulica a la energía eléctrica. Esta energía eléctrica es llevada por redes eléctricas hacia las instalaciones deseadas. A su vez el caudal de agua, que impulsa los rodetes de la turbina es regresada al río por mediante un canal de salida. Para mantener esta energía eléctrica constante se deben de tener dos parámetros eléctricos constantes: voltaje y frecuencia. Esto se puede lograr mediante una buena instalación de los componentes y una regulación de velocidad trabajando en perfecta armonía con los demás componentes de las PCH.

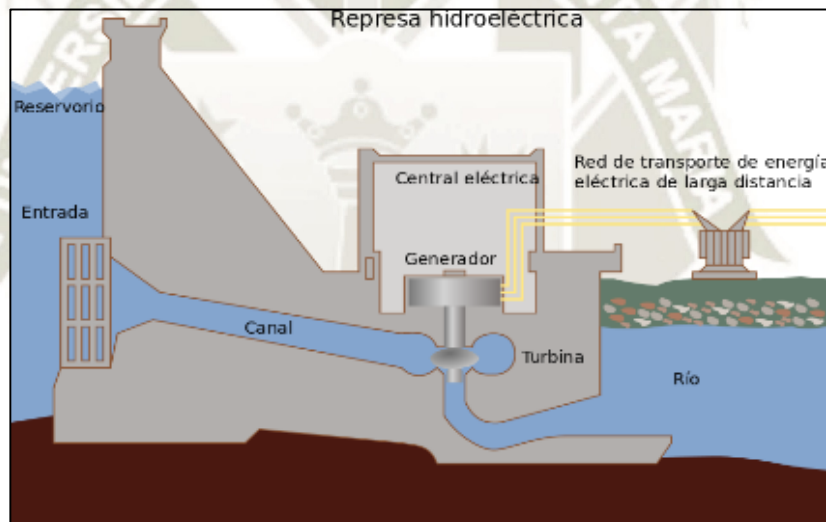


Figura 2.3: Esquema típico de una PCH

Fuente: (Wikimedia 2017)

2.4 ESTUDIOS PREVIOS PARA UNA CONSTRUCCIÓN DE UNA PCH

Antes del planeamiento y la construcción de alguna PCH, se deben realizar unos estudios previos para poder conocer los aprovechamientos hídricos posibles y ver la manera más viable de realizar el proyecto.

Existen una serie de estudios que se deben de realizar para cualquier proyecto de una PCH, a continuación, nombraremos algunos de ellos.

- Estudio de la demanda
- Estudio socioeconómico
- Estudio hidrológico y pluviómetro
- Estudio cartográfico y topográfico
- Estudio geotécnico
- Estudio de impacto ambiental

Una vez realizados los estudios, se tiene que tener en cuenta la factibilidad económica para determinar si el proyecto es viable. Después se estudia el tipo de diseño y construcción de la adecuada PCH. Ya que nosotros nos enfocaremos en modificar una instalación previa, solamente nos enfocaremos en los estudios hidrológicos del río Tambo y a la demanda que se puede producir para poder aliviar los costos en la fábrica de Chucarapi.

2.4.1 Estudio hidrológico del Río Tambo

Un estudio hidrológico es una investigación que determina el aprovechamiento hidráulico para poder generar electricidad. Se requieren ciertos parámetros de un estudio hidrológico de los cuales los principales factores que nos interesan son caudales y un determinado desnivel.

Tras realizar un estudio hidrológico se pueden presentar tres alternativas:

1. Que exista información sobre precipitaciones, temperaturas, caudales, caídas, etc.
2. Que para un punto estudiado no exista información ninguna, en este caso se puede extrapolar o asumir informaciones de cuencas vecinas.
3. Que no exista caudal.

2.4.1.1 Ubicación del río Tambo

El valle de tambo se ubica en la provincia de Islay, al sur oeste del departamento de Arequipa. Exactamente entre cinco de los seis distritos de esa provincia: Cocachacra, Dean Valdivia, Punta de Bombo, Mejía y Mollendo.



Figura 2.4: Mapa de la provincia de Islay

Fuente: (Figura recuperada el 1 de agosto del 2018 de <http://peruesmas.com>)

La PCH está ubicada en el pueblo de Chucarapi, en el cual se verá mejor en el siguiente mapa.

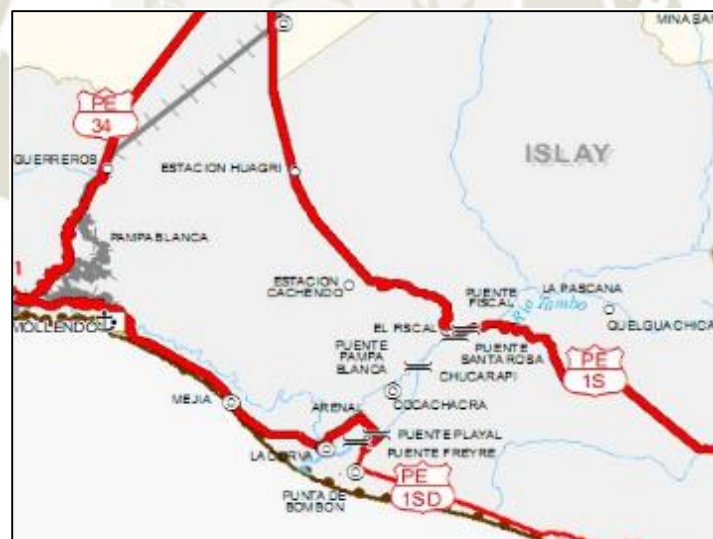


Figura 2.5: Mapa de la provincia de Islay

Fuente: (Figura recuperada el 1 de agosto del 2018 de <http://turismoenislay.blogspot.com>)

Como podemos ver en el mapa parte del río tambo pasa y abastece al pueblo de Chucarapi, donde actualmente existe un canal de desviación para la PCH actual.

2.4.1.2 Resultados de la investigación de los estudios hidrológicos

Según los estudios hidrológicos realizados la fuente de agua principal en el valle es el río Tambo. Las precipitaciones de la zona alta se dan en los 2500 m.s.n.m. El caudal promedio medido entre los periodos de 1956 – 1989 llegó a ser de 33 m³/s.

En el año 2001 el caudal máximo promedio fue de 77 m³/s en los meses de enero y febrero. En ese mismo año, por el mes de agosto el mínimo promedio llegó a ser 3.27 m³ /s. En la actualidad existen varios métodos para poder calcular el caudal de un río, siempre los resultados varían según las épocas de estiaje y cuando llueve en las alturas. El último estudio cifro que el promedio del caudal del río anual es de 31.25 m³/s, esta cifra aún no lo ha dado el ANA. (Autoridad Nacional del Agua).

Según la información obtenida de diferentes fuentes también tenemos algunos datos adiciones que se refieren a la calidad de agua que se encuentra en el río. Por ejemplo, el pH vario entre 7.5 y 8.1. También se logró recolectar la dureza que vario entre valor desde 602 mg/L y 913 mg/L. Estos resultados demuestran que el agua tiene mucha dureza y es un agua de tipo alcalina de zonas marina/estuarios. Se investigo también sobre el caudal ecológico, decimos caudal ecológico al volumen mínimo de agua por tiempo que debería de escurrir de forma superficial por un curso fluvial, para garantizar la vida acuática fluvial actual.

La PCH se encontrará en el poblado de Chucarapi, el cual se encuentra a 140 m.s.n.m. Una pequeña conclusión que podemos realizar acerca de estos resultados es que la viabilidad de construir una PCH nueva o modificar la actual es aceptable, ya que contamos con una caída hidráulica y caudal de agua aceptables para producir una pequeña potencia eléctrica.

2.5 COMPONENTES DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA

Las PCH contienen muchos componentes que cumplen diferentes funciones, pero podemos dividir estos componentes y clasificarlos en tres grandes grupos.

- Obras civiles

- Equipos electromecánicos
- Equipos auxiliares

2.6 OBRAS CIVILES DE UNA PCH

Las obras civiles también podemos diferenciarlos en dos pequeños grupos, que fácilmente podemos clasificar como obras de captación y obras de conducción.

Entre las obras de captación tenemos:

- Bocatomas
- Presa de derivación y azud

Entre las obras de conducción tenemos

- Canales de conducción
- Desarenadores
- Vertederos o aliviadores
- Tanques de presión
- Tuberías de presión

2.6.1 Bocatomas

Una bocatoma es una infraestructura cuya función es derivar parte del caudal de la corriente de agua hacia los canales de conducción. Está ubicada en la entrada del canal de captación. También se le suele adjuntar accesorios como rejillas para impedir el ingreso de sedimentos u objetos extraños al canal de conducción.

Existen varios tipos de bocatomas, entre las más importantes tenemos:

- **Bocatoma directa:** Es cuando se tiene una pendiente fuerte de agua y cuando se desea tener una estructura poco costosa.
- **Bocatoma de captación lateral:** Es la más usada cuando se trata de captar el agua de manera sencilla, es como una bifurcación lateral. Es una de las más empleadas.
- **Bocatoma con barraje fijo:** Son aquellas que tienen un tipo de presa y tienen pilares para soportar las compuertas que abren el paso del agua. Estas son utilizadas cuando el régimen del río es constante.

- **Bocatoma con barraje móvil:** Es parecida a la de barraje fijo, solo que estas pueden regular el tirante del agua por mediante de las compuertas. Son esenciales con ríos con gran caudal, pero poca pendiente.
- **Bocatoma de barraje mixto:** Estas cuentan con un barraje fijo y una parte móvil. La parte móvil contiene algunos pilares de la parte limpia formando un canal de limpieza. Y contiene un segundo canal separador por un vertedero ubicado lateralmente que sirve para eliminar gravas.



Figura 2.6: Bocatoma Tuti

Fuente: (Figura recuperada el 1 de agosto del 2018 de <https://www.autodema.gob.pe>)

2.6.2 Presa de derivación y azudes

Estas obras tienen el propósito de facilitar la conducción del agua hacia la bocatoma. Son obras que se construyen transversalmente al río.

- **Azud:** Se trata de una estructura, casi siempre de un muro transversal de poca altura. Esta altura no es la suficiente para causar alguna elevación notable, su objetivo principal como ya se explico sirve para derivar el agua hacia la bocatoma y posteriormente al canal de conducción.
- **Presa:** También es conocida como presa derivadora, a diferencia del azud estas presas tienen una altura considerable que permite regular el suministro de agua. Estas presas mayormente no se utilizan en las minicentrales.

2.6.3 Canal de conducción

El canal de conducción es una de las obras civiles más importante en una minicentral. La principal función es conducir el caudal de agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga de la minicentral. En el camino se pueden encontrar algunas otras obras civiles como desarenadores, vertederos u otros mecanismos.

Existen varios tipos de canal utilizados para el traslado del agua. A continuación, veremos algunos tipos.

- Sección trapezoidal: Este tipo se usan siempre en canales de tierra y en canales revestidos.



Figura 2.7: Canal tipo trapezoidal

Fuente: (Figura recuperada el 1 de agosto del 2018 de <https://www.civilexcel.com>)

- Sección rectangular: Estos canales son uno de los más usados, se pueden construir de manera revestida, en madera para acueductos o excavados en roca



Figura 2.8: Canal tipo rectangular

Fuente: (Figura recuperada el 1 de agosto del 2018 de <https://justinfozone.blogspot.com>)

- Sección triangular: Esta sección se utiliza para canales pequeños, para las cunetas revestidas de las carreteras, se caracteriza por el fácil trazado. Un ejemplo esencial son los surcos.

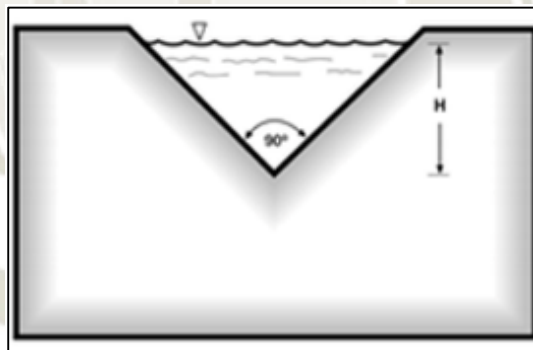


Figura 2.9: Canal tipo triangular

Fuente: (Figura recuperada el 1 de agosto del 2018 de <https://justinfozone.blogspot.com>)

- Sección parabólica: Este tipo de sección la mayoría son canales naturales y canales viejos hecho de tierra. A veces se crean canales revestidos y le dan la forma de parábola.



Figura 2.10: Canal tipo parabólico

Fuente: (Figura recuperada el 1 de agosto del 2018 de <http://lan.inea.org>)

Existen aún más tipos de canales con diferentes configuraciones, pero ya se utilizan para usos muy específicos. Los canales tienen diferentes características que hay que tomar en cuenta. Describiremos a continuación las que hemos utilizado en el proyecto.

a) Talud y pendiente del canal.

Nos referimos a talud a la inclinación que tienen las paredes del canal. Cuando el flujo de agua transita en un canal hecho de un material arenoso o suelto, este empezara a desmoronarse hacia dentro del canal. Esto se puede evitar inclinando los lados ligeramente y el ancho del canal tenga una relación con la profundidad del canal. Este talud se toma en cuenta más para secciones trapezoidales y triangulares, para secciones rectangulares este valor es cero.

La pendiente simplemente es el desnivel que se crea en todo el canal gracias a la diferencia de alturas entre la toma de agua y la cámara de carga.

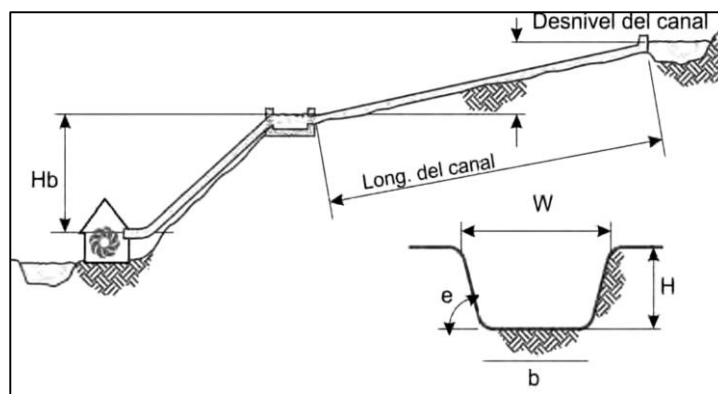


Figura 2.11: Ejemplo de desnivel o pendiente de un canal de conducción

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

- b) **Velocidad:** La velocidad es una propiedad fundamental para la elaboración de canales, si el fluido es muy rápido este podría erosionar las paredes del canal, en cambio si el fluido es muy lento esto podría ocasionar que se creen depósitos de sedimento.

Tabla 2.3 Velocidades máximas recomendadas

Velocidad máxima recomendada		
Material	Velocidad máxima	
	Menos de 0.3 metros de profundidad	Menos de 1.0 metros de profundidad
Arena	0.3 m/s	0.5 m/s
Greda arenosa	0.4 m/s	0.7 m/s
Greda	0.5 m/s	0.8 m/s
Greda de arcilla	0.6 m/s	0.9 m/s
Archilla	0.8 m/s	2.0 m/s
Mampostería	1.5 m/s	2.0 m/s
Concreto	1.5 m/s	2.0 m/s

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Tabla 2.4 Límites de velocidad del agua en el canal según diferentes tipos de suelo y revestimiento

Tipo de suelo	Velocidad máxima m/s	
	En agua limpia	Con material en suspensión o material de acarreo
Lodo	0.10	0.15
Barro suelto	0.15	0.20
Arena fina	0.30	0.40
Arena media	0.35	0.50
Limo arenoso	0.40	0.60
Arena gruesa	0.45	0.65
Grava muy arenosa	0.60	0.80
Limo compacto	0.70	1.00
Grava media	0.80	1.15
Tierra arcillosa grasosa	1.00	1.30
Grava gruesa, piedras	1.40	1.60
Piedras	1.70	1.80
Cantos rodados	1.90	2.00
Césped/prado	1.80	1.80
Tipo de revestimientos		
Concreto (Materia en suspensión con mucha arena)	-	2.0-2.5
Concreto (Agua sin arena)	4.0	
Mampostería con piedras sentadas y morteros	5.0	

Fuente: José David Arteta Corrales, (1994). *Proyecto de una Minicentral Hidroeléctrica de 120 kW para la localidad de Quillabamba Tesis de pregrado Universidad Nacional de ingeniería, Lima.*

c) Rugosidad: Cuando cualquier líquido transcurre por cualquier pared, en este caso el agua, siempre pierde energía debido al rozamiento que existe entre las paredes y el lecho. Dependiendo del material que este fabricado el conducto la rugosidad varia, entre más rugoso sea el material más será el incremento de pérdidas.

Se pueden tomar algunas consideraciones

- La velocidad del agua debe ser lo bastante rápida para evitar que los sólidos en suspensión (arena fina, etc.) se asienten en el fondo del canal, lo cual dañaría la tubería de presión.
- La velocidad del agua debe estar en un rango donde no dañe las paredes del canal, ocasionándole erosión.
- El revestimiento en el canal se debe de tomar en cuenta ya que la resistencia es una propiedad importante.
- La construcción de estos canales debe ser confiable y duradera. Debe estar construida para prevenir los imprevistos naturales, como lluvias

fuertes, rocas, derrumbes. Para evitar los meses de avenida pueden instalarles aliviaderos para el exceso de agua.

La rugosidad es utilizada en varias fórmulas para poder determinar la velocidad en un canal, se tiene diferentes valores de rugosidades dependiendo del material del canal. En la siguiente tabla veremos algunos ejemplos.

Tabla 2.5 Coeficientes de rugosidad para la fórmula de Manning.

Clase	Naturaleza de las paredes	n
1	Canal revestido con los de hormigón	0.012
2	Canal de hormigo colocado detrás de un encofrado y alisado	0.014
3	Zanja pequeña revestida de hormigón	0.016
4	Cana de tierra excavado de arcilla limosa	0.018
5	Revestimiento de hormigón hecho sobre roca	0.020
6	Canal en roca excavado con explosivos	0.040

Fuente: (Ven te Chow, *Hidráulica de canales abiertos*)

- d) Borde libre: El borde libre es la medida que existe entre el espejo del agua (nivel máximo del agua) y con el extremo superior del canal que aborda este flujo de agua. El objetivo de esta distancia vertical es tomado como medida de seguridad, que sirve para evitar que se rebalse el agua cuando ingrese un exceso de caudal. Normalmente esta distancia es un tercio del tirante de agua o 1.5 metros, dependiendo del caso se escoge siempre el mayor.
- e) Perímetro mojado: Es toda superficie que el agua llega a mojar en los lados del canal. Este perímetro depende de la forma del canal.


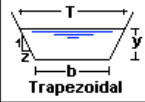
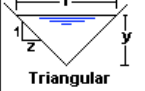
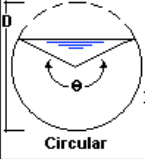
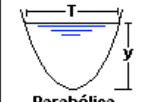
Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)
 Rectangular	by	$b+2y$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$

Figura 2.12: Fórmulas para calcular el perímetro mojado

Fuente: (Figura recuperada el 7 de agosto del 2018 de <https://es.wikipedia.org>)

- f) Radio hidráulico: El radio hidráulico representa la eficiencia de un canal. Cuando un canal tiene una gran sección transversal y un perímetro mojado pequeño quiere decir que el canal es eficiente. Entonces el agua tendrá una velocidad buena y tendremos muy pocas pérdidas. Existen fórmulas para calcular este radio hidráulico dependiendo del tipo del canal. Este radio hidráulico tiene el propósito de proporcionar la velocidad adecuada para el canal.

Sección	Área mojada	Perímetro mojado	Radio hidráulico														
	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$														
<table border="0"> <tr> <td>Área mojada</td> <td>by</td> <td>Perímetro mojado</td> <td>$b + 2y$</td> <td>Radio hidráulico</td> <td>$\frac{by}{b + 2y}$</td> </tr> <tr> <td>Áncho superficial</td> <td>b</td> <td>Profund. hidráulica</td> <td>y</td> <td>Factor de sección</td> <td>$by^{1.48}$</td> </tr> </table>	Área mojada	by	Perímetro mojado	$b + 2y$	Radio hidráulico	$\frac{by}{b + 2y}$	Áncho superficial	b	Profund. hidráulica	y	Factor de sección	$by^{1.48}$					
Área mojada	by	Perímetro mojado	$b + 2y$	Radio hidráulico	$\frac{by}{b + 2y}$												
Áncho superficial	b	Profund. hidráulica	y	Factor de sección	$by^{1.48}$												
	$(b + Zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$														
<table border="0"> <tr> <td>Área mojada</td> <td>$(b + Zy)y$</td> <td>Perímetro mojado</td> <td>$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$</td> <td>Radio hidráulico</td> <td>$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$</td> </tr> <tr> <td>Áncho superficial</td> <td>$b + 2Zy$</td> <td>Profund. hidráulica</td> <td>y</td> <td>Factor de sección</td> <td>$\frac{[(b + Zy)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2Zy}}$</td> </tr> </table>	Área mojada	$(b + Zy)y$	Perímetro mojado	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	Radio hidráulico	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$	Áncho superficial	$b + 2Zy$	Profund. hidráulica	y	Factor de sección	$\frac{[(b + Zy)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2Zy}}$					
Área mojada	$(b + Zy)y$	Perímetro mojado	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	Radio hidráulico	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$												
Áncho superficial	$b + 2Zy$	Profund. hidráulica	y	Factor de sección	$\frac{[(b + Zy)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2Zy}}$												
	Zy^2	$2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{Zy}{2\sqrt{1 + Z^2}}$														
<table border="0"> <tr> <td>Área mojada</td> <td>Zy^2</td> <td>Perímetro mojado</td> <td>$2y\sqrt{1 + Z^2}$</td> <td>Radio hidráulico</td> <td>$\frac{Zy}{2\sqrt{1 + Z^2}}$</td> </tr> <tr> <td>Áncho superficial</td> <td>$2Zy$</td> <td>Profund. hidráulica</td> <td>y</td> <td>Factor de sección</td> <td>$\frac{\sqrt{2}}{2} Zy^{1.48}$</td> </tr> </table>	Área mojada	Zy^2	Perímetro mojado	$2y\sqrt{1 + Z^2}$	Radio hidráulico	$\frac{Zy}{2\sqrt{1 + Z^2}}$	Áncho superficial	$2Zy$	Profund. hidráulica	y	Factor de sección	$\frac{\sqrt{2}}{2} Zy^{1.48}$					
Área mojada	Zy^2	Perímetro mojado	$2y\sqrt{1 + Z^2}$	Radio hidráulico	$\frac{Zy}{2\sqrt{1 + Z^2}}$												
Áncho superficial	$2Zy$	Profund. hidráulica	y	Factor de sección	$\frac{\sqrt{2}}{2} Zy^{1.48}$												
	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)D^3$	$\frac{1}{2}D - \theta$	$\frac{1}{4} \left(\frac{\cos\theta}{\theta} \right) D$														
<table border="0"> <tr> <td>Área mojada</td> <td>$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)D^3$</td> <td>Perímetro mojado</td> <td>$\frac{1}{2}D - \theta$</td> <td>Radio hidráulico</td> <td>$\frac{1}{4} \left(\frac{\cos\theta}{\theta} \right) D$</td> </tr> <tr> <td>Áncho superficial</td> <td>$(\cos\frac{1}{2}\theta)D$</td> <td>Profund. hidráulica</td> <td>$\frac{1}{8} \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\cos\frac{1}{2}\theta} \right) D$</td> <td>Factor de sección</td> <td>$\frac{\sqrt{1 - \cos\theta}}{32} \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\cos\frac{1}{2}\theta} \right)^{1.48} D^{2.48}$</td> </tr> </table>	Área mojada	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)D^3$	Perímetro mojado	$\frac{1}{2}D - \theta$	Radio hidráulico	$\frac{1}{4} \left(\frac{\cos\theta}{\theta} \right) D$	Áncho superficial	$(\cos\frac{1}{2}\theta)D$	Profund. hidráulica	$\frac{1}{8} \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\cos\frac{1}{2}\theta} \right) D$	Factor de sección	$\frac{\sqrt{1 - \cos\theta}}{32} \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\cos\frac{1}{2}\theta} \right)^{1.48} D^{2.48}$					
Área mojada	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)D^3$	Perímetro mojado	$\frac{1}{2}D - \theta$	Radio hidráulico	$\frac{1}{4} \left(\frac{\cos\theta}{\theta} \right) D$												
Áncho superficial	$(\cos\frac{1}{2}\theta)D$	Profund. hidráulica	$\frac{1}{8} \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\cos\frac{1}{2}\theta} \right) D$	Factor de sección	$\frac{\sqrt{1 - \cos\theta}}{32} \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\cos\frac{1}{2}\theta} \right)^{1.48} D^{2.48}$												
	$\frac{2}{3}Zy^3$	$Z + \frac{8}{3}Z^2 + \dots$	$\frac{2Z^2 y}{3Z^2 + 8Z + \dots}$														
<table border="0"> <tr> <td>Área mojada</td> <td>$\frac{2}{3}Zy^3$</td> <td>Perímetro mojado</td> <td>$Z + \frac{8}{3}Z^2 + \dots$</td> <td>Radio hidráulico</td> <td>$\frac{2Z^2 y}{3Z^2 + 8Z + \dots}$</td> </tr> <tr> <td>Áncho superficial</td> <td>$\frac{3A}{2y}$</td> <td>Profund. hidráulica</td> <td>$\frac{2}{3}y$</td> <td>Factor de sección</td> <td>$\frac{2}{9}\sqrt{6}Zy^{1.48}$</td> </tr> </table>	Área mojada	$\frac{2}{3}Zy^3$	Perímetro mojado	$Z + \frac{8}{3}Z^2 + \dots$	Radio hidráulico	$\frac{2Z^2 y}{3Z^2 + 8Z + \dots}$	Áncho superficial	$\frac{3A}{2y}$	Profund. hidráulica	$\frac{2}{3}y$	Factor de sección	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Zy^{1.48}$					
Área mojada	$\frac{2}{3}Zy^3$	Perímetro mojado	$Z + \frac{8}{3}Z^2 + \dots$	Radio hidráulico	$\frac{2Z^2 y}{3Z^2 + 8Z + \dots}$												
Áncho superficial	$\frac{3A}{2y}$	Profund. hidráulica	$\frac{2}{3}y$	Factor de sección	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Zy^{1.48}$												

Figura 2.13: Formulas para calcular el radio hidráulico

Fuente: (Ven te Chow, *Hidráulica de canales abiertos*)

- g) **Formula de Manning:** La fórmula de Manning es una fórmula que nos ayuda a conocer la velocidad que tiene un canal abierto, abarca todos los puntos vistos anteriormente.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S} \dots (Ec. 1)$$

Donde:

V: Velocidad media del agua (m/s) n: Coeficiente de rugosidad (adimensional)

Rh: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente de la línea de agua (m/m)

- h) **Formula de Kennedy:** Esta fórmula se utiliza para calcular la velocidad mínima para que las partículas de arena, grava, etc. no se sedimenten en el canal. Se calcula con la siguiente formula.

$$V_{sedimentacion} = C * h^{0.63} \dots (Ec. 2)$$

Donde:

V sedimentación: Velocidad de sedimentación o mínima dentro del canal (pies/s)

C: Coeficiente de sedimentación (adimensional)

h: Altura del canal (pies)

Para escoger el coeficiente de sedimentación se seleccionada de la siguiente tabla.

Tabla 2.6 Coeficiente de sedimentación

Agua fina	$C = 0.58$
Barro arenoso	$C = 0.59$
légamo grueso	$C = 0.70$

Fuente: *José David Arteta Corrales, (1994). Proyecto de una Minicentral Hidroeléctrica de 120 kW para la localidad de Quillabamba Tesis de pregrado Universidad Nacional de ingeniería, Lima.*

2.6.4 Desarenador

Un desarenador es una obra civil que tiene como objetivo eliminar partículas pequeñas de sólidos, como pueden ser arena, piedras, etc. Ya que el agua que pasa por el canal es captada por un bocatoma de un río, este río de por si puede llegar a transportar solidos extraños. Las partículas extrañas pueden llegar a dañar la tubería de presión y a los alabes mismos de la turbina. Sera necesario sedimentar las partículas extrañas tanto en el inicio del canal como en la entrada de la cámara de carga. Se deben de tener algunas pautas para el diseño de este elemento, ya que funcionara como elemento de seguridad para proteger los componentes de la turbina. Se debe de tener en cuenta algunos detalles para la construcción.

- La longitud y el ancho deben ser los adecuados para que los sedimentos logren depositarse, pero sin ser muy voluminosos o costosos.
- La eliminación de los depósitos ya sedimentados debe tener una eliminación fácil.
- Debe tener una buena capacidad para poder acumular los sedimentos
- Las turbulencias deben ser totalmente evitadas para poder evitar que los sedimentos lleguen a la tubería de presión.

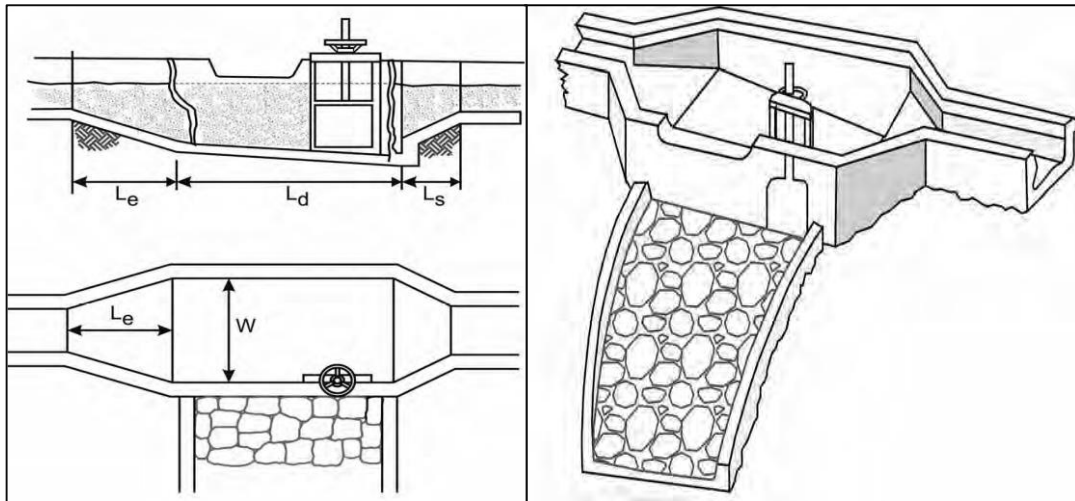


Figura 2.14: Esquema de un desarenador al inicio de un canal

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)



Figura 2.15: Ejemplo de un desarenador al inicio de un canal

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

El desarenador también se puede colocar al final del canal antes de la cámara de carga. La ubicación del desarenador no afecta para nada en su función ni perjudica al canal de conducción.

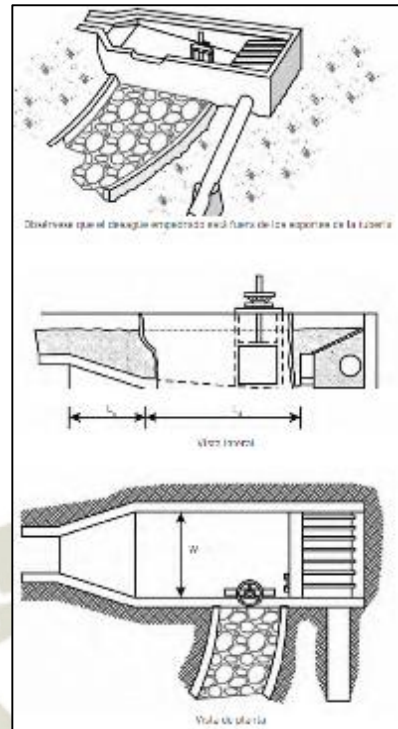


Figura 2.16: Esquema de un desarenador antes de la cámara de carga

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)



Figura 2.17 Ejemplo de un desarenador antes de la cámara de carga

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

2.6.4.1 Diseño de un desarenador

El diseño de un desarenador tiene unas medidas importantes las cuales son el ancho y la longitud del canal. Estas distancias sirven para tener el tiempo necesario para la sedimentación de los sólidos extraños. Existen algunas metodologías para diseñar un desarenador. Para un primer método se debe tomar en cuenta las siguientes propiedades.

- **El diámetro de partícula:** El diámetro partícula es la principal característica que se debe de conocer para poder dimensionar el desarenador correctamente, ya que de esa medida dependerá todo el diseño. Existen varias tablas que clasifican los diámetros de las partículas según la velocidad del agua, tipo de turbina, caída de agua, etc.

Tabla 2.7 Diámetro límite según el salto hidráulico

Diámetro límite de sólidos en suspensión	
H (m)	Diámetro límite (mm)
< 100	0.2 – 0.01
50 – 100	0.5 – 0.3
< 50	1.0 – 0.6

Fuente: *Leónidas Aspilcueta, Dany Juárez, (2014). Modelamiento hidráulico de la minicentral hidroeléctrica del centro poblado de Llopish - Ancash Tesis de pregrado Universidad Nacional de ingeniería, Trujillo*

Tabla 2.8 Diámetro de partículas a eliminar según el tipo de turbina

Diámetro de partículas para eliminar en el desarenador (mm)	Tipo de turbina
1-3	Kaplan
0.4-1	Francis
0.-0.4	Pelton

Fuente: *Giovene Pérez Campomanes, Cuarta sesión – Desarenadores*

- **Velocidad del flujo en el tanque:** También conocida como velocidad horizontal, es la velocidad que tiene el flujo de agua en un desarenador. Esta

velocidad no debe ser elevada para que se logre sedimentar y tampoco tan lenta, para que al salir del desarenador tenga una buena velocidad de salida. Existen tablas y a la vez fórmulas para poder calcular esta velocidad.

$$v = a * \sqrt{d} \dots (Ec. 3)$$

Donde:

V: Velocidad del flujo en el tanque (cm/s)

a: Constante en función del diámetro (adimensional)

d: Diámetro de la partícula (mm)

Tabla 2.9 Constante “a” en función del diámetro de partícula

a	d (mm)
51	0.1
44	0.1 – 1
36	>1

Fuente: *Giovene Pérez Campomanes, Cuarta sesión – Desarenadores*

- **Velocidad de sedimentación:** Esta velocidad es también conocida como la velocidad de caída que tiene un determinado tamaño de partícula a sedimentarse. Existen tablas recomendadas para poder escoger una velocidad de sedimentación y a su vez también existen fórmulas de varios investigadores.

a) Según Stokes y Sellerio

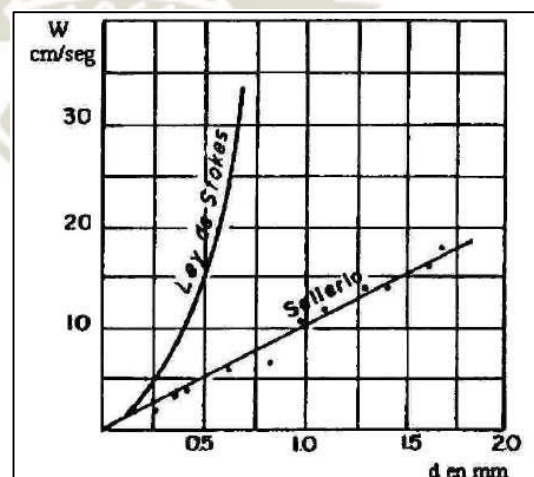


Figura 2.18: Grafico de Stokes y Sellerio para seleccionar una velocidad de sedimentación recomendada

Fuente: *(Manuel García (2015), Diseño de Desarenadores)*

b) Según Arkhgelski

Tabla 2.10 Velocidad de sedimentación recomendada según el diámetro de la partícula según Arkhgelski

d (mm)	w (cm /s)	d (mm)	w (cm /s)
0.05	0.178	0.55	5.940
0.10	0.692	0.60	6.480
0.15	1.560	0.70	7.320
0.20	2.160	0.80	8.070
0.25	2.700	1.00	9.44
0.30	3.240	2.00	15.29
0.35	3.780	3.00	19.25
0.40	4.320	5.00	24.90
0.45	4.860		
0.50	5.400		

Fuente: Manuel García (2015), *Diseño de Desarenadores*

c) Según Owens

$$w = k * \sqrt{d * (p_s - 1)} \dots (Ec. 4)$$

Donde:

w: Velocidad de sedimentación (m/s)

d: diámetro de partículas (m)

p_s : Peso específico del material (g /cm³)

k: Constante que varía según la forma y naturaleza de la partícula

Tabla 2.11 Constante “k” según la naturaleza y la forma para la fórmula de Owens

Forma y naturaleza	K
Arena Esférica	9.35
Granos redondeados	8.25
Grano cuarzo d > 3mm	6.12
Grano cuarzo d < 0.7 mm	1.28

Fuente: Manuel García (2015), *Diseño de Desarenadores*

d) Según Scotti – Foglieni

$$w = 3.8 * \sqrt{d} + 8.3 * d \dots (Ec. 5)$$

Donde:

D: diámetro de la partícula w: Velocidad de sedimentación (m/s)

- **Ancho y longitud del desarenador:** Tanto el ancho como la longitud del desarenador deben de tener una medida que logre permitir la sedimentación según el tamaño de partículas que hayamos escogido. Existen fórmulas para determinar estas dimensiones.

$$b = \frac{Q}{(h * v)} \dots (Ec. 6)$$

Donde:

b: Ancho del desarenador (m)

Q: Caudal que entra al canal (m³/s)

h: altura del desarenador (m)

v: Velocidad horizontal del agua en el desarenador (m/s)

$$Ld = \frac{(h * v)}{w} \dots (Ec. 7)$$

Donde:

Ld: Longitud del desarenador (m)

h: Altura del desarenador (m)

v: Velocidad horizontal del agua en el desarenador (m/s)

w: Velocidad de sedimentación (m/s)

Usualmente a la longitud del desarenador se le multiplica por un factor de seguridad que puede variar entre 1.5 a 3.0.

- **Verificaciones:** Después de ya haber calculado ya algunas dimensiones del desarenador podemos utilizar fórmulas para verificar que el cálculo este bien efectuado y el dimensionamiento del desarenador es el correcto. Para poder empezar a verificar tenemos las siguientes formulas

$$t = \frac{h}{w} \dots (Ec. 8a) \text{ y } t' = \frac{Ld}{v} \dots (Ec. 8b)$$

Donde:

t: tiempo de sedimentación (s)

h: Altura del desarenador (m)

w o v_s : Velocidad de sedimentación (m/s)

Ld: Longitud del desarenador (m)

v: Velocidad horizontal del agua en el desarenador (m/s)

Este sería el tiempo en el cual se demora la partícula en sedimentarse. Luego se procede a calcular el volumen conducido en ese tiempo.

$$V' = Q * t \dots (Ec. 9)$$

Donde:

V': Volumen del agua conducido en el tiempo de sedimentación (m³)

Q: Caudal del agua que entra al tanque (m³/s)

t: Tiempo de sedimentación (s)

Después de haber este volumen, se debe comparar con el volumen del desarenador y así verificar si las dimensiones son las correctas.

$$V = b * h * Ld \dots (Ec. 10)$$

Donde:

V: Volumen del desarenador (m³)

b: ancho del desarenador (m)

h: Altura del desarenador (m)

Ld: Longitud del desarenador (m)

Al terminar estos cálculos se comparan los dos volúmenes. El volumen del desarenador calculado con las dimensiones debe ser mayor al volumen calculado con el tiempo de sedimentación.

- **Longitudes de transición:** La longitud de transición de entrada es una pequeña recta inclinada donde empezara la sedimentación. Se calcula mediante la siguiente formula.

$$Le = \frac{T_1 - T_2}{2 * Tg\theta} \dots (Ec. 11)$$

Donde:

Le: Longitud de transición de entrada (m)

T₁: Ancho del desarenador (m)

T₂: Ancho del canal de conducción (m)

Θ: Angulo de divergencia (°)

El ángulo de divergencia puede variar según del diseño del desarenador.
 $\Theta < 12.5^\circ$, cuando queremos que las pérdidas de energía se reduzcan al mínimo y también para que los remolinos se reduzcan lo más posible.
 $\Theta < 25^\circ$, cuando la pérdida de energía no es importante por ejemplo en caídas rápidas (son más distancias más pequeñas que las anteriores).
Una manera rápida de comprobar la longitud de transición es la siguiente igualdad.

$$Le < \frac{1}{3} Ld \dots (Ec. 12)$$

Donde:

Le: Longitud de transición de entrada (m)

Ld: Longitud del desarenador (m)

También se calcula la longitud de transición de salida, la cual tiene la siguiente fórmula.

$$Ls = 0.8 * Le \dots (Ec. 13)$$

Donde:

Ls: Longitud de transición de salida (m)

Le: Longitud de transición de entrada (m)

Una vez terminados las dimensiones del desarenador pasaremos a calcular el vertedero que también es parte del desarenador.

2.6.4.2 Cálculos complementarios de un desarenador.

Existen algunos cálculos pequeños para detallar a un más a un desarenador.

- **Caída de fondo:**

$$\Delta Z = Lz * S \dots (Ec. 14)$$

Donde:

ΔZ : Diferencia entre las profundidades del desarenador (m)

Lz: Diferencia entre la longitud total y la longitud de transición de entrada (m)

S: Pendiente del fondo del desarenador (2%)

- **Profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado:**

$$H = h + \Delta Z \dots (Ec. 15)$$

Donde:

H: Profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado (m)

h: Altura del desarenador (m)

ΔZ : Diferencia entre las profundidades del desarenador (m)

- **Altura de cresta del vertedero con respecto al fondo del desarenador:**

$$hc = H - 0.25 \dots (Ec. 16)$$

Donde:

hc: Altura de cresta del vertedero con respecto al fondo del desarenador (m)

H: Profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado (m)

- **Compuerta de lavado:** La compuerta de lavado es la salida después del canal de desarenador. Simplemente se calculan sus dimensiones para poder descargar todo el caudal que entra al desarenador.

$$Ao = \frac{Q}{Cd * \sqrt{2 * g * hc}} \dots (Ec. 17)$$

Donde:

Ao: Área de la compuerta de lavado (m²)

Q: Caudal que ingresa al desarenador (m³/s)

Cd: Coeficiente de descarga para una pared delgada 0.6

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

hc: carga que soportara el orificio (m)

Este último dato puede hallarse de dos maneras:

- $hc = H - l/2 \dots (Ec. 18)$

Donde:

H: Profundidad del desarenador frente a la compuerta (m)

l: Lado de compuerta (m)

- La segunda manera es simplemente reemplazando hc por el valor de H.

Donde:

H: Profundidad del desarenador frente a la compuerta (m)

- **Velocidad de salida:** Esta es la velocidad con la cual el caudal regresara al canal de conducción se recomienda que tenga el valor entre 3m/s a 5m/s para evitar la erosión del concreto.

$$V_{salida} = \frac{Q}{A_o} \dots (Ec. 19)$$

Donde:

Vsalida: Velocidad de salida del caudal por la compuerta de lavado (m/s)

Q: Caudal que entra al desarenador (m³/s)

Ao: Área de la compuerta de lavado (m²)

2.6.4.3 Metodologías de diseño

Como se dijo en el **punto 2.6.4.1**, existen varias metodologías de diseño para un desarenador. Simplemente las variaciones son en los inicios del diseño, con respecto a las velocidades. Veremos a continuación las variaciones más significativas de otras metodologías de diseño.

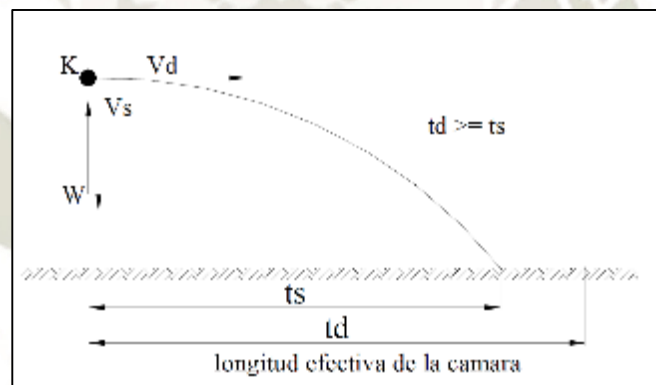


Figura 2.19: Comportamiento de una partícula de arena, bajo efectos de turbulencia

Fuente: (Ing. Víctor Maldonado Yactayo, Capítulo 7 – Sedimentación)

Donde:

Vd: Velocidad horizontal (m/s)

Vs: Velocidad de sedimentación (m/s) (También conocido como “w”, en otros autores)

ts: Tiempo de sedimentación (s)

td: Tiempo de desplazamiento (s)

La figura 2.19 expresa otras investigaciones sobre la sedimentación. Podemos ver que una determinada partícula de arena “K”, con un tiempo determinado llega a sedimentarse en el fondo del canal o en este caso del desarenador. Para empezar con esta metodología debemos de determinar que comportamiento tiene el fluido.

Para un $Re < 1$ (flujo laminar)

$$V_{s \text{ o } w} = (s - 1) * \frac{g}{18\mu} * d^2 \dots (Ec. 20)$$

Para un $Re > 2000$ (flujo turbulento)

$$V_{s \text{ o } w} = \sqrt{(s - 1) * \frac{4 * g * d}{3 * Cd}} \dots (Ec. 21)$$

Para un $1 < Re < 2000$ (flujo en transición)

$$V_{s \text{ o } w} = \sqrt{(s - 1) * \frac{4 * g * d}{3 * Cd}} \dots (Ec. 22)$$

Donde:

$V_{s \text{ o } w}$: Velocidad de sedimentación (m/s)

S: Peso específico del grano (g/cm³)

μ : Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

d: Diámetro de partícula de arena (m)

C_d : Coeficiente de resistencia de los granos (adimensional)

Este último dato dependerá del número de Reynolds que tenga el flujo.

$$Re = \frac{V_s * d}{\mu} \dots (Ec. 23)$$

Donde:

Re: Numero de Reynolds (adimensional)

Vs: Velocidad de sedimentación (m/s)

d: Diámetro de partícula de arena (m)

μ : Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

Una vez conocido el número de Reynolds, dependiendo del comportamiento del flujo el valor de Cd variara.

Para un $Re < 1$ (flujo laminar)

$$Cd = \frac{24}{Re} \dots (Ec. 24)$$

Para un $Re > 2000$ (flujo turbulento)

$$Cd = 0.44$$

Para un $1 < Re < 2000$ (flujo en transición), Para este valor se puede escoger entre las siguientes fórmulas para hallar el valor de Cd.

Tabla 2.12 Valores del coeficiente de arrastre

Autor	Formula
Rich	$Cd = \frac{18.5}{Re^{0.80}}$
Hatch	$Cd = \frac{14}{Re^{0.50}}$
Allen	$Cd = \frac{12.65}{Re^{0.50}}$
Fair-Geyer-Okun	$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$
Schiller-Newman	$Cd = \frac{12}{Re} * (1 + 10.14Re^{0.0687})$

Fuente: Ing. Víctor Maldonado Yactayo, *Capitulo 7 – Sedimentación*

Después de haber calculado la velocidad de sedimentación, todo el procedimiento hasta los cálculos complementarios del desarenador es iguales que la anterior metodología.

2.6.4.4 Tanque colector del desarenador

La cantidad de sedimentos que transcurren en un río dependen de la estación del año. Las temporadas cuando llueve en las alturas, conocidas como épocas de avenida. Estas épocas de avenidas crean bastantes turbulencias y aumentan las partículas de arena.

Al momento de terminar los cálculos y el diseño tanto del desarenador existe una última consideración que deben de realizarse para poder cerciorar que el diseño es el correcto.

$$dr = \frac{\text{Volumen de sedimento}}{W * Ld} \dots (\text{Ec. 25})$$

Donde:

dr: Profundidad del tanque colector (m)

Volumen de sedimento: Cantidad de sedimentos que captura el desarenador (m³)

W: Ancho del desarenador (m)

Ld: Longitud del desarenador (m)

Esta profundidad será necesaria para poder tener una capacidad para almacenar la cantidad de sedimentos. Esta cantidad dependerá del tiempo de limpieza (abertura de la compuerta de limpieza), y también de la razón de sedimentos que contenga el río.

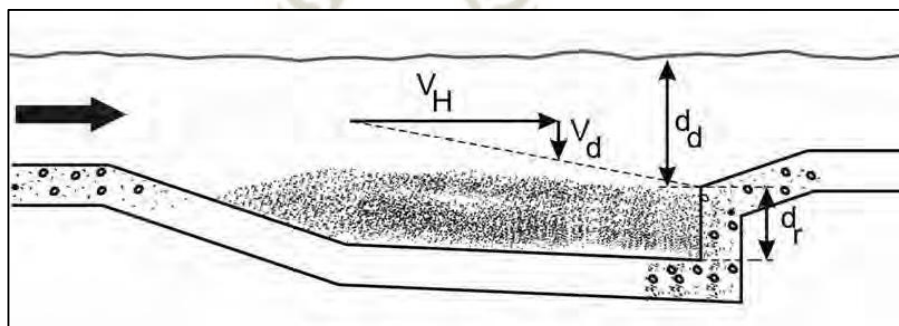


Figura 2.20: Representación de la medida “dr”

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Para poder hallar la capacidad del tanque debemos de determinar cada cuanto tiempo limpiaremos el desarenador y la cantidad de solidos disueltos que tiene el agua a transportar.

$$\text{Capacidad del tanque} = Q * T * SDT \dots (\text{Ec. 26})$$

Donde:

Capacidad del tanque: Es la cantidad de sedimentos que se deben de limpiar en un determinado tiempo (kg)

Q: Caudal de agua (m³/s)

T: Tiempo de intervalo de limpieza (s)

SDT: Cantidad de sedimentos totales que contiene el agua (kg/m³)

$$\text{Volumen de sedimento} = \frac{\text{Capacidad del tanque}}{\text{Densidad del grano de arena}} \dots (\text{Ec. 27})$$

Donde:

Volumen de sedimento: Es la cantidad volumétrica que se acumula en un determinado tiempo (m³)

Capacidad del tanque: Es la cantidad de sedimentos que se deben de limpiar en un determinado tiempo (kg)

Densidad: La densidad del grano de arena (kg/m³)

2.6.5 Vertederos o aliviadores

Un vertedero también conocido con el nombre de aliviador es una obra civil que sirve como dispositivo de seguridad. El objetivo de esta construcción se utiliza para eliminar el exceso de caudal que transcurre en un canal. Este exceso se produce más que todo en las épocas de avenida. Este vertedero debe tener un diseño para tener una descarga libre, se construye generalmente en el desarenador o a la continuación del desarenador.

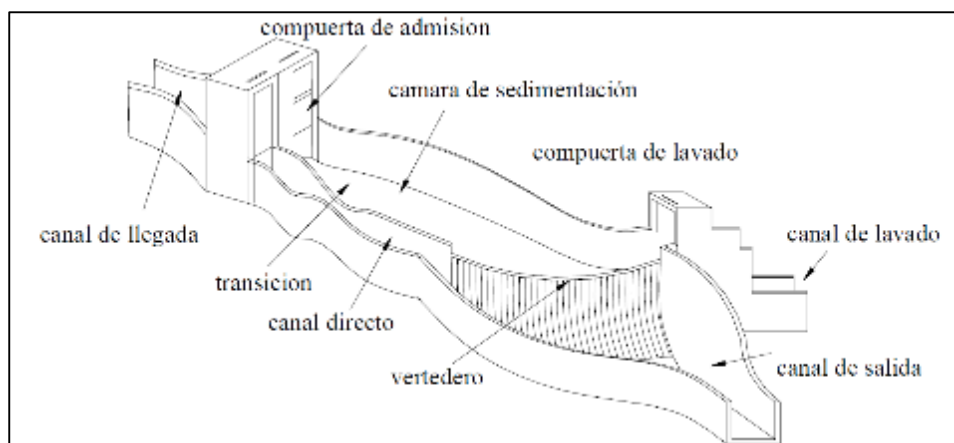


Figura 2.21: Ejemplo de un desarenador con vertedero

Fuente: (Giovane Pérez Campomanes, Cuarta sesión – Desarenadores)

2.6.5.1 Diseño de un vertedero

Existen algunas metodologías para diseñar un vertedero. Lo principal del diseño tener las medidas suficientes para poder eliminar el exceso de agua.

- **Longitud del vertedero:** En el diseño planteado el vertedero ira inmediatamente después del desarenador por así decirlo ira acoplado.

$$Lv = \frac{Q}{C * h^{3/2}} \dots (Ec. 28)$$

Donde:

Lv: Longitud del vertedero (m)

Q: Caudal de agua en el canal de conducción (m³/s)

C: Coeficiente de descarga (adimensional), Según el tipo de perfil del vertedero. Este varia 1.84 para tipo cresta aguda y 2.1 para tipo Creager

h: Altura de carga en el vertedero (m), Mínimo 0.10m y máximo 0.25m

- **Angulo central y radio del vertedero:** Son medidas para un buen diseño del vertedero cuando el vertedero está en una curva. Con la siguiente figura se entenderá mejor las medidas a calcular.

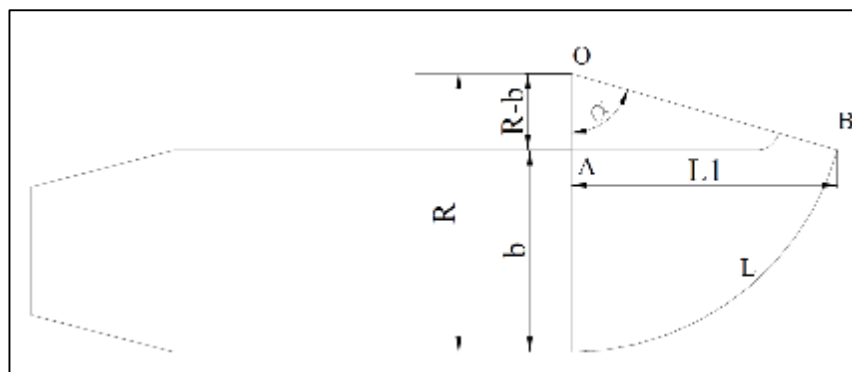


Figura 2.22: Dimensiones del radio y ángulo del vertedero.

Fuente: (Giovene Pérez Campomanes, Cuarta sesión – Desarenadores)

De la **figura 2.22** tenemos las siguientes igualdades:

$$R = \frac{180 * Lv}{\pi * \alpha} \dots (Ec. 29)$$

$$\cos \alpha = \frac{R - b}{R} \dots (Ec. 30)$$

$$R = \frac{b}{1 - \cos \alpha} \dots (Ec. 31)$$

igualando la ecuación 29 y 31 obtenemos: $\frac{180 * Lv}{\pi * b}$

$$= \frac{\alpha}{1 - \cos \alpha} \dots (Ec. 32)$$

Donde:

R: Radio del vertedero (m)

Lv: Longitud del vertedero (m)

b: Ancho del desarenador (m)

α: Angulo de apertura del radio del vertedero (°)

- **Longitud de la proyección longitudinal del vertedero:** Podemos decirle que es la longitud horizontal donde terminara el vertedero. En la figura 2.22 se aprecia mejor esta descripción. Se calcula mediante la siguiente formula

$$L1 = R * \text{Sen} \alpha \dots (Ec. 33)$$

Donde:

L1: Longitud de la proyección longitudinal del vertedero (m)

R: Radio del vertedero (m)

α: Angulo de apertura del radio del vertedero (°)

- **Longitud promedio:** Es simplemente el promedio de la suma de la longitud del vertedero y la proyección longitudinal del vertedero.

$$L_{prom} = \frac{L_v + L_1}{2} \dots (Ec. 34)$$

Donde:

L_{prom} : Longitud promedio (m)

L_v : Longitud del vertedero (m)

L_1 : Longitud de la proyección longitudinal del vertedero (m)

- **Longitud total:** La longitud total es la suma de todas las longitudes que embarcan tanto al vertedero como al desarenador.

$$L_T = L_e + L_{prom} + L_d \dots (Ec. 35)$$

Donde:

L_T : Es la longitud total del desarenador (m)

L_e : Longitud de transición de entrada (m)

L_{prom} : Longitud promedio (m)

L_d : Longitud del desarenador (m)

2.6.6 Cámara de carga

La cámara de carga o también conocida como tanque de presión, es una estructura que se encuentra entre el canal de conducción y la tubería de fuerza. Esta cámara consta con diferentes funciones.

- Evitar que, entre aire a la tubería de fuerza, manteniendo la altura mínima de diseño.
- Evitar que entre alguna partícula (ramas, pasto, rocas, etc.) extraña entre a la tubería, y estas dañen a los alabes de la turbina.
- Evitar las turbulencias, esto se consigue diseñando una entrada especial que conecta a la tubería de fuerza.
- Mantener la presión en la tubería de presión, para tener una generación eléctrica continua
- Evitar el golpe de ariete en la tubería a causa del cierre rápido de tuberías.
- Regular el flujo de agua hacia la tubería de fuerza manteniendo el caudal adecuado.

En una cámara de carga tiene algunos componentes, que podemos diferenciarlos y que son importantes para su diseño.

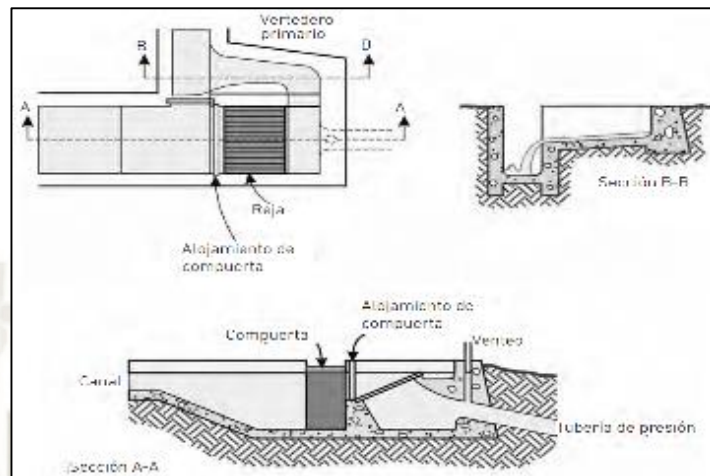


Figura 2.23: Diferentes componentes de una cámara de carga.

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Como podemos ver existen dos componentes importantes en la cámara de carga que son las rejillas y un vertedero adicional. Como describimos antes, los vertederos sirven para eliminar los excedentes de agua cuando viene un exceso de caudal. Las rejillas son elementos de seguridad y limpieza para impedir objetos extraños ingresen a la tubería de fuerza, su diseño y cálculo lo veremos más adelante. Podemos ver una pequeña tubería de venteo que ayuda a la expulsión de aire en la tubería de fuerza para evitar la cavitación.

2.6.6.1 Diseño de una cámara de carga

Como en todos los diseños existen siempre varios métodos para poder diseñar una cámara de carga. Pero la primordial medida que se deben de tener en cuenta es la altura mínima que debe de tener la tubería de fuerza para que mantenga constante su caudal y presión hacia la turbina.

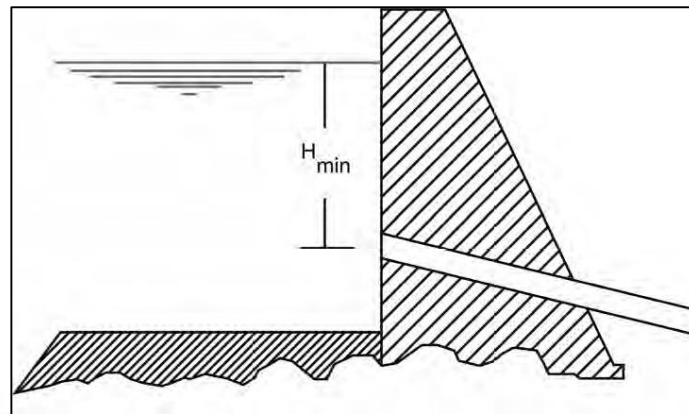


Figura 2.24: Altura mínima en una cámara de carga para la tubería de fuerza

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Vel)

- Metodología A: En esta metodología se prioriza primero la altura mínima y luego el volumen que debería tener la cámara de carga.

$$H_{min} = C * v * \sqrt{D} \dots (Ec. 36)$$

Donde:

Hmin: Altura mínima de agua sobre la entrada de la tubería de fuerza (m)

V: Velocidad media en la tubería de presión (m/s)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

C: Constante que varía entre autores (0.3, 0.4, 0.5 y 0.7)

Luego de haber calculado la altura mínima, se empieza a realizar combinaciones con las medidas de la cámara para ver cuál es la más adecuada tomando siempre en cuenta con la economía de la obra.

$$V_c = Q * T \dots (Ec. 37)$$

$$A_c = \frac{V_c}{hct} \dots (Ec. 38)$$

$$L_c = \frac{A_c}{wc} \dots (Ec. 39)$$

Donde:

Vc: Volumen requerido para la cámara de carga (m³)

Q: Caudal que entra a la cámara de carga (m³/s)

T: Tiempo de llenado de la cámara (s)

Ac: Área de la cámara de carga (m²)

hct: Altura total de la cámara de carga (m)

Lc: Longitud total de la cámara de carga (m)

wc: Ancho de la cámara de carga (m)

Todas estas dimensiones dependen del tiempo de llenado de la cámara que uno desea, el criterio de esa magnitud ya dependerá de la necesidad de la continuidad de flujo que se necesita en la tubería de fuerza.

- Metodología B: En esta segunda manera, primero se prioriza el volumen del tanque y después la altura mínima del tanque.

$$V_c = \frac{0.693 * A * Vt^2}{i * g} \dots (Ec. 40)$$

Donde:

Vc: Volumen requerido para la cámara de carga (m³)

A: Sección de la tubería de presión (m²)

Vt: Velocidad del agua en la tubería de presión (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

i: Pendiente del canal de conducción

Después de conocer el volumen requerido de la cámara de carga, se procede a calcular la altura mínima sobre la tubería de presión.

$$h_{min} = 0.724 * V * \sqrt{D} \dots (Ec. 41a) \text{ (Para salida lateral del flujo)}$$

$$h_{min} = 0.54 * V * \sqrt{D} \dots (Ec. 41b) \text{ (Para salida frontal del flujo)}$$

Donde:

hmin: Altura mínima de agua sobre la entrada de la tubería de fuerza (m)

V: Velocidad del agua en la tubería de presión (m/s)

D: Diámetro interior de la tubería de presión (m)

Al final dependiendo si la cámara de carga estará al final del canal de conducción o inmediato después del desarenador, se determina su longitud mediante la siguiente formula.

$$L_c = \frac{V_c}{wc * hct} \dots (Ec. 42)$$

Donde:

Lc: Longitud total de la cámara de carga (m)

Vc: Volumen de la cámara de carga (m³)

wc: Ancho de la cámara de carga (m)

hct: Altura total de la cámara de carga (m)

2.6.6.2 Rejillas

Como se describió antes, la función de estas rejillas es impedir materiales flotantes que entren en la tubería.

Para poder diseñar unas rejillas o escogerlas se tiene que tener en cuenta dos factores importantes que son la separación entre estas, el ángulo de limpieza y la forma de la barra. Se puede tener un criterio previo para la separación de las rejillas.

Tabla 2.13 Separación entre rejillas dependiendo el tipo de turbina

Tipo de turbina	Separación entre rejillas(mm)
Pelton	65 a 20
Francis	100 a 32
Hélice	200 a 50

Fuente: Leónidas Aspilcueta, Dany Juárez, (2014). *Modelamiento hidráulico de la minicentral hidroeléctrica del centro poblado de Llopish - Ancash Tesis de pregrado Universidad Nacional de ingeniería, Trujillo*

Una vez que se escoge la separación entre rejillas, se pasa a escoger el ángulo de limpieza. El ángulo “ α ” puede variar entre los siguientes valores

$$\alpha = 50^\circ \sim 55^\circ \text{ para limpieza manual}$$

$$\alpha = 70^\circ \sim 76^\circ \text{ para limpieza mecánica}$$

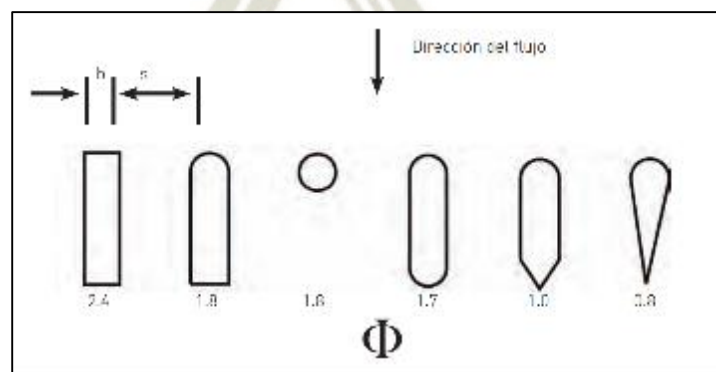


Figura 2.25: Coeficiente de contracción dependiendo de la forma de la barra

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas, Lima: Enric Vel*)

Una vez escogida la forma de la barra, el ángulo y la separación entre las barras, se procede a calcular las pérdidas que estas generan. Utilizamos la siguiente fórmula.

$$\Delta J = \phi * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2 * g} * \text{sen } \alpha \dots (\text{Ec. 43})$$

Donde:

ΔJ : Pérdidas en las rejillas (m)

ϕ : Coeficiente de contracción (adimensional)

S: Espesor de la barra (mm)

b: Separación entre rejillas (mm)

V: Velocidad del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

α : Inclinación de las rejillas (°)

2.6.7 Tubería de fuerza o tubería de presión

Las tuberías de presión o también llamadas tuberías de fuerzas son aquellas tuberías encargadas de llevar el agua a presión hasta la turbina. El dimensionamiento de esta tubería es de suma importancia ya que puede presentar una gran parte del costo del proyecto. Existen elementos que conforman toda esta tubería de presión.

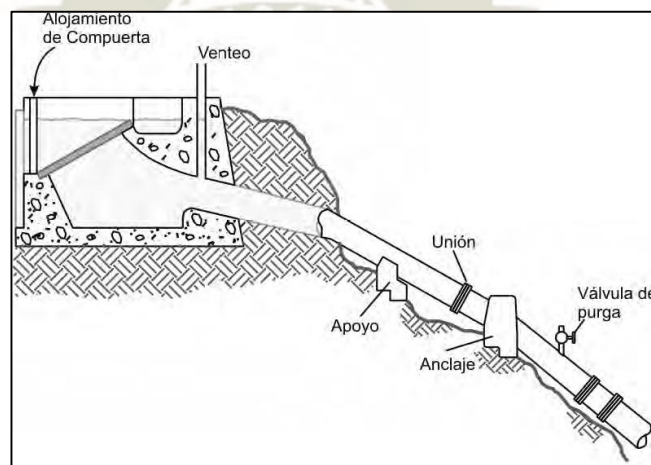


Figura 2.26: Componentes de una tubería de fuerza.

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Como podemos ver en la figura 2.26, existen varios componentes en una instalación de una tubería de presión, más adelante en esta sección describiremos cada elemento con mayor detalle.

Existen algunas recomendaciones para poder seleccionar esta tubería de fuerza.

- Escoger y comparar los materiales de la tubería, ya que uno representa diferente costo y también la fricción que esta puede generar. Ya que lo óptimo sería tener una baja de pérdida de presión en esta tubería. Analizar también los costos de mantenimiento, los espesores y diámetros disponibles en cada tipo de material de tubería.
- Tener en cuenta la pérdida por fricción, calcularlo y compararlo con otro tipo de materiales.
- Escoger un espesor adecuado para aguantar las diferentes presiones que estará sometida la tubería, como el golpe de ariete, la presión estática, cierres bruscos de válvulas.
- Seleccionar los soportes adecuados que soporten las fuerzas que la tubería y el fluido puede ocasionar.
- Simplificar costos realizando una tabla comparativa con el costo de la tubería con los diferentes componentes disponibles en el mercado
- Escoger un diámetro tratando siempre de simplificar costos y tener la mínima cantidad de pérdidas de energía.

2.6.7.1 Material de la tubería de presión.

- a) Acero: El acero es uno de los materiales más utilizados para casi todo tipo de industria. Gracias a sus propiedades que este presenta se pueden utilizar en diferentes rubros. Su facilidad de maquinabilidad, soldadura, uniones y variedad de dimensiones. Estas tuberías de acero pueden durar bastante tiempo, siempre y cuando se las proteja por ejemplo con pintura. La manera de unir tramos de tuberías de acero resulta simple ya que existen las bridas, soldadura o juntas mecánicas. Una de las pocas desventajas de este material es que corre el riesgo a correrse y contaminar la tubería y disminuir su espesor.
- b) Asbesto-cemento: El cemento es uno de los materiales más antiguos que se utilizaban para realizar este tipo de tuberías. La fricción que genera

este material es muy alta consecuentemente genera bastante perdida. El polvo que generan estas tuberías al ser cortadas es dañino para la salud. Estas tuberías son bastante frágiles, pero de un precio accesible para un proyecto pequeño.

- c) Policloruro de vinilo (PVC): Las tuberías de PVC son unas de las utilizadas para PCH. Una de las principales ventajas es su costo y la poca fricción que presenta. Tienen una amplia variedad de tamaños, y buena resistencia a presiones considerables. Su instalación es simple ya que su peso es liviano. El principal defecto es que son tuberías frágiles, puede ser dañada por impactos de rocas y se deteriora muy rápido si está expuesta a la luz solar. Se debe recubrir pintándola o enterrándola.
 - d) Resina de poliéster con fibra de vidrio reforzado: La resina reforzada con fibra de vidrio presenta un bajo coeficiente de fricción. Su instalación debe realizarse con cuidado ya que son frágiles. Pueden trabajar a presiones elevados, pero con la condición de que estén enterradas. En el mercado aun no son muy aceptadas.
 - e) Polietileno de alta densidad (HDPE): Este último material es el reemplazado a las tuberías de PVC. Son muy útiles para instalaciones pequeñas, debido a su facilidad de instalación. Su coeficiente de fricción es bajo, lo cual no generan muchas perdidas. Pueden estar expuestas a la luz solar sin dañarse. Una de sus pocas desventajas es su soldabilidad, ya que se debe calentar los extremos y fusionándolos a presión lo cual lo hace caro y un servicio caro.
 - f) Hierro dúctil centrifugado: Al principio este material fue el reemplazo del hierro fundido. En algunas aplicaciones su interior este revestido por cemento lo cual lo protege contra la corrosión. La manera de unir estas tuberías generalmente es por mediante de casquillos emperrados, espigas campanas y sellos flexibles o bien embridadas. La desventaja es que es un material pesado lo cual dificulta su instalación.
- Para poder escoger mejor un material para la tubería, compararemos las diferentes características de los materiales.

Tabla 2.14 Diferentes características de los materiales para tuberías de presión

Material	Perdidas por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Uniones	Presión
Acero dulce	*****	***	***	*****	*****	*****
PVC	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Concreto	*	*	*****	***	***	*
Hierro dúctil	****	*	****	**	*****	****
HDPE	*****	*****	*****	*****	*****	***

Fuente: Anil Kunwor, (2012). *Análisis de viabilidad y diseño de la microcentral hidroeléctrica Lamaya Khola, Tesis de Grado Gestor Industrial, Nepal*

2.6.7.2 Diseño y selección de la tubería de presión.

Para poder seleccionar una tubería de tamaño estándar se debe de conocer el diámetro requerido para entrar al catálogo de algún fabricante. Se pueden considerar varias recomendaciones o condiciones antes de empezar cualquier cálculo. Por ejemplo, el costo de la tubería que va de la mano con el tamaño y el tipo de material o poder cumplir con uno de dos requisitos fundamentales que es la caída de presión o la velocidad recomendada. Es muy difícil llegar a un diseño con estas condiciones. Es por eso por lo que se debe de aplicar un criterio propio antes de empezar con las metodologías de diseño. Como en cualquier cálculo existen varios caminos para calcular un diámetro adecuado, algunos métodos utilizan velocidades recomendadas para poder empezar el cálculo. Otras metodologías calculan el espesor y luego lo comprobando utilizando fórmulas de cálculo. A continuación, veremos algunas fórmulas para poder hallar este diámetro.

Tabla 2.15 Diferentes fórmulas para hallar el diámetro de una tubería de presión

Numero	Fórmula para hallar el diámetro de tubería
1	$D = (0.0085 * Q^3)^{1/7}$
2	$D = \left(\frac{8 * f * L * Q^2}{g * \pi^2 * hn}\right)^{1/5}$
3	$D = 1.13 * \left(\frac{Qd}{v}\right)^{1/2}$
4	$D = \sqrt[7]{0.052 * Q^3}$
5	$D = 1.5 * \sqrt{Q}$
6	$D = 2.69 * \left(\frac{n^2 * Q^2 * L}{H}\right)^{0.1875}$
7	$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$
8	$D = \left(\frac{5.2 * Q^3}{Hb}\right)^{1/7}$

Fuente: *Elaboración propia*

Donde:

D: Diámetro interno de la tubería (m)

Q y Qv: Caudal de diseño (m³/s)

f: Factor de fricción (adimensional)

H: Altura de la instalación (m)

V: Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s)

L: Longitud de la tubería (m)

El diámetro final no necesariamente debe de salir de alguna de estas fórmulas. Se puede utilizar procedimientos según normas o velocidades recomendadas de diferentes bibliografías. Por ejemplo algunos autores recomiendan velocidades en tuberías de 2 a 6 m/s otros difieren que para tuberías de presión la velocidad debería ser entre 4 a 6 m/s. Pero si hay que regirse por

factores de seguridad y espesor mínimo para soportar los diferentes esfuerzos que está sometida la tubería.

2.6.7.3 Espesor de la tubería

Después del tipo de material de una tubería, el espesor es una condición fundamental en cualquier diseño de tuberías. Esta medida debe ser calculada para que la tubería soporte las diferentes fuerzas que actúan sobre esta. Es una medida fundamental, la cual se calcula mediante norma, pero también existen algunos cálculos propuestos por otros autores. Veremos algunas formas de calcular el espesor

a) Según norma ANSI

$$e = \frac{P * D}{2 * S + P} \dots (Ec. 44)$$

b) Según norma DIN

$$e = \frac{P * (D - S)}{2 * S} \dots (Ec. 45)$$

c) Otros

$$e = \frac{P * D}{S} + c \dots (Ec. 46)$$

Donde:

e: Espesor de la tubería (mm)

P: Presión interna o Presión Nominal (Mpa)

D: Diámetro externo del tubo (normas), Diámetro interior (otros) (mm)

S: Esfuerzo admisible del material o tensión del material (Mpa)

c: espesor extra para la corrosión (mm)

La presión “P”, puede representarse con la presión máxima admisible que lo provee el proveedor según el tipo de tubería que uno escoja. Pero se compara con la presión que ejerce la caída de agua sumándole el golpe de ariete, el cual calcularemos más adelante.

$$P = Pa + \rho * g * h \dots (Ec. 47)$$

Donde:

Pa: Presión atmosférica en la superficie del agua (Pa)

p: Densidad del agua (kg/m³)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

h: Altura del agua (m)

2.6.7.4 Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno muy conocido que dañan severamente las tuberías. Esto ocurre al rechazar el agua en la tubería repentinamente, generado por un cierre de válvula o por la turbina. La energía cinética del agua se convierte en presión, causando una onda de choque, expandiendo la tubería. Este fenómeno se expande a lo largo de toda la tubería hasta que encuentra algún escape. Inversamente cuando se apertura una válvula de la turbina, se genera una succión en la tubería lo cual causa una compresión de la turbina. No solamente el golpe de ariete daña a la tubería, sino también puede dañar a los accesorios. Para evitar estos fenómenos se colocan unas chimeneas de equilibrio que hablaremos más adelante. De igual manera calcular el golpe de ariete es un cálculo bastante complejo que requiere modelamientos muy complejos.

Los métodos actuales de cálculo han llegado a una conclusión para poder calcular la sobrepresión que ocasiona el cierre de una válvula o la turbina. Existe una metodología para obtener estos valores y empezaremos con el cálculo de la celeridad.

- a) Celeridad: Podríamos decir que esta es la velocidad de onda de choque. Se calcula mediante las siguientes formulas

$$a = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{k * d}{E * e}}} \dots (Ec. 48)$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{K * d}{e}}} \dots (Ec. 49)$$

Donde:

a: Celeridad (m/s)

c: Velocidad del sonido del agua (m/s)

k: Modulo de elasticidad volumétrica del agua (kg-f/m²)

d: Diámetro interior (m) o (mm)

E: Modulo de elasticidad del material (kg/m²) o (Mpa)

e: Espesor de la tubería (m) o (mm)

K: Parámetro adimensional calculado con la expresión $(\frac{10^{10}}{E})$

Ambas formulas dan resultados parecidos solamente que los números diferentes son factores de conversiones para poder utilizar diferentes unidades.

- b) Tiempo crítico: Tiempo critico: Cuando se abre o se cierre una válvula esto provoca una onda de desplazamiento de agua. Esta onda va y viene a lo largo de la tubería. El tiempo critico se calcula mediante la siguiente formula.

$$Tc = \frac{2 * L}{a} \dots (Ec. 50)$$

Donde:

Tc: Tiempo critico (s)

L: Longitud de la tubería (m)

a: Celeridad (m/s)

- c) Tiempo de parada o tiempo de cierre: El tiempo parada también se conoce como el tiempo de cierre, que hace referencia al tiempo que demora la maniobra de apertura o cierre de una válvula. El tiempo de parada o de maniobra se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$Tp = C + \frac{K * L * V}{g * Hm} \dots (Ec. 51)$$

Donde:

Tp: Tiempo de cierre (s)

C: Coeficiente dependiendo la pendiente (adimensional)

K: Valor que depende del tamaño de la conducción (adimensional)

L: Longitud de conducción (m)

V: Velocidad del agua en la conducción (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Hm: Altura manométrica (m)

El coeficiente C y K se consigue de la siguiente tabla

Tabla 2.16 Valores de los coeficientes C y K para el cálculo del tiempo de cierre

Pendiente	Valor de C
0 – 20 %	1
30 %	0.5
> 40 %	0
Longitud	Valor K
< 500m	1.75
1000 m	1.50
> 1500m	1.25
2000 m	1

Fuente: (Robert Rubio i Vicent. *Brigades Rurals d'Emergència. Formador del Institut Valencià de Seguretat Pública (IVASP)*)

d) Longitud crítica: Es la longitud donde el golpe de ariete empieza alcanzar su máximo valor. La longitud crítica se puede estimar de la siguiente manera.

$$L_c = \frac{a * T_p}{2} \dots (Ec. 52)$$

Donde:

Lc: Longitud crítica (m)

a: Celeridad (m/s)

Tp: Tiempo de cierre (s)

e) Cierre lento y cierre rápido: Se le denomina cierre lento cuando el tiempo de parada es mayor al tiempo crítico. En viceversa cuando el tiempo de parada es menor al tiempo crítico se le conoce como cierre rápido. Dependiendo del tipo de cierre se tiene diferentes fórmulas para calcular la sobrepresión que ocasiona el golpe de ariete.

Si $T_p > T_c$ es un cierre lento, entonces se utiliza la formula de Michaud

$$\Delta H = \frac{2 * L * v}{g * T_p} \dots (Ec. 53)$$

Donde

ΔH : Sobrepresión causada por el golpe de ariete (m)

- L: Longitud de la tubería (m)
 v: Velocidad del agua (m/s)
 g: Aceleración de la gravedad (m/s²)
 Tp: Tiempo de parada o de cierre (s)

Si $T_p < T_c$ es un cierre rapido , entonces se utiliza la formula de Allievi

$$\Delta H = \frac{a * v}{g} \dots (Ec. 54)$$

Donde:

ΔH : Sobrepresión causada por el golpe de ariete (m)

a: Celeridad (m/s)

v: Velocidad del agua (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

- f) Instalaciones cortas e instalaciones largas: Son comparaciones para poder decidir las fórmulas que se deben utilizar para comprobar las sobrepresiones de golpe de ariete. Las medidas a comparas es la longitud de la instalación y la longitud critica.

*Si $L < L_c$ quiere decir que es una instalacion corta
se utiliza la formula de Michaud*

*Si $L > L_c$ quiere decir que es una instalacion larga
se utiliza la formula de Allievi*

- g) Presión máxima admisible: Como bien las siglas dicen PMA, en cualquier diseño siempre hay que verificar los esfuerzos máximos que se puede admitir el diseño. En este caso compararemos la PMA del material escogido con la presión que transcurre por la tubería.

$$H_s = P_a + \rho * g * h \dots (Ec. 55)$$

$$P_{max} = (H_s + \Delta H) \dots (Ec. 56)$$

Donde:

Hs: Presión que ocasiona el agua

Pa: Presión atmosférica (Pa, Bar, m.c.a)

p: Densidad (kg/m³)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

h: Caída de agua (m)

Pmax: Presión máxima que ocasiona el sistema de tuberías (Pa, Bar, m.c.a)

ΔH : Sobrepresión causada por el golpe de ariete (m)

Al final después de calcular la presión máxima que causa el sistema, esta se le compara con la PMA del material.

$$\text{Si } P_{max} < PMA$$

Quiere decir que la resistencia del material soportara las cargas del sistema

2.6.7.5 Válvulas en la tubería de presión

Existen varios de tipos de válvulas para muchos diferentes usos. Pero en los casos de PCH, nos limitaremos a trabajar solamente con válvulas de regulación y válvulas de apertura o cierre

a) Válvulas de regulación

Existen varios tipos de válvulas para regular el flujo en cualquier instalación. En los casos de las PCH, la válvula de regulación más utilizada son las válvulas tipo mariposa. Se podría decir que este tipo de válvulas pareciera una continuación de la tubería, dentro de esta válvula existe un disco que va conectado a un eje central. La operación de este tipo de válvulas es simple y requiere de poca fuerza, debido a presión en el disco esta balanceada a causa de la contracorriente en la tubería. La finalidad de este tipo de válvula es regular el flujo en la tubería, ya que en las PCH se tiene que poder regular el flujo dependiendo de la demanda eléctrica.

La facilidad de cierre y de apertura de esta válvula debe ser efectuada lentamente, con el fin de no generar un golpe de ariete en la tubería.

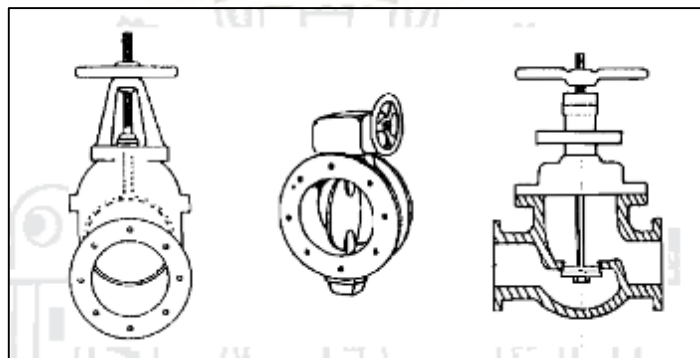


Figura 2.27: Diferentes tipos de cierre y apertura de las válvulas mariposa

Fuente: (Elviz Julver Goyzueta Arce, (2017). *Estudio y diseño para la minicentral hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara-Sandia-Puno* Tesis de pregrado Universidad Nacional del Altiplano, Puno)

b) Válvulas de apertura o cierre

Así como las válvulas de regulación existen varios tipos de válvulas para impedir o apertura el paso del flujo en la tubería. Pero hablando de PCH, las válvulas más comunes a utilizar son las válvulas de tipo compuerta.

El principio de funcionamiento consiste en disco metálica que obstruye en su totalidad a el paso del agua. Este disco puede subir o bajar a voluntad y este aguanta altas presiones. Este disco también es capaz de vencer la fuerza fricción del fluido. A consecuencia de esto se necesita una gran fuerza para poder operarlas.

En algunas instalaciones, cuando la tubería tiende a tener una gran tamaño, se pueden utilizar válvulas especiales que pueden llegar a ser las tipo guillotina. Estas válvulas han sido creadas para interrupción del paso. Consta de una guillotina que se desliza alrededor de todo su cuerpo.



Figura 2.28: Ejemplo de una válvula tipo guillotina

Fuente: (Figura recuperada el 13 de noviembre del 2018 de <http://www.directindustry.es>)

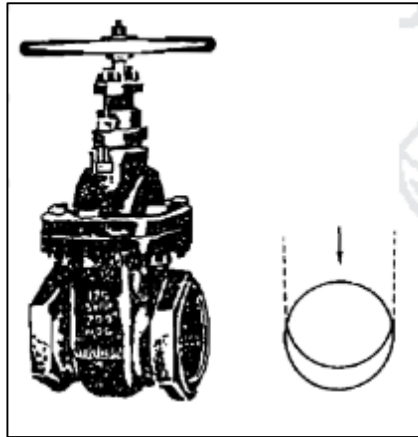


Figura 2.29:Diferentes tipos de cierre y apertura de las válvulas mariposa

Fuente: (Elviz Julver Goyzueta Arce, (2017). *Estudio y diseño para la minicentral hidroeléctrica ii etapa del distrito de Phara-Sandia-Puno Tesis de pregrado Universidad Nacional del Altiplano, Puno*)

2.6.7.6 Dispositivos de seguridad anti-ariete

Hoy en día, la mayoría de los proyectos, procesos y/o producción la seguridad siempre esta, ante todo. En una tubería de fuerza de una PCH, el principal riesgo es el golpe de ariete. Este puede causar la explosión de la tubería, o de accesorios anexos a esta.

Existen algunos equipos para poder evitar el golpe de ariete.

- a) Tanques hidroneumáticos con compresor: Estos tanques almacenan aire comprimido, lo cual compensan las sobrepresiones y las supresiones. La compresora se activa al momento que falte agua en la tubería y el aire comprimido escape cuando exista una sobrepresión dejando espacio para que el agua suba.
- b) Tanque hidroneumático con membrana: Cumplen la misma función y tiene el mismo principio de funcionamiento solamente que la membrana reemplaza al compresor.
- c) Tanques unidireccionales y chimeneas de equilibrio: Estos equipos simplemente compensan el golpe de ariete con energía gravitacional. La principal ventaja es que los tanques no necesitan mantenimiento, la desventaja es que tiene altos costos construcción.
- d) Volantes de inercia: Estos dispositivos de seguridad están ya fuera de uso, ya que su capacidad de protección era muy limitada.

- e) Ventosas o válvulas de aire: Tal como las chimeneas de equilibrio utilizan la presión de la energía atmosférica. Evitan las subpresiones dependiendo de su ubicación en la tubería. Su capacidad de protección es limitada, y su respuesta de protección no es instantánea. Requieren mantenimiento constante.

Principalmente, en las PCH se colocan chimeneas de equilibrio y pequeñas ventosas para poder expulsar el aire.

2.6.8 Apoyos y anclajes

Los soportes y anclajes son pequeñas estructuras que son hechas a base de concreto. En diferentes usos que no sean en PCHs, los anclajes y apoyos suelen ser de otro material. Estos anclajes y apoyos tienen dos principales funciones:

- a) Contrarrestar las fuerzas que ocasiona la tubería de fuerza
- b) Soportar el peso de la tubería y evitar que esta se pandee hasta la cámara de máquinas

Los soportes son los que sostienen el peso de la tubería, mientras que los anclajes absorben las diversas fuerzas que esta produce y la mantienen en el suelo. Existen varios factores que actúan en el diseño de estas estructuras, pero los principales que influyen son los cambios de dirección (codos) y la temperatura. La temperatura es un factor crucial para el diseño de las estructuras ya que la tubería puede dilatarse o contraerse. Estos cimientos deben ser construidos sobre suelos firmes y no rellenos ya que el peso de estos y a la fuerza de la misma tubería podrían hundir el suelo.

En las tuberías de PVC o Polietileno, la mayoría de los diseños estas tuberías van enterradas en el suelo, el cual evita la dilatación o la contracción de esta misma. Pero si es necesario tener un anclaje antes de la casa de máquinas y soportes hasta llegar a ella. En este proyecto la tubería es de polietileno de alta densidad pero esta ira anclada y soportada y se aprovechara la estructura ya hecha para poder cubrirla del sol de la costa. Con lo cual se prevendrá la dilatación o contracción.

2.6.8.1 Consideraciones previas de diseño

Antes de empezar el diseño de los soportes o anclajes hay que comprobar la flecha máxima (pandeo), que puede tener estas tuberías. Esta flecha dependerá

de la distancia entre los apoyos. La distancia entre apoyos se puede calcular mediante fórmula y ábacos recomendados por diferentes fabricantes. Para poder realizar este cálculo se debe de conocer el peso de la tubería y el peso del agua en transcurrir a través de esta.

$$Wt = \gamma_t * V_t \dots (Ec. 57)$$

$$Wt = \gamma_t * \frac{\pi}{4} * (De^2 - Di^2) \dots (Ec. 58)$$

$$Wa = \gamma_a * \frac{\pi}{4} * Di^2 \dots (Ec. 59)$$

$$W = Wt + Wa \dots (Ec. 60)$$

Donde:

W: Peso total de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

Wt: Peso de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

Wa: Peso del agua en el interior de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

γ_t : Peso específico del material de la tubería (kg-f /m³)

γ_a : Peso específico del agua (kg-f/m³)

Vt: Volumen de la tubería (m³)

De: Diámetro exterior de la tubería (m)

Di: Diámetro interior de la tubería (m)

a) Distancia entre apoyos según fórmula

$$L = 182.61 * \sqrt{\frac{(Di + 0.0417)^4 - D^4}{W}} \dots (Ec. 61)$$

Donde:

L: Longitud recomendada entre apoyos (m)

Di: Diámetro interno de la tubería (m)

D: Diámetro nominal de la tubería (m)

W: Peso total de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

b) Distancia entre apoyos según ábacos

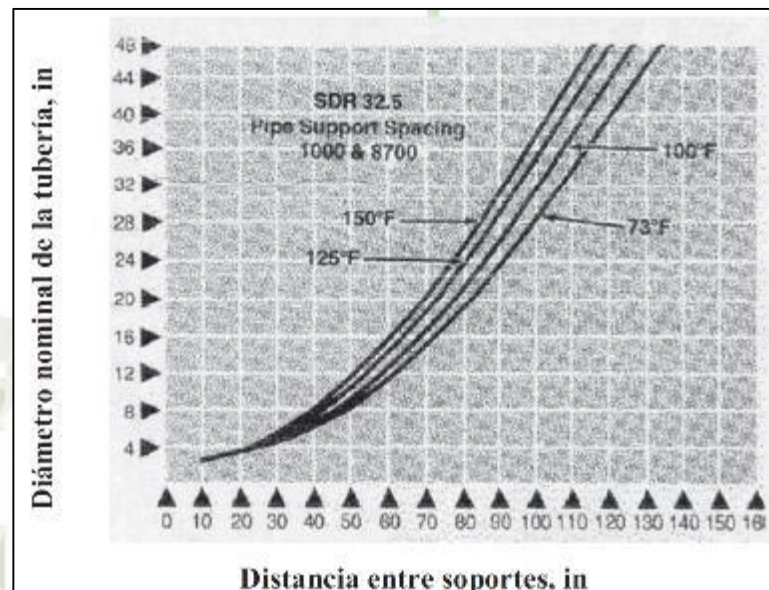


Figura 2.30: Abaco para seleccionar distancia entre soportes

Fuente: (*Manual de instalación de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD), octubre 2002, Revinca, S.A*)

Una vez calculada la distancia entre apoyos se procede a calcular la flecha máxima (deflexión máxima). En una tubería entre apoyos se toma como una viga.

El peso total de la tubería se distribuirá como vemos en la **figura 2.31** y la deflexión se reflejará como en la **figura 2.32**

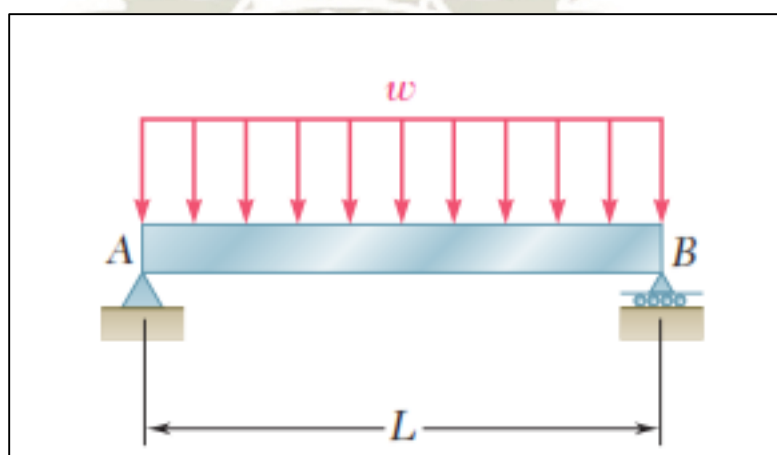


Figura 2.31: Carga distribuida sobre una viga

Fuente: (*Figura recuperada el 4 de octubre del 2018 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Viga>*)

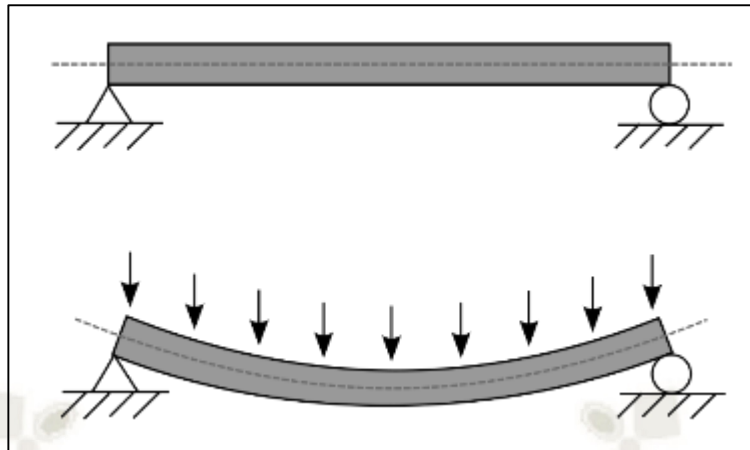


Figura 2.32: Deflexión de una viga simplemente apoyada.

Fuente: (Figura recuperada el 4 de octubre del 2018 de <https://dokumen.tips/documents/deflexiones-en-vigas-56812cb05ee35.html>)

Como la deflexión se toma como si fuese una viga entonces se calcula mediante la siguiente formula.

$$\Delta = \frac{5}{384} * \frac{W * L^4}{E * I} \dots (Ec. 62)$$

Donde

Δ : Deflexión máxima (m)

W: Peso total de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

L: Distancia entre apoyos (m)

E: Modulo de elasticidad del material (kg-f/m²)

I: Momento de inercia de la sección (m⁴)

Para poder hallar el momento inercia utilizamos la siguiente formula:

$$I = \frac{\pi}{4} * (R^4 * r^4) \dots (Ec. 62.1)$$

Donde:

I: Momento de inercia de la sección (m⁴)

R: Radio exterior de la tubería (m⁴)

r: Radio interior de la tubería (m⁴)

El resultado de la flecha máxima se comprará con la flecha admisible.

$$\Delta_{admisible} = \frac{L}{360} \dots (Ec. 62.2) \quad \Delta_{adm}$$

> $\Delta_{max} \dots (Ec. 62.3)$ Donde:

L: Longitud del tramo (m)

2.6.8.2 Diseño de los apoyos

El diseño de un apoyo es diferente al de un anclaje ya que interfieren diferentes tipos de fuerzas. La mayoría de los apoyos solamente cumplen la función de soportar el peso de la tubería y evitar el pandeo. En la **figura 2.33** podemos ver las fuerzas, y las direcciones que estas tienen. En muchos diseños el hecho que existan juntas de dilatación cambia mucho el análisis pero en nuestro caso no tendremos ya que no existirá cambios de temperatura.

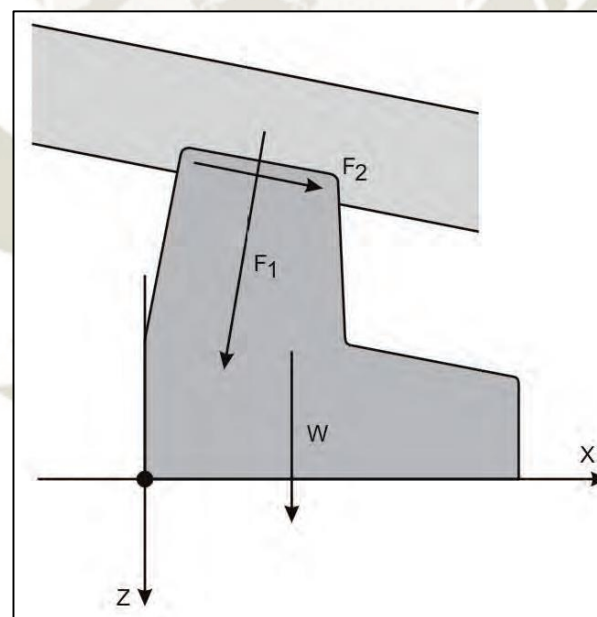


Figura 2.33: Diagrama de fuerzas que influyen en los soportes

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Para calcular las fuerzas se utilizan las siguientes formulas.

$$F1 = W * La * \cos \alpha \dots (Ec. 63)$$

$$F2 = \mu * F1 \dots (Ec. 64)$$

Donde:

F1: Fuerza que ocasiona el peso de la tubería llena con agua. (Kg-f)

F2: Fuerza de fricción entre el tubo y el apoyo. (Kg-f)

W: Peso total de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

La: Longitud entre apoyos o entre los puntos medios de dos tramos consecutivos (m)

α : Angulo de inclinación de la tubería ($^{\circ}$)

μ : Coeficiente de fricción entre la tubería y el apoyo (adimensional)

En la siguiente figura podemos apreciar mejor una inclinación de tubería y como va conformados los apoyos y anclajes.

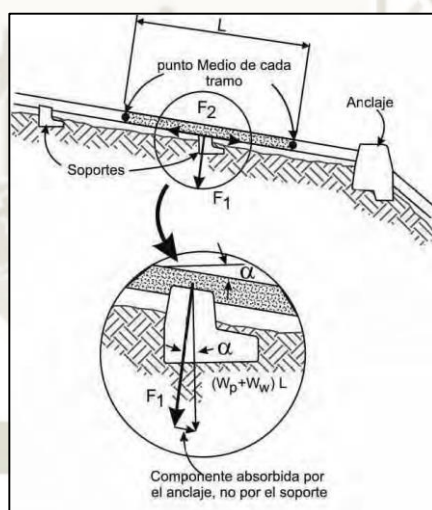


Figura 2.34: Fuerzas que influyen en los soportes dependiendo de la inclinación

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric)

2.6.8.4 Diseño de anclajes

El diseño de los anclajes es diferente al de los soportes. Estos anclajes tienen que absorber diferentes fuerzas que demanda la instalación. Existen dos tipos de anclajes: hacia afuera y hacia adentro.

Los anclajes hacia adentro tienen una mejor estabilidad ya que la totalidad de las fuerzas actúan sobre el terreno. En cambio los anclajes hacia afuera, las fuerzas actúan en dirección al aire o espacio.

Estos anclajes mayormente se colocan en el cambio de dirección de la tubería y también antes de llegar a la casa de máquinas. A continuación veremos las siguientes fuerzas que actúan en el diseño de un anclaje

- a) Fuerza uno (F1): Es la fuerza que ocasiona el peso de la tubería perpendicular a ella. Esta fuerza también influye en los apoyos. Se debe de considerar los dos tramos de la tubería, el que está aguas arriba y el de aguas abajo.

$$F1 = (Wt + Wa) * L1 * \cos \alpha \dots (Ec. 65)$$

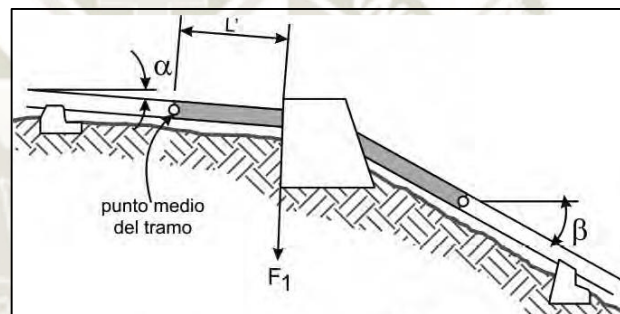


Figura 2.35: Fuerza uno para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F1: Fuerza que ocasiona el peso de la tubería perpendicular al anclaje.

(Kg-f)

L1: Distancia del anclaje al punto medio del tramo (m)

Wt: Peso de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

Wa: Peso del agua en el interior de la por unidad de longitud (kg-f – m)

α: Angulo de inclinación de la tubería aguas arriba (°)

- b) Fuerza dos (F2): Es la fuerza de fricción que ocasiona el rozamiento entre la tubería y los apoyos. Solamente existe solo cuando hay uno o más apoyos entre un anclaje y la junta de dilación.

$$F2 = \mu * (Wt + Wa) * L2 * \cos \alpha \dots (Ec. 66)$$

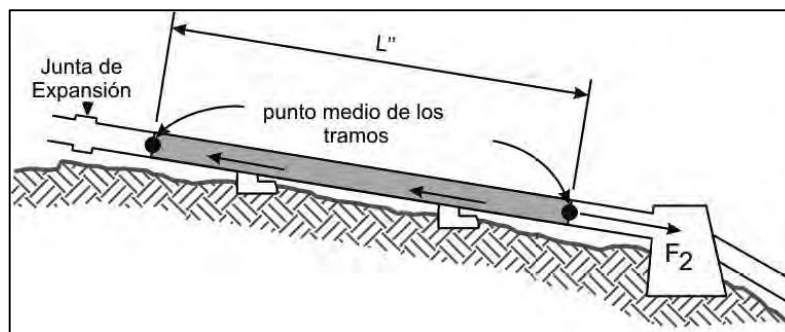


Figura 2.36: Fuerza dos para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F2: Fuerza de fricción entre la tubería y los apoyos (kg-f)

L2: Longitud de la tubería entre puntos medios de los tramos (m)

Wt: Peso de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

Wa: Peso del agua en el interior de la por unidad de longitud (kg-f – m)

α : Angulo de inclinación de la tubería aguas arriba ($^{\circ}$)

c) Fuerza tres (F3): Fuerza originada en los cambios de dirección debido a la presión dentro de la tubería. (Presión hidrostática)

$$F3 = 1.6 * 10^3 * H * D^2 * \text{sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2} \dots (\text{Ec. 67})$$

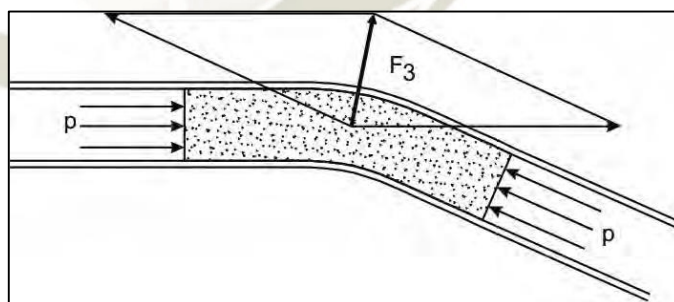


Figura 2.37:Fuerza tres para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

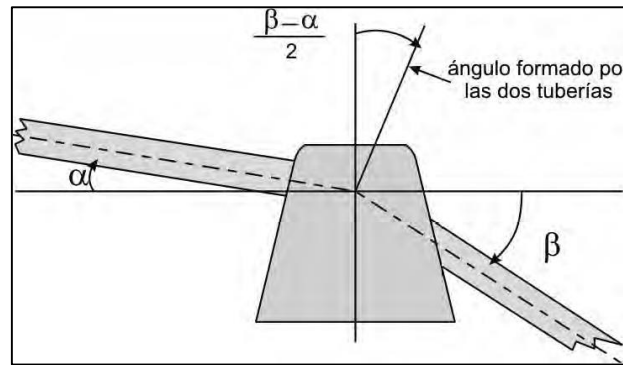


Figura 2.38: Angulo de la tubería

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F3: Fuerza ocasionada en los cambios de dirección debido a la presión hidrostática (Kg-f)

H: Altura del espejo de agua con respecto al anclaje (m)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

α: Angulo de inclinación de la tubería aguas arriba (°)

β: Angulo de inclinación de la tubería aguas abajo (°)

- d) Fuerza cuatro (F4): Fuerza ocasionada solamente por el peso de la tubería paralela a ella. El tramo aguas arriba con respecto al anclaje trata de empujar, mientras que esta componente trata de jalarlo aguas abajo.

$$F4 = Wt * L4 * \text{sen } \alpha \dots (\text{Ec. 68})$$

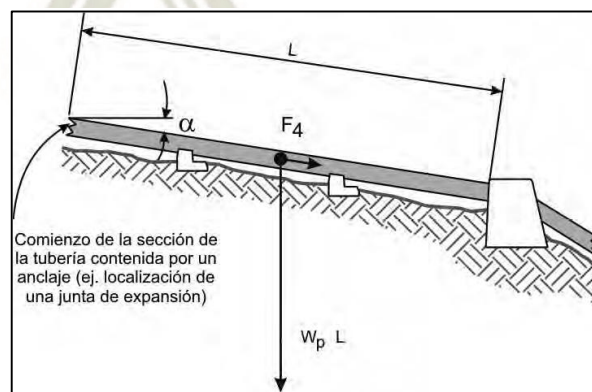


Figura 2.39: Fuerza cuatro para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F4: Fuerza ocasionada por el peso de la tubería paralela a ella (Kg-f)

Wt: Peso de la tubería por unidad de longitud (kg-f – m)

α : Angulo de inclinación de la tubería (°)

- e) Fuerza cinco (F5): Fuerza ocasionado por los cambios de temperatura en la tubería. Esta fuerza es muy importante ya que la temperatura puede lograr ocasionar dilataciones muy graves. Esta fuerza se origina cuando en el sistema de tubería no se cuenta con una junta de dilatación.

$$F5 = 31 * D * t * E * a * \Delta T \dots (Ec. 69)$$

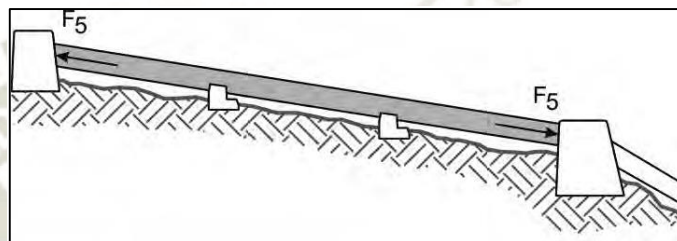


Figura 2.40: Fuerza cinco para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F5: Fuerza ocasionada por los cambios de temperatura (Kg-f)

D: Diámetro de la tubería (m)

t: Espesor de la tubería (mm)

E: Modulo de elasticidad de Young del material (Kg-f/cm²)

a: Coeficiente de dilatación lineal del material de la tubería (mm/m°C)

ΔT : Variación de temperatura (°C)

- f) Fuerza seis (F6): Fuerza ocasionada por el rozamiento interior de una unión de extensión. Usualmente esta fuerza es originada en el sello de junta de expansión.

$$F6 = 3.1 * D * C \dots (Ec. 70)$$

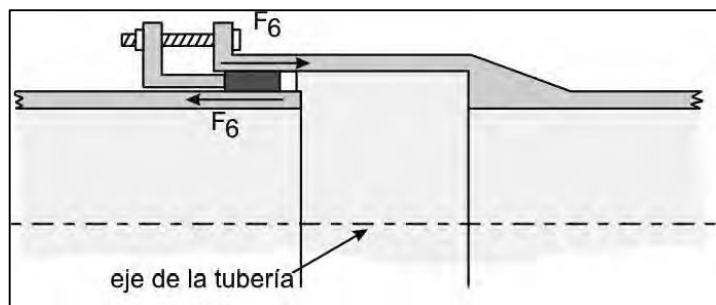


Figura 2.41: Fuerza seis para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F6: Fuerza de fricción en la junta de dilatación (Kg-f)

D: Diámetro interior de la tubería (m)

C: Fricción en la junta de la expansión por unidad de longitud de circunferencia.

Esta fuerza es dependiente del diámetro de la tubería. Una medida usual es 10 veces el diámetro nominal de la tubería en milímetros

g) Fuerza siete (F7): Esta fuerza es originada por la presión hidrostática en las juntas de expansión. Esta fuerza es una de la que menos magnitud tiene.

$$F7 = 3.1 * H * D * t \dots (Ec. 71)$$

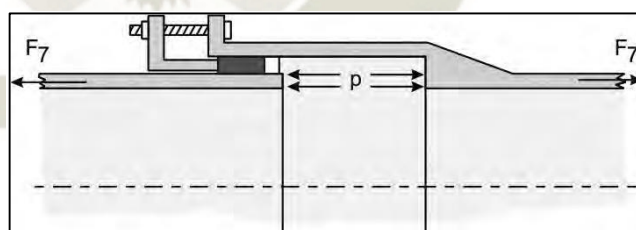


Figura 2.42: Fuerza siete para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F7: Fuerza en la junta de dilatación ocasionado por la presión hidrostática (Kg-f)

H: Altura del espejo de agua con respecto al anclaje (m)

D: Diámetro interior de la tubería (m)

t: Espesor de la tubería (mm)

- h) Fuerza ocho (F8): Esta fuerza se produce en los cambios de dirección mayormente en los codos. La presión dinámica del agua cambia por lo tanto también su velocidad, esto produce una fuerza.

$$F8 = 250 * \left(\frac{Q}{D}\right)^2 * \text{sen}\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right) \dots (\text{Ec. 72})$$

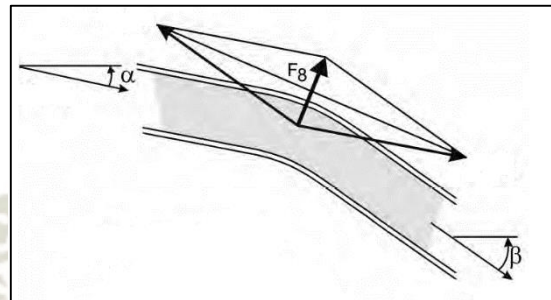


Figura 2.43: Fuerza ocho para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F8: Fuerza producida por la presión dinámica en cambios de dirección (Kg-f)

Q: Caudal (m³/s)

D: Diámetro exterior (m)

β: Angulo de inclinación aguas abajo (°)

α: Angulo de inclinación aguas arriba (°)

- i) Fuerza nueve (F9): Fuerza producida por alguna reducción en el sistema de la tubería.

$$F9 = 1 * 10^3 * H * \Delta A \dots (\text{Ec. 73})$$

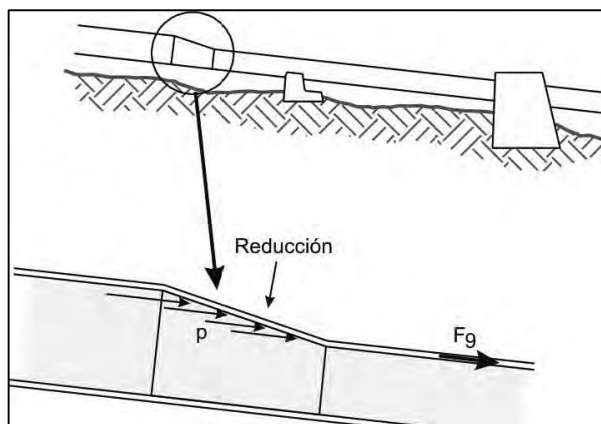


Figura 2.44: Fuerza nueve para diseñar un anclaje

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Donde:

F9: Fuerza en una reducción en las tuberías (Kg-f)

H: Altura del espejo de agua con respecto a la reducción (m)

ΔA : Diferencia entre las áreas de la tubería (m²)

2.6.8.4 Comprobaciones de diseño

Cuando se concretan todos los cálculos se procede a calcular las condiciones de estabilidad. En las fuerzas anteriores, las fuerzas F2, F5 y F6 cambian si la tubería se estuviese contrayendo. Obviamente las comprobaciones de estabilidad se realizan para ambos casos, cuando la tubería se esté dilatando y contrayendo. Cuando la tubería no sufre ningún cambio de temperatura y no tiene ninguna junta de expansión, las fuerzas que surgen por estos factores no existen.

A continuación veremos cómo se calcular estas tres condiciones:

$$1) \Sigma F_x < \mu_t * \Sigma F_y \dots (\text{Ec. 74})$$

Donde:

ΣF_x : Sumatoria de fuerzas en el eje x (Kg-f)

ΣF_y : Sumatoria de fuerzas en el eje y (Kg-f)

μ_t : Coeficiente de fricción entre el terreno y el apoyo de concreto

$$2) S_{base} < S_{adm} \dots (Ec. 75)$$

Donde:

S_{adm}: Esfuerzo de compresión que puede soportar el terreno (Kg-f/cm²)

S_{base}: Esfuerzo de compresión del terreno donde ira montado el anclaje (Kg-f/cm²). Se calcula mediante la siguiente expresión.

$$S_{base} < \frac{Ry}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right) \dots (Ec. 76)$$

Donde:

S_{base}: Esfuerzo de compresión del terreno donde ira montado el anclaje (Kg-f/cm²)

R_y: Reacción en el eje Y con respecto a todas las fuerzas (Kg-f)

A: Área de la base del apoyo o del anclaje (m²)

e: Excentricidad de la reacción vertical (m). Se calcula mediante la siguiente expresión

$$e = x - \frac{b}{2} \dots (Ec. 77)$$

Donde:

e: Excentricidad de la reacción vertical (m).

x: Distancia hacia la R_y, desde el origen del eje de coordenadas (m)

b: Largo de la base del apoyo o anclaje (m)

- 3) Cuando en el punto dos se opera con el “±”, saldrá un S_{base} mínimo. Este S_{base} mínimo debe ser positivo, en caso contrario quiere decir que el apoyo o anclaje se volteara.

2.6.9 Perdidas en el sistema

Como todo en sistema de tuberías, existen perdidas por varios factores. En esta sección analizaremos las pérdidas que se pueden encontrar en una PCH.

2.6.9.1 Pérdidas en la entrada de la tubería

Existen pérdidas a la entrada de la tubería que dependen de la forma de cómo está conectada la tubería a la cámara de carga. Esta pérdida se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$h_e = K_e * \frac{v^2}{2 * g} \dots (Ec. 78)$$

Donde:

h_e : Pérdida en la entrada de la tubería (m)

K_e : Coeficiente de pérdidas dependiendo la entrada a la tubería (adimensional)

v : Velocidad en la tubería (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

La siguiente figura muestra los diferentes tipos de enteradas que existen hacia la tubería. Dependiendo del tipo se escogerá un valor para el coeficiente “ K_e ”

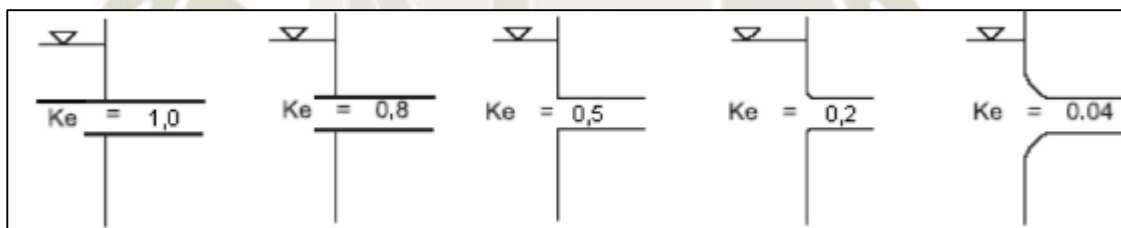


Figura 2.45: Coeficientes de pérdidas a la entrada de la tubería

Fuente: (Elviz Julver Goyzueta Arce, (2017). *Estudio y diseño para la minicentral hidroeléctrica ii etapa del distrito de Phara-Sandia-Puno Tesis de pregrado Universidad Nacional del Altiplano, Puno*)

2.6.9.2 Pérdidas por fricción en la tubería

Las pérdidas por fricción dependen mucho del tipo de material que se ha escogido en la tubería. Se calculan mediante la siguiente fórmula de Darcy Weisbach.

$$h_f = f * \frac{L * v^2}{D * 2 * g} \dots (Ec. 79)$$

Donde:

hf: Perdidas por fricción en la tubería (m)

f: factor de fricción (adimensional)

L: Longitud de la tubería (m)

v: Velocidad dentro de la tubería (m/s)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Para poder calcular el factor de fricción existen varios métodos.

a) Reynolds y diagrama de Moody

$$Re = \frac{vs * d}{\nu} \dots (Ec. 80)$$

Donde:

Re: Numero de Reynolds (adimensional)

vs: Velocidad del fluido (m/s)

d: Diámetro de la tubería (m)

ν: Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Luego se calcula la rugosidad relativa del material con la siguiente formula.

$$e = \frac{\varepsilon}{d} \dots (Ec. 81)$$

Donde:

e: Rugosidad absoluta (adimensional)

ε: Rugosidad relativa (mm)

d: Diámetro interior de la tubería (mm)

Luego de haber calculado la rugosidad absoluta se ingresa al diagrama de Moody y se obtiene un coeficiente de fricción.

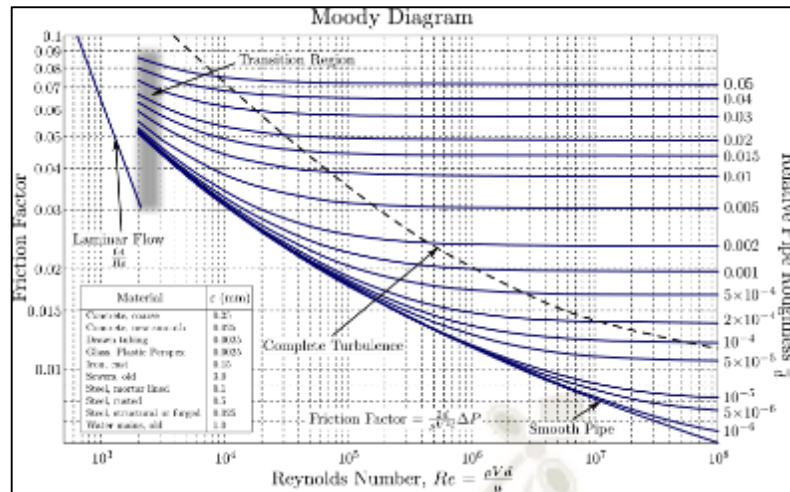


Figura 2.46: Diagrama de Moody

Fuente: (Figura recuperada el 11 de octubre del 2018 de https://ca.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Moody)

b) También se puede utilizar fórmulas para hallar el factor fricción.

$$f = 0.01 * \left(\frac{k}{D}\right)^{0.134} \dots (Ec. 82)$$

Donde:

f: Factor de fricción (adimensional)

k: Coeficiente según el material de la tubería (adimensional)

D: Diámetro interno de la tubería (adimensional)

Para poder seleccionar el factor “k”, nos podemos guiar de la siguiente tabla.

Tabla 2.17 Coeficiente "k" para la fórmula de fricción según el material de la tubería

Material de la tubería	K
Tubo plástico	5.00
Tubo de acero corroído	5.00
Tubo de hierro fundido	2.50
Tubo de acero	1.2

Fuente: (Elviz Julver Goyzueta Arce, (2017). *Estudio y diseño para la minicentral hidroeléctrica ii etapa del distrito de Phara-Sandia-Puno Tesis de pregrado Universidad Nacional del Altiplano, Puno*)

2.6.9.3 Perdidas por accesorios

Esta pérdida es una de las más considerables, ya que tiene una gran cantidad de pérdidas. Para hallar dichas pérdidas se utiliza la siguiente fórmula.

$$hm = Km * \frac{v^2}{2 * g} \dots (Ec. 83)$$

Donde:

hm: Perdidas por accesorios (m)

Km: Coeficiente de pérdida que depende del tipo de accesorios y cantidad (adimensional)

v: Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

2.6.9.4 Perdidas por rejillas

Como ya se describió antes en la **sección 2.6.6.2**, las pérdidas por rejillas se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta J = \emptyset * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2 * g} * \text{sen } \alpha \dots (Ec. 84)$$

Donde:

ΔJ : Perdidas en las rejillas (m)

\emptyset : Coeficiente de contracción (adimensional)

S: Separación entre rejillas (mm)

b: Ancho de las rejillas (mm)

V: Velocidad del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Una vez que se obtienen todas las pérdidas se suman todas. Estas pérdidas no deben exceder un máximo del 10%. Si no cumple habrá que diseñar y ajustar la instalación con otro diámetro de tubería más adecuado.

2.7 CASA DE MAQUINAS

Después de haber calculado las diferentes obras civiles, al final de toda PCH, existe una última construcción llamada casa de máquinas. La disposición de esta última obra civil debe ser revisada con atención, ya que igualmente para su construcción de esta se debe de considerar estudios topográficos, geológicos y geotécnicos.

La construcción de este edificio va a depender totalmente del tipo de la maquinaria que se va a utilizar, que dependen directamente del caudal y de la altura de aprovechamiento.

2.8 EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS

Dentro de los equipos electromecánicos, existen varios componentes que podemos nombrar como por ejemplo:

- Equipos de cierre de turbina
- Turbinas
- Generadores
- Elementos de regulación
- Transformadores
- Celdas y cuadros eléctricos
- Líneas eléctricas de conexión

En este proyecto dejaremos un poco de lado la parte eléctrica y nos enfocaremos más en la selección de la turbina que es una de las partes más importantes de este proyecto.

2.8.1 Turbinas hidráulicas

Una turbina hidráulica es un equipo que su objetivo es transformar la energía potencial del agua en energía mecánica. Al girar la turbina genera una potencia en su eje que el cual puede ir acoplado directamente a un generador o por medio de accesorios de transmisión. Este movimiento hace girar el eje del rotor el cual gira en el bobinados del generador que crea la energía eléctrica.

Para poder calcular la potencia del eje de la turbina se utiliza la siguiente formula.

$$Peje = \frac{\gamma * Q * Hb * n}{102} \dots (Ec. 85)$$

Donde:

Peje: Potencia al eje que entrega la turbina (kW)

γ : Peso específico del agua (Kg-f/m³)

Hb: Altura bruta de aprovechamiento (m)

n: Eficiencia de la turbina

2.8.1.1 Clasificación de las turbinas

Existen varias maneras de clasificar las turbinas a continuación veremos algunas cuantas.

- a) Según la presión estática en el rodete
 - Turbinas de acción: Cuando la presión estática permanece igual en la entrada y en la salida del rodete
 - Turbinas de reacción: Cuando la presión estática va disminuyendo a través del rodete. La presión disminuye entre la entrada y la salida.
- b) Según la dirección del flujo
 - Turbinas de flujo axial
 - Turbinas de flujo semi-axial
 - Turbinas de flujo radial
 - Turbinas de flujo tangencial
 - Según la admisión de fluido en el rodete
 - Turbinas de admisión total
 - Turbinas de admisión Total

2.8.1.2 Partes de una turbina hidráulica

- a) Distribuidor: Este elemento es estático, el cual puede cumplir diferentes funciones en las cuales podemos destacar.
 - Puede acelerar el flujo del agua
 - Puede dirigir el agua siguiendo un ángulo específico
 - Puede regular el caudal
- b) Rodete: Este elemento es como el corazón de la turbina ya que es una especie de disco que cuenta con las paletas, cucharas o alabes con están fabricados para girar a una velocidad angular. La transformación de la

energía cinética del agua se produce en el rodete ya que este es girado gracias a las paletas, cucharas o alabes.

- c) Carcasa: Este elemento sirve para cubrir y soportar las diferentes partes de una turbina. Por ejemplo en algunas turbinas tiene forma de espiral.
- d) Tubo de aspiración: Este elemento es muy utilizado en las turbinas de reacción y se instala seguidamente del rodete y tiene una forma como de un conducto divergente. Sus principales funciones son:
 - Recupera la altura entre el desagüe y la salida del agua en el rodete
 - Recupera parcialmente la energía cinética del agua en la salida del rodete

2.8.2 Tipos de turbinas

En la actualidad existen varios tipos de turbinas, en esta sección repasaremos las turbinas más comunes.

- a) Turbina Pelton: Esta turbina es una turbina de acción. Usualmente este tipo de turbina se utiliza para grandes caídas de agua y pequeños caudales. El rodete de esta turbina está compuesta por cucharones alrededor de su periferia. El agua se inyecta mediante una válvula aguja o también conocidos como inyectores.



Figura 2.47: Rodete de una turbina Pelton

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018 <https://es.123rf.com>)

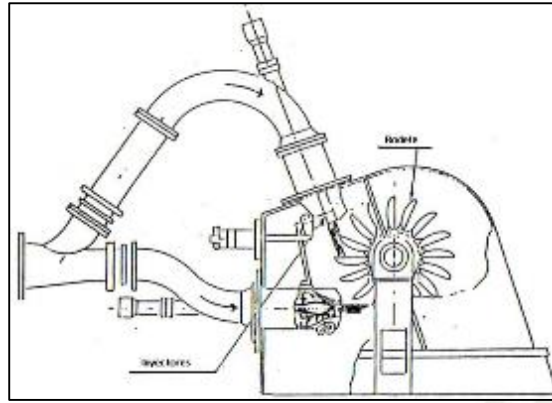


Figura 2.48: Funcionamiento de una turbina Pelton

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018 <https://www.researchgate.net>)

- b) Turbina de flujo cruzado: Esta turbina también es conocida como turbina Ossberger o Michell-Banki (gracias a su creador). Esta turbina tiene un inyector o distribuidor de sección rectangular. Esta especie de alabe oriente y control el caudal que ingresa al rodete de la turbina. El campo de aplicación de este turbina es muy amplia y varias desde el aprovechamiento de saltos entre 1 metro y 200 metros. Es conocida porque puede trabajar con una fracción muy diminuta de su caudal de diseño manteniendo un rendimiento del 85%.



Figura 2.49: Rodete de una turbina Michell Banki

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018 <http://www.instsani.pl>)

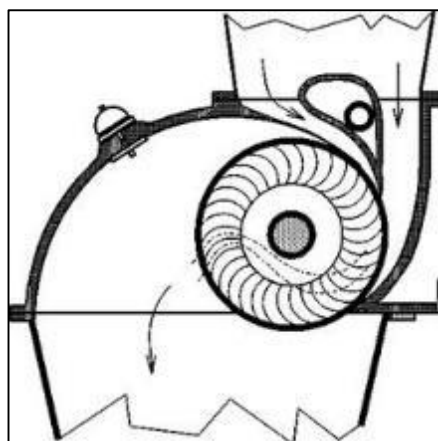


Figura 2.50: Funcionamiento de una turbina Michell Banki

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018 <http://energyprofessionalsymposium.com>)

- c) Turbina Francis. Esta turbina es turbina de reacción. Esta turbina se adapta muy bien a diferentes tipos de altura y caudales, desde los 10 metros hasta los cientos de metros. Esta turbina consta con un espiral donde el ingreso del agua es de forma radial, y luego distribuye el agua en forma axial el cual mueve las palas del rodete. Tiene diferentes maneras de poder instalarse tanto como de eje vertical, como horizontal. Existen también turbinas Francis de diferentes velocidades como lentas, normales , rápidas , super rápidas , etc.

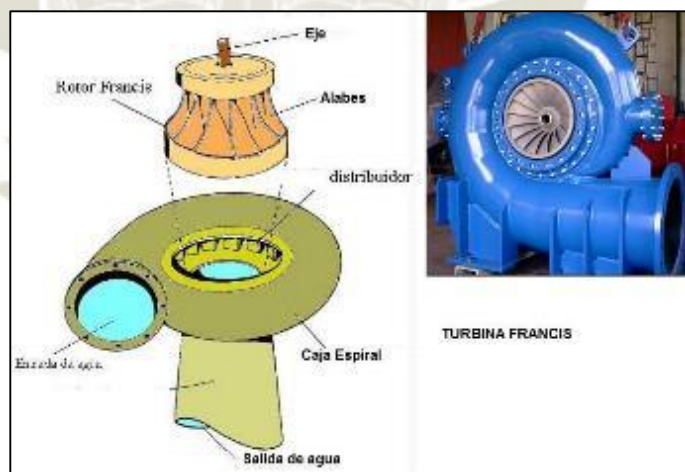


Figura 2.51: Turbina Francis, rodete y espiral

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018 <http://www.areatecnologia.com>)



Figura 2.52: Rodete de la turbina Francis

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018 <https://es.wikipedia.org>)

- d) Turbinas Kaplan, semi-Kaplan y hélice: Este tipo de turbina son tipo de reacción. Usualmente el rodete cuenta con 4 o 5 palas fijas lo cual formula una hélice como la de un barco, y cuenta con un tubo de aspiración lo cual hace que la mayoría de su utilización sea de eje vertical. La principal ventaja de estas turbinas es que puede funcionar con caídas de agua bajas pero siempre con un gran caudal. Hoy en día existen diferentes tipos de turbina Kaplan, las cuales se pueden acomodar con ejes tanto verticales como horizontales.

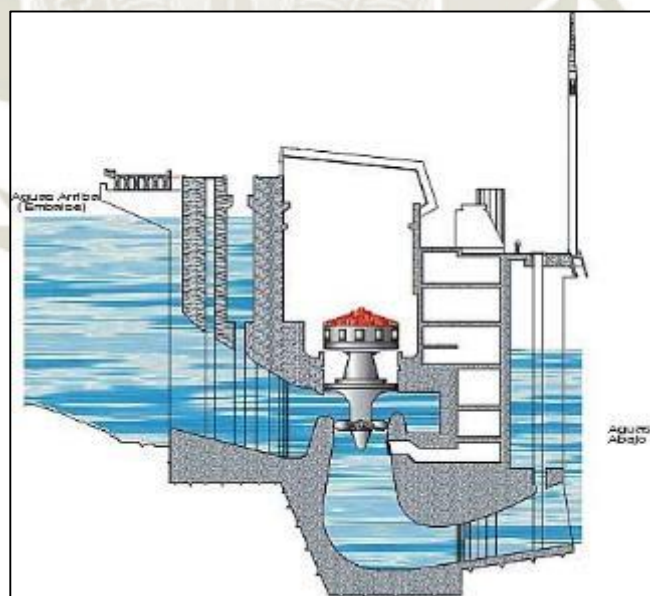


Figura 2.53: Turbina Kaplan

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018 <https://faeitch2012.wordpress.com>)

- e) Otros tipos de turbina

- Turbina tubular o en “S”. Son unas turbinas de reacción, que cuentan con una hélice. Puede ser ubicadas tanto con ejes horizontales, inclinados o verticales. Superan en rendimiento a las Kaplan. Se utilizan para PCH de pequeñas cargas. Hay que tener en cuenta que tienen una gran velocidad de empalamiento.

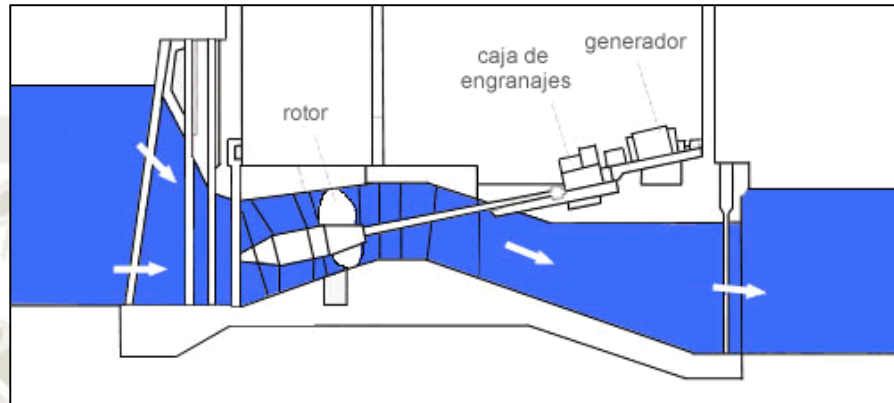


Figura 2.54: Turbina tubular

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018
<https://www.textoscientificos.com>)

- Turbinas bulbo: Esta turbina consta de un generador que está sumergido dentro de una especie de tubería. El generador está protegido por una carcasa impermeable. Apta para cargas pequeñas y también posee una alta velocidad de empalamiento.

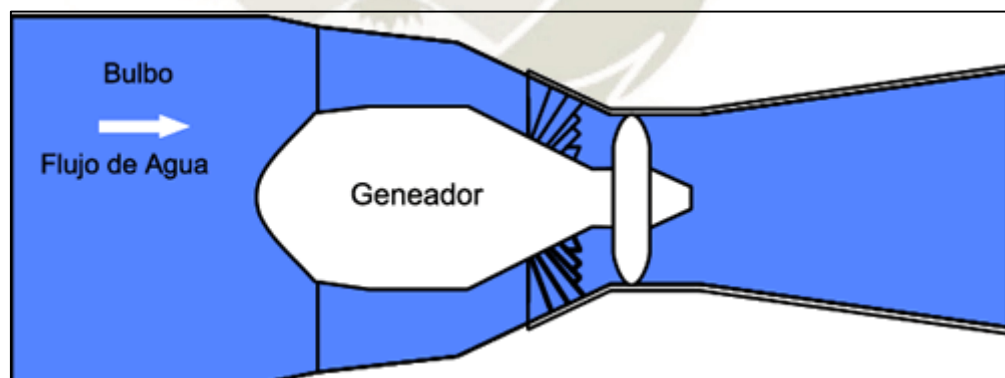


Figura 2.55: Turbina bulbo

Fuente: (Figura recuperada el 14 de noviembre del 2018
<https://www.textoscientificos.com>)

2.8.3 Selección del tipo de turbina

Para poder escoger correctamente una turbina, se puede utilizar varios criterio como el costo de la turbina, las obras civiles que se deben de hacer, la forma de

instalación, el mantenimiento. Existen varios gráficos para poder seleccionar una turbina con sabiendo el caudal disponible en la instalación y la caída de agua que podemos aprovechar. Pero uno de los métodos más efectivos es escogiendo una turbina por su número específico de turbina.

2.8.3.1 Numero específico de una turbina

El número específico de una turbina es el número de revoluciones al cual giraría una turbina prototipo instalada en un salto de un metro de altura, la potencia es dada en kW o Hp. A este número específico se le conoce como numero de Camerer. Este número es muy importante ya que nos va a ayudar a determinar la turbina adecuado. Según varios fabricantes de turbina utilizan este número para construir los diferentes tipos de turbina. Este número se calcula mediante la siguiente formula.

$$Ns = \frac{N * \sqrt{P}}{H^4} \dots (Ec. 86)$$

Donde:

Ns: Numero específico de una turbina (RPM)

N: Numero de revoluciones de la turbina (RPM)

P: Potencia al eje de la turbina (kW o C.V.)

H: caída de agua (m)

Este número de revoluciones de la turbina “N”, se puede traducir a la velocidad con el cual el eje acoplado a esta va a girar. Existen turbina ya acopladas con el eje del generador mediante un acople. Obviamente también existen diferentes sistemas de transmisión (Fajas, correas, cadenas, etc.), pero estas suelen generar reducción de la eficiencia. Estas transmisión más se utilizan cuando el eje no está acoplado directamente con el generador, simplemente para generar otro tipo de relación de transmisión que facilite la selección del generador.

El número de revoluciones de la turbina, cuando va acoplado directamente a un generador, se puede calcular mediante la siguiente formula.

$$N = \frac{60 * f}{P} \dots (Ec. 87)$$

Donde:

N: Numero de revoluciones por minuto (RPM)

f: Frecuencia del sistema (Hz)

P: Numero de pares de polos del alternador

A continuación veremos algunas gráficas y tablas donde se podrá ver el diferente campo de utilización de diferentes tipos de turbina.

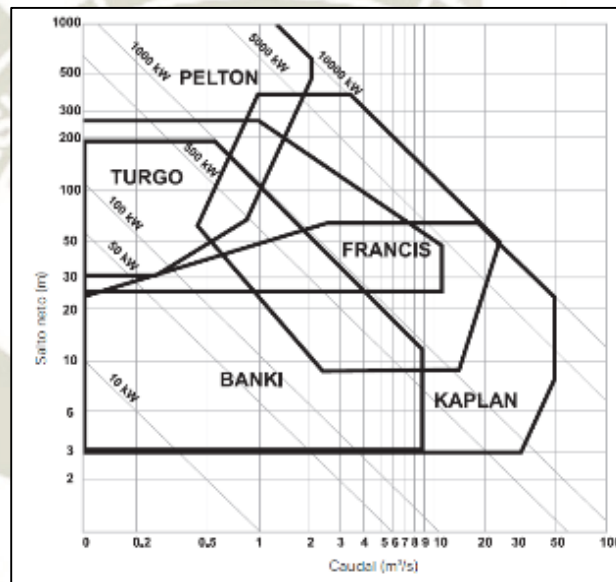


Figura 2.56: Ábacos para seleccionar turbinas según el caudal y el salto

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

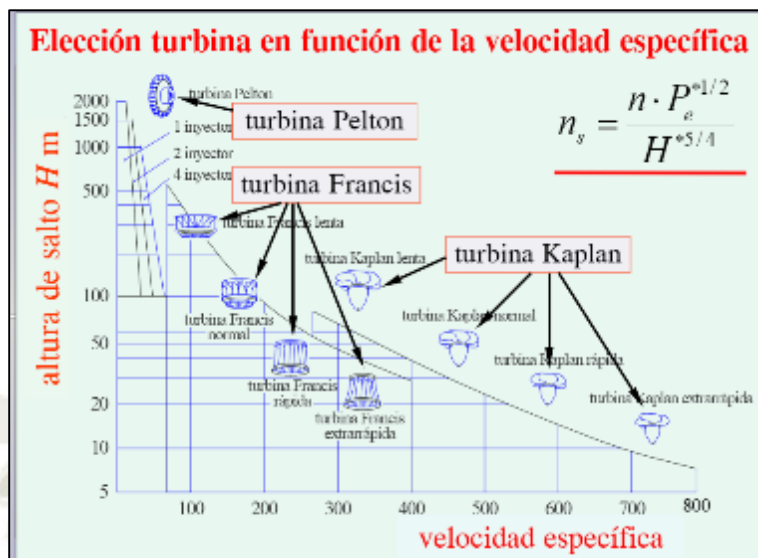


Figura 2.57: Abaco para selección de turbina según “Ns”

Fuente: (José Agüera Soriano 2011-Turbinas hidráulicas)

Tabla 2.18 Clasificación de las turbinas según su salto y Ns

Velocidad específica (Ns)	Tipo de turbina	Altura del salto (m)
Hasta 18	Pelton con 1 tobera	800
18 a 25	Pelton con 1 tobera	800 – 400
26 a 35	Pelton con 1 tobera	400 – 100
26 a 35	Pelton con 2 toberas	800 – 400
36 a 50	Pelton con 2 toberas	400 – 100
51 a 72	Pelton con 4 toberas	400 - 100
55 a 70	Francis lentísima	400 - 200
70 a 120	Francis lenta	200 - 100
120 a 200	Francis media	100 - 50
200 a 300	Francis veloz	50 - 2
300 a 450	Francis ultra velocísima	25 - 15
400 a 500	Hélice velocísima	Hasta 15
270 a 500	Kaplan lenta	50 - 15
500 a 800	Kaplan veloz	15 - 5
800 a 1100	Kaplan velocísima	5

Fuente: (Zoppetti, Gaudencio, CENTRALES HIDROELECTRICAS, Barcelona, Gustavo Gili, 4 ed., 1979. p. 126.)

CAPITULO III

3. CALCULO Y RESULTADOS

Según los datos locales, gracias a la disponibilidad del agua se diseñarán las diferentes obras civiles que deberá tener la minicentral hidroeléctrica del presente proyecto.

3.1 ANALISIS DE LA BOCATOMA

En la bocatoma actual no es necesario realizar ningún cambio, ya que el caudal que pasa por el canal de aducción es la suficiente pero para poder llegar a una buena generación de energía eléctrica. Ya que uno de los principales objetivos de este proyecto es realizar una buena generación de energía eléctrica gastando pocos recursos, en los cuales están incluidos el dinero, personal y materiales.

Para poder estar seguros del caudal constante se controló visualmente el nivel de agua por un año y en la época de mayor avenida se tomó una medida de caudal en el canal de aducción. La alimentación de agua también depende de la demanda que necesitan los regadíos y la fábrica. Hoy en día la distribución del agua es encargada por una junta de usuarios alrededor de todo el valle. Hablando con la junta de usuarios, la central azucarera Chucarapi, tiene los derechos y la opción de optar con más agua durante cualquier época del año. Esto nos garantizaría un buen caudal de manera constante.

3.2 MEDICIÓN DEL CAUDAL EN EL CANAL DE ADUCCIÓN.

Para poder medir el caudal, utilizamos el método del flotador. Para este método se ha utilizado los siguiente materiales:

- Botella
- Wincha
- Lapicero
- Hoja
- Cronometro

El método consta de medir dos secciones trasversales del canal y medirlas. Con las medidas lograremos sacar el área transversal de dichas secciones. Estas secciones deben estar en un tramo totalmente recto. Luego se lanza cualquier objeto que flote en este tramo y se toma el tiempo que demora este objeto en cruzar este tramo. Para entender mejor este método nos guiaremos de la siguiente figura.

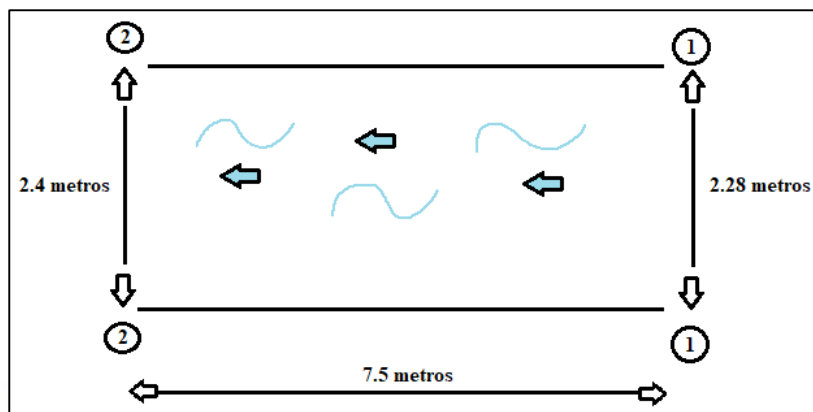


Figura 3.1: Tramo que se utilizó para medir el caudal

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura se ha medido un tramo recto de 7.5 metros y dos secciones transversales con sus respectivas medidas. En la siguientes figuras visualizaremos mejor las secciones transversales.

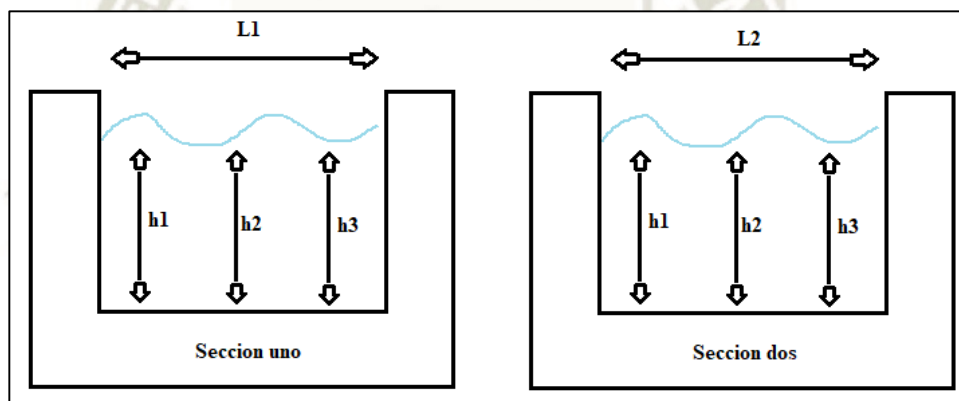


Figura 3.2: Mediciones en la secciones transversales

Fuente: (Elaboración propia)

En la siguiente tabla se vera la siguientes mediciones en la sección transversal.

Tabla 3.1 Medidas de las secciones transversales del canal

Sección uno L1 (2.28m) (Mediciones de las alturas en metros)	Sección dos L2 (2.4m) (Mediciones de las alturas en metros)
H1=1.50	H1=1.51
H2=1.47	H2=1.48
H3=1.51	H3=1.43
H 1 promedio (h1p) = 1.493	H 2 promedio (h2p) = 1.473

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se tiene las alturas se procede a calcular las áreas de cada sacar sección y sacar un promedio.

$$\text{Area 1 promedio} = L1 * h1p \dots (\text{Ec. 88})$$

$$\text{Area 1 promedio} = 2.28m * 1493m$$

$$\text{Area 1 promedio} = 3.40 m^2$$

$$\text{Area 2 promedio} = L2 * h2p \dots (\text{Ec. 89})$$

$$\text{Area 2 promedio} = 2.40m * 1473m$$

$$\text{Area 2 promedio} = 3.535 m^2$$

$$\text{Area promedio total} = \frac{\text{Area 1 promedio} + \text{Area 2 promedio}}{2} \dots (\text{Ec. 90})$$

$$\text{Area 1 promedio} = \frac{3.40m^2 + 3.535 m^2}{2}$$

$$\text{Area 1 promedio} = 3.46 m^2 \approx 3.50 m^2$$

Una vez que se tiene el área promedio de la sección, se procede a medir la velocidad. Para este caso utilizamos 3 botellas de plástico diferentes y realizamos tres pruebas diferentes con cada una.

Los resultados de los tiempos están en la siguiente tabla.

Tabla 3.2 Tiempo de las botellas en recorrer el tramos recto

Botella N°1	Botella N°2	Botella N°3
Tiempo 1: 6.22 s	Tiempo 1: 5.52 s	Tiempo 1: 5.09 s
Tiempo 2: 5.18 s	Tiempo 2: 4.36 s	Tiempo 2: 5.00 s
Tiempo promedio (Tp1): 5.70 s	Tiempo promedio (Tp1): 4.94 s	Tiempo promedio (Tp1): 5.04 s

Fuente: Elaboración propia

Se procede a calcular el tiempo promedio total de la prueba realizada:

$$\text{Tiempo promedio total: } \frac{Tp1 + Tp2 + Tp3}{3} \dots (\text{Ec. 91})$$

$$\text{Tiempo promedio total: } \frac{5.70s + 4.94s + 5.04s}{3}$$

$$\text{Tiempo promedio total: } 5.22 s$$

Se tiene la distancia del tramo recto y el tiempo total de la prueba entonces se calcula la velocidad del agua.

$$Velocidad = \frac{Distancia\ del\ tramo}{Tiempo} \dots (Ec. 92)$$

$$Velocidad = \frac{7.50\ m}{5.22\ s}$$

$$Velocidad = 1.43\ m/s$$

Una vez que calculada la velocidad y el área se puede calcular el caudal

$$Caudal = Velocidad * Area \dots (Ec. 93)$$

$$Caudal = 1.43\ \frac{m}{s} * 3.5\ m^2$$

$$Caudal = 5.005\ \frac{m^3}{s}$$

3.3 CÁLCULOS Y RESULTADOS DEL CANAL DE ADUCCIÓN

En este proyecto aprovecharemos el canal de aducción ya existente. Lo que si comprobaremos será la velocidad que este tiene para cerciorar que el diseño es el correcto.

3.3.1 Calculo de la pendiente

Primero calcularemos la pendiente que tiene este canal. En el tramo de 7.5 metros se utilizó las diferentes alturas de la **tabla 3.1**

$$Pendiente = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \dots (Ec. 94)$$

$$Pendiente = \frac{Diferencia\ entre\ alturas\ de\ un\ tramo}{Longitud\ del\ tramo}$$

$$Pendiente = \frac{1.493\ metros - 1.473\ metros}{7.5\ metros}$$

$$Pendiente = 0.0026 \approx 0.003 \rightarrow 0.3\%$$

3.3.2 Calculo del radio hidráulico

Para poder calcular mejor el radio hidráulico, utilizaremos la siguiente figura.

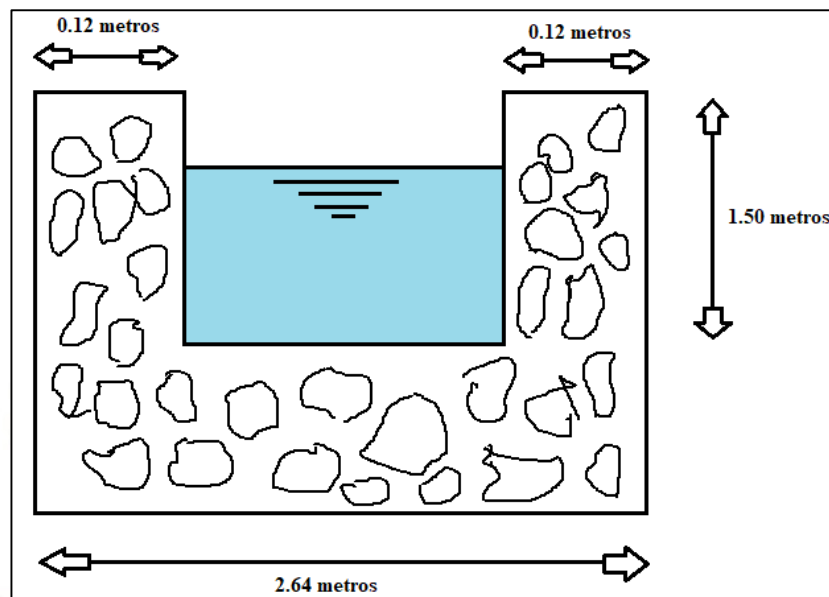


Figura 3.3: Dimensiones del canal de aducción

Fuente: (Elaboración propia)

De la **figura 2.13** escogemos una fórmula de radio hidráulico conforme a la geométrica de nuestro canal. Reemplazamos los datos en la siguiente formula.

$$Rh = \frac{base * altura}{base + 2 * altura} \dots (Ec. 95)$$

$$Rh = \frac{2.40m * 1.50m}{2.40m + 2 * 1.50m} = 0.67m$$

3.3.3 Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad es un factor que influye en la fórmula de Manning para poder hallar la velocidad del agua dentro un canal. Se calcula mediante la siguiente formula.

$$k = \frac{1}{n} \dots (Ec. 96)$$

El factor “n” depende del material del canal y de la **tabla 2.5** En nuestro caso el factor “n” será 0.014 ya que nuestro canal de hormigo colocado detrás de un encofrado y alisado.

3.3.4 Velocidad del agua dentro del canal.

Para calcular la velocidad del agua dentro del canal utilizaremos la fórmula de Manning ya descrita anteriormente. Utilizamos la **Ecuación 1**.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S}$$

$$V = \frac{1}{0.014} * 0.67^{\frac{2}{3}} * \sqrt{0.003}$$

$$V = 3 \text{ m/s}$$

3.3.5 Comprobaciones del diseño del canal de aducción.

Comprobamos la velocidad mínima de diseño **Ecuación 2**.

$$V_{\text{sedimentacion}} = C * h^{0.63}$$

$$V = 0.70 * \left(1.55\text{m} * \frac{1 \text{ pie}}{0.305\text{m}} \right)^{0.63}$$

$$V = 1.94 \frac{\text{pies}}{\text{s}} \rightarrow 0.59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ahora comprobamos la velocidad máxima que la sacamos de la **Tabla 2.4**. De esta tabla podemos ver las descripciones de “*Concreto (Materia en suspensión con mucha arena)* y *Concreto (Agua sin arena)*” y podemos concluir que la velocidad máxima varía entre 4 y 5 m/s. Tomaremos la más crítica que será 4 m/s.

Entonces comparamos las velocidades del canal.

$$V_{\text{min}} < V_{\text{canal}} < V_{\text{max}}$$

$$0.59 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ Entonces si CUMPLE la velocidad del canal.}$$

3.4 CÁLCULOS Y RESULTADOS DEL DESARENADOR.

Como se expresó en el capítulo 2, existen diferentes maneras de calcular y diseñar un desarenador. Para este proyecto utilizaremos las dos maneras y compararemos los resultados para ver cuál es el más óptimo y económico para el proyecto. Este desarenador se encontrará al principio del canal de aducción.

La principal diferencia entre las dos metodologías estudiadas es la manera de calcular la velocidad de sedimentación. Después de hallar la velocidad de sedimentación los cálculos restantes del desarenador tanto del método I y el del método II son iguales.

Antes de empezar con las metodologías de diseño, tenemos que escoger un diámetro del grano de arena que circula dentro del agua. Según las **tablas 2.7 y 2.8**, el grano podría tener un diámetro de 1 milímetro. En esta sección calcularemos por ambos

métodos un desarenador para granos de 1 milímetro y granos de 3 milímetros que vendría a ser el grano con diámetro más crítico.

A continuación calcularemos el desarenador con el primer método y con un grano de 1 milímetro.

3.4.2 Método I

a) Velocidad de sedimentación:

Asumiendo en primera instancia un flujo laminar. Utilizaremos la **Ecuación 20**.

$$V_{s \text{ o } w} = (s - 1) * \frac{g}{18\mu} * d^2$$

$$V_{s \text{ o } w} = \left(\frac{2.5 \frac{gr}{cm^3}}{1 \frac{gr}{cm^3}} - 1 \right) * \frac{\frac{9.81m}{s} * (0.001)^2}{18 * 1.007 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 0.81m/s$$

b) Numero de Reynolds

$$Re = \frac{Vs * d}{\mu}$$

$$Re = \frac{\frac{0.81m}{s} * 0.001m}{1.007 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 804.36$$

$1 < Re < 2000$, el fluido esta en zona de transicion

c) Iteración

Una vez calculado el número de Reynolds se pasa calcular el valor Cd de la **tabla 2.12** y se escoge una formula. En este proyecto se escogerá la fórmula de Fair-Geyer-okun. A continuación iteramos el número de Reynolds hasta aproximarnos a una igualdad.

$$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \dots (Ec. 97)$$

Entonces pasamos a iterar los resultados

Tabla 3.3 Iteración de N° de Reynolds y el valor Cd

Re (Poniendo un valor cualquiera)	Cd (Ec. 94)	Vs (m/s)	Re (Ec. 23)
1	27.34	0.0267	26.6023
50	1.2442	0.1255	124.6942
100	0.88	0.1493	148.27
164	0.7206	0.1650	163.85
200	0.672	0.170	169.66

Fuente: Elaboración propia

Como podemos ver el valor de 164 se asemeja a 163.85, entonces tomaremos como velocidad de sedimentación el valor de 0.1650 m/s.

- d) Velocidad del flujo en el tanque. Utilizamos la **Ecuación 3** y sacamos un valor de la **tabla 2.9**

$$v = a * \sqrt{d}$$

$$v = 44 * \sqrt{1} = 44 \frac{cm}{s} \rightarrow 0.44 \frac{m}{s}$$

- e) Longitud del desarenador. Utilizando la **Ecuación 7**. Asumiremos una profundidad del desarenador de 4.5m. El símbolo w también es conocido como vs.

$$Ld = \frac{(h * v)}{w}$$

$$Ld = \frac{(4.5 * 0.44 \frac{m}{s})}{0.1650 \frac{m}{s}} = 12 m$$

Considerando un factor de seguridad de 1.25 obtenemos que $Ld = 15 m$

- f) Ancho del desarenador. Utilizando la **Ecuación 6**

$$b = \frac{Q}{(h * v)}$$

$$b = \frac{5 \frac{m^3}{s}}{\frac{0.44m}{s} * 4.5m} = 2.52 m$$

- g) Tiempo de sedimentación. Utilizando la **Ecuación 8**

$$t = \frac{h}{w}$$

$$t = \frac{4.5m}{0.1650 \text{ m/s}} = 27.27 \text{ s}$$

- h) Comprobamos las dimensiones del desarenador. Utilizaremos primero la **Ecuación 8a, 8b, 9 y 10.**

$$V' = Q * t$$

$$V' = 5 \frac{m^3}{s} * 27.27s = 136.35m^3$$

$$V = b * h * Ld$$

$$V = 15m * 2.5m * 4.5m = 165.75m^3$$

$$V > V'$$

$$165.75m^3$$

$> 136.35m^3$, entonces si cumple por el metodo de volumen.

$$t' > t$$

$$t' = \frac{L}{v} = \frac{15m}{0.44m/s} = 34.09s$$

$34.09s > 27.27s$, entonces si cumple por el metodo de tiempos.

- i) Longitudes de transición. Utilizamos la **Ecuación 11.** Se seleccionará un “ θ ” de 10° .

$$Le = \frac{T_1 - T_2}{2 * Tg\theta} = \frac{2.52m - 2.40m}{2 * tg10^\circ} = 0.34m$$

Comprobando con la **Ecuación 12.**

$$Le < \frac{1}{3}Ld$$

$0.34 < 5$, entonces si cumple.

Calculamos la longitud de salida. Con la **Ecuación 13.**

$$Ls = 0.8 * Le$$

$$Ls = 0.8 * 0.34m = 0.272m$$

3.4.1.1 Calculo del vertedero

El vertedero ira inmediatamente después del desarenador. Entonces la secuencia del cálculo continua de la siguiente manera.

- a) Longitud del vertedero. Se utilizará la **Ecuación 28**. Se utilizará un perfil tipo Creager.

$$Lv = \frac{Q}{C * h^{3/2}} = \frac{5 \frac{m^3}{s}}{2.1 * 0.25m^{3/2}} = 19.04m$$

- b) Angulo central y radio del vertedero. Se utilizará la **Ecuación 29** y **32**.

$$\frac{180 * Lv}{\pi * b} = \frac{\alpha}{1 - \cos\alpha}$$

$$\frac{180 * 19.04m}{\pi * 2.5} = \frac{\alpha}{1 - \cos\alpha}, \text{ despendejando obtenemos que } \alpha = 15.13^\circ$$

Entonces en la **Ecuación 29** tenemos que:

$$R = \frac{180 * Lv}{\pi * \alpha} = \frac{180 * 19.04m}{\pi * 15.13^\circ} = 72.10m$$

- c) Longitud de la proyección longitudinal del vertedero y longitud promedio. Se calculará mediante las **Ecuaciones 33** y **34**.

$$L1 = R * \text{Sen}\alpha$$

$$L1 = 72.10m * \text{sen}(15.13) = 18.81m$$

$$Lprom = \frac{Lv + L1}{2} = \frac{19.04m + 18.81m}{2} = 18.92m$$

Entonces podemos asumir que la longitud total del desarenador se calcula con la **Ecuación 35**.

$$LT = Le + Lprom + Ld$$

$$LT = 0.34m + 18.92m + 15m = 34.26m$$

3.4.1.2 Cálculos complementarios.

- a) Calculo de la profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado.

Se utiliza la **Ecuación 14** y **15**.

$$\Delta Z = Lz * S = (34m - 034m) * \frac{2}{100} = 0.6732m$$

$$H = h + \Delta Z = 4.5m + 0.67m = 5.17m$$

- b) Altura de cresta del vertedero con respecto al fondo del desarenador. Se utiliza la **Ecuación 16**.

$$hc = H - 0.25 = 5.17m - 0.25 = 4.92m$$

- c) Calculo de las dimensiones de la compuerta de lavado. Se utiliza la **Ecuación 17**.

$$A_o = \frac{Q}{Cd * \sqrt{2 * g * hc}} \rightarrow \text{donde } hc = H - \frac{l}{2} \text{ y } A_o = l * l$$

Asumimos que la compuerta tendrá una sección cuadrada entonces despejamos la anterior expresión tenemos que:

$$Q = Cd * \sqrt{2 * g * hc} * A_o$$

$$\frac{5m^3}{s} = 0.6 * l^2 * \sqrt{2 * 9.81 * \left(5.17 - \frac{l}{2}\right)}$$

$$b = 0.93m$$

Comprobamos la velocidad de salida, después de la puerta con la

Ecuación 19.

$$V_{salida} = \frac{Q}{A_o} = \frac{5 \frac{m^3}{s}}{0.93m * 0.93m} = 5.78 \frac{m}{s}$$

La velocidad no cumple entonces cambiaremos la sección de la compuerta de lavado.

$$\text{Si } l = 1.2m \text{ entonces } V_{salida} = \frac{5 \frac{m^3}{s}}{1.2m * 1.2m} = 3.47 \frac{m}{s}$$

Entonces la V_{salida} si cumple ya que

$$3 \frac{m}{s} < V_{salida} < 5 \frac{m}{s}$$

3.4.2 Método II

Como se mencionó antes, los métodos I y II, su única diferencia es la manera de hallar el valor de la velocidad de sedimentación. En esta sección solamente hallaremos la velocidad de sedimentación, ya que los cálculos que le siguen son los mismos que el método I.

Para empezar este método utilizaremos un diámetro de partícula de 1 mm.

- a) Velocidad de sedimentación. Para el cálculo de esta velocidad simplificaremos los resultados, realizando un cuadro con las diferentes ecuaciones, figuras y

tablas que se utilizan. Se utilizo para realización de la siguiente tabla las **Ecuaciones 4 y 5**, la **figura 2.18** y las **tablas 2.10 y 2.11**.

Tabla 3.4 Velocidades de sedimentación según diferentes autores

Velocidad de sedimentación según: (w)	Unidades (m/s)
Stokes	0.50
Sellerio	0.10
Arkhgelski	0.09
Owens	0.33
Scotti – Foglieni	0.12

Fuente: *Elaboración propia*

Realizando un promedio de las velocidades.

$$w_p = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5}{5} = \frac{\frac{0.50m}{s} + \frac{0.10m}{s} + \frac{0.09m}{s} + \frac{0.33m}{s} + \frac{0.12m}{s}}{5}$$

$$w_p = 0.2305 \frac{m}{s}$$

3.4.3 Comparaciones del método I y método II, para el diseño de un desarenador.

Haciendo redundancia, el método I y el método II de diseño de un desarenador la única diferencia de hallar la velocidad de sedimentación. Ahora presentaremos un cuadro comparativo con las diferentes medidas realizando ambos métodos, con un diámetro de arena de 1 ms. También incluiremos en la tabla dos cálculos más asumiendo un diámetro de arena de 3mm.

Tabla 3.5 Comparaciones de medidas entre las metodologías de diseño de un desarenador

	LT (m)	Ld (m)	Lprom (m)	Le (m)	Ls (m)	b (m)	h (m)	H (m)	Ao (m ²)
Método I (d = 1mm)	34.26	15	18.92	0.34	0.27	2.52	4.5	5.17	1.44
Método II (d = 1mm)	31.09	10.75	20.00	0.34	0.27	2.52	4.5	5.11	1.44
Método I (d = 3mm)	30	9.20	18.75	1.70	1.36	3.00	2.70	3.26	1.12
Método II (d = 3mm)	28.57	7	19.87	1.70	1.36	3.00	2.70	3.23	1.04

Fuente: *Elaboración propia*

Después de haber calculado diferentes dimensiones del desarenador con diferentes diámetros de partículas de arena y métodos, se llega a la conclusión que utilizaremos las dimensiones del método II con un diámetro de partícula de 1 mm.

Se continuará con los cálculos adiciones al desarenador ya con las medidas establecidas.

3.4.4 Tanque colector del desarenador

El tanque colector, es el tanque donde se almacenara los sedimentos y tiene que estar suficientemente dimensionado para poder soportar el caudal del canal de aducción. Se utilizarán las siguientes **Ecuaciones 25, 26, 27.**

$$\text{Capacidad del tanque} = Q * T * SDT$$

Para poder hallar el valor de SDT se realizó unos análisis de agua en el mes de diciembre y febrero, los análisis están adjuntos en los anexos.

Los resultados fueron los siguientes

Tabla 3.6 Análisis de agua para la PCH

	Análisis hecho en diciembre 2017	Análisis hecho en febrero 2018
SDT (mg/l)	1749	418

Fuente: *Elaboración propia*

Hallando un promedio y convirtiendo las unidades a otro sistema

$$SDT_{prom} = \frac{\frac{418mg}{l} + \frac{1749mg}{l}}{2} = 1083.5 \frac{mg}{l}$$

$$SDT_{prom} = 1083.5 \frac{mg}{l} * \left(\frac{1000l}{1m^3}\right) * \left(\frac{1kg}{1000g}\right) * \left(\frac{10^{-3}}{mili}\right) = 1.0835 \frac{kg}{m^3}$$

Se asumirá una intervalo de limpieza cada 1 hora al día. Entonces tenemos el siguiente cálculo utilizando la **Ecuación 26**.

$$Capacidad\ del\ tanque = \frac{5m^3}{s} * 1hr * \frac{3600s}{hora} * 1.085 \frac{kg}{m^3} = 19440kg$$

$$Densidad\ de\ la\ arena = 2600 \frac{kg}{m^3},\ asumiendo\ una\ acumulacion\ del\ 50\%.$$

Esta acumulación se puede expresar de dos maneras, duplicando la capacidad el volumen de sedimento o dividiendo la densidad para atrapar partículas más pequeñas. Entonces tendríamos el siguiente cálculo, utilizando la **Ecuación 27**.

$$Volumen\ del\ sedimento = \frac{19440kg}{2600 \frac{kg}{m^3}}$$

$$= 7.47 m^3, \text{ tomando en cuenta la acumulacion}$$

$$Volumen\ del\ sedimento = 7.47 m^3 * 2 = 14.94 m^3$$

Terminando el cálculo del tanque colector con la **Ecuación 25**.

$$dr = \frac{Volumen\ de\ sendimento}{W * Ld} = \frac{14.94m^3}{2.52m * 10.75} = 0.54 m$$

3.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LA CÁMARA DE CARGA.

Como se indicó en el capítulo sobre las cámaras de cargas existen varias metodologías, En este capítulo calcularemos las dos maneras y se escogerá la más optima y económica.

3.5.1 Metodología de diseño A, para una cámara de carga.

Empezaremos utilizando la **Ecuación 36**

$$H_{min} = C * v * \sqrt{D}$$

$$H_{min} = 0.7 * \frac{3.68m}{s} * \sqrt{1.3142} = 2.95m$$

Al tener la altura mínima, se recomienda aumentarle 0.5m más a la altura mínima para garantizar la presión en la tubería y 0.5 m debajo de la tubería para evitar el golpe de ariete. En la siguiente figura se apreciará las medidas de la altura de la cámara de carga.

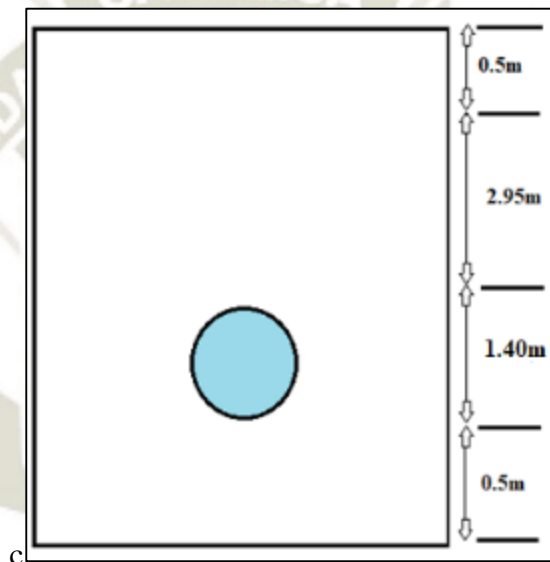


Figura 3.4: Dimensiones de la altura de la cámara de carga

Fuente: (Elaboración propia)

Esta metodología se enfoca primero en la altura mínima de la tubería y después en el volumen de la cámara de carga. Por propio diseño, se escoge que la cámara de carga se llenara en 15s y el ancho de la cámara será de 4m. Ahora con las **Ecuaciones 37, 38 y 39**.

$$hct \text{ (altura total de la cámara)} = 0.5 + 2.95 + 1.40m + 0.5m = 5.35m$$

$$Vc = Q * T = \frac{5m^3}{s} * 15s = 75m^3$$

$$Ac = \frac{Vc}{hct} = \frac{75m^3}{5.35m} = 14.01m^2$$

$$Lc = \frac{Ac}{wc} = \frac{14.15m^2}{4.0m} = 3.50m$$

3.5.2 Metodología de diseño B, para una cámara de carga.

Esta metodología prioriza el volumen del tanque, que lo calculamos con la siguiente Ecuaciones 40, 41.b y 42.

$$V_c = \frac{0.693 * A * Vt^2}{i * g} = \frac{0.693 * \frac{\pi}{4} * (1.3142m)^2 * \frac{3.68m^2}{s}}{0.003 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 423.26m^3$$

$$h_{min} = 0.543 * V * \sqrt{D} = 0.543 * \frac{3.68m}{s} * \sqrt{1.3142m} = 2.29m$$

$$hct \text{ (altura total de la camar de carga)} = 0.5 + 2.29m + 1.3142m + 0.5m = 4.60m$$

Asumiendo denuevo un anco de camara de 4m

$$L_c = \frac{V_c}{wc * hct} = \frac{423.26m^3}{4.0m * 4.60} = 23.00m$$

3.5.3 Comparaciones del método A y método B, para el diseño de una cámara de carga.

Se compara ambos métodos mediante una tabla con las diferente medidas que se obtuvo al realizar los cálculos.

Tabla 3.7 Diferencias de medidas entre las metodologías de diseño de una cámara de carga

	Volumen (m ³)	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura total (m)
Metodología A	75.00	3.53	4.00	5.30
Metodología B	423.26	23.00	4.00	4.60

Fuente: Elaboración propia

Como vemos en la tabla anterior asumiendo el mismo ancho para ambas metodologías, las medidas varían significativamente en la longitud. Entonces por simples hechos de economía tomaremos las medidas de la metodología A. Además que la altura mínima se cumple, y además tiene algunas medidas de seguridad.

3.5.4 Cálculos y resultados de las rejillas.

Después de haber examinado casi un año el agua del canal de aducción se llegó a la conclusión que las rejillas no son realmente necesarias ya que casi ningún objetivo extraño flotaba. Pero aun así en este proyecto se instalará unas rejillas para prevenir algún incidente.

La distancia entre las separación entre rejillas será de 65 mm, para no generar muchas perdidas y evitar objetos de un tamaño considerable. El ancho de la barra será de $3/16'' = 4.7625\text{mm}$. De la **figura 2.25** se escogerá la 2 forma de barra y un ángulo del limpieza de 70° . Entonces el cálculo será el siguiente utilizando la **ecuación 43**.

$$\Delta J = \phi * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2 * g} * \text{sen } \alpha$$

$$\Delta J = 1.8 * \left(\frac{4.7625\text{mm}}{65\text{mm}}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{3 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * \text{sen}70 = 0.0237\text{m} \cong 23.78\text{mm}$$

3.6 CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.

Antes de empezar este cálculo hay que tomar en cuenta que la profundidad actual es de 8 metros. Entonces para obtener una mayor potencia ampliaremos la caída hasta 10 metros.

Para este proyecto se utilizará el material HDPE de clase PE 80. Se asigno este material ya que existe un buen espacio considerable para poder realizar modificaciones y la tubería puede ir enterrada o puede ir en una edificación totalmente aislada a cambios de temperatura.

Antes de empezar con los cálculos, haremos un pequeño bosquejo para ver la distribución de la tubería de presión. En el bosque podemos apreciar que la tubería tendrá un ángulo de 30° con respecto a la horizontal. Entonces podemos deducir que la tubería tendrá dos codos de 30° y una longitud total de 9.5 metros.

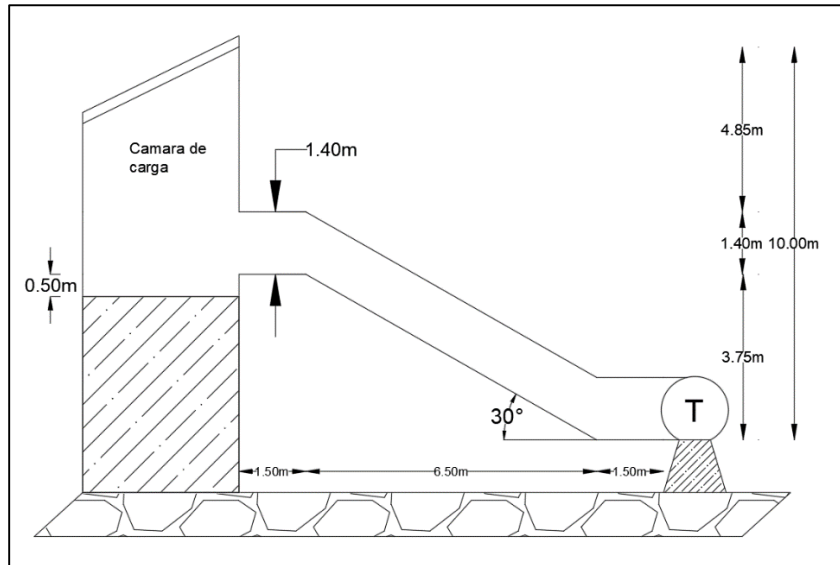


Figura 3.5: Esquema de la tubería de presión

Fuente: (Elaboración propia)

Hallaremos un diámetro recomendado con la ayuda de la **tabla 2.15** y asumiendo una velocidad preliminar de 4 m/s.

Tabla 3.8 Diámetros de tubería recomendados, según varios autores de la tabla 2.15

Numero de formula	Resultado de la formula (m)
1	1.00
2	0.44
3	1.26
4	0.94
5	3.35
6	1.01
7	1.26
8	1.81

Fuente: (Elaboración propia)

Si logramos realizar un promedio de estos resultados obtenemos lo siguiente:

$$D_{prom} = \frac{D1 + D2 + D3 + D4 + D5 + D6 + D7 + D8}{8}$$

$$D_{prom}$$

$$= \frac{1.00m + 0.44m + 1.26m + 0.94m + 3.35m + 1.01m + 1.26m + 1.81m}{8}$$

$$D_{prom} = 1.385m$$

Escogemos un diámetro estándar en catálogos de tuberías lisas de HDPE. EL diámetro más próximo sería un DN 1400 con un espesor de 42.9 mm y un PN de 4.0 bar. Igualmente se adjuntará el catálogo en los anexos.

Se comprueba la velocidad dentro de la tubería si es la adecuada.

$$D_i = D_e - 2 * e = 1400mm - 2 * 42.9 = 1314.2mm$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 5 \frac{m^3}{s}}{\pi * (1.3142)^2} = 3.68 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad se encuentra en el rango de velocidades admisibles en tuberías de presión

$$\frac{2m}{s} < V < \frac{6m}{s}$$

$$\frac{2m}{s} < 3.68 \frac{m}{s} < 6 \frac{m}{s}, \text{ si cumple.}$$

Para comprobar si la tubería soporta la caída de agua y el golpe de ariete se comprueba el espesor de la tubería por el siguiente método.

3.6.1 Cálculos y resultados del golpe de ariete.

Como se describió en el capítulo 2, se seguirá una metodología de cálculo.

a) Celeridad Ecuaciones 48 y 49

$$a = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{k * d}{E * e}}} = \frac{1420m/s}{\sqrt{1 + \frac{2 * 10^8 \frac{kg-f}{m^2} * 1.3142m}{1.02 * 10^8 \frac{kg-f}{m^2} * 0.0429m}}} = 179.08 \frac{m}{s}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{K * d}{e}}} = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{10^{10}}{1.02 \frac{kg-f}{m^2}} * \frac{1.3142m}{0.0429m}}} = 179.21 \frac{m}{s}$$

$$a_p = \frac{179.08 \frac{m}{s} + 179.21 \frac{m}{s}}{2} = 179.145 \frac{m}{s}$$

Como podemos ver ambas ecuaciones dan un resultado muy cercano, usaremos un promedio de las dos. Una vez calculada la celeridad se comprueba que tipo de cierre o de instalación es nuestro sistema.

b) Tiempo critico **Ecuación 50**

$$T_c = \frac{2 * L}{a} = \frac{2 * 15.7m}{179.145 \frac{m}{s}} = 0.175s$$

c) Tiempo de parada. **Ecuación 51 y Tabla 2.16**

$$T_p = C + \frac{K * L * V}{g * Hm} = 0 + \frac{1.75 * 15.7m * 3.68 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s} * 10m} = 1.03s$$

$C = 0$, ya que la nuestra pendiente supera el 120%

$K = 1.75$, ya que la longitud es menor de 500m

d) Longitud critica **Ecuación 52.**

$$L_c = \frac{a * T_p}{2} = \frac{179.145 \frac{m}{s} * 1.03s}{2} = 92.25m$$

e) Comprobaciones del cierre.

$T_p > T_c$, significa un cierre lento, entonces se utiliza la ecuacion de Michaud

f) Comprobaciones de la instalaciones largas y cortas

$L_c > L$, significa que es una instalacion corta.

g) Presión máxima admisible

Ya que tenemos que tenemos un cierre lento y una instalación corta utilizaremos la ecuación de Michaud. Utilizamos la **Ecuación 53.**

$$\Delta H = \frac{2 * L * v}{g * T_p} = \frac{2 * 15.7m * 3.68 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s^2} * 1.03s} = 11.43m \cong 11.43 m. c. a$$

Después de tener el golpe de ariete compramos la presión máxima admisible de la tubería con el de la instalación. El dato de PMA lo sacamos del catálogo de la tubería. Utilizamos las **Ecuaciones 55 y 56.**

$$H_s = P_a + \rho * g * h = 100kPa + 1000 \frac{kg - m}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 10m$$

$$= 198kPa$$

$$H_s = 198kPa \cong 19.8 \text{ m. c. a}$$

$$P_{max} = (H_s + \Delta H) = (19.8 \text{ m. c. a} + 11.43 \text{ m. c. a}) = 31.23 \text{ m. c. a}$$

$$P_{max} = 31.23 \text{ m. c. a} \cong 3.12 \text{ bar} \cong 0.312MPa$$

Entonces sabemos la tubería su PMA es de 4.0 bar concluimos que

$$P_{max} < PMA$$

3.12 bar < 4.00 bar , si cumple el espesor de la tubería.

- f) Para cerciorarnos del cálculo, comprobaremos el espesor mediante normas internacionales. Usaremos las **Ecuaciones 44 y 45.**

Según ANSI

$$e = \frac{P * D}{2 * S + P} = \frac{0.312MPa * 1400mm}{2 * 6.3MPa + 0.312MPa} = 33.85 \text{ mm}$$

33.85 mm < 42.9mm (*Espesor de la tubería*) , Si cumple

Según DIN

$$e = \frac{P * (D - S)}{2 * S} = \frac{0.312Mpa * (1400mm - 6.3MPa)}{2 * 6.3MPa} = 34.51mm$$

34.51 mm < 42.9mm (*Espesor de la tubería*) , Si cumple

3.6.2 Resultados de los equipos de regulación y equipos anti-ariete.

Como se mencionó en el capítulo 2, como en toda instalación de tuberías existen válvulas de regulación y válvulas de retención. Para este proyecto a manera de cortar el flujo para poder realizar algún mantenimiento a la turbina, se utilizará la compuerta en el canal de aducción aun existente. Esta compuerta corta el flujo y desvía todo el caudal hacia el río. Entonces en caso de algún mantenimiento se utilizará la compuerta.

No obstante en este proyecto se cotizará unas válvulas guillotina, ya que estas válvulas son especiales en cuanto apertura y cierre en tuberías de gran tamaño. La intención de cotizar estas válvulas es para comparar el costo de estas en el presupuesto total del proyecto. Además la instalación de estas válvulas simplemente se utilizará en casos de emergencia cuando el flujo del canal sea incontrolable, lo cual tiene poca probabilidad de suceder ya que se cuenta con

vertederos y compuertas a lo largo del canal de aducción. También se considerará las pérdidas de presión que estas válvulas pueden causar.

En cuanto los equipos anti-ariete, solamente se instalará un pequeña tubería de venteo para eliminar el aire existente dentro de la tubería. Se procurará en construir los apoyos y anclajes en las zonas donde mayor golpea el agua, que son los codos o cambios de dirección.

3.7 CALCULO Y RESULTADOS DE LOS APOYOS Y ANCLAJES.

Antes de empezar este cálculo hay que tomar en cuenta las tuberías de HDPE mayormente van enterradas. Igualmente se debe calcular por lo menos un anclaje al final del tramo de la tubería. Igualmente este proyecto se evaluará la posibilidad de que vayan descubiertas pero en una edificación ventilada y parcialmente aislada para evitar los cambios de temperatura. Al final en la parte financiera se evaluará si la tubería ira enterrada o descubierta pero en una edificación aislada y ventilada.

Tomando en cuenta el esquema de la distribución de la tubería, se colocarán anclajes en los dos codos de la instalación y un apoyo en el tramo de bajada. Antes de cualquier calculo veremos un pequeño esquema de la distribución de estos anclajes.

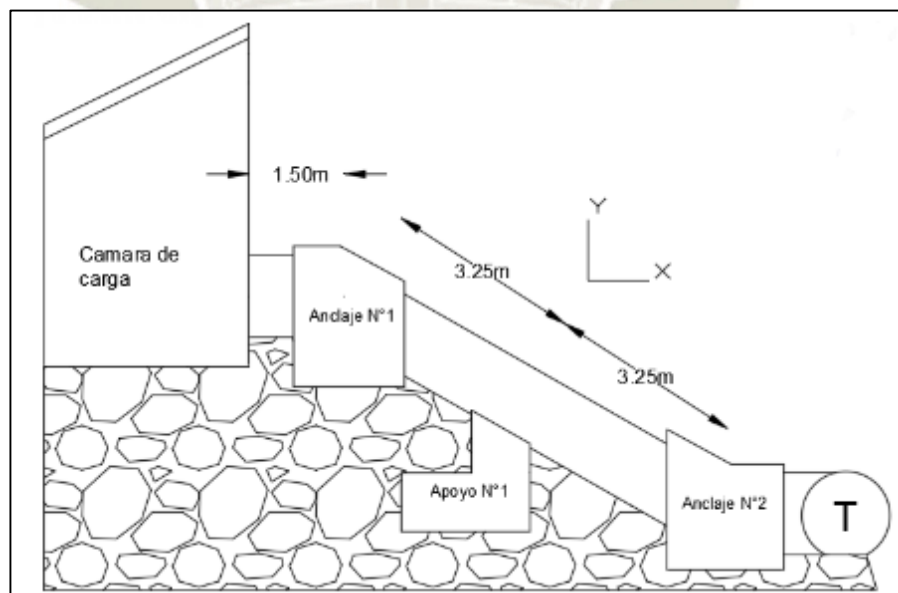


Figura 3.6: Esquema de los anclajes

Fuente: *(Elaboración propia)*

3.7.1 Cálculo de las consideraciones previas de diseño.

Utilizando las Ecuaciones 57, 58, 59, 60.

Peso de la tubería

$$W_t = \gamma_t * \frac{\pi}{4} * (D_e^2 - D_i^2) = 955 \frac{Kg - m}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{\pi}{4} * (1.4m^2 - 1.31m^2)$$

$$= 1713.2 \frac{N}{m}$$

Peso del agua

$$W_a = \gamma_a * \frac{\pi}{4} * D_i^2 = 9810 \frac{N}{m^3} * \frac{\pi}{4} * (1.3142m^2)^2 = 13307.05 \frac{N}{m}$$

$$W = W_t + W_a = 1713.2 \frac{N}{m} + 13307.05 \frac{N}{m}$$

$$= 15020.57 \frac{N}{m} \text{ convierto a Kg - f}$$

$$W = 15020.57 \frac{N}{m} * \frac{1 Kg - f}{9.81N} = 1531.14 \frac{Kg - f}{m}$$

3.7.2 Resultados y cálculos de la distancia entre apoyos.

Utilizando la ecuación 61 y la figura 2.30

a) Resultados entre apoyos según fórmula

$$L = 182.61 * \sqrt{\frac{(D_i + 0.0417)^4 - D_i^4}{W}}$$

$$L = 182.61 * \sqrt{\frac{(1.3142m + 0.0147)^4 - (1.3142m)^4}{1531.14 \frac{Kg - f}{m}}} = 1.71m$$

b) Resultados según la **figura 2.29**. Tomando en cuenta que nuestra tubería es de SDR 33, esta tabla se aproxima al resultado.

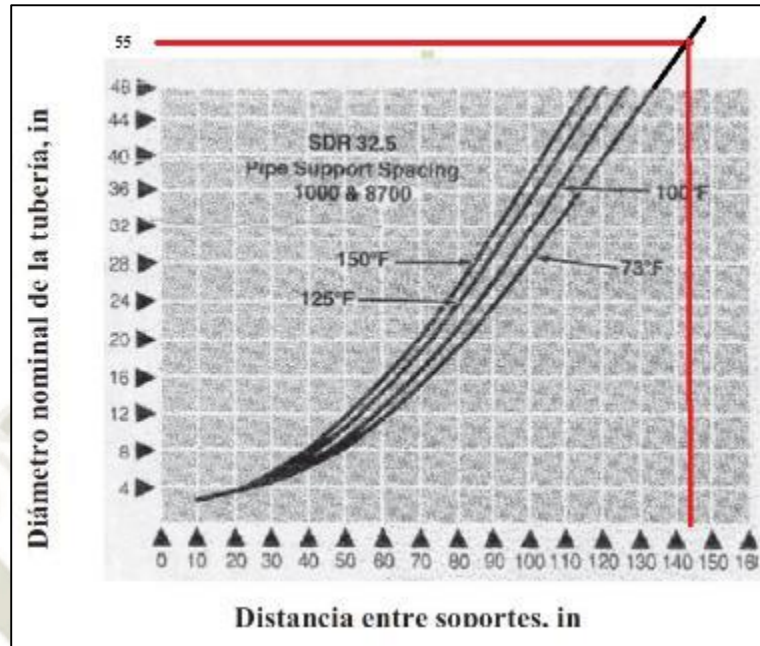


Figura 3.7: Resultados de distancia entre soportes

Fuente: (Elaboración propia)

Respecto a la figura anterior, tenemos una referencia sobre la distancia entre soportes/apoyos que según la figura da **142 pulgadas** que equivale a **3.60 metros**. Si quisiéramos interpolar los valores para no usar la gráfica, el resultado sería de **143.75 pulgadas**, equivalente a **3.65 metros**. Quiere decir que los valores son aproximados.

3.7.2.1 Resultados y cálculos de la deflexión máxima de la tubería (Flecha máxima).

La distancia entre apoyos anterior es solamente una distancia recomendada, para determinar la distancia entre apoyos o anclajes reales se toma en cuenta el cálculo de la flecha máxima. El cual nos va a permitir verificar si la tubería no se deformará en exceso y soportará el peso total de la tubería. Utilizamos la ecuación 62 y 62.1.

Se escogerá una distancia entre apoyos de 3m. Primero para poder hallar el momento de inercia usamos la siguiente ecuación 62.1.

$$I = \frac{\pi}{4} * (R^4 * r^4) = \frac{\pi}{4} * (0.7m^4 - 0.6571m^4) = 4.21 * 10^{-2}m^4$$

$$\Delta = \frac{5}{384} * \frac{W * L^4}{E * I} = \frac{5}{384} * \frac{15020.57 \frac{N}{m} * (3.25m)^4}{1 * 10^9 \frac{N}{m^2} * 4.21 * 10^{-2}m^4} = 5.19 * 10^{-4}m$$

Comparando los resultados con las **ecuaciones 62.2 y 62.3.**

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{360} = \frac{3.25m}{360} = 8.33 * 10^{-3}m$$

$$\Delta_{adm} > \Delta_{Max}$$

$$8.33 * 10^{-3} > 5.19 *$$

10^{-4} entonces la distancia entre apoyos si cumple .

Ahora realizamos el mismo calculo por con una **distancia de 1.5m** ya que el primer anclaje ira a esa distancia y obtenemos que.

$$\Delta = \frac{5}{384} * \frac{W * L^4}{E * I} = \frac{5}{384} * \frac{15020.57 \frac{N}{m} * (1.5m)^4}{1 * 10^9 \frac{N}{m^2} * 4.21 * 10^{-2}m^4} = 2.35 * 10^{-5}m$$

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{360} = \frac{1.5m}{360} = 4.16 * 10^{-3}m$$

$$\Delta_{adm} > \Delta_{Max}$$

$$4.16 * 10^{-3} > 2.35 *$$

10^{-5} entonces la distancia entre apoyos si cumple .

3.7.3 Calculo y resultados del anclaje N°1.

3.7.3.1 Calculo y resultados de las fuerzas que soportara el anclaje N°1.

Empezaremos calculando todas las fuerzas que intervienen en este anclaje. Con la ayuda de un esquema del anclaje, podemos determinar la dirección de los diferentes ángulos que influyen en este cálculo.

Para este caso el ángulo “ α ” será 0

a) Fuerza uno

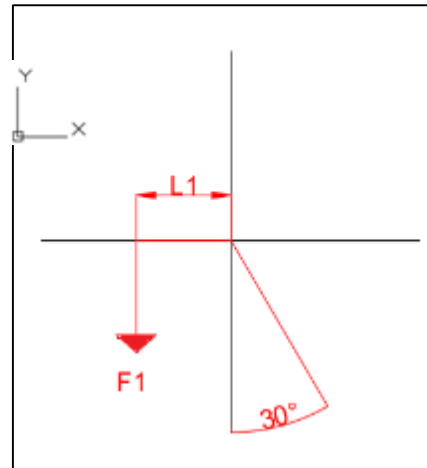


Figura 3.8: Fuerza uno del anclaje uno

Fuente: (Elaboración propia)

$$F1 = (Wt + Wa) * L1 * \cos \alpha = 15020.57 \frac{N}{m} * 0.75m * \cos 0$$

$$= 11265.4725N$$

$$F1 = 11265.472N * \frac{1 Kg - f}{9.81N} = 1148.36 Kg - f$$

b) Fuerza dos

La fuerza dos es nula ya que no existe ninguna junta de dilatación.

$$F2 = \mu * (Wt + Wa) * L2 * \cos \alpha$$

$$F2 = 0$$

c) Fuerza tres

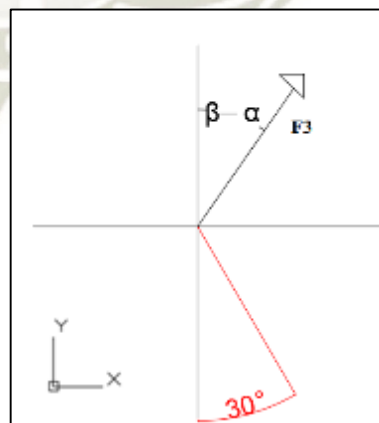


Figura 3.9: Fuerza tres del anclaje uno

Fuente: (Elaboración propia)

$$F3 = 1.6 * 10^3 * H * D^2 * \text{sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2}$$

$$F3 = 1.6 * 10^3 * (4.85m + 1.4m) * (1.3142m)^2 * \text{sen} \frac{30^\circ - 0^\circ}{2}$$

$$= 4470.11 \text{ Kg} - f$$

d) Fuerza cuatro

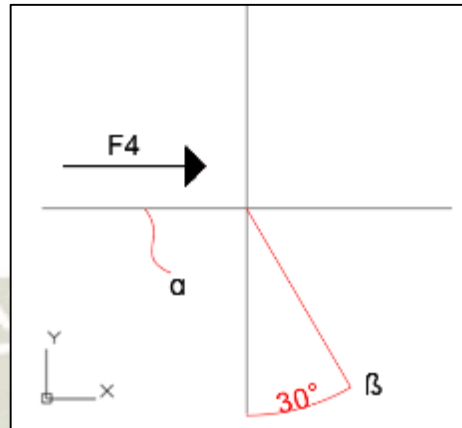


Figura 3.10: Fuerza cuatro del anclaje uno

Fuente: (Elaboración propia)

$$F4 = Wt * L4 * \text{sen} \alpha$$

$$F4 = 1713.52 \frac{N}{m} * 1.5m * \text{sen} 0^\circ = 0$$

e) Fuerza cinco

Esta fuerza será nula ya que los cambios de temperatura serán nulos.

$$F5 = 31 * D * t * E * a * \Delta T$$

$$F5 = 0$$

f) Fuerza seis

Esta fuerza será nula ya que no se utilizará ninguna junta de dilatación.

$$F6 = 3.1 * D * C$$

$$F6 = 0$$

g) Fuerza siete

Esta fuerza será nula ya que no se utilizará ninguna junta de dilatación.

$$F7 = 3.1 * H * D * t$$

$$F7 = 0$$

h) Fuerza ocho

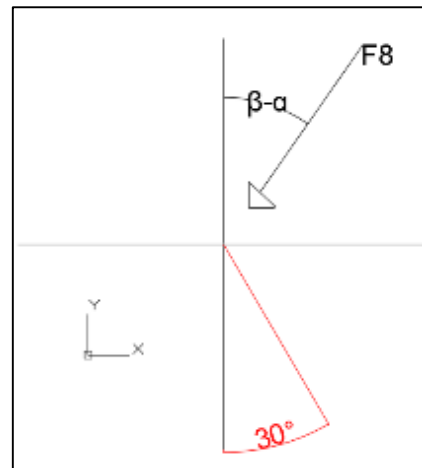


Figura 3.11: Fuerza ocho del anclaje uno

Fuente: (Elaboración propia)

$$F8 = 250 * \left(\frac{Q}{D}\right)^2 * \text{sen}\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right) = 250 * \left(\frac{5 \frac{m^3}{s}}{1.4m}\right) * \text{sen}\left(\frac{30^\circ - 0^\circ}{2}\right)$$

$$= 825 \text{ Kg} - f$$

i) Fuera nueve

La fuera nueve será nula ya que no se encuentran reducción en la instalación.

$$F9 = 1 * 10^3 * H * \Delta A$$

$$F9 = 0$$

En la siguiente figura tenemos todas las fuerzas ubicadas en un mismo plano para conceptuar mejor como serán distribuidas y darnos cuenta la capacidad que debe tener el anclaje. Hay que recatar que falta calcular el peso del anclaje el cual ira ubicado en el centro de gravedad del anclaje.

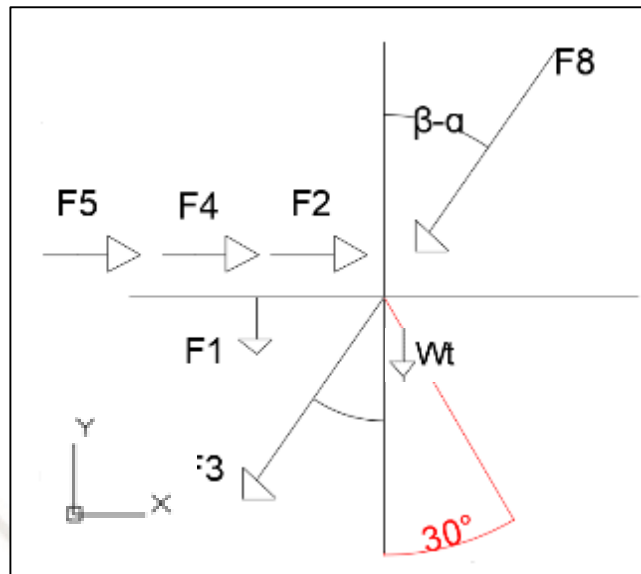


Figura 3.12: Distribución de todas las fuerzas que ejercen sobre el anclaje N°1

Fuente: (Elaboración propia)

3.7.3.2 Calculo y dimensiones del anclaje N°1

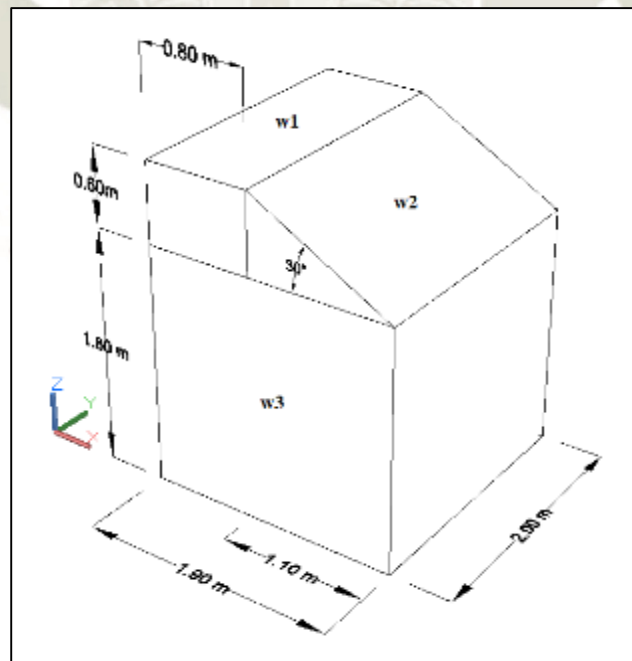


Figura 3.13: Esquema y dimensiones del anclaje N°1

Fuente: (Elaboración propia)

Como vemos en la figura anterior, hemos dado dimensiones al azar, ahora corresponde más adelante realizar un cálculo para verificar que estas dimensiones cumplen con especificaciones de diseño.

Primero hallamos algunos el peso del anclaje, dividimos en anclaje en áreas y volúmenes de figuras geométricas conocidas para facilitar el cálculo. Procedemos a calcular el peso del anclaje.

a) Calculo del peso del anclaje

Sabiendo que el peso específico del concreto es 2300 kg-f/m^3 , obtenemos el siguiente peso total y obteniendo los volúmenes de la anterior figura

$$w1 = (2.00m * 0.80m * 0.60m) * 2300 \frac{\text{Kg} - f}{\text{m}^3} = 2208 \text{ Kg} - f$$

$$w2 = \left(\frac{1.10m * 0.60m}{2} \right) * 20m * 2300 \frac{\text{Kg} - f}{\text{m}^3} = 1518 \text{ Kg} - f$$

$$w3 = (1.90m * 1.80m * 2.00m) * 2300 \frac{\text{Kg} - f}{\text{m}^3} = 15732 \text{ Kg} - f$$

$$Wt = w1 + w2 + w3$$

$$\begin{aligned} Wt &= (2208 \text{ Kg} - f + 1518 \text{ Kg} - f + 15732 \text{ Kg} - f) \\ &= 19278 \text{ Kg} - f \end{aligned}$$

b) Calculo del centro de gravedad por el método de división de áreas.

$$\text{Área 1} = 0.60m * 0.8m = 0.48 \text{ m}^2 ; x1 = 0.40 \text{ m} ; y1 = 2.10 \text{ m}$$

$$\text{Área 2} = \frac{1.10m * 0.60m}{2} = 0.33 \text{ m}^2 ; x1 = 1.16 \text{ m} ; y2 = 2.00 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Área 3} &= 1.90m * 1.80m = 3.42 \text{ m}^2 ; x1 = 0.95 \text{ m} ; y3 \\ &= 0.90 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Xo = \frac{A1 * X1 + A2 * X2 + A3 * X3}{A1 + A2 + A3}$$

$$Xo = \frac{0.48m^2 * 0.4m + 0.33m^2 * 1.16m + 3.42m^2 * 0.95m}{0.48m^2 + 0.33m^2 + 3.42m^2} = 0.90m$$

$$Yo = \frac{A1 * Y1 + A2 * Y2 + A3 * Y3}{A1 + A2 + A3}$$

$$Yo = \frac{0.48m^2 * 2.10m + 0.33m^2 * 2.00m + 3.42m^2 * 0.90m}{0.48m^2 + 0.33m^2 + 3.42m^2} = 1.12m$$

Entonces el centro de gravedad tiene las siguientes de coordenadas

$$Cg = (Xo; Yo) = (0.90m; 1.12m)$$

3.7.3.3 Calculo y resultados de las comprobaciones de diseño del anclaje N°1.

1) Primera condición de equilibrio.

$$\Sigma Fx < \mu_t * \Sigma Fy$$

$$\Sigma Fx = F2 - F3 * \text{sen}(\beta - \alpha) + F4 + F5 + F6 + F7 - F8 * \text{sen}(\beta - \alpha)$$

$$\Sigma Fx = 0 - 4470.11\text{Kg} - f * \text{sen } 15^\circ + 0 + 0 + 0 + 0 - 825\text{Kg} - f * \text{sen } 15^\circ$$

$$\Sigma Fx = -1370.47 \text{ Kg} - f$$

$$\Sigma Fy = -F1 - F3 * \text{cos}(\beta - \alpha) - F8 * \text{cos}(\beta - \alpha) - Wt$$

$$\Sigma Fy = -1148.36 \text{ Kg} - f - 4470.11 * \text{cos}15^\circ - 825 \text{ Kg} * \text{cos}15^\circ - 19278 \text{ Kg} - f$$

$$\Sigma Fy = -25241.04 \text{ Kg} - f$$

El valor de μ_t , se selecciona de la siguiente tabla

Tabla 3.9 Coeficiente de fricción entre concreto y suelo

Coeficientes de fricción entre concreto y suelo	
Arena gruesa y grava	0.5 – 0.6
Arena y grava mezclada con limo	0.4 – 0.5
Arena y limo o grava limo con alto contenido de arcilla	0.3 – 0.
Arcilla dura	0.25 – 0.4
Arcilla blanda o limo	0.2-0.3

Fuente: (Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L., (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*, Lima: Enric Velo)

Escogeremos el valor de 0.5 ya que la tierra donde se hará este proyecto tiene esas características.

$$\Sigma Fx < \mu_t * \Sigma Fy$$

$$1370.47 \text{ Kg} - f < 0.5 * 25541.04 \text{ Kg} - f$$

$$1370.47 \text{ Kg} - f$$

$$< 12770.52 \text{ Kg}$$

- f ... (Ok) , Si se cumple la primera condicion

2) Segunda condición de equilibrio

$$S_{base} = \frac{Ry}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b} \right) ; S_{base} < S_{admisible}$$

Para poder hallar el valor de “e”, utilizamos la siguiente ecuación.

$$e = x - \frac{b}{2}$$

Para poder hallar el valor de X, debemos realizar sumatoria de momentos en el punto de origen del anclaje. Las fuerzas en el eje x y eje y. se ubicarán más que todo en el punto donde empieza el cambio de dirección. Nos ayudaremos con un DCL del anclaje N°1

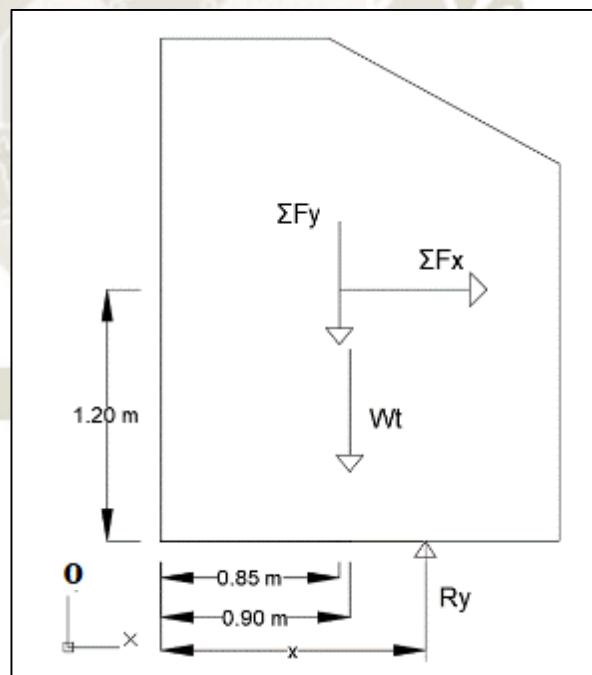


Figura 3.14: Diagrama de cuerpo libre del anclaje N°1

Fuente: (Elaboración propia)

$$\Sigma M_o = 0$$

$$\Sigma M_o = -\Sigma F_x * 1.20m + \Sigma F_y (\text{Sin el peso del anclaje}) * 0.85 + Wt * X_o - Ry * x$$

$$\Sigma M_o = -1371.47\text{Kgf} * 1.20\text{m} + 6265.94\text{Kgf} * 0.85\text{m} + 19278\text{Kgf} * 0.90\text{m} - R_y * x \dots (1)$$

$$R_y = \Sigma F_y$$

$$R_y = 25541.04 \text{ Kg} - f \dots (2)$$

Reemplazando (2) en (1), tenemos el valor de x

$$x = 0.823\text{m} \text{ Entonces hallamos } e$$

$$e = x - \frac{b}{2} = 0.823\text{m} - \frac{1.90\text{m}}{2} = -0.132\text{m}$$

Teniendo todos los valores ya podemos calcular la condición 2.

$$S_{base} = \frac{R_y}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right)$$

$$S_{base} = \frac{25541.04 \text{ Kg} - f}{190\text{cm} * 200\text{cm}} * \left(1 - 6 * \frac{-0.132\text{m}}{1.90\text{m}}\right) = 0.95 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2}$$

$$S_{base} < S_{admisible}$$

$$0.95 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} < 1.8 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} \dots (Ok)$$

Si cumple, el valor de $S_{admisible}$ se encuentra en el **anexo**.

3) Tercera condición de equilibrio.

En la fórmula anterior se usa el signo “+” y debe dar un valor positivo en la fórmula de “ S_{base} ”.

$$S_{base} = \frac{R_y}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right)$$

$$S_{base} = \frac{25541.04 \text{ Kg} - f}{190\text{cm} * 200\text{cm}} * \left(1 + 6 * \frac{-0.132\text{m}}{1.90\text{m}}\right) = 0.39 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} \dots (Ok)$$

Entonces podemos concluir que :

$$S_{max} = 0.95 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} ; S_{min} = 0.39 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2}$$

3.7.4 Cálculo y resultados del apoyo N°1.

Como se describió en el capítulo 2, los cálculos para un apoyo son un poco diferentes. Primero hallaremos la flecha máxima ya que este apoyo ira a 3.25 m, de primer anclaje.

Cálculo de la flecha máxima y su comprobación. Utilizando como fuerza el peso total de la tubería.

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} * \frac{W * L^4}{E * I} = \frac{5}{384} * \frac{15020.57 \frac{N}{m} * (3.25m)^4}{1 * 10^9 \frac{N}{m} * 4.21 * 10^{-2} m^4} = 5.18 * 10^{-4} m$$

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{360} = \frac{3.25m}{360} = 9.02 * 10^{-3} m$$

$$\Delta_{max} < \Delta_{adm} \quad ; \quad 5.18 * 10^{-4} m < 9.02 * 10^{-3} m \dots (Ok)$$

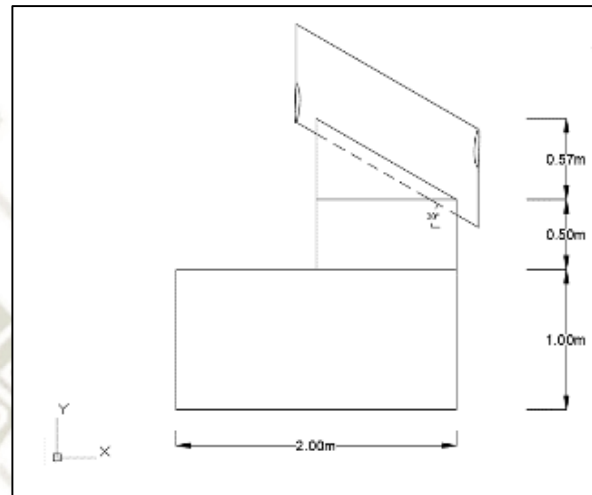


Figura 3.15: Esquema del apoyo N°1

Fuente: (Elaboración propia)

Conociendo el esquema, podemos proceder a graficar las fuerzas que incluyen en este anclaje.

3.7.4.1 Calculo y resultados de las fuerzas que soportara el apoyo N°1.

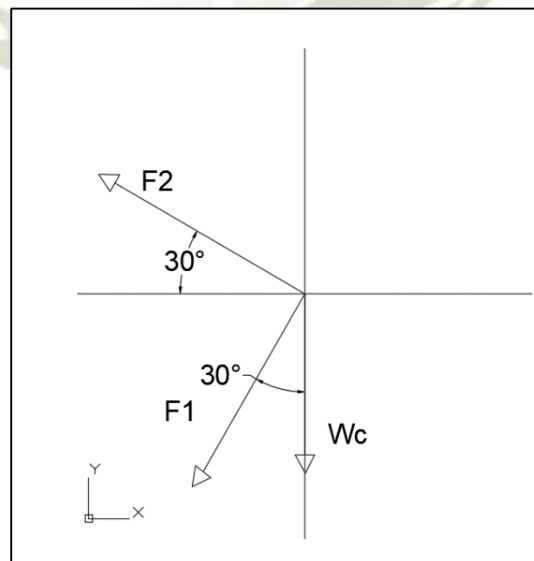


Figura 3.16: Distribución de las fuerzas en el apoyo N°1

Fuente: (Elaboración propia)

Calculo de las fuerzas que influyen en el apoyo.

$$F1 = W * La * \cos \alpha = 15020.57 \frac{N}{m} * 3.25m * \cos 30^\circ = 42276.63N$$

$$F1 = 42276.63N * \frac{1Kg - f}{9.81N} = 4309.54 Kg - f$$

$$F2 = \mu * F1 = 0.61 * 42276.63 N = 25788.74 N$$

$$F2 = 25788.74 N * \frac{1Kg - f}{9.81N} = 2628.82 Kg - f$$

*El valor de μ , se realizó un estudio en la ciudad de Pittsburgh – Estados unidos. Se adjunto el resultado en los anexos.

Para poder hallar el peso debemos conocer el volumen del apoyo, nos guiaremos de la siguiente figura. Suponiendo también el peso específico del concreto será de 2300 Kg-f/cm².

3.7.4.2 Calculo, resultados y dimensiones del apoyo N°1.

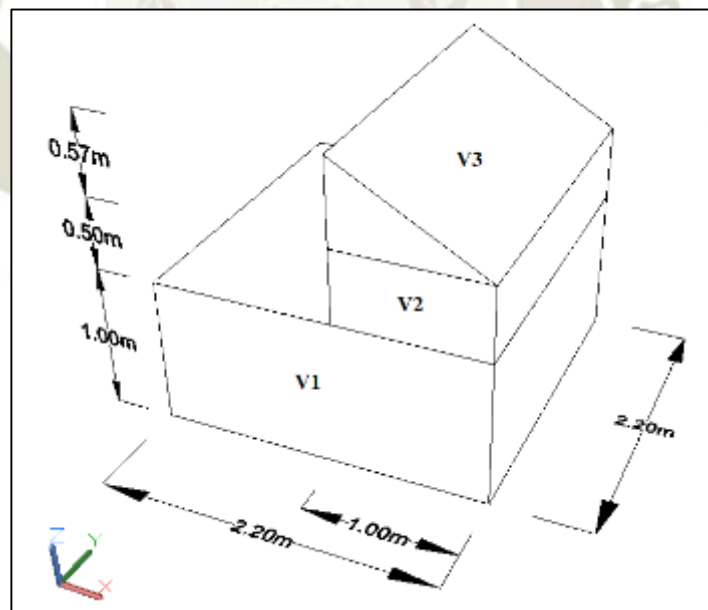


Figura 3.17: Volúmenes del apoyo N°1

Fuente: (Elaboración Propia)

Conociendo todas las medidas del apoyo, procederemos a realizar el cálculo del peso del apoyo.

$$V1 = 2.20m * 1.00m * 2.20m = 4.84 m^3$$

$$V2 = 1.00m * 0.50m * 2.20m = 1.10 m^3$$

$$V3 = 1.00m * \frac{0.57m}{2} * 2.20m = 0.62 m^3$$

$$Vt = 4.84 m^3 + 1.10 m^3 + 0.62 m^3 = 6.56 m^3$$

$$Wc = Vt * \gamma_c = 6.56 m^3 * 2300 \frac{Kg - f}{m^3} = 15111 Kg - f$$

Antes de comprobar el diseño calcularemos el centro de gravedad del apoyo N°1 por el método de las áreas.

$$A1 = 2.20 m * 1.00 m = 2.20 m^2 ; x1 = 1.10 m ; y1 = 0.50m$$

$$A2 = 1.00 m * 0.50 m = 0.50 m^2 ; x2 = 1.70 m ; y2 = 1.25 m$$

$$A3 = 1.00 m * \frac{0.57}{2} m = 0.28 m^2 ; x1 = 1.53 m ; y1 = 1.69 m$$

$$Xo = \frac{2.20 m^2 * 1.10m + 0.50 m^2 * 1.70 m + 0.28 m^2 * 1.53m}{2.20 m^2 + 0.50 m^2 + 0.28 m^2} = 1.24 m$$

$$Yo = \frac{2.20 m^2 * 0.50 m + 0.50 m^2 * 1.25 m + 0.28 m^2 * 1.69m}{2.20 m^2 + 0.50 m^2 + 0.28 m^2} = 0.73 m$$

3.7.4.3 Calculo y resultados de las comprobaciones de diseño del apoyo N°1.

1) Primera condición de equilibrio

Con la ayuda de la **figura 3.14**, obtenemos que:

$$\Sigma Fx < \mu_t * \Sigma Fy$$

$$\Sigma Fx = F2 * \cos 30 - F1 * \sin 30$$

$$\begin{aligned} \Sigma Fx &= -2628.85 Kg - f * \cos 30 - 4309.54 Kg - f * \sin 30 \\ &= -4431.39 Kg - f \end{aligned}$$

$$\Sigma Fy = F2 * \sin 30 - F1 * \cos 30 - Wc$$

$$\begin{aligned} \Sigma Fy &= 2628.82 Kg - f * \sin 30 - 4309.54 Kg - f * \cos 30 - 15111 Kg \\ &\quad - f \end{aligned}$$

$$\Sigma Fy = -17528.76 Kg - f$$

El valor de μ_t lo sacamos de la **tabla 3.9**. Utilizamos el valor de 0.5, ya que nuestro suelo tiene esas características.

$$\Sigma Fx < \mu_t * \Sigma Fy$$

$$4431.39 Kg - f < 0.5 * 17528.76 Kg - f$$

$$4431.39 \text{ Kg} - f$$

$$< 8764.38 \text{ Kg}$$

- f ... (Ok) Si se cumple la primera condicion.

2) Segunda condición de equilibrio.

$$S_{base} = \frac{Ry}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b} \right) ; S_{base} < S_{admisible}$$

Se utiliza el mismo método que en el anclaje N°1. Primero realizamos un DCL.

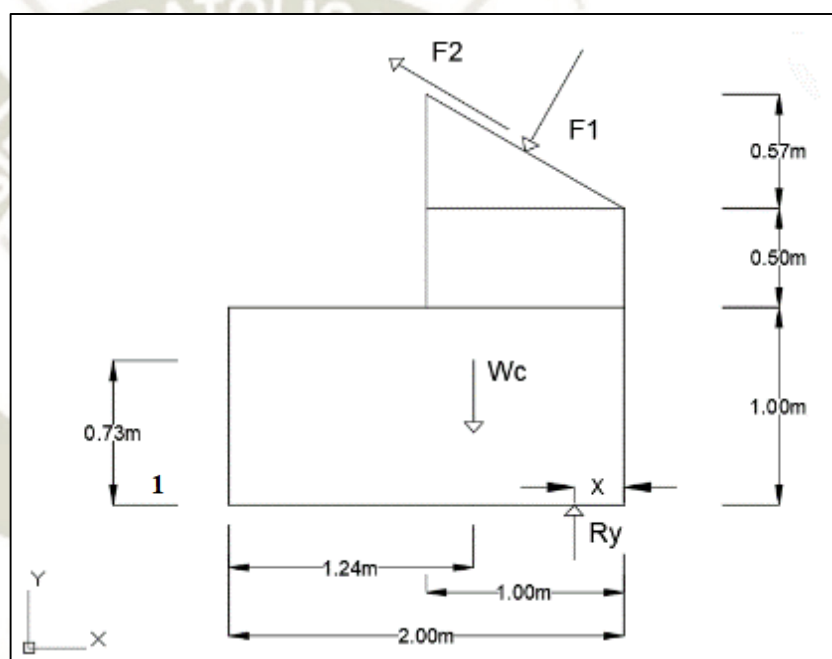


Figura 3.18: DCL del apoyo N°1.

Fuente: (Elaboración Propia)

Para poder hallar la reacción “Ry” y la distancia “X”, debemos realizar una sumatoria de momentos en el punto 1. Para poder determinar los brazos de fuerza, debemos aplicar geometría. Con las siguientes figuras hallaremos con mayor facilidad los siguientes brazos de fuerza.

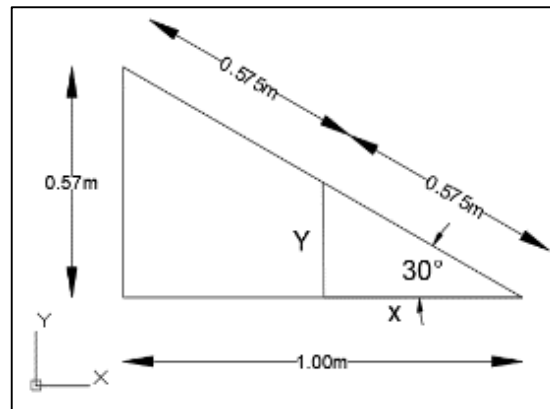


Figura 3.19: Medidas del tope del apoyo N°1

Fuente: (Elaboración propia)

Para poder haber hallado la distancia de 0.575 m, se realizó el siguiente cálculo.

$$\begin{aligned} \text{Hipotenusa} &= \sqrt{(0.57\text{m})^2 + (1.00\text{m})^2} = 1.15\text{m}, \text{ entonces } \frac{1.15\text{m}}{2} \\ &= 0.575\text{m} \end{aligned}$$

$$Y = 0.575\text{m} * \text{sen}30^\circ = 0.2875\text{m} \quad ; \quad X = 0.575 * \text{cos}30 = 0.497\text{m}$$

Ya que las fuerzas F1 y F2, que vemos en la **figura 3.16**, irán justo en el medio del triángulo, debemos hallar sus brazos de fuerzas desde el punto “1”.

Se trazo una un triángulo de color rojo en el esquema del apoyo N°1, para tener una mejor referencia de las distancias. En la siguiente figura veremos la distancia perpendicular desde el punto 1 hasta la fuerza F1, presentaremos los cálculos de cómo se halló dicha distancia.

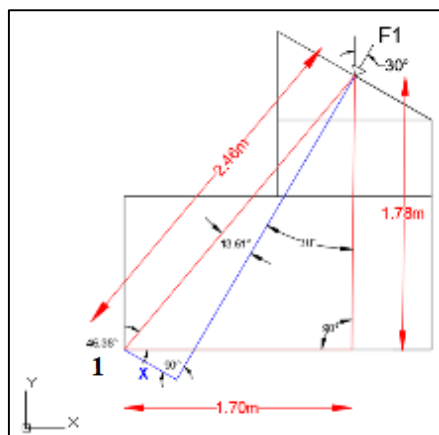


Figura 3.20: Distancia perpendicular del punto 1 hacia la fuerza F1

Fuente: (Elaboración propia)

Distancia en el eje X : $1.20\text{ m} + 0.50\text{ m} = 1.70\text{ m}$

Distancia en el eje Y: $1.00\text{ m} + 0.50\text{ m} + 0.28\text{ m}$

Hipotenusa = $\sqrt{(1.70\text{ m})^2 + (1.78\text{ m})^2} = 2.46\text{ m}$

Del triángulo Rojo para obtener el ángulo en la esquina del vertice 1.

$Tg^{-1} \frac{1.78\text{ m}}{1.70\text{ m}} = 46.38^\circ$; Realizando una resta de ángulos en el triángulo rojo

$180^\circ - 46.38^\circ - 90^\circ - 30^\circ = 13.61^\circ$

Conociendo los ángulos, podemos hallar la distancia "X azul":

$sen13.61^\circ = \frac{x}{2.46}$; Despejando y resolviendo tenemos : $x = 0.58\text{ m}$

Ahora realizamos los mismos cálculos para la fuerza F2.

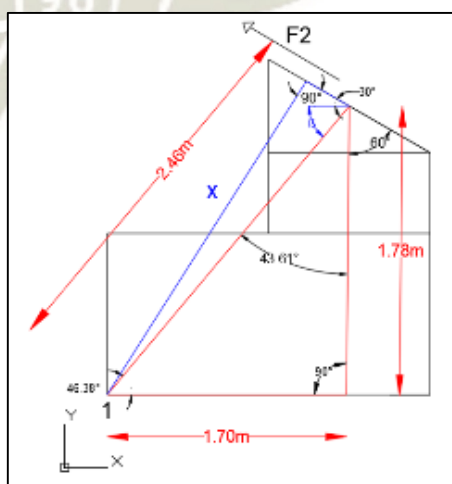


Figura 3.21: Distancia perpendicular del punto 1 hacia la fuerza F2

Fuente: (Elaboración propia)

Conociendo la mayoría de los ángulos, podemos hallar el Angulo “β”.

$$\beta = 180^\circ - 60^\circ - 43.61^\circ - 30^\circ = 46.39^\circ$$

Utilizando la hipotenusa del triangulo rojo , y los angulos conocidos hallamos el valor de "X azul".

$$\text{sen}(46.39^\circ + 30^\circ) = \frac{X}{2.46m} ; \text{Despejando y calculando tenemos que } X = 2.39m$$

Conociendo todas las medidas podemos retornar a la sumatoria de momentos del apoyo N°1, desde el punto 1. De la **figura 3.16** tenemos que.

$$\Sigma M1 = 0$$

$$\Sigma M1 = -F2 * 2.39m + F1 * 0.58m + Wc * Xo - Ry * x$$

$$\Sigma M1 = -2628.82Kgf * 2.39m + 4309.54Kgf * 0.58m + 15111Kgf * 1.24m - Ry * x \dots (1)$$

$$Ry = \Sigma Fy$$

$$Ry = -17528.76 \text{ Kg} - f \dots (2)$$

Reemplazando el valor de (2) en (1), tenemos el valor de x

$x = 0.85m$ Entonces hallamos el valor de e

$$e = x - \frac{b}{2} = 0.85m - \frac{2.20m}{2} = -0.25m$$

Teniendo todos los valores podemos calcular la condición 2.

$$S_{base} = \frac{Ry}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right)$$

$$S_{base} = \frac{17528.76 \text{ Kg} - f}{220cm * 220cm} * \left(1 - 6 * \frac{-0.25m}{2.20m}\right) = 0.60 \frac{\text{Kg} - f}{cm^2}$$

$$S_{base} < S_{admisible}$$

$$0.60 \frac{\text{Kg} - f}{cm^2} < 1.8 \frac{\text{Kg} - f}{cm^2} \dots (Ok)$$

Si cumple , el valor de $S_{admisible}$ se encuentra en el anexo.

3) Tercera condición de equilibrio.

En la formula anterior se usa el signo “+” y debe dar un valor positivo en la fórmula de “ S_{base} ”.

$$S_{base} = \frac{Ry}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right)$$

$$S_{base} = \frac{17528.76 \text{ Kg} - f}{220\text{cm} * 220\text{cm}} * \left(1 + 6 * \frac{-0.25\text{m}}{2.20\text{m}}\right) = 0.11 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} \dots (Ok)$$

Entonces podemos concluir que :

$$S_{max} = 0.60 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} ; S_{min} = 0.11 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2}$$

3.7.5 Calculo y resultados del anclaje N°2.

3.7.5.1 Calculo y resultados de las fuerzas que soporta el anclaje N°2.

Usaremos las mismas fórmulas que utilizamos para el anclaje N°1. El cambio más grande es que el ángulo “ α ”, será 30° y el ángulo β será “ 0 ” en todos los cálculos para este anclaje.

a) Fuerza uno

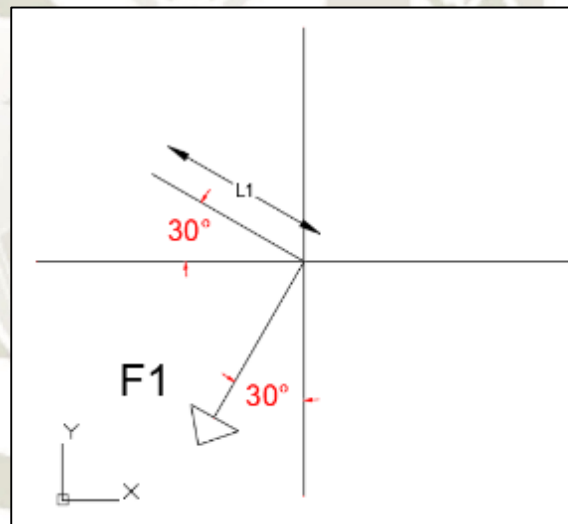


Figura 3.22: Fuerza uno del anclaje dos

Fuente: (Elaboración propia)

$$F1 = (Wt + Wa) * L1 * \cos \alpha = 15020.57 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 1.625\text{m} * \cos 30^\circ = 21138.31\text{N}$$

$$F1 = 21138.31\text{N} * \frac{1 \text{ Kg} - f}{9.81\text{N}} = 2154.77 \text{ Kg} - f$$

b) Fuerza dos

La fuerza dos es nula ya no existe ninguna junta de dilatación

$$F2 = \mu * (Wt + Wa) * L2 * \cos \alpha$$

$$F2 = 0$$

c) Fuerza tres

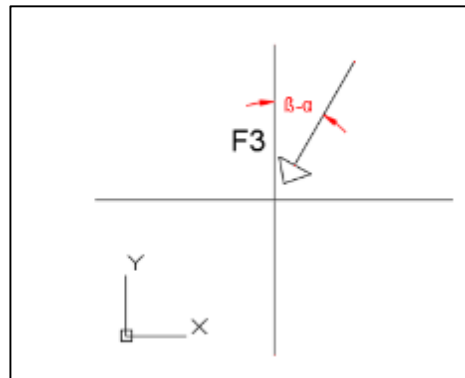


Figura 3.23: Fuerza tres del anclaje dos

Fuente: (Elaboración propia)

$$F3 = 1.6 * 10^3 * H * D^2 * \text{sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2}$$

$$F3 = 1.6 * 10^3 * (10m) * (1.3142m)^2 * \text{sen} \frac{0^\circ - 30^\circ}{2} = 7152.19 \text{ Kg} - f$$

d) Fuerza cuatro

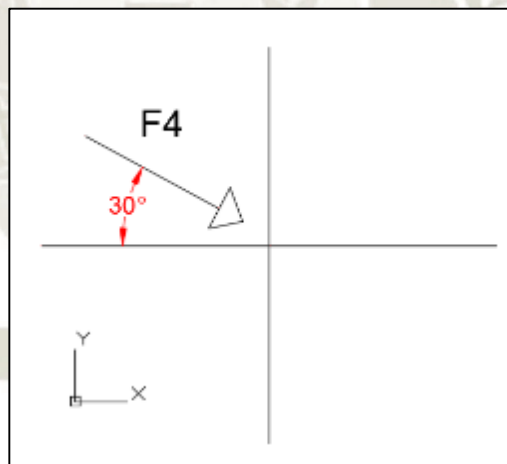


Figura 3.24: Fuerza cuatro del anclaje dos

Fuente: (Elaboración propia)

$$F4 = Wt * L4 * \text{sen} \alpha$$

$$F4 = 174.69 \frac{\text{Kg} - f}{m} * 3.25 * \text{sen} 30^\circ = 283.87 \text{ Kg} - f$$

e) Fuerza cinco

Esta fuerza será nula ya que los cambios de temperatura serán nulos.

$$F5 = 31 * D * t * E * a * \Delta T$$

$$F5 = 0$$

f) Fuera seis

Esta fuerza será nula ya que no se utilizará ninguna junta de dilatación.

$$F6 = 3.1 * D * C$$

$$F6 = 0$$

g) Fuerza siete

Esta fuerza será nula ya que no se utilizará ninguna junta de dilatación.

$$F7 = 3.1 * H * D * t$$

$$F7 = 0$$

h) Fuerza ocho

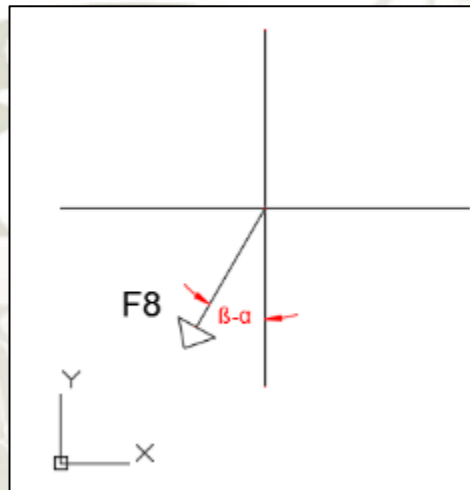


Figura 3.25: Fuerza ocho del anclaje dos

Fuente: (Elaboración propia)

$$F8 = 250 * \left(\frac{Q}{D}\right)^2 * \text{sen}\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right) = 250 * \left(\frac{5 \frac{m^3}{s}}{1.4m}\right) * \text{sen}\left(\frac{0^\circ - 30^\circ}{2}\right)$$

$$= 825. Kg - f$$

i) Fuera nueve

La fuera nueve será nula ya que no se encuentran reducción en la instalación.

$$F9 = 1 * 10^3 * H * \Delta A$$

$$F9 = 0$$

En la siguiente figura tenemos todas las fuerzas ubicadas en un mismo plano para conceptuar mejor como serán distribuidas y darnos cuenta la capacidad que debe tener el anclaje. Hay que recatar que falta calcular el peso del anclaje el cual ira ubicado en el centro de gravedad del anclaje.

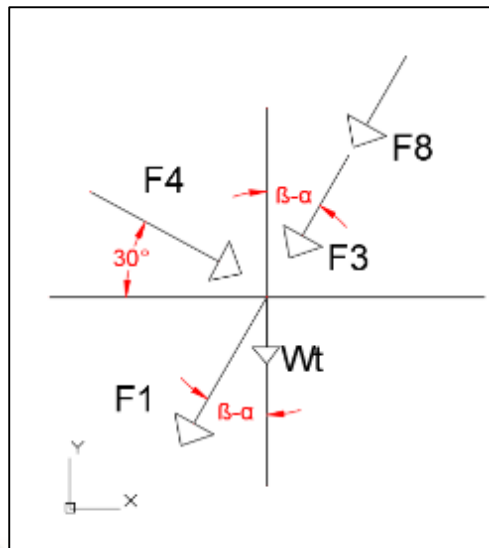


Figura 3.26: Distribución de todas las fuerzas que influyen en el anclaje N°2

Fuente: (Elaboración propia)

3.7.5.2 Cálculo y dimensiones del anclaje N°2.

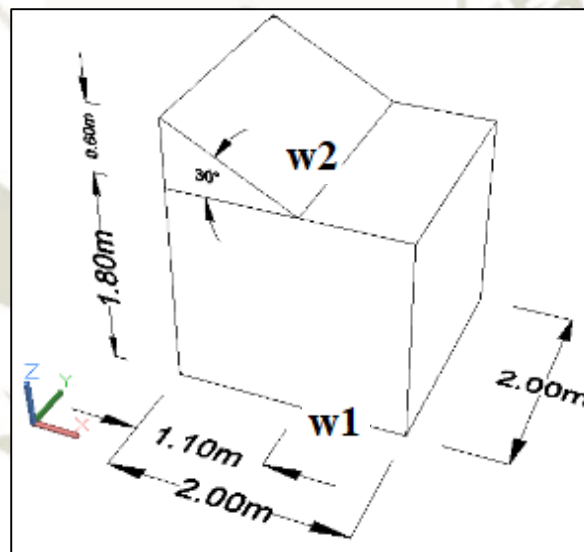


Figura 3.27: Esquema y dimensiones del anclaje N°2

Fuente: (Elaboración propia)

Como se realizó en el anclaje N°1, estas medidas son al azar y ahora comprobaremos sus dimensiones con los diferentes criterios de diseño. Empezaremos calculando el peso del anclaje N°2.

a) Cálculo del peso del anclaje

Asumiendo el peso específico del concreto 2300 kg-f/cm^3 .

$$w1 = (2.00m * 2.00m * 1.80m) * 2300 \frac{Kg - f}{m^3} = 16560 Kg - f$$

$$w2 = \left(\frac{1.10m * 0.60m}{2} \right) * 2.00m * 2300 \frac{Kg - f}{m^3} = 1518 Kg - f$$

$$Wt = w1 + w2$$

$$Wt = (16560 Kg - f + 1518 Kg - f) = 18078 Kg - f$$

b) Cálculo del centro de gravedad por el método de áreas.

$$\text{Área 1} = 1.80m * 2.20m = 3.60 m^2 ; x1 = 1.00 m ; y1 = 0.90 m$$

$$\text{Área 2} = \frac{1.10m * 0.60m}{2} = 0.33 m^2 ; x1 = 0.36 m ; y2 = 1.10 m$$

$$Xo = \frac{A1 * X1 + A2 * X2}{A1 + A2}$$

$$Xo = \frac{3.60m^2 * 1.00m + 0.33m^2 * 0.36m}{3.60m^2 + 0.33m^2} = 0.94m$$

$$Yo = \frac{A1 * Y1 + A2 * Y2}{A1 + A2}$$

$$Yo = \frac{3.60m^2 * 1.00m + 0.33m^2 * 1.10m}{3.60m^2 + 0.33m^2} = 0.91m$$

Entonces el centro de gravedad tiene las siguientes de coordenadas

$$Cg = (Xo; Yo) = (0.94m; 0.91m)$$

3.7.5.3 Resultados y comprobaciones de diseño del anclaje N°2.

1) Primera comprobación de diseño

$$\Sigma Fx < \mu_t * \Sigma Fy$$

$$\Sigma Fx = -F1 * \text{sen}30 - (F3 + F8) * \text{sen} \left(\frac{\beta - \alpha}{2} \right) + F4 * \text{cos}\alpha$$

$$\Sigma Fx = -2154.47 \text{ Kg} * \text{sen}30^\circ - (7152.19 \text{ Kg} + 825 \text{ Kg}) * \text{sen}15^\circ + 283.87 * \text{cos}30^\circ$$

$$\Sigma Fx = -2896.12 \text{ Kg} - f$$

$$\Sigma Fy = -F1 * \text{cos}30 - (F3 + F8) * \text{cos} \left(\frac{\beta - \alpha}{2} \right) + F4 * \text{sen}\alpha - Wt$$

$$\Sigma Fy = -2154.47 \text{ Kg} * \text{cos}30^\circ - (7152.19 \text{ Kg} + 825 \text{ Kg}) * \text{cos}15^\circ - 283.87 * \text{cos}30^\circ \dots$$

$$-18078 \text{ Kg} - f$$

$$\Sigma Fy = -22791.43 \text{ Kg} - f$$

El valor de μ_t , es el mismo valor de 0.5.

$$\Sigma F_x < \mu_t * \Sigma F_y$$

$$2896.12 \text{ Kg} - f < 0.5 * 22791.43 \text{ Kg} - f$$

$$2896.12 \text{ Kg} - f < 11395.71 \text{ Kg} - f \dots (Ok) , Si se cumple la primera condicion$$

2) Segunda condición de equilibrio.

$$S_{base} = \frac{R_y}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right) ; S_{base} < S_{admisible}$$

Para poder hallar el valor de “e”, utilizamos la siguiente ecuación.

$$e = x - \frac{b}{2}$$

Para poder hallar el valor de X, debemos realizar sumatoria de momentos en el punto de origen del anclaje. Las fuerzas en el eje x y eje y. se ubicarán más que todo en el punto donde empieza el cambio de dirección. Nos ayudaremos con un DCL del anclaje N°2.

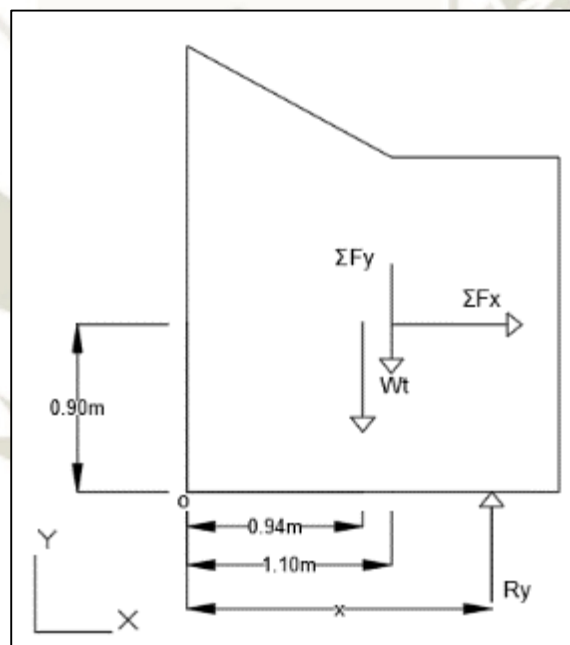


Figura 3.28: Diagrama de cuerpo libre del anclaje N°2

Fuente: (Elaboración propia)

$$\Sigma M_o = 0$$

$$\Sigma M_o = -\Sigma F_x * 0.90m + \Sigma F_y (\text{Sin el peso del anclaje}) * 1.10m + W_t * X_o - R_y * x$$

$$\Sigma M_o = -2896.12\text{Kg} * 0.90m + 9713.34\text{Kg} * 1.10m + 18078\text{Kg} * 0.94m - R_y * x \dots (1)$$

$$R_y = \Sigma F_y$$

$$R_y = 22791.43 \text{ Kg} - f \dots (2)$$

Reemplazando (2) en (1), tenemos el valor de x

$x = 1.10\text{m}$ Entonces hallamos el valor de "e"

$$e = x - \frac{b}{2} = 1.10\text{m} - \frac{2.00\text{m}}{2} = 0.10\text{m}$$

Teniendo todos los valores ya podemos calcular la condición 2.

$$S_{base} = \frac{R_y}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right)$$

$$S_{base} = \frac{22791.43 \text{ Kg} - f}{200\text{cm} * 200\text{cm}} * \left(1 - 6 * \frac{-0.10\text{m}}{2.00\text{m}}\right) = 0.74 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2}$$

$S_{base} < S_{admisible}$

$$0.74 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} < 1.8 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} \dots (Ok)$$

Si cumple, el valor de $S_{admisible}$ se encuentra en el anexo.

3) Tercera condición de equilibrio.

En la fórmula anterior se usa el signo "+" y debe dar un valor positivo en la fórmula de "Sbase".

$$S_{base} = \frac{R_y}{A} * \left(1 \pm 6 * \frac{e}{b}\right)$$

$$S_{base} = \frac{22791.43 \text{ Kg} - f}{200\text{cm} * 200\text{cm}} * \left(1 - 6 * \frac{0.10\text{m}}{2.00\text{m}}\right) = 0.39 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} \dots (Ok)$$

Entonces podemos concluir que :

$$S_{max} = 0.95 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2} ; S_{min} = 0.39 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}^2}$$

3.8 CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LAS PERDIDAS.

3.8.1 Resultados de las pérdidas a la entrada de la tubería.

Utilizamos la **Ecuación 78**. K_e tendrá el valor de 0.04, escogido de la **figura 2.45**

$$h_e = K_e * \frac{v^2}{2 * g} = 0.04 * \frac{\left(3.68 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2.76 * 10^{-2}\text{m}$$

3.8.2 Resultados de las pérdidas por fricción en la tubería.

a) Método A. Utilizando la **Ecuación 80** y **81**

$$Re = \frac{vs * d}{\nu} = \frac{3.68 \frac{m}{s} * 1.3142m}{1.007 * 10^{-6} * \frac{m^2}{s}} = 4802637.53$$

$$Re = 4.80 * 10^6$$

$$e = \frac{\varepsilon}{d}, \text{ la rugosidad absoluta del HDPE sera } 0.0015mm$$

$$e = \frac{0.0015mm}{1314.2mm} = 1.1413 * 10^{-6}$$

Entrando al diagrama de Moody.

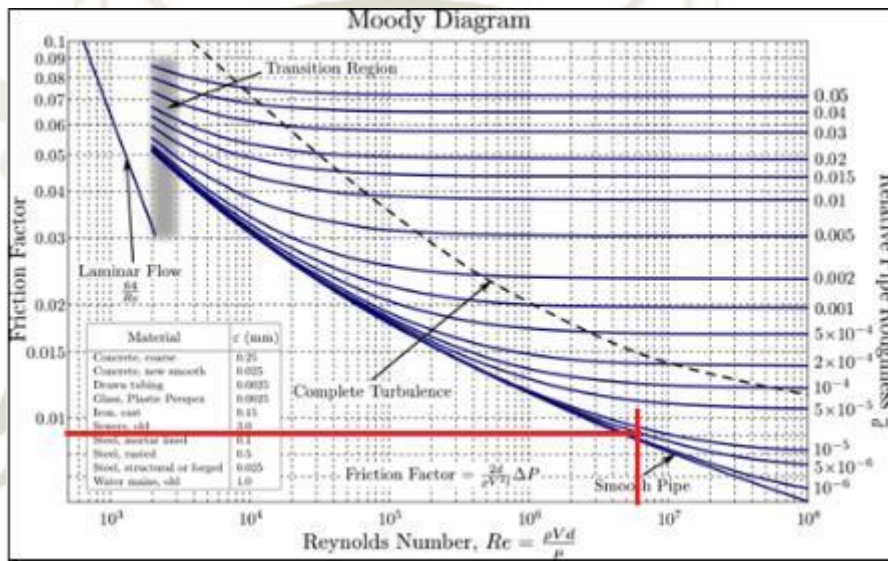


Figura 3.29: Selección del diagrama de Moody

Fuente: (Elaboración propia)

Del diagrama obtenemos el valor de f , que es 0.0086 (Según Moody), reemplazando en la **Ecuación 79**.

$$hfa = f * \frac{L * v^2}{D * 2 * g} = 0.0086 * \frac{9.50m * \left(3.68 \frac{m}{s}\right)^2}{1.31m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.00430m$$

b) Método B. Utilizando la **Ecuación 82** y escogiendo el valor de 5 de la **tabla 2.17**

$$f = 0.01 * \left(\frac{k}{D}\right)^{0.134} = 0.01 * \left(\frac{5}{1.3142}\right)^{0.134} = 1.19 * 10^{-2} = 0.0119$$

Reemplazando el valor el ecuacion 79.

$$hfb = f * \frac{L * v^2}{D * 2 * g} = 0.0119 * \frac{9.50m * \left(3.68 \frac{m}{s}\right)^2}{1.31m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.0595m$$

Realizando un pequeño promedio entre el método A y el método B tenemos que:

$$hfpromedio = \frac{hfa + hfb}{2} = \frac{0.0119m + 0.0595m}{2} = 0.0357m$$

3.8.3 Resultados de las pérdidas por accesorios.

En esta sección tendremos que realizar los cálculos con dos opciones. Principalmente los únicos accesorios que van en nuestra instalación son dos codos de 30°. Ya que se pretende cortar el flujo de agua con una compuerta en el canal de aducción. Igualmente calcularemos por motivos de comparación y seguridad, lo que sucedería si tenemos dos válvulas de compuerta en esta instalación. Cabe decir que ya que nuestra tubería es de un diámetro considerable, se utilizarían válvula tipo guillotina, las cuales en el tema de pérdidas por accesorios se comportan como válvulas compuerta totalmente abiertas.

Utilizando coeficientes de pérdidas singulares. Usamos la **Ecuación 83**. Los valores de “km” se adjuntarán en los anexos.

Primero calcularemos sin utilizar valvulas compuerta (Guillotina)

$$hm1 = Km * \frac{v^2}{2 * g} = (0.15 + 0.15) * \frac{\left(3.68 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.207m$$

Calculo con valvulas compuerta (Guillotina)

$$hm2 = Km * \frac{v^2}{2 * g} = (0.15 + 0.15 + 0.20 + 0.20) * \frac{\left(3.68 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.480m$$

Podemos concluir que si utilizamos dos válvulas guillotinas para nuestro diseño, las pérdidas por accesorios se duplican. Al final de este proyecto haremos una pequeña comparación entre los precios de compra de estas válvulas y las ventajas y desventajas que se tienen.

3.8.4 Resultados por pérdidas por rejillas.

Estas pérdidas ya se calcularon anteriormente, simplemente copiaremos los resultados.

$$\Delta J = \emptyset * \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2 * g} * \text{sen } \alpha$$

$$\Delta J = 1.8 * \left(\frac{4.7625\text{mm}}{65\text{mm}}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{3 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * \text{sen}70 = 0.0237\text{m} \cong 23.78\text{mm}$$

3.8.5 Sumatoria total de los pérdidas.

En este caso tendremos dos sumatorias, ya que tenemos dos resultados en las pérdidas por accesorios.

-1er caso:

$$\text{Pérdidas totales} = h_e + h_{fp} + h_{m1} + \Delta J$$

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas totales} &= 2.76 * 10^{-2}\text{m} + 0.0357\text{m} + 0.20\text{m} + 0.0237\text{m} \\ &= 0.287\text{m} \end{aligned}$$

-2do caso:

$$\text{Pérdidas totales} = h_e + h_{fp} + h_{m2} + \Delta J$$

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas totales} &= 2.76 * 10^{-2}\text{m} + 0.0357\text{m} + 0.480\text{m} + 0.0237\text{m} \\ &= 0.567\text{m} \end{aligned}$$

Comprobando que estas pérdidas no exceden el 10% de la caída total, tenemos lo siguiente

$$\% \text{pérdidas} = \text{Pérdidas totales} * \frac{100}{\text{Altura de caída total}}$$

Para el 1 caso tendríamos que:

$$\% \text{pérdidas} = 0.287\text{m} * \frac{100}{10\text{m}} = 2.87\%$$

Para el 2 caso tendríamos que:

$$\% \text{pérdidas} = 0.567\text{m} * \frac{100}{10\text{m}} = 5.67\%$$

3.9 RESULTADOS DE LA SELECCIÓN DE LA TURBINA

Primero calcularemos la potencia al eje de la turbina. Utilizaremos el caso más crítico de pérdidas.

$$H_{bruta} = H_{neta} - \text{pérdidas}$$

$$H_{bruta} = 10m - 0.567m = 9.433m$$

Una vez calculado la altura bruta, calcularemos la potencia al eje con la siguiente ecuación. Suponiendo una eficiencia de la turbina del 85%

$$P_{eje} = \frac{\gamma * Q * H_b * \eta}{102}$$

$$P_{eje} = \frac{1000 \frac{Kg-f}{m^3} * 5 \frac{m^3}{s} * 9.433m * 0.85}{102} = 393.04 kW \leftrightarrow 527.07 C.V$$

Ya conociendo la potencia al eje de la turbina, procedemos a calcular la velocidad específica. Ya que la velocidad específica depende de las RPM, realizaremos un cálculo con diferentes número de polos.

Tabla 3.10 RPM, según diferentes números de polos y frecuencias

Con una frecuencia de 60hz		Con una frecuencia de 50hz	
Numero de polos	N (RPM)	Número de polos	N (RPM)
2	3600	2	3000
4	1800	4	1500
6	1200	6	1000
8	900	8	750
10	720	10	600
12	600	12	500

Fuente: (Elaboración propia)

Reemplazando estos valores en la siguiente formula

N_s

$$= \frac{N * \sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}; \text{Conociendo todos los valores realizaremos la siguiente tabla}$$

Utilizando los datos de :

$$P = 393.04 \text{ kW} ; H = 9.433\text{m} ; N = \text{Valores de la tabla 29}$$

Realizamos las siguientes tablas utilizando los diferentes valores de “N” y usando la potencia en diferentes sistema de unidades.

Tabla 3.11 Resultados de Ns, con una frecuencia de 60 Hz y la potencia en kW

Con una frecuencia de 60 Hz y “P” en kW		
Número de polos	N (RPM)	Ns (RPM)
2	3600	4317.26
4	1800	2158.63
6	1200	1439.08
8	900	1079.31
10	720	863.45
12	600	719.54

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 3.12 Resultados de Ns, con una frecuencia de 60 Hz y la potencia en CV

Con una frecuencia de 60 Hz y “P” en CV		
Número de polos	N (RPM)	Ns (RPM)
2	3600	4999.47
4	1800	2499.73
6	1200	1666.49
8	900	1249.86
10	720	999.89
12	600	833.24

Fuente: (Elaboración propia)

Con estos datos podemos entrar a las imágenes 56 y 57 y a la tabla 2.18.

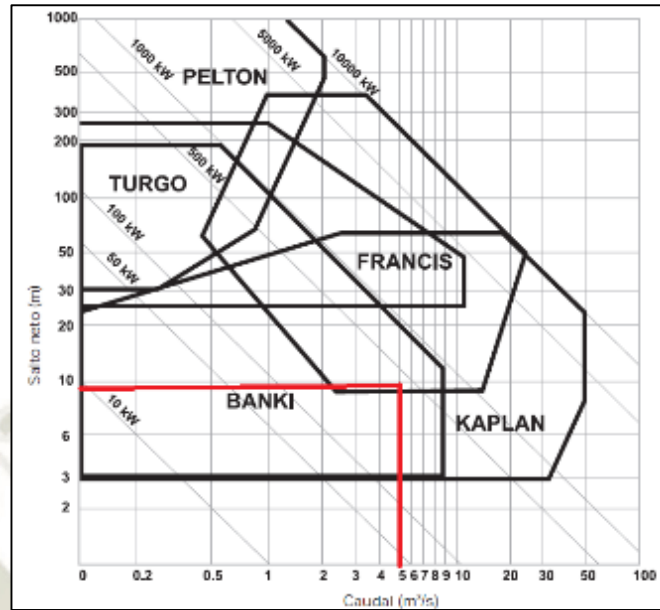


Figura 3.30: Selección de turbina según ábacos

Fuente: (Elaboración propia)

Según la anterior figura, dado nuestro salto y caudal, se podría anticipar que una turbina adecuada para nuestros proyecto podría ser una MICHELL-BANKI; KAPLAN; FRANCIS.

A continuación para la siguiente figura entraremos con datos de la tabla 3.11. Usaremos los datos de 12 polos, 600 RPM y Ns igual a 719.54.

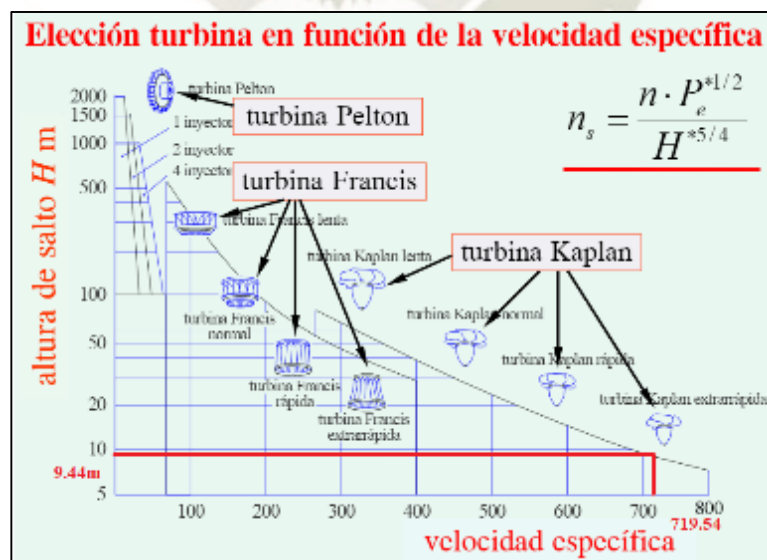


Figura 3.31: Selección de turbina según ábacos de velocidad

Fuente: (Elaboración propia)

De la anterior figura podemos anticipar que la casi la única opción para nuestros proyecto es una turbina Kaplan extra rápida. Para poder ya tener un decisión final compararemos nuestros con la **tabla 2.18**

Tabla 3.13 Turbinas según su Ns

Velocidad especifica (Ns)	Tipo de turbina	Altura del santo (m)
Hasta 18	Pelton con 1 tobera	800
18 a 25	Pelton con 1 tobera	800 – 400
26 a 35	Pelton con 1 tobera	400 – 100
26 a 35	Pelton con 2 toberas	800 – 400
36 a 50	Pelton con 2 toberas	400 – 100
51 a 72	Pelton con 4 toberas	400 - 100
55 a 70	Francis lentísima	400 - 200
70 a 120	Francis lenta	200 - 100
120 a 200	Francis media	100 - 50
200 a 300	Francis veloz	50 - 2
300 a 450	Francis ultra velocísima	25 - 15
400 a 500	Hélice velocísima	Hasta 15
270 a 500	Kaplan lenta	50 - 15
500 a 800	Kaplan veloz	15 - 5
800 a 1100	Kaplan velocísima	5

Fuente: Elaboracion propia

Podemos ya estar un poco seguros de que para nuestra instalación necesitaremos una turbina Kaplan o otra con similares características.

Como sabemos las turbinas Kaplan son parecidas o casi iguales a las turbinas de hélice. Hoy en día la tecnología y los avances en la ingeniería permiten un mejor selección de las turbinas. Las turbinas Francis, Pelton y Kaplan que conocíamos anteriormente han cambiado bastante y existen variantes novedades y favorables para todo tipo de caída y de caudal.

Es por eso por lo que en esta sección y según resultados si se escogiera una turbina Kaplan se tendría que modificar mucho las obras civiles que se tienen actualmente. Llegando a estas conclusiones y mejores soluciones se ha escogido una “TURBINA DE TIPO TUBULAR”.

Este tipo de turbina tubulares son elegidas en vez de las turbinas Kaplan ya que ya no hay necesidad de tener un eje vertical. La principal ventaja es que estas turbinas requieren menos de obras civiles y es lo que se requiere en esta reingeniería. Enseguida presentaremos una figura donde procederemos con la selección de esta turbina según el fabricante encontrado.

Hydro turbine					Generator			Speed governor
Type	Design Head(m)	Design Flow (m³/s)	Power (kW)	Rated Speed (r/min)	Type	Rated Power (Kw)	Rated Voltage (v)	
GD003-WZ-80+10"	8.1	3.98	278.6	500	SFW250-12/990	250	400	YWT-300
	9.6	4.34	353.6	600	SFW320-10/990	320	400	YWT-600
GD003-WZ-80+15"	7.3	4.46	277.8	428.6	SFW250-14/990	250	400	YWT-600
	8.6	4.84	354	500	SFW320-12/990	320	400	YWT-600
	10	5.22	450.4	500	SFW400-12/1180	400	400	YWT-600
	11.3	5.62	531.3	600	SFW500-10/1180	500	400	YWT-600
GD003-WZ-120+25"	7.2	5.83	351.6	428.6	SFW320-14/1180	320	400	YWT-600
	8.2	6.21	430	428.6	SFW400-14/1180	400	400	YWT-600
	9.6	6.72	523.6	500	SFW500-12/1180	500	400	YWT-600
	11.3	7.29	659.7	500	SFW630-12/1430	630	6300	YWT-1000

Figura 3.33: Especificaciones de la turbina tubular preseleccionada

Fuente: (Figura rescatada el 16 de noviembre del 2018 de <https://es.made-in-china.com>)

Se aprecia en la figura anterior que el modelo de la turbina, existen diferentes especificaciones sobre turbinas tipo tubulares. Haremos una pequeña preselección utilizando el siguiente modelo “GD003-WZ-80+15””, que cumple con nuestras datos del proyecto. Aprovechamos también de deducir que viene acoplado con un generador síncrono que produce alrededor de unos 400 kW. Lo cual es suficiente para nuestra reingeniería.

Después de haber realizado una cotización al proveedor, nos envió los siguientes datos:

Potencia de la turbina: 410 kW, 426r/min

Potencia del generador: 370 kW, 60 hz

La potencia que obtendríamos con esta turbina seria de 370 kW por el generador, lo cual es una energía considerable para nuestra planta. En los anexos, se dejarán los datos del proveedor y los demás componentes auxiliares de la turbina.

Realizando un pequeño resumen de la turbina tenemos los siguientes datos:

- Potencia de la turbina 410 kW
- RPM: 426
- Frecuencia del generador: 60 Hz
- Eficiencia: Según proveedor
- Altura de caída de la turbina: 9.5 metros
- Caudal de diseño de la turbina: 5.0 m³/s
- Tipo de turbina: Kaplan tipo S
- Diámetro del rodete: 80 cm
- Generador: Síncrono horizontal
- Voltaje del generador: 400 v
- Potencia del generador: 370 kW

CAPITULO IV

4. COSTOS Y PRESUPUESTOS

4.1 ANTECEDENTES

Hoy en día la planta de Chucarapi, cuenta con varios equipos. Entre estos equipos contamos con motores eléctricos para bombas, motorreductores y equipos especiales para la elaboración de azúcar. Tenemos equipos funcionando tanto en 220v como en 400v. Sumando la potencia que consumen todos estos equipos y también los aparatos eléctricos de las oficinas tenemos los siguiente resultados.

Tabla 4.1 Consumo en 440 v de la fabrica

Consumo de 440 v	
Potencia activa	850 kW
Potencia aparente	882.3 KVa
Corriente consumida	1108.7 Amp
Voltaje	460 V

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 4.2 Consumo de 200 v de la fabrica

Consumo de 220 v	
Potencia activa	20 kW
Potencia aparente	24 Kva
Corriente consumida	106 Amp
Voltaje	226 V

Fuente: *Elaboración propia*

En la fábrica hemos llegado a picos de consumo de casi 850 kW, lo cual es una cifra para considerar. Para poder tener una idea de este consumo tomaremos un extracto de los recibos de consumo eléctrico de la planta. Sabemos que en un recibo de consumo eléctrico tiene diferentes secciones y también dependen de la opción tarifaria de cada planta. En la siguiente tabla podremos ver el importe total de cada mes para realizar un promedio de cuanto se debe de pagar durante el año. En los anexos se adjuntará todos los recibos de consumo eléctrico del año 2018.

Tabla 4.3 Consumo de energía eléctrica en la empresa durante el 2018

Consumo de energía eléctrica en la fábrica en el año 2018	
Potencia generadora en:	Importe (S/.)
Febrero	201,307.70
Marzo	316,578.00
Abril	415,692.80
Mayo	79,122.70
Junio	61,615.50
Julio	70,007.50
Agosto	70,896.90
Septiembre	63,878.70
Octubre	69,790.50
Diciembre 2017	158,603.20
Promedio mensual	150,749.30

Fuente: *Elaboración propia*

La potencia que generaría la nueva minicentral hidroeléctrica tendrá un efecto directo en el consumo de energía. Entonces para realizar un cálculo sobre el costeo y la recuperación de la inversión debemos realizar la siguiente tabla verificando una tarifa mensual que cobra SEAL hacia la empresa.

Tabla 4.4 Variación de la tarifa anual de la energía consumida

Potencia generadora en la fábrica en el año 2018		
Mes facturado	Tarifa fuera de punta (S/. /kw-hr)	Tarifa en hora punta (S/. /kw-hr)
Febrero	0.2386	0.1915
Marzo	0.2403	0.1931
Abril	0.2403	0.1931
Mayo	0.2301	0.1864
Junio	0.2301	0.1864
Julio	0.2329	0.1892
Agosto	0.2334	0.1895
Septiembre	0.2334	0.1895
Octubre	0.2334	0.1895
Diciembre 2017	0.2267	0.1799
Promedio mensual	0.2339	0.1888

Fuente: *Elaboración propia*

4.2 COSTO DEL PROYECTO

En esta sección dividiremos el costo de proyecto en varias partes, las cuales serían las obras civiles, tubería, turbina, etc. De antemano se podría deducir que los principales gastos más representativos serían las obras civiles. Se deberá tomar en cuenta que ya que es un proyecto para la misma empresa, se utilizará en mayor parte el personal de la empresa para la ejecución de la obra.

A continuación en el siguiente cuadro veremos un resumen de los costos

Tabla 4.5 Resumen de costos del proyecto

Descripción	Costo total
Desarenador	S/. 75,034.66
Cámara de carga	S/. 106,406.43
Tubería forzada	S/. 215,354.08
Casa de maquinas	S/. 291,073.59
Equipos electromecánicos	S/. 444,955.40
TOTAL	S/. 1,132,824.16

Fuente: Elaboración propia

Como estimamos previamente las obras civiles tiene el costo más elevado en este proyecto. En los anexos se adjuntará detalladamente el presupuesto.

4.3 COMPARACIONES DEL COSTO BENEFICIO

Vamos a valorizar la inversión con el ahorro de energía que produciríamos con la turbina elegida. Debemos realizar el siguiente calculo. Los siguientes valores los sacaremos de la tabla 4.4 y la potencia que genera la turbina.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro anual} &= \text{Potencia generadora} * \text{Dias de trabajo} * \\ &\text{Horas de trabajo diarias} * \text{Cantidad de meses} * \\ &\text{Precio de la tarifa promedio} * \text{Factor de potencia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro anual} &= 370 \text{ kW} * 30 \text{ dias} * 24 \text{ hrs/dia} * 12 \text{ meses} * \\ &0.2113 \frac{(\$.)}{(\text{kW-hr})} * 0.8 = \$/.540,387.07 \text{ anuales} \end{aligned}$$

Para poder interpretar este último dato debemos hacer un último calculo.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de recuperacion} &= \frac{\text{Inversion}}{\text{Ahorro anual}} \\ \text{Tiempo de recuperacion} &= \frac{\$/.1,312,824.16}{\$/.540,387.07} = 2.42 \text{ años} \approx 2 \text{ años y medio.} \end{aligned}$$

CONCLUSIONES

- Después de haber realizado los estudios hidrológicos y los datos que nos brinda SENAHMI y el ANA, obtenemos un caudal suficiente para la viabilidad de este proyecto.
- Se realizó los diferentes diseños de obras civiles para la futura instalación y a su vez también se seleccionó componentes nuevos para esta reingeniería. Con una nueva minicentral de una potencia instalada de **370 Kw**.
- Se logró realizar un presupuesto propio, que consta de una suma de **S/. 687,868.76** para las obras civiles y **S/. 444,955.40** para los equipos electromecánicos. Teniendo un total de **S/, 1,132,824.16** para elaboración de la reingeniería en su totalidad.
- El tiempo aproximado de recuperación de la inversión total es de 2 años y medio. Lo cual es un tiempo bastante corto considerando la magnitud de la inversión.
- Realizando un pequeño cálculo a futuro, después de haber cancelado la deuda de inversión de los nueve años, se podrá generar un ahorro anual de casi **S/.540,387.07**. Esta suma es muy representativa para los ingresos de la empresa.

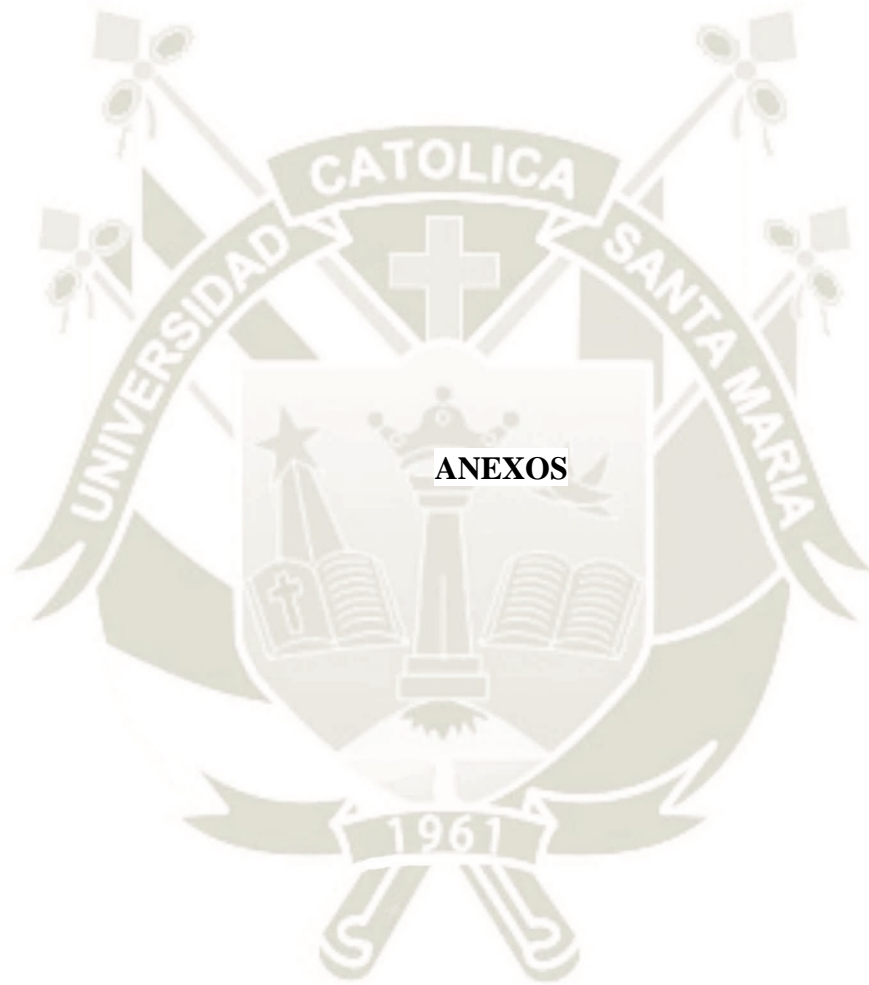
RECOMENDACIONES

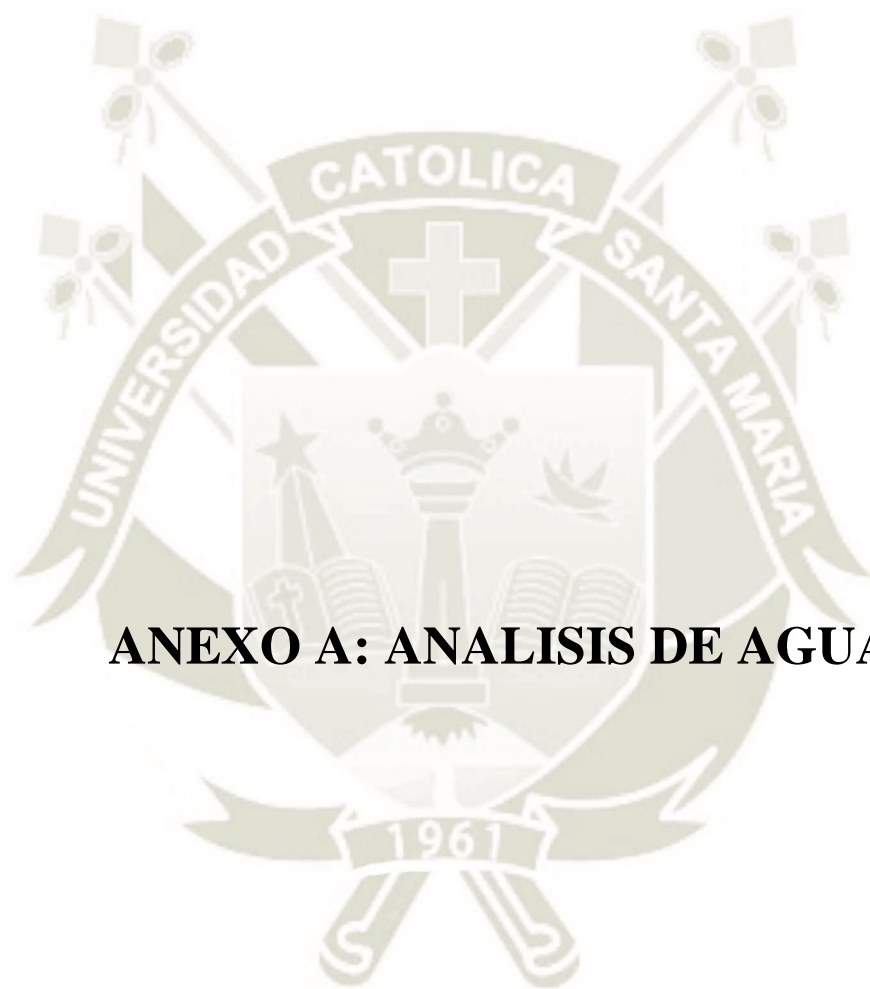
- Se recomienda realizar algún estudio para poder generar energía eléctrica de alguna otra manera, ya que los gastos mensuales de la empresa son muy elevados. Lo cual una nueva fuente ayudaría en una gran magnitud la economía de la empresa.
- Se recomienda también a la gerencia de la empresa ver la viabilidad de este proyecto, ya que a futuro podría generar un ahorro considerable.
- Se podría realizar un estudio más grande para realizar un proyecto sobre una nueva minicentral ampliando el rango de la generación eléctrica. Esto significaría una inversión más grande, pero podría abarcar toda la energía de la planta.
- Muy aparte de la viabilidad del proyecto también se recomienda realizar un análisis de redes energéticas en toda la planta. Ya que existe mucho desbalance de cargas en la mayoría de los equipos. Entonces ayudaría también a reducir el consumo de energía eléctrica. Si esa reducción es considerable, entonces haría más viable la generación del proyecto de la turbina.
- Se recomienda también evaluar el planta tarifario que ofrece la compañía SEAL. Existen posibilidades de cambiar de tarifa o empezar a ser un cliente libre.
- Se recomienda también realizar un análisis de redes, ya que la energía reactiva es muy elevada según se muestra en los recibos de consumo eléctrico. Un banco de condensadores se requiere con urgencia.

BIBLIOGRAFIA

1. Anil Kunwor. (2012). *Análisis de viabilidad y diseño de la microcentral hidroeléctrica Lamaya Khola*, [Tesis de Grado]. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/260385097_Technical_Specifications_of_Micro_Hydropower_System_Design_and_its_Implementation_Feasibility_Analysis_and_Design_of_Lamaya_Khola_Micro_Hydro_Power_Plant
2. Arbulu Ramos, Jose. (2018). *Estudio hidrológico de la “Cuenca del Rio Tambo”*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/yonerchavezburgos/cuenca-ro-tambo>
3. Coz, F., Sánchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodríguez, L., Miranda, H., . . . Muñoz, I. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos* . Lima, Perú: ITDG.
4. Dávila, C., Vilar, D., Villanueva, G., & Quiroz, L. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas.
5. Elviz Julver Goyzueta Arce. (2017). *Estudio y diseño para la minicentral hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara-Sandia-Puno* [Tesis de Grado]. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3602>
6. Giovene Pérez Campomanes. (s.f). *Cuarta sesión – Desarenadores*. Obtenido de https://www.academia.edu/28326315/Cuarta_sesion_desarenadores
7. José Agüera Soriano. (2011). *Turbinas hidráulicas*. Obtenido de <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%2013.pdf>
8. José David Arteta Corrales. (1994). *Proyecto de una Minicentral Hidroeléctrica de 120 kW para la localidad de Quillabamba* [Tesis de Grado]. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2506>

9. Leónidas Aspilcueta, Dany Juárez, (2014). *Modelamiento hidráulico de la minicentral hidroeléctrica del centro poblado de Llopish - Ancash* [Tesis de Grado]. Obtenido de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/624>
10. Manuel García (2015). *Diseño de Desarenadores*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/mgarcianaranjo/diseo-de-desarenadores>
11. Mario, C., Víctor, V. (1968). *Estudio hidrológico de los ríos de moquea*. Lima , Peru. Obtenido de <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/ANA/1485/ANA0000255.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. Ortiz, R. (2001). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. México, D.F.: Ed. Mc Graw – Hill.
13. Revinca, S.A (2002). *Manual de instalación de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD)*. Obtenido de <http://www.revinca.com/instalacion.pdf>
14. Robert Rubio (s.f). *Fenomeno transitorio del golpe de ariete*. Obtenido de https://www.academia.edu/29088394/FENOMENO_TRANSITORIO_DEL_GOLPE_DE_ARIETE_EXPLICACION_CULOS_CAUSAS_Y_PREVENCION_HISTORIA_DE_SU_ESTUDIO
15. Segundo, J., Dulio, G. (2014), *Reporte preliminar de zonas críticas por peligro geológico cuenca Rio Tambo*. Obtenido de http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/117725/ZONAS_CRITICAS_MOQUEGUA_2015.pdf/f40847c2-6517-479d-bf88-e8c2e66eb304
16. Víctor Maldonado Yactayo. (s.f). *Capítulo 7 – Sedimentación*. Obtenido de http://www.ingenieriasanitaria.com/pdf/manual1/tomo2/ma1_tomo2_cap7.pdf





ANEXO A: ANALISIS DE AGUA

**ANEXO A-1: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA REALIZADO EN
DICIEMBRE 2017**

**INFORME DE ENSAYOS N° 0473- 2018
PÁGINA 2 DE 2**

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	Agua superficial de río No especificada	UNIDADES
FQ	Acidez (CaCO ₃)*	< 1.5	mg/L
FQ	Dureza Total (como CaCO ₃)	347.89	mg/L
FQ	Turbidez*	4243	NTU
FQ	Sólidos Disueltos Totales	418	mg/L
FQ	pH**	8.1	Unidades de pH

ABREVIATURAS:
 mg/L : Miligramos por litro
 NTU : Unidades nefelométricas de turbidez
 Unidades de pH : ---

OBSERVACIONES :
 * Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA
 Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de detección del método
 **Estos métodos quedan fuera del alcance de la acreditación del INACAL-DA debido a las siguientes observaciones a la aptitud de la muestra al momento de la recepción (Autorizado y aceptado por el cliente):
 pH: Max. 2 hrs después de la toma de muestra. Muestra con más de 2 hrs de tiempo de vida útil.

MÉTODOS UTILIZADOS :
 Acidez (CaCO₃) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Method 2310 B. Acidity Titration Method. Pag. 2-27 22nd Ed. 2012.
 Dureza Total (como CaCO₃) : Norma Técnica Peruana 214.018 : 1999 Agua para consumo Humano. Determinación de la dureza. Método Volumétrico con EDTA.

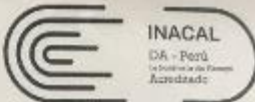
Fuente: Laboratorio BHIOS



**ANEXO A-2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA REALIZADO EN
FEBRERO 2018**

BHIOS
LABORATORIOS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055

 INACAL
DA - Perú
La Organización de Países
Acreditados

Registro N° LE-055

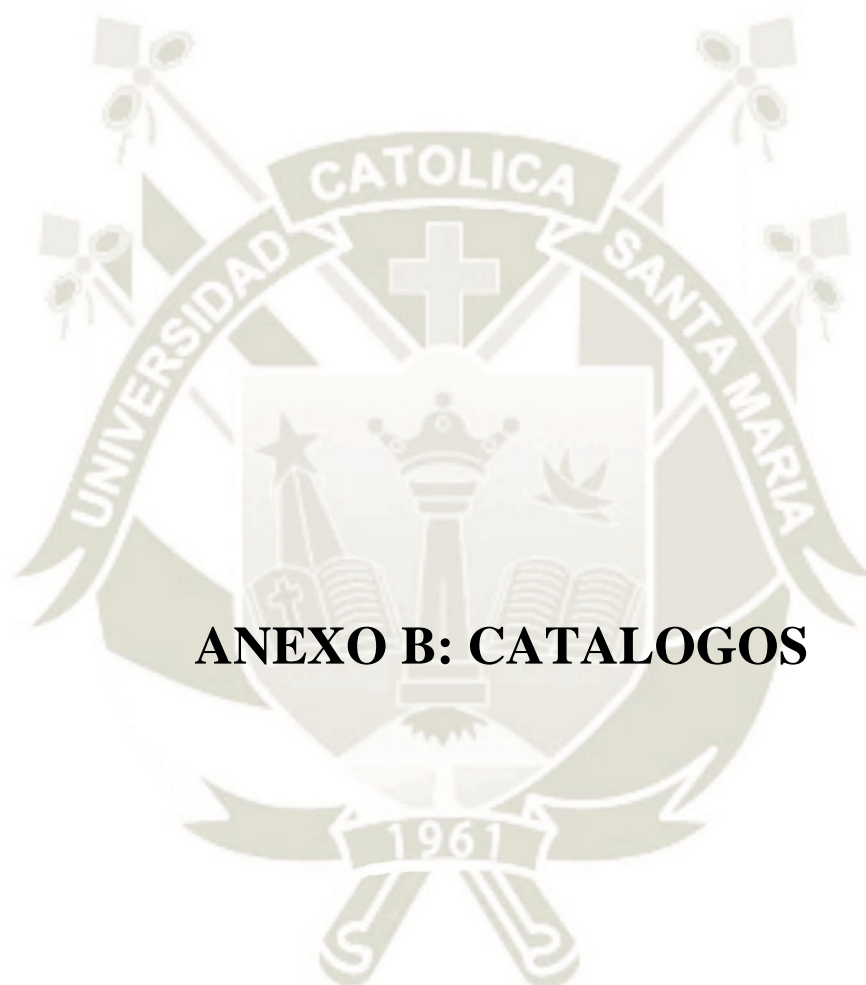
INFORME DE ENSAYOS N° 5837-2017
PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN	AGUA DE RÍO	UNIDADES
Dureza Total (como CaCO ₃)	8.4	mg/L
Sólidos Disueltos Totales	1749	mg/L
pH	469.67	Unidades de pH
Acidez (CaCO ₃)*	< 0.01	mg/L

ABREVIATURAS:
• mg/L : Miligramos por litro de muestra

Fuente: Laboratorio BHIOS



ANEXO B: CATALOGOS

ANEXO B-1 CATALOGO DE LA TUBERÍA DE HDPE.

		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	0.148	2.3	0.17	2.3	0.13	3.0	0.21	3.5	0.24
25	3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.148	2.3	0.17	3.0	0.21	3.5	0.24	4.4	0.39
32	1	-	-	-	-	-	-	2.0	0.2	2.4	0.23	3.0	0.28	3.6	0.33	4.5	0.51	5.5	0.61	6.9	0.94
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	6.9	0.94	8.6	1.48
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	8.6	1.48	10.3	2.12
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	10.3	2.12	12.3	3.03
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	12.3	3.03	15.1	4.54
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	15.1	4.54	19.9	5.96
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	19.9	5.96	27.4	14.94
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	27.4	14.94	34.2	23.32
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	34.2	23.32	43.1	37.01
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	43.1	37.01	54.7	59.60
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	47.6	42.93	59.6	63.32
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	54.7	59.60	61.5	74.55
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	59.6	63.32	74.55	86.46
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	63.32	74.55	86.46	103.2
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	86.46	103.2	123.3	151.48
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1) La presión nominal PN corresponde a la máxima presión de operación admisible en Bar, a 20° C.
2) Valores en pulgadas utilizados como referencia con la norma ASTM/ANSI B 36.10.
3) La relación SDR corresponde al cociente entre el diámetro externo y espesor de la tubería.

Fuente: www.cidelsa.com





ANEXO C: DATOS PARA CALCULOS

ANEXO C-1 COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE EL MATERIAL DE HDPE Y CONCRETO.

Results of Friction Coefficient Test

March 8, 2000

Russ Engineering Group, Inc.
7600 GSRI Avenue
Baton Rouge, La. 70820

Eight (8) base assemblies were tested for coefficient of static friction. The tests were performed by Professional Service Industries, Inc. in their laboratory in Pittsburgh, Pa. Three configurations were tested on four different surfaces.

The three assemblies were:

- HDPE Base
- HPDE Base on Rubberized Bearing Pad (Epoxyed to the base)
- HPDE Base on Rubberized Bearing Pad (Non-Epoxyed)

The four surfaces were:

- Dry Concrete
- Wet Concrete
- Dry Rubber Membrane
- Wet Rubber Membrane

A fifty (50) pound weight was placed on the center of the base assembly. A Chantillon Digital Force Gauge, Model #DRC 100, was used to pull the base. The horizontal force required to put the base into motion was then recorded. The coefficient of static friction is simply the horizontal force in pound divided by 50 pounds.

The results of the above test are tabulated as follows:

HDPE Base			
Test No.	Surface Condition	Force Applied	Coefficient of Friction
1	Dry Concrete	32.2	0.64
2	Dry Concrete	30.8	0.62
3	Dry Concrete	30.9	0.62
4	Dry Concrete	29.1	0.58
5	Dry Concrete	29.3	0.59
Average		30.5	0.61
HDPE Base/Rubberized Pad (Epoxyed)			
Test No.	Surface Condition	Force Applied	Coefficient of Friction
1	Dry Concrete	51.4	1.03
2	Dry Concrete	49.8	1.00
3	Dry Concrete	50.5	1.01
4	Dry Concrete	52.6	1.05
5	Dry Concrete	50.6	1.01
Average		51.0	1.02
HDPE Base/Rubberized Pad (Non-Epoxyed)			
Test No.	Surface Condition	Force Applied	Coefficient of Friction
1	Dry Concrete	37.7	0.75
2	Dry Concrete	38.4	0.77

Fuente: Russ Engineering Group , Inc Marzo 8 , 2000

ANEXO C-2: VALOR DEL ESFUERZO ADMISIBLE “SADM”, DEL SUELO PARA LA UBICACIÓN DE LOS APOYOS.

VALORES DE CAPACIDAD PORTANTE

MUESTRA	UBICACION	Profundidad (m)	Capac.portante
			qu (kg/cm ²)
M - 1	Catas	0,35	1,5
M - 2	Catas	1,68	1,8
M - 1	La Punta	0,5	1,5
M - 1	La Punta Cerro El Pino	1,8	2,5
M - 3	La Curva	1,2	2,4
M - 2	El Arenal	0,6	2
M - 1	El Arenal	0,4	1,8
M - 1	Cocachacra	2,7	2,5
M - 2	cocachacra	2,9	2,8
M - 3	Bombon	0,6	1,5
M - 2	Chucarapi	1,2	1,8

Fuente: Ing. Roberto Kosaka, Ing. Hector Palza, Ing. Eduardo Farfan, Ing. Edgard Gonzales, Ing. Armando Minaya, Ing. Javier Ticona, (2011) *Evaluación de peligros del valle de Tambo*, Arequipa

**ANEXO C-3: COEFICIENTES “KM” PARA LOS CÁLCULOS DE LAS PÉRDIDAS
POR ACCESORIOS.**

Tabla 2.2 Coeficientes de pérdidas singulares

Elementos		Coeficientes de pérdidas ξ									
Entrada tubería											
	Borde abrupto										0.5
	Borde redondeado										0.2
	Boca acampanada										0.04
Expansiones		$(1-A_1/A_2)^2$									
Contracciones		$(1/C_c-1)^2$									
A_2/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9		
C_c	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892		
Codos											
	Radio pequeño, $r/D=1$										
	90°										0.24
	45°										0.1
	30°										0.06
	Radio grande, $r/D=1.5$										
	90°										0.19
	45°										0.09
	30°										0.06
	<u>Codos bruscos</u>										
	90°										1.1
	60°										0.55
	45°										0.4
	<u>30°</u>										<u>0.15</u>
Válvulas abiertas											
	Esféricas										0.05 a 0.2
	Compuerta										0.1 a 0.3
	Maniposa										0.2 a 0.6
	Globo										3 a 10

Fuente: Figura recuperada el 13 de noviembre del 2018 de <https://image.slidesharecdn.com>)

ANEXO C-4: COEFICIENTE “KM” PARA CODOS DE VÁLVULA DE COMPUERTA, COMPLETAMENTE ABIERTA.

Coeficientes para pérdidas en accesorios

Accesorio	K_m
Válvula de globo, completamente abierta	10,0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5,0
Válvula de registro, completamente abierta	2,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Válvula de compuerta, con $\frac{3}{4}$ de apertura	1,0-1,15
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{2}$ apertura	5,6
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{4}$ de apertura	24,0
Codo de radio corto ($r/d = \pm 1$)	0,9
Codo de radio mediano	0,75-0,8
Codo de gran radio ($r/d = \pm 1,5$)	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 vertical	1,8
Unión	0,3
Vee de 45° en sentido recto	0,3
Vee de 45° en salida lateral	0,8
Entrada recta a tope	0,5
Entrada con boca acampanada	0,1
Entrada con tubo reentrando	0,9
Salida	1,0

Fuente: (Manual técnico de la empresa “Tigre” – enero 2011)



ANEXO D: COTIZACIONES

ANEXO D-1: COTIZACIÓN DE LA TURBINA, SUS COMPONENTES Y DATOS DEL PROVEEDOR.

QUOTATION LIST				
To: samuel silva<samuel.silva.abu@gmail.com>			No.:FB/IF20181119-C	
Project: 370kW S-type Kaplan			Date: November 22th 2018	
S.No.	Description	Quantity	Unit Rate (US \$)	S. Total (US \$)
1	Turbine Type: S-type Kaplan turbine fixed runner blades Material of runner blades: stainless steel Runner diameter: 80cm Rated net head: 9.5m Rated flow: 5.0m ³ /s Rated Speed: 450r/min Rated Power:410kW	1	43,330.00	43,330.00
2	Generator Model: SFW370-16/1180 Type: synchronous, horizontal Rated Voltage: 400V Rated Power Factor:0.8 Lagging Frequency: 60 Hz Rotation Speed:450r/min Rated Capacity: 370kW Insulation Class: F/F	1	40,000.00	40,000.00
3	Excitation Stationary Controllable Silicone Excitation Including: excitation transformer, excitation regulator, Silicon controlled rectifier,de-excitation circuit breaker,etc	1	13,330.00	13,330.00
4	Governer YWT-600 Type: PLC-based Governor function: adjust the frequency, speed and power, make the water turbine unit stable running under no-load, off-grid, on-grid and other conditions.	1	10,000.00	10,000.00
5	General Control Panel mainly composed of PLC, touch screen, quasi-synchronizing device, microcomputer excitation regulation device,speed signal device, microcomputer protection for generator, temperature survey instrument, measuring instrument and some display instrument, breaker, relay, contactor, button, switch, etc. Functions: automatic start and stop, emergency shutdown, automatic frequency & power adjustment, excitation regulation, automatic synchronising, protection (overcurrent, overload, overvoltage, low-voltage,overspeed, temperature protection)	1	9,170.00	9,170.00
6	China port charge	1	1,330.00	1,330.00
	Total			117,160.00
	Total FOB CHINA Port of equipment (US \$)			117,160.00

. **Fuente:** Compañía: Fuchun Ind Dev Co, Ltd Shenzhen.

ANEXO D-2: COTIZACIÓN DE LA COMPUERTA DEL CANAL Y VÁLVULAS
GUILLOTINA.

FKB INDÚSTRIA DE EQUIPAMENTOS LTDA
Dirección: Estrada do Akama, 1300 - Lambari
Tel: +55 (11) 4693-2042
E-mail: vendas@fbvalvulas.com.br

Guararema - SP | Brasil
CNPJ: 03.971.113/0001-22
Website: www.fbvalvulas.com.br

INDÚSTRIA BRASILEÑA

PARA: CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A

CONTACTO: SAMUEL SILVA

CARGO:

E-MAIL: samuel.silva.abu@gmail.com

REF.:

TEL: 13753/18

FAX:

MÓVIL: 982.709.677

EMISIÓN: 21/11/2018

PROPUESTA TÉCNICA / COMERCIAL

ITEM	DESCRIPCIÓN							CANTIDAD	UNIDAD	TOTAL (USD)	PLAZO (***)			
	MODELO	DN	ACCIONAMIENTO	ELEVACIÓN	PEDESTAL	ACCESORIOS	PRESIÓN					CÓDIGO DEL CLIENTE		
1	VCO-17	2400x1500	VOLANTE + REDUCTOR	3200mm	MESA	SÍ	1500mmCA	.	1	\$	10.897,29	\$	10.897,29	60

* **COMPUERTA DE CANAL ABIERTO (VCO-17):** CUADRO ESTRUCTURAL: ASTM A240 TP 304 (AISI 304); COMPUERTA: ASTM A240 TP 304 (AISI 304); ASTA ASCENDENTE: ASTM A276 TP 410; PROTECCIÓN DE ASTA: TUBO TRANSPARENTE CON INDICACIÓN DE APERTURA / CIERRE (REGLA GRADUADA); SELLADO LATERAL: UHMW (POULETILENO DE ULTRA ALTA DENSIDAD MOLECULAR); CORDÓN DE COMPRESIÓN: CAUCHO EPDM; SELLADO INFERIOR: CAUCHO EPDM; CLASE DE SELLADO: SUPERIOR AWWA C561; TORNILLOS Y TUERCAS: AISI 304; PERNOS DE ANCLAJE: ESTRUCTURALES DE AISI 304; TIPO DE FIJACIÓN: CANAL / EMBUTIDA EN EL CONCRETO; PINTURA: NO APLICABLE [EQUIPO TOTAL INOX]; **MARCA: FKB.**

- **ACCIONAMIENTO:** MANUAL A TRAVÉS DE VOLANTE CON REDUCTOR, ESFUERZO MÁXIMO DE 18,15 kgf.

- **ACCESORIOS:** EXTENSIÓN COMPLETA (EJE, GUANTE, MANCAL Y PRISIONEROS) EN AISI 304.

- **PEDESTAL:** TIPO MESA ESTRUCTURAL (CAVALETE), MATERIAL: ASTM A240 TP304; ALTURA DE OPERACIÓN: 800mm; PERNOS DE ANCLAJE: MECÁNICOS DE AISI 304; TIPO DE FIJACIÓN: DIRECTAMENTE EN EL HORMIGÓN; MARCA: FKB.

NOTAS: 1. SENTIDO DE FLUJO: BIDIRECCIONAL (DOBLE FLUJO: MONTANTE/NUSENTE), SELLADO ESTANQUE EN AMBAS DIRECCIONES.
 2. COMPUERTAS SUMINISTRADAS COMPLETAS, LISTAS PARA INSTALACIÓN.

ITEM	DESCRIPCIÓN							CANTIDAD	UNIDAD	TOTAL (USD)	PLAZO (***)			
	MODELO	DN	ACCIONAMIENTO	CLASE	FIJACIÓN	ACCESORIOS	PRESIÓN					CÓDIGO DEL CLIENTE		
2	VGU-01	ø 56"	VOLANTE + REDUCTOR	PN10	SEM-LUG	.	1 kgf/cm ²	.	1	\$	25.826,70	\$	25.826,70	60

* **VÁLVULA GUILLOTINA SEMI-LUG (VLU-01):** CUERPO: ASTM A536 (HIERRO FUNDIDO NODULAR); SOPORTE: SAE 1020; TORNILLOS DEL PREME: AISI 304; TIPO DE PASAJE: CIRCULAR; RECUBRIMIENTO DEL PASAJE: AISI 304; CUCHILLO: AISI 304; ASTA: AISI 304; TACO: BRONCE RESISTENTE A LA CORROSIÓN; SELLADO: EPDM; SELLADO SUPERIOR: FIBRA SINTÉTICA CON PTFE; SELLADO INFERIOR: UHMW (POULETILENO DE ULTRA ALTA DENSIDAD MOLECULAR); CLASE DE SELLADO: CLASE VII (100% ESTANQUE); CLASE DE PERFORACIÓN: NBR 7675 PN10; PINTURA: ESTÁNDAR SANEAMIENTO (PIEZAS NO INOX); **MARCA: FKB.**

Fuente: Empresa FKB



**ANEXO E: RECIBOS DE CONSUMOS
ELECTRICOS**

ANEXO E-1: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE DICIEMBRE

2017

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
Teléfono: (54) 381377 - Fax: (54) 381379
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A.	CONTRATO 222198
R.U.C. 20129854953	RUTA 1-27-30-30-107500
DIRECCION PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI	SS.EE 8217
LOCALIDAD MOLLENDO PROVINCIA ISLAY	MES FACTURADO Diciembre-2017
	RECIBO N° 45978478
	Sistema Eléctrico SE0249-Islay
	Sector Típico 3 -Urbano Baja Densidad

HISTORICO DE CONSUMOS

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria MT3
Potencia Contratada POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80
Nivel de tension 10 Kv
Tipo Suministro TRIFASICO -Aerea
Conexion C5.4
Ubicacion de Medicion PMI
Calificacion 0.42 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA
N° Horas Punta 120
Medidor 906996 ELECTRONICO **Hilos** 4
Base Calificacion MEDICION PERMANENTE
Dem.Media HP.(kW) 292.830

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción	Energía Activa (kWh)		Maxima demanda (kW)		Energía Reactiva (kVARh)
	Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior	30/11/2017	936361.7000	3759716.9400		4391576.0100
Lectura Actual	31/12/2017	971501.8800	3914320.3800	651.2800	4571735.1300
Diferencia		35140.1800	154603.4400		180159.1200
Factor de Medicion		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Consumo		35140.1800	154603.4400	651.2800	180159.1200
Consumo Total		35140.1800	154603.4400	651.2800	180159.1200

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	35140.18 kWh	0.2267	7,966.28
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	154603.44 kWh	0.1799	27,813.16
ENERGIA REACTIVA	123236.03 kVARh	0.0418	5,151.27
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	729.44 kW	13.1600	9,599.43
POTENCIA POR GENERADORA	692.28 kW	31.9000	22,083.73
ALUMBRADO PUBLICO			1,237.81
CARGO FIJO			8.42
INTERESES COMPENSATORIOS			1,164.13
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.57
SUBTOTAL			75,039.80
IGV 18%			13,507.16
DEUDA:1 MES			68366.50
INTERES MORATORIO			152.83
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			1536.92
REDONDEO MES ANTERIOR			-0.01
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	2,319.98		

SON: CIENTO CINCUENTA Y OCHO MIL SEISCIENTOS TRES CON 20/100 SOLES

TOTAL S/
158,603.20

Fecha Emision
08 Ene. 2018

Fecha de Vencimiento
23 ene 2018

Fecha de Corte
24 Ene. 2018

TOTAL S/
158,603.20

ESTIMADO CLIENTE:
"Denuncie deficiencias: INTERRUPCION DE SUMINISTRO, DETERIORO DE ARTEFACTOS, FACTURACION IRREGULAR, RIESGO ELECTRICO EN VIAS PUBLICAS" por vía telefónica, en oficina o correo electrónico

Fuente: SEAL

ANEXO E-2: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE FEBRERO

2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
Teléfono: (54) 381377 - Fax: (54) 381379
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

<p>NOMBRE CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A. R.U.C. 20129854953 DIRECCION PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI LOCALIDAD MOLLENDO PROVINCIA ISLAY</p>	<p>CONTRATO 222198 RUTA 1-27-30-30-107500 SS.EE 8217 MES FACTURADO Febrero-2018 RECIBO N° 46808908 Sistema Electrico SE0249-Islay Sector Típico 3 -Urbano Baja Densidad</p>
--	--

HISTORICO DE CONSUMOS

Mes	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Max	20700.72	1817.09	44199.00	23987.34	47352.03	31794.72	38929.04	36627.73	23278.37	35140.18	17943.14	16079.71
Min	16247.63	9952.94	102713.44	9984.58	18151.57	121795.79	141821.46	137810.83	83140.81	154603.44	73100.35	69292.95
MDHP	672.08	27.20	741.88	795.92	731.12	721.48	675.24	718.68	672.36	651.28	740.28	655.84
MDHPF	721.20	63.20	802.68	765.92	722.00	727.76	649.60	699.76	717.32	692.28	772.08	695.52
ER	174904.38	42227.44	171686.48	121591.84	107485.54	144867.96	170932.32	167289.54	102122.02	180159.12	107965.83	98817.52
SP	118,177.13	47,143.07	119,244.03	97,993.07	110,521.73	79,101.67	85,689.10	84,738.70	68,366.50	90,238.70	46,950.10	64,980.90

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria MT3
Potencia Contratada POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80
Nivel de tension 10 Kv
Tipo Suministro TRIFASICO -Aerea
Conexion C5.4
Ubicacion de Medicion PMI
Calificacion 0.20 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA
N° Horas Punta 120
Medidor 906996 ELECTRONICO Hilos 4
Base Calificacion MEDICION PERMANENTE
Dem.Media HP.(kW) 134.000

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción	Energia Activa (kWh)		Maxima demanda (kW)		Energia Reactiva (kVARh)
	Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior		31/01/2018	989445.0200	3987420.7300	4679700.9600
Lectura Actual		28/02/2018	1005524.7300	4055713.6800	4778518.4800
Diferencia			16079.7100	68292.9500	98817.5200
Factor de Medicion			1.0000	1.0000	1.0000
Consumo			16079.7100	68292.9500	98817.5200
Consumo Total			16079.7100	68292.9500	98817.5200

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	16079.71 kWh	0.2386	3,836.62
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	68292.95 kWh	0.1915	13,078.10
ENERGIA REACTIVA	73505.72 kVARh	0.0421	3,094.59
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	745.38 kW	13.2400	9,868.83
POTENCIA POR GENERADORA	685.52 kW	32.7000	22,416.50
ALUMBRADO PUBLICO			835.57
CARGO FIJO			8.47
INTERESES COMPENSATORIOS			1,182.71
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.57
SUBTOTAL			54,336.96
IGV 18%			9,780.65
DEUDA:1 MES			136326.80
INTERES MORATORIO			163.02
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			700.29
REDONDEO MES ACTUAL			-0.02
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	1,972.94		

SON: DOSCIENTOS UN MIL TRESCIENTOS SIETE CON 70/100 SOLES

Fecha Emision 08 Mar. 2018	Fecha de Vencimiento 23 mar 2018	Fecha de Corte 24 Mar. 2018	TOTAL S/ 201,307.70
--------------------------------------	--	---------------------------------------	-------------------------------

ESTIMADO CLIENTE:
Para brindar una mejor atención a sus consultas, información o reclamos marcar el *9000 desde su celular.

*Transmisión,
Distribución y
Comercialización
de Energía
Eléctrica

Fuente: SEAL

ANEXO E-3: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE MARZO 2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
Teléfono: (54) 381377 - Fax: (54) 381379
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

<p>NOMBRE: CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A. R.U.C.: 20129854953 DIRECCION: PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI LOCALIDAD: MOLLENDO PROVINCIA: ISLAY</p>	<p>CONTRATO: 222198 RUTA: 1-27-30-30-107500 SS.EE: 8217 MES FACTURADO: Marzo-2018 RECIBO N°: 47226105 Sistema Electrico: SE0249-Islay Sector Típico: 3-Urbano Baja Densidad</p>
---	---

HISTORICO DE CONSUMOS

Mes	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
HP	1817.05	44188.60	23987.34	47352.03	31794.72	38829.04	38627.73	23278.37	35140.18	17943.14	16079.71	42131.85
FW	9552.94	162713.44	99884.58	181151.57	121796.79	141821.46	137810.63	83140.81	154603.44	73100.35	68202.95	168148.29
MD	27.20	741.88	725.92	731.12	721.48	675.24	718.68	672.36	651.28	740.24	665.81	661.60
MDHP	65.20	802.68	765.92	722.00	727.76	648.60	898.70	717.32	692.28	772.08	685.52	659.96
ED	42227.44	171656.48	121659.84	197485.54	144867.96	179923.32	167298.54	102222.02	189159.12	107968.63	98817.52	181453.89
ED*	47,143.07	119,244.03	97,593.07	110,521.73	79,101.67	65,689.10	84,736.70	68,366.50	90,236.70	46,090.10	64,980.90	115,270.30

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria: MT3
Potencia Contratada: POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80
Nivel de tension: 10 Kv
Tipo Suministro: TRIFASICO -Aerea
Conexion: C5.4
Ubicacion de Medicion: PMI
Calificacion: 0.51 PRESENTE EN PUNTA
N° Horas Punta: 125
Medidor: 906996 ELECTRONICO Hilos 4
Base Calificacion: MEDICION PERMANENTE
Dem.Media HP.(kW): 337.050

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción	Energia Activa (kWh)		Maxima demanda (kW)		Energia Reactiva (kVARh)
	Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior 28/02/2018	1005524.7300	4055713.6800			4778518.4800
Lectura Actual 31/03/2018	1047656.3800	4223861.9700	661.6000	659.9600	4959972.3700
Diferencia	42131.6500	168148.2900			181453.8900
Factor de Medicion	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
*Consumo	42131.6500	168148.2900	661.6000	659.9600	181453.8900
Consumo Total	42131.6500	168148.2900	661.6000	659.9600	181453.8900

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	42131.65 kWh	0.2403	10,124.24
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	168148.29 kWh	0.1931	32,469.43
ENERGIA REACTIVA	118369.91 kVARh	0.0422	4,995.21
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	745.38 kW	13.6500	10,174.44
POTENCIA POR GENERADORA	661.60 kW	52.6500	34,833.24
ALUMBRADO PUBLICO			1,851.47
CARGO FIJO			8.52
CORTE SERVICIO			47.99
INTERESES COMPENSATORIOS			1,511.27
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.64
SUBTOTAL			96,031.45
IGV 18%			17,285.66
DEUDA 2 MESES			201307.70
INTERES MORATORIO			207.86
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			1745.32
REDONDEO MES ACTUAL			-0.01
REDONDEO MES ANTERIOR			0.02
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/			

SON: TRESIENTOS DIECISEIS MIL QUINIENTOS SETENTA Y OCHO CON 00/100 SOLES

Fecha Emision	Fecha de Vencimiento	Fecha de Corte	TOTAL S/
06 Abr. 2018	21 abr 2018	**Cortado**	316,578.00

ESTIMADO CLIENTE:
Para brindar una mejor atención a sus consultas, información o reclamos marcar el *9000 desde su celular.

Fuente: SEAL

ANEXO E-4: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE ABRIL 2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
 D.U.C. 20100138528 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
 Teléfono: (041) 361377 - Fax: (041) 361379
 www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A. R.U.C. 2012954953 DIRECCION PLAZA TURU AMARU CHUCARAPI LOCALIDAD SELENDO PROVINCIA ISLAY	CONTRATO 222198 R.I.T.A 1-77-30-30-103500 S.S.E.E 8217 MES FACTURADO Abril 2018 RECIBO N° 45643966 Sistema Eléctrico SE0249 Islay Sector Típico 3-Urbano Baja Densidad
---	---

HISTORICO DE CONSUMOS

Mes	ENER	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Consumo (kWh)	4118.83	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86
Max. Demanda (kW)	2622.44	3188.88	3771.87	4779.79	4471.46	4763.67	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47
Factor de Carga (%)	25.52	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74
Consumo (kWh)	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54
Max. Demanda (kW)	3188.88	3771.87	4779.79	4471.46	4763.67	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	3188.88
Factor de Carga (%)	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12
Consumo (kWh)	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71
Max. Demanda (kW)	4779.79	4471.46	4763.67	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	4779.79
Factor de Carga (%)	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21
Consumo (kWh)	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34
Max. Demanda (kW)	4471.46	4763.67	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	4471.46
Factor de Carga (%)	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21
Consumo (kWh)	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71
Max. Demanda (kW)	4763.67	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	4763.67
Factor de Carga (%)	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69
Consumo (kWh)	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07
Max. Demanda (kW)	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	1743.61
Factor de Carga (%)	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31
Consumo (kWh)	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13
Max. Demanda (kW)	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	2241.44
Factor de Carga (%)	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75
Consumo (kWh)	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74
Max. Demanda (kW)	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	1243.05
Factor de Carga (%)	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04
Consumo (kWh)	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71
Max. Demanda (kW)	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2042.26
Factor de Carga (%)	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84
Consumo (kWh)	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89
Max. Demanda (kW)	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	747.82
Factor de Carga (%)	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63
Consumo (kWh)	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86
Max. Demanda (kW)	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89
Factor de Carga (%)	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74
Consumo (kWh)	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54
Max. Demanda (kW)	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86
Factor de Carga (%)	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12
Consumo (kWh)	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33
Max. Demanda (kW)	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54
Factor de Carga (%)	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43
Consumo (kWh)	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71
Max. Demanda (kW)	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71
Factor de Carga (%)	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21
Consumo (kWh)	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34
Max. Demanda (kW)	4471.46	4763.67	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	4471.46
Factor de Carga (%)	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21
Consumo (kWh)	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71
Max. Demanda (kW)	4763.67	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	4763.67
Factor de Carga (%)	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69
Consumo (kWh)	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07
Max. Demanda (kW)	1743.61	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	1743.61
Factor de Carga (%)	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31
Consumo (kWh)	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13
Max. Demanda (kW)	2241.44	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	2241.44
Factor de Carga (%)	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75
Consumo (kWh)	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74
Max. Demanda (kW)	1243.05	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	1243.05
Factor de Carga (%)	24.04	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04
Consumo (kWh)	1418.71	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71
Max. Demanda (kW)	2042.26	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2042.26
Factor de Carga (%)	23.84	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84
Consumo (kWh)	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89
Max. Demanda (kW)	747.82	1683.47	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	747.82
Factor de Carga (%)	27.63	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63
Consumo (kWh)	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86
Max. Demanda (kW)	438.89	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89
Factor de Carga (%)	26.74	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63	26.74
Consumo (kWh)	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86	3188.54
Max. Demanda (kW)	1188.86	3188.54	3760.33	5742.71	5873.34	5622.71	2225.07	2946.13	1384.74	1418.71	438.89	1188.86
Factor de Carga (%)	23.12	23.43	29.21	28.21	28.69	17.31	18.75	24.04	23.84	27.63		

ANEXO E-5: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE MAYO 2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
Teléfono: (54) 381377 - Fax (54) 381379
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE	CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A.	CONTRATO	222198
R.U.C.	20129854953	RUTA	1-27-30-30-107500
DIRECCION	PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI	SS.EE	8217
LOCALIDAD	MOLLENDINO PROVINCIA ISLAY	MES FACTURADO	Mayo-2018
		RECIBO N°	48062987
		Sistema Eléctrico	SE0249-Islay
		Sector Típico	3 -Urbano Baja Densidad

HISTORICO DE CONSUMOS

Varación de su Consumo (kWh)

Varación de su demanda (kW)

Mes	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Consumo	23987.34	47352.03	31754.72	36829.04	36827.73	23278.37	35140.18	17943.14	10979.71	42131.05	41256.58	53362.47
Demanda	88884.56	161151.57	121796.76	141821.48	137816.63	89149.81	154633.64	79100.35	66292.95	158148.29	166062.64	54641.24
Medida	725.52	731.12	721.40	875.24	718.08	872.36	851.26	742.74	825.84	861.60	885.10	878.84
Medida P	765.92	722.60	727.76	843.60	889.78	717.32	852.28	772.08	885.62	859.98	726.98	721.76
Medida F	121581.84	137483.54	144007.96	170832.32	167388.54	102122.92	180158.12	107955.83	88917.52	181453.86	175863.23	91585.60
Medida S	97.863.07	110.521.73	78.101.67	85.689.10	84.738.70	68.368.50	90.236.70	46.060.10	64.860.50	110.270.30	98.114.60	79.122.70

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria: MT3
 Potencia Contratada: POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80
 Nivel de tension: 10 Kv
 Tipo Suministro: TRIFASICO -Aerea
 Conexion: CS 4
 Ubicacion de Medicion: PMI
 Calificacion: 0.16 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA
 N° Horas Punta: 130
 Medidor: 906996 ELECTRONICO Hilos 4
 Base Calificacion: MEDICION PERMANENTE
 Dem.Medida HP (kW): 118.080

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción		Energia Activa (kWh)		Maxima demanda (kW)		Energia Reactiva (kVARh)
		Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior	30/04/2018	1088915.3600	4383924.8100			5135835.6000
Lectura Actual	31/05/2018	1104265.8300	4442766.0500	679.8400	721.7600	5227431.5000
Diferencia		15350.4700	58841.2400			91595.9000
Factor de Medicion		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Consumo		15350.4700	58841.2400	679.8400	721.7600	91595.9000
Consumo Total		15350.4700	58841.2400	679.8400	721.7600	91595.9000

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	58841.24 kWh	0.1854	10,868.01
ENERGIA REACTIVA	69336.35 kVARh	0.0425	2,945.88
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	746.92 kW	13.9300	10,404.60
POTENCIA POR GENERADORA	721.76 kW	29.2300	21,097.04
ALUMBRADO PUBLICO			795.06
CARGO FIJO			8.58
INTERES POR FACILIDADES			1,368.21
INTERESES COMPENSATORIOS			540.64
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.64
SUBTOTAL			51,676.80
IGV 18%			9,301.82
FACILIDAD POR RECIBO DE ENERGIA			17447.18
INTERES MORATORIO			81.10
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			615.79
REDONDEO MES ACTUAL			-0.02
REDONDEO MES ANTERIOR			0.03
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	2,242.32		

SON: SETENTA Y NUEVE MIL CIENTO VEINTIDOS CON 70/100 SOLES

Fecha Emision	Fecha de Vencimiento	TOTAL S/
08 Jun. 2018	23 jun 2018	79,122.70

ESTIMADO CLIENTE:
Denuncie deficiencias: Interrupciones de suministro, deterioro de artefactos, facturación irregular, riesgo eléctrico en públicas por vía telefónica, en oficina o correo electrónico a reclamos@seal.com.pe

Fuente: SEAL

ANEXO E-6: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE JUNIO 2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.

RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
FONOSEAL: (54) 381188 o *3000
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE	CENTRALAZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A.	CONTRATO	222198
R.U.C.	20129854953	RUTA	1-27-30-30-107500
DIRECCION	PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI	SS.EE	8217
LOCALIDAD	MOLLENDO PROVINCIA ISLAY	MES FACTURADO	Junio-2018
		RECIBO N°	48483005
		Sistema Eléctrico	SE0249-Islay
		Sector Típico	3 -Urbano Baja Densidad

HISTORICO DE CONSUMOS

	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Consumo	47302.03	31704.72	36829.04	36827.73	23278.37	38140.10	17043.14	16978.71	42131.05	41250.08	16860.47	10618.16
Demanda	181151.57	121186.78	141821.45	137810.63	93140.81	154603.44	73002.30	60282.95	168148.28	160002.84	58641.24	48784.09
Medida	731.12	721.46	673.24	718.68	672.36	651.28	742.24	828.84	651.82	655.16	679.81	345.84
Medidor	722.00	727.76	649.60	699.76	717.32	692.28	772.89	659.82	659.96	706.96	721.75	387.28
HP	159148.54	144857.96	170813.37	167786.54	120125.02	180159.12	107043.23	88917.82	181454.38	175652.23	61586.80	37382.13
DP	100521.73	79101.87	85680.10	84738.70	68106.52	90238.70	46050.10	64960.80	115270.30	98114.80	78127.70	81615.50

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria: MT3
Potencia Contratada: POTENCIA CONTRATADA(Kw) 956.80
Nivel de tension: 10 Kv
Tipo Suministro: TRIFASICO -Aerea
Conexion: C5.4
Ubicación de Medicion: PMI
Calificación: 0.28 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA
N° Horas Punta: 125
Medidor: 906996 ELECTRONICO Hilos: 4
Base Calificación: MEDICION PERMANENTE
Dem.Media HP,(kW): 100.950

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción		Energía Activa (kWh)		Máxima demanda (kW)		Energía Reactiva (kVARh)
		Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior	31/05/2018	1104265.8300	4442786.0500			5227431.5000
Lectura Actual	30/06/2018	1116584.0200	4491550.6400	345.6400	357.2800	5298224.0300
Diferencia		12618.1900	48784.5900			70792.5300
Factor de Medicion		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Consumo		12618.1900	48784.5900	345.6400	357.2800	70792.5300
Consumo Total		12618.1900	48784.5900	345.6400	357.2800	70792.5300

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	12618.19 kWh	0.2301	2.903.45
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	48784.59 kWh	0.1854	9.033.45
ENERGIA REACTIVA	52371.70 kVARh	0.0425	2.225.80
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	746.92 kW	13.9300	10.404.60
POTENCIA POR GENERADORA	357.28 kW	29.2300	10.443.29
ALUMBRADO PUBLICO			649.65
CARGO F.LJO			8.58
INTERES POR FACILIDADES			1.254.19
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.64
SUBTOTAL			36,998.85
IGV 18%			6,659.79
FACILIDAD POR RECIBO DE ENERGIA LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			17447.18
REDONDEO MES ACTUAL			509.64
REDONDEO MES ANTERIOR			0.02
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	1,606.68		0.02

SON: SESENTA Y UN MIL SEISCIENTOS QUINCE CON 50/100 SOLES

Fecha Emision	Fecha de Vencimiento	TOTAL S/
09 Jul. 2018	24 jul 2018	61,615.50

ESTIMADO CLIENTE:
Enviamos su estado de cuenta digital en formato recibo a su solicitud, remítanos el correo electrónico a: "recibodigital@seal.com.pe", con el N° de contrato, nombre del titular, N° DNI, N° de teléfono fijo y celular.

Fuente: SEAL

168

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ANEXO E-7: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE JULIO 2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
Teléfono: (54) 981377 - Fax: (54) 981379
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE	CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A.	CONTRATO	222198
R.U.C.	20129854953	RITA	1-27-30-30-107500
DIRECCION	PLAZA LUPAC AMARU-CHUCARAPI	SS.EE.	8217
LOCALIDAD	MOLLENDO	PROVINCIA	ISLAY
		MES FACTURADO	Julio-2018
		RECIBO N°	48904079
		Sistema Eléctrico	SE0249-Islay
		Sector Típico	3 -Urbano Baja Densidad

HISTORICO DE CONSUMOS

MES	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Consumo (kWh)	31794.72	36629.04	38627.73	22376.328	35140.18	17943.74	15079.71	42131.05	41258.98	12260.47	12810.10	21450.11
Max. Demanda (kW)	151795.76	145621.46	133015.03	83743.01	114853.44	18920.35	16232.16	160148.29	100062.64	58841.24	48784.09	80800.58
Consumo (kWh)	779.48	875.24	718.89	425.36	691.78	240.54	163.84	958.70	693.16	428.84	542.64	344.48
Max. Demanda (kW)	727.76	640.60	809.76	717.80	872.28	772.28	695.62	809.68	705.96	721.78	397.29	340.80
Consumo (kWh)	144867.46	170832.32	167388.54	102222.50	160168.12	107868.83	98817.52	181463.89	170863.23	94556.60	70762.53	78718.82
Max. Demanda (kW)	79101.87	85088.10	84738.70	68366.50	90230.70	46090.10	64900.90	115270.30	98114.80	78122.70	61615.50	70007.50

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria: MT3
Potencia Contratada: POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80
Nivel de tension: 10 Kv
Tipo Suministro: TRIFASICO -Aerea
Conexion: C 5 4
Ubicacion de Medicion: PMI
Calificacion: 0.48 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA
N° Horas Punta: 125
Medidor: 906996 ELECTRONICO Hilos: 4
Base Calificacion: MEDICION PERMANENTE
Dem. Media HP (kW): 171.600

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción	Energía Activa (kWh)		Máxima demanda (kW)		Energía Reactiva (kVARh)
	Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior					
Lectura Actual	30/06/2018	1116884 0200	4491550 6400		5298224 0300
Diferencia	31/07/2018	1138334 1300	4572351 1700	354 4000	5376542 9500
Factor de Medicion		21450 1100	80800 5300		78318 9200
Consumo		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Consumo Total		21450 1100	80800 5300	354 4000	78318 9200

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	21450 11 kWh	0.2329	4.995 73
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	80800 53 kWh	0.1892	15.287 46
ENERGIA REACTIVA	47643 73 kVARh	0.0426	2.039 15
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	714 36 kW	14.0900	10.065 33
POTENCIA POR GENERADORA	354 40 kW	29.3100	10.387 46
ALUMBRADO PUBLICO			1.313 75
CARGO FIJO			8.66
INTERES POR FACILIDADES			1.140 17
INTERESES COMPENSATORIOS			94.07
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.75
REAJUSTE TARIFARIO			336.49
SUBTOTAL			45,684.02
IGV 18%			8,223.12
COMPENSACION POR INTERRUPCION LCE			2196.88
FACILIDAD POR RECIBO DE ENERGIA			17447.18
INTERES MORATORIO			1.42
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			648.68
REDONDEO MES ACTUAL			-0.02
REDONDEO MES ANTERIOR			-0.00
Afecto a Retargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	1,959.56		

SON: SETENTA MIL SIETE CON 50/100 SOLES

Fecha Emision	Fecha de Vencimiento	TOTAL S/
08 Ago. 2018	23 ago 2018	70,007.50

ESTIMADO CLIENTE:
Enviamos su estado de cuenta digital en formato recibo a su solicitud, remitamos el correo electrónico a: "recibodigital@seal.com.pe", con el N° de contrato, nombre del titular, N° DNI, N° de teléfono fijo y celular.

Fuente: SEAL

ANEXO E-8: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE AGOSTO 2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
FONOSEAL: (54) 381188 o *9000
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE	CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A.	CONTRATO	222198
R.U.C.	20129854953	RUTA	1-27-30-30-107500
DIRECCION	PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI	S.S.EE	8217
LOCALIDAD	MOLLENDO	PROVINCIA	ISLAY
		MES FACTURADO	Agosto-2018
		RECIBO N°	49326205
		Sistema Eléctrico	SE0249-Islay
		Sector Típico	3 -Urbano Baja Densidad

HISTORICO DE CONSUMOS

Variación de su Consumo (KWh)

Variación de su demanda (kW)

Mes	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
EM	38829.04	36627.73	23276.37	35140.16	17943.14	16079.71	42131.65	41259.88	15350.47	12618.19	21450.11	19338.65
EMFP	141621.46	137810.53	83148.31	154623.44	73100.35	69292.95	166148.29	152062.84	58841.24	46764.59	83000.53	79735.35
EMFPP	675.24	718.68	672.35	651.28	740.24	655.84	661.60	655.16	679.04	345.64	354.40	347.76
EMFPP	649.60	699.76	717.32	692.28	772.05	655.52	655.96	706.96	721.76	357.28	348.60	366.68
EM	170932.32	167289.54	102122.02	180159.12	107969.83	88817.52	181453.89	175063.23	91595.90	70792.53	78318.92	78318.92
EM	85.689.10	84.738.70	69.369.50	90.236.70	46.050.10	64.899.90	115.270.30	99.114.80	75.122.70	61.615.50	70.007.50	70.856.90

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria: MT3

Potencia Contratada: POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80

Nivel de tension: 10 Kv

Tipo Suministro: TRIFASICO -Aerea

Conexion: CS 4

Ubicacion de Medicion: PMI

Calificacion: 0.41 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA

N° Horas Punta: 130

Medidor: 906996 ELECTRONICO Hilos 4

Base Calificacion: MEDICION PERMANENTE

Dem.Med. HP.(kW): 148.760

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción		Energia Activa (kWh)		Maxima demanda (kW)		Energia Reactiva (kVARh)
		Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior	31/07/2018	1138334.1300	4572351.1700			5376542.9500
Lectura Actual	31/08/2018	1157672.6800	4652086.5200	347.7600	366.6800	5454861.8700
Diferencia		19338.5500	79735.3500			78318.9200
Factor de Medicion		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Consumo		19338.5500	79735.3500	347.7600	366.6800	78318.9200
Consumo Total		19338.5500	79735.3500	347.7600	366.6800	78318.9200

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	19338.55 kWh	0.2334	4,513.62
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	79735.35 kWh	0.1855	15,109.85
ENERGIA REACTIVA	48596.75 kVARh	0.0428	2,079.94
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	714.36 kW	14.1100	10,079.62
POTENCIA POR GENERADORA	366.68 kW	29.2000	10,707.06
ALUMBRADO PUBLICO			968.20
CARGO FIJO			8.67
INTERES POR FACILIDADES			1,026.16
INTERESES COMPENSATORIOS			90.59
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.76
SUBTOTAL			44,599.47
IGV 18%			8,027.90
FACILIDAD POR RECIBO DE ENERGIA			17447.18
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			822.31
REDONDEO MES ACTUAL			0.02
REDONDEO MES ANTERIOR			0.02
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	1,946.51		

SON: SETENTA MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y SEIS CON 90/100 SOLES

TOTAL S/
70,896.90

Fecha Emision: 07 Set. 2018 Fecha de Vencimiento: 22 sep 2018

Fuente: SEAL

ANEXO E-9: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE SEPTIEMBRE 2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
FONOSEAL: (54) 381188 o *9000
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE	CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A.	CONTRATO	222198
R.U.C.	20129854953	RUTA	1-27-30-30-107500
DIRECCION	PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI	SS.EE	8217
LOCALIDAD	MOLLENDO	PROVINCIA	ISLAY
		MES FACTURADO	Septiembre-2018
		RECIBO N°	49749378
		Sistema Eléctrico	SE0249-Islay
		Sector Típico	3 -Urbano Baja Densidad

HISTORICO DE CONSUMOS

Mes	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET
Consumo	36627.73	23278.37	35140.18	17943.14	16079.71	42131.85	41295.98	15350.47	12618.19	21450.11	19338.55	15004.01
EDHP	137610.63	83140.81	154803.44	73100.35	66292.95	168148.29	160062.84	58841.24	48784.89	80800.53	79735.35	59679.33
MDHP	718.68	672.36	851.28	740.24	655.84	661.80	685.16	679.84	345.64	354.40	347.76	354.14
MDPR	699.76	717.32	692.28	772.08	685.52	699.96	706.96	721.76	357.28	349.80	366.68	354.50
ER	187289.54	102122.02	180159.12	107965.83	86917.52	181453.89	175883.23	91695.90	70792.83	78318.82	78318.82	66631.72
DR	84738.70	68366.50	90236.70	46060.10	64880.90	115270.30	96114.80	78122.70	61815.50	70207.50	70896.60	63878.70

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria MT3
Potencia Contratada POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80
Nivel de tension 10 Kv
Tipo Suministro TRIFASICO -Aerea
Conexion CS.4
Ubicacion de Medicion PMI
Calificacion 0.34 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA
N° Horas Punta 125
Medidor 906996 ELECTRONICO Hilos 4
Base Calificacion MEDICION PERMANENTE
Dem.Media HP.(kW) 120.030

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción	Energía Activa (kWh)		Maxima demanda (kW)		Energía Reactiva (kVARh)
	Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior	31/08/2018	1157672.6800	4652086.5200		
Lectura Actual	30/09/2018	1172676.6900	4711765.8500	354.1400	354.5000
Diferencia		15004.0100	59679.3300		
Factor de Medicion		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Consumo		15004.0100	59679.3300	354.1400	354.5000
Consumo Total		15004.0100	59679.3300	354.1400	354.5000

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	15004.01 kWh	0.2334	3,501.94
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	59679.33 kWh	0.1895	11,309.23
ENERGIA REACTIVA	44226.72 kVARh	0.0428	1,892.90
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	714.36 kW	14.1100	10,079.62
POTENCIA POR GENERADORA	354.50 kW	29.1900	10,347.86
ALUMBRADO PUBLICO			598.02
CARGO FIJO			8.67
INTERES POR FACILIDADES			912.14
INTERESES COMPENSATORIOS			151.40
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.76
SUBTOTAL			38,817.54
IGV 18%			6,987.16
FACILIDAD POR RECIBO DE ENERGIA			17447.18
INTERES MORATORIO			6.96
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			619.87
REDONDEO MES ACTUAL			0.01
REDONDEO MES ANTERIOR			-0.02
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	1,701.08		

SON: SESENTA Y TRES MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y OCHO CON 70/100 SOLES

TOTAL S/
63,878.70

Fecha Emision
09 Oct. 2018

Fecha de Vencimiento
24 oct 2018

TOTAL S/
63,878.70

ESTIMADO CLIENTE:
 Enviamos su estado de cuenta digital en formato recibo a su solicitud, remítanos el correo electrónico a: "recibodigital@seal.com.pe", con el N° de contrato, nombre del representante legal, vigencia de poder, N° DNI, N° de

Fuente: SEAL

ANEXO E-10: RECIBO DE CONSUMO ELECTRICO EN EL MES DE OCTUBRE

2018

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.
RUC 20100188628 - Consuelo 310 - Arequipa - Arequipa
FONOSEAL: (54) 381188 o *9000
www.seal.com.pe - seal@seal.com.pe

INFORMACION COMERCIAL

NOMBRE	CENTRALAZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A.	CONTRATO	222198
R.U.C.	20129854953	RUTA	1-27-30-30-107500
DIRECCION	PLAZA TUPAC AMARU-CHUCARAPI	SS.EE	8217
LOCALIDAD	MOLLENDO	PROVINCIA	ISLAY
		MES FACTURADO	Octubre-2018
		RECIBO N°	50173713
		Sistema Eléctrico	SE0249-Islay
		Sector Típico	3 -Urbano Baja Densidad

HISTORICO DE CONSUMOS

Variación de su consumo (kWh)

Variación de su demanda (kW)

Mes	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT
WHP	23278.37	35140.18	17843.14	16079.77	42131.65	41258.68	15350.47	12618.19	21459.11	19338.55	15004.01	21577.12
EHP	83140.81	154803.44	73100.35	58292.95	188148.29	160062.84	55841.24	48784.59	63800.53	70735.35	59679.33	64355.62
REHP	672.35	651.28	740.24	655.84	661.60	685.15	678.84	345.64	354.40	347.76	354.14	344.28
REHP	717.32	692.28	772.38	695.52	699.98	706.96	721.76	397.26	349.60	350.60	354.51	349.30
ER	102122.22	150158.12	107665.53	95011.52	151453.80	170563.23	91055.99	70792.53	78181.82	78181.82	66631.72	87501.18
DR	68,388.50	90,236.70	46,090.10	64,802.90	115,270.30	99,114.80	73,122.70	61,815.50	70,007.50	70,886.90	63,876.70	69,790.50

DATOS DEL SUMINISTRO

Opcion Tarifaria: MT3
Potencia Contratada: POTENCIA CONTRATADA (Kw) 956.80
Nivel de tension: 10 Kv
Tipo Suministro: TRIFASICO -Aerea
Conexion: C5.4
Ubicacion de Medicion: PMI
Calificacion: 0.48 PRESENTE EN FUERA DE PUNTA
N° Horas Punta: 130
Medidor: 906996 ELECTRONICO Hilos 4
Base Calificacion: MEDICION PERMANENTE
Dem.Med. HP (kW): 165.980

DETALLE DEL CONSUMO

Descripción	Energía Activa (kWh)		Maxima demanda (kW)		Energía Reactiva (kVARh)
	Hora Punta	Fuera Punta	Hora Punta	Fuera Punta	
Lectura Anterior	30/09/2018	1172676.6900	4711765.8500	1172676.6900	5521493.5900
Lectura Actual	31/10/2018	1194253.8100	4796161.4700	344.2800	349.3600
Diferencia		21577.1200	84395.6200		568894.7800
Factor de Medicion		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Consumo		21577.1200	84395.6200	344.2800	349.3600
Consumo Total		21577.1200	84395.6200	344.2800	349.3600

DETALLE DE LA FACTURACION

Descripción	Facturado	Tarifa (S/)	Importe (S/)
ENERGIA HORA PUNTA	21577.12 kWh	0.2334	5,036.10
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	84395.62 kWh	0.1895	15,992.97
ENERGIA REACTIVA	55709.37 kVARh	0.0428	2,384.26
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	544.22 kW	14.1100	7,678.94
POTENCIA POR GENERADORA	349.36 kW	29.1900	10,197.82
ALUMBRADO PUBLICO			1,376.66
CARGO FIJO			8.67
INTERES POR FACILIDADES			798.12
INTERESES COMPENSATORIOS			120.12
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION			15.76
SUBTOTAL			43,609.52
IGV 18%			7,849.71
FACILIDAD POR RECIBO DE ENERGIA			17447.18
INTERES MORATORIO			4.51
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL			879.57
REDONDEO MES ACTUAL			0.02
REDONDEO MES ANTERIOR			-0.01
Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/	1,891.55		

SON: SESENTA Y NUEVE MIL SETECIENTOS NOVENTA CON 50/100 SOLES

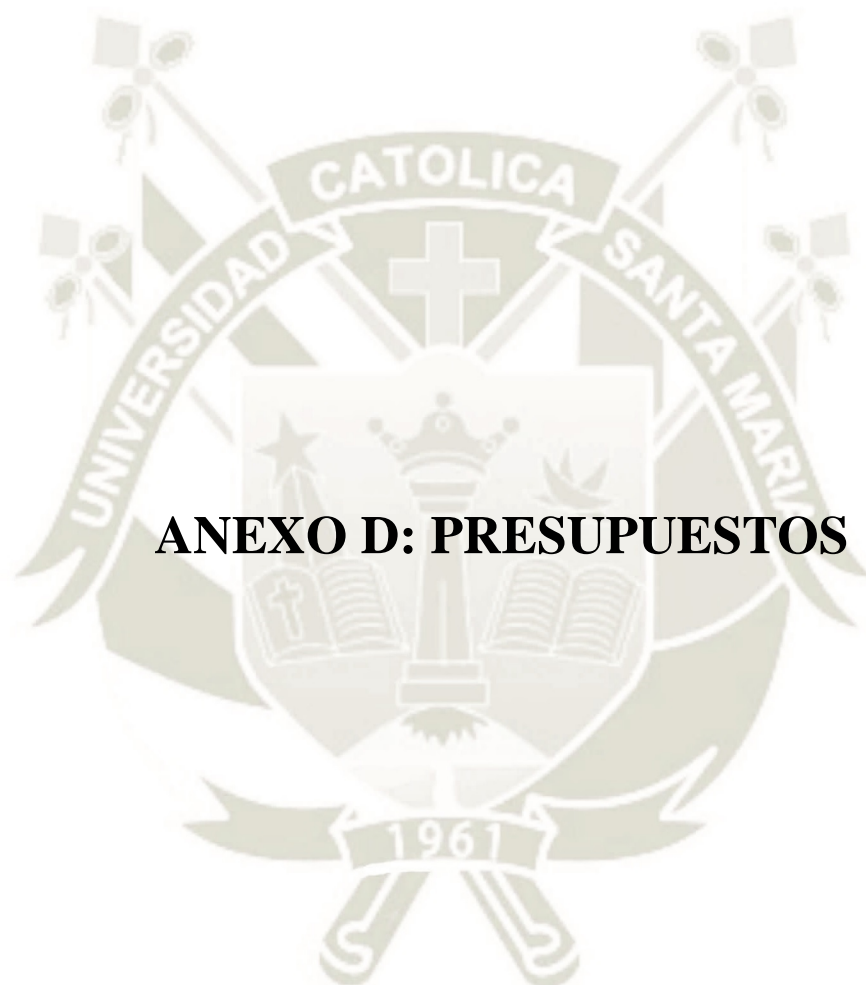
Fecha Emision
09 Nov. 2018

Fecha de Vencimiento
24 nov 2018

TOTAL S/
69,790.50

ESTIMADO CLIENTE:
Enviamos su estado de cuenta digital en formato recibo a su solicitud, remitamos el correo electrónico a: recibodigital@seal.com.pe, con N° Contrato, Representante Legal, vigencia de Poder, DNI, teléfono fijo y celular.

Fuente: SEAL



ANEXO D: PRESUPUESTOS

ANEXO D-1: PRESUPUESTO DE LAS OBRAS CIVILES

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	COSTO PARCIAL S/.	COSTO TOTAL S/.
1	DESARENADOR					S/75,084.66
1.1	Excavación manual del terreno y compactado	m ³	476.60	90.38	43075.11	
1.2	Encofrado y desencofrado del desarenador	m ²	93.27	32.57	3037.80	
1.3	Concreto fc=280 kg/cm ²	m ³	33.57	354.00	11884.45	
1.4	Acero	kg	3524.85	4.72	16637.29	
1.5	Compuerta metálica de limpieza	unidad	1.00	400.00	400.00	
2	CAMARA DE CARGA					S/106,406.43
2.1	Excavación manual del terreno y compactado	m ³	74.83	90.80	6794.56	
2.2	Encofrado y desencofrado del desarenador	m ²	14.12	32.57	459.89	
2.3	Concreto fc=210 kg/cm ²	m ³	11.49	474.66	5453.84	
2.4	Acero	kg	1206.45	4.72	5694.44	
2.5	Planca para rejillas	unidad	2.00	354.72	709.44	
2.6	*Compuerta antes de la cámara de carga	unidad	1.00	87294.25	87294.25	
3	TUBERIA FORZADA					S/215,354.08
3.1	Anclajes y apoyos					
3.2	Demolicion de edificacion existente	m ²	17.85	112.68	2011.34	
3.3	Excavacion con maquina del terreno y compactado	m ³	297.50	90.38	26888.05	
3.4	Encofrado y desencofrado de los apoyos y anclajes	m ²	53.44	32.57	1740.54	
3.5	Concreto fc=245 kg/cm ²	m ³	21.60	583.51	12603.82	
3.6	Acero	kg	2205.00	4.72	10407.60	
3.7	Tuberia de HDPE DN 1400	peza	1.00	14371.38	14371.38	
3.8	*Valvulas guilfordina	unidad	2.00	73665.68	147331.36	

Fuente: (Elaboración propia)

4	CASA DE MAQUINAS					S/291,073.59
4.1	Obra preliminar					
4.1.1	Demolicion de edificacion existente	m2	66.38	112.68	7705.06	
4.1.2	Trazo y replanteo	m2	124.70	3.05	380.34	
4.1.3	Excavacion de zanjas	m3	252.00	110.66	27886.32	
4.1.4	Relleno de compactacion	m3	1128.00	30.95	34911.60	
4.2	Obras de concreto simple					
4.2.1	Cimiento corrido	m3	15.00	173.20	2598.00	
4.2.2	Sobre cimiento	m3	3.41	258.45	881.31	
4.2.3	encofrado y desencofrado de sobrecimientos	m2	88.74	46.03	4084.70	
4.2.4	falso piso espesor 2"	m2	212.50	23.30	4951.25	
4.2.5	Acero de esfuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	292.56	4.98	1456.95	
4.3	Obras de concreto armado					
4.3.1	Columnas coocreto fc=210 kg/cm2	m3	11.34	479.54	5437.98	
4.3.2	Encofrado y desencofrado de columnas	m2	179.00	64.89	11615.31	
4.3.3	Acero de esfuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	2097.90	50.63	106216.68	
4.3.4	Vigas: Cocreto fc=210 kg/cm2	m3	6.85	331.22	2268.86	
4.3.5	Encofrado y desencofrado de vigas	m2	70.51	55.96	3945.74	
4.3.6	Acero Fy= 4200	kg	884.21	4.98	4403.37	
4.4	Mamposteria					
4.4.1	Muros de bloqueta	m2	182.23	43.59	7943.41	
4.5	Techos y coberturas					
4.5.1	Techo de cemento , venilado	m2	174.52	215.83	37666.65	
4.5.2	Revoque y enlucidos					
4.5.3	Enlucidos de cielorraso con yeso	m2	201.23	29.74	5984.58	
4.5.4	Tarrajeo de muros exterior y interior	m2	450.32	14.87	6696.26	
4.6	Pisos					
4.6.1	Piso de cemento pulido	m2	177.58	13.12	2329.85	
4.6.2	Pinturas					
4.7	Cielorrasos y aleros	m2	201.52	8.52	1716.95	
4.7.1	Muros exteriores e interiores	m2	420.23	4.94	2075.94	
4.8	Instalaciones electricas					
4.8.1	Tablero general	unidad	1.00	64.00	64.00	
4.8.2	Centros de luz	pts	18.00	16.00	288.00	
4.9	Tomacorrientes para empotrar	pts	13.00	16.00	208.00	
4.9.1	Canal de descarga					
4.9.2	Excavacion manual del terreno	m3	15.68	90.80	1423.74	
4.9.3	Encofrado y desencofrado	m2	11.20	32.57	364.78	
4.10	Vaciado caja pozo y canal					
4.10.1	Revestido (tarrajeo)	m2	22.40	230.69	5167.46	
		m2	11.20	35.76	400.51	
COSTO TOTAL					S/687,868.76	

* Los precios han sido convertido de dolares a nuevos soles.

Fuente: (Elaboración propia)

ANEXO D-2: PRESUPUESTO DE LOS ESQUIPOS ELECTROMECHANICOS

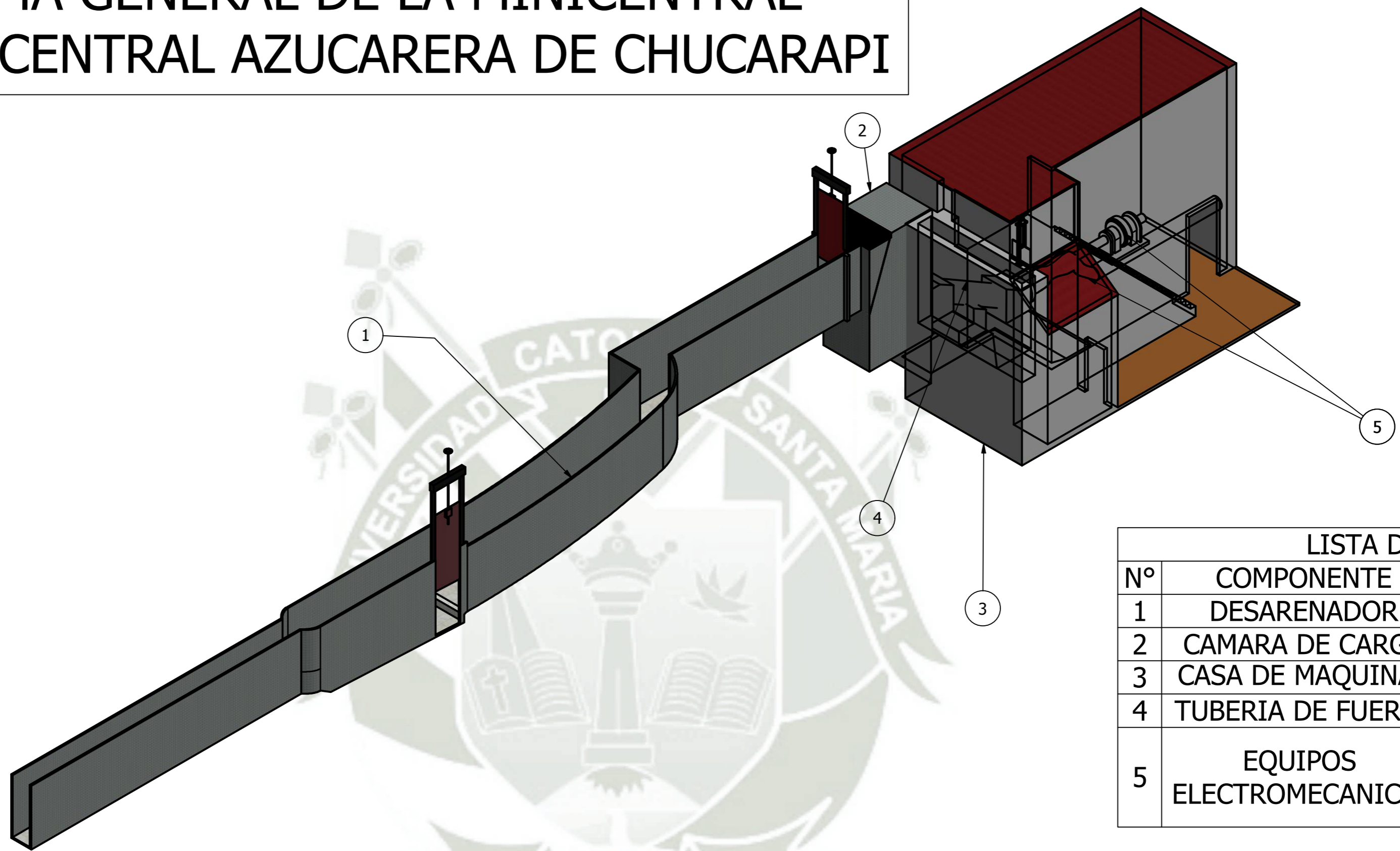
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRA D O	PRECIO UNITARIO S/.	COSTO PARCIAL S/.	COSTO TOTAL S/.
5	EQUIPO ELECTROMECHANICO					
5.1	Equipos hidraulicos					391505.4
5.2	*Turbina Kaplan tipo " S ".	unid	1	146455.4	146455.4	
5.3	*Generador	unid	1	135200	135200	
5.4	*Excitador	unid	1	45055.4	45055.4	
5.5	*Gobernador	unid	1	33800	33800	
5.6	*Panel de control	unid	1	30994.6	30994.6	
6	Equipos electricos					27950
6.1	Tablero general llave de 1375 Amp	unid	1	3500	3500	
6.2	Tablero de transferencia	unid	1	5000	5000	
6.3	Transformador elevador de tension de 400 v a 10 kv	unid	1	3500	3500	
6.4	Pozo a tierra de medio tension	unid	1	100	100	
6.5	Pozo a tierra de baja tension	unid	1	850	850	
6.6	Seccionador de media tension de 10 kv para 500 kW	unid	1	15000	15000	
7	Transporte de equipos	serv	1	4000	4000	4000
8	Montaje	serv	1	15000	15000	15000
9	Pruebas y servicio	glob	1	6500	6500	6500
* Los precios han sido convertido de dolares a nuevos soles.				COSTO TOTAL		S/444,955.40

Fuente: (Elaboración propia)

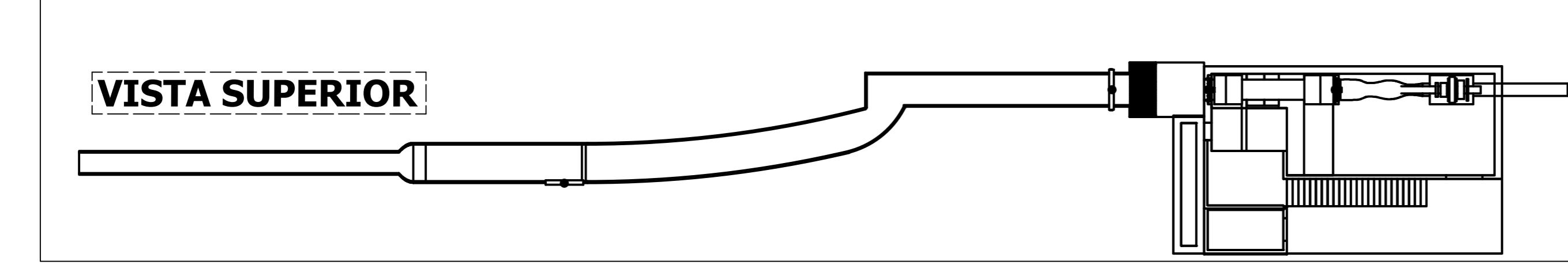
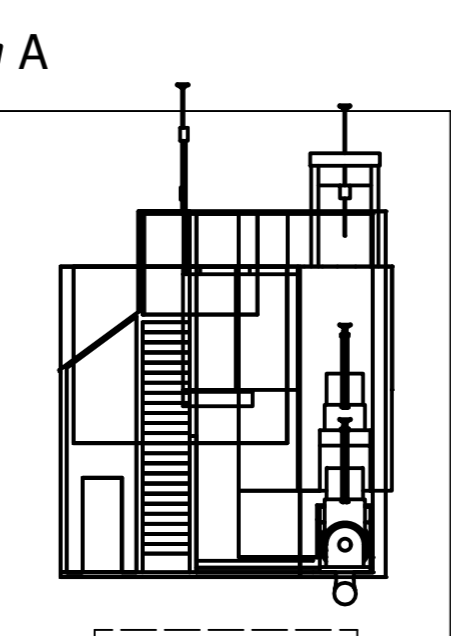
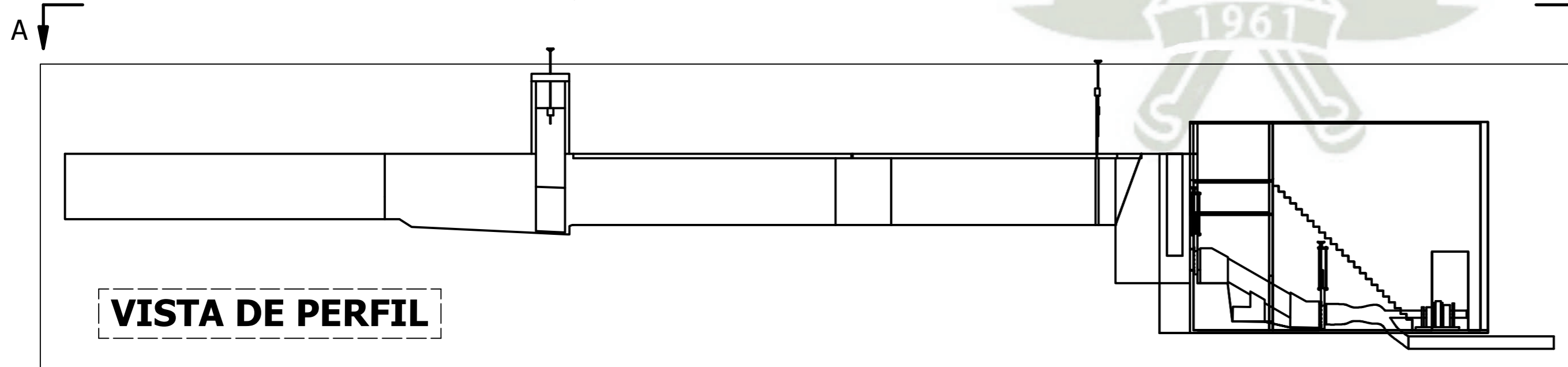





NUEVO ESQUEMA GENERAL DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA CENTRAL AZUCARERA DE CHUCARAPI

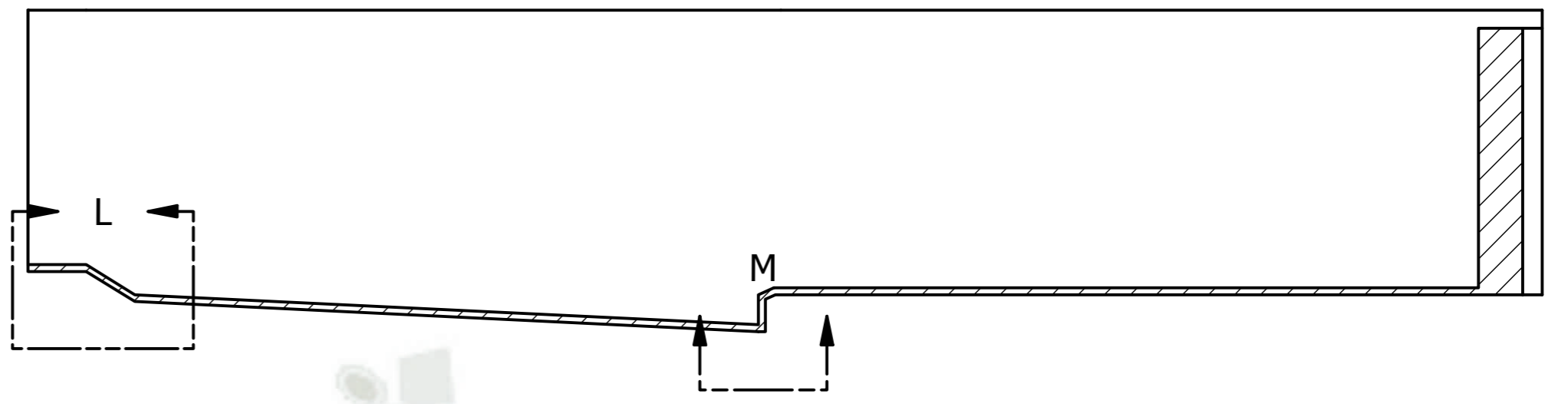
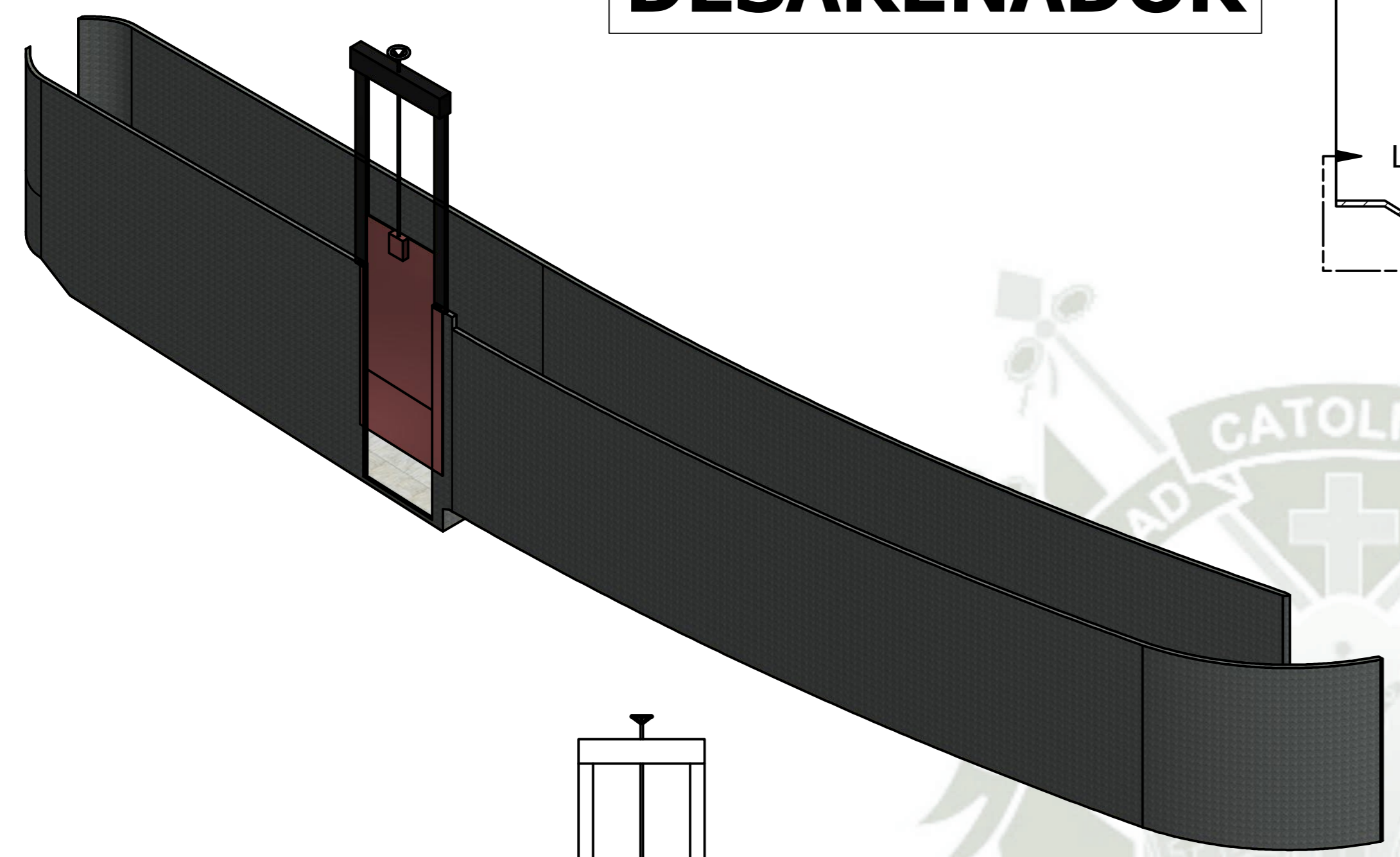


LISTA DE PARTES			
Nº	COMPONENTE	QTY	DESCRIPCION
1	DESARENADOR	1	
2	CAMARA DE CARGA	1	
3	CASA DE MAQUINAS	1	
4	TUBERIA DE FUERZA	1	
5	EQUIPOS ELECTROMECHANICOS	1	

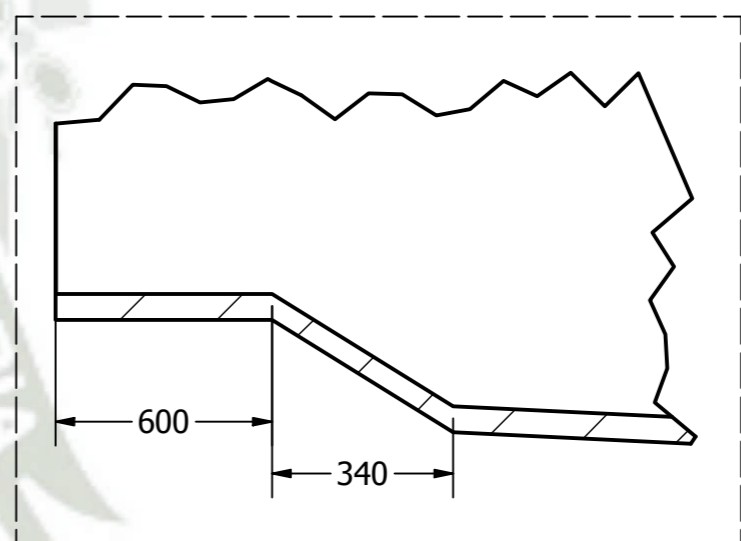


Departamento Responsable INGENIERIA MECÁNICA	Referencia Tecnica ISO	Tipo de documento: ENSAMBLE	Estado de Plano: FINAL			
	Creado por: S. S. A.	Titulo, Título suplementario ESQUEMA DE MINICENTRAL HIDROELECTRICA	Nº de Plano: 1			
	Aprobado por: M. V. S.		Rev: 0	Fecha: 01/12/2018	Escala: INDICADA	Hoja: 1

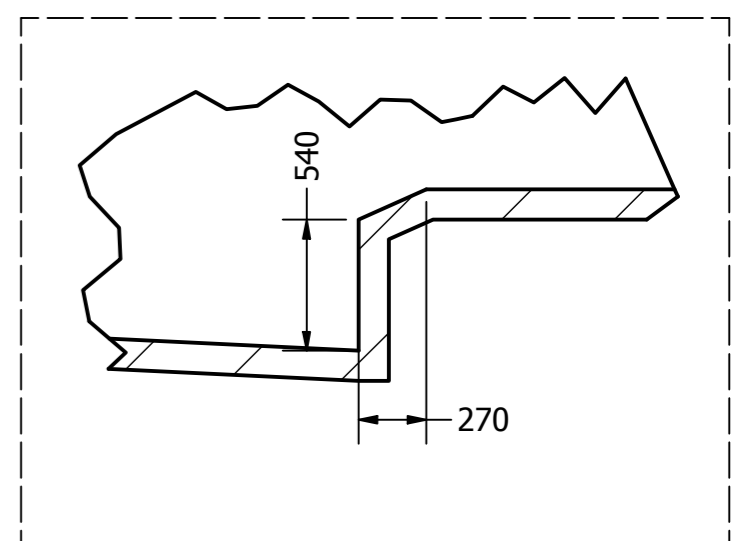
DESARENADOR



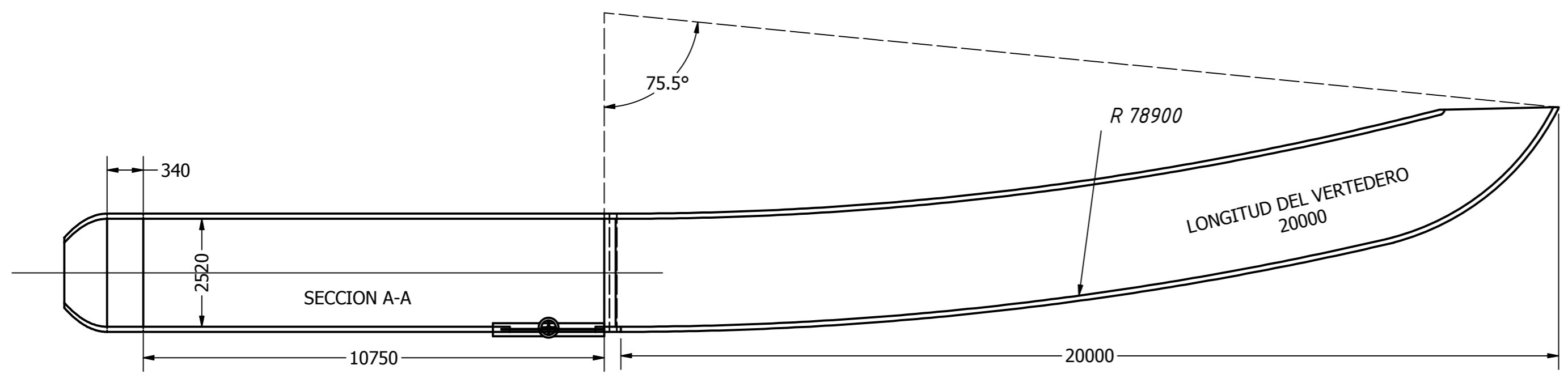
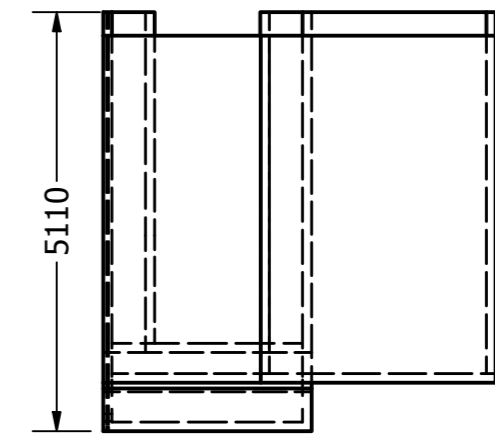
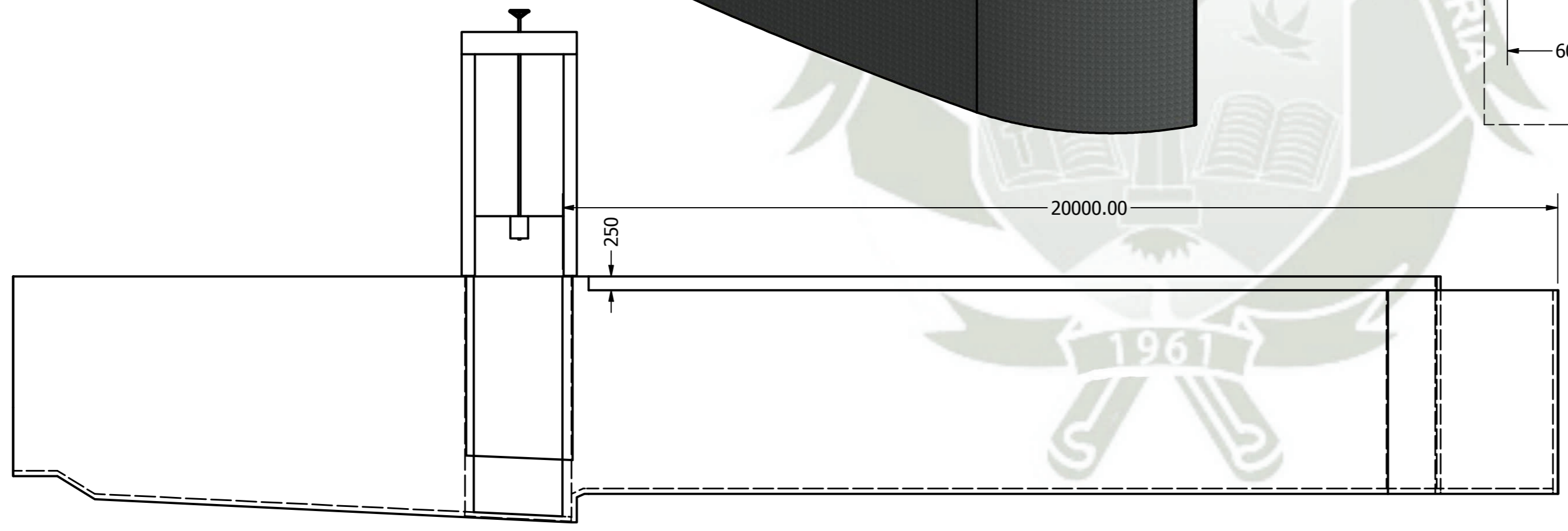
SECCION A-A
SCALE 1 / 100




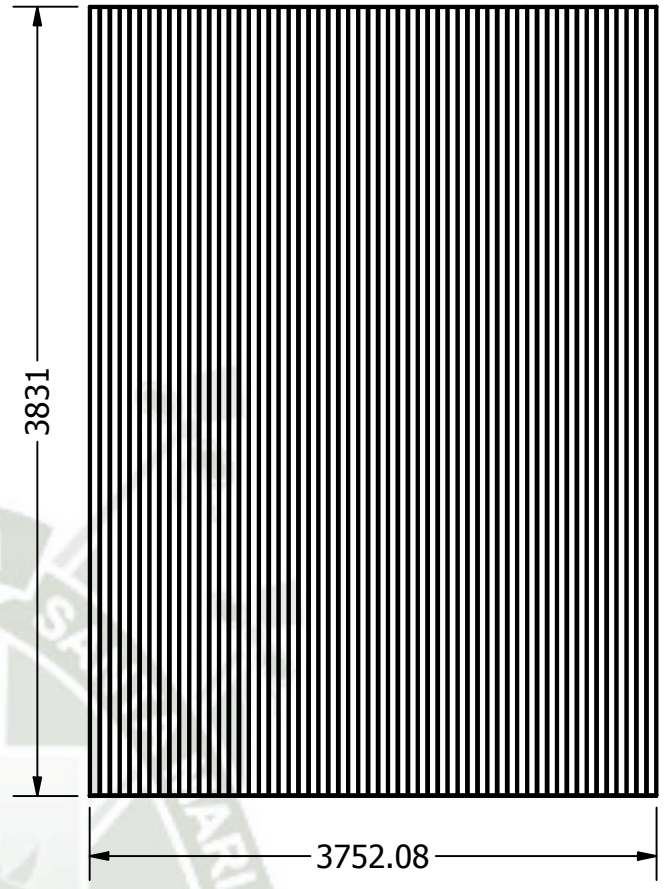
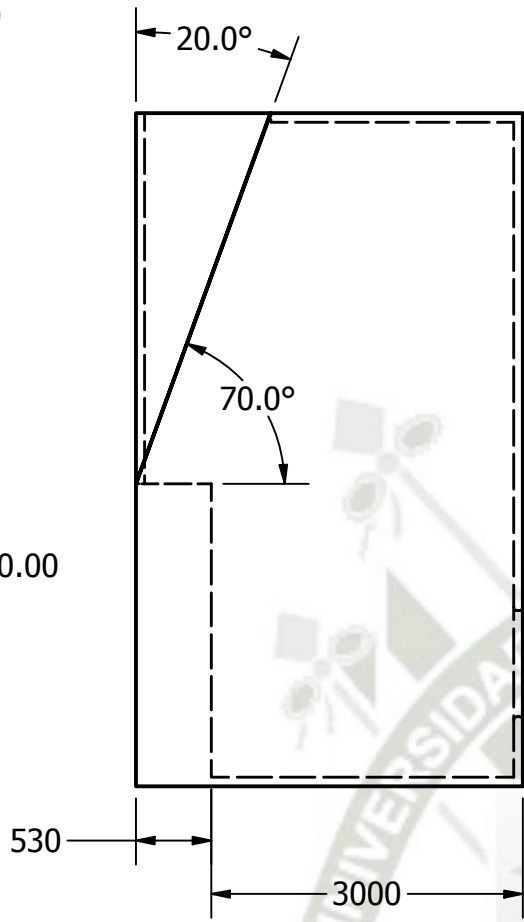
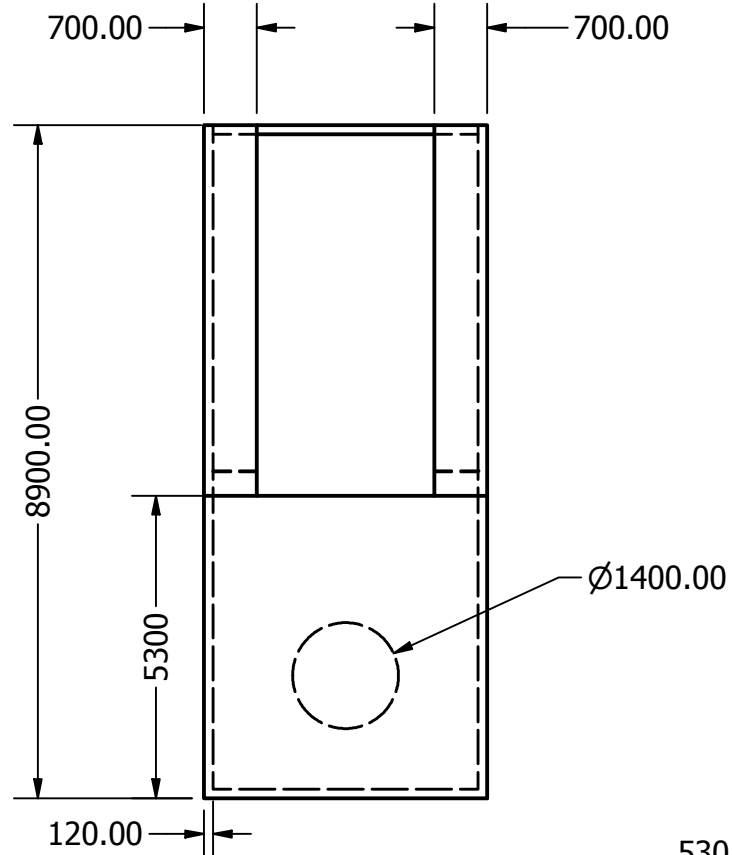
DETAIL L
SCALE 1 : 50



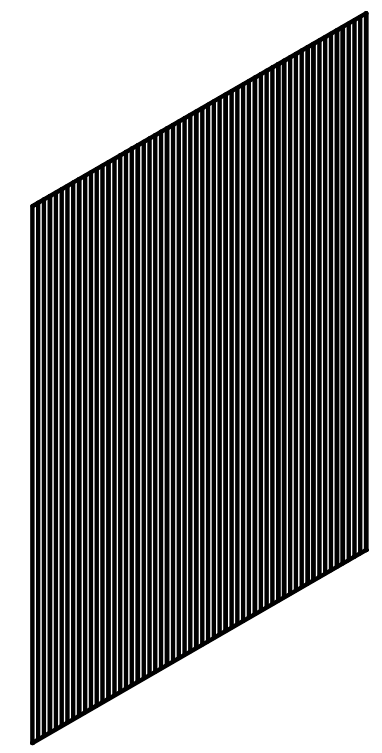
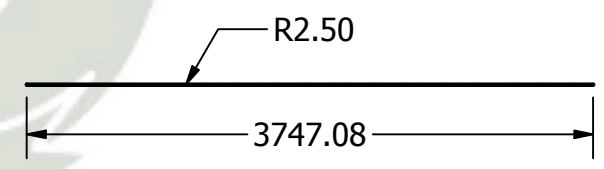
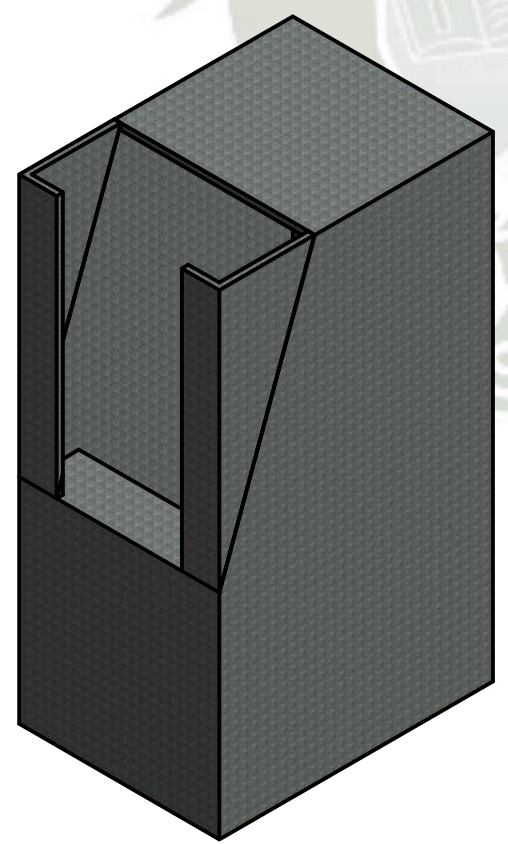
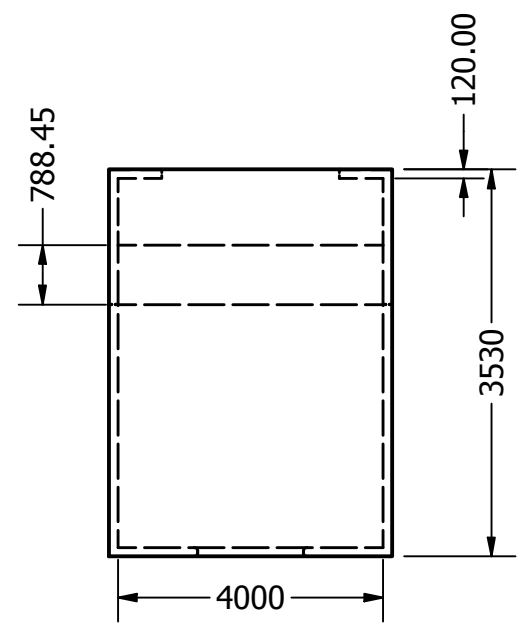
DETAIL M
SCALE 1 : 50



Departamento Responsable INGENIERIA MECANICA	Referencia Tecnica ISO	Tipo de documento: COMPONENTE	Estado de Plano: FINAL			
	Creado por: S. S. A.	Titulo, Título suplementario DESARENADOR	Nº de Plano: 2			
	Aprobado por: M. V. S.		Rev. 0	Fecha: 01/12/2018	Escala: INDICADA	Hoja: 2




ESPESOR DE VARILLA
3/16 in

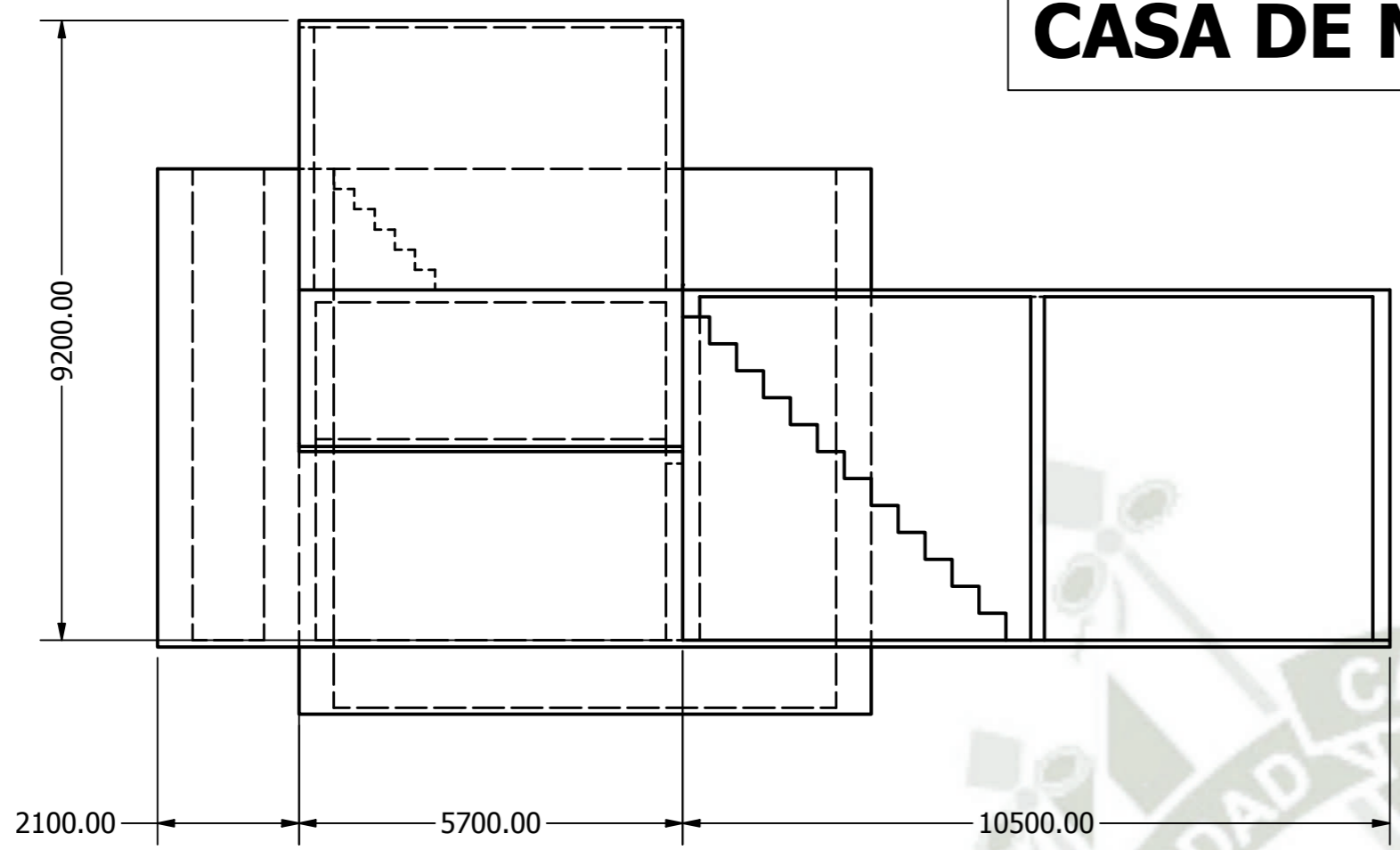


**REJILLA PARA
CAMARA DE CARGA**

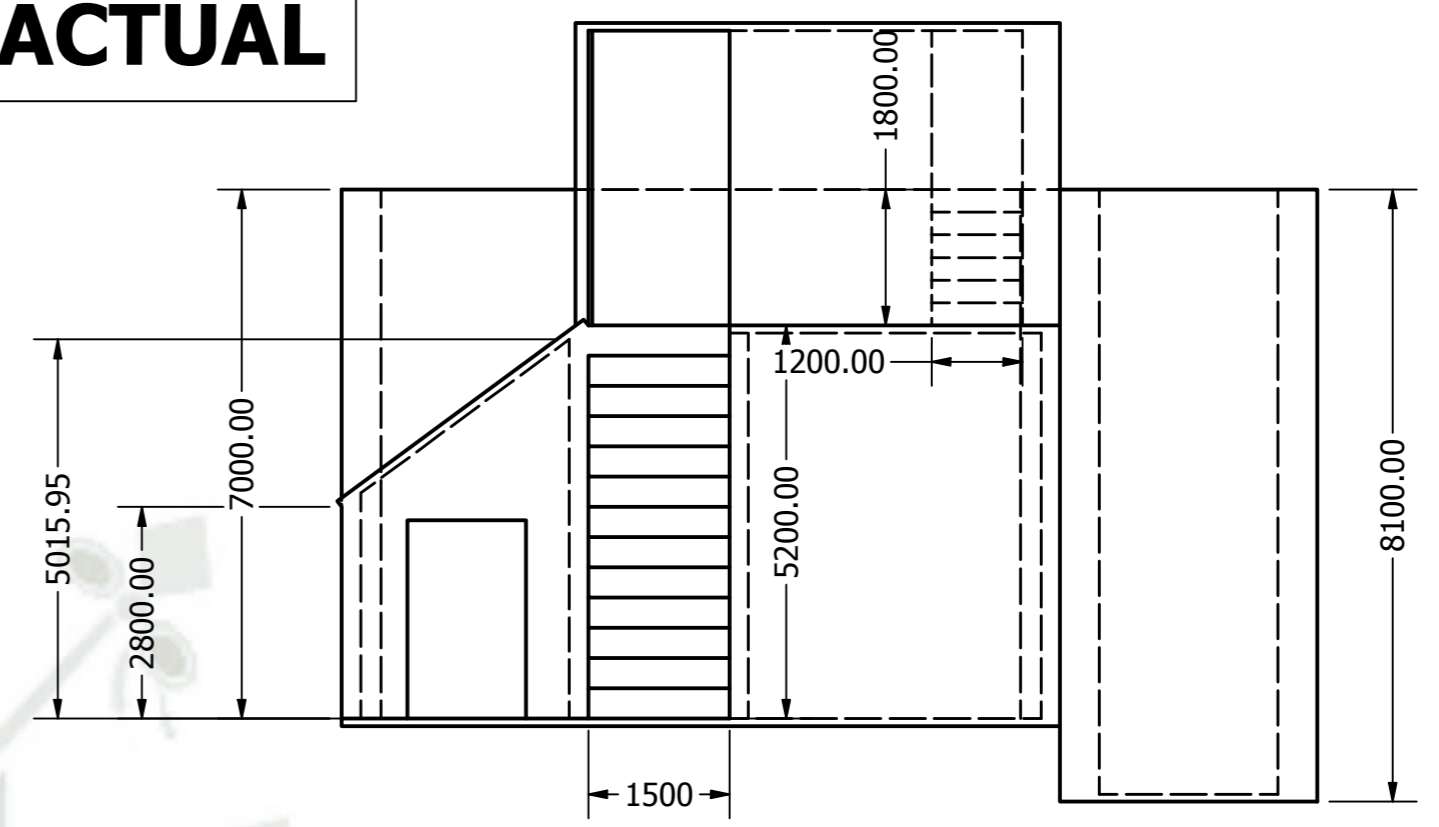
CAMARA DE CARGA

Departamento Responsable INGENIERIA MECANICA	Referencia Tecnica ISO	Tipo de documento: COMPONENTE	Estado de Plano: FINAL			
	Creado por: S. S. A.	Titulo, Título suplementario CAMARA DE CARGA	N° de Plano: 3			
	Aprovado por: M. V. S.		Rev. 0	Fecha: 01/12/2018	Escala: INDICADA	Hoja: 3

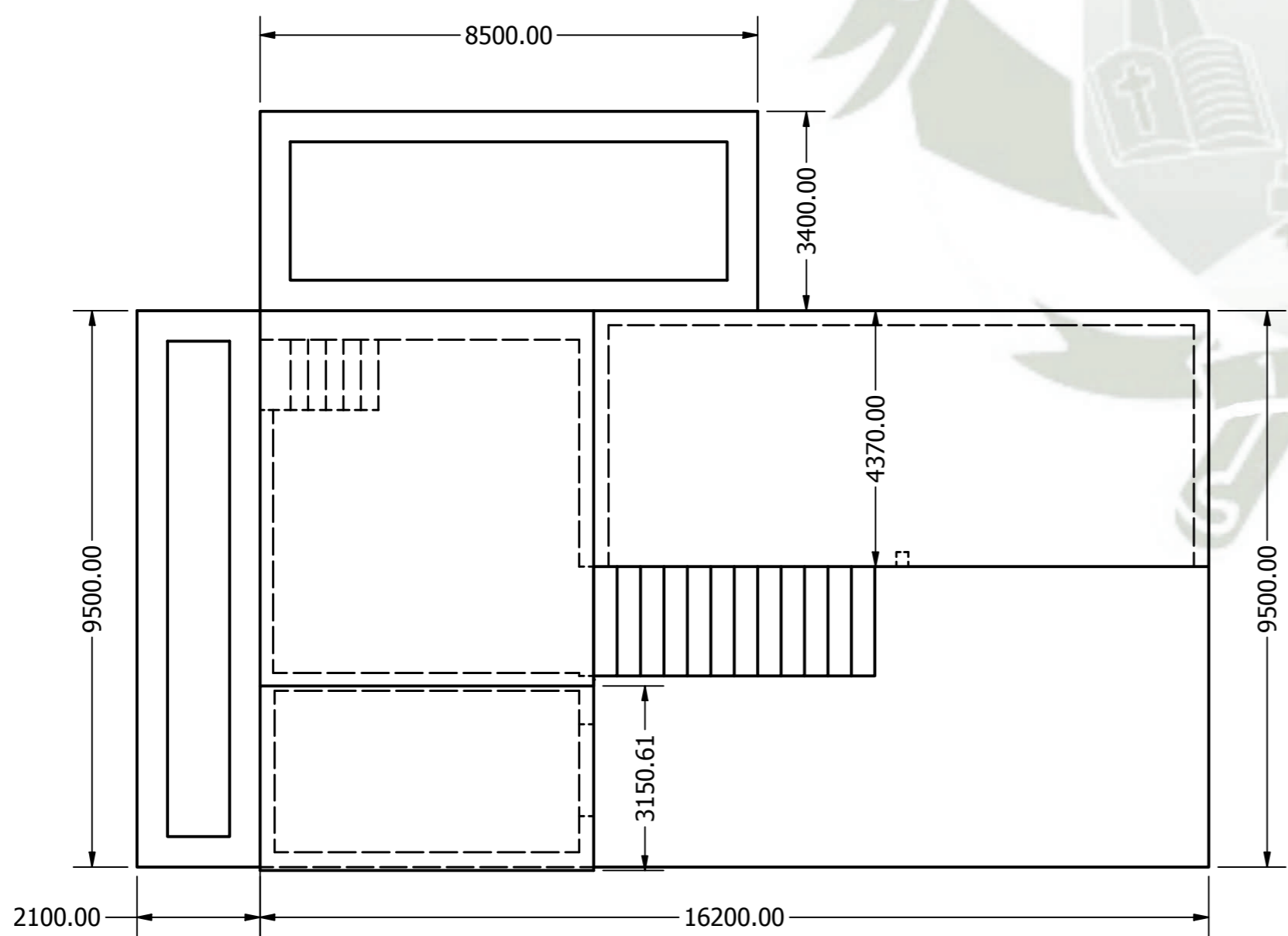
CASA DE MAQUINAS ACTUAL



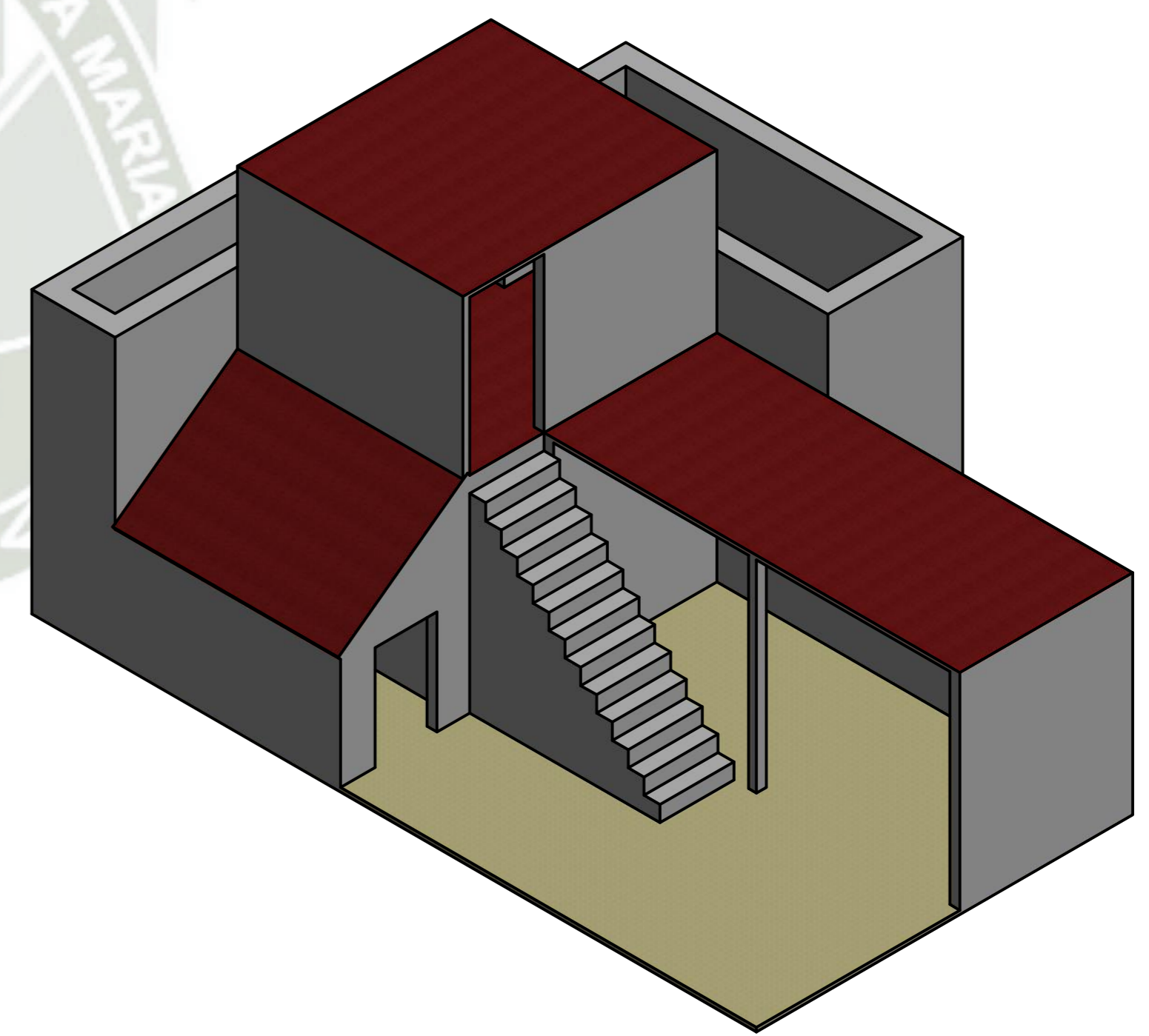
VISTA DE PERFIL




VISTA FRONTAL

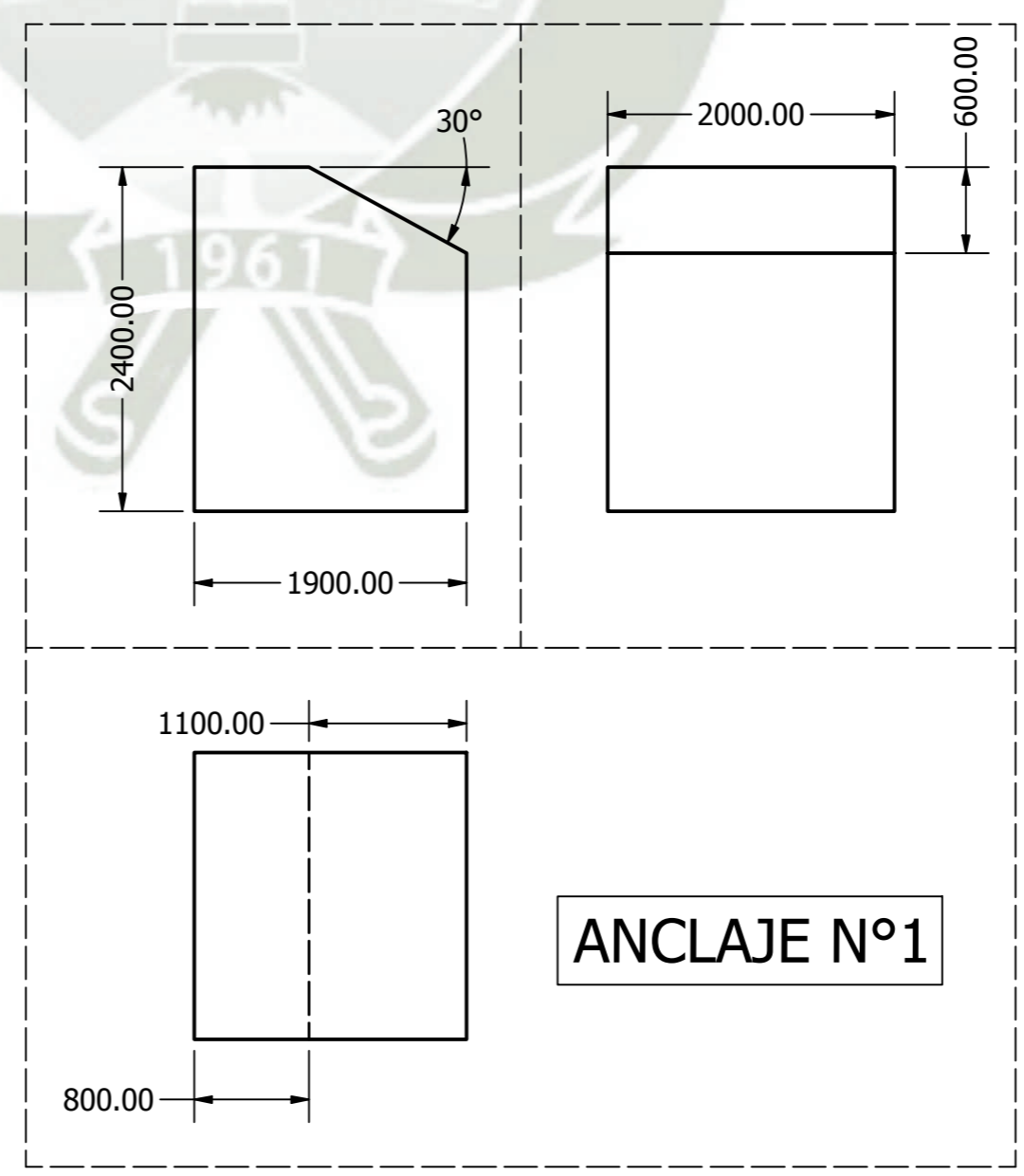
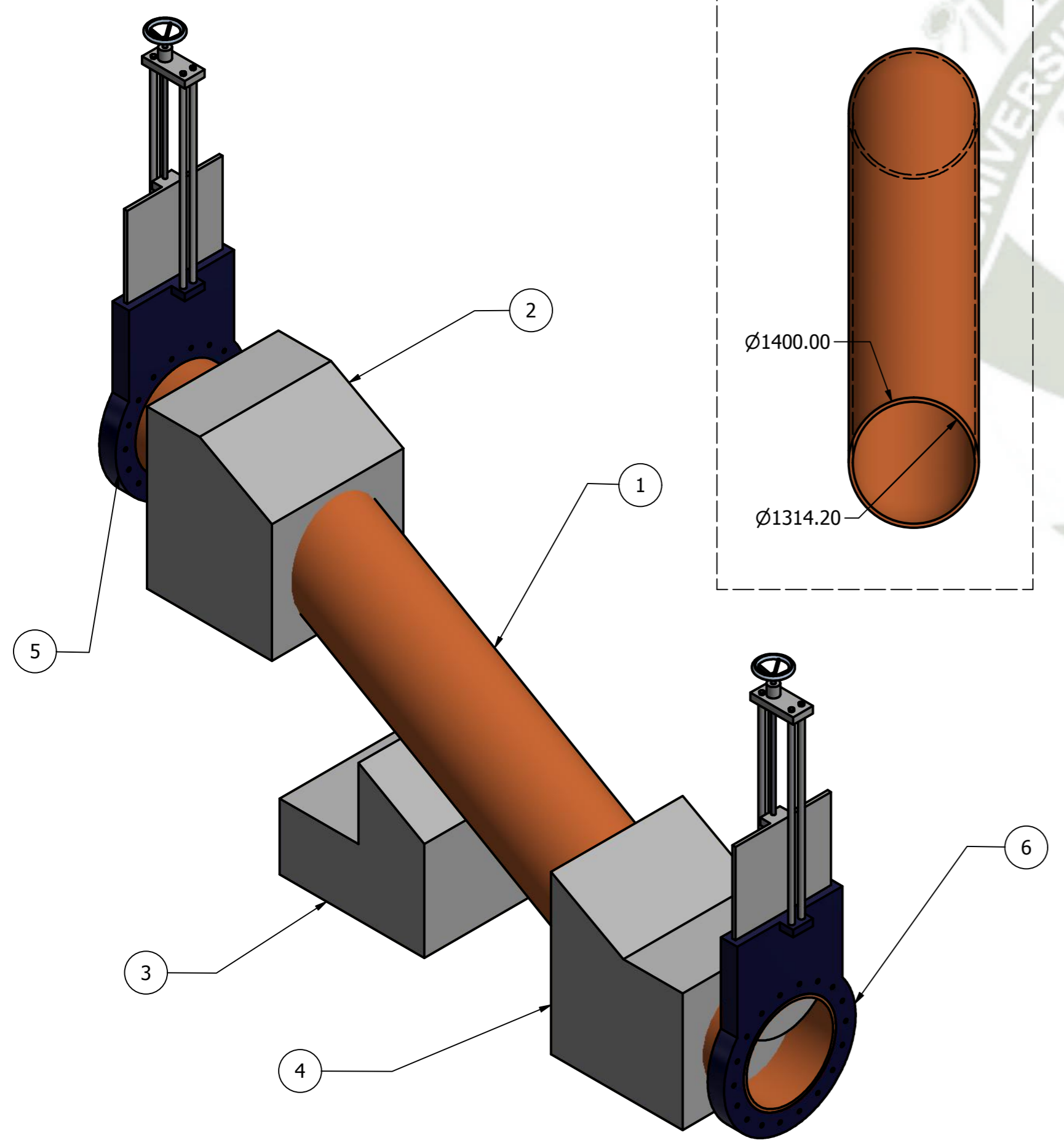
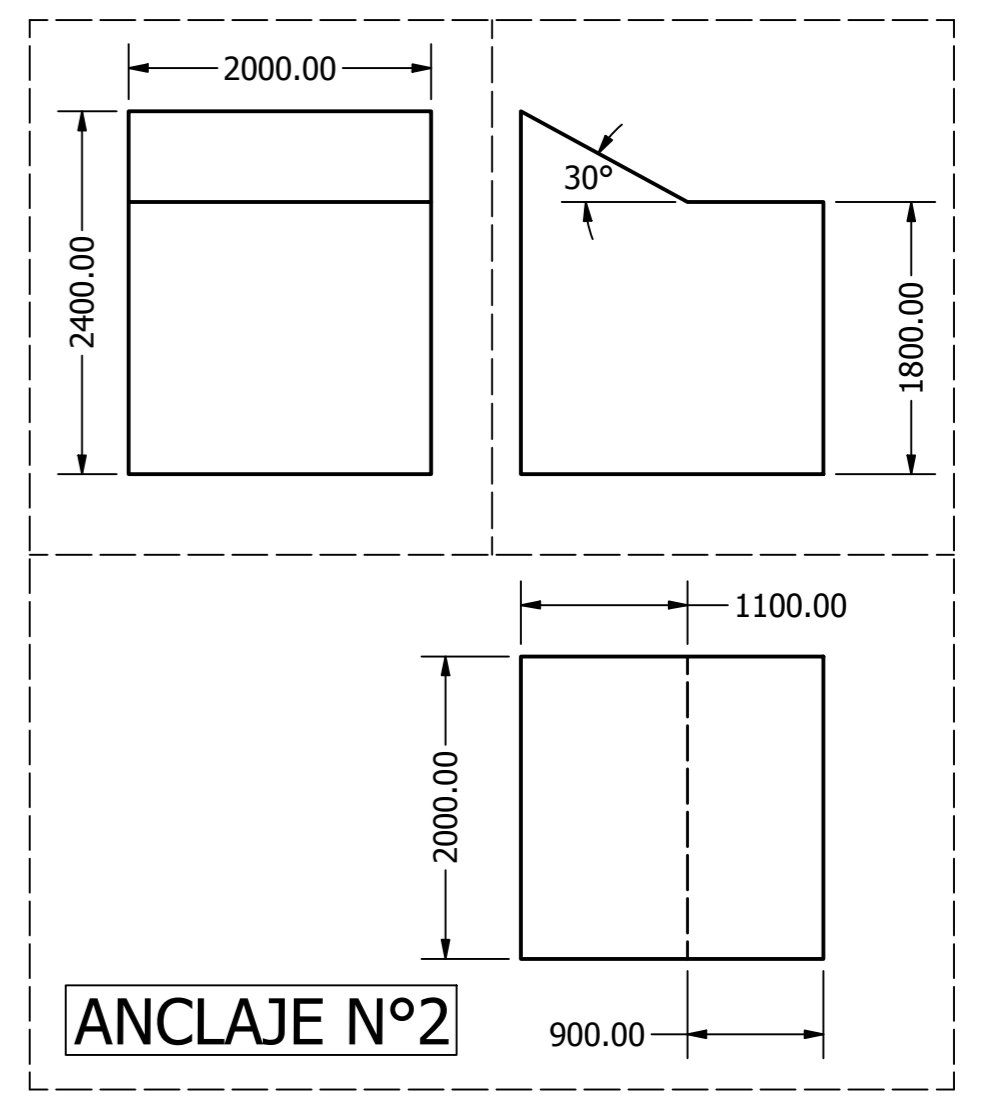
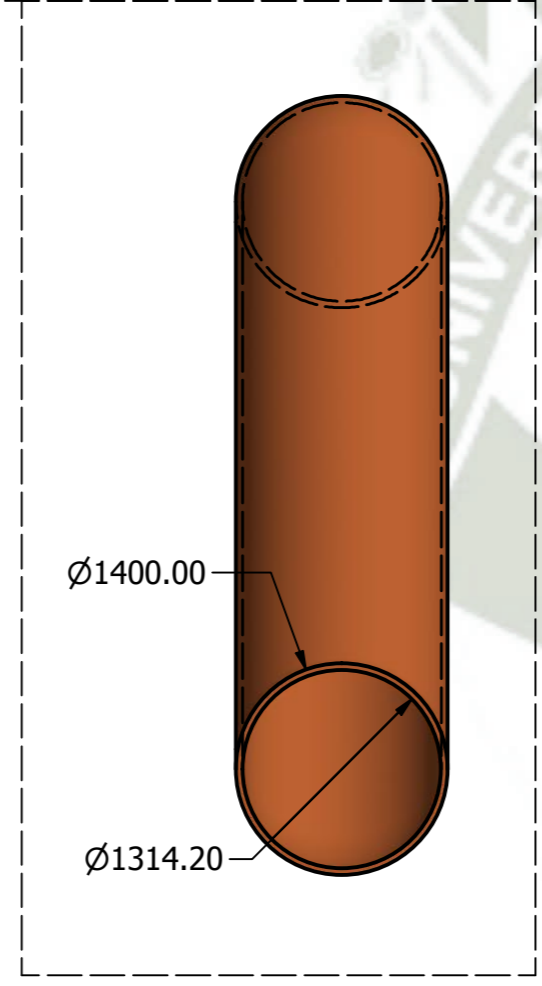
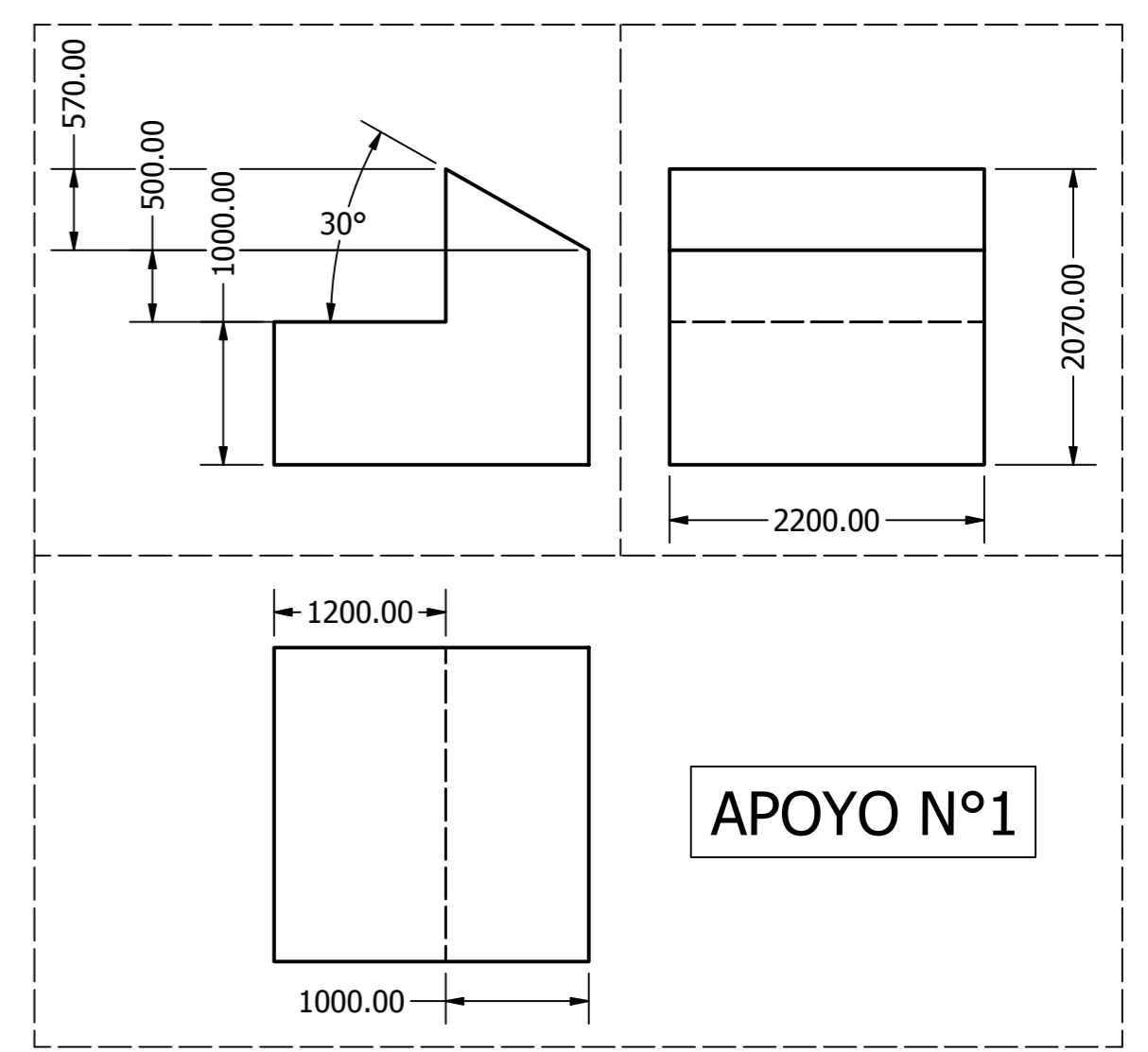
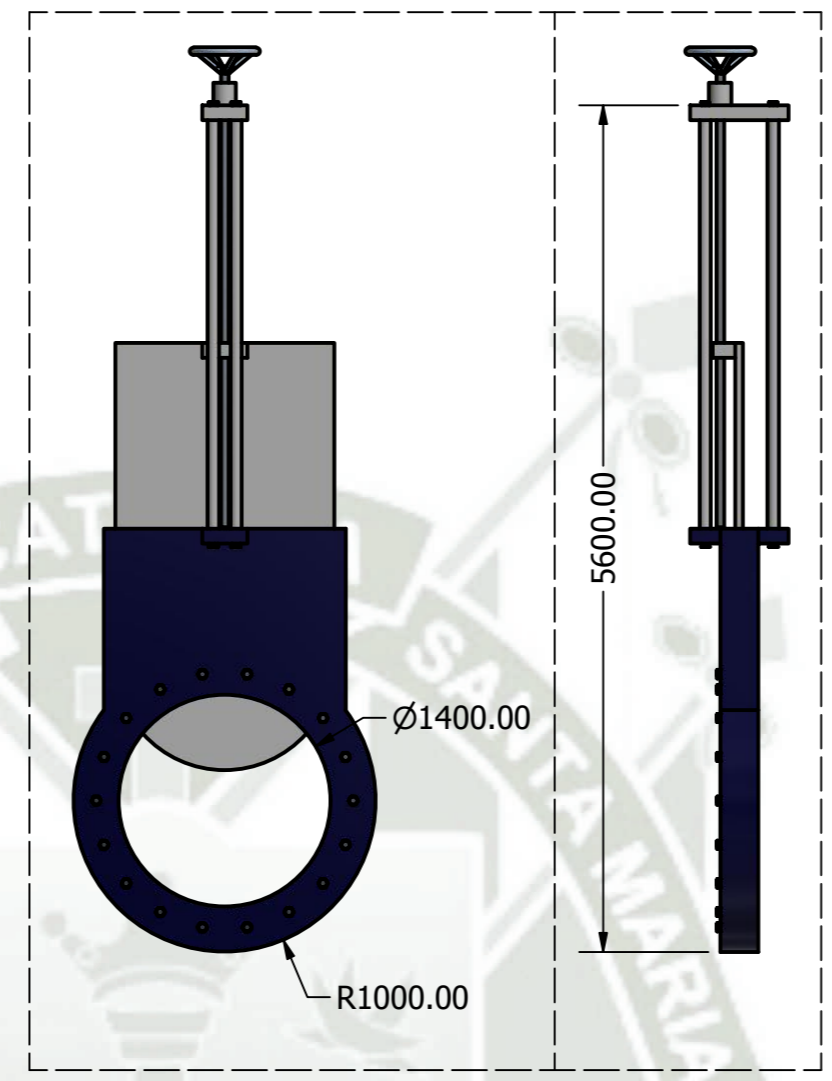
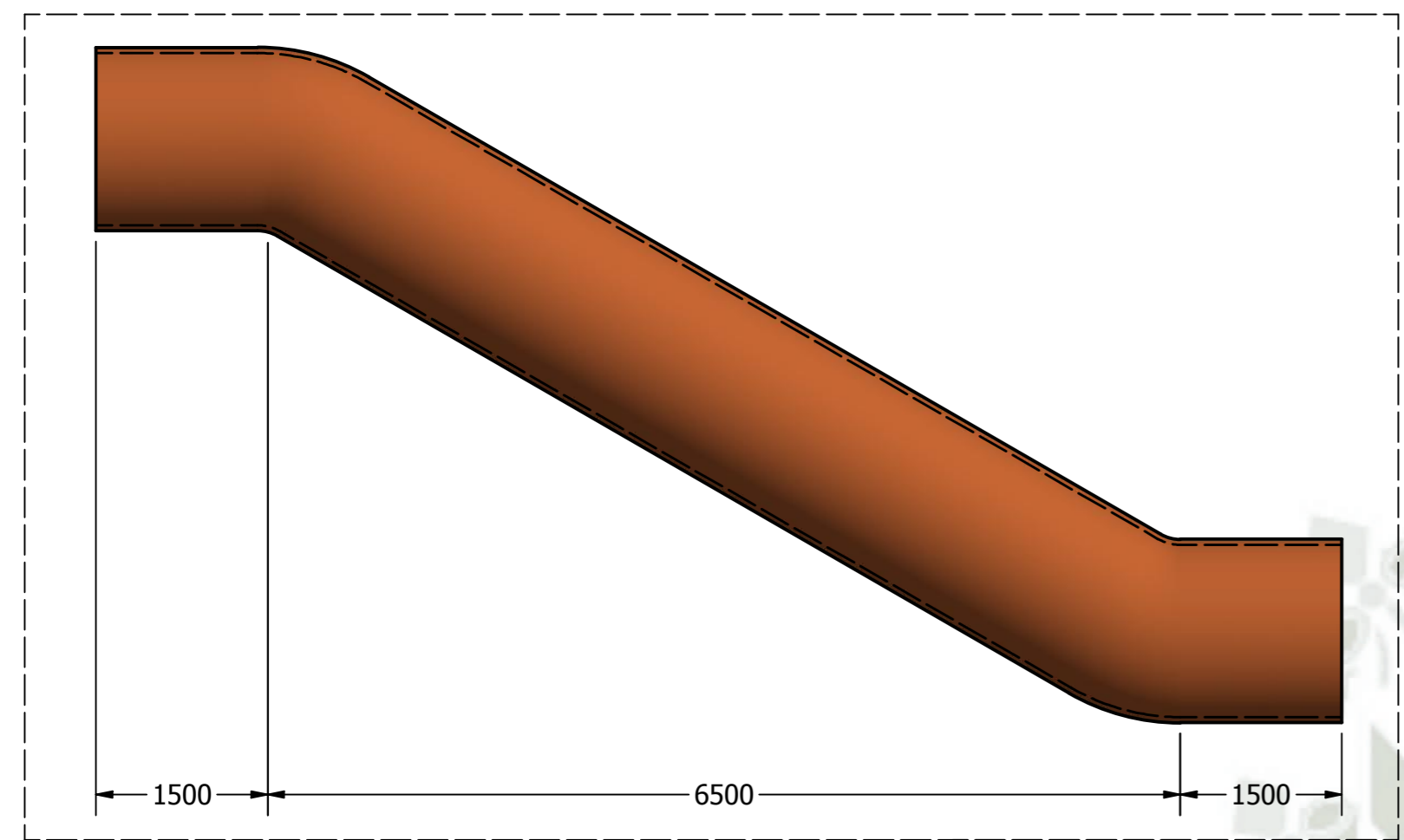


VISTA SUPERIOR




Departamento Responsable	Referencia Tecnica	Tipo de documento:	Estado de Plano:			
INGENIERIA MECANICA	ISO	COMPONENTE	FINAL			
	Creado por:	Titulo, Tiulo suplementario	Nº de Plano:			
	S. S. A.		4			
Apovado por:	CASA DE MAQUINAS	Rev.	Fecha:	Escala:	Hoja:	
M. V. S.		0	01/12/2018	INDICADA	4	

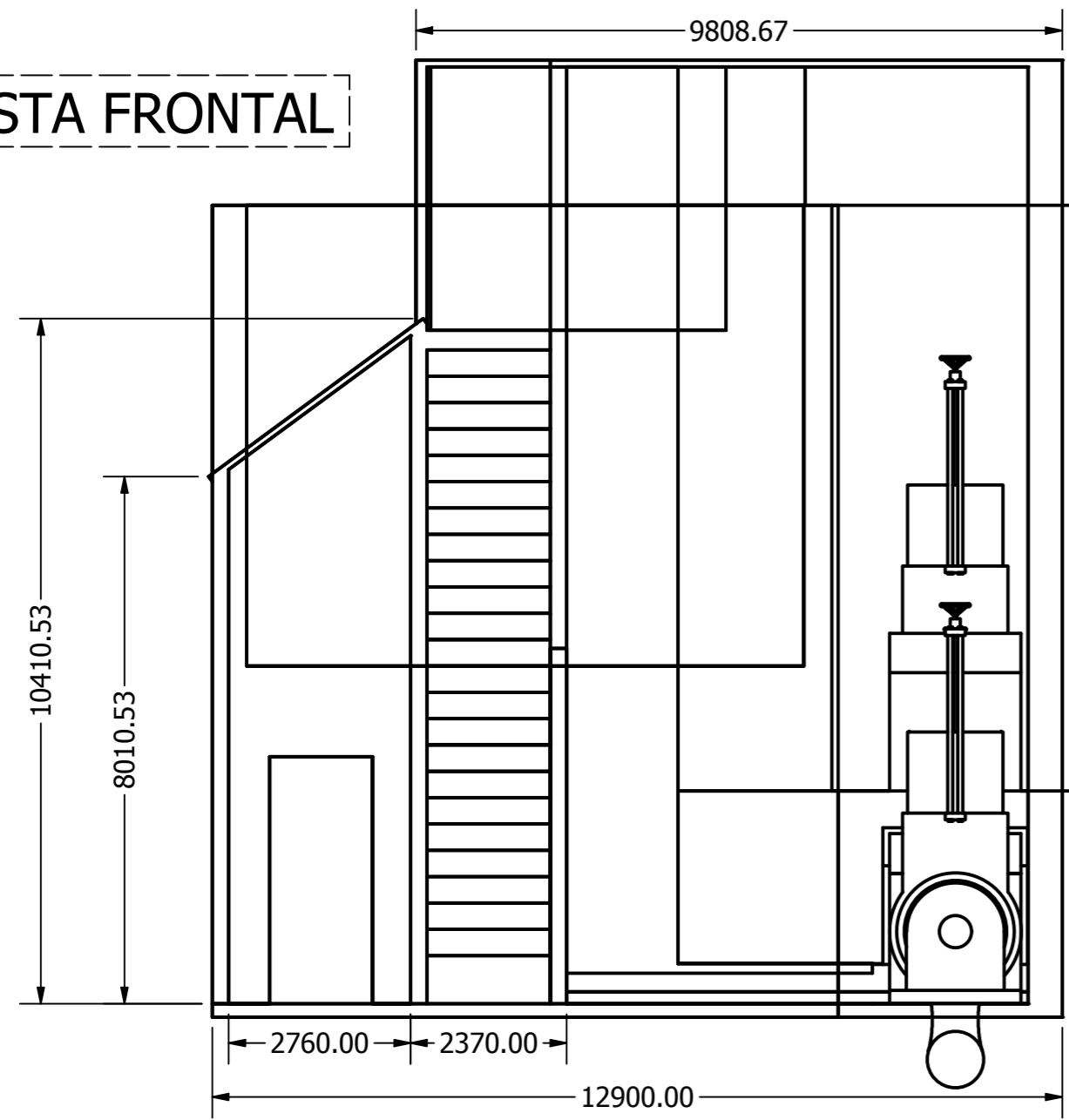
TUBERIA DE FUERZA, ANCLAJES, APOYOS Y ACCESORIOS



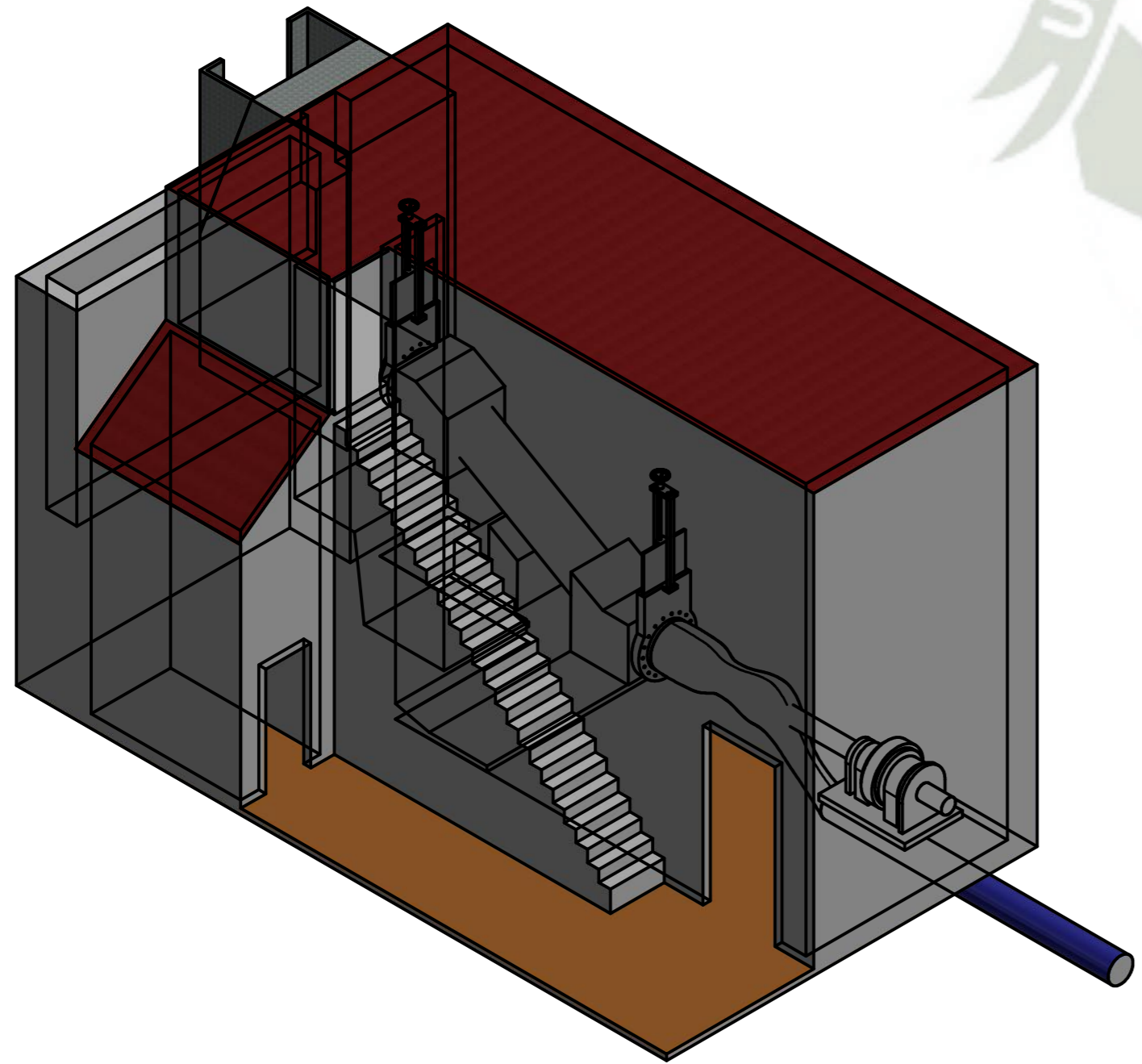
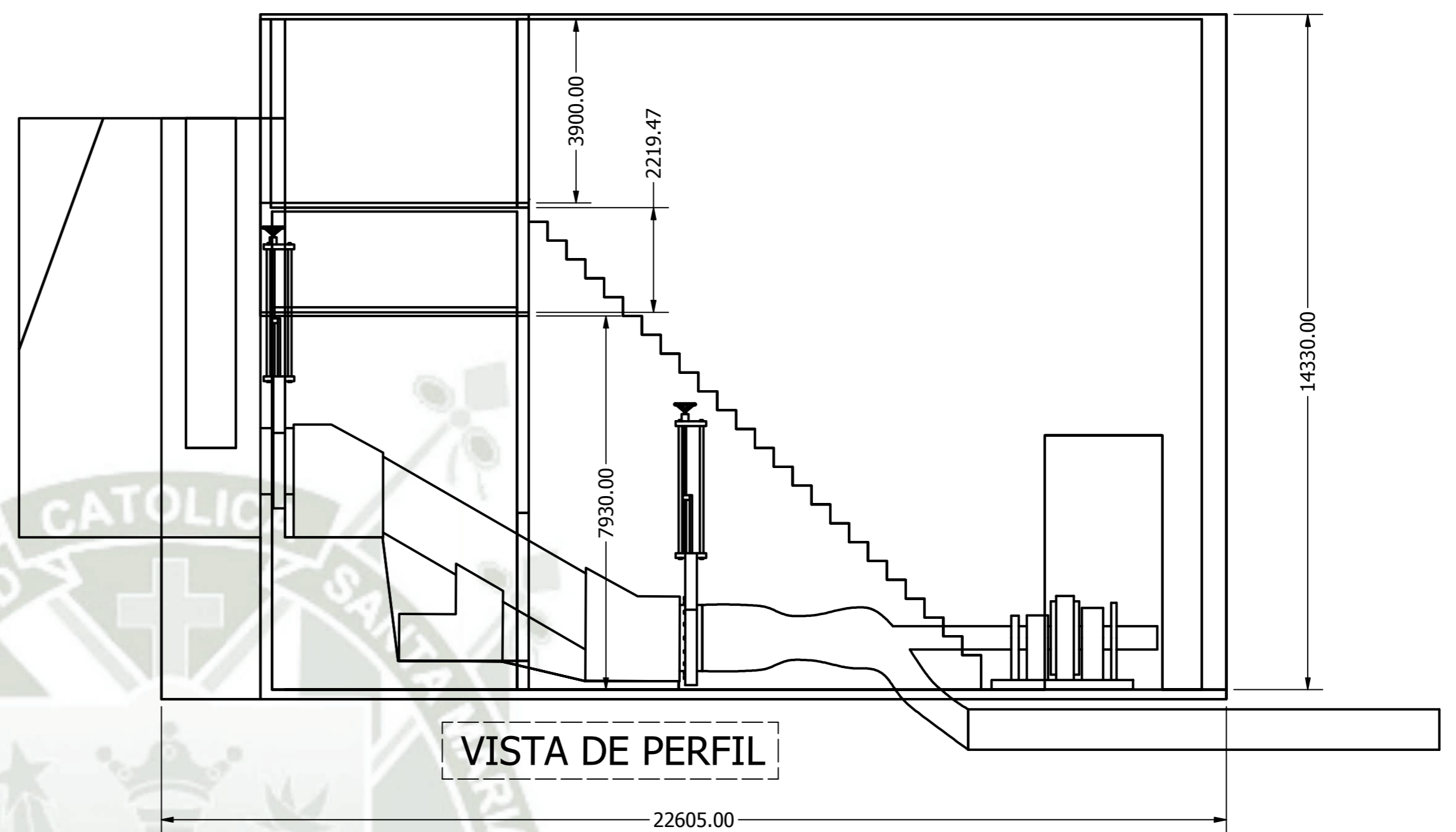
LISTA DE COMPONENTES			
N°	COMPONENTE	DESCRIPCION	QTY
1	TUBERIA DE FUERZA	MATERIAL: HDPE	1
2	ANCLAJE 1	FC = 2300 kg/cm ³	1
3	APOYO 1	FC = 2300 kg/cm ³	1
4	ANCLAJE 2	FC = 2300 kg/cm ³	1
5	VALVULA GUILLOTINA 1	SEGUN PROVEDOR	1
6	VALVULA GUILLOTINA 2	SEGUN PROVEDOR	1

Departamento Responsable	Referencia Tecnica	Tipo de documento:	Estado de Plano:
INGENIERIA MECANICA	ISO	COMPONENTE	FINAL
	Creado por:	Titulo, Título suplementario	N° de Plano:
	S. S. A.	TUBERIA DE PRESION	5
Aprobado por:	Rev.	Fecha:	Escala:
M. V. S.	0	01/12/2018	INDICADA
			Hoja:
			5

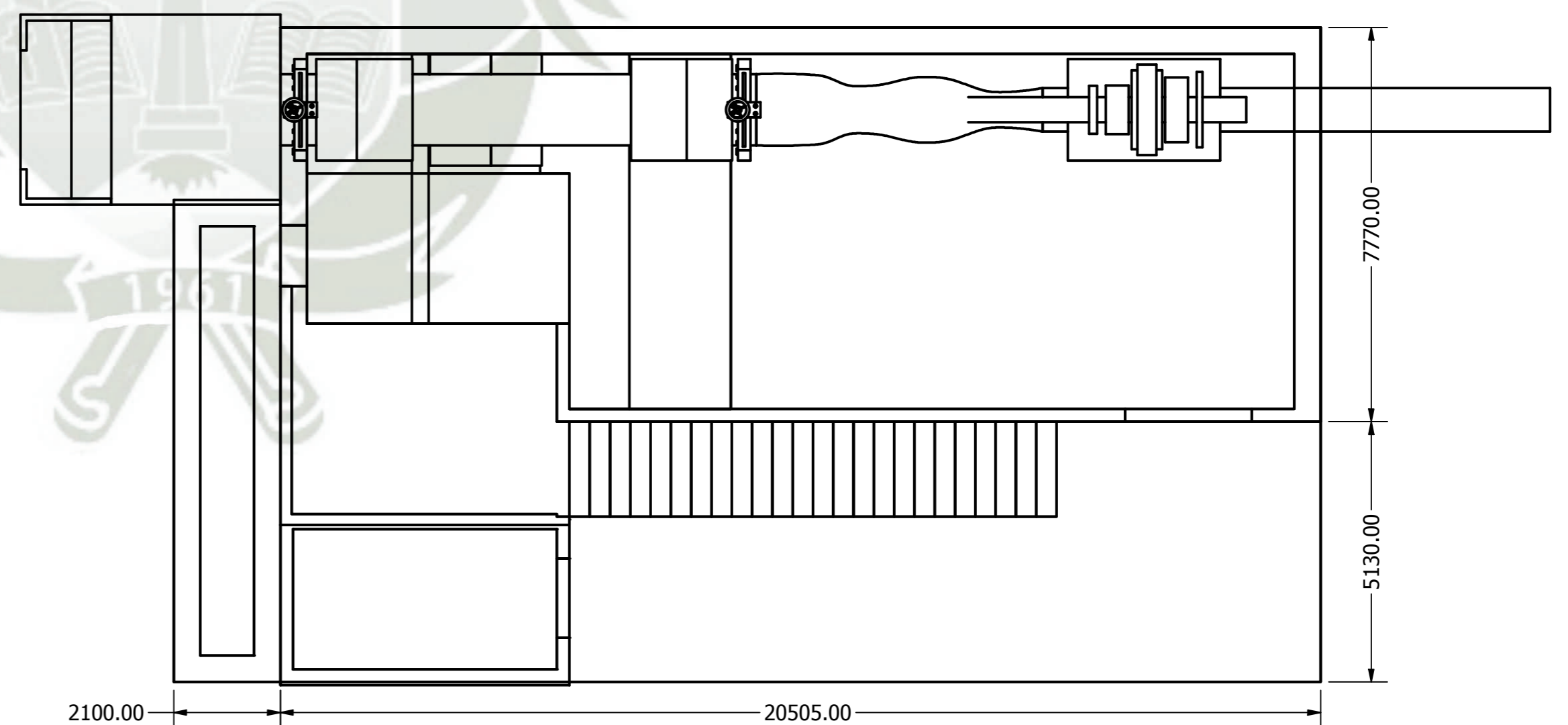
VISTA FRONTAL



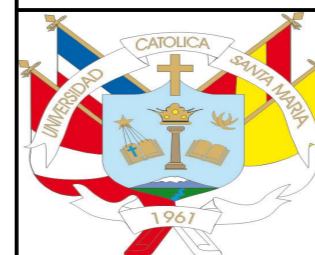
VISTA DE PERFIL



VISTA SUPERIOR



CASA DE MAQUINAS PROYECTADA

Departamento Responsable INGENIERIA MECANICA	Referencia Tecnica ISO	Tipo de documento: COMPONENTE	Estado de Plano: FINAL			
	Creado por: S. S. A.	Titulo, Tiulo suplementario CASA DE MAQUINAS	Nº de Plano: 6			
	Apovado por: M. V. S		Rev. 0	Fecha: 01/12/2018	Escala: INDICADA	Hoja: 6