



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

“ANÁLISIS DE VIABILIDAD EN EL DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL
HIDROELÉCTRICA PARA REDUCIR EL COSTO DE CONSUMO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN LA EMPRESA HORTIFRUT-TAL S.A.”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTOR:

JOEL DANIEL CRESPIN POLO

ASESOR:

JUAN CARLOS BENGOA SEMINARIO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

TRUJILLO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedicado con gran afecto y admiración a mis padres: José Crespín Zavaleta y Elena Polo Ruiz; a mis dos hijos: Jheferson Jhoe y Josué Gadiel; para mis hermanos, quienes me brindaron su apoyo incondicional en el transcurso de mi formación académica y me dieron las fuerzas necesarias para poder culminar con éxito mi carrera profesional, añadiendo así un logro muy importante en mi vida profesional y personal.

Así mismo, agradecerle a mi esposa, por su comprensión y apoyo desmedido en todo momento; a mis compañeros de trabajo, quienes con su experiencia, reforzaron los conocimientos adquiridos; a mis amigos, los cuales me brindaron siempre su apoyo moral para poder seguir adelante y lograr mis metas trazadas.

Joel Daniel Crespín Polo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, señor todo poderoso, por darme la vida, salud, determinación , sabiduría para poder seguir mejorando día a día y adquirir nuevos conocimientos que me ayudaran en todos los aspectos de mi existencia , contribuyendo de manera favorable a la sociedad en la cual me desenvuelvo y por consiguiente a mi región y país .

Agradecerle infinitamente a mi familia, amigos y compañeros de trabajo, por su abnegado apoyo moral, para poder conseguir mis objetivos trazados e impulsar mi crecimiento como persona y profesional, consiguiendo de esta manera, los recursos necesarios para apoyar a mis seres queridos.

De igual manera, un agradecimiento muy especial al ingeniero: Juan Carlos Bengoa Seminario, por haberme brindado en cada instante, el asesoramiento y apoyo desinteresado, para finalizar el desarrollo de mi tesis de investigación y por consiguiente mi carrera profesional.

Por último, agradecer a la universidad “Cesar Vallejo”, a los docentes, los cuales me brindaron, una serie de conocimientos y experiencia invaluable, en el transcurso de mi formación, los cuales serán de mucha utilidad, para poder desempeñarme de gran manera en mi ámbito laboral, haciendo de mí un profesional más competitivo.

Joel Daniel Crespín Polo

PRESENTACIÓN

El trabajo de investigación que se está presentando, lleva por título “Análisis De Factibilidad Y Viabilidad En El Diseño De Una Mini Central Hidroeléctrica Para Reducir El Costo De Consumo Energético En La Empresa Hortifrut-Tal S.A.”, está conformado por las siguientes capítulos:

I.- CAPÍTULO: Se examina la problemática existente en la empresa Hortifrut-Tal S.A, se indaga los trabajos previos relacionados, la teoría involucrada al desarrollo de la tesis, formulación del problema, justificación del estudio, hipótesis y objetivos.

II.- CAPÍTULO: Se implementa el marco metodológico, en el cual se realiza la identificación de variables independiente y dependiente, Operacionalización de variables, metodología , tipo de estudio, diseño, población, técnicas e instrumentación de datos, análisis de datos y aspectos éticos.

III.- CAPÍTULO: Se desarrolla los resultados del trabajo de investigación, el cual tiene como premisa, los parámetros obtenidos de los instrumentos de recolección de datos. Se implementa una mini central hidroeléctrica en base a cálculos y teniendo como referencia los trabajos previos.

IV.- CAPÍTULO: Se elabora la discusión, dispuesta para comparar los resultados logrados, con los obtenidos en trabajos previos realizado por diversos autores presentados previamente.

V.- CAPÍTULO: Se realiza las conclusiones, se manifiesta los resultados en el desarrollo de éste proyecto de investigación.

VI. CAPÍTULO: Se presenta las recomendaciones fundamentadas en los resultados, con el fin de mejorar el desarrollo del presente proyecto.

VII.- CAPÍTULO: Se muestra las referencias bibliográficas que sirvieron de base para poder desarrollar el proyecto de tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
PRESENTACIÓN	6
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática:	14
1.2. Trabajos previos:.....	16
1.3 Teorías relacionadas al tema	17
1.3.1 Mini Central hidroeléctrica	17
1.3.2 Componentes de una central hidroeléctrica:	19
1.3.4 Diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico	20
1.3.5 Turbinas Hidráulicas	34
1.3.6 Componentes eléctricos de una central hidroeléctrica	38
1.3.6.2 Equipo eléctrico general y línea	40
1.3.6.3 Elementos de regulación, control y protección	40
1.4. Formulación del problema:	45
1.5 Justificación del estudio	45
1.6. Hipótesis	46
1.7. Objetivos:.....	46
II. MARCO METODOLÓGICO.....	47
2.1. Identificación de variables	47
2.2 Operacionalización de variables	47
2.3 Metodología	48
2.4. Tipo de estudio.....	49
2.5. Diseño	49
2.6. Población	49
2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49

2.8. Métodos de análisis de datos.....	49
2.9. Aspectos éticos	49
III. RESULTADOS	50
3.1 Determinar disponibilidad de flujo de agua y altura útil	50
3.2. Determinación del diámetro de la tubería forzada.....	56
3.3. Selección de turbina para minicentral hidroeléctrica.....	60
3.4. Determinar la potencia teórica y neta de minicentral hidroeléctrica	74
3.5. Seleccionar generador eléctrico	74
3.6. Dimensionar banco de condensadores trifásicos	76
3.7. Seleccionar elementos de protección.....	78
3.8. Seleccionar conductor trifásico.....	79
3.9. Evaluar el costo de consumo de energía eléctrica, en base a facturas eléctricas	82
3.10. Análisis económico de implementar la mini central hidroeléctrica.....	83
3.11. Análisis financiero	87
IV.-DISCUSIÓN	92
V. CONCLUSIÓN	93
VI. - RECOMENDACIONES.....	94
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
VIII. ANEXOS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variación de costo por energía eléctrica en Hortifrut-Tal SA.	15
Figura 2: Central hidroeléctrica de tipo fluyente.....	17
Figura 3: Central hidroeléctrica de pie de presa.....	18
Figura 4: Central hidroeléctrica en canal de riego.....	18
Figura 5: Componentes de un sistema hidroeléctrico.....	20
Figura 6: Curva de caudales clasificados.....	22
Figura 7: Esquema general de un salto de agua	23
Figura 8: Coeficiente K_t para pérdida a través de rejilla de cámara de carga	26
Figura 9: Coeficiente K_e para pérdidas de carga a través de entrada de tubería forzada	27
Figura 10: Coeficiente K_v para pérdida a través de válvulas.....	28
Figura 11: Turbina Pelton.....	34
Figura 12: Turbina Francis.....	35
Figura 13: Turbina Kaplan	35
Figura 14: Campos de utilización de los diferentes tipos de turbina.....	36
Figura 15: Partes de un generador eléctrico	39
Figura 16: Triángulo de potencia	41
Figura 17: Corrección del $\text{Cos } \phi_1$ a $\text{Cos } \phi_2$, mantenido el suministro de la carga constante.	42
Figura 18: Ubicación satelital del lugar de estudio	50
Figura 19: Registro hidrológico de río Santa.....	51
Figura 20: Canal madre de proyecto especial Chavimochic	51
Figura 21: Perfil de canal madre.....	52
Figura 22: Toma de agua de Hortifrut-Tal S.A	53
Figura 23: Compuerta de ingreso del caudal de agua.....	53
Figura 24: Curva de duración de caudales.....	54
Figura 25: Disposición de flujo de agua a cámara de carga	55
Figura 26: Campos de utilización de turbinas hidráulicas.....	60
Figura 27: Curva de rendimiento de turbina Francis.....	62
Figura 28: Curva de rendimiento de turbina Banki	67
Figura 29: Triángulo de potencias del alternador trifásico de mini central hidráulica sin compensación del factor de potencia.....	76

Figura 30: Triángulo de potencias del alternador trifásico de la mini central hidráulica con compensación del factor de potencia.....	77
Figura 31: Disposición de turbogenerador hidráulico de $S_n = 137$ KVA	81
Figura 32: Demanda de Potencia activa en Horas Punta, Hortifrut-Tal S.A.....	82
Figura 33: Demanda de Potencia activa en Horas Fuera de Punta.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Determinación de factor F_c para cálculo de caudales por método de flotador.....	21
Tabla 2: Rugosidad e para diversos tubos comerciales	25
Tabla 3: Coeficientes K para diferentes accesorios.....	29
Tabla 4: Materiales empleados en tuberías forzadas	29
Tabla 5: Coeficiente de rugosidad n Manning para diversos tubos comerciales.....	30
Tabla 6: Coeficiente k para tiempo de cierre de válvula	32
Tabla 7: Coeficiente c para tiempo de cierre de válvula	32
Tabla 8: Velocidad promedio de agua en canal madre.....	52
Tabla 9: Probabilidad de excedencia de caudal.....	55
Tabla 10: Diámetro de tuberías	57
Tabla 11: Eficiencia de turbina Francis.....	62
Tabla 12 - 15: Energía anual con turbina Francis.....	63
Tabla 16: Eficiencia de turbina Banki	68
Tabla 17 - 20: Energía anual con turbina Banki.....	69
Tabla 21: Velocidades posibles del campo giratorio en generadores interconectados a la red eléctrica.....	73
Tabla 22: Rango de aplicación para las turbinas hidráulicas	73
Tabla 23: Catálogo de alternadores trifásicos	75
Tabla 24: Características de bancos de condensadores trifásicos	78
Tabla 25: Capacidad de corriente para conductores trifásicos	80
Tabla 26: Inversiones en activos, equipo hidrogenerador.....	83
Tabla 27. Inversiones en activos, sistema eléctrico de minicentral.....	84
Tabla 28: Costo del personal en instalación del equipo hidrogenerador.....	85
Tabla 29: Presupuesto de obra civil.....	86
Tabla 30: Costo anual de operación y mantenimiento	87
Tabla 31: Inversión y financiamiento para mini central hidroeléctrica.....	88
Tabla 32: Condiciones de financiamiento.....	88
Tabla 33: Plan de pagos mensuales de financiamiento	89
Tabla 34: flujo de caja de mini central hidroeléctrica.	90
Tabla 35. cálculo de rentabilidad de mini central hidroeléctrica.....	91

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo, determinar la viabilidad técnico económico para implementar una mini central hidroeléctrica y reducir el costo del consumo de energía eléctrica en la empresa Hortifrut Tal S.A, debido a que mensualmente se paga a Hidrandina más de 220000 soles.

Para cumplir con el objetivo, se realizó un análisis para determinar el caudal de diseño y la altura neta, los cuales son de $0.533 \text{ m}^3/\text{s}$ y 25.3 m respectivamente. También Se realizaron cálculos para determinar el diámetro óptimo de la tubería forzada y las pérdidas de energía que en ella se dan, adicionalmente se estimó el golpe de ariete para establecer el espesor adecuado de la tubería. La tubería forzada tendrá un diámetro nominal de 630 mm con un espesor de 30 mm .

Se realizó un análisis energético para determinar la turbina hidráulica que se puede implementar en la mini central hidroeléctrica. La turbina seleccionada es una Francis, la cual proporcionará una potencia de 107 kW .

Se dimensionó el generador eléctrico a utilizar, el cual es un generador síncrono de 137 KVA y proporcionará una potencia eléctrica en bornes de generador de 105 kW .

Se calculó el banco de condensadores óptimo para reducir el consumo de energía reactiva y se determinó el interruptor termo magnético trifásico y la sección del conductor más conveniente. El banco de condensadores será de 16.5 kVAR y el interruptor termo magnético será de 200 A , con un conductor eléctrico de 50 mm^2 .

El análisis económico financiero determina que la inversión realizada para la implementación de la mini central hidroeléctrica es mayor a 235000 soles, con lo cual se obtendrá un beneficio económico anual mayor a 141000 soles. Los cálculos financieros demuestran un VAN de 445000 soles y un TIR mayor de 33% , mayor que la tasa de interés de 6.71% y la inversión se recuperará en 1.3 años.

Se concluye que el diseño e implementación de una mini central hidroeléctrica, afectará de manera positiva a la empresa Hortifrut-Tal S.A., disminuyendo los costos de consumo de energía.

Palabras claves: Central hidroeléctrica, viabilidad, análisis económico financiero.

ABSTRACT

The objective of this work is to determine the technical and economic feasibility of implementing a mini hydroelectric plant and reduce the cost of electric power consumption in the company Hortifrut Tal S.A, due to the monthly payment of more than 220000 soles to Hidrandina.

To fulfill the objective, an analysis was carried out to determine the design flow and net height, which are of $0.533 \text{ m}^3 / \text{s}$ and 25.3 m respectively. Calculations were also made to determine the optimum diameter of the forced pipe and the energy losses that occur in it, additionally the water hammer was estimated to establish the adequate thickness of the pipe. The forced pipe will have a nominal diameter of 510 mm with a thickness of 5 mm.

An energy analysis was carried out to determine the hydraulic turbine that can be implemented in the mini hydroelectric power station. The selected turbine is a Francis, which will provide a power of 107 kW.

The electric generator to be used was dimensioned, which is a synchronous generator of 137 KVA and will provide an electrical power in generator terminals of 105 kW.

The optimum capacitor bank was calculated to reduce the reactive energy consumption and the three-phase thermal magnetic switch and the most convenient conductor section were determined. The capacitor bank will be 16.5 kVAR and the thermo magnetic switch will be 200 A, with an electrical conductor of 50 mm^2 .

The economic and financial analysis determines that the investment made for the implementation of the mini hydroelectric plant is greater than 235,000 soles, which will result in an annual economic benefit of 141,000 soles. The financial calculations show a NPV of 445,000 soles and an IRR greater than 33%, higher than the interest rate of 6.71% and the investment will recover in 1.3 years.

It is concluded that the design and implementation of a mini hydroelectric plant will positively affect the company Hortifrut-Tal S.A., reducing the costs of energy consumption.

Keywords: Hydroelectric power station, viability, economic and financial analysis.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática:

La energía hidroeléctrica es la principal fuente renovable en el mundo, actualmente la potencia instalada es superior a los 1000 GW. La hoja de ruta de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) pronostica que aumente el doble la capacidad instalada mundial hasta aproximadamente 2.000 GW en 2050, con una generación global de electricidad mayor a los 7.000 TWh. (Bigordá, 2017) .

Esta fuente de electricidad ha contribuido de manera positiva en América Latina ya que cuenta con la generación de energía más limpia del planeta y es líder mundial en emisiones bajas en carbono. La Agencia Internacional de Energía calcula que para el 2035 se incorporarán cerca de 277 GW de capacidad hidroeléctrica instalada, requiriendo inversiones por encima de USD 258 mil millones.(Garrón, 2017)

A nivel nacional, al 31 de marzo de 2018, la productividad energética de las empresas generadoras miembros del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) subió a 12,490.66 GWh. (+1.7% con relación al primer trimestre de 2017). El recurso hídrico como fuente de generación, representó el 68.6% de los recursos energéticos empleados en la producción de energía (64.8% a marzo de 2017). En este contexto, la demanda por fuentes de generación termoeléctrica (diésel, carbón, gas natural) fue menor, alcanzando el 27.6% a la fecha de corte (33.0% al primer trimestre de 2017). Conforme las evaluaciones anuales elaborado por el (COES), al 31 de diciembre de 2017, la potencia efectiva subió a 11,958.3 MW (12,078.1 MW a diciembre de 2016), manifestando un descenso de 1.01% entre ejercicios. (Equilibrium, 2018)

La empresa Hortifrut-Tal S.A, es una compañía agroindustrial dedicada al cultivo y exportación de frutas y hortalizas, cuyas instalaciones se encuentran principalmente en los valles desérticos del distrito de Chao, provincia de Virú.

Actualmente, por el uso del servicio eléctrico, que es distribuida por la empresa Hidrandina S.A en 440 v, se paga cuantiosas sumas de dinero, 220459 soles/mes; en promedio (figura 1); sumado el costo de utilización de grupos electrógenos utilizados en caso de emergencia por fallos imprevistos en las redes de energía, generan altos costos de consumo energético. Chavimochic es uno de los principales proyectos hidráulicos en la nación. Las etapas I y II contiene un sistema de derivación y de conducción por gravedad, de 276 km de longitud, constituido por una serie de túneles y canales; los cuales empiezan en la Bocatoma en el río Santa, a 412 m.s.n.m, con una capacidad de captación de 105 m³/s. Estos canales y túneles

se propagan por medio de los Valles de Chao, Virú y Moche, finalizando en el valle de Chicama. (Odebrecht, 2014).

El cauce fluvial del canal madre del proyecto Chavimochic, suministra a la empresa Hortifrut-Tal S.A, un caudal promedio de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es canalizado por intermedio de tuberías a diversas posas para posteriormente utilizarlas en el riego tecnificado. Debido al relieve de los terrenos que cuenta la empresa, las tuberías de canalización se encuentran a distintos desniveles, los cuales pueden ser aprovechados para crear energía eléctrica.

Para reducir costos de consumo de energía, se plantea el diseño de una mini central hidroeléctrica utilizando la energía potencial y cinética proporcionada por el fluido del proyecto Chavimochic, para proporcionar energía eléctrica a una de las áreas aledañas de la empresa Hortifrut-Tal S.A, garantizando la operatividad y funcionamiento de los equipos utilizados en esta zona.

Se contempla en la figura 1 que el pago promedio por consumo de energía activa en empresa Hortifrut-Tal S.A. el cual es de 240459 soles al mes, con una demanda de potencia promedio de 2500 kW, esta información es útil para hacer el análisis económico financiero, del proyecto de la mini central nueva.

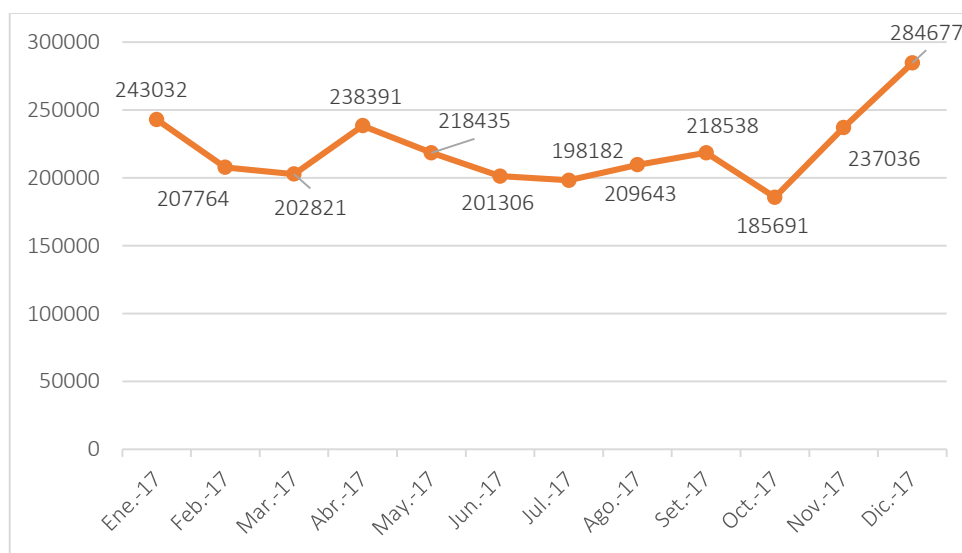


Figura 1: Variación de costo por energía eléctrica en Hortifrut-Tal SA.

Fuente: Facturas de energía eléctrica Hortifrut-Tal SA.

1.2. Trabajos Previos

Odiel Gutiérrez Llamo (2016), en la tesis nombrada “diseño de una mini central hidroeléctrica, para suministrar energía al recreo turístico la catarata – distrito, provincia - Jaén, departamento – Cajamarca”, de la Universidad Cesar Vallejo sede Trujillo. Describe la problemática que presenta el recreo turístico La Catarata, que al encontrarse ubicada en una zona alejada de las redes eléctricas distribuidas por la concesionaria Electro Oriente S.A, presenta dificultades para proporcionar energía eléctrica a los distintos elementos eléctricos con los que cuenta.

Presenta como solución, el diseño de una mini central hidroeléctrica, utilizando como recurso hídrico, el canal de regadío Chililique.

Se concluye en que el diseño de esta mini central influirá de manera positiva a la economía del establecimiento.

Aspilcueta Valderrama, Leonidas Martín Y Juárez Jiménez, Dany Porfirio (2014) en la tesis “Modelamiento hidráulico de la de la mini central hidroeléctrica del centro poblado de Llopish - Ancash” de la universidad privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú .Describen las exigencias necesarias para la edificación de una mini central hidroeléctrica, la cual suministra energía eléctrica al poblado de Llopish del distrito de Corongo, provincia de Corongo del departamento de Ancash.

Para ejecutar el proyecto, determinan el caudal de equipamiento, demanda proyectada, demanda eléctrica para un periodo de 20 años, potencia disponible, obras civiles y equipo electromecánico.

Jean Pool Genaro Rojas Bismark y Walter DavidArteaga Rosales (2014) en su tesis “Diseño de una micro central hidroeléctrica para el análisis del costo final de la energía eléctrica para un centro poblado. Caso Rurashca, Ancash”. De la Universidad Nacional del Santa, distrito de Nuevo Chimbote- Ancash determinan como alternativa de solución, el diseño de una micro central hidroeléctrica a la problemática existente en el pueblo de Rurashca, distrito de Pariacoto, Provincia de Huaraz, Departamento de Ancash.

Manifiestan que al situarse el centro poblado de Rurashca, en un área alejada de la zona urbana, no cuentan con acceso a la energía eléctrica. Tiene por finalidad el trabajo presentado, de aprovechar los recursos renovables presentes en la zona para utilizarlos como fuente de generación de energía eléctrica y así poder satisfacer las necesidades de los pobladores.

Acevedo Solano Lina (2014) en su tesis “Evaluación técnica – económica de un sistema de generación eléctrica en base a una micro turbina hidráulica”, de la Universidad Nacional Autónoma De México. Determina que las causas para la problemática existente en la comunidad de Santo Tomas Ajusto, son la carencia de agua y el desbalance energético.

Propone realizar un análisis de factibilidad y viabilidad para producir energía eléctrica, mediante la implementación de un micro central hidroeléctrica para proveer energía estable y distribuir agua a una determinada zona de la comunidad Santo Tomas Ajusto, además de disminuir los gases de efecto invernadero.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Mini Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica utiliza la energía potencial del agua almacenada en un embalse y la convierte en la energía cinética requerida para impulsar el rotor de un generador, para luego convertirse en energía eléctrica. (Nuclear, 2010)

No existe un acuerdo respecto a la potencia máxima instalada que tiene una hidroeléctrica para calificar como mini central hidroeléctrica, se estima como tal a las que no sobrepasen los 10 MW, que es el límite reconocido por la Comisión Europea, la Unión de Productores de Electricidad. Hay naciones, no obstante, en los que el límite puede ser tan pequeño como 1,5 MW. (Castro, 2006, pág. 28).

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se hace la siguiente clasificación:

1.3.1.1 Central de agua fluyente

En este tipo de aprovechamiento, se separa parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se guía hasta la central donde será turbinada. Conseguida la energía eléctrica el agua separada es retornada otra vez al cauce del río.



Figura 2: Central hidroeléctrica de tipo fluyente

Fuente: (Castro, 2006)

1.3.1.2 Central de pie de presa

Tiene como característica de que se puede construir un embalse en el cauce del río para acumular el fluido, además del agua producida por las lluvias. Este tipo de centrales, tiene la particularidad de que puede regularse los caudales de salida del agua, que será utilizada en los momentos que se necesite. (Castro, 2006, pág. 31)

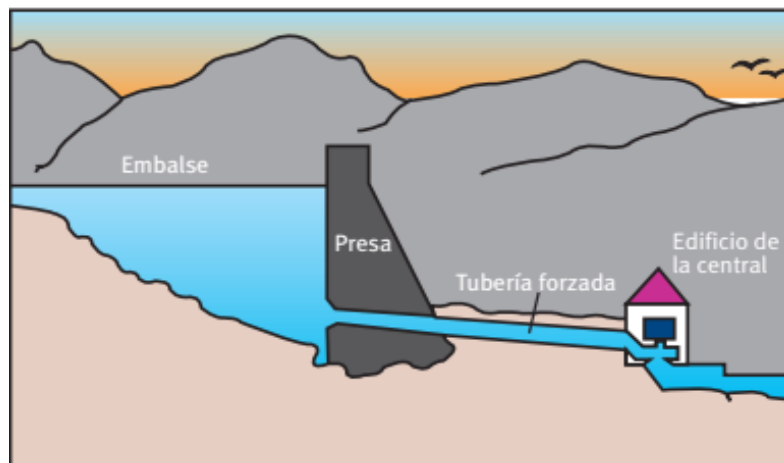


Figura 3: Central hidroeléctrica de pie de presa

Fuente: (Castro, 2006)

1.3.1.3 Central hidroeléctrica en canal de riego o de abastecimiento

Son aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal. Mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se lleva el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal. (Castro, 2006, pág. 32)



Figura 4: Central hidroeléctrica en canal de riego

Fuente: (Castro, 2006)

1.3.2 componentes de una central hidroeléctrica:

La Bocatoma.- es la estructura colocada en la entrada del canal de captación, tiene la misión de llevar el caudal requerido de una corriente de agua, otra de las finalidades de la bocatoma es suministrar un flujo con la mínima cantidad de desechos para minimizar los costos de operación y mantenimiento.(Criollo Cabrera & Quezada Damian, 2011).

Presa de derivación.- su finalidad es la de captar una parte del caudal del río para permitir su ingreso a la bocatoma para su transporte hacia la hidroeléctrica. (Criollo Cabrera & Quezada Damian, 2011)

Canal de conducción.- se encarga de conducir el caudal desde la cámara de carga hacia la casa de máquinas donde se encuentran las turbinas. Dependiendo del material del que se ha fabricado el canal varía la velocidad de conducción del agua hacia la turbina. (Criollo Cabrera & Quezada Damian, 2011)

Aliviadero.- Su objetivo principal es la de brindar seguridad a la mini central, este debe ir situado en un sitio estratégico ya que este está destinado a verter el exceso de caudal cuando este sobrepase la capacidad del canal, así se evita la probabilidad de desbordes del canal cuando varíen las condiciones normales de funcionamiento del canal. (Criollo Cabrera & Quezada Damian, 2011)

Desarenador.- tiene como función fundamental la de eliminar las partículas de material sólido que se encuentran suspendidas en el caudal de agua. (Criollo Cabrera & Quezada Damian, 2011)

La tubería de presión.- Es el encargado de llevar el caudal del agua a alta presión hacia las turbinas. (Criollo Cabrera & Quezada Damian, 2011)

Casa de máquinas.- Es la estructura que alberga los equipos electromecánicos que convierten la energía cinética del agua en energía eléctrica; entre los equipos que están ubicados en la casa de máquinas. (Criollo Cabrera & Quezada Damian, 2011)

La figura 5 muestra la disposición de una mini central hidroeléctrica tipo pie de presa con sus componentes eléctricos y mecánicos.

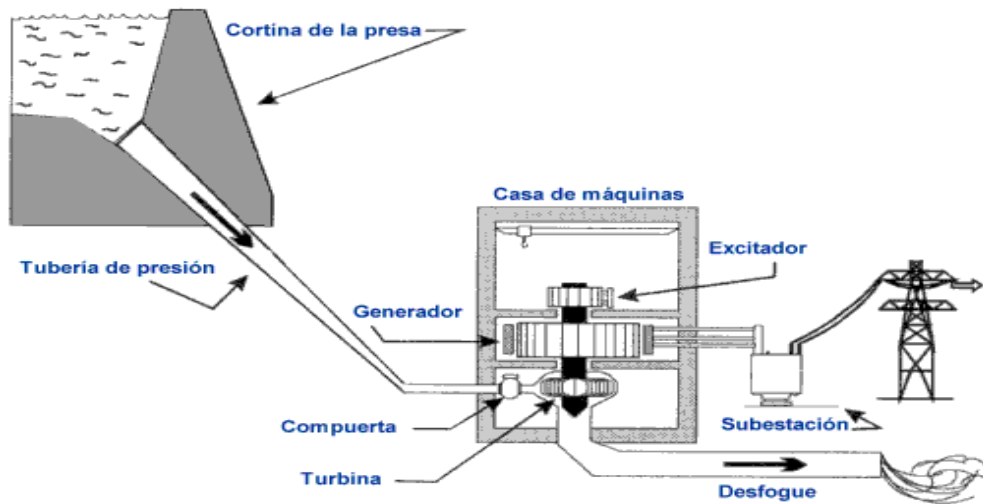


Figura 5: Componentes de un sistema hidroeléctrico

Fuente: (Verbel, 2015)

1.3.4 Diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico

En una central hidroeléctrica, la potencia que puede producirse es proporcional a la altura del salto y al caudal turbinado, por lo que es primordial evaluar correctamente estas variables para el diseño del proyecto. (Castro, 2006, pág. 33)

1.3.4.1 Cálculo de caudal

Se define caudal como la cantidad de fluido que circula por medio de una tubería en un tiempo definido. Asimismo se identifica como caudal volumétrico o flujo volumétrico.

A través de la ecuación de continuidad, se calcula el caudal mediante la siguiente fórmula:

$$Q = V * A \quad (\text{Ec. 01})$$

Donde:

Q= caudal volumétrico (m³/s)

V= velocidad del fluido (m/s)

A= sección de la tubería (m²)

Existen distintos métodos para determinar el caudal que circula por un canal o tubería, por ejemplo:

Método del flotador.

Este método es el más fácil, sin embargo sólo permite evaluar en forma aproximada el caudal. Para su aplicación, se debe utilizar la velocidad del agua y el área del canal.

Para el cálculo de la velocidad del agua, se utiliza un elemento que pueda mantenerse a flote en el agua, se hacen dos marcas en el cauce del afluente y se mide el tiempo en que tarda de pasar las dos marcas, luego se divide la distancia que hay entre las dos marcas y el tiempo que tardo en cruzarlas.

El Cálculo del caudal estimado se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q = F_c * A * (L/T) \quad (\text{Ec.02})$$

Donde:

Q= es el caudal (m³/s)

L = es la longitud entre pto A y B (m)

A = es el área del canal (m²)

T= tiempo promedio en segundos

Fc= factor de corrección

El valor de Fc se debe seleccionar conforme al tipo de río o canal y a la profundidad del mismo, de acuerdo a los valores de la tabla 1:

Tabla 1: determinación de factor F_c para cálculo de caudales por método de flotador

TIPO DE CAUCE	FACTOR DE CORRECCIÓN FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0.8
Canal en tierra, profundidad del agua >15 cm	0.7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canales de tierra profundidad del agua < 15 cm	0.25 – 0.5

Fuente: (riego, 2015)

1.3.4.2 Determinación del caudal de diseño (curva de duración de caudales)

Los años para clasificarlos hidrológicamente, es necesario disponer de un registro de caudales, se debe reunir la información de lluvias de las estaciones meteorológicas del ambiente, elaborando un cálculo correlativo de lluvias y caudales, con estos datos se puede hallar los caudales mínimos, medios, diarios y máximos.

El caudal de diseño, se elabora mediante la curva de caudales clasificados, la cual suministra información gráfica a cerca del volumen de agua existente, el volumen turbinado y el volumen vertido por servidumbre, mínimo técnico o caudal ecológico.

En la gráfica se descuenta el caudal ecológico (figura 6), que es el flujo que viene a circular como mínimo por el río en todo el año.

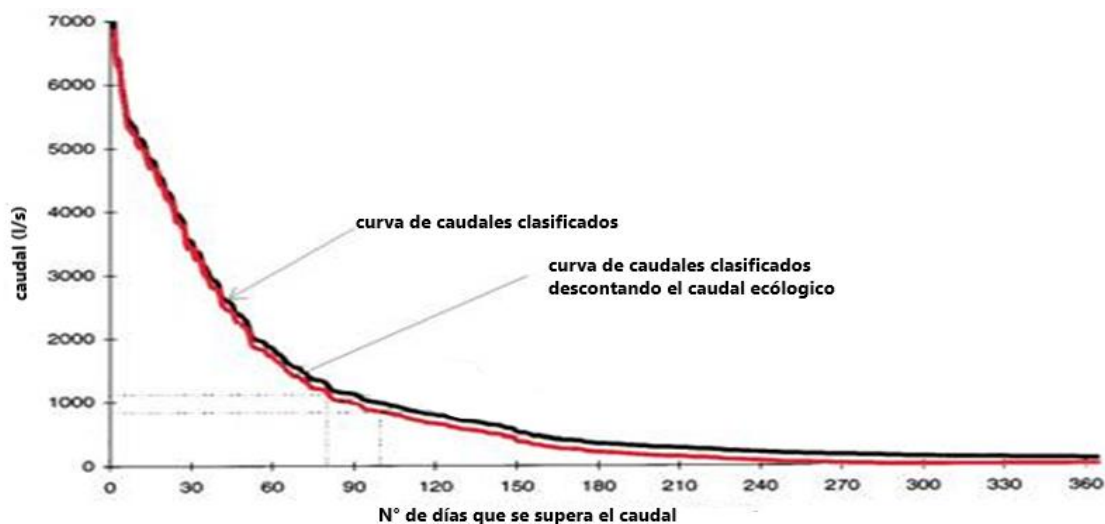


Figura 6: Curva de caudales clasificados.

Fuente: (Castro, 2006).

1.3.4.3 Determinación del salto bruto

El salto es una de las variables primordiales en el diseño de una mini central hidroeléctrica. Tendrá que ser el máximo permitido por la configuración del terreno, debiendo contemplar la viabilidad económica de la inversión y la afección al medio ambiente.

Salto bruto (H_b): Es la altitud que existe entre el punto de la toma de agua del azud y el punto de descarga del caudal turbinado al río.

Salto útil (H_u): Desnivel que se encuentra entre la superficie libre del agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe en la turbina.

Salto neto (H_n): Es la diferencia entre el salto útil y las pérdidas de carga originada en las conducciones. Es la energía que se puede convertir en trabajo en el eje de la turbina.

Pérdidas de carga (H_p): Son las diversas pérdidas originadas por fricción del agua contra las paredes del canal y en la tubería forzada, sumadas las pérdidas causadas por turbulencia, al variar la dirección del flujo, al cruzar por una rejilla o una válvula, etc.

Para una primera aproximación, se puede evaluar el salto bruto mediante un plano topográfico. Asimismo, se puede suponer que las pérdidas de carga son del orden del 4% al 10% del salto bruto. (Castro, 2006, pág. 37).

La figura 7, muestra la disposición de una minicentral hidroeléctrica y las diferentes alturas que se pueden encontrar en ella.

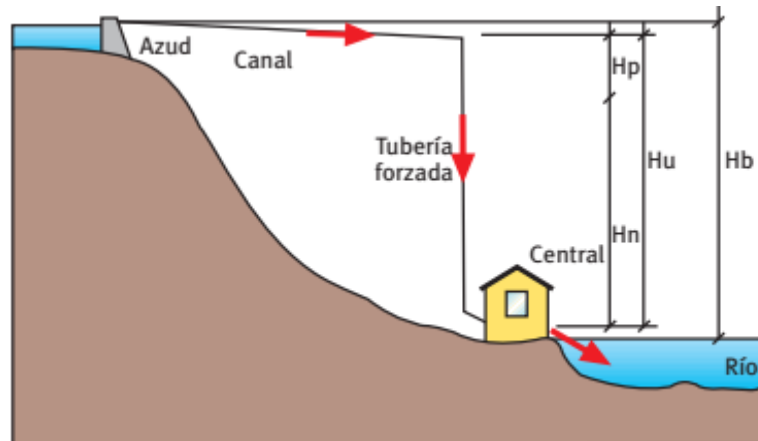


Figura 7: Esquema general de un salto de agua

Fuente: (Castro, 2006)

1.3.4.4 Método para determinar la altura bruta

Método del GPS

En el presente, este método es el más idóneo para efectuar los sondeos necesarios, debido a que señala la ubicación de un individuo o sitio a través de la triangulación de los satélites. Para reducir el margen de error, es necesario realizar varias mediciones y sacar un promedio.

1.3.4.5 Determinación del salto neto

El salto neto, nos proporciona la energía disponible en la turbina. Lo podemos calcular a través de la siguiente fórmula

$$H_N = H_U - \Delta H \quad (\text{Ec. 03})$$

Donde:

H_N = altura neta (m)

H_U = altura útil (m)

ΔH = pérdidas de carga (m)

Un fluido al desplazarse por una tubería o canal, produce pérdidas de presión debido a la fricción que existe entre las partículas de dicho fluido con las paredes de la tubería.

Las pérdidas de energía pueden ser en conductos regulares o en accesorios (localizadas).

Pérdidas de carga en conductos regulares, rectilíneos o continuos

Hay varias maneras elaborados empíricamente para determinar la pérdida de carga a lo largo de un tubo y canales. (ESHA, 2006)

Darcy y Weisbach derivaron la siguiente ecuación, la cual se puede utilizar en flujos laminares y turbulentos, recorriendo en tuberías de sección arbitraria:

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 04})$$

Donde:

h_f = Pérdidas de cargas por fricción (m)

f = Factor de pérdida de carga por fricción (adimensional)

L = longitud de la tubería de presión (m)

V = Velocidad del fluido (m/s)

D = Diámetro de la tubería de presión (m)

g = Fuerza de gravedad (m/s^2)

Numero de Reynolds

Es un parámetro adimensional importante en las ecuaciones que describen en qué condiciones el flujo será laminar o turbulento.

En toda tubería recta que transporta un líquido a una temperatura establecida, existe una velocidad crítica (V_C) por debajo de la cual el régimen es laminar. Por lo tanto:

$Re < 2000$: Régimen laminar.

$2000 < Re < 4000$: Zona crítica o de transición

$Re > 4000$: Régimen turbulento. (RURAL)

Reynolds descubrió que el punto de cambio de flujo laminar a flujo turbulento viene condicionado por un número adimensional Re (número de Reynolds), por ejemplo en un tubo de sección circular, viene condicionado por el producto de la velocidad media V (m/s) y el diámetro del tubo D (m), dividido por el coeficiente de viscosidad cinemática del fluido ν (m^2/s). (ESHA, 2006)

$$Re = \frac{D*V}{\nu} \quad (\text{Ec. 05})$$

Rugosidad absoluta y relativa

Rugosidad absoluta: es el conjunto de irregularidades de diversas formas y tamaños que pueden hallarse en el interior de los tubos comerciales, cuyo valor medio se conoce como

rugosidad absoluta (e). El valor (e) se puede seleccionar a través de la tabla 2, el cual depende del material a utilizar.

Rugosidad relativa: Es el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo.(FERNÁNDEZ)

Se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{e}{D} \quad (\text{Ec. 06})$$

En el cual:

e = rugosidad absoluta (mm)

D = Diámetro de la tubería (mm)

Los valores de rugosidad absoluta, lo podemos apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 2: Rugosidad e para diversos tubos comerciales

Tipo de tubo	e (mm)
Tubería de polietileno	0,003
Tubería de fibra de vidrio con resina epoxy	0,003
Tubería de acero estirado sin costura (nuevo)	0,025
Tubería de acero estirado sin costura (ligeramente oxidado)	0,250
Tubería de acero estirado sin costura (galvanizado)	0,150
Tubería de acero soldado	0,600
Tubería de hierro fundido protegido con barniz centrifugado	0,120
Tubería de Uralita	0,025
Tubería de duelas de madera	0,600
Tubería de hormigón colado in situ/encofrado metálico	0,360

Fuente: (ESHA, 2006)

Calculo de coeficiente de fricción (f)

Para determinar el factor de fricción de Darcy, existen diversa formas. La fórmula que brinda el mayor porcentaje de confianza es la propuesta por Colebrook – White, la cual se utiliza en flujos en transición o completamente turbulentos. La fórmula es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec. 07})$$

Donde:

e = rugosidad absoluta (mm)

D = Diámetro de la tubería (mm)

Re = número de Reynolds (adimensional)

Pérdidas de carga localizada o adicional

Un flujo, moviéndose en régimen turbulento a través de un circuito de tubos, con todos sus accesorios (entradas, codos, válvulas), está sujeto muy aparte de las pérdidas por fricción, de unas pérdidas por disolución de la viscosidad la cual es imprescindible analizar.

Las pérdidas secundarias podemos clasificarlas de la siguiente manera:

Pérdidas en las rejillas de limpieza

A la entrada de la toma de agua y en la cámara de carga, a la entrada de la tubería forzada, normalmente se coloca una rejilla para evitar el ingreso de broza. El agua al pasarla, origina una turbulencia la cual genera una pérdida de carga. Pese a que es pequeña, se puede calcular mediante la ecuación de Kirchner:

$$h_f = k_t * \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{v^2}{2g}\right) \text{sen } \beta \quad (\text{Ec. 08})$$

Donde:

K_t = Coeficiente para pérdida a través de rejilla (adimensional)

V = velocidad del agua (m/s)

t = espesor de la rejilla (mm)

b = separación de la rejilla (mm)

g = Fuerza de gravedad (m/s^2)

En la figura 8, se muestra la disposición de la rejilla de entrada con el correspondiente valor del Coeficiente, K_t

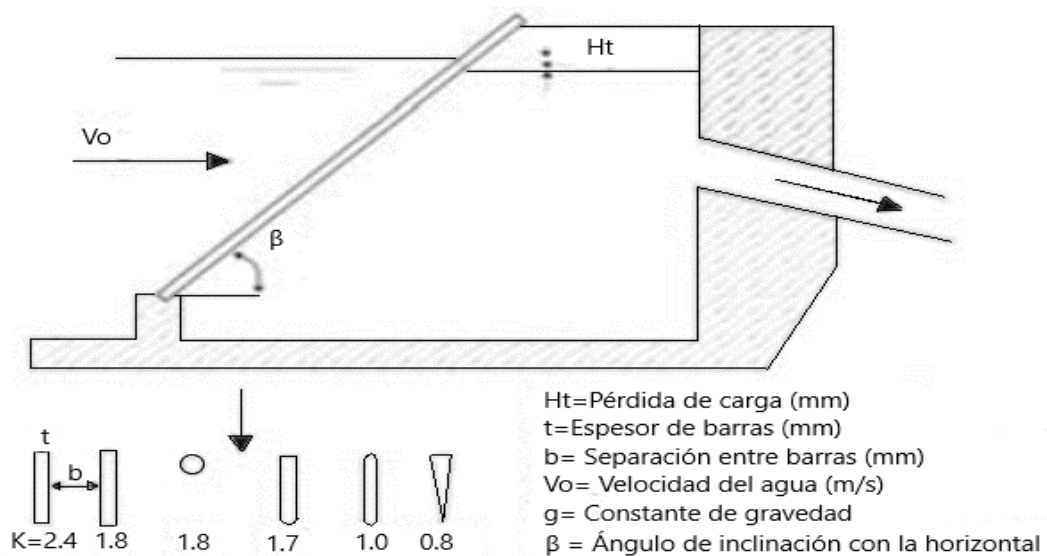


Figura 8: Coeficiente K_t para pérdida a través de rejilla de cámara de carga

Fuente: (ESHA, 2006)

Pérdida en la entrada de una tubería

El acceso de un embalse por ejemplo la cámara de carga, a una tubería es un suceso de contracción de vena. Los valores semejantes del coeficiente K_e en las distintas formas de conexión de la tubería al tanque o depósito, se muestran en la figura 9. La fórmula con la que se calcula estas pérdidas, se encuentra en la ecuación 9.

$$h_c = k_e \left(\frac{V}{2g} \right) \quad (\text{Ec. 09})$$

Donde:

K_e = Coeficiente para pérdida a través de la entrada de tubería (adimensional)

V = velocidad del agua (m/s)

g = Fuerza de gravedad (m/s^2)

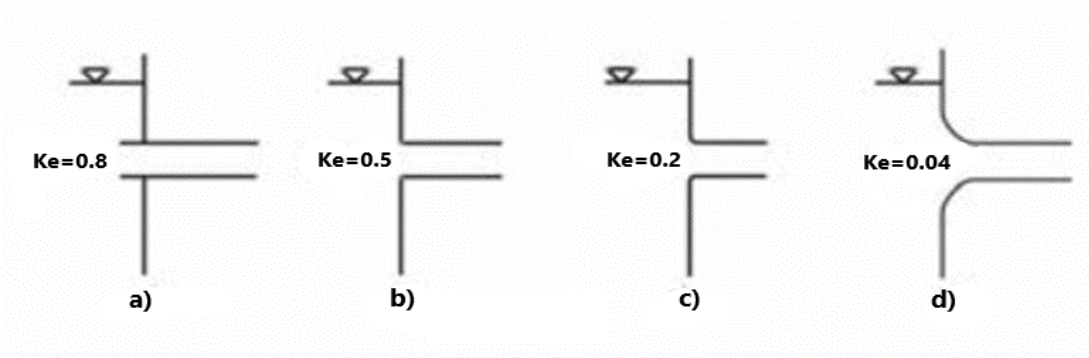


Figura 9: Coeficiente K_e para pérdidas de carga a través de entrada de tubería forzada

Fuente: (ESHA, 2006)

Pérdida a través de las válvulas

Las válvulas se usan, para separar ciertos tramos con la finalidad de realizar trabajos de mantenimiento o reparaciones, no obstante en ocasiones, existen válvulas que tienen por misión disipar energía.

La pérdida de carga originada por el paso del agua a través de una válvula abierta, obedece al modelo de válvula y se evalúa a través de la siguiente fórmula:

$$h_v = k_v * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right) \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

K_v = Coeficiente para pérdida a través de válvulas (adimensional)

V = velocidad del agua (m/s)

g = Fuerza de gravedad (m/s^2)

En la figura 10 se puede comprobar el valor del Coeficiente Kv para los diversos tipos de válvulas utilizadas en una instalación mini hidráulica.

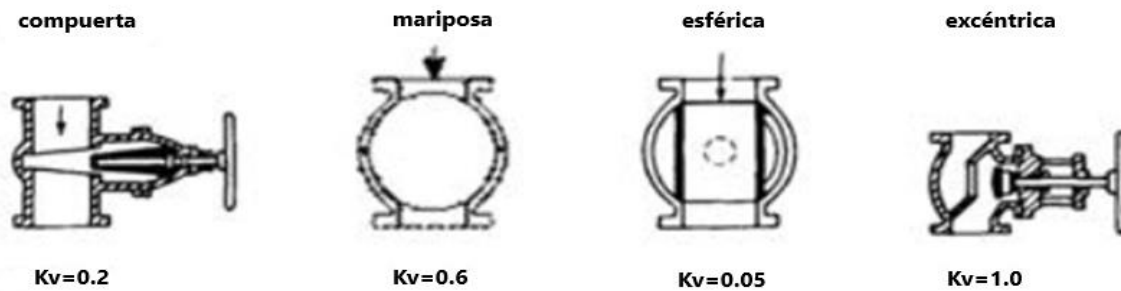


Figura 10: Coeficiente Kv para pérdida a través de válvulas.

Fuente: (ESHA, 2006)

Pérdida por curvatura de vena

Al momento que un fluido pasa por un codo, se origina un incremento de presión sobre la pared exterior y un descenso en la cara interna. Pasado la parte curva, y a una determinada distancia, la anomalía regresa a su condición original, por lo que es inevitable que se incremente la presión en la cara interna y regrese la velocidad a su valor original. (ESHA, 2006)

La pérdida de carga adicional a la pérdida por fricción en el tramo de tubo equivalente, viene dado por la ecuación:

$$h_b = k_c \left(\frac{V}{2g} \right) \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

K_c = Coeficiente para pérdida a través de codos (adimensional)

V = velocidad del agua (m/s)

g = Fuerza de gravedad (m/s^2)

El coeficiente k_c , se puede obtener de la siguiente tabla 3

Tuberías forzadas

Conducir un determinado volumen de agua (esta es la finalidad de las tuberías forzadas) desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas aparentemente no es tarea difícil, no obstante, el diseño de una tubería forzada no es un tema fácil. Las tuberías forzadas se pueden colocar sobre o bajo el terreno.

Tabla 3: Coeficientes K para diferentes accesorios

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24	
		Valores de K												
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

Fuente: (HIDRÁULICA, 2015)

A continuación, se especifican las propiedades mecánicas más relevantes de los materiales empleados en tuberías forzadas (tabla 4). (ESHA, 2006)

Tabla 4: Materiales utilizados en tuberías forzadas

Material	Módulo de Young (N/m ²) 10 ⁹	Coefficiente de expansión (mm/ °C) 10 ⁶	Carga de tracción (N/m ²) 10 ⁶	n Manning
Acero soldado	208	12	400	0.012
Polietileno PE	0.55	140	5	0.009
PVC	2.75	54	13	0.009
Uralita	n.a	9.1	n.a	0.011
Madera	n.a	n.a	n.a	0.014
Fundición	78.5	10	140	0.015
Hierro dúctil	16.7	11	340	0.024

Fuente: (ESHA, 2006)

Diámetro de la tubería.

Para hallar el diámetro óptimo, existe una relación directa entre la pérdida de carga y el costo. Cuando se transporta un determinado caudal, una tubería de diámetro pequeño requerirá más velocidad en el flujo que otra de mayor diámetro, por consiguiente las pérdidas serán superiores. Seleccionando un diámetro pequeño el costo de la tubería será menor no obstante las pérdidas de energía serán superiores.

El diámetro de la tubería, se puede calcular utilizando la ecuación de Manning.

Despejando D la expresión queda de la siguiente manera

$$D = \sqrt[5.333]{\frac{Q^2 * L * 10.3 * n^2}{h_f}} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

D = Diámetro de tubería forzada (m)

Q = Caudal de equipamiento (m³/s)

L= Longitud de tubería forzada (m)

n = Coeficiente de rugosidad

Hf = Pérdida de carga por fricción (m)

Espesor de pared.

El espesor de la tubería se calculará a través de la siguiente fórmula:

$$e = \frac{P_1 * D}{2 * \sigma_f} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

e = espesor de la pared de la tubería (mm)

P₁ = presión hidrostática (KN/mm²)

D = diámetro interno de la tubería (mm)

σ_f = resistencia a la tracción permisible (KN/mm²)

El coeficiente de rugosidad (n), está determinado por el modelo de material a emplearse en la tubería de presión, en la tabla 5, se contempla los diversos valores.

Tabla 5: Coeficiente de rugosidad n Manning para diversos tubos comerciales.

Tipo de tubo	n
Tubería de acero soldado	0,012
Tubería de polietileno PE	0,009
Tubería de PVC	0,009
Tubería de Uralita	0,011
Tubería de hierro dúctil	0,015
Tubería de hierro fundido	0,014
Tubería de duelas de madera creosotadas	0,012
Tubería de hormigón colado in situ (encofrado metálico)	0,014

Fuente: (ESHA, 2006)

Fenómeno de golpe de ariete

En el momento que se produce un cambio brusco de régimen en una tubería, por ejemplo en el cierre rápido de una válvula, la fuerza originada por el cambio de velocidad de la masa de agua puede producir un aumento de presión en el tubo aunque temporal, es muy superior al de la presión hidrostática. A esta onda de presión se la llama golpe de ariete y sus consecuencias pueden ser desastrosas: el tubo puede explotar por sobrepresión o comprimirse por vacío relativo.

El tiempo utilizado por la onda de presión en llegar a la válvula en su trayecto de ida y vuelta, se denomina tiempo crítico (ESHA, 2006):

$$T_c = \frac{2*L}{c} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

T_c = tiempo crítico de onda de presión (s)

L = longitud de la tubería (m)

C = velocidad de onda de presión (m/s)

La velocidad C en m/s, se demuestra que es función de la elasticidad del agua y del material de la tubería y su valor viene dado por la ecuación:

$$c = \sqrt{\frac{k/\rho}{1 + \frac{k*D}{E*t}}} \quad (\text{Ec. 15})$$

En el cual:

t = espesor de pared (mm)

K = módulo de elasticidad del agua $2,1 \times 10^9$ N/m²

D = diámetro interno de la tubería (mm.)

E = módulo de elasticidad del material de la tubería (N/m²)

Si la onda de presión, en su trayecto de regreso alcanza a la válvula cuando ya está totalmente cerrada, la energía cinética del agua encontrada en el tubo se transformará en una sobrepresión P , en metros de columna de agua, siendo Δv la variación de velocidad del agua:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{c}{g} \Delta V \quad (\text{Ec. 16})$$

Por otro lado, si la válvula se encuentra aún abierta, solo una fracción de la energía cinética se transformará en sobrepresión. Empíricamente se indica que cuando el tiempo de cierre es

diez veces superior que el valor crítico T, el fenómeno puede ignorarse, debido a que las sobrepresiones serán bajas. Fuente: (ESHA, 2006)

La presión total en la tubería es:

$$P = P_0 + \Delta P \quad (\text{Ec. 17})$$

A través de la ecuación de Enrique Mendiluce se puede determinar el tiempo de cierre de la válvula de entrada hacia la turbina.

$$T_p = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot H_m} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

L= longitud de la tubería (m)

V= velocidad del agua (m/s)

C, k = coeficientes de ajuste

H_m = altura manométrica (m)

g = Fuerza de gravedad (m/s²)

Los valores recomendados del coeficiente K para una mejor aplicación de la fórmula es:

Tabla 6: Coeficiente k para tiempo de cierre de válvula

L (m)	K
< 500	2
≈ 500	1,75
500 < L < 1500	1,5
≈ 1500	1,25
> 1500	1

Fuente: (Hidrojing, 2015)

El coeficiente C cuya fórmula es $H_m/L = \%$ reemplaza el resultado de diversas energías en la operación (por ejemplo descompresión del agua) cuya influencia se da en instalaciones de pendientes bajas. Según la pendiente hidráulica de la instalación, se sugiere los valores siguientes.

Tabla 7: Coeficiente c para tiempo de cierre de válvula

i	C
< 20%	1
≈ 25%	0,8
≈ 30%	0,6
≈ 40%	0,4
> 50%	0

Fuente: (Hidrojing, 2015)

1.3.4.6 Potencia teórica e instalada

La mini central hidroeléctrica posee una potencia disponible que fluctúa según el caudal de agua disponible para ser turbinado y el salto existente en cada momento.

La potencia teórica (sin pérdidas) se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$P_T = \rho * Qd * Hb * G \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

P_T = Potencia teórica (W)

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

Qd = caudal de diseño (m^3/s)

Hb = Altura bruta (m)

La potencia neta, es aquella que proporciona la minicentral en bornes de generador, para su cálculo, es necesario poder determinar las pérdidas de energía en los distintos componentes de la minicentral.

Entre las principales pérdidas se puede mencionar a:

- Pérdidas por rozamiento del fluido
- Rendimiento de la turbina
- Rendimiento del generador.

La ecuación que expresa la potencia instalada es la siguiente:

$$P_I = \rho * Qd * Hn * G * e \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

Hn = altura neta (m)

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

Qd = caudal de diseño (m^3/s)

e = Factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía:

$e = R_T * R_G$

R_T = Rendimiento de la turbina

R_G = Rendimiento del generador

Determinada la potencia se puede calcular la producción media de la minicentral hidroeléctrica, como producto de la potencia en cada instante por las horas de trabajo.

(Castro, 2006, pág. 38)

1.3.5 Turbinas Hidráulicas

Es el componente principal de la hidroeléctrica. Utiliza la energía potencial y cinética que tiene el agua, cambiándolo en un movimiento de rotación, el cual se transfiere al eje de un generador para producir energía eléctrica.

1.3.5.1 Clasificación de turbinas hidráulicas:

Se clasifican de la siguiente manera: turbinas de acción y turbinas de reacción.

- **Turbinas de acción**

Aprovechan solo la velocidad del flujo de agua para poder girar. Las turbinas de acción pueden ser:

Turbina Pelton: Este tipo de turbina se utiliza en saltos de gran altura que tienen poco caudal. Está conformada por un rodete (disco circular) movable con álabes (cazoletas) de doble cuenco. El chorro de agua pasa a la turbina guiado y regulado por uno o varios inyectores, incurriendo sobre los álabes originando el movimiento de giro de la turbina. La figura 11 muestra la disposición de los elementos de una turbina Pelton.

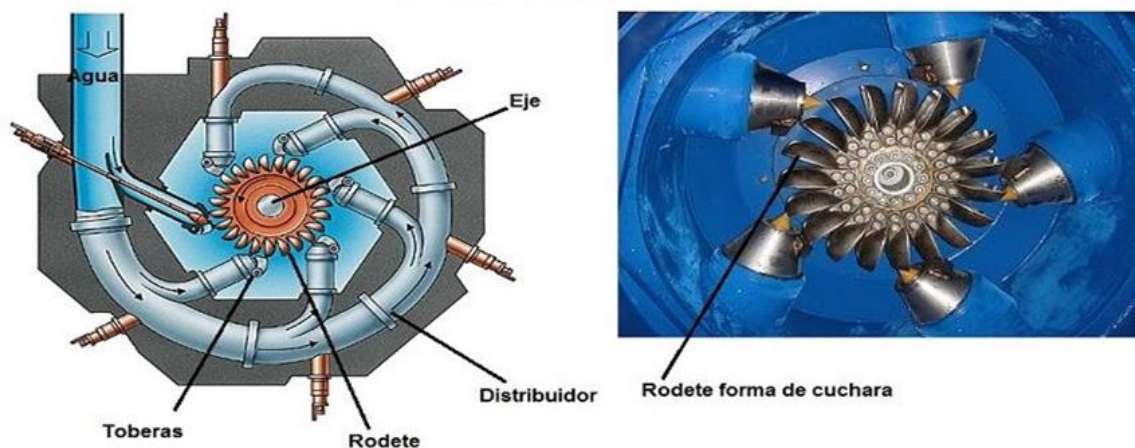


Figura 11: Turbina Pelton

Fuente: (Tecnología, 2016).

Turbina Banki-Michell: está constituida por un inyector de sección rectangular equipado con un álabe longitudinal que regula y guía el caudal que va a la turbina, y un rodete de diseño cilíndrico, con diversas palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales. (Castro, 2006).

- **Turbinas de reacción**

Estas turbinas tienen un diseño de rotor que aprovecha la presión aún existente en el agua a su entrada para transformarla en energía cinética. Este suceso permite que el agua al salir del rotor posea una presión inferior que la atmosférica.

Entre las turbinas de reacción que más se emplean se tiene: Francis y la Kaplan.

Turbina Francis. Tiene una amplia gama de trabajo, ya que se adecua a todo tipo de saltos y caudales. Tiene como característica recibir el flujo de agua en dirección radial, y conforme ésta recorre la turbina hacia la salida se cambia en dirección axial (figura 12).

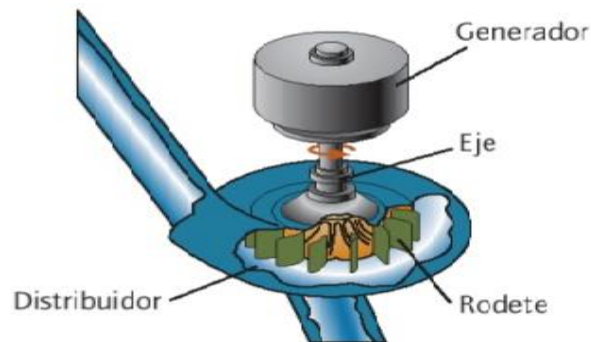


Figura 12: Turbina Francis

Fuente: (Tecnología, 2016).

Turbinas Hélice, Semikaplan y Kaplan. Las centrales hidroeléctricas con este tipo de turbina cuentan con una cámara de entrada, un rodete con 4 o 5 palas fijas tipo hélice de barco, un distribuidor fijo y un tubo de aspiración.

La figura 13 muestra los componentes de la turbina Kaplan y la forma del flujo del agua



Figura 13: Turbina Kaplan

Fuente: (Tecnología, 2016).

1.3.5.2 Rangos de utilización y rendimientos de las distintas turbinas

Mediante las variables de salto (pequeño o grande) y caudal (constante o variable), se puede utilizar uno u otro tipo de turbina (ver figura 14), haciendo uso del rango de utilización. (Castro, 2006, pág. 53)

Asimismo, se debe considerar la curva de rendimiento de las turbinas, que cambia conforme varíe el caudal de funcionamiento. La turbina se puede utilizar así:

- Francis. Variaciones de caudal moderadas y saltos más elevados.
- Kaplan. Caudales variables y saltos pequeños.
- Pelton. Grandes saltos, independientemente de la variación de caudal.

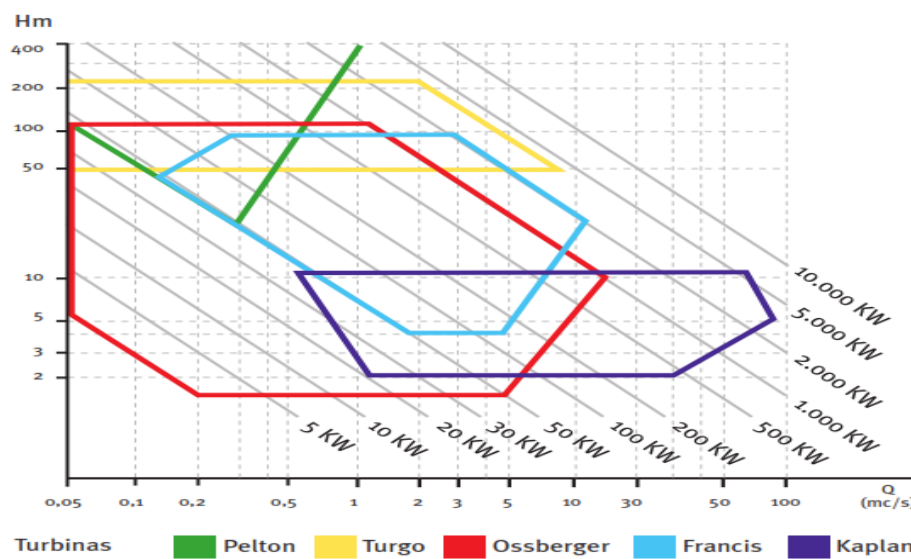


Figura 14: Campos de utilización de los diferentes tipos de turbina

Fuente: (Castro, 2006).

1.3.5.3 Velocidad Específica de turbinas hidráulicas

Una turbina se caracteriza por una constante el cual implica variables de diseño, es llamado velocidad específica (N_s), también se conoce como número específico de revoluciones.

La expresión dada ayuda a evaluar la velocidad específica. (García Gutierrez & Nava Mastache, 2013)

$$N_s = N(P_t)^{0.5} * (H_d)^{-1.25} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde

N_s = velocidad específica en rpm

N = velocidad angular o de rotación en rpm

P_t = potencia de diseño de la turbina en kW

H_d = carga de diseño de la turbina en m

1.3.5.4 Velocidad de rotación síncrona

La turbina está unido mediante un eje al rotor del generador, por ende la velocidad de rotación del turbogenerador se debe ajustar con el fin de que sea síncrona N' con la frecuencia de oscilación de la energía eléctrica f , por consiguiente se adecua la velocidad específica de la turbina N_s .

Para calcular la velocidad de rotación síncrona, se hace a través de la siguiente ecuación.

$$N' = N'_s * (P_t)^{-0.5} * (H_d)^{1.25} \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde

N' = velocidad de rotación síncrona (rpm)

N'_s = número específico de revoluciones

P_t = potencia de diseño de la turbina (kW)

H_d = carga de diseño de la turbina (m)

La velocidad de rotación síncrona está relacionada con la frecuencia eléctrica f y el Número de polos del generador (No.Po.) a través la próxima fórmula:

$$N_o P_o = \frac{120 * f}{N'} \quad (\text{Ec. 23})$$

1.3.5.5. Eficiencia de turbina Francis:

Según RETScreen international, se realiza lo siguiente:

- Caudal mínimo (Q_{min}): es el 40% del caudal de diseño, por consiguiente:

$$Q_{min} = 0.40 * Q_d \quad (\text{Ec. 24})$$

- Tamaño del rodete de la turbina (d) : se tiene:

$$d = k Q_d^{0.473} \quad (\text{Ec. 25})$$

De la tabla de RETScreen international – análisis de proyectos de pequeño hidro, se asume que $d < 1.8$, por tanto $k = 0.46$

- Velocidad específica (n_q): se calcula a través de la siguiente formula:

$$n_q = k * (h_n)^{-0.5} \quad (\text{Ec. 26})$$

$K = 600$ para turbina Francis.

- Ajuste de la velocidad específica a la máxima eficiencia (\hat{e}_{nq}) :

$$\hat{e}_{nq} = \left(\frac{n_q - 56}{256} \right)^2 \quad (\text{Ec. 27})$$

- Ajuste del rodete a la máxima eficiencia (\hat{e}_d):

$$\hat{e}_d = (0.081 + \hat{e}_{nq}) (1 - 0.789 d^{-0.2}) \quad (\text{Ec. 28})$$

- Máxima eficiencia de la turbina (e_p):

$$e_p = (0.919 - \hat{e}_{qn} + \hat{e}_d) - 0.0305 + 0.005 R_n \quad (\text{Ec. 29})$$

Por defecto, para una turbina Francis $R_m = 4.5$, reemplazamos:

- Caudal de máxima eficiencia (Q_p):

$$Q_p = 0.65 * Q_d * (n_q)^{0.4} \quad (\text{Ec. 30})$$

- Disminución de la eficiencia a plena carga (\hat{e}_p):

$$\hat{e}_p = 0.0072 * (n_q)^{0.4} \quad (\text{Ec. 31})$$

- Eficiencia a plena carga (e_r):

$$e_r = (1 - \hat{e}_p) e_p \quad (\text{Ec. 32})$$

- Eficiencia de flujos (e_q):

$$e_q = e_p - \left(\frac{Q - Q_p}{Q_d - Q_p} \right)^2 * (e_p - e_r) \quad (\text{Ec. 33})$$

1.3.5.6. Eficiencia de turbina Ossberger (Banki).

Según RETScreen international, para hallar la eficiencia de una turbina Ossberger, realizamos los cálculos siguientes:

- Caudal mínimo (Q_{min}): es el 1/6 del caudal de diseño, por consiguiente:

$$Q_{min} = \frac{1}{6} * Q_d \quad (\text{Ec. 34})$$

- Caudal de máxima eficiencia (Q_p):

$$Q_p = Q_d \quad (\text{Ec. 35})$$

- Eficiencia de flujos (e_q)

$$e_q = 0.79 - 0.15 * \left(\frac{Q_d - Q}{Q_p} \right) - 1.37 * \left(\frac{Q_d - Q}{Q_p} \right)^{14} \quad (\text{Ec. 36})$$

1.3.6 Componentes eléctricos de una central hidroeléctrica

1.3.6.1 El generador

Tiene por misión convertir la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. Su funcionamiento está basado en el fenómeno de la inducción electromagnética; la figura 15 muestra los partes de un generador típico. Está constituido fundamentalmente por dos componentes:

- Rotor o inductor móvil. Tiene por misión generar un campo magnético variable al girar accionado por la turbina.

- Estator o inducido fijo. Este elemento genera la corriente eléctrica que se puede utilizar. (Castro, 2006, pág. 56)

Existen dos tipos de generadores: síncrono o asíncrono.

Síncrono:

En este generador la transformación de energía mecánica en eléctrica se origina a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo.

Las bobinas arrolladas generan el campo magnético en los polos del rotor. Para que suceda, por estas bobinas debe circular una corriente eléctrica continua. Para crear esta corriente continua se emplea los siguientes sistemas de excitación:

- Autoexcitación estática. La corriente deriva de la misma energía eléctrica generada, la cual se transforma primero de alterna en continua.
- Excitación con diodos giratorios. Se produce una corriente alterna invertida, con polos en el estator y se corrige por un sistema de diodos, situado en el eje común.
- Excitación auxiliar. La corriente se genera a través de un dinamo auxiliar regulada por un reostato. (Castro, 2006).

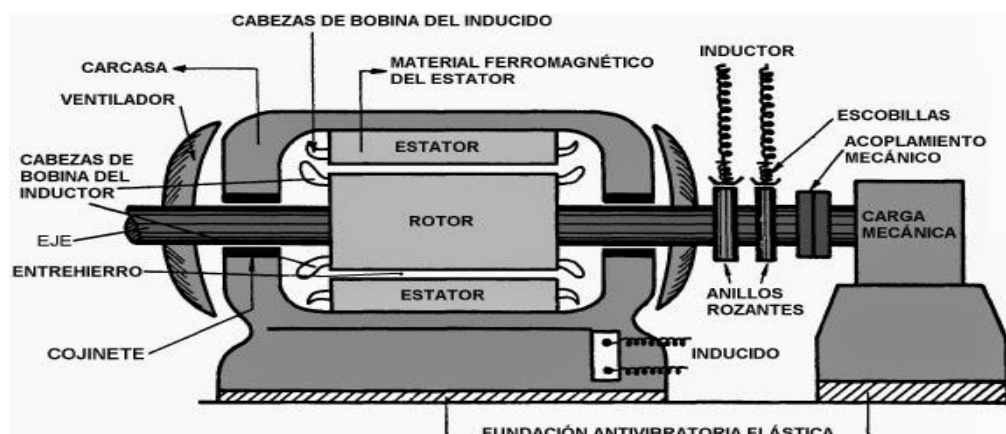


Figura 15: Partes de un generador eléctrico

Fuente: (CursosTesla, 2018)

Asíncrono.

Debido a la sencillez, robustez y pequeño costo de los tradicionales motores eléctricos, éstos han sido aprovechados como generadores eléctricos en centrales de baja potencia. Para ello es indispensable que el par mecánico comunicado al rotor origine una velocidad de giro mayor a la de sincronismo. Este exceso de velocidad produce un campo giratorio excitador.

Es imprescindible que la diferencia entre las velocidades de funcionamiento y la de sincronismo sea pequeña, para disminuir las pérdidas en el cobre del rotor. (Castro, 2006, pág. 57).

1.3.6.2 Equipo eléctrico general y línea

La infraestructura eléctrica tiene vital importancia en una hidroeléctrica, debido a que realiza la transformación del voltaje, el sondeo de los distintos parámetros que tiene la corriente eléctrica, también realiza la conexión a la línea de salida y el reparto de la energía.

El equipamiento eléctrico necesario se organiza en cuadros eléctricos colocados en la parte interna de la casa de máquinas, son:

- Disyuntores y seccionadores, se utilizan para la conexión y desconexión al sistema.
- Transformadores de medida, para la tensión e intensidad.
- Transformadores de equipos auxiliares, los cuales proporcionan la tensión apropiada para el funcionamiento de los equipos.
- Pararrayos o auto válvulas, que intervienen como descargadores a tierra de las sobre cargas que se pueden producir. (Castro, 2006, pág. 58).

1.3.6.3 Elementos de regulación, control y protección

Estos componentes son necesarios porque controlan y regulan el funcionamiento de la hidroeléctrica, asimismo son importantes los dispositivos de protección que se colocan en la hidroeléctrica y la línea eléctrica, y que trabajar en el momento que se produzca un fallo en la central.

Los elementos primordiales de control y sistemas de supervisión y mando son:

- Regulador de potencia generada para centrales en red aislada.
- Regulador de velocidad en instalaciones con grupos síncronos
- Regulador de caudal turbinado. Para el control del generador:
- Equipo de sincronización, en el momento que existen grupos síncronos conectados a la red.
- Baterías de condensadores y un relé taquimétrico, cuando se encuentren grupos asíncronos funcionando conectados a la red. (Castro, 2006, pág. 60).

1.3.7 Compensación de potencia reactiva

En el trabajo de los sistemas eléctricos de potencia existen, en ocasiones, circunstancias tales como una demanda anormal de reactivos, lo cual significa, que dicha demanda excede la aportación que de ellos hacen algunos elementos de la red, obligando a los generadores a disminuir su factor de potencia para proveer los reactivos complementarios. La finalidad de la compensación reactiva es que la potencia aparente sea lo más semejante posible a la potencia activa. Fuente: (MORALES, 2009)

1.3.7.1 Tipos de Potencia

Potencia Activa (P)

Representa la capacidad de un circuito para hacer un proceso de cambio de la energía eléctrica en trabajo, Sus unidades son kW o MW. (ENERGÍA, 2012)

Potencia Reactiva (Q)

La potencia reactiva no presenta una naturaleza de ser utilizada y sólo se presentará cuando haya bobinas o condensadores en los circuitos que crean campos magnéticos y eléctricos.

Potencia Aparente (S)

La potencia aparente de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma, por ser la potencia total de sumar la potencia activa y la reactiva. Sus unidades son kVA o MVA.

El triángulo de potencia

Es la mejor forma de estudiar y entender de forma gráfica qué es el factor de potencia o $\cos\phi$ y su vínculo con los demás tipos de potencia que se encuentran en un circuito eléctrico de corriente alterna (ver figura 16).

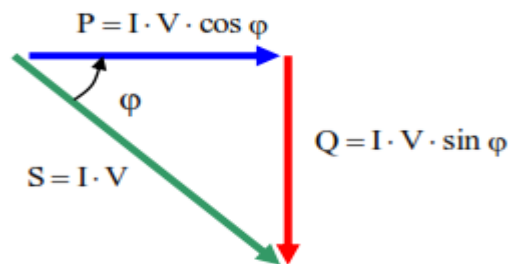


Figura 16: Triángulo de potencia

Fuente: (MORALES, 2009)

1.3.7.2 Factor de Potencia

Es la relación de la potencia activa P con la potencia aparente S , en otras palabras, es la cantidad de potencia que se convierte en trabajo útil (P) de la potencia total (S) pedida por la carga.

En un circuito trifásico equilibrado la potencia activa (P), reactiva (Q) y aparente (S) se pueden calcular a través de las siguientes fórmulas:

Potencia aparente:

$$S = \frac{P_A}{\cos\phi} = \sqrt{P_A^2 + Q^2} = \sqrt{3} * V_L * I_L \quad (\text{Ec.37})$$

Potencia reactiva:

$$Q = P_a * \tan\varphi = 3 * V * I * \text{sen } \varphi = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (\text{Ec. 38})$$

Potencia activa:

$$P_A = S * \cos\varphi = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (\text{Ec. 39})$$

La intensidad de línea se calcula a través de las siguientes fórmulas:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} \quad (\text{Ec. 40})$$

$$I = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \varphi} \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde:

I_n = Intensidad de línea (A)

$V = U_n$ = Tensión nominal (V)

$\cos \varphi$ = Factor de potencia del alternador

S_n = Potencia aparente (VA)

P = Potencia útil (W)

1.3.7.3 Compensación de potencia reactiva mediante bancos de capacitores

Hoy en día se usa el banco de capacitores en la mayoría de las instalaciones industriales debido a su economía y mayor flexibilidad. Se puede elaborar en distintas configuraciones. Los bancos de capacitores incrementan el factor de potencia, por consiguiente eleva la potencia transferida por la línea ya que no necesita transportar la potencia reactiva.

La figura 17 muestra la corrección de $\cos \varphi$ para compensar el consumo de energía reactiva.

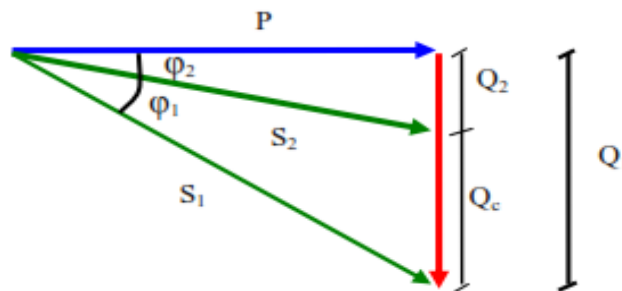


Figura 17: Corrección del $\cos \varphi_1$ a $\cos \varphi_2$, mantenido el suministro de la carga constante.

Fuente: (MORALES, 2009)

Para realizar el cálculo de Q_c se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_c [\text{Kvar}] = Q_1 - Q_2 \quad (\text{Ec.42})$$

Donde:

Q_C = potencia reactiva del banco de condensadores trifásicos (Kvar)

Q_1 = potencia reactiva inductiva sin compensación

Q_2 = potencia reactiva inductiva con compensación

1.3.7.4 Cálculo de la Capacidad del capacitor compensador por fase (Cf)

Para determinar qué tipo de condensador se colocará, se realiza mediante el siguiente procedimiento:

Se halla la potencia reactiva por fase mediante:

$$Q_C - f = \frac{Q_C}{3} \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde:

Q_C-f = Potencia reactiva del banco de condensadores por fase

Q_C = potencia reactiva del banco de condensadores trifásicos

Posteriormente se calcula la capacidad del condensador a través de la siguiente fórmula:

$$C_f[\text{mF}] = \frac{Q_{C-f}}{U_f^2 * 2\pi * f} \quad (\text{Ec. 44})$$

En la cual:

Q_C-f = Potencia por fase del capacitor, var

U_f = Tensión de fase del capacitor

f = frecuencia de la red eléctrica

1.3.8 Cálculo de la Sección de los conductores

Un conductor eléctrico es el cuerpo capaz de conducir o transmitir la electricidad con gran facilidad debido a que posee una resistencia eléctrica muy baja. Los mejores conductores eléctricos son metales como el cobre, el oro, el hierro y el aluminio. (WIKIPEDIA, Conductor Eléctrico, 2018)

1.3.8.1 Criterio de caída de tensión admisible y rendimiento para dimensionar un conductor eléctrico:

La fórmula que nos permite calcular la sección de un conductor por caída de tensión es la siguiente:

$$S_{cond} = \frac{\rho * L}{R_L} \quad (\text{Ec. 45})$$

En la cual:

S_{cond} = sección transversal necesaria del conductor (mm)

ρ = resistividad eléctrica del conductor $\left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}\right)$

L = longitud del conductor trifásico (m)

Para calcular la pérdida de tensión en el conductor, se utiliza la siguiente fórmula

$$\Delta U_L = \sqrt{3} * R_L * I_L \quad (\text{Ec. 46})$$

En donde:

ΔU_L = caída de tensión en conductor (v)

R_L = Resistencia del conductor (Ω)

I_L = Intensidad de línea (A)

La temperatura del conductor lo podemos calcular haciendo uso de la siguiente expresión

$$T^{\circ}_{oper} = T^{\circ}_{mont} + (T^{\circ}_{max} - T^{\circ}_{man}) * \left(\frac{I_{op}}{I_n}\right)^2 \quad (\text{Ec.47})$$

En el cual:

T°_{oper} = Temperatura de operación del conductor ($^{\circ}\text{C}$)

T°_{mont} = Temperatura de mantenimiento del conductor (tabla, $^{\circ}\text{C}$)

T°_{max} = Temperatura máxima del conductor (tabla, $^{\circ}\text{C}$)

La pérdida de potencia en el conductor se calcula de las fórmulas siguientes:

$$P_{Pcd} = (1 - \eta_{cond}) * P_n \quad (\text{Ec. 48})$$

$$P_{Pcd} = 3 * R_L * I_L^2 \quad (\text{Ec. 49})$$

Donde:

P_{Pcd} = potencia perdida en el conductor (kW)

η_{cond} = Rendimiento del conductor

P_n = Potencia neta (kW)

El rendimiento del conductor eléctrico, se calcula a través de la siguiente fórmula

$$\eta_L = \frac{P_u}{P_T} * 100 \quad (\text{Ec. 50})$$

Donde:

P_u = Potencia útil (Kw)

P_t = Potencia total (kW)

La potencia total, es la suma de la potencia útil más la potencia perdida en el conductor eléctrico.

$$P_t = P_u + P_{pcd} \quad (\text{Ec. 51})$$

1.4. Formulación del problema:

¿En qué medida el diseño de una mini central hidroeléctrica es viable técnica y económicamente en la empresa Hortifrut-Tal S.A. para reducir los costos por consumo de energía eléctrica?

1.5 Justificación del estudio

Justificación técnica:

El propósito de plantear el diseño de una mini central hidroeléctrica, es proporcionar energía eléctrica para cubrir la demanda existente en un área determinada de la empresa Hortifrut-Tal S.A, para reducir costos de consumo energético.

La empresa agroindustrial Hortifrut-Tal S.A cuenta en sus terrenos, con una serie de pendientes por donde recorre el cauce fluvial del proyecto Chavimochic. Es de suma importancia tener presente las condiciones necesarias que generen energía potencial y cinética en el fluido proveniente del afluente, los parámetros son:

Salto de agua y caudal, todas estas presentes de manera favorable en el área donde se pretende implementar la mini central hidroeléctrica.

Justificación económica:

Los diversos consumidores eléctricos utilizados en el área de estudios, para su funcionamiento, utilizan energía eléctrica proveniente de Hidrandina durante el día y en horas punta, utilizan grupos electrógenos. Todo ello hace que la facturación mensual por consumo energético sea elevado.

La producción de energía eléctrica mediante una turbina hidráulica, puede ofrecer una relación costo – beneficio mucho más rentable ya que se puede utilizar todo el tiempo que sea requerido, no utiliza ningún tipo de combustible y se mantiene constante, lo cual hace pronosticar que el ahorro económico sería considerable.

Justificación social:

El presente proyecto impulsara al desarrollo de fuentes energéticas limpias dentro de la empresa, lo cual permitirá que esta compañía esté a la vanguardia por acciones tomadas para poder suplir la manera tradicional de generar energía eléctrica y reducir así mismos costos energéticos.

Cabe recalcar que la creación de energía eléctrica dentro del recinto de la empresa, se hará teniendo presente la normativa eléctrica peruana vigente y considerando la inocuidad de los campos de cultivo, la cual es vital para su procesamiento y consumo humano.

Justificación ambiental:

La producción de energía eléctrica mediante recursos renovables, hace que se vaya desplazando el quemado de hidrocarburos, los cuales son utilizados en las diferentes centrales térmicas.

La utilización de energía hidráulica, contribuye a mitigar los gases de efecto invernadero; así mismo, el agua es un recurso que se puede volver a utilizar y es un productor de energía limpia, estable y segura.

1.6. Hipótesis

El diseño de una mini central hidroeléctrica de abastecimiento con turbina Francis, para reducir el costo en consumo de electricidad es viable técnica y económicamente en la empresa Hortifrut-Tal S.A.

1.7. Objetivos:**1.7.1. General.**

Determinar la viabilidad técnico económico del diseño de una mini central hidroeléctrica para la empresa Hortifrut-Tal S.A y para reducir los costos por consumo de energía eléctrica.

1.7.2. Específicos.

- Determinar disponibilidad de flujo de agua y altura útil
- Determinar dimensiones de tubería forzada
- Seleccionar turbina hidráulica
- Determinar la potencia teórica y neta
- Seleccionar generador eléctrico
- Dimensionar banco de condensadores
- Seleccionar elementos de protección
- Seleccionar conductor trifásico
- Evaluar el costo del consumo de energía eléctrica, en base a datos y facturas eléctricas.
- Realizar el análisis económico de implementar la mini central hidroeléctrica, hallando inversiones, beneficios brutos y netos.
- Realizar análisis financiero de implementar la mini central hidroeléctrica, calcular el Flujo de Caja, VAN, TIR y periodo de retorno de inversión.

II. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Identificación de variables

Variable independiente:

- Flujo de agua a turbina

Variable dependiente 1:

- Potencia eléctrica

Variable dependiente 2:

- Generación de energía, kw-h

Variable dependiente 3:

- Reducción costos de electricidad, soles/año

Variable interviniente

- Variación de flujo de agua, m³/h

2.2 Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente : Flujo de agua a turbina	Cantidad de agua que fluye por la sección transversal de un conducto, con cierta velocidad y densidad, en la unidad de tiempo	Producto de la sección transversal del conducto x densidad del fluido x velocidad del fluido en conducto	Flujo elevado Flujo medio Flujo bajo Flujo inestable	De intervalo
Variable dependiente 1: Potencia eléctrica	Trabajo eléctrico que se realiza en la unidad de tiempo	Es el producto de una constante, 1.732 x tensión de línea, x factor de potencia y por Intensidad de línea	Potencia alta Potencia Media Potencia baja Potencia inestable	De intervalo

Variable dependiente 2: Generación de energía	Radica en convertir algún tipo de energía (química, cinética, térmica, lumínica, solar entre otras), en energía eléctrica.	Es el producto de potencia (kW) y tiempo (h)	Generación de energía alta Generación de energía media Generación de energía baja	De intervalo
Variable dependiente 3: Reducción de costos de energía eléctrica	Valor monetario resultante de una acción que resulta en un beneficio de naturaleza económica, por cambio de tecnología, aumento de eficiencia, mejora de mantenimiento.	Es el resultado de una gestión: diferencia del costo de energía de la situación inicial y el costo de EE de la situación final proyectada	Reducción elevada de costos Reducción baja de costos	De intervalo
Variable interviniente: Variación de flujo de agua	Cambio del valor del flujo de agua ya sea por maniobras inadecuadas de operación, por cambio en conductos, del nivel de agua	Resultado de la diferencia entre el flujo de agua estable, inicial y el flujo de agua final, que no es normal	Variación rápida de flujo Variación lenta de flujo Variación grande de flujo	De intervalo

2.3 Metodología

Utiliza el método observacional, porque se recopila datos y se investigan las correlaciones entre los predictores y las respuestas.

2.4. Tipo de estudio

Estudio Descriptivo: Describe los procesos tal como los observa y mide.

2.5. Diseño

Esta investigación es no experimental, porque no se manipulan deliberadamente las variables.

2.6. Población

Hortifrut-Tal S.A

2.6.1. Muestra

Caudal y salto de agua de Hortifrut-Tal S.A

2.6.2. Muestreo

Es no probabilístico

2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica	Instrumento	Objetivos
Observación	Hoja de toma de datos	Analizar el potencial hidro energético de Hortifrut-Tal S.A.
Análisis documental	Hoja de Registro de datos	Analizar demanda energética, parámetros de energía eléctrica y costos de energía eléctrica

2.8. Métodos de análisis de datos

Se realizaron análisis descriptivos y analíticos, utilizando las técnicas y modelamientos de ingeniería mecánica, eléctrica e hidráulica del sistema eléctrico e hidráulico, determinando la dependencia de las variables en estado estable, para hallar la capacidad de generación de energía, su costo, tamaño, tipo, etc.

2.9. Aspectos éticos

La información y datos, sin plagio de tipo alguno, los resultados, conclusiones, recomendaciones y discusión se realizarán por el autor del presente estudio.

III. RESULTADOS

3.1 Determinar disponibilidad de flujo de agua y altura útil

3.1.1. Determinación del salto útil:

El estudio de la altura útil, se realizó utilizando la técnica del GPS, la cual es muy empleada en la actualidad y brinda la ubicación exacta de una persona a través de satélites.

Se utilizó los programas Google Earth Pro y Google Maps para determinar las coordenadas de implementación para la cámara de carga y casa de máquinas.

Cámara de carga: 8° 34' 39.2" S 78° 38' 24.2" W a 213 m.s.n.m

Casa de máquinas: 8° 34' 41.6" S 78° 38' 27.3" W a 187 m.s.n.m

El salto útil, se obtiene restando la ubicación en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) de la cámara de carga y de la casa de máquinas.

Salto útil: 213 m – 187 m = 26 m

En el lugar de estudio, existe una cámara de carga y una tubería que abastece a un sedimentador (figura 18). La longitud de la tubería desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas es de 120 m.



Figura 18: ubicación satelital del lugar de estudio

Fuente: Google Earth

3.1.2. Disponibilidad de flujo de agua

El estudio de la disponibilidad del caudal turbinado, se realizó teniendo en cuenta en primera instancia, el registro hidrológico del río Santa, el cual abastece al canal madre del proyecto Chavimochic y este a su vez, proporciona agua a la empresa Hortifrut-Tal S.A. Es necesario determinar el caudal mínimo del río Santa en tiempo de estiaje, con el propósito de poder

saber si el proyecto especial Chavimochic, podrá seguir suministrando de manera constante, la futura demanda de agua, ya que el rubro agroindustrial ha ido en aumento.

La figura 19, nos muestra la tendencia anual del flujo volumétrico perteneciente al río Santa, dando un promedio de $146.97 \text{ m}^3/\text{s}$. tiempo de avenida se produce entre los meses de enero hasta mayo, los meses de estiaje corresponden entre julio y septiembre, siendo en agosto y setiembre el registro de caudal mínimo ($53 \text{ m}^3/\text{s}$).

El registro de caudales del río Santa, se puede apreciar en el anexo 5.

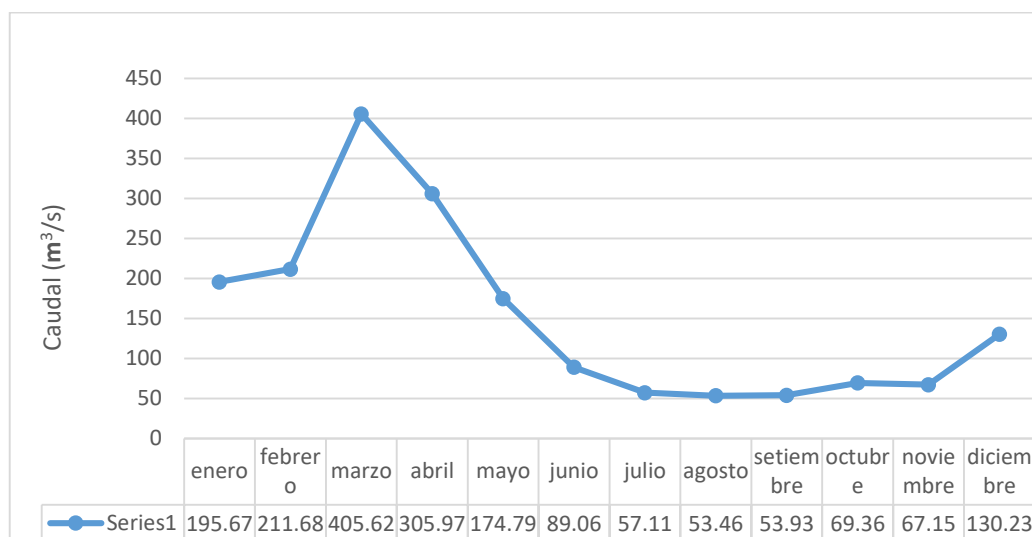


Figura 19: Registro hidrológico de río Santa

Fuente: Junta de usuarios de riego presurizado del distrito de Chao, Virú, Moche.

3.1.2.1. Dimensiones del canal madre

La figura 20, se muestra una imagen de la sección del canal madre.

El canal madre tiene una forma trapezoidal (ver figura 21), en determinados tramos, con lo cual se puede determinar el área del canal madre haciendo uso de la fórmula para trapecios.



Figura 20: Canal madre de proyecto especial Chavimochic

Fuente: (ODEBRECHT, 2014)

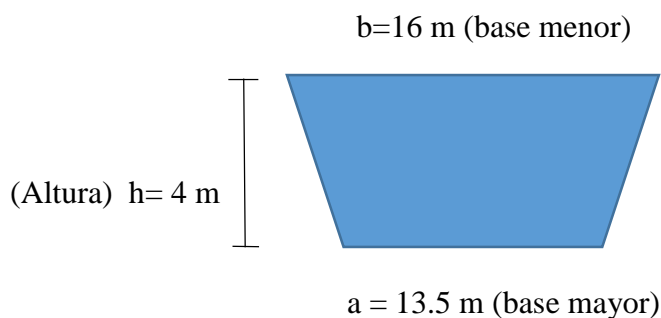


Figura 21: Perfil de canal madre.

Fuente: (Python, 2015)

$A = \text{Área de la sección trapezoidal (m}^2) = h * (a + b) / 2$

$$A = 4 \text{ m} * (16 \text{ m} + 13.5 \text{ m}) / 2 = 59 \text{ m}^2$$

3.1.2.2. Determinación del caudal en canal madre de proyecto especial Chavimochic:

El cálculo del flujo volumétrico, varía dependiendo de la estación y de diversos fenómenos climáticos, por consiguiente, es necesario determinar el caudal promedio para poder dimensionar los equipos y las diversas instalaciones.

Existen diferentes formas de determinar el caudal, en el presente proyecto, se utilizó el método del flotador. Para utilizar el método del flotador, es necesario determinar la velocidad promedio del agua, el área del canal y multiplicarlo por un factor de corrección (k), el cual depende del tipo de río o canal y la profundidad del mismo.

Las pruebas realizadas en canal madre, da como resultado una velocidad promedio del agua de 1.71 m/s (ver tabla 8)

Tabla 8: Velocidad promedio de agua en canal madre

Prueba	Datos	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad Promedio (m/s)
1	Flotador 1	20	11.13	1.71
2	Flotador 2		11.8	
3	Flotador 3		11.89	
4	Flotador 4		11.92	
5	Flotador 5		12.05	
Tiempo promedio			11.76	

Fuente: Elaboración propia de aplicación de método del flotador

Haciendo uso de la ecuación 2 se procede a hallar el caudal (Q).

El factor de corrección (0.8), se eligió a través de la tabla 1

Calculo de caudal máximo – canal madre

$$Q = 59 \text{ m}^2 * 1.71 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.8 = 80.24 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal máximo que puede fluir por canal madre, es de 80.24 m³/s, siendo este un 33% mayor que el caudal mínimo de estiaje.

A continuación, se calcula el caudal promedio que fluye por el canal madre, el cual está en función del área ocupado por el agua. Para determinar el área ocupado por el fluido, se tomó medidas con una regla tanto de la profundidad como de la base menor ocupada por el agua (el canal madre tiene forma trapezoidal), las medidas son:

Altura: 1.75 m

Base menor: 14.7 m

$$A = 1.75 * (14.7 + 13.5) / 2 = 24.6 \text{ m}^2$$

Base mayor: 13.5

Cálculo de caudal encontrado – canal madre

$$Q = 24.6 \text{ m}^2 * 1.71 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.8 = 33.46 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal promedio que circula por canal madre es de 33.46 m³/s, lo cual demuestra, que existe una tolerancia, debido a que el caudal mínimo de estiaje del río Santa es de 53 m³/s. El proyecto especial Chavimochic, mediante una toma de captación (figura 22), provee a la empresa un caudal máximo determinado por el diámetro de una tubería de entrada, el cual es de 1 m. Una compuerta de entrada, controla el flujo de ingreso desde el canal madre hacia las pozas de sedimentación (figura 23). El caudal de ingreso hacia la empresa Hortifrut-Tal S.A es el producto de multiplicar el área de la tubería de entrada (0.78 m²) por la velocidad promedio del agua (1.71 m/s) dando como resultado 1.33 m³/s.



Figura 22: Toma de agua de Hortifrut-Tal S.A



Figura 23: Compuerta de ingreso del caudal de agua

3.1.2.3. Determinación del caudal de diseño.

El flujo volumétrico que se utiliza en la empresa, es proporcionado por el proyecto especial Chavimochic; el agua en su ingreso, pasa por un proceso de filtrado en unas pozas de sedimentación y posteriormente es enviado hacia los filtros en donde se utiliza para el riego tecnificado.

En la figura 24, se muestra los caudales de tratamiento de la empresa Hortifrut-Tal S.A, y el porcentaje de excedencia en un intervalo de 12 meses, el cual permitirá identificar la probabilidad de que el caudal de diseño sea superado en el transcurso de un año. Los caudales de tratamiento diarios se puede observar en el anexo 4.

El caudal de diseño, se determina, partiendo del diámetro de la tubería que conduce el agua desde la poza de sedimentación N° 2 hacia la cámara de carga (ver figura 25), el cual tiene un diámetro de 630 mm y de la velocidad del agua.

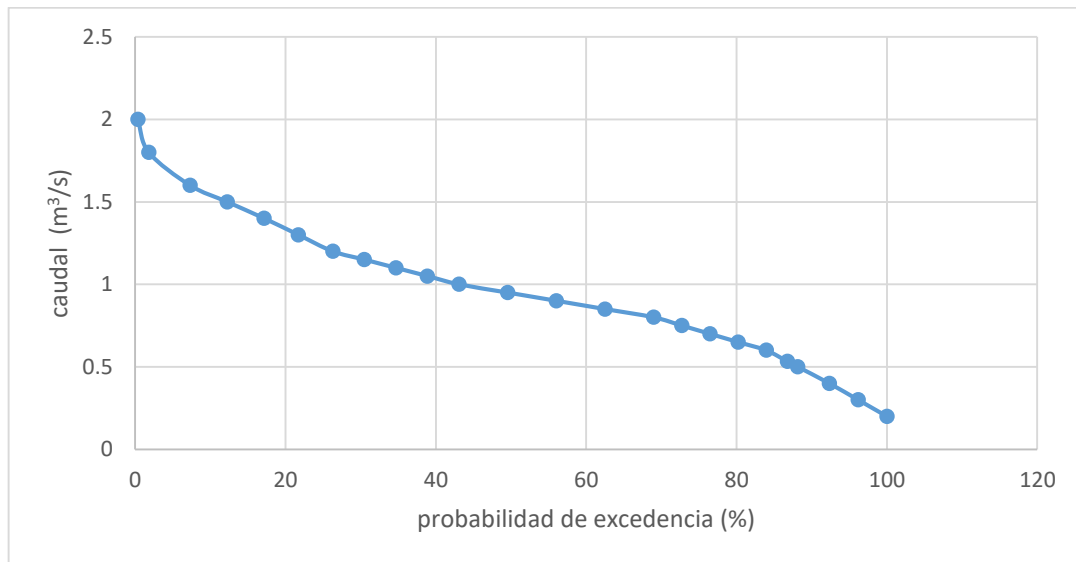


Figura 24: Curva de duración de caudales

Fuente: elaboración propia de caudales de tratamiento en Hortifrut-Tal S.A

Se procede a calcular el caudal de diseño a través de la ecuación 1. Debido a la falta de presupuesto para medir la velocidad del agua dentro de la tubería, se asume que es la misma que la del canal madre, ya que circula por gravedad.

$$\varnothing = 0.630 \text{ m}$$

$$V = 1.71 \text{ m/s}$$

$$Q_d = \frac{\pi \cdot 0.630^2}{4} * 1.71 \frac{m}{s} = 0.533 \frac{m^3}{s}$$

El caudal de diseño tiene una probabilidad de excedencia de 86.75 % (ver tabla 9), el cual nos indica que estará presente 316 días al año.

Tabla 9: Probabilidad de excedencia de caudal

caudal de tratamiento	probabilidad de excedencia %
0.2	100
0.3	96.17
0.4	92.34
0.5	88.14
0.533	86.75
0.6	83.94
0.65	80.2
0.7	76.46
0.75	72.72
0.8	68.98
0.85	62.51
0.9	56.03
0.95	49.55
1	43.07
1.05	38.88
1.1	34.68
1.15	30.48
1.2	26.28
1.3	21.72
1.4	17.15
1.5	12.23
1.6	7.3
1.8	1.82
2	0.36

Fuente: Elaboración propia de caudales de tratamiento.

A continuación se muestra el flujo de agua desde canal madre a cámara de carga.

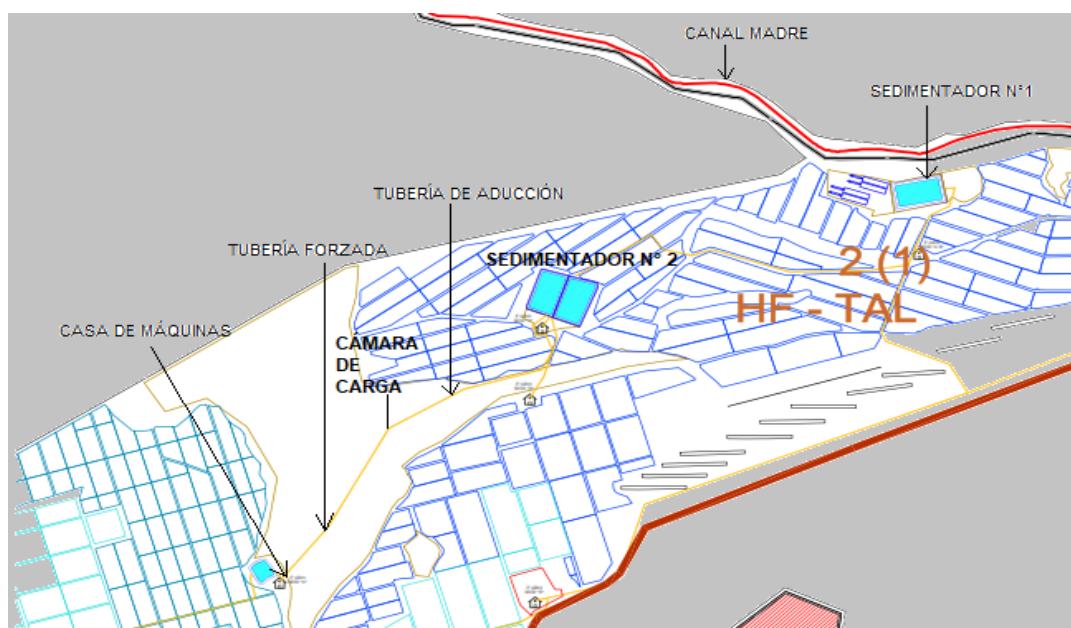


Figura 25: Disposición de flujo de agua a cámara de carga

Fuente: Hortifrut-Tal S.A

3.2. Determinación del diámetro de la tubería forzada

El lugar de estudio, ya cuenta con una tubería la cual traslada el agua necesaria para el riego tecnificado. Para poder comprobar, si la tubería que se encuentra ya instalada se puede utilizar sin ningún tipo de problema, se procede a realizar los cálculos utilizando las características de la misma. La tubería instalada es una tubería de PVC de cédula 10, con diámetro nominal de 400 mm con un espesor de 19.10 mm, se procede a realizar los cálculos correspondientes.

Según la Asociación Europea de Pequeña Hidroelectricidad (ESHA), una manera práctica es limitar las pérdidas de carga en la tubería forzada a 4 % de la altura bruta, y haciendo uso de la ecuación 12, se obtiene el diámetro óptimo para la tubería forzada, en donde:

D = Diámetro de tubería forzada (m)

Q = Caudal de equipamiento ($0.533 \text{ m}^3/\text{s}$)

L = Longitud de tubería forzada (120 m)

n = Coeficiente de rugosidad (0.009)

H_f = Pérdida de carga por fricción (1.04 m)

$$D = \sqrt[5.333]{\frac{(0.533 \text{ m}^3/\text{s})^2 * 120 \text{ m} * 10.3 * 0.009^2}{(0.04 * 26 \text{ m})}} = 0.509 \text{ m}$$

El coeficiente de rugosidad (n), está determinado por el tipo de material a utilizar en la tubería de presión, en la tabla 5 se puede observar los distintos valores.

El diámetro calculado, es mayor con el que se cuenta (400 mm) por consiguiente, será necesario cambiar toda la tubería forzada. Según el catálogo de tuberías de la compañía Jorvex, la cual cuenta con certificación ISO 9001, se puede utilizar una tubería de cédula 10 con un diámetro nominal de 630 mm y espesor de 30 mm, la misma que se puede apreciar en la tabla 10.

A continuación se procede a calcular si las pérdidas en la tubería forzada, están dentro del porcentaje que se ha establecido.

3.2.1. Pérdidas de cargas por fricción en la tubería forzada

Mediante la ecuación 4 se determina las pérdidas de carga por fricción:

3.2.1.1. Numero de Reynolds

Según la ecuación 5 el número de Reynolds es:

$$R_e = \frac{0.630 \text{ m} * 1.71 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.31 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 822366.41$$

Tabla 10: Diámetro de tuberías

C-10 / S-10 (10 kg/cm ² - 10 bares - 150 lb/pulg ²)						
CÓDIGO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg)
TUB153	63	63,00	3,00	57,00	6,00	5.07
TUB154	75	75,00	3,60	67,80	6,00	7.26
TUB155	90	90,00	4,30	81,40	6,00	10.43
TUB156	110	110,00	5,30	99,40	6,00	15.70
TUB157	140	140,00	6,70	126,60	6,00	25.35
TUB158	160	160,00	7,70	144,60	6,00	33.34
TUB159	200	200,00	9,60	180,80	6,00	52.13
TUB160	250	250,00	11,90	226,20	6,00	80.81
TUB161	315	315,00	15,00	285,00	6,00	128.54
	355	355,00	16,90	321,20	6,00	169.49
	400	400,00	19,10	361,80	6,00	215.74
	450	450,00	21,50	407,00	6,00	
	500	500,00	23,90	452,20	6,00	
	630	630,00	30,00	570,00	6,00	

Fuente: (Jorvex)

3.2.1.2. Rugosidad relativa y absoluta

El valor de la rugosidad absoluta se puede apreciar en la tabla 2. El material de la tubería es de polietileno, por lo tanto el valor de “e” es: 0.003 mm. Según ecuación 6 la rugosidad relativa es:

$$\epsilon = \frac{e}{D} = \frac{0.003 \text{ mm}}{630 \text{ mm}} = 4.76 * 10^{-6}$$

Calculado el número de Reynolds y la aspereza relativa, se puede hacer uso de la ecuación 7 y determinar el coeficiente de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{4.76 * 10^{-6}}{3.7} + \frac{2.51}{822366.41 * \sqrt{f}} \right) \Rightarrow f = 0.01214$$

Por lo tanto, las pérdidas son:

$$h_f = 0.01214 \left(\frac{120 \text{ m}}{0.630 \text{ m}} \right) \frac{\left(1.71 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.35 \text{ m}$$

3.2.2. Pérdida de carga por accesorios adicionales

3.2.2.1. Pérdidas de carga por fricción en rejillas de limpieza

Según la ecuación 8 las pérdidas son

$$h_f = 2.4 * \left(\frac{12 \text{ mm}}{70 \text{ mm}} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{\left(1.71 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) \text{sen } 90^\circ = 0.034 \text{ m}$$

El Coeficiente K_t para pérdida a través de rejilla de cámara de carga se puede encontrar en la figura 8.

3.2.2.2. Pérdidas de carga por entrada a la tubería

Mediante la ecuación 9, la pérdida de energía es:

$$h_c = 0.8 \left(\frac{\left(1.71 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \right) = 0.119 m$$

El coeficiente K_e para pérdida a través de la entrada de tubería se puede apreciar en la figura 12.

3.2.2.3. Pérdida de carga por válvula de mariposa

Se colocará 2 válvulas tipo mariposa en la entrada de la tubería forzada y en la salida. Haciendo uso de la ecuación 10, las pérdidas son:

$$h_v = 0.6 * 2 * \left(\frac{\left(1.71 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \right) = 0.179 m$$

El Coeficiente K_v para pérdida a través de válvulas se aprecia en la figura 10.

3.2.2.4. Pérdida de carga por codos de 45°

Se colocará 2 codos, los cuales se instalaran tanto en la parte superior e inferior de la tubería forzada. Según la ecuación 11, las pérdidas son:

$$h_b = k_c \left(\frac{V}{2g} \right) = 0.19 * 2 * \left(\frac{\left(1.71 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \right) = 0.057 m$$

El Coeficiente K_c , se aprecia en la tabla 3.

La pérdida de carga es equivalente a:

$$\Delta H = 0.35 m + 0.034 + 0.119 + 0.179 + 0.057 = 0.735 m$$

Las pérdidas en la tubería forzada equivalen al 2.83 %, un valor menor al

Proyectado, dando como resultado una altura neta de:

$$H_N = H_U - \Delta H = 26 m - 0.735 m = 25.265 m$$

3.2.3. Cálculo del espesor de tubería forzada

El espesor se calcula mediante la ecuación 13:

Para poder determinar el espesor de la tubería, se hace un análisis del golpe de ariete.

3.2.3.1. Golpe ariete

Primero se calcula la velocidad o celeridad de onda presión a través de la tubería mediante la ecuación 15:

$$c = \sqrt{\frac{\frac{2.1 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{998 \frac{kg}{m^3}}}{1 + \frac{2.1 \times 10^9 \frac{N}{m^2} * 630mm}{2.75 \times 10^9 \frac{N}{m^2} * 30 mm}}} = 351.44 \frac{m}{s}$$

El módulo de elasticidad del material la determinamos a través de la tabla 4.

Seguidamente, se calcula el tiempo crítico de onda de presión haciendo uso de la ecuación 14.

$$T_c = \frac{2 * 120 m}{351.44 \frac{m}{s}} = 0.68 s$$

El golpe de ariete se puede despreciar si el tiempo crítico es diez veces menor al tiempo de cierre de válvula.

Mediante la ecuación 18 se puede determinar el tiempo de cierre de la válvula de entrada hacia la turbina.

$$T_p = C + \frac{K * L * V}{g * H_m} = 0.8 + \frac{2 * 120 m * 1.71 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s^2} * 26 m} = 2.41 s$$

Los coeficientes de ajuste K y C se calculan a través de las tablas 6 y 7

Dado que el tiempo crítico de onda de presión es mayor en diez veces al tiempo de cierre, se procede a calcular la sobrepresión.

Según la ecuación 16, la sobrepresión producido por golpe de ariete es:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 998 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{351.44 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s^2}} * 1.71 \frac{m}{s} = 599760.48 \frac{kg}{m * s^2} \\ &= 599760.48 Pa = 61.20 m. c. a \end{aligned}$$

Para calcular el espesor de la tubería, uno de los parámetros a identificar es

La presión hidrostática (P_1), la cual se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} P_1 &= H_N + \Delta P = 25.265 m. c. a + 61.20 m. c. a = 86.47 m. c. a = 86.47 \frac{tf}{m^2} \\ &= 0.0008479 \frac{KN}{mm^2} \end{aligned}$$

Entonces el espesor de la tubería es:

$$e = \frac{0.0008479 \frac{KN}{mm^2} * 630 mm}{2 * 0.053937 \frac{KN}{mm^2}} = 4.95 mm$$

El cálculo del espesor de la tubería forzada, demuestra que el espesor nominal de la tubería (30 mm), puede soportar las sobrepresiones que se pueden generar en ella, debido a que según resolución de ecuación 13, el espesor de la tubería es 4.6 mm.

3.3. Selección de turbina para minicentral hidroeléctrica

Mediante los indicadores de caudal y altura neta, podemos determinar el tipo de turbina que se puede utilizar y la potencia que puede proporcionar (figura 26). Los datos coinciden dentro de los parámetros de las turbinas Francis y Ossberger (Banki). Se seleccionará la turbina idónea a través de un análisis energético.

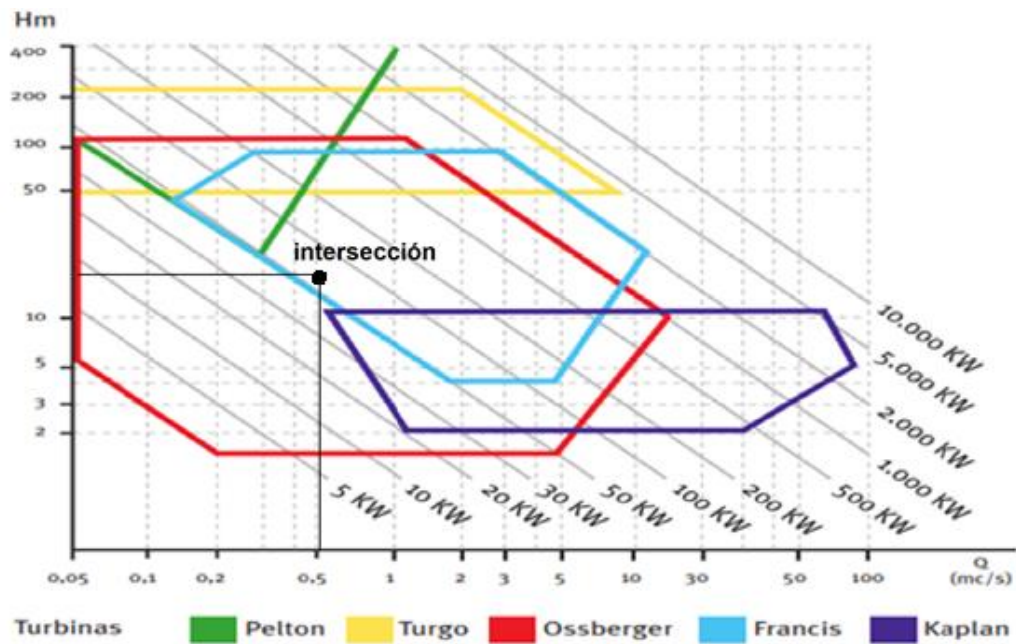


Figura 26: Campos de utilización de turbinas hidráulicas

Fuente: (Castro, 2006)

3.3.1. Cálculo de eficiencia de turbina Francis:

Según RETScreen international, se realiza lo siguiente:

- Caudal mínimo (Q_{min}): Según la ecuación 24, el caudal mínimo es:

$$Q_{min} = 0.40 * 0.533 \frac{m^3}{s} = 0.213 \frac{m^3}{s}$$

- Tamaño del rodete de la turbina (d): Según la ecuación 25 se tiene:

De la tabla de RETScreen international – análisis de proyectos de pequeño hidro, se asume que $d < 1.8$, por tanto $k = 0.46$, entonces

$$d = 0.46 * 0.533^{0.473} = 0.341 \text{ m}$$

- Velocidad específica (n_q): Se calcula mediante la ecuación 26, $K = 600$ para turbina Francis.

$$n_q = 600 * (25.265)^{-0.5} = 119.36$$

- Ajuste de la velocidad específica a la máxima eficiencia (\hat{e}_{nq}): Según ecuación 27

$$\hat{e}_{nq} = \left(\frac{119.36 - 56}{256} \right)^2 = 0.0613$$

- Ajuste del rodete a la máxima eficiencia (\hat{e}_d): A través de ecuación 28, se tiene:

$$\hat{e}_d = (0.081 + 0.0613)(1 - 0.789 * 0.341^{-0.2}) = 0.0031$$

- Máxima eficiencia de la turbina (e_p): Según ecuación 29, se calcula:

Por defecto, para una turbina Francis $R_m = 4.5$

$$e_p = (0.919 - 0.0613 + 0.0031) - 0.0305 + 0.005 * 4.5 = 0.8305$$

- Caudal de máxima eficiencia (Q_p): Según ecuación 30 :

$$Q_p = 0.65 * 0.533 \frac{m^3}{s} * (119.36)^{0.05} = 0.44 \frac{m^3}{s}$$

- Disminución de la eficiencia a plena carga (\hat{e}_p): Haciendo uso de ecuación 31

$$\hat{e}_p = 0.0072 * (119.36)^{0.4} = 0.0488$$

- Eficiencia a plena carga (e_r): Según ecuación 32

$$e_r = (1 - 0.0488) * 0.8529 = 0.8113$$

- Eficiencia de flujos (e_q): Mediante la ecuación 33, se tiene:

$$e_q = 0.8305 - \left(\frac{0.2 \frac{m^3}{s} - 0.44 \frac{m^3}{s}}{0.533 \frac{m^3}{s} - 0.44 \frac{m^3}{s}} \right)^2 * (0.8305 - 0.8113) = 0.7026$$

A través de los valores (e_q), para distintos caudales de tratamiento (Q), se puede realizar la gráfica de curvas de eficiencias para la turbina Francis (Figura 27), el cual muestra que con un caudal de $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$, la eficiencia es menor que con el caudal de diseño.

La Tabla 11, muestra los diversos caudales de tratamiento de Hortifrut-Tal S.A y la variación de eficiencia de la turbina Francis. El caudal mínimo con el que puede trabajar la turbina es de $0.213 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para el cálculo de la producción de energía anual (tabla 12, 13, 14, 15), se hizo un análisis con los caudales de tratamiento diarios requeridos por la empresa Hortifrut-Tal S.A, el cual se puede ver en el anexo 4.

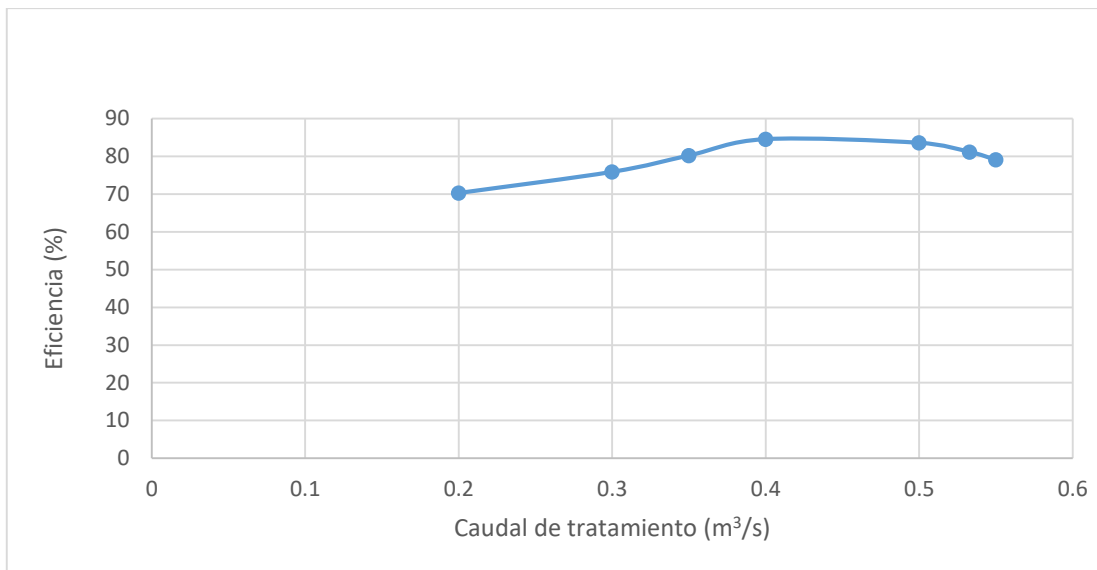


Figura 27: Curva de rendimiento de turbina Francis.

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento de Hortifrut-Tal S.A

Tabla 11: Eficiencia de turbina Francis

Caudal de tratamiento (m³/s)	eficiencia de turbina (eq)
0.2	70.26
0.3	75.86
0.4	84.52
0.5	83.56
0.533	81.13
0.55	79.06

Fuente: elaboración propia

Potencia generada utilizando una turbina Francis

$$P_T = \rho \left(998.29 \frac{kg}{m^3} \right) Qd \left(0.533 \frac{m^3}{s} \right) H_n (25.265 m) G \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) * \eta (0.8113) \\ * (10^{-3}) = 106.99 kW$$

En las tablas 12, 13, 14, 15, se muestra la energía producida en un año utilizando una turbina Francis, la cual sumado todos los días proporciona un total de 860.047 MW- h. Cabe indicar que los caudales de tratamiento, no son constantes durante todo el año, por consiguiente existe una producción variada de energía durante los 365 días del año.

Tabla 12: Energía anual con turbina Francis.

Enero					Febrero					Marzo				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (kW)	Energía (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (kW)	Energía kW-h	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energía (kW-h)
1	1.15	81.1%	107.0	2568	1	0.93	81.1%	107.0	2568	1	0.35	81.4%	70.5	1692
2	1.20	81.1%	107.0	2568	2	1.00	81.1%	107.0	2568	2	0.55	81.1%	107.0	2568
3	1.00	81.1%	107.0	2568	3	0.85	81.1%	107.0	2568	3	0.90	81.1%	107.0	2568
4	1.30	81.1%	107.0	2568	4	1.20	81.1%	107.0	2568	4	1.15	81.1%	107.0	2568
5	0.80	81.1%	107.0	2568	5	0.75	81.1%	107.0	2568	5	0.85	81.1%	107.0	2568
6	0.95	81.1%	107.0	2568	6	0.80	81.1%	107.0	2568	6	0.30	75.9%	56.3	1351
7	1.13	81.1%	107.0	2568	7	1.15	81.1%	107.0	2568	7	1.30	81.1%	107.0	2568
8	0.92	81.1%	107.0	2568	8	0.60	81.1%	107.0	2568	8	0.40	84.5%	83.7	2008
9	1.30	81.1%	107.0	2568	9	0.70	81.1%	107.0	2568	9	1.30	81.1%	107.0	2568
10	1.10	81.1%	107.0	2568	10	0.95	81.1%	107.0	2568	10	1.20	81.1%	107.0	2568
11	0.80	81.1%	107.0	2568	11	0.80	81.1%	107.0	2568	11	1.30	81.1%	107.0	2568
12	0.84	81.1%	107.0	2568	12	1.30	81.1%	107.0	2568	12	0.70	81.1%	107.0	2568
13	0.91	81.1%	107.0	2568	13	0.75	81.1%	107.0	2568	13	0.70	81.1%	107.0	2568
14	0.89	81.1%	107.0	2568	14	0.73	81.1%	107.0	2568	14	0.50	83.6%	103.4	2481
15	0.87	81.1%	107.0	2568	15	1.30	81.1%	107.0	2568	15	0.93	81.1%	107.0	2568
16	0.85	81.1%	107.0	2568	16	0.69	81.1%	107.0	2568	16	0.95	81.1%	107.0	2568
17	1.30	81.1%	107.0	2568	17	1.10	81.1%	107.0	2568	17	0.96	81.1%	107.0	2568
18	0.81	81.1%	107.0	2568	18	0.66	81.1%	107.0	2568	18	0.98	81.1%	107.0	2568
19	1.20	81.1%	107.0	2568	19	0.64	81.1%	107.0	2568	19	0.99	81.1%	107.0	2568
20	0.77	81.1%	107.0	2568	20	1.20	81.1%	107.0	2568	20	1.01	81.1%	107.0	2568
21	1.20	81.1%	107.0	2568	21	0.60	81.1%	107.0	2568	21	1.02	81.1%	107.0	2568
22	0.73	81.1%	107.0	2568	22	0.58	81.1%	107.0	2568	22	1.03	81.1%	107.0	2568
23	0.90	81.1%	107.0	2568	23	1.00	81.1%	107.0	2568	23	1.05	81.1%	107.0	2568
24	0.95	81.1%	107.0	2568	24	0.70	81.1%	107.0	2568	24	0.85	81.1%	107.0	2568
25	0.45	85.2%	112.4	2698	25	0.52	82.1%	106.0	2543	25	1.08	81.1%	107.0	2568
26	0.65	81.1%	107.0	2568	26	0.80	81.1%	107.0	2568	26	1.09	81.1%	107.0	2568
27	0.63	81.1%	107.0	2568	27	0.48	84.4%	101.0	2423	27	0.95	81.1%	107.0	2568
28	1.15	81.1%	107.0	2568	28	0.46	85.0%	97.7	2345	28	1.12	81.1%	107.0	2568
29	0.59	81.1%	107.0	2568						29	0.90	81.1%	107.0	2568
30	0.57	81.1%	107.0	2568						30	1.15	81.1%	107.0	2568
31	0.50	83.6%	110.2	2645						31	1.17	81.1%	107.0	2568

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

Tabla 13: Energía anual con turbina Francis.

Abril					Mayo					Junio				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (kW)	Energia (kW-h)
1	0.00	-7.8%	0.0	0	1	0.90	81.1%	107.0	2568	1	1.30	81.1%	107.0	2568
2	0.00	-7.8%	0.0	0	2	0.95	81.1%	107.0	2568	2	0.60	81.1%	107.0	2568
3	0.00	-7.8%	0.0	0	3	1.10	81.1%	107.0	2568	3	0.80	81.1%	107.0	2568
4	0.80	81.1%	107.0	2568	4	0.75	81.1%	107.0	2568	4	1.00	81.1%	107.0	2568
5	0.50	83.6%	103.4	2481	5	1.30	81.1%	107.0	2568	5	0.55	81.1%	107.0	2568
6	0.45	85.2%	94.9	2278	6	0.85	81.1%	107.0	2568	6	0.35	81.4%	70.5	1692
7	0.95	81.1%	107.0	2568	7	0.40	84.5%	83.7	2008	7	0.20	57.6%	28.5	684
8	0.70	81.1%	107.0	2568	8	0.30	75.9%	56.3	1351	8	0.80	81.1%	107.0	2568
9	1.30	81.1%	107.0	2568	9	0.65	81.1%	107.0	2568	9	1.30	81.1%	107.0	2568
10	1.10	81.1%	107.0	2568	10	1.10	81.1%	107.0	2568	10	0.50	83.6%	103.4	2481
11	1.20	81.1%	107.0	2568	11	1.00	81.1%	107.0	2568	11	0.75	81.1%	107.0	2568
12	0.90	81.1%	107.0	2568	12	0.70	81.1%	107.0	2568	12	0.95	81.1%	107.0	2568
13	0.65	81.1%	107.0	2568	13	1.30	81.1%	107.0	2568	13	1.10	81.1%	107.0	2568
14	0.30	75.9%	56.3	1351	14	1.10	81.1%	107.0	2568	14	1.20	81.1%	107.0	2568
15	0.80	81.1%	107.0	2568	15	0.30	75.9%	56.3	1351	15	1.00	81.1%	107.0	2568
16	1.10	81.1%	107.0	2568	16	0.00	-7.8%	0.0	0	16	0.45	85.2%	94.9	2278
17	0.95	81.1%	107.0	2568	17	0.75	81.1%	107.0	2568	17	0.60	81.1%	107.0	2568
18	1.30	81.1%	107.0	2568	18	1.30	81.1%	107.0	2568	18	1.20	81.1%	107.0	2568
19	0.80	81.1%	107.0	2568	19	0.45	85.2%	94.9	2278	19	0.60	81.1%	107.0	2568
20	1.10	81.1%	107.0	2568	20	0.70	81.1%	107.0	2568	20	0.80	81.1%	107.0	2568
21	1.38	81.1%	107.0	2568	21	1.10	81.1%	107.0	2568	21	1.30	81.1%	107.0	2568
22	1.44	81.1%	107.0	2568	22	0.72	81.1%	107.0	2568	22	0.40	84.5%	83.7	2008
23	1.50	81.1%	107.0	2568	23	0.71	81.1%	107.0	2568	23	0.75	81.1%	107.0	2568
24	0.50	83.6%	103.4	2481	24	0.70	81.1%	107.0	2568	24	1.00	81.1%	107.0	2568
25	0.20	57.6%	28.5	684	25	0.70	81.1%	107.0	2568	25	0.80	81.1%	107.0	2568
26	0.70	81.1%	107.0	2568	26	0.69	81.1%	107.0	2568	26	0.81	81.1%	107.0	2568
27	1.20	81.1%	107.0	2568	27	0.68	81.1%	107.0	2568	27	1.25	81.1%	107.0	2568
28	0.30	75.9%	56.3	1351	28	0.67	81.1%	107.0	2568	28	0.60	81.1%	107.0	2568
29	0.65	81.1%	107.0	2568	29	0.66	81.1%	107.0	2568	29	0.90	81.1%	107.0	2568
30	1.30	81.1%	107.0	2568	30	0.69	81.1%	107.0	2568	30	0.85	81.1%	107.0	2568
31					31					31				

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

Tabla 14: Energía anual con turbina Francis.

Julio					Agosto					Setiembre				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energía (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (kW)	Energía (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energía (kW-h)
1	0.80	81.1%	107.0	2568	1	0.00	-7.8%	0.0	0	1	0.82	81.1%	107.0	2568
2	0.35	81.4%	70.5	1692	2	0.00	-7.8%	0.0	0	2	0.26	69.3%	44.1	1059
3	0.70	81.1%	107.0	2568	3	0.00	-7.8%	0.0	0	3	0.62	81.1%	107.0	2568
4	0.65	81.1%	107.0	2568	4	0.59	81.1%	107.0	2568	4	0.49	84.2%	101.6	2438
5	1.00	81.1%	107.0	2568	5	0.91	81.1%	107.0	2568	5	0.94	81.1%	107.0	2568
6	1.20	81.1%	107.0	2568	6	0.76	81.1%	107.0	2568	6	0.77	81.1%	107.0	2568
7	0.50	83.6%	103.4	2481	7	0.13	40.3%	13.4	322	7	0.85	81.1%	107.0	2568
8	0.55	81.1%	107.0	2568	8	0.49	83.9%	102.6	2462	8	0.47	85.0%	97.8	2348
9	0.40	84.5%	83.7	2008	9	0.69	81.1%	107.0	2568	9	0.61	81.1%	107.0	2568
10	0.20	57.6%	28.5	684	10	0.35	81.4%	70.5	1692	10	0.22	61.6%	33.2	796
11	0.60	81.1%	107.0	2568	11	0.78	81.1%	107.0	2568	11	0.74	81.1%	107.0	2568
12	0.75	81.1%	107.0	2568	12	0.74	81.1%	107.0	2568	12	0.70	81.1%	107.0	2568
13	1.30	81.1%	107.0	2568	13	1.31	81.1%	107.0	2568	13	1.40	81.1%	107.0	2568
14	1.10	81.1%	107.0	2568	14	1.14	81.1%	107.0	2568	14	1.22	81.1%	107.0	2568
15	0.70	81.1%	107.0	2568	15	0.59	81.1%	107.0	2568	15	0.53	81.2%	106.9	2566
16	1.20	81.1%	107.0	2568	16	0.69	81.1%	107.0	2568	16	0.68	81.1%	107.0	2568
17	1.10	81.1%	107.0	2568	17	0.71	81.1%	107.0	2568	17	0.64	81.1%	107.0	2568
18	1.30	81.1%	107.0	2568	18	1.49	81.1%	107.0	2568	18	1.59	81.1%	107.0	2568
19	0.45	85.2%	94.9	2278	19	0.32	78.7%	63.0	1512	19	0.22	62.2%	34.1	817
20	0.90	81.1%	107.0	2568	20	0.82	81.1%	107.0	2568	20	0.80	81.1%	107.0	2568
21	1.25	81.1%	107.0	2568	21	1.35	81.1%	107.0	2568	21	1.41	81.1%	107.0	2568
22	1.10	81.1%	107.0	2568	22	0.92	81.1%	107.0	2568	22	0.94	81.1%	107.0	2568
23	1.00	81.1%	107.0	2568	23	0.91	81.1%	107.0	2568	23	0.89	81.1%	107.0	2568
24	0.80	81.1%	107.0	2568	24	0.79	81.1%	107.0	2568	24	0.79	81.1%	107.0	2568
25	0.30	75.9%	56.3	1351	25	0.54	81.1%	107.0	2568	25	0.53	81.3%	106.8	2564
26	0.75	81.1%	107.0	2568	26	0.77	81.1%	107.0	2568	26	0.77	81.1%	107.0	2568
27	1.10	81.1%	107.0	2568	27	1.28	81.1%	107.0	2568	27	1.38	81.1%	107.0	2568
28	0.00	-7.8%	0.0	0	28	0.10	28.7%	6.9	165	28	1.00	81.1%	107.0	2568
29	1.30	81.1%	107.0	2568	29	1.15	81.1%	107.0	2568	29	1.24	81.1%	107.0	2568
30	0.90	81.1%	107.0	2568	30	0.97	81.1%	107.0	2568	30	0.99	81.1%	107.0	2568
31	0.40	84.5%	83.7	2008	31	0.51	83.0%	104.5	2507	31				

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

Tabla 15: Energía anual con turbina Francis.

Octubre					Noviembre					Diciembre				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)
1	0.83	81.1%	107.0	2568	1	0.84	81.1%	107.0	2568	1	0.00	-7.8%	0.0	0
2	0.25	68.2%	42.4	1018	2	0.86	81.1%	107.0	2568	2	0.00	-7.8%	0.0	0
3	0.59	81.1%	107.0	2568	3	0.56	81.1%	107.0	2568	3	0.00	-7.8%	0.0	0
4	0.39	84.1%	81.0	1943	4	0.29	74.6%	53.7	1290	4	0.33	79.3%	64.5	1548
5	0.96	81.1%	107.0	2568	5	0.98	81.1%	107.0	2568	5	1.01	81.1%	107.0	2568
6	0.79	81.1%	107.0	2568	6	0.80	81.1%	107.0	2568	6	0.81	81.1%	107.0	2568
7	0.25	68.1%	42.2	1013	7	0.37	82.8%	75.4	1811	7	0.54	81.1%	107.0	2568
8	0.44	85.3%	92.1	2210	8	0.41	84.8%	85.5	2052	8	0.38	83.5%	78.2	1877
9	0.53	81.2%	106.9	2566	9	0.46	85.2%	96.0	2303	9	0.38	83.5%	78.2	1877
10	0.37	83.0%	76.3	1831	10	1.10	81.1%	107.0	2568	10	0.65	81.1%	107.0	2568
11	0.71	81.1%	107.0	2568	11	0.67	81.1%	107.0	2568	11	0.64	81.1%	107.0	2568
12	0.67	81.1%	107.0	2568	12	0.63	81.1%	107.0	2568	12	0.60	81.1%	107.0	2568
13	1.49	81.1%	107.0	2568	13	1.58	81.1%	107.0	2568	13	1.66	81.1%	107.0	2568
14	1.30	81.1%	107.0	2568	14	1.37	81.1%	107.0	2568	14	1.45	81.1%	107.0	2568
15	0.47	84.9%	98.7	2369	15	0.41	84.8%	85.6	2055	15	0.35	81.0%	69.4	1664
16	0.67	81.1%	107.0	2568	16	0.65	81.1%	107.0	2568	16	0.64	81.1%	107.0	2568
17	0.58	81.1%	107.0	2568	17	0.51	82.7%	105.0	2520	17	0.45	85.3%	94.6	2270
18	1.70	81.1%	107.0	2568	18	1.80	81.1%	107.0	2568	18	1.90	81.1%	107.0	2568
19	0.29	74.2%	53.0	1271	19	1.00	81.1%	107.0	2568	19	0.50	83.6%	103.4	2481
20	0.77	81.1%	107.0	2568	20	0.75	81.1%	107.0	2568	20	0.72	81.1%	107.0	2568
21	1.47	81.1%	107.0	2568	21	1.53	81.1%	107.0	2568	21	1.59	81.1%	107.0	2568
22	0.95	81.1%	107.0	2568	22	0.97	81.1%	107.0	2568	22	0.98	81.1%	107.0	2568
23	0.87	81.1%	107.0	2568	23	0.85	81.1%	107.0	2568	23	0.83	81.1%	107.0	2568
24	0.79	81.1%	107.0	2568	24	0.79	81.1%	107.0	2568	24	0.79	81.1%	107.0	2568
25	0.52	82.1%	105.9	2543	25	0.51	82.8%	104.9	2517	25	0.50	83.4%	103.7	2489
26	0.76	81.1%	107.0	2568	26	0.76	81.1%	107.0	2568	26	0.76	81.1%	107.0	2568
27	1.47	81.1%	107.0	2568	27	1.57	81.1%	107.0	2568	27	1.66	81.1%	107.0	2568
28	0.40	84.5%	83.7	2008	28	0.90	81.1%	107.0	2568	28	1.30	81.1%	107.0	2568
29	1.33	81.1%	107.0	2568	29	1.42	81.1%	107.0	2568	29	1.50	81.1%	107.0	2568
30	1.01	81.1%	107.0	2568	30	1.03	81.1%	107.0	2568	30	1.05	81.1%	107.0	2568
31	1.30	81.1%	107.0	2568	31					31	0.80	81.1%	107.0	2568

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

3.3.2. Cálculo de eficiencia de turbina Ossberger (Banki).

Según RETScreen international, para hallar la eficiencia de una turbina Banki, se realiza los siguientes cálculos:

- Caudal mínimo (Q_{min}): A través de la ecuación 34, se tiene:

$$Q_{min} = \frac{1}{6} * 0.533 \frac{m^3}{s} = 0.08 \frac{m^3}{s}$$

- Caudal de máxima eficiencia (Q_p): Mediante la ecuación 35, se deduce:

$$Q_p = Q_d$$

- Eficiencia de flujos (e_q): Se calcula haciendo uso de la ecuación 36:

$$e_q = 0.79 - 0.15 * \left(\frac{0.533 \frac{m^3}{s} - 0.08 \frac{m^3}{s}}{0.533 \frac{m^3}{s}} \right) - 1.37 * \left(\frac{0.533 \frac{m^3}{s} - 0.08 \frac{m^3}{s}}{0.533 \frac{m^3}{s}} \right)^{14}$$

$$= 0.5219$$

En la figura 28 se muestra la curva de rendimiento de la turbina Banki para distintos caudales de tratamiento aplicando la fórmula de eficiencia de flujos para dicha turbina.

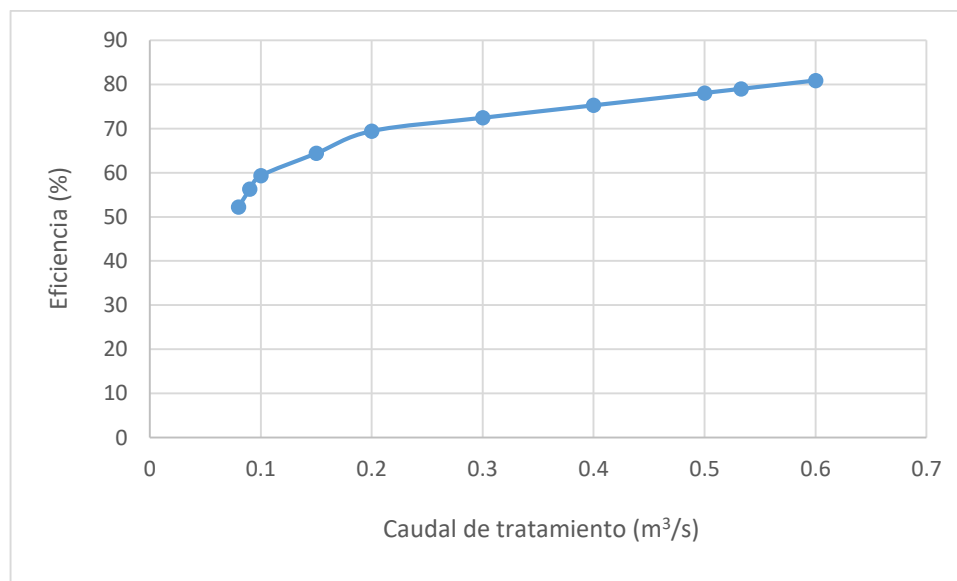


Figura 28: Curva de rendimiento de turbina Banki

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento de Hortifrut-Tal S.A

En la tabla 16 se muestra el valor de la eficiencia de turbina Banki (e_q) para distintos caudales de tratamiento.

Tabla 16: Eficiencia de turbina Banki

Caudal de tratamiento (m ³ /s)	Eficiencia de turbina (eq)
0.08	52.19
0.09	56.25
0.1	59.34
0.15	64.39
0.2	69.44
0.3	72.44
0.4	75.26
0.5	78.07
0.533	79
0.6	80.89

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento de Hortifrut-Tal S.A

Potencia generada utilizando una turbina Banki

$$P_T = \rho \left(998.29 \frac{kg}{m^3} \right) Qd \left(0.533 \frac{m^3}{s} \right) H_n (25.265 m) G \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) * \eta (0.79) \\ * (10^{-3}) = 104.18 kW$$

En la tabla 17, 18, 19,20, se presenta la energía que se puede generar utilizando una turbina Banki, el cual tiene como base el registro de caudal de tratamiento diario de la empresa Hortifrut-Tal. La energía anual que puede producir, es obtenida de la suma aritmética de la energía generada durante las 365 días, la cual da un valor de 838.312 MW- h al año.

3.3.3. Selección de turbina:

El análisis energético demuestra que mediante la utilización de una turbina Francis, se genera más energía anual (860.047 MW.h), en comparación con una turbina Banki (838.312 MW.h), utilizando los mismos parámetros de caudal de diseño y altura neta.

Tabla 17: Energía promedio anual con turbina Banki.

Enero					Febrero					Marzo				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)
1	1.15	79.0%	104.2	2500	1	0.93	79.0%	104.2	2500	1	0.35	80.9%	70.0	1680
2	1.20	79.0%	104.2	2500	2	1.00	79.0%	104.2	2500	2	0.55	79.0%	104.2	2500
3	1.00	79.0%	104.2	2500	3	0.85	79.0%	104.2	2500	3	0.90	79.0%	104.2	2500
4	1.30	79.0%	104.2	2500	4	1.20	79.0%	104.2	2500	4	1.15	79.0%	104.2	2500
5	0.80	79.0%	104.2	2500	5	0.75	79.0%	104.2	2500	5	0.85	79.0%	104.2	2500
6	0.95	79.0%	104.2	2500	6	0.80	79.0%	104.2	2500	6	0.30	79.4%	59.0	1415
7	1.13	79.0%	104.2	2500	7	1.15	79.0%	104.2	2500	7	1.30	79.0%	104.2	2500
8	0.92	79.0%	104.2	2500	8	0.60	79.0%	104.2	2500	8	0.40	82.3%	81.4	1954
9	1.30	79.0%	104.2	2500	9	0.70	79.0%	104.2	2500	9	1.30	79.0%	104.2	2500
10	1.10	79.0%	104.2	2500	10	0.95	79.0%	104.2	2500	10	1.20	79.0%	104.2	2500
11	0.80	79.0%	104.2	2500	11	0.80	79.0%	104.2	2500	11	1.30	79.0%	104.2	2500
12	0.84	79.0%	104.2	2500	12	1.30	79.0%	104.2	2500	12	0.70	79.0%	104.2	2500
13	0.91	79.0%	104.2	2500	13	0.75	79.0%	104.2	2500	13	0.70	79.0%	104.2	2500
14	0.89	79.0%	104.2	2500	14	0.73	79.0%	104.2	2500	14	0.50	85.1%	105.2	2526
15	0.87	79.0%	104.2	2500	15	1.30	79.0%	104.2	2500	15	0.93	79.0%	104.2	2500
16	0.85	79.0%	104.2	2500	16	0.69	79.0%	104.2	2500	16	0.95	79.0%	104.2	2500
17	1.30	79.0%	104.2	2500	17	1.10	79.0%	104.2	2500	17	0.96	79.0%	104.2	2500
18	0.81	79.0%	104.2	2500	18	0.66	79.0%	104.2	2500	18	0.98	79.0%	104.2	2500
19	1.20	79.0%	104.2	2500	19	0.64	79.0%	104.2	2500	19	0.99	79.0%	104.2	2500
20	0.77	79.0%	104.2	2500	20	1.20	79.0%	104.2	2500	20	1.01	79.0%	104.2	2500
21	1.20	79.0%	104.2	2500	21	0.60	79.0%	104.2	2500	21	1.02	79.0%	104.2	2500
22	0.73	79.0%	104.2	2500	22	0.58	79.0%	104.2	2500	22	1.03	79.0%	104.2	2500
23	0.90	79.0%	104.2	2500	23	1.00	79.0%	104.2	2500	23	1.05	79.0%	104.2	2500
24	0.95	79.0%	104.2	2500	24	0.70	79.0%	104.2	2500	24	0.85	79.0%	104.2	2500
25	0.45	83.7%	93.2	2236	25	0.52	85.7%	110.6	2655	25	1.08	79.0%	104.2	2500
26	0.65	79.0%	104.2	2500	26	0.80	79.0%	104.2	2500	26	1.09	79.0%	104.2	2500
27	0.63	79.0%	104.2	2500	27	0.48	84.6%	101.3	2430	27	0.95	79.0%	104.2	2500
28	1.15	79.0%	104.2	2500	28	0.46	84.1%	96.6	2319	28	1.12	79.0%	104.2	2500
29	0.59	79.0%	104.2	2500						29	0.90	79.0%	104.2	2500
30	0.57	79.0%	104.2	2500						30	1.15	79.0%	104.2	2500
31	0.50	85.1%	105.2	2526						31	1.17	79.0%	104.2	2500

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

Tabla 18: Energía promedio anual con turbina Banki.

Abril					Mayo					Junio				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energía (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energía (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energía (kW-h)
1	0.00	71.0%	0.0	0	1	0.90	79.0%	104.2	2500	1	1.30	79.0%	104.2	2500
2	0.00	71.0%	0.0	0	2	0.95	79.0%	104.2	2500	2	0.60	79.0%	104.2	2500
3	0.00	71.0%	0.0	0	3	1.10	79.0%	104.2	2500	3	0.80	79.0%	104.2	2500
4	0.80	79.0%	104.2	2500	4	0.75	79.0%	104.2	2500	4	1.00	79.0%	104.2	2500
5	0.50	85.1%	105.2	2526	5	1.30	79.0%	104.2	2500	5	0.55	79.0%	104.2	2500
6	0.45	83.7%	93.2	2236	6	0.85	79.0%	104.2	2500	6	0.35	80.9%	70.0	1680
7	0.95	79.0%	104.2	2500	7	0.40	82.3%	81.4	1954	7	0.20	76.6%	37.9	910
8	0.70	79.0%	104.2	2500	8	0.30	79.4%	59.0	1415	8	0.80	79.0%	104.2	2500
9	1.30	79.0%	104.2	2500	9	0.65	79.0%	104.2	2500	9	1.30	79.0%	104.2	2500
10	1.10	79.0%	104.2	2500	10	1.10	79.0%	104.2	2500	10	0.50	85.1%	105.2	2526
11	1.20	79.0%	104.2	2500	11	1.00	79.0%	104.2	2500	11	0.75	79.0%	104.2	2500
12	0.90	79.0%	104.2	2500	12	0.70	79.0%	104.2	2500	12	0.95	79.0%	104.2	2500
13	0.65	79.0%	104.2	2500	13	1.30	79.0%	104.2	2500	13	1.10	79.0%	104.2	2500
14	0.30	79.4%	59.0	1415	14	1.10	79.0%	104.2	2500	14	1.20	79.0%	104.2	2500
15	0.80	79.0%	104.2	2500	15	0.30	79.4%	59.0	1415	15	1.00	79.0%	104.2	2500
16	1.10	79.0%	104.2	2500	16	0.00	71.0%	0.0	0	16	0.45	83.7%	93.2	2236
17	0.95	79.0%	104.2	2500	17	0.75	79.0%	104.2	2500	17	0.60	79.0%	104.2	2500
18	1.30	79.0%	104.2	2500	18	1.30	79.0%	104.2	2500	18	1.20	79.0%	104.2	2500
19	0.80	79.0%	104.2	2500	19	0.45	83.7%	93.2	2236	19	0.60	79.0%	104.2	2500
20	1.10	79.0%	104.2	2500	20	0.70	79.0%	104.2	2500	20	0.80	79.0%	104.2	2500
21	1.38	79.0%	104.2	2500	21	1.10	79.0%	104.2	2500	21	1.30	79.0%	104.2	2500
22	1.44	79.0%	104.2	2500	22	0.72	79.0%	104.2	2500	22	0.40	82.3%	81.4	1954
23	1.50	79.0%	104.2	2500	23	0.71	79.0%	104.2	2500	23	0.75	79.0%	104.2	2500
24	0.50	85.1%	105.2	2526	24	0.70	79.0%	104.2	2500	24	1.00	79.0%	104.2	2500
25	0.20	76.6%	37.9	910	25	0.70	79.0%	104.2	2500	25	0.80	79.0%	104.2	2500
26	0.70	79.0%	104.2	2500	26	0.69	79.0%	104.2	2500	26	0.81	79.0%	104.2	2500
27	1.20	79.0%	104.2	2500	27	0.68	79.0%	104.2	2500	27	1.25	79.0%	104.2	2500
28	0.30	79.4%	59.0	1415	28	0.67	79.0%	104.2	2500	28	0.60	79.0%	104.2	2500
29	0.65	79.0%	104.2	2500	29	0.66	79.0%	104.2	2500	29	0.90	79.0%	104.2	2500
30	1.30	79.0%	104.2	2500	30	0.69	79.0%	104.2	2500	30	0.85	79.0%	104.2	2500
31					31					31				

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

Tabla 19: Energía promedio anual con turbina Banki.

Julio					Agosto					Setiembre				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)
1	0.80	79.0%	104.2	2500	1	0.00	71.0%	0.0	0	1	0.82	79.0%	104.2	2500
2	0.35	80.9%	70.0	1680	2	0.00	71.0%	0.0	0	2	0.14	74.9%	25.5	611
3	0.70	79.0%	104.2	2500	3	0.00	71.0%	0.0	0	3	0.62	79.0%	104.2	2500
4	0.65	79.0%	104.2	2500	4	0.59	79.0%	104.2	2500	4	0.49	84.7%	102.2	2453
5	1.00	79.0%	104.2	2500	5	0.91	79.0%	104.2	2500	5	0.94	79.0%	104.2	2500
6	1.20	79.0%	104.2	2500	6	0.76	79.0%	104.2	2500	6	0.77	79.0%	104.2	2500
7	0.50	85.1%	105.2	2526	7	0.13	74.8%	24.8	596	7	0.85	79.0%	104.2	2500
8	0.55	79.0%	104.2	2500	8	0.49	84.9%	103.9	2492	8	0.47	84.1%	96.8	2324
9	0.40	82.3%	81.4	1954	9	0.69	79.0%	104.2	2500	9	0.61	79.0%	104.2	2500
10	0.20	76.6%	37.9	910	10	0.35	80.9%	70.0	1680	10	0.22	77.1%	41.6	998
11	0.60	79.0%	104.2	2500	11	0.78	79.0%	104.2	2500	11	0.74	79.0%	104.2	2500
12	0.75	79.0%	104.2	2500	12	0.74	79.0%	104.2	2500	12	0.70	79.0%	104.2	2500
13	1.30	79.0%	104.2	2500	13	1.31	79.0%	104.2	2500	13	1.40	79.0%	104.2	2500
14	1.10	79.0%	104.2	2500	14	1.14	79.0%	104.2	2500	14	1.22	79.0%	104.2	2500
15	0.70	79.0%	104.2	2500	15	0.59	79.0%	104.2	2500	15	0.53	86.0%	113.3	2718
16	1.20	79.0%	104.2	2500	16	0.69	79.0%	104.2	2500	16	0.68	79.0%	104.2	2500
17	1.10	79.0%	104.2	2500	17	0.71	79.0%	104.2	2500	17	0.64	79.0%	104.2	2500
18	1.30	79.0%	104.2	2500	18	1.49	79.0%	104.2	2500	18	1.59	79.0%	104.2	2500
19	0.45	83.7%	93.2	2236	19	0.32	80.1%	64.1	1538	19	0.22	77.2%	42.2	1014
20	0.90	79.0%	104.2	2500	20	0.82	79.0%	104.2	2500	20	0.80	79.0%	104.2	2500
21	1.25	79.0%	104.2	2500	21	1.35	79.0%	104.2	2500	21	1.41	79.0%	104.2	2500
22	1.10	79.0%	104.2	2500	22	0.92	79.0%	104.2	2500	22	0.94	79.0%	104.2	2500
23	1.00	79.0%	104.2	2500	23	0.91	79.0%	104.2	2500	23	0.89	79.0%	104.2	2500
24	0.80	79.0%	104.2	2500	24	0.79	79.0%	104.2	2500	24	0.79	79.0%	104.2	2500
25	0.30	79.4%	59.0	1415	25	0.54	79.0%	104.2	2500	25	0.53	85.9%	113.0	2711
26	0.75	79.0%	104.2	2500	26	0.77	79.0%	104.2	2500	26	0.77	79.0%	104.2	2500
27	1.10	79.0%	104.2	2500	27	1.28	79.0%	104.2	2500	27	1.38	79.0%	104.2	2500
28	0.00	71.0%	0.0	0	28	0.10	73.7%	17.7	424	28	1.00	79.0%	104.2	2500
29	1.30	79.0%	104.2	2500	29	1.15	79.0%	104.2	2500	29	1.24	79.0%	104.2	2500
30	0.90	79.0%	104.2	2500	30	0.97	79.0%	104.2	2500	30	0.99	79.0%	104.2	2500
31	0.40	82.3%	81.4	1954	31	0.51	85.3%	107.3	2576	31				

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

Tabla 20: Energía promedio anual con turbina Banki.

Octubre					Noviembre					Diciembre				
Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)	Día	Caudal (m3/s)	Eficiencia	Potencia (Kw)	Energia (kW-h)
1	0.83	79.0%	104.2	2500	1	0.84	79.0%	104.2	2500	1	0.00	71.0%	0.0	0
2	0.03	71.9%	5.7	137	2	0.86	79.0%	104.2	2500	2	0.00	71.0%	0.0	0
3	0.59	79.0%	104.2	2500	3	0.56	79.0%	104.2	2500	3	0.00	71.0%	0.0	0
4	0.39	82.0%	78.9	1895	4	0.29	79.2%	57.0	1369	4	0.19	76.4%	36.5	875
5	0.96	79.0%	104.2	2500	5	0.98	79.0%	104.2	2500	5	1.01	79.0%	104.2	2500
6	0.79	79.0%	104.2	2500	6	0.80	79.0%	104.2	2500	6	0.81	79.0%	104.2	2500
7	0.20	76.7%	38.1	914	7	0.37	81.4%	74.1	1779	7	0.54	79.0%	104.2	2500
8	0.44	83.3%	89.9	2158	8	0.41	82.5%	83.2	1996	8	0.38	81.7%	76.5	1836
9	0.53	86.0%	113.2	2717	9	0.46	83.8%	94.4	2266	9	0.38	81.7%	76.5	1836
10	0.09	73.4%	15.6	374	10	1.10	79.0%	104.2	2500	10	0.65	79.0%	104.2	2500
11	0.71	79.0%	104.2	2500	11	0.67	79.0%	104.2	2500	11	0.64	79.0%	104.2	2500
12	0.67	79.0%	104.2	2500	12	0.63	79.0%	104.2	2500	12	0.60	79.0%	104.2	2500
13	1.49	79.0%	104.2	2500	13	1.58	79.0%	104.2	2500	13	1.66	79.0%	104.2	2500
14	1.30	79.0%	104.2	2500	14	1.37	79.0%	104.2	2500	14	1.45	79.0%	104.2	2500
15	0.47	84.2%	98.0	2352	15	0.41	82.5%	83.3	1999	15	0.35	80.7%	69.1	1658
16	0.67	79.0%	104.2	2500	16	0.65	79.0%	104.2	2500	16	0.64	79.0%	104.2	2500
17	0.58	79.0%	104.2	2500	17	0.51	85.4%	108.5	2603	17	0.45	83.6%	92.8	2227
18	1.70	79.0%	104.2	2500	18	1.80	79.0%	104.2	2500	18	1.90	79.0%	104.2	2500
19	0.12	74.3%	21.9	525	19	1.00	79.0%	104.2	2500	19	0.50	85.1%	105.2	2526
20	0.77	79.0%	104.2	2500	20	0.75	79.0%	104.2	2500	20	0.72	79.0%	104.2	2500
21	1.47	79.0%	104.2	2500	21	1.53	79.0%	104.2	2500	21	1.59	79.0%	104.2	2500
22	0.95	79.0%	104.2	2500	22	0.97	79.0%	104.2	2500	22	0.98	79.0%	104.2	2500
23	0.87	79.0%	104.2	2500	23	0.85	79.0%	104.2	2500	23	0.83	79.0%	104.2	2500
24	0.79	79.0%	104.2	2500	24	0.79	79.0%	104.2	2500	24	0.79	79.0%	104.2	2500
25	0.52	85.7%	110.6	2654	25	0.51	85.4%	108.2	2597	25	0.50	85.1%	105.9	2541
26	0.76	79.0%	104.2	2500	26	0.76	79.0%	104.2	2500	26	0.76	79.0%	104.2	2500
27	1.47	79.0%	104.2	2500	27	1.57	79.0%	104.2	2500	27	1.66	79.0%	104.2	2500
28	0.40	82.3%	81.4	1954	28	0.90	79.0%	104.2	2500	28	1.30	79.0%	104.2	2500
29	1.33	79.0%	104.2	2500	29	1.42	79.0%	104.2	2500	29	1.50	79.0%	104.2	2500
30	1.01	79.0%	104.2	2500	30	1.03	79.0%	104.2	2500	30	1.05	79.0%	104.2	2500
31	1.30	79.0%	104.2	2500	31					31	0.80	79.0%	104.2	2500

Fuente: Elaboración propia de caudal de tratamiento diario de Hortifrut-Tal S.A

3.3.4. Velocidad específica de turbina

A continuación, se calcula la velocidad específica mediante la ecuación 21.

Para hallar el número de revoluciones de la turbina (N), se debe de tener en cuenta una serie de valores que se encuentran en función de la frecuencia de la red eléctrica (tabla 21).

La frecuencia eléctrica con que se trabaja en el Perú es de 60 Hz. Se eligió un generador que gira a 1800 revoluciones por minuto, por ser esta las rpm más común en generadores industriales. A continuación, se procede a calcular el número específico de revoluciones y la velocidad de embalamiento de la turbina (N_r), la cual es la máxima velocidad que puede girar la turbina cuando pasa del estado de carga a vacío por falla de regulación.

$$N_s = 1800 (106.9 \text{ kw})^{0.5} * (25.265 \text{ m})^{-1.25} = 328.56$$

$$N_r = 1.8 * 1800 \text{ rpm} = 3240 \text{ rpm}$$

Tabla 21: Velocidades posibles en generadores interconectados a la red eléctrica

Nº de pares de polos por fase	50Hz		60Hz	
	Rev/s	Rpm	Rev/s	rpm
1	50	3000	60	3600
2	25	1500	30	1800
3	16,66	1000	20	1200
4	12,50	750	15	900
5	10	600	12	720

Fuente: (Energetica21)

Mediante el análisis energético, se determinó que una turbina Francis es la mejor opción para la hidroeléctrica. Se observa que hallando el número específico de revoluciones, se especifica qué tipo de turbina Francis sería la más adecuada. De acuerdo a la tabla 22, la velocidad específica calculada se encuentra dentro de los parámetros de la turbina Francis rápida, por la cual ésta es la mejor alternativa.

Tabla 22 : Rango de aplicación para las turbinas hidráulicas

Tipo de Turbina	Nq	Ns
Turbina Pelton de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Pelton de 2 toberas	4 - 13	14 – 42
Turbina Michell Banki	18 - 60	60 – 200
Turbina Francis Lenta	18 - 38	69 – 125
Turbina Francis Normal	38 - 68	125 – 225
Turbina Francis Rápida	68 - 135	225 – 450
Turbina Axial	105 - 300	350 - 1000

Fuente: (ORDÓÑEZ ORTIZ, 2010)

3.4. Determinar la potencia teórica y neta de minicentral hidroeléctrica

La energía potencial del agua, es obtenida mediante los parámetros de caudal de diseño y altura neta.

La potencia teórica se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$P_T = \rho \left(998.29 \frac{kg}{m^3} \right) Qd \left(0.533 \frac{m^3}{s} \right) Hb (26 m) G \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) (10^{-3}) = 135.71 kw$$

Puesto que el sistema hidroeléctrico cuenta con su propia eficiencia, la cual incluye, las pérdidas de energía producidas en la tubería forzada, turbina y generador principalmente. En esta parte, solo se limitará a calcular la potencia que puede generarse hasta la turbina hidráulica.

Podemos definir lo siguiente:

- Pérdidas en tubería forzada : 2.83% $\Rightarrow H_n = 25.265 m$
- Pérdidas en turbina: 18.87 % $\Rightarrow \eta_{turbina} = 81.13 \%$

Por lo que:

$$\begin{aligned} P_{Turbina} &= \left(998.29 \frac{kg}{m^3} \right) \left(0.533 \frac{m^3}{s} \right) (25.265 m) \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) (0.8113)(10^{-3}) \\ &= 106.9 kW \end{aligned}$$

Para obtener la energía eléctrica que puede generar la mini central, basta con multiplicar la energía generada por las horas que se mantendrá en funcionamiento. El tiempo que se proyecta para su funcionamiento, incluye las horas punta y fuera de punta, las cuales dan un total de 20 horas diarias.

Limitando el análisis hasta la turbina, la energía que se puede generar es:

$$EE_{generada} = 106.9 kW * 20 Hr = 2138 kWh$$

3.5. Seleccionar generador eléctrico

3.5.1. Velocidad de rotación síncrona

La velocidad de rotación síncrona, se puede determinar mediante la ecuación 22:

$$N' = 328.56 * (106.9W)^{-0.5} * (25.265 m)^{1.25} = 1800 rpm$$

3.5.2. Número de polos del generador:

El número de polos del generador se calcula a través de la ecuación 23.

$$N_o P_o = \frac{120 * 60}{1800} = 4$$

3.5.3. Potencia generada por el generador

El valor de rendimiento del generador, según el fabricante, oscila entre el 92 y 98 %. Se eligió un rendimiento del 98 %.

El factor de potencia del generador, es proporcionado por el fabricante, el cual es de 0.8.

La máxima potencia que puede entregar el generador se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$P_g = P_t * \eta_g = 106.9 \text{ kW} * 0.98 = 104.76 \text{ kW}$$

La potencia aparente del alternador se determina a través de la ecuación 37

$$S_g = \frac{P_g}{\cos\phi_g} = \frac{104.76 \text{ kW}}{0.8} = 130.95 \text{ kVA}$$

Intensidad por fase se calcula a través de la ecuación 41

$$I_g = \frac{104760 \text{ w}}{440 \text{ V} * \sqrt{3} * \cos(0.8)} = 137.48 \text{ A}$$

3.5.4. Selección del generador eléctrico

De la tabla 23, de la firma WEG; catálogo de alternadores trifásicos, se selecciona el generador GTA251AIHD, el cual a 80 °C, desarrollará una potencia aparente nominal de 137 KVA.

Características técnicas:

12 Terminales / 4 Polos

- _ T = 80°C, temperatura ambiente = 27°C. Para los demás T, temperatura ambiente = 40°C
- _ 480 / 240 V (60 Hz) | 440 / 220 V (60 Hz) | 380 / 190 V (60 Hz) | Cos ϕ = 0,8

Tabla 23 : Catálogo de alternadores trifásicos

MODELO	ΔT	480V - Y					440V - Y				
		240V - YY					220V - YY				
		80°C	105°C	125°C	150°C	163°C	80°C	105°C	125°C	150°C	163°C
GTA161AISR	kVA	12,3	14,1	15,4	15,9	15,9	11,0	12,6	13,7	14,7	15,3
	kW	9,8	11,3	12,3	12,7	12,7	8,8	10,1	11,0	11,8	12,2
GTA161AIHS	kVA	14,6	16,8	18,3	19,6	20,3	14,0	16,0	17,5	18,7	20,0
	kW	11,7	13,4	14,6	15,7	16,2	11,2	12,8	14,0	15,0	16,0
GTA161AIHH	kVA	16,9	19,4	21,1	22,6	23,5	15,5	17,7	19,3	20,7	21,5
	kW	13,5	15,5	16,9	18,1	18,8	12,4	14,2	15,4	16,6	17,2
GTA161AIHI	kVA	20,8	23,8	26,0	28,5	29,7	20,2	23,2	25,3	27,1	28,1
	kW	16,6	19,0	20,8	22,8	23,8	16,2	18,6	20,2	21,7	22,5
GTA161AIHJ	kVA	21,8	25,0	27,3	30,0	31,1	20,1	23,0	27,0	28,0	29,0
	kW	17,4	20,0	21,8	24,0	24,9	16,1	18,4	21,6	22,4	23,2
GTA162AIVD	kVA	25,9	29,7	42,0	44,0	46,0	29,4	33,7	42,0	44,0	46,0
	kW	20,7	23,8	33,6	35,2	36,8	23,5	27,0	33,6	35,2	36,8
GTA201AIHS	kVA	43,4	49,7	54,3	59,5	62,0	40,8	46,7	51,0	55,8	58,2
	kW	34,7	39,8	43,4	47,6	49,6	32,6	37,4	40,8	44,6	46,6
GTA201AIHV	kVA	56,4	64,6	70,5	77,2	81,0	54,5	62,4	68,1	72,8	75,7
	kW	45,1	51,7	56,4	61,8	64,8	43,6	49,9	54,5	58,2	60,6
GTA201AIHB	kVA	68,5	78,5	85,6	92,2	92,2	60,4	69,2	75,5	80,7	85,0
	kW	54,8	62,8	68,5	73,8	73,8	48,3	55,4	60,4	64,6	68,0
GTA201AIHE	kVA	66,1	75,7	88,0	95,0	97,0	66,0	75,6	88,0	95,0	97,0
	kW	52,9	60,6	70,4	76,0	77,6	52,8	60,5	70,4	76,0	77,6
GTA202AIVJ	kVA	107,2	122,8	141,0	144,0	150,0	105,4	120,7	141,0	144,0	150,0
	kW	85,8	98,2	112,8	115,2	120,0	84,3	96,6	112,8	115,2	120,0
GTA251AIHD	kVA	140	161	175	188	189	137	157	171	183	190
	kW	112	129	140	150	151	110	126	137	146	152
GTA251AIHE	kVA	180	206	225	243	252	171	196	214	230	240
	kW	144	165	180	194	202	137	157	171	184	192

Fuente: (WEG)

3.6. Dimensionar banco de condensadores trifásicos

3.6.1. Compensación del factor de potencia:

Según la ecuación 40, la corriente nominal del generador es:

$$I_n = \frac{137000 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 440} = 179.77 \text{ A}$$

Potencia aparente nominal del alternador trifásico:

$$S_n = 137 \text{ KVA}$$

Ángulo de desfase corriente tensión:

$$\varphi_1 = \arccos(0.8) = 36.87^\circ$$

Potencia activa máxima a entregar en bornes del alternador según ecuación 39:

$$P_n[\text{kW}] = 137 \text{ KVA} * 0.8 = 109.6 \text{ kW}$$

Potencia reactiva máxima en bornes del alternador según ecuación 38:

$$Q_{m\acute{a}x} = P_{m\acute{a}x} * \tan\varphi_1 = 109.6 \text{ kW} * \tan 36.87^\circ = 82.20 \text{ kvar}$$

En la figura 29 se presenta el triángulo de potencias del generador, a plena carga sin compensación:

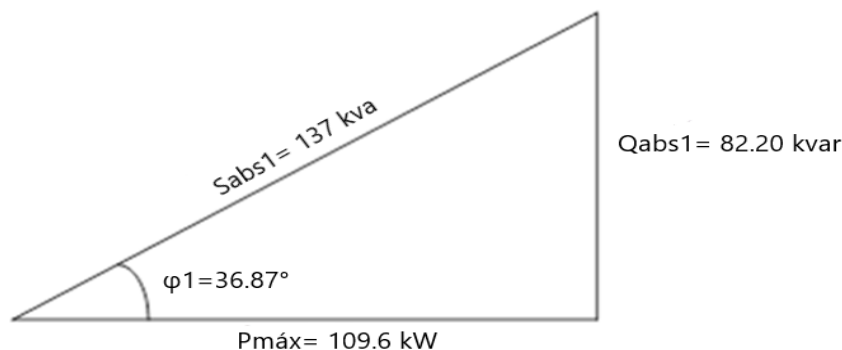


Figura 29: Triángulo de potencias del alternador trifásico de mini central hidráulica sin compensación del factor de potencia. Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Compensación de energía reactiva

Potencia generada con compensación

Factor de potencia mínimo deseado: $\cos\varphi_2 = 0.95$

Ángulo de fase, luego de la compensación individual:

$$\varphi_2 = \arccos 0.95 = 18.20^\circ$$

Potencia activa máxima en bornes del alternador: constante = 109.6 kW

Potencia reactiva absorbida según ecuación 38, luego de la compensación:

$$Q_2 = 109.6 \text{ kW} * \tan 18.2^\circ = 36.03 \text{ kvar}$$

Potencia aparente en bornes del alternado según ecuación 37, luego de la compensación:

$$S_2 = \frac{109.6 \text{ kW}}{0.95} = 104.12 \text{ kva}$$

En la figura 30, se muestra el triángulo de potencias con compensación del factor de potencia

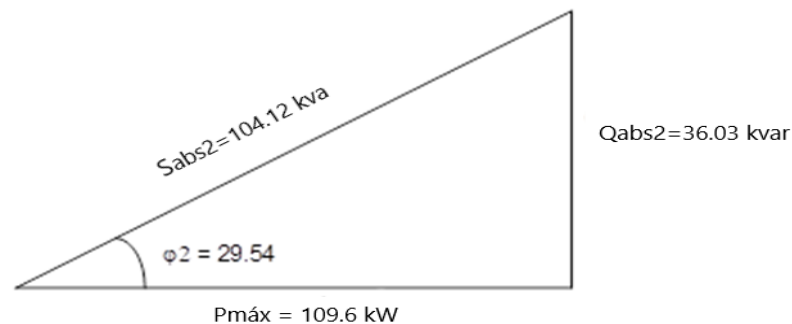


Figura 30: triángulo de potencias del alternador trifásico de la mini central hidráulica con compensación del factor de potencia. Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Cálculo de la Potencia del banco de condensadores trifásicos (Q_c)

Se calcula la potencia reactiva del banco de condensadores trifásicos a través de la ecuación 42.

$$Q_c = 82.20 - 36.03 = 46.17 \text{ kvar}$$

3.6.4. Cálculo de la Potencia por fase del banco de condensadores trifásicos:

Según ecuación 43.

$$Q_c - f = \frac{46.17 \text{ kvar}}{3} = 15.39 = 15390 \text{ var}$$

3.6.5. Cálculo de la Capacidad del capacitor compensador por fase (C_f)

Según ecuación 44

$$C_f = \frac{15390 \text{ var}}{440 \text{ V}^2 * 2\pi * 60 \text{ Hz}} = 2.109 * 10^{-4} \text{ F} = 0.2109 \text{ mf}$$

Del catálogo de condensadores trifásicos de la firma Promelsa (tabla 24), se elige:

Condensador código: POLB46150SK

Potencia nominal reactiva: 16.5 Kvar

Se instalarán tres condensadores a ser instalados en paralelo con el alternador trifásico, conectados en triángulo.

Tabla 24 : Características de bancos de condensadores trifásicos

Referencia Code	50 Hz				60 Hz				Dimensiones Dimensions (mm)	Peso Weight (kg)
	440 V		460 V		440 V		460 V			
	Q _n (kvar)	I _n (A)	Q _n (kvar)	I _n (A)	Q _n (kvar)	I _n (A)	Q _n (kvar)	I _n (A)		
POLB46025SK	2,3	3,0	2,5	3,1	2,7	3,6	3,0	3,8	85 x 175	0,9
POLB46050SK	4,6	6,0	5	6,3	5,5	7,2	6,0	7,5	85 x 175	0,9
POLB46075SK	6,9	9,0	7,5	9,4	8,2	10,8	9,0	11,3	85 x 245	1,1
POLB46100SK	9,1	12,0	10	12,6	11,0	14,4	12,0	15,1	85 x 245	1,1
POLB46125SK	11,4	15,0	12,5	15,7	13,7	18,0	15,0	18,8	85 x 245	1,2
POLB46150SK	13,7	18,0	15	18,8	16,5	21,6	18,0	22,6	85 x 245	1,4
POLB46200SK	18,3	24,0	20	25,1	22,0	28,8	24,0	30,1	110 x 245	1,9
POLB46250SK	22,9	30,0	25	31,4	27,4	36,0	30,0	37,7	110 x 245	2,1
POLB46300SK	27,4	36,0	30	37,7	32,9	43,2	36,6	45,2	136 x 220	3,0

Fuente: (PROMELSA)

Características técnicas del capacitor

- Tensión Nominal..... 440 V
- Frecuencia..... 60 Hz
- Dielectric..... Polipropileno
- Nivel de aislamiento... 3 kV
- Perdidas dieléctricas... < 0.2 W/kvar
- Pérdidas totales..... < 0.4 W/kvar
- Resistencia de descarga... Integradas
- Sobretensión máx..... 1.1 *Un



3.7. Seleccionar elementos de protección

3.7.1. Cálculo y selección de interruptor trifásico Termo magnético automático con caja moldeada en carga de 110 kW.

Aplicando la ecuación 41, la intensidad de línea será:

$$P = 110 \text{ kW}$$

$$110000 \text{ w} = \sqrt{3} * 440 * I * 0.80$$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$I = \frac{110000 \text{ w}}{\sqrt{3} * 440 \text{ v} * 0.80} = 180.42 \text{ A}$$

$$\text{Fases} = 3 \sim$$

Para el cálculo de la corriente de diseño, se agrega un factor de seguridad (1.25)

$$I_d = I * 1.25 = 180.42 \text{ A} * 1.25 = 225.53 \text{ A}$$

Del catálogo de la firma Schneider, se eligió un interruptor termo magnético de 200 A con código EZC250N3350N, cuyas características técnicas se encuentra en el anexo 3.

3.8. Seleccionar conductor trifásico

Dimensionamiento del conductor en 440 V trifásico, conexión desde generador hasta barra de 440 V

Se tiene:

- Longitud del conductor = 22 m,
- Factor de potencia: 0.8
- $P_t = 109.6 \text{ kw}$
- $U_n = 440 \text{ V}$
- Intensidad máxima de corriente en conductor: 180.42 A
- Rendimiento esperado del conductor: 98.5 %

3.8.1. Pérdidas en conductor según ecuación 48:

$$P_{Pcd} = (1 - 0.985) * 109.6 \text{ kw} = 1.644 \text{ kW}$$

3.8.2. Resistencia del conductor:

La resistencia del conductor se obtiene despejando R_L de la ecuación 49

$$P_{Pcd} (w) = 3 * R_L * I_L^2 \Rightarrow 1644 \text{ w} = 3 * R_L * 180.42^2 \text{ A}^2$$

Despejando:

$$R_L = \frac{1644 \text{ w}}{3 * 180.42^2 \text{ A}^2} = 0.016835 \Omega$$

3.8.3. Sección del conductor

De la ecuación 45 de sección del conductor es:

$$S_{cond} = \frac{0.0175 \frac{\Omega * mm^2}{m} * 22m}{0.016835 \Omega} = 22.87 \text{ mm}^2$$

En la tabla 25, se puede apreciar los diferentes calibres para conductores trifásicos

Se elige cable NYY-NYSY de 90°C, $S = 50 \text{ mm}^2$, con $I_n = 251 \text{ A}$, aire libre.

3.8.4. Cálculo de temperatura de operación del cable según ecuación 47:

$$T^{\circ}_{oper} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} + (90 \text{ }^{\circ}\text{C} - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}) * \left(\frac{180.42 \text{ A}}{251 \text{ A}} \right)^2 = 61.00 \text{ }^{\circ}\text{C} < 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.8.5. Cálculo de resistencia real del conductor:

Resistencia de la línea real despejando R_L de ecuación 45:

$$R_L = 0.0175 \frac{\Omega * mm^2}{m} * \frac{22 \text{ m}}{50 \text{ mm}^2} = 0.0077 \Omega$$

3.8.6. Caída de tensión real en línea según ecuación 46:

$$\Delta U_L = \sqrt{3} * 0.0077 \Omega * 180.42 A = 2.41 V$$

$$\Delta U_L (\%) = \frac{\Delta U_L * 100}{U_L} = \frac{2.41 V * 100}{440 V} = 0.55 \%$$

Tabla 25 : Capacidad de corriente para conductores trifásicos

CAPACIDAD DE CORRIENTE PARA CONDUCTORES TRIFASICOS										
CALIBRE		Temperatura ambiente: 30°C aire libre y 25°C enterrado TW, THW Y NNY Unipolar - 3 conductores por tubo								
Escala Métrica	Escala Americana	TW Tensión 660V Temp. Max. 60°C		THW Tensión 750V, Temp. Max. 75°C		NYY - NYSY Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 80°C			NYY - NYSY Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 90°C	
		Tubo	Aire	Tubo	Aire	Tubo	Aire	Enterrado	Aire	Enterrado
16		62	90	75	105	110	125	125	125	151
21.15	4	70	105	85	120					
25		80	120	95	140	143	165	160	168	193
33.62	2	95	140	115	160					
35		100	150	120	175	176	200	195	206	231
42.41	1	110	165	125	195					
50		125	185	145	220	217	245	230	251	271
53.51	1/0	125	195	150	230					
70		150	230	180	270	255	295	285	317	331
85.02	3/0	165	260	200	310					

Fuente. (Indeco)

3.8.7. Pérdida real de potencia en conductor según ecuación 49:

$$P_{pcd} = 3 * 0.0077 \Omega * 180.42^2 A^2 * 10^{-3} = 0.752 Kw$$

3.8.8. Rendimiento real del conductor:

$$\eta_L = \frac{P_U}{P_T} = \frac{109.6 kw}{(109.6 + 0.752)Kw} * 100 = 99.32 \%$$

En la figura 31, se muestra la disposición general del circuito eléctrico, turbogenerador y en el plano 1, se esquematiza la mini central hidroeléctrica con sus componentes mecánicos.

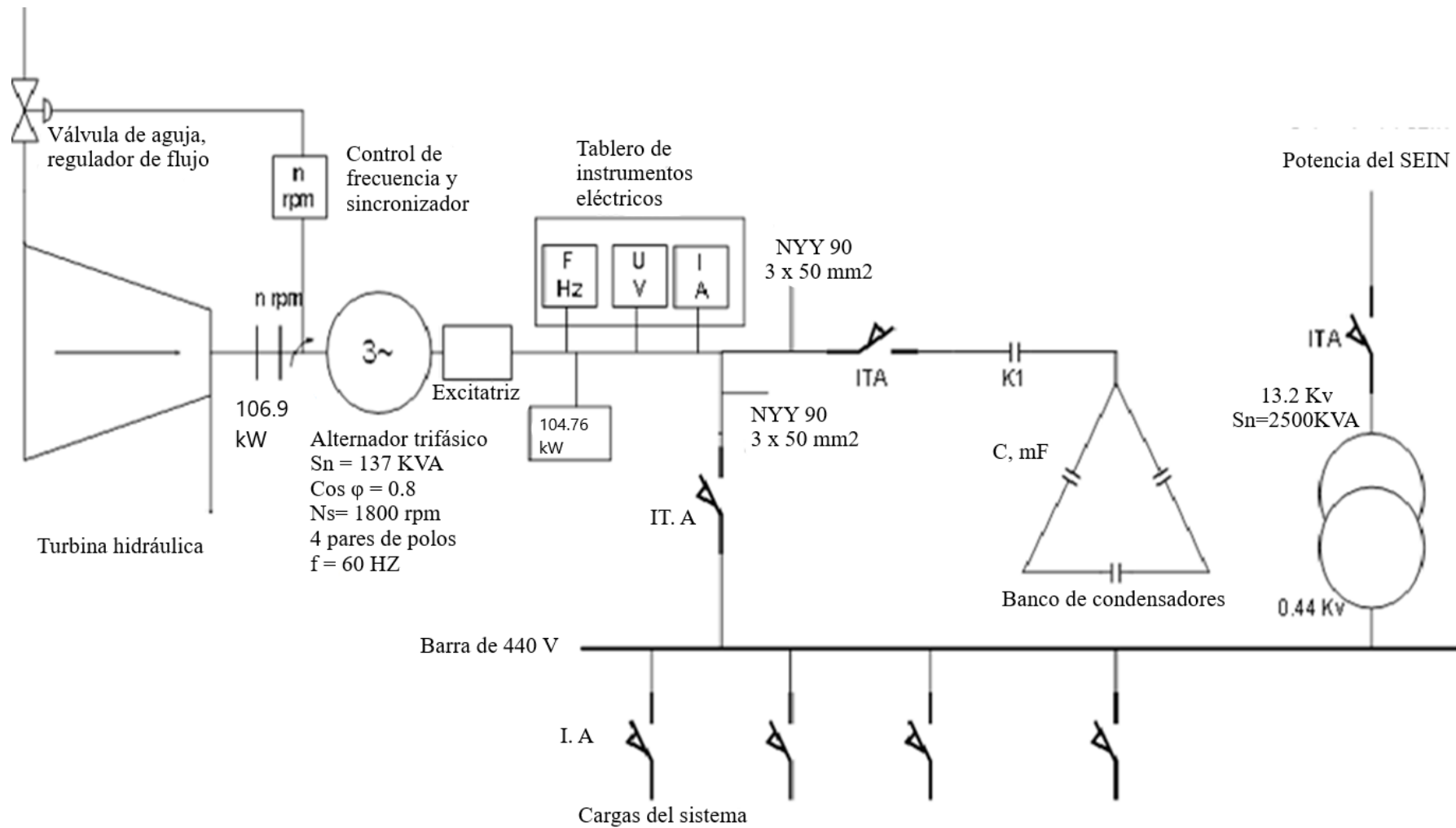


Figura 31: Disposición de turbogenerador hidráulico de Sn = 137 KVA

Fuente: Elaboración propia

3.9. Evaluar el costo de consumo de energía eléctrica, en base a facturas eléctricas

Hortifrut-Tal S.A.C, tiene contrato con la empresa Hidrandina para su suministro eléctrico en 22.9/13.2 kV, siendo cliente con tarifario MT2.

El costo de energía se determina, teniendo en cuenta el consumo de energía eléctrica en horas punta (entre las 18:00 – 23:00) y fuera de punta (entre las 00:00 – 17:00).

A través del anexo 1, se determina el costo de energía eléctrica de la siguiente manera:

Costo de energía activa en horas punta: S/. 0.2150 kWh

Costo de energía eléctrica en horas fuera de punta: S/. 0.1780 kWh

Costo de energía reactiva: 0.0421 S/.- Kvarh

La figura 32, muestra el consumo de energía activa en horas punta en el transcurso de un año.

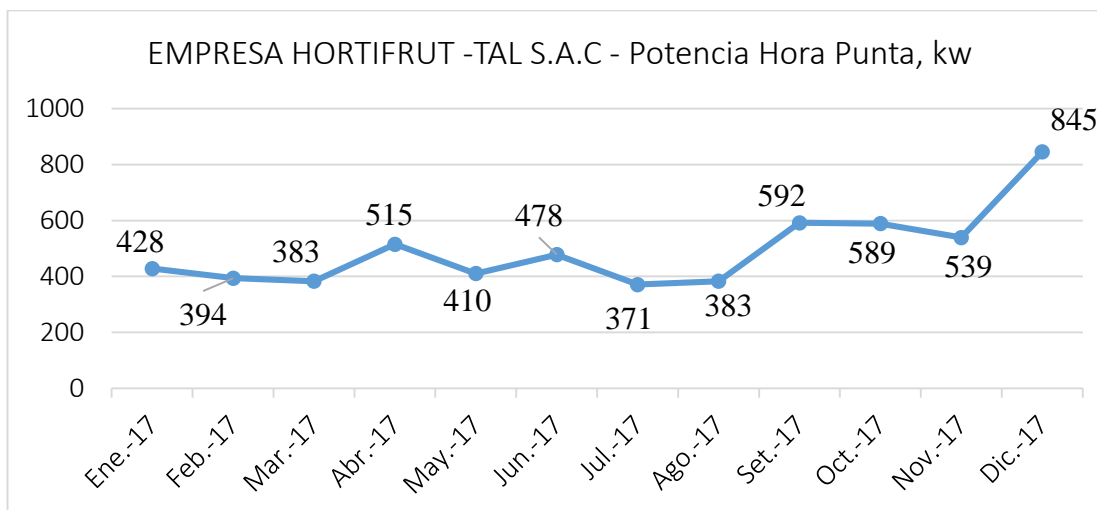


Figura 32: Demanda de Potencia activa en Horas Punta, Hortifrut-Tal S.A.

Fuente: Elaboración propia de facturas eléctricas de Hortifrut-Tal S.A.

La figura 33, muestra el consumo de energía activa en horas fuera de punta en el transcurso de un año.

De los gráficos de demanda de potencia, se observa que el valor de máxima demanda se da durante las horas fuera de punta, por un valor de 2861 kW, con la ayuda del cual y la disponibilidad de agua y altura podremos saber qué porcentaje de la energía utilizada, podrá ser suministrada por la minicentral hidroeléctrica.

Para calcular el costo actual unitario de energía eléctrica, se utilizará valores promedio de activa en horas fuera de punta (2500 kW) y costo promedio de energía al mes (S/. 240459)

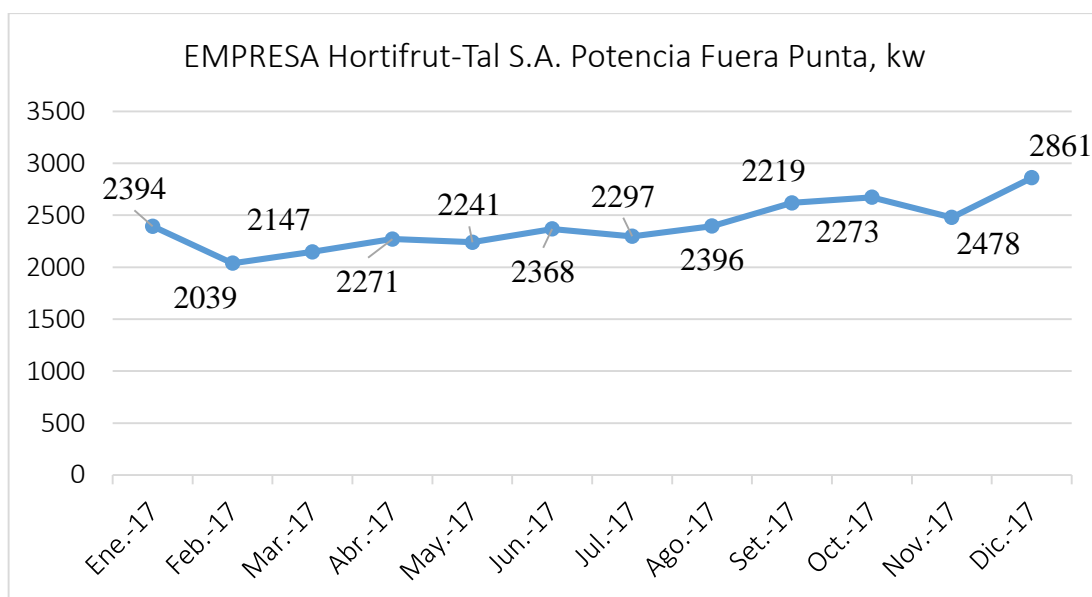


Figura 33: Demanda de Potencia activa en Horas Fuera de Punta.

Fuente: Elaboración propia de facturas eléctricas de Hortifrut-Tal S.A.

3.10. Análisis económico de implementar la mini central hidroeléctrica

Se procede a realizar el presupuesto general de minicentral, el cual incluye costos de componentes mecánicos y eléctricos, obra civil, instalación de mini central hidroeléctrica, operación y mantenimiento.

Tabla 26: Inversiones en activos, equipo hidrogenerador.

Ítem	Denominación	Cantidad	U.M	Precio unitario	Sub total soles
				Soles/UM	Soles
1	Turbina Francis de eje horizontal de marca Woonergy con tiempo de vida de 30 años, generador síncrono trifásico de 137 KVA y 440 v, 1800 rpm incluyendo accesorios de montaje.	1	Pza.	90 000	90 000
2	Tubería de 630 mm, espesor de 30 mm.	120	m	155	18600
3	Válvula de mariposa de 24"	2	Pza.	3000	6000
4	Rejilla de platina de acero inoxidable de 2 x 2, con espesor de 12 mm y separación de 70 mm	60	m	15	900

5	Electroválvula de apertura y cierre rápido con regulación de caudal de 0.6 m ³ /s	1	Pza.	600	600
6	Tablero de control, incluye reguladores de frecuencia en base a caudal y consumo energético, protecciones térmicas y relés de seguridad, analizador de fases y llave térmica para el consumo	1	Pieza	9000	9000
			Total		125100

Tabla 27. Inversiones en activos, sistema eléctrico de minicentral

Ítem	Denominación	Cantidad	U.M	Precio unitario	Sub total
				Soles/UM	soles
2	Banco trifásico de condensadores, 46 Kvar, U = 440 V	1	Pieza	7650	7650
3	Interruptor automático de caja moldeada, Ir = 350 A,	2	Pieza	762	1524
4	Cable NYY-NYSY, 0.6/1 kv, tmáx = 90 °C	22	m	42.3	930.6
6	Regulador de voltaje, 440 V	1	Pieza	22000	22000
7	Tablero de distribución 440 V, 200 Kw	1	Pieza	6500	6500
7	Multímetro eléctrico digital	1	Pieza	1200	1200
8	Accesorios: tubo conduit, bornes, etc.	1	Glb	2000	2000
9	Ferretería eléctrica	1	Glb	500	500
			Total		42304.6

3.10.1. Presupuesto en instalación del equipo hidrogenerador.

La instalación del equipo hidrogenerador, tiene un proyectado de 15 días. El sueldo mensual de los especialistas se determinó teniendo en cuenta el salario promedio para cada miembro en el rubro agroindustrial (tabla 28). El tiempo proyectado, no incluye la realización de obras civiles.

Tabla 28: Costo del personal en instalación del equipo hidrogenerador.

Ítem	Especialista	Cantidad	Sueldo mensual	Días laborados	Total
1	Ingeniero mecánico	1	5000	15	S/ 2500.00
2	Mecánico de mantenimiento	3	2000	15	S/ 3000.00
3	Electricista industrial	2	2000	15	S/ 2000.00
4	Ayudantes	4	950	15	S/ 1900.00
5	Alquiler de equipos	-	-	-	S/ 3000.00
6	Otras subvenciones	-	-	-	S/ 1000.00
Total					S/ 13400.00

3.10.2. Presupuesto de obra civil.

Se pidió a empresa Castino S.A.C, la cual realiza servicios integrales de ingeniería, una cotización para el diseño de una casa de máquinas de dimensiones 7.80 m largo, 6 m de ancho y 3 m de altura, con sus divisiones entre el turbogenerador y elementos de control.

En la tabla 29 se muestra los trabajos a realizar y presupuesto por cada una de ellas.

3.10.3. Presupuesto de operación y mantenimiento

La mini central hidroeléctrica tendrá para su funcionamiento, costos de operación y mantenimiento, los cuales son calculados anualmente.

En la tabla 30, se muestra el personal que se necesitará en su operación y mantenimiento.

Los salarios, se han promediado de acuerdo al rubro agroindustrial

Costo total de la obra: $125100 + 42304.6 + 54460 + 13400 = S/. 235264.6$

Capacidad de generación de energía en central hidroeléctrica: 104.76 kW

Tabla 29: Presupuesto de obra civil.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
1	OBRAS PROVISIONALES				1,568.85
1.01	CASETA DE GUARDIANÍA Y ALMACÉN	glb	1	480.35	480.35
1.02	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	glb	1	508.5	508.5
1.03	FLETE DE MATERIALES	glb	1	580	580
2	TRABAJOS PRELIMINARES				991.53
2.01	TRAZO Y REPLANTEO	día	3	245.76	737.28
2.02	REMOJO DE TERRENO	día	3	84.75	254.25
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS				2,116.23
3.01	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMENTACIONES	m3	40.14	12.85	515.8
3.02	EXCAVACION CON EQUIPO PARA CIMENTAR	m3	31.74	4.5	142.83
3.03	REFINE Y NIVELACION DE TERRENO	m2	30.98	2.29	70.93
3.04	CAPA DE AFIRMADO EN BASE DE ESTRUCTURAS	m3	13.51	88.09	1,190.35
3.05	RELLENO HIDRATADO DE ZANJAS	m3	15.52	12.65	196.32
4	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				4,656.92
4.01	SOLADO DE CONCRETO C:H 1:10 E=2"	m2	26.5	28.5	755.25
4.02	FALSO PISO 2"	m2	14.25	30.9	440.33
4.03	CONCRETO CICLOPEO PARA CIMENTACION 1:10 + 30% P.M.	m3	8.05	225.8	1,817.69
4.04	SOBRECIMIENTO 1:8 + 25% P.M.	m3	0.38	285	107.73
4.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CIMIENTOS CORRIDOS	m2	43.27	35.5	1,535.93
5	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				14,995.43
5.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	914.29	4.2	3,840.01
5.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA	m2	118.2	46.55	5,502.14
5.03	CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2	m3	14.86	380.5	5,653.28
6	ALBAÑILERIA				5,862.07
6.01	MURO CARAVISTA K.K. ARCILLA 18 H (0.09x0.13x0.24)	m2	88.98	65.88	5,862.07
7	REVOQUES				943.26
7.01	PISO PULIDO	m2	14.25	30.9	440.33
7.02	SOLAQUEO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO	m2	59.1	8.51	502.93
8	CARPINTERIA DE MADERA				1,300.00
8.01	PUERTA DE MADERA	und	2	650	1,300.00
9	CARPINTERIA METÁLICA				1,803.60
9.01	PORTÓN DE 2.50MX2.00M	und	3	601.2	1,803.60
10	COBERTURA DE ALUZINC + ESTRUCTURA METÁLICA				9,151.05
10.01	SUMINISTRO DE COBERTURA + ESTRUCTURA METÁLICA	glb	1	7,055.85	7,055.85
10.02	INSTALACIÓN DE COBERTURA + ESTRUCTURA METÁLICA	glb	1	2,095.20	2,095.20
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
11	TRABAJOS COMPLEMENTARIOS A LA PROPUESTA				6,845.21
11.01	PROFUNDIZACIÓN DE PLATAFORMA Y CIMENTACIONES (-0.60M)				1,101.84
11.01.01	EXCAVACIONES DE PLATAFORMA PARA TURBINA	m3	18.91	18.55	350.71
11.01.02	EXCAVACIONES EN ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS	m3	12.81	32.5	416.31
11.01.03	RELLENOS EN ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS	m3	10.3	32.5	334.83
11.02	MAYOR ALTURA DE COLUMNAS (+0.60M)				758.4
11.02.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	73.84	4.2	310.14
11.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	6.41	46.55	298.46
11.02.03	CONCRETO F'C=210 KG/CM2	m3	0.36	420.55	149.8
11.04	MAYOR ALTURA DE SOBRECIMIENTOS (+0.60M)				2,435.29
11.04.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	201.61	4.2	846.76
11.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	30.91	46.55	1,438.73
11.04.03	CONCRETO F'C=210 KG/CM2	m3	0.36	420.55	149.8
11.05	ADICIONAR SOBRELOSA PARA TURBINA (E=0.20M)				603.51
11.05.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	34.8	4.2	146.15
11.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	2.03	46.55	94.38
11.05.03	CONCRETO F'C=210 KG/CM2	m3	0.86	420.55	362.98
11.06	REDISEÑO DE RAMPA DE ACCESO (Aumento de Pendiente)				885.21
11.06.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	28.44	4.2	119.45
11.06.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	6.55	46.55	304.84
11.06.03	CONCRETO F'C=210 KG/CM2	m3	1.1	420.55	460.92
11.07	ADICIONAR CANALETA POR PROFUNDIZACIÓN DE RAMPA				902.45
11.07.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	31.14	4.2	130.79
11.07.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	8.22	46.55	382.64
11.07.03	CONCRETO F'C=175 KG/CM2	m3	0.45	380.5	172.02
11.07.04	REJILLA METÁLICA	m	2	108.5	217
11.08	CARPINTERIA METÁLICA				158.5
11.08.01	INCREMENTO ALTURA (+0.40M) DE PORTÓN EN RAMPA	und	1	158.5	158.5
	COSTO DIRECTO				50,234.15
	GASTOS GENERALES 8%				4,018.73
	UTILIDAD 7%				3,516.39
SUB TOTAL				57,769.27	
DESCUENTO				3,319.27	
SUB TOTAL PRESUPUESTO AJUSTADO				54,450.00	

Tabla 30: Costo anual de operación y mantenimiento

Personal	Costo			Participación	N° de personal	Costo anual (S./.)
	Unitario(S./.)	Leyes sociales	Total (S./.)			
Supervisor de área	1700.00	26%	2142.00	20%	1	5140.80
Mecánico electricista	2000.00	26%	2520.00	35%	1	105.84
Operario	1400.00	26%	1764.00	50%	1	105.84
Materiales, repuestos y accesorios	150.00	-	150.00	100%	-	1800.00
Total						28108.80

3.10.4. Ingresos brutos mensuales por operación de mini central hidroeléctrica

Los ingresos se determinan de la siguiente manera:

- Potencia efectiva en barras de 440 V: 104.76 kW
- Tiempo mensual de operación en horas punta: (5 hr/día * 30 día/mes)= 150 horas/mes.
- Tiempo mensual de operación en horas fuera de punta: (15 hr/día * 30 día/mes)= 450 horas/mes
- Tiempo mensual de operación: (20 hr/día * 30 día/mes) = 600 horas/mes.

Ahorro mensual por inyección de energía eléctrica desde mini central a barras de 440 para empresa Hortifrut- Tal S.A.

- Costo unitario de energía eléctrica en horas punta, MT2: 0.2150 Soles/kW-h.
(150 hr/mes * 104.76 kW) * 0.2150 soles/ kW-h = 3378.51 soles/mes.
- Costo unitario de energía eléctrica en horas fuera punta, MT2: 0.1780 Soles/kW-h.
(450 hr/mes * 104.76 kW) * 0.1780 soles /kW-h = 8391.28 soles/mes.
- Ahorro mensual en energía eléctrica: 8391.28 soles/mes + 3378.51 soles/mes = 11769.79 soles/mes.
- Beneficio bruto económico anual
11769.79 soles/mes * 12 mes/año = 141237.48 soles /año

3.11. Análisis financiero

Se hace un estudio de la información contable para la implementación de mini central hidroeléctrica de la siguiente manera:

Se asume que la empresa aportará el 20 % de la inversión:

$0.2 * 235264.6$ soles = 47052.92 soles, la diferencia: 188211.68 soles será el valor del préstamo bancario, en las siguientes condiciones:

- Tasa de interés anual: Según la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS), Banco Continental ofrece préstamos a grandes empresas con tasas de interés anual de 6.71 %.
- Período del préstamo: 18 meses.

A continuación de muestra el monto total de inversión (tabla 31) y la forma de financiar el préstamo bancario (tabla 32)

Tabla 31. Inversión y financiamiento para mini central hidroeléctrica

Inversión		
Descripción		Monto (S/.)
Equipos, herramientas, instrumentos, cursos		235264.6
Total Inversión del Proyecto		235264.6
FINANCIAMIENTO		
Descripción		Monto (S/.)
Aporte propio, % Inversión total	20%	47052.92
Financiamiento		188 211.68
Total inversión		235264.6

Tabla 32: Condiciones de financiamiento

Descripción		Monto (S/.)
Préstamo		188212
Tasa efectiva anual		6.71%
Tasa efectiva mensual		0.54%
Plazo, meses pago de préstamo bancario		18
Cuota mensual, Soles/mes		11004

Un plan de pagos es un acuerdo para realizar pagos por una cantidad mayor a la establecida en el préstamo por un periodo de tiempo definido.

La tabla 33, muestra el plan de pagos del préstamo bancario, el cual se ha diseñado en un plazo de 18 meses

Tabla 33: Plan de pagos mensuales de financiamiento

Mes	Préstamo	Interés	Amortización	Cuota	Saldo
1	S/. 188212	S/. 1021	S/. 9982	S/. 11004	S/. 178230
2	S/. 178230	S/. 967	S/. 10036	S/. 11004	S/. 168193
3	S/. 168193	S/. 913	S/. 10091	S/. 11004	S/. 158102
4	S/. 158102	S/. 858	S/. 10146	S/. 11004	S/. 147957
5	S/. 147957	S/. 803	S/. 10201	S/. 11004	S/. 137756
6	S/. 137756	S/. 748	S/. 10256	S/. 11004	S/. 127500
7	S/. 127500	S/. 692	S/. 10312	S/. 11004	S/. 117189
8	S/. 117189	S/. 636	S/. 10368	S/. 11004	S/. 106821
9	S/. 106821	S/. 580	S/. 10424	S/. 11004	S/. 96397
10	S/. 96397	S/. 523	S/. 10480	S/. 11004	S/. 85917
11	S/. 85917	S/. 466	S/. 10537	S/. 11004	S/. 75380
12	S/. 75380	S/. 409	S/. 10594	S/. 11004	S/. 64785
13	S/. 64785	S/. 352	S/. 10652	S/. 11004	S/. 54133
14	S/. 54133	S/. 294	S/. 10710	S/. 11004	S/. 43423
15	S/. 43423	S/. 236	S/. 10768	S/. 11004	S/. 32656
16	S/. 32656	S/. 177	S/. 10826	S/. 11004	S/. 21829
17	S/. 21829	S/. 118	S/. 10885	S/. 11004	S/. 10944
18	S/. 10944	S/. 59	S/. 10944	S/. 11004	S/. 0

3.11.1. Flujo de caja financiero

Un flujo de caja representa los momentos en que ocurren los costos y beneficios de un proyecto.

La evaluación del flujo de caja se realizara con un horizonte de vida estimada de 15 años.

La tabla 34, muestra el flujo de caja para minicentral hidroeléctrica, con el cual se puede hacer un análisis de rentabilidad.

Tabla 34: flujo de caja de mini central hidroeléctrica.

	Préstamo	Pago de Interés	Amortización	Flujo Caja Neto
	Soles	Soles	Soles	
	-188211.68	9852	188212	
Año	Costo Mantto Soles/año	Egresos Soles/año	Beneficio bruto soles/año	Soles/año
0	0.00	0.00	0.00	-188211.68
1	28109	226172	141237	-84935
2	28109	28109	141237	113129
3	28109	28109	141237	113129
4	28109	28109	141237	113129
5	28109	28109	141237	113129
6	28109	28109	141237	113129
7	28109	28109	141237	113129
8	28109	28109	141237	113129
9	28109	28109	141237	113129
10	28109	28109	141237	113129
11	28109	28109	141237	113129
12	28109	28109	141237	113129
13	28109	28109	141237	113129
14	28109	28109	141237	113129
15	28109	28109	141237	113129

3.11.2. Análisis de rentabilidad:

Mediante un análisis de rentabilidad, se calcula la capacidad de producir utilidades por parte de la empresa.

Dos parámetros que se utilizan para calcular la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno)

- **Valor actual neto (VAN)**

Se utiliza para estimar si cierta inversión traerá más beneficios a largo plazo que si se invirtiera un monto de dinero equivalente en una caja de ahorros de banco. Si VAN es mayor que cero, se dice que el proyecto será rentable y se acepta.

Mediante un software financiero (Excel), podemos hacer uso del flujo de caja (tabla 34) y determinar el VAN (Tabla 35).

- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

Nos da una medida relativa de la rentabilidad, la cual viene expresada en tanto por ciento.

Si TIR es mayor que la tasa de rentabilidad exigida a la inversión, el proyecto se acepta.

La tabla 35 muestra el cálculo del TIR a través de Excel.

- **Tiempo de recuperación del capital.**

Se calcula dividiendo la inversión inicial entre el beneficio bruto (tabla 35)

Tabla 35. cálculo de rentabilidad de mini central hidroeléctrica

Parámetro	Resultado	Unidad
Tasa efectiva anual	6.71%	Anual
Valor actual Neto, VAN	444988	S/.
Tasa Interna de Retorno, TIR	33.11%	
Vida útil estimada	15.00	Años
Período de retorno de la Inversión PRI (Años)	1.33	Años
	15.99	Meses

Se observa en la tabla anterior que se obtienen los siguientes indicadores:

$VAN = 444988 \text{ soles} > 0$

$TIR = 33.11\% > 6.71\%$

Período de retorno de la inversión: 1.33 años, aceptable

IV.-DISCUSIÓN

1- **Odiel Gutiérrez Llamo (2016)**, en la tesis nombrada “diseño de una mini central hidroeléctrica, para suministrar energía al recreo turístico la catarata – distrito, provincia - Jaén, departamento – Cajamarca”

Diseña una minicentral hidroeléctrica, utilizando el método de la manguera con agua para determinar el salto bruto, reportando una altura bruta de 19.55 m.

En el presente trabajo se determinó la altura bruta haciendo uso de la tecnología por intermedio de un software (GPS) para determinar la altura bruta, esto proporciona datos con mayor precisión que aumentan el nivel de confianza de los resultados, el salto bruto que arroja el GPS es de 26 m.

2- **Aspilcueta Valderrama, Leonidas Martin Y Juárez Jiménez, Dany Porfirio (2014)** en la tesis “modelamiento hidráulico de la de la mini central hidroeléctrica del centro poblado de Llopush - Ancash” de la universidad privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú.

Los autores para seleccionar el equipo turbogenerador, solicitan a un fabricante el dimensionamiento de la misma.

En la presente tesis, se selecciona el equipo turbogenerador mediante cálculos y tablas de selección, por consiguiente el análisis de rentabilidad se hace mucho más eficiente debido a que no incluye costos por ingeniería.

3- **Jean Pool Genaro Rojas Bismark y Walter David Arteaga Rosales (2014)** en su tesis “diseño de una micro central hidroeléctrica para el análisis del costo final de la energía eléctrica para un centro poblado. Caso Rurashca, Ancash”.

Utiliza una turbina Michell Banki para una altura neta de 18.3 m y caudal de diseño de 0.20 m³/s y asume un rendimiento de 90%.

En el presente trabajo, se utiliza una turbina Francis para una altura neta de 25.265 m y un caudal de diseño de 0.533 m³/s y la eficiencia de la misma se calcula a través de una curva de rendimiento de turbina Francis, con lo cual la potencia suministrada por la mini central hidroeléctrica tenga un mayor nivel de confianza.

4- **Acevedo Solano Lina (2014)** en su tesis “Evaluación técnica – económica de un sistema de generación eléctrica en base a una micro turbina hidráulica”.

Utiliza como tubería de presión, un conducto ya existente.

En el presente trabajo, se hace un análisis de las pérdidas de energía generada en la tubería de presión y se elige la tubería en función de obtener las menores pérdidas producidas por fricción y del golpe de ariete que se puede producir en la misma.

V. CONCLUSIÓN

- Se determinó la factibilidad técnica y viabilidad económica en el diseño de mini central hidroeléctrica, reduciendo los gastos de consumo de energía eléctrica en 117428 soles /año.
- Se realizó el análisis de flujo de agua dentro de la empresa, tomando como premisa el estudio hidrológico del proyecto especial Chavimochic; dando como resultado un caudal de diseño de $0.533 \text{ m}^3/\text{s}$ y se determinó la altura útil haciendo uso de la tecnología actual, para tener datos con mayor nivel de confianza, siendo esta de 26 m.
- Se dimensionó la tubería forzada y se analizó el fenómeno de golpe de ariete. La tubería forzada tendrá un diámetro nominal de 630 mm y 30 mm de espesor.
- Se calculó y seleccionó el equipo hidrogenerador, teniendo una turbina Francis rápida y un generador síncrono de 4 polos con una velocidad de sincronismo de 1800 rpm. Suministrará una potencia neta de 104.76 kW en bornes del generador.
- Se dimensionó el banco de condensadores para compensar el factor de potencia del generador, se utilizará condensadores de 16.5 Kvar instalados en paralelo con el generador conectados en triángulo y contará con un interruptor Termo magnético de 200 A.
- Se calculó la sección del conductor que va desde el generador a barra de 440 v, es un cable NYY-NYSY de 90°C , $S = 50 \text{ mm}^2$, con $I_n = 251 \text{ A}$, aire libre.
- Se evaluó el consumo de energía mensual en horas punta y fuera de punta, teniendo así un consumo máximo de 2860 kW (fuera de punta) y de 845 kW (horas punta).
- Se determinó que la inversión para implementar la mini central hidroeléctrica es de S/. 235264.6, el cual será financiado de la siguiente manera: 20% aportara la empresa y la diferencia será préstamo bancario con una tasa de interés anual de 6.71%.
- El beneficio bruto anual se obtiene por el ahorro de energía activa durante las 20 horas al día que estará en funcionamiento la minicentral hidroeléctrica, las cuales incluyen las horas punta y fuera de punta; el cual suma un ahorro de 141237 soles /año.
- El análisis financiero nos indica lo siguiente:
El tiempo estimado para la vida útil del proyecto es de 15 años. Con este tiempo se realiza el flujo de caja del proyecto, el mismo que se utiliza para hallar los siguientes indicadores:
 - Tasa Interna de Retorno (TIR): El resultado es 33.11%, demuestra que es rentable la inversión que se realizará en el proyecto, debido a que el resultado es mayor que la tasa de interés impuesto por el banco (6.71%) para el préstamo bancario.
 - Valor Actual Neto (VAN): S/. 444988 > 0, esto nos indica que al ser el resultado positivo, la inversión que se realizará es aceptable, además de generar ganancias.

- Periodo de retorno de inversión: el tiempo que se recuperará la inversión realizada para el desarrollo del proyecto es de 1 año y 3 meses,

VI. - RECOMENDACIONES

A. Ampliar el estudio en diferentes zonas de la empresa para poder desarrollar posibles aprovechamientos energéticos, en beneficio del uso de energías renovables, verificando, la viabilidad económica y ambiental.

B. El mantenimiento preventivo a las instalaciones de la mini central hidroeléctrica, es de suma importancia, se debe realizar un registro de actividades periódicas a desarrollar por el personal técnico, evitando de esta manera paradas imprevistas y conservando el presupuesto de mantenimiento en un régimen adecuado.

C.- Es necesario que la compañía ejecutora de la obra, ejecute planes de control para cumplir con los tiempos establecidos para su ejecución, pues su incumplimiento afectaría los estándares de construcción programados y podría surgir malas interpretaciones en su aplicación.

D.-Realizar estudios de factibilidad en áreas que presenten las condiciones adecuadas para implementar o mejorar las instalaciones para el uso de una mini central hidroeléctrico.

E.-Antes de la implementación del proyecto, es necesario pedir nuevas cotizaciones de los componentes de la minicentral debido a que varía dependiendo al fabricante.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

Criollo Cabrera, X. L., & Quezada Damian, C. L. (2011). *Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca*. Cuenca, CUENCA, Ecuador.

ACADEMIC. (2017). *DIAGRAMA DE MOODY*. Obtenido de ACADEMIC: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/347186>

Acevedo Solano, L. (2014). *EVALUACIÓN TÉCNICA- ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN BASE A UNA MICRO TURBINA HIDRÁULICA*. Ciudad Universitaria-México.

Almesa, G. (2015). *Catálogo técnico*. Obtenido de Grupo Almesa: http://www.almesa.com/wp-content/uploads/CATALOGO_TECNICO_ISO9001.pdf

Anacafé.org. (2017). *Anacafé.org*. Obtenido de Hidrogeneración Hidroeléctricas: http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Hidrogeneracion_Hidroelectricas

ASME. (1944). *Diagrama de Moody*. Obtenido de <https://previa.uclm.es/area/amf/gonzalo/IngFluidosFiles/Multimedia/Graphs/MoodyPeq.pdf>

Aspilcueta Valderrama, L. M., & Juárez Jiménez, D. P. (2014). *MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DEL CENTRO POBLADO DE LLOPISH-ANCASH. TRUJILLO-PERÚ*.

Bigordá, T. (24 de 08 de 2017). *Las 5 mayores centrales hidroeléctricas del mundo*. Obtenido de Renovables Verdes: <https://www.renovablesverdes.com/las-5-mayores-centrales-hidroelectricas-del-mundo/>

Calmet Soto, J. A. (2014). *PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA*. Lima-Perú.

Canchaya Cortez, C. R., & Chero Valencia, L. E. (2014). *Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de Concepción perteneciente al departamento de Junín*. Lima-Perú.

Castro, A. (10 de 2006). *Minicentrales hidroeléctricas*. Obtenido de IDAE: http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Minicentrales_hidroelectricas_A2006.pdf

CEAC. (22 de 01 de 2013). *EL SISTEMA TRIFÁSICO EN ELECTRICIDAD*. Obtenido de CEAC: <https://www.ceac.es/blog/el-sistema-trifasico-en-electricidad>

Ciencia. (03 de 07 de 2014). *¿Qué es un transformador eléctrico?* Obtenido de Ciencia: <https://curiosoando.com/que-es-un-transformador-electrico>

Clubplaneta. (2017). *Factibilidad técnica, económica y financiera*. Obtenido de Club Planeta: http://www.trabajo.com.mx/factibilidad_tecnica_economica_y_financiera.htm

CRIOLLO CABRERA, X. L., & QUEZADA DAMIAN, C. L. (2011). *DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE ENERGIA HIDROELECTRICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS*

- RESIDUALES DE LA CUIDAD DE CUENCA*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>
- EcuRed. (04 de 06 de 2018). *Generación de Energía Eléctrica*. Obtenido de EcuRed: https://www.ecured.cu/Generaci%C3%B3n_de_Energ%C3%ADa_El%C3%A9ctrica
- EcuRed. (04 de 06 de 2018). *Potencia eléctrica*. Obtenido de EcuRed: https://www.ecured.cu/Potencia_el%C3%A9ctrica
- EGOCHEGA, J. J. (s.f.). *MINIHIDRÁULICA*. Obtenido de MINIHIDRÁULICA: <http://www.juanjosegarciaegocheaga.com/tecnicadiseno.html>
- EITZEN, C. D. (07 de 12 de 2015). *Cómo buscar por coordenadas GPS en Google Maps y Apple Maps*. Obtenido de <http://www.christiandve.com/2015/12/buscar-coordenadas-gps-google-maps-android-iphone-ios-apple-maps/>
- Electrogeno, G. (13 de 11 de 2017). *Partes de un generador eléctrico*. Obtenido de Grupo electrógeno: <http://grupoelectrogeno.net/partes-generador-electrico/>
- ENERGÍA, R. (2012). *COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA*. Obtenido de RTR ENERGÍA: http://www.rtrenergia.es/downloads/reactiva_2012.pdf
- ESHA. (2006). *Guía para el desarrollo de una pequeña*. Obtenido de ESHA-European Small Hydropower Association: http://www.cnr.gov.cl/Home/Documentacin%20Complementaria/GUIA_Layman_ESHA_PCH.pdf
- FERNÁNDEZ, M. (s.f.). *PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN*. Obtenido de UNIVERSIDAD DEL ZULIA: <https://lopei.files.wordpress.com/2010/05/practica-6.pdf>
- FLORES, A. R. (s.f.). *EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDROENERGÉTICOS*. Obtenido de EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDROENERGÉTICOS: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/eval._hidro1.pdf
- García Gutierrez, H., & Nava Mastache, A. (01 de 04 de 2013). *Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas*. Obtenido de Mi DSpace: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/3418>
- Garrón, M. (22 de 05 de 2017). *Grandes oportunidades en el mercado hidroeléctrico para América Latina*. Obtenido de HUFFPOST: https://www.huffingtonpost.es/mauricio-garron/grandes-oportunidades-en-el-mercado-hidroelectrico-para-america_a_22093684/
- Gestión, R. (30 de 07 de 2017). *MEM: Producción eléctrica del Perú aumentó 3.9% en junio*. Obtenido de Gestión: <https://gestion.pe/economia/mem-produccion-electrica-peru-aumento-3-9-junio-140520>
- Gutiérrez, P. Z. (s.f.). *Predimensionamiento de turbinas Francis*. Obtenido de Energética21: [file:///C:/Users/Joel%20Crespin/Downloads/uEwA0gjsdVYL6KYMgqFmtw6fNI1kImR3rD3pjbWBwvNr7m4BS0nAvig%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Joel%20Crespin/Downloads/uEwA0gjsdVYL6KYMgqFmtw6fNI1kImR3rD3pjbWBwvNr7m4BS0nAvig%20(1).pdf)
- HIDRÁULICA. (2015). *HIDRÁULICA EN TUBERÍAS A PRESIÓN*. Obtenido de HIDRÁULICA: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/HIDRAULICA%202015.pdf>

- Hidrojing. (13 de enero de 2015). *Como calcular el golpe de ariete*. Obtenido de Hidrojing: <http://www.hidrojing.com/como-calcular-el-golpe-de-ariete/>
- LIFE, T. T. (2018). *EL ALTIMETRO EN MONTAÑA*. Obtenido de THE TREKKING LIFE: <https://thetrekkinglife.com/articulos/orientacion/180-el-altimetro-barometrico>
- Llamo, O. G. (2016). *Diseño De Una Mini Central Hidroeléctrica, Para Suministrar Energía Al Recreo Turístico La Catarata – Distrito, Provincia - Jaén, Departamento - Cajamarca -2016*". Jaén-Perú.
- Luzdelsur. (2017). *Cómo se calcula el costo mensual del servicio?* Obtenido de Luz del Sur: <https://www.luzdelsur.com.pe/preguntas-frecuentes/tarifas.html>
- MORALES, E. G. (OCTUBRE de 2009). *COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA*. Obtenido de INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/7201/1/38.pdf>
- Nuclear, F. (22 de 06 de 2010). *¿Qué es una central hidroeléctrica?* Obtenido de Foro Nuclear: <https://www.foronuclear.org/es/100957-faqas-sobre-energia/capitulo-8/115751-105-ique-es-una-central-hidroelectrica>
- Odebrecht. (2014). *PROYECTO ESPECIAL DE IRRIGACIÓN CHAVIMOCHIC - ETAPAS I Y II (1988-1997), LA LIBERTAD*. Obtenido de Negocios: <http://www.odebrecht.com.pe/negocios/infraestructura/obras-realizadas/irrigacion/proyecto-chavimochic-etapas-i-y-ii>
- ODEBRECHT. (2014). *REHABILITACIÓN DE OBRAS DEL PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC (1999-2000), LA LIBERTAD*. Obtenido de ODEBRECHT: <http://www.odebrecht.com.pe/negocios/infraestructura/obras-realizadas/irrigacion/rehabilitacion-chavimochic>
- ORDÓÑEZ ORTIZ, J. R. (2010). *ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE TURBINAS MICHELL BANKI DE HASTA 1 MW. RIOBAMBA – ECUADOR*.
- Pirineo, S. d. (2017). *Turbinas y Equipamiento*. Obtenido de Thee: http://www.saltosdelpirineo.com/catalogos/cat_thee.pdf
- riego, D. D. (SETIEMBRE de 2015). *MEDICIÓN DE AGUA*. Obtenido de DGIAR- Dirección general de infraestructura agraria y riego: <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- Rodríguez Rojas, L. M., & Suárez Matarrita, L. (2013). *DISEÑO DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA RESERVA BIOLÓGICA ALBERTO MANUEL BRENES*. Universidad de Costa Rica.
- Rojas Bismark, J. G., & Arteaga Rosales, W. D. (2014). *DISEÑO DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL ANÁLISIS DEL COSTO FINAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UN CENTRO POBLADO. CASO RURASHCA, ANCASH*. Nuevo Chimbote-Perú.

RURAL, I. (s.f.). *EXPRESIONES DEL FACTOR DE FRICCIÓN*. Obtenido de ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TÉCNICA AGRÍCOLA DE CIUDAD REAL: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/Tema7.pdf

Tecnología, A. (2016). *Tecnología*. Obtenido de Turbinas hidráulicas: <http://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>


WEG. (s.f.). *GENERADORES SÍNCRONOS*. Obtenido de WEG EQUIPAMIENTOS ELECTRICOS S.A: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87411/WEG-Generadores_sincronicos.pdf

WIKIPEDIA. (2018). *CONDUCTOR ELÉCTRICO*. Obtenido de WIKIPEDIA: https://es.wikipedia.org/wiki/Conductor_el%C3%A9ctrico

WIKIPEDIA. (24 de 05 de 2018). *FLUJO LAMINAR* . Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_laminar

VIII. ANEXOS

Fdo - Hnat



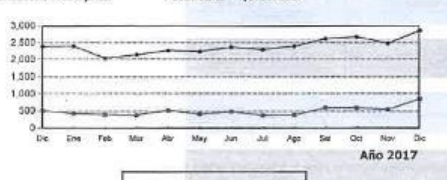
Recibo N° 501-44828239
Chao/Viru

Recibo por Consumo del 01/12/2017 al 31/12/2017

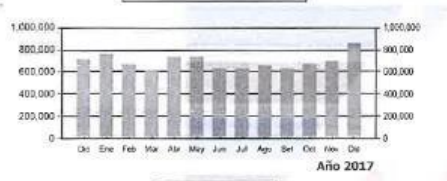
Cliente: Hortifrut-Tal S.A.C. R.U.C.: 20559912353 Dirección: Carr. Panamericana Norte N° Km. 494 Pueblo Chao Referencia: Rula: 29-251-122 Tarifa: MT2 Medición: Media Tension Tensión: 22.9/13.2 kV SED: E-304899 Tipo Suministro: Trifásica-Aérea(C5.4)	Diciembre-2017 CÓDIGO 60165960 <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="2">Promedio Máxima Demanda</th> <th colspan="2">Potencia Contratada</th> </tr> <tr> <td>Fuera Punta</td> <td>Punta</td> <td>Fuera Punta</td> <td>Punta</td> </tr> <tr> <td>2,766.6112</td> <td>718.6332</td> <td>945.2900</td> <td>100.0000</td> </tr> </table>	Promedio Máxima Demanda		Potencia Contratada		Fuera Punta	Punta	Fuera Punta	Punta	2,766.6112	718.6332	945.2900	100.0000
Promedio Máxima Demanda		Potencia Contratada											
Fuera Punta	Punta	Fuera Punta	Punta										
2,766.6112	718.6332	945.2900	100.0000										

Magnitud Leída	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energía Activa Total (kWh)	6,888.5519	9,326.7323	458.1604	858,463.3836	Cargo Fijo		8.4200	8.42
Energía Activa Hora Punta (kWh)	234.5477	246.3964	11.8487	22,200.1532	Cargo por Reparación y Mantenimiento			1.26
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	6,634.0042	9,080.3359	446.3317	836,263.2303	Energía Activa HP	22200.1532	0.2179	4837.41
Energía Reactiva (kVarh)	3,072.7505	3,232.6758	159.9248	299,640.8946	Energía Activa FP	836263.2303	0.1751	146429.69
Potencia Hora Punta (kW)	0.2877	0.4512	0.4512	845.3847	Energía Reactiva	42101.8796	0.0418	1759.86
Potencia Fuera Punta (kW)	1.3227	1.5267	1.5267	2,850.4804	Pot.Usd Redes Distrib HP	718.6332	14.2000	10204.59
Factor Calificación : No Aplica		Fac.Medic. 1,873.6362			Pot. Activa Generación HP	845.3847	57.5500	48651.69
					Exc.Pot.Usd Redes Dist.FP	2047.9780	14.9900	30494.39
					AlumbradoPublico (Alcualta : S/ 0.4914)			2430.00
					Interés Compensatorio	1.0000	59.2581	59.26
					SUB TOTAL			244876.77
					Imp. Gral. a las Ventas			44077.62
					Diferencia de redondeo		0.0500	0.05
					Aporte Ley Nro. 28749 0.0081	658463.3835	0.0081	6953.55
					Compensación interrupción - Transmisión	1.0000	-11231.4918	-11231.49
TOTAL RECIBO DE DICIEMBRE-2017								284676.70

Total a Pagar incluye Aporte FOSE(Ley N°27510) S/ 7755.40



Año 2017



Año 2017

Importe 2 Últimos Meses Facturados

Oct - 2017 S/ 185691.40 Nov - 2017 S/ 237036.30

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS

Dic	Nov	Oct	Sep	Ago	Jul	Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene
CAFP kWh	70474	75747	64204	59242	110876	69173	69225	621071	631265	604303	650610
CAFP kWh	15435	15005	15314	16376	30389	35327	29178	7963	12647	25343	26405
PPF kW	2285126	2282405	22547635	21471871	22133471	22408688	23682742	22570190	23661333	25187813	26727480
PPF kW	516346	424587	3846354	3827839	5151373	4182703	677772	378380	387383	5818317	5890712

Emisión 04/01/2018 Vencimiento 23/01/2018


Su AMT es : A3183 - CHO203 de SE de Potencia : SE CHAO

TOTAL S/**284,676.70**

SON DOSCIENTOS OCHENTA Y CUATRO MIL SEISCIENTOS SETENTA Y SEIS Y 70/100 SOLES

(*) El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Diciembre-2017 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap I Art. 4, inciso 6.1.4

Si realiza el pago vía transferencia bancaria debe enviar un correo a: pagoshdina@distrituz.com.pe Revise el estado de cuenta de su recibo en: <http://www.distrituz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.asp> x?empresa=3



Hidrandina R.U.C. 20132023540

Facturación: **Diciembre-2017**
 Hortifrut-Tal S.A.C
 Suministro: 60165960
 Dirección: Carr. Panamericana Norte N° Km. 494
 Rula: 29-251-122
 Emisión: 04/01/2018
 Vencimiento: 23/01/2018

Recibo N° 501-44828239
 Chao/Viru
TOTAL A PAGAR S/ **284,676.70**



112

Anexo 1: Factura eléctrica – Hortifrut-Tal S.A.

Fuente: Hortifrut-Tal S.A.

Anexo 2: Contrato de compra – venta de agua de Chavimochic con Hortifrut-Tal S.A



RESOLUCION DIRECTORAL Nº 466-2015-ANA-AAA IV H CH

Nuevo Chimbote,

SE RESUELVE

Artículo Primero.- Declarar procedente en parte lo solicitado por el recurrente; otorgando licencia de uso de agua superficial con fines agrarios a favor de **HORTIFRUT-TAL S.A.C** en lo que respecta al área bajo riego correspondiente a 77,09 ha para aprovechar un volumen máximo anual de agua de hasta 770 900,00 m³ del bloque Sector 1 identificado con código PMVC-AN-17-B02, provenientes de la fuente de agua constituida por las descargas del río Santa en el ámbito del Proyecto Especial Chavimochic y de la Junta de Usuarios de Riego Presurizado del Distrito de Riego-Moche-Virú-Chao, ubicado políticamente en el distrito de Virú, provincia de Chao, departamento de La Libertad y desestimar el otorgamiento de la licencia de uso de agua para una extensión de 332,21 ha por los fundamentos expuestos en el noveno considerando de la presente resolución; otorgándose el derecho según el siguiente detalle:



N°	Razón Social	RUC	Ubicación Predial y Áreas donde Usará el Agua Otorgada			Volumen Máximo de Agua Otorgado de hasta (m ³)
			Nombre del Predio	Unidad Catastral	Área con Licencia (ha)	
1	HORTIFRUT-TAL S.A.C.	20550912353	La Agonia I	...	77,09	770 900,00
Coordinadas UTM - Datum WGS 84-Zona 17 L Hemisferio Sur <u>Infraestructura hidráulica:</u> Canal de derivación Madre Chavimochic, Toma 1D-1 <u>Toma de captación predial:</u> 763 890,72 E - 9 049 797,50 N			<u>Ubicación Política:</u> Departamento: La Libertad Provincia: Virú Distrito: Chao Punto de referencia del predio: 764 085 E - 9 050 026 N			

Fuente: Junta de usuarios de riego presurizado del distrito de Chao, Virú, Moche.

Anexo 3: Ficha técnica de interruptor automático de 200 A

EZC250N3350N (disyuntor Easypact EZC400N - TMD - 200 A - 3 polos 3d) (Schneider Electric)



Principal	
Rango	EasyPact
Gama de producto	EasyPact
Nombre de producto	EZC EasyPact
Tipo de producto o componente	Interruptor de circuito
Nombre corto del dispositivo	Easypact EZC400N
Nombre de disyuntor	Easypact EZC400N
Aplicación de dispositivos	Distribución
Descripción de postes	3P
Descripción de polos protegidos	3T
Tipo de red	CA, C.C.
Frecuencia de la red	50/60 Hz
[En] corriente nominal	200 A (40 ° C)
[Ui] voltaje de aislamiento clasificado	690 V CA 50/60Hz conforme a IEC 60947-2
[Uimp] nominal impulso voltaje de withstand	6 kV según IEC 60947-2
[Ue] Voltaje operacional clasificado	250 C.C. de V conforme a IEC 60947-2 550 V AC 50/60Hz conforme a IEC 60947-2
Rompiendo capacidad código	F

Fuente: (SCHNEIDER-ELECTRIC, 2017)

Anexo 4: Caudales de tratamiento de Hortifrut-Tal S.A

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1.15	0.93	0.35	0.00	0.90	1.30	0.80	0.00	0.82	0.83	0.84	0.00
2	1.20	1.00	0.55	0.00	0.95	0.60	0.35	0.00	0.14	0.03	0.86	0.00
3	1.00	0.85	0.90	0.00	1.10	0.80	0.70	0.00	0.62	0.59	0.56	0.00
4	1.30	1.20	1.15	0.80	0.75	1.00	0.65	0.59	0.49	0.39	0.29	0.19
5	0.80	0.75	0.85	0.50	1.30	0.55	1.00	0.91	0.94	0.96	0.98	1.01
6	0.95	0.80	0.30	0.45	0.85	0.35	1.20	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81
7	1.13	1.15	1.30	0.95	0.40	0.20	0.50	0.13	0.85	0.20	0.37	0.54
8	0.92	0.60	0.40	0.70	0.30	0.80	0.55	0.49	0.47	0.44	0.41	0.38
9	1.30	0.70	1.30	1.30	0.65	1.30	0.40	0.69	0.61	0.53	0.46	0.38
10	1.10	0.95	1.20	1.10	1.10	0.50	0.20	0.35	0.22	0.09	1.10	0.65
11	0.80	0.80	1.30	1.20	1.00	0.75	0.60	0.78	0.74	0.71	0.67	0.64
12	0.84	1.30	0.70	0.90	0.70	0.95	0.75	0.74	0.70	0.67	0.63	0.60
13	0.91	0.75	0.70	0.65	1.30	1.10	1.30	1.31	1.40	1.49	1.58	1.66
14	0.89	0.73	0.50	0.30	1.10	1.20	1.10	1.14	1.22	1.30	1.37	1.45
15	0.87	1.30	0.93	0.80	0.30	1.00	0.70	0.59	0.53	0.47	0.41	0.35
16	0.85	0.69	0.95	1.10	0.00	0.45	1.20	0.69	0.68	0.67	0.65	0.64
17	1.30	1.10	0.96	0.95	0.75	0.60	1.10	0.71	0.64	0.58	0.51	0.45
18	0.81	0.66	0.98	1.30	1.30	1.20	1.30	1.49	1.59	1.70	1.80	1.90
19	1.20	0.64	0.99	0.80	0.45	0.60	0.45	0.32	0.22	0.12	1.00	0.50
20	0.77	1.20	1.01	1.10	0.70	0.80	0.90	0.82	0.80	0.77	0.75	0.72
21	1.20	0.60	1.02	1.38	1.10	1.30	1.25	1.35	1.41	1.47	1.53	1.59
22	0.73	0.58	1.03	1.44	0.72	0.40	1.10	0.92	0.94	0.95	0.97	0.98
23	0.90	1.00	1.05	1.50	0.71	0.75	1.00	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83
24	0.95	0.70	0.85	0.50	0.70	1.00	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
25	0.45	0.52	1.08	0.20	0.70	0.80	0.30	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50
26	0.65	0.80	1.09	0.70	0.69	0.81	0.75	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76
27	0.63	0.48	0.95	1.20	0.68	1.25	1.10	1.28	1.38	1.47	1.57	1.66
28	1.15	0.46	1.12	0.30	0.67	0.60	0.00	0.10	1.00	0.40	0.90	1.30
29	0.59		0.90	0.65	0.66	0.90	1.30	1.15	1.24	1.33	1.42	1.50
30	0.57		1.15	1.30	0.69	0.85	0.90	0.97	0.99	1.01	1.03	1.05
31	0.50		1.17				0.40	0.51		1.30		0.80

Fuente: Elaboración propia de Caudales de tratamiento de Hortifrut-Tal S.A

Anexo 5: Registro de caudales de río Santa en estación Condorcerro en m³/s

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	168.56	147.95	322.1	400.52	220.4	117.85	63.78	52.65	46.7	48.13	82.75	80.4
2	170.34	145.66	268.65	394.00	200.75	119.15	63.18	55.2	45.05	55.05	81.7	84.76
3	190.9	141.63	253	387.48	187.35	120.45	64.25	55.2	45.39	49.1	82.15	90.53
4	168.8	142.52	212.15	380.96	174.3	121.75	61.21	54.85	44.85	53.25	82.6	96.1
5	190.54	153.49	232.55	374.43	150.01	123.05	61.9	56.125	44.5	64.4	83.05	94.95
6	201.74	159.54	295.6	367.91	158.59	101.5	59.73	56.785	46	75.55	63.25	113.8
7	193.945	165.60	327.15	361.39	167.17	100.3	60.65	54.5	47.45	86.7	59.8	152.15
8	186.15	171.65	360.2	354.87	173.7	106.05	58.28	56.15	48.03	86.31	62.45	141.49
9	180.55	177.71	453.25	348.34	190.8	101.31	58.13	50.85	48.96	92.45	63.3	151.41
10	171.95	183.76	531.75	371.82	192.6	98.55	57.05	55.35	49.89	78.05	62.95	161.33
11	153.4	189.82	441.05	406.7	190.9	95.78	59.40	55.75	46.65	76.86	63.22	142
12	160.75	195.87	461.15	377.1	216.55	93.01	58.00	55.03	45.85	63.9	63.51	123.45
13	147.175	201.92	481.25	347.5	195.42	81.35	56.65	55.2	54.6	64.25	70.6	130.78
14	139.38	207.98	501.35	317.9	197.64	91.5	57.13	52.5	47.8	70.89	65.80	130.15
15	149.8	190.5	485.89	288.3	199.87	83.61	56.87	50.55	47.4	62.06	75.82	128.93
16	242.4	241.83	465.7	258.7	199	80.75	56.61	53.25	49.50	52.95	63.84	120.87
17	259.15	260.2	390.7	226	195.35	77.88	56.6	52.15	49.84	61.7	55.86	115.81
18	229.7	235.93	436.9	257.16	183.8	75.01	57.9	52.82	50.19	71.48	51.88	105.55
19	196.6	223.47	432.4	259.8	177.52	70.9	58.15	52.66	66.55	71.96	53.90	115.25
20	228.14	233.85	385.84	256.05	169.92	71.9	57.17	52.50	63.5	67.45	56.2	124.95
21	225.51	237.75	392.52	273.05	172.32	64.45	54.55	51.25	47.8	72.93	56.6	119.05
22	222.87	241.65	431.67	270.93	182.1	74.9	56.21	51.09	56.36	73.41	57.9	128.75
23	170.15	246.25	500.45	265.55	183.9	73.4	56.07	56.6	57.03	61.4	58.6	133.77
24	197.15	292.45	453.9	247.9	168.6	73.51	53	51.05	57.70	65.97	60.95	138.79
25	233	288.1	467.87	222.3	159	74.31	52.5	54.1	50.8	77.3	62.35	143.81
26	242.85	272.1	428.1	221.4	152.6	75.11	52	51.42	62.35	69.95	82.52	148.83
27	221.2	275.15	396.8	241.2	144.07	75.91	55	50.17	74.65	72.13	78.05	153.85
28	257.21	308.2	412.65	238.4	135.68	73.71	51.85	53	86.45	74.42	75.95	158.87
29	271.99		423.76	234.21	132.4	77.51	54	56.2	63.55	80.72	69.95	163.89
30	153.35		445.53	227.2	122.45	77.31	50	54.16	72.44	73.01	67	168.91
31	140.4		482.38		123.85		52.55	48.15		76.30		173.93

Fuente: Junta de usuarios de riego presurizado del distrito de Chao, Virú, Moche.

Anexo 5: Canal madre de Proyecto especial Chavimochic



Anexo 6: Toma de agua de Hortifrut – Tal S.A



Anexo 7: Cámara de carga de minicentral hidroeléctrica



Anexo 8: Vista de poza de sedimentación.



Anexo 9: Grupo electrógeno de 200 KVA para emergencia. Hortifrut-Tal S.A



Planos

Plano 1: Esquema de minicentral hidroeléctrica de Hortifrut-Tal S.A

