



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN
HIDRÁULICA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO
ELECTRICO EN VOLTAJE Y FRECUENCIA”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Electromecánico

Autores:

Areyuna Salazar Francisco Xavier

Velastegui Briceño Rosario Geraldinne

Tutor:

Ing. M. Sc. Álvaro Mullo Quevedo

Latacunga – Ecuador

2016



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.; por cuanto, los postulantes: Areyuna Salazar Francisco Xavier y Velastegui Briceño Rosario Geraldinne con el título de Proyecto de Investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELECTRICO EN VOLTAJE Y FRECUENCIA”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2016

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
Ing. Moreano Edwin

Lector 2
Ing. Barbosa Efren

Lector 3
Ing. Gallardo Cristian



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Areyuna Salazar Francisco Xavier y Velastegui Briceño Rosario Geraldinne declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELECTRICO EN VOLTAJE Y FRECUENCIA”**, siendo Ing. M. Sc. Álvaro Santiago Mullo Quevedo director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....

Areyuna Salazar Francisco Xavier

C.I.: 050287466-2

.....

Velastegui Briceño Rosario Geraldinne

C.I.: 070416158-7



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELECTRICO EN VOLTAJE Y FRECUENCIA”, de Areyuna Salazar Francisco Xavier y Velastegui Briceño Rosario Geraldinne, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 12 de julio 2016

.....
Ing. M. Sc. Álvaro Santiago Mullo Quevedo
Director del Trabajo de Investigación



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Con el presente documento, hago constar que los estudiantes Areyuna Salazar Francisco Xavier y Velastegui Briceño Rosario Geraldinne, de la carrera Ingeniería Electromecánica de la Universidad técnica de Cotopaxi. Implementaron en mi propiedad un proyecto cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELECTRICO EN VOLTAJE Y FRECUENCIA”**. Ubicado en la hacienda San Nicolás sector Virgen de Guadalupe del barrio Saragosin, de la parroquia Juan Montalvo, de la ciudad de Latacunga.

Los autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad

Latacunga, 12 de julio del 2016

.....
Adrian Leopoldo Gallardo Molina
CC.: 0502296023

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme aceptado como parte de ella y permitirme estudiar mi carrera de Ingeniería electromecánica, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos día a día.

Agradezco también a mi asesor de tesis y esposo Ing. Álvaro Mullo por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como por todo su apoyo como pareja a lo largo de mi carrera universitaria.

Y para finalizar agradezco a mis compañeros de clase de todos los niveles universitarios, en especial a mi compañero de tesis Xavier Areyuna por su apoyo total y amistad desde el inicio de mi carrera ya que su compañerismo y apoyo moral han aportado en gran medida a mis ganas de superar obstáculos hasta lograr hoy nuestra graduación.

Rosario

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación se lo dedico con todo mi amor a mis hijos: Aldebarán y Zahara y principalmente a mi hija mayor Adriana quienes con su inocencia y ternura han sido mi fuente de motivación y nunca me han dejado rendirme en la lucha para cumplir la meta de mi titulación.

De igual forma dedico también este trabajo a mi madre que supo formarme como una mujer luchadora con buenos sentimientos y valores, a mis hermanas que siempre han estado junto a mi brindándome su apoyo y consejos para que no decaída en la búsqueda de mi meta.

Rosario

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, Carlos y María, quienes me enseñaron a superarme y seguir adelante sin temor al futuro.

Agradezco a mis hermanas, María, Anita y Gaby, ustedes me dieron el apoyo económico y moral durante mis años estudio.

Agradezco a mi compañera de proyecto, Geraldinne, quien me dio su confianza y amistad en nuestra época universitaria.

Cada uno de ustedes me ayudaron a cumplir mis metas académicas. Ustedes hicieron posible este proyecto.

Y a ustedes dedico este escrito.

Francisco

ÍNDICE

PRELIMINARES

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iv
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
Título del Proyecto:	1
Fecha de inicio.....	1
Fecha de finalización.....	1
Lugar de ejecución.....	1
Unidad Académica que auspicia:	1
Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas	1
Carrera que auspicia:	1
Ingeniería Electromecánica	1
Equipo de Trabajo	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS.....	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos.....	6

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
6.1. Sistema de micro generación hidroeléctrico.....	7
6.2. Componentes de un sistema de micro generación hidroeléctrica.....	9
6.2.1. Bocatomas	10
6.2.2. Tubería de presión o tubería forzada	10
6.2.2.1. Pautas para la selección	11
6.2.2.2. Golpe de ariete	13
6.2.3. Turbina	14
6.2.4. Generador Eléctrico.....	23
6.2.4.1. PMSG (Generador Sincrónico de Magnetos Permanentes).....	25
6.2.5. Control de voltaje y frecuencia.....	26
6.3. Calidad de Energía.....	30
6.3.1. Voltaje	30
6.3.2. Frecuencia.....	31
9. Hipótesis.....	32
10. METODOLOGIAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	33
10.1. Métodos	33
10.1.1. Técnicas.....	34
10.1.2. Instrumentos	34
10.2. Selección de los componentes del sistema de microgeneración hidroeléctrica.....	34
10.2.1. Medición del caudal - Análisis del potencial hídrico	34
10.2.2. Presión nominal	35
10.2.3. Potencia neta estimada	35
10.2.4. Tubería de presión y accesorios.....	35
10.2.5. Material de la tubería.....	36

10.2.6. Perdidas en tubería	36
10.2.7. Espesor de la pared de tubería	36
10.2.8. Golpe de ariete.....	38
10.2.9. Turbina	38
10.2.10. Generador eléctrico.....	45
10.2.11. Control de voltaje y frecuencia.....	46
10.2.12. Equipos de seccionamiento y protección eléctrica	47
11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	48
11.1. Implementación del sistema de microgeneración.....	48
11.2. Resultados obtenidos	49
11.3. Verificación de la hipótesis	51
12. IMPACTOS	51
12.1. Aspecto Técnico.....	51
12.2. Aspecto Económico	51
Depreciación Equipo	51
Calculo del VAN	52
Calculo del TIR	52
13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	53
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
15. BIBLIOGRAFIA	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Avance del sector de distribución eléctrica a nivel nacional	8
Figura N° 2: Comparación financiera entre varias tecnologías	9
Figura N° 3: Sistemas de control mecánicos y electrónicos	10
Figura N° 4: Algoritmo para el cálculo de Golpe de Ariete	14
Figura N° 5: Campo de aplicación en la región de micro generación	17
Figura N° 6: Densidad de Potencia de varias micro turbinas	17
Figura N° 7: Micro turbina Turgo (izquierda), ángulo de acción del inyector (derecha).....	18
Figura N° 8: Triangulo de velocidades de un solo alabe de una Turbina Turgo	20
Figura N° 9: Angulo alfa 1 en relación a la velocidad.....	21
Figura N° 10: Dimensiones recomendadas en función del diámetro del inyector.....	23
Figura N° 11: Esquema de un PMSG de flujo axial (derecha) y de flujo radial (izquierda)....	26
Figura N° 12: Potencia generada = Carga consumida + Carga secundaria	28
Figura N° 13: Principio de regulación por control de ángulo de fase.....	29
Figura N° 14: Carga total secundaria vs. carga total en varias configuraciones.....	29
Figura N° 15: Algoritmo para pérdidas totales en tubería	37
Figura N° 16: Algoritmo para espesor teórico	37
Figura N° 17: Algoritmo para los ángulos y velocidades de entrada del alabe	40
Figura N° 18: Algoritmo para el cálculo de las características del inyector.....	41
Figura N° 19: Algoritmo para el cálculo de características del rodete	42
Figura N° 20: Características del rodete	42
Figura N° 21: Algoritmo de cálculo en función del PSI.....	44
Figura N° 22: Vjet y Flujo vs. PSI.....	49
Figura N° 23: Potencia Mecánica y Eléctrica vs. PSI.....	49
Figura N° 24: Frecuencia vs. Carga.....	50
Figura N° 25: Voltaje vs. Carga.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Objetivos, actividades y metodología	7
Tabla N° 2: Clasificación de las centrales eléctricas según su potencia.....	7
Tabla N° 3: Materiales para tuberías de presión.....	11
Tabla N° 4: Algunos aspectos que diferencian a las diferentes turbinas hidráulicas.....	16
Tabla N° 5: Velocidad específica y eficiencia de algunas microturbinas.....	17
Tabla N° 6: Medidas del alabe de la Turbina Turgo.....	23
Tabla N° 7: Determinación de la velocidad sincrónica en las maquinas eléctricas rotativas ...	24
Tabla N° 8: Comparación entre el ELC analógico y digital	30
Tabla N° 9: CONELEC 0004/01 para diferentes voltajes de distribución nacional.....	31
Tabla N° 10: Rangos admisibles de frecuencia para los operadores de generación.....	31
Tabla N° 11: Operacionalización de las variables	33
Tabla N° 12: Mediciones de tiempo	35
Tabla N° 13: Valores seleccionados y obtenidos para entrada del chorro sobre el alabe.....	40
Tabla N° 14: Características estáticas del inyector.....	41
Tabla N° 15: Dimensiones del alabe.....	43
Tabla N° 16: Parámetros teóricos generados por la Turbina Turgo	44
Tabla N° 17: Características del Acero ASTM A36.....	45
Tabla N° 18: Cálculo depreciación	52
Tabla N° 19: Calculo del VAN años 2016 – 2026	52
Tabla N° 20: Proyección de TIR.....	53
Tabla N° 21: Presupuesto del proyecto.....	53

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELECTRICO EN VOLTAJE Y FRECUENCIA”

Autores: Areyuna Salazar Francisco Xavier y
Velasgui Briceño Rosario Geraldinne

RESUMEN

En la actualidad se ha visto un incremento en la microgeneración, de manera especial en lugares que debido a su geografía imposibilita la llegada de cables eléctricos de energía convencional y dando cumplimiento al cambio de la matriz energética, con el objetivo de aportar al uso de fuentes alternativas. El presente proyecto destaca el estudio del potencial hídrico de la Hacienda San Nicolás en el sector de Virgen de Guadalupe barrio Saragosin de la Parroquia Juan Montalvo de la ciudad de Latacunga (Latitud: 0° 56' 9.69" S; Longitud: 78° 32' 48.18" O), dicho estudio arrojó los valores de caudal de 5 lt/s a una altura aproximada de 14 m lo que entrega una presión de 19.9 PSI, y un ángulo de depresión de 28 grados generando un potencial eléctrico máximo promedio de 583 Watt que de acuerdo a las pérdidas permite una generación efectiva de 400w la que aprovisionará de energía eléctrica a una red de luminarias.

Para el presente proyecto se eligió una tubería de 2 pulgadas fabricada de polietileno de alta densidad y una turbina tipo Turgo que de acuerdo a las consideraciones técnicas posee una eficiencia del 85%. Mediante el procedimiento matemático de diseño y selección posee un diámetro de 8.4 cm, 12 alabes con un ángulo de 20 grados y una fuerza de impulso en el inyector 69.1 N. Se seleccionó un generador sincrónico de imanes permanentes de 4 polos y un Control Electrónico de Carga Analógico.

El sistema de microgeneración se diseñó con el objetivo de mantener estabilidad de energía eléctrica en parámetros de voltaje y frecuencia ante las fluctuaciones de caudal y la dinámica de las cargas del usuario. Acorde a la implementación de microgeneración el sistema se encuentra con una variación de voltaje aproximado del 10% y la frecuencia con una variación 5% que de acuerdo con la regulación del CONELEC son rangos admisibles en los sistemas de distribución eléctrica.

Palabras clave: microgeneración, energías renovables, generación hidroeléctrica, Turbina Turgo, Controlador Electrónico de Carga.

TITLE: “IMPLEMENTATION OF MICROGENERATION HYDRAULIC SYSTEM TO ENSURE THE QUALITY OF POWER SUPPLY IN VOLTAGE AND FREQUENCY”

ABSTRACT

Today has been an increase in microgeneration, especially in places that because of its geography makes it impossible the arrival of electric cables of conventional energy and in compliance with the change of the energy matrix, aiming to contribute to the use of sources alternatives. This project emphasizes the study of the hydro potential water potential of the “Hacienda San Nicolas” in the sector “Virgen de Guadalupe”, Saragosin neighborhood of Juan Montalvo Parish, city of Latacunga (Latitude: 0° 56’ 9.69’ S; Longitude: 78° 32’ 48.18 ‘ O), the study threw flow values of 5 lt/s at a height of approximately of 14 m which provides a pressure of 19.9 psi, and a depression angle of 28 degrees generating an average maximum electrical potential of 583 Watt according to losses enables effective generation of 400w which will provision of electricity to a network of luminaires.

For this project was chosen a pipe 2 inches made of high density polyethylene and Turgo turbine type according to technical considerations has an efficiency of 85%. By mathematical design and selection procedure has a diameter of 8.4 cm, 12 blades at an angle of 20 degrees and a driving force in the injector 69.1 N. synchronous permanent magnet generator of 4 pole was selected and an Electronic Load Controller Analogue.

Microgeneration system was designed with the objective of maintaining stability of electricity in voltage and frequency parameters to fluctuations in flow and dynamic of user loads. According to the implementation of microgeneration the system finds a variation of approximately 10% voltage and frequency with a variation 5%, which according to the regulation of CONELEC are acceptable ranges in power distribution systems.

Keywords: microgeneration, renewable energy, hydropower generation, Turgo turbine, Electronic Load Controller.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor **AREYUNA SALAZAR FRANCISCO XAVIER** y la señorita **VELASTEGUI BRICEÑO ROSARIO GERALDINNE** Egresados de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, cuyo título versa “**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELECTRICO EN VOLTAJE Y FRECUENCIA**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio del 2016

Atentamente,

Lic. Diana Karina Taipe Vergara
DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS
C.C. 1720080934

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia

Fecha de inicio: octubre del 2015

Fecha de finalización: junio 2016

Lugar de ejecución: Hacienda San Nicolas sector Virgen de Guadalupe del barrio Saragosin, de la parroquia Juan Montalvo, de la ciudad de Latacunga

Unidad Académica que auspicia:

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Equipo de Trabajo

Tutor del Proyecto Investigación:

- Nombre: Ing. Mcs. Alvaro Mullo
- Celular: 098 854012
- Correo electrónico: alsamullo@hotmail.com / alsamullo82@gmail.com
- Dirección: Laguna Culebrilla s/n laguna Cuyabeno y 11 de noviembre

Coordinador de proyecto:

- Nombre: Rosario Geraldinne Velastegui Briceño
- Celular: 0995270290
- Correo electrónico: geraldinne.vb@gmail.com
- Bachiller Físico Matemático. Colegio fiscal “Marcelino Maridueña”

Coordinador de proyecto:

- Nombre: Francisco Xavier Areyuna Salazar
- Celular: 0998449227
- Correo electrónico: frank.areyuna@gmail.com
- Dirección: San Pedro, Parroquia Tanicuchi

Área de Conocimiento:

Fluidos, Maquinas Hidráulicas, Energías Alternativas, Instalaciones Eléctricas

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto de investigación tiene el propósito de resolver un problema persistente en los sistemas de microgeneración eléctrica que difícilmente pueden generar energía eléctrica de calidad y plantear una solución para futuros proyectos que involucren la generación aislada de micro electricidad en nuestra provincia. La problemática se centra en la dificultad de controlar la estabilidad de energía en rangos aceptables de calidad. Ante la presencia de fluctuaciones de caudal y la propia dinámica energía consumida y la generada. Provocando inestabilidad en parámetros de voltaje y frecuencia. Induciendo el deterioro de los equipos eléctricos del usuario. Para ello se utiliza realiza una recopilación bibliográfica sobre aquellos componentes involucrados en la conversión de energía hidráulica a eléctrica. Se realiza el estudio de potencial hidráulico y carga a instalar mediante una investigación de campo en la hacienda San Nicolás en el sector Virgen de Guadalupe del barrio Saragosin de la Parroquia Juan Montalvo de la ciudad de Latacunga. Se optimiza el diseño mediante cálculo de un sistema de microgeneración hidroeléctrica en base a los datos obtenidos en campo. Se selecciona, mediante criterio técnico, los componentes eléctricos, mecánicos y electrónicos. La metodología que se aplicará será investigación aplicada, en la cual nos enfocaremos a encontrar las mejores soluciones técnicas para garantizar la estabilidad del suministro de energía. Los beneficiarios será la familia Gallardo, compuesta por 3 personas, cuya actividad económica es la producción de truchas. El sistema alimentara de energía a una vivienda unifamiliar con una carga instalada de 400 W. El impacto del proyecto se centra en ser un

referente de consulta y apoyo a nuevas iniciativas que deseen la implementación de proyectos similares en zonas aisladas. La necesidad de energía eléctrica en todas las zonas habitadas en geografías aisladas, a través de los años se ha convertido en una necesidad básica que puede ser solventada mediante este tipo de proyectos que además incentivan el uso de energías alternativas.

Palabras clave: microgeneración, energías renovables, generación hidroeléctrica, Turbina Turgo, Controlador Electrónico de Carga.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia pretende solucionar un problema persistente en los sistemas de microgeneración: la deficiencia en generar energía estable, las fluctuaciones de caudal y la dinámica de las cargas del usuario provocan inestabilidad en los valores de voltaje y frecuencia.

Los aportes del proyecto de investigación son la implementación de un sistema de microgeneración y la generación de energía aceptable; a través del control de los parámetros de voltaje y frecuencia en rangos estables. Considerando como niveles de referencia los dispuestos por las regulaciones del CONELEC en los sistemas de distribución eléctrica.

Los beneficiarios del proyecto son los habitantes de la hacienda San Nicolas, la familia Gallardo. Compuesta por el Sr. Fabian Gallardo, su esposa e hijo. Y proveer con electricidad a una pequeña cabaña utilizada como atracción turística hacia una zona de pesca deportiva.

El impacto es la generación de electricidad en niveles permisibles de distribución. La investigación es de gran relevancia e interés para los sectores productivos rurales ya que muchos de ellos utilizan plantas de energía a base de combustibles o poseen microgeneradoras eléctricas que producen energía irregular. Lo que disminuye la producción al no poder contar con niveles de energía eléctrica estables.

La importancia científico-teórica con que cuenta este proyecto es elevado porque constituye una fuente de consulta y aprendizaje para todos quienes necesiten saber cómo funciona un control de voltaje y frecuencia para microgeneración, convirtiéndose en el punto de inicio para impulsar la implementación de este tipo de controladores en los proyectos de generación eléctrica mediante fuentes renovables.

La utilidad práctica es la implementación, mediante diseño, calculo y selección técnica, los componentes adecuados para un sistema de microgeneración hidráulica en la hacienda San Nicolas. Entendiendo al conjunto de: Sistema de captación y tubería de presión, turbina hidráulica, generador eléctrico y sistema de control. Que permitan generar energía eléctrica estable en parámetros de voltaje y frecuencia

El marco legal que sustenta el proyecto se fundamenta en el objetivo número 11 del Plan Nacional del Buen Vivir. El cual menciona: “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.” En donde destaca la necesidad de lograr el cambio de la matriz energética, priorizando la inversión en fuentes renovables y mejorar la eficiencia energética.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios del proyecto son la familia Gallardo Molina. Los cuales constan del padre de familia el Sr. Adrián Gallardo Molina, su esposa y su hijo. Habitantes de la hacienda Virgen de Guadalupe del barrio Saragosin, de la parroquia Juan Montalvo, de la ciudad de Latacunga. Se electrificará un salón que brinda atención a turistas. Un promedio de 20 al mes, pero que a futuro se espera un incremento de visitantes debido al suministro eléctrico.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La energía eléctrica sin lugar a dudas, es un servicio básico. Muchas de las actividades diarias de los seres humanos necesitan de este servicio, años atrás sin abastecimiento de electricidad las personas prescindían de aparatos eléctricos que hoy constituyen la parte central del entorno cotidiano en cientos de maneras.

Actualmente, las pequeñas centrales hidroeléctricas existen en 148 países y territorios en todo el mundo. Más de la mitad del potencial hidroeléctrico conocido en todo el mundo se encuentra en Asia, alrededor de un tercio se encuentra en Europa y en América.

La regulación CONELEC No.OO1-13 que en el artículo 63 de la Ley de Régimen del sector Eléctrico, establece que el Estado fomentara el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones.

Actualmente los sistemas de microgeneración hidráulica trabajan sin sistemas de control. Por lo que son susceptibles a ser inestables ante la variación de carga del usuario, como consecuencia, generan niveles de energía eléctrica aleatorios. Esto se debe a una mala regulación de la tensión del suministro eléctrico. Induciendo daño a los equipos que son alimentados por un voltaje inestable, otro parámetro a considerar es la frecuencia que consiste en la amplitud de onda y en el valor eficaz de la señal, las variaciones pueden ser generados por el usuario debido a la conexión y desconexión de cargas al sistema de generación.

Los rangos aceptables de voltaje y frecuencia deben regirse a estándares dispuestos a leyes y reglamentos vigentes, inherentes a la actividad energética, en la parte final del artículo 53 del Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, se establece que la operación de las centrales de generación que utilicen fuentes no convencionales se sujetaran a reglamentaciones específicas dictadas por el CONELEC.

En la hacienda Virgen de Guadalupe del barrio Saragosin, de la parroquia Juan Montalvo, de la ciudad de Latacunga se implementará un sistema de microgeneración para satisfacer las necesidades eléctricas de un domicilio particular. En varios sectores de la provincia se han implementado varios de estos sistemas los cuales cuentan con los componentes básico para convertir la energía hidráulica potencial en energía eléctrica. Muchos de los cuales no poseen control sobre las variables de voltaje y frecuencia generados.

En el proyecto Llango y Gallegos (2012) se logra el control de voltaje y frecuencia del sistema de forma manual. Cualquier variación brusca del caudal y ante la dinámica del grupo turbina-generador con las cargas, se generan fluctuaciones de frecuencia y voltaje generando

energía irregular; dificultando las actividades del domicilio y deteriorando la vida útil de los aparatos eléctricos.

Con la implementación de un sistema microgeneradora hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia manteniendo estable la calidad de suministro de energía, se busca solucionar las deficiencias de diferentes aprovechamientos hidroeléctricos aislados asentados en nuestra provincia y futuros proyectos que satisfacen la demanda eléctrica a través de una fuente generadora de energía limpia, de bajo costo y de buena calidad de servicio.

6. OBJETIVOS

Objetivo general

Implementar un sistema de micro generación hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia.

Objetivos específicos

- Realizar el estudio de potencial hidráulico y carga a instalar por medio de una investigación de campo para determinar la problemática y la factibilidad de la implementación.
- Diseñar la microcentral hidroeléctrica mediante la selección de los componentes eléctricos, mecánicos y electrónico acorde a los estudios realizados.
- Implementar la microcentral hidroeléctrica para verificar los parámetros de diseño para garantizar el suministro eléctrico.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Con el fin de lograr el cumplimiento de los objetivos en el tiempo establecido, se elaboró la Tabla N° 1 en la cual se especifica la actividad realizada y el resultado obtenido, así como la metodología utilizada con lo que se consiguió además planificar los tiempos y costos.

Tabla N° 1: Objetivos, actividades y metodología

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
Realizar el estudio de potencial hidráulico y carga a instalar por medio de una investigación de campo para determinar la problemática y la factibilidad de la implementación.	Estudio hidrológico Estudio del lugar	Determinar los parámetros iniciales de diseño y selección de materiales	Observación: Caudal disponible Altura neta Potencia necesaria
Diseñar la microcentral hidroeléctrica mediante la selección de los componentes eléctricos, mecánicos y electrónico acorde a los estudios realizados.	Calculo de tipo y espesor de tubería de presión Selección de turbina hidráulica Selección del generador	Dimensionar los equipos hídricos, mecánicos, eléctricos y selección de materiales	Cálculo matemático y determinación de las dimensiones y capacidad de los equipos.
Implementar la microcentral hidroeléctrica para verificar los parámetros de diseño para garantizar el suministro eléctrico	Instalación de equipo electromecánico Conexión de la turbina, generador, tablero de control voltaje/frecuencia.	Obtención de la energía mecánica y la conversión a energía eléctrica.	Procedimientos de medición Voltaje y frecuencia: Multímetro Métodos estadísticos

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

6.1. Sistema de micro generación hidroeléctrico

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) clasifica a las centrales hidroeléctricas en función de su potencia.

Tabla N° 2: Clasificación de las centrales eléctricas según su potencia

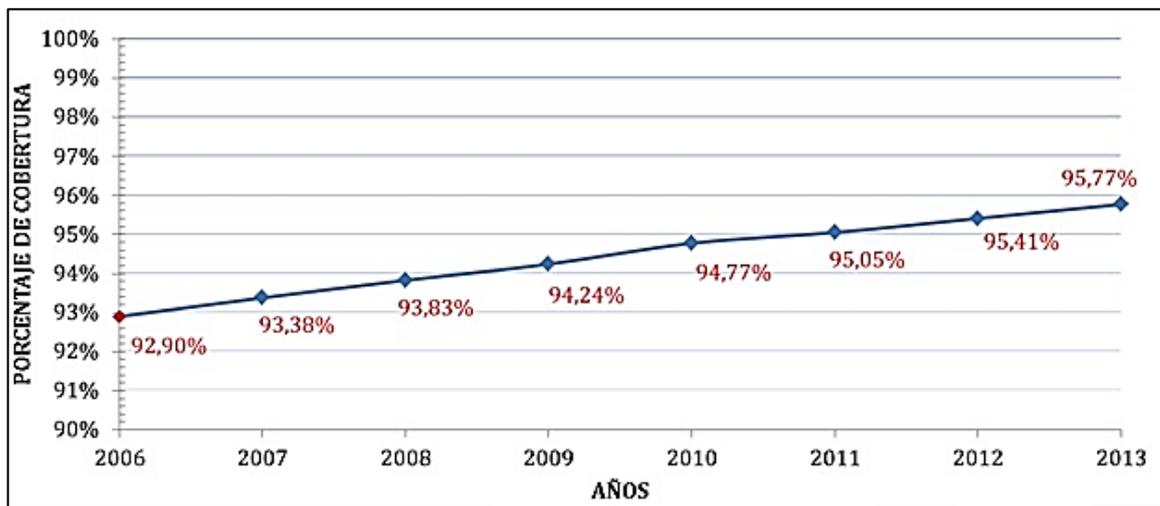
Tipo	Rango (kW)
Micro centrales	< 100
Pequeñas centrales	100 < P < 1000
Medianas centrales	1000 < P < 10000
Grandes centrales	Mayores 10000

Fuente: Tomado de *Centrales hidroeléctricas*, (p. 75), por OLADE, 2011.
www.olade.org

La importancia de las micro centrales de generación se radica en su labor en las áreas rurales que no cuentan con servicio eléctrico que por su ubicación geográfica se encuentran en lugares aislados.

Uno de los objetivos del plan nacional del buen vivir es “Objetivo 11: Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.”(SENPLADES, 2016). En la Figura N° 1 se refleja que a partir del 2007 se han realizado inversiones que han permitido alcanzar una cobertura cercana al 96%.

Figura N° 1: Avance del sector de distribución eléctrica a nivel nacional



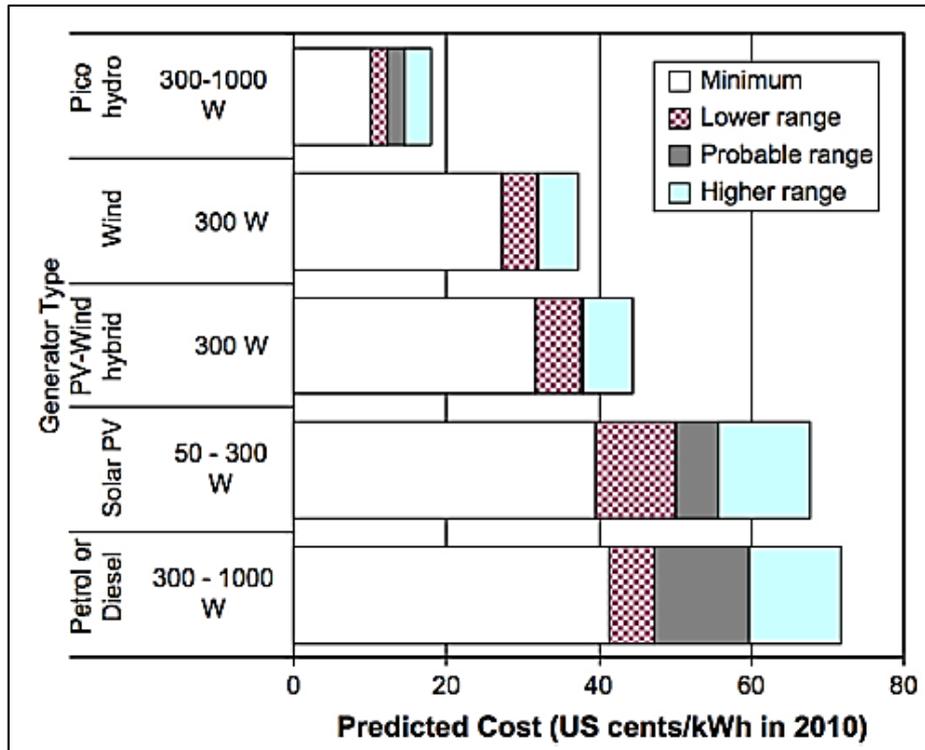
Fuente: Tomado de *Objetivos alcanzados en el sector de la distribución eléctrica a nivel Nacional*, por MEER. <http://www.energia.gob.ec/objetivos-alcanzados-en-el-sector-de-la-distribucion-electrica-a-nivel-nacional>

Esto quiere decir que existe un 4% de población que no cuenta con energía eléctrica. El motivo por el cual estas familias no cuentan con el servicio es lo inaccesible de la geografía por lo que el Gobierno, ONG y diferentes estamentos de la sociedad civil optan por tecnologías offgrid autónomas como paneles solares, generadores eólicos y pico centrales hidroeléctricas.

En los países en desarrollo 1,6 millones de personas viven sin electricidad. En el estudio de Lahimer et al., (2012) mostró que hay 4 millones de potenciales sitios para la implementación de sistemas de microgeneración hidroeléctrica.

Además, en la Figura N°2, muestra que los sistemas de pico y micro generación hidroeléctrica es la tecnología offgrid más competitiva económicamente en comparación con otras tecnologías (p. 5863)

Figura N° 2: Comparación financiera entre varias tecnologías



Fuente: Tomado de *Research and development aspects of pico-hydro power*, (p. 5863), por Lahimer, A., <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.05>

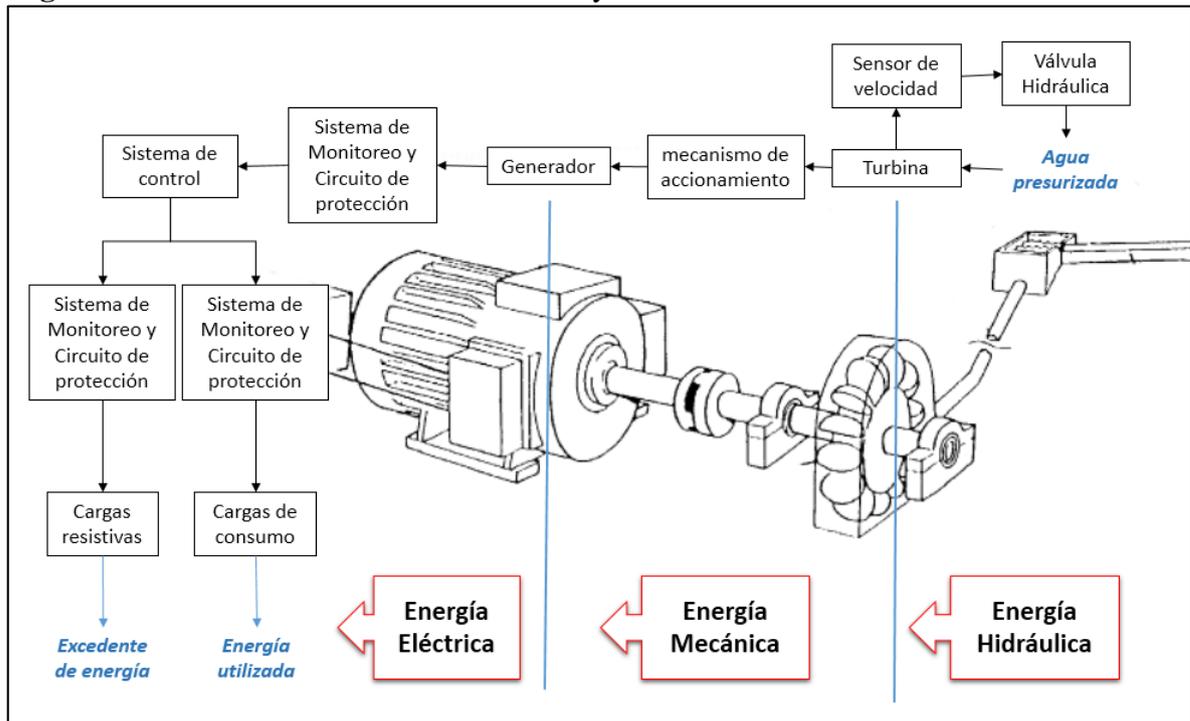
6.2. Componentes de un sistema de micro generación hidroeléctrica

Actualmente los sistemas de micro-generadores prescinden de varios componentes que los sistemas de generación de mayor tamaño. Sin embargo, se incluyen componentes básicos como la turbina y el generador. Además, una central hidroeléctrica necesita de una fuente hidráulica con una caída mínima entre el origen y el lugar donde se va a generar para lo cual se utiliza tuberías para el transporte del caudal. Se diseñan de tal forma que un sistema de captación acumulativa hídrica no es necesario como un deposito o represa.

A pesar de los pocos componentes necesarios que una hidroeléctrica de gran potencia. Su forma de transformar la energía es la misma: La energía potencial del agua es transformada en energía cinética mediante la tubería forzada. La turbina convierte la energía hidráulica en mecánica la cual es transmitida, mediante un eje, al generador eléctrico. Éste al final convierte

la energía mecánica en energía eléctrica. Sin embargo, todo este proceso se lleva a cabo en forma controlada y autónoma; a través de un limitado número de mecanismos de monitoreo y control en la Figura N° 3 se detallan varios sistemas de control y su relación con los componentes electromecánicos del sistema de micro generación hidroeléctrica.

Figura N° 3: Sistemas de control mecánicos y electrónicos



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

6.2.1. Bocatomas

Son obras civiles cuya misión es captar y regular un determinado caudal proveniente de ríos o canales aprovechando la gravedad. Su función es:

- Garantizar una caudal constante
- Impedir el ingreso al sistema de materiales sólidos y conservar la mantenibilidad
- Proteger al sistema de embalses que se pudieran producir en épocas lluviosas

6.2.2. Tubería de presión o tubería forzada

Es un sistema de tuberías que transporta el agua bajo presión desde la bocatoma hasta la turbina. A lo largo de este la energía potencial del agua se transforma en energía cinética.

6.2.2.1. Pautas para la selección

- La clase de material: cemento, PVC (policloruro de vinilo), acero, polietileno de alta densidad, hierro dúctil, resina poliéster con fibra de vidrio reforzado.
- La pérdida de altura por fricción según el material utilizado
- Considerar el golpe de ariete en el caso de un cierre brusco del distribuidor
- Diseñar soportes y uniones adecuados a la presión máxima considerada
- Seleccionar el diámetro adecuado obteniendo el menor costo y las menores pérdidas
- Dificultad de instalación y mantenimiento

La metodología que se puede optar para determinar las dimensiones de la tubería de presión. Será establecer la presión de trabajo de la tubería de presión. En Mataix (1986) enuncia la presión, Ecuación N° 1 (p. 32) como:

$$P = \rho * g * h \quad \text{Ecuación N}^{\circ} 1$$

Dónde: P = Presión nominal del sistema (Pascales)

ρ = densidad del fluido 1000Kg/m³

g = aceleración de la gravedad 9,81 m/s

h = altura del salto de agua (m)

La selección del tipo de material se define por las características de las tuberías disponibles en el mercado. Véase la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Materiales para tuberías de presión

COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES PARA TUBERIAS					
Material	Perdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Hierro Dúctil	4	3	2	1	5
Asbesto Cemento	3	3	4	4	4
PVC	5	5	4	4	4
Acero Comercial	3	3	3	2	5
Poliestileno	5	5	5	3	4

Nota: Los valores descritos en la tabla son adimensionales. Los cuales comparan las características de cada material en un rango de:1 como Malo y 5 como Excelente

Fuente: Tomado de *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos* (pág. 108), por Coz, Federico. Lima: ITDG Editores. Copyright 1995 por ITDG Editorial

Una vez seleccionado el tipo de material. Es necesario considerar las pérdidas en la tubería. En el diagrama de Moody se establece las pérdidas por fricción, véase Anexo N° 5. Donde se encuentra el factor de fricción (f) y la rugosidad (Kr) del material establecida por una relación de rugosidad (K) y el diámetro interno de la tubería (d) Ecuaciones N° 2.

$$Kr = K/d \quad \text{Ecuación N° 2}$$

Con estos datos se puede calcular la pérdida de carga por fricción en toda la longitud de la tubería. Con la siguiente ecuación:

$$hf = \frac{f \cdot L \cdot Q^2}{d^5} \quad \text{Ecuación N° 3}$$

dónde: L = longitud de la tubería (m)

Q = Caudal (m^3/s)

Las pérdidas por turbulencia de calculan en función también del diagrama de Moddy, Anexo N° 5. Pero considerando secciones de uniones, entradas, válvulas, codos y otros accesorios. Y se determina la turbulencia (ht) en la siguiente ecuación:

$$kt = \frac{V^2}{2g} (k_1 + k_2 + \dots + k_n) \quad \text{Ecuación N° 4}$$

dónde: V = Velocidad del agua (m/s)

g = gravedad ($9.81 m/s^2$)

k_n = pérdidas en cada accesorio

Las pérdidas totales de la tubería será la suma de la pérdida por fricción (hf) y la pérdida por turbulencia (ht)

$$h_p = h_f + h_t \quad \text{Ecuación N° 5}$$

Finalmente, se fija la pérdida porcentual de la caída por una relación entre la pérdida total (h_p) de la tubería y la altura neta (H):

$$p\% = \frac{h_p \cdot 100}{H} \quad \text{Ecuación N° 6}$$

El espesor de la pared de la tubería es el siguiente paso. Este valor determina los requisitos mínimos de presión de trabajo bajo las cuales la tubería puede funcionar en condiciones normales. Ocasionalmente aparecen presiones transitorias que se suman a la presión normal, como el cierre de una válvula. Esta presión puede ser calculada por:

$$\Delta h_{trans} = \frac{a \cdot \Delta V}{g} \quad \text{Ecuación N}^\circ 7$$

Donde a es la velocidad de propagación de la onda de presión según el material. Por ejemplo, en la tubería de acero blando es de 900 m/s, hierro fundido 1250 m/s y PVC de 350 m/s.

La presión está en función de la altura neta. Por lo cual esta sobrepresión puede expresarse en una caída teórica por la Ecuación N° 8.

$$h_t = \Delta h + h_p \quad \text{Ecuación N}^\circ 8$$

El espesor de la pared de la tubería (T) se fija por la siguiente ecuación de Coz (1995), pág. 110:

$$T = \frac{5 \cdot f_s \cdot h_t \cdot 10^6 \cdot d \cdot k_j}{S} + K_c \quad \text{Ecuación N}^\circ 9$$

Dónde f_s es el factor de seguridad, S es el esfuerzo de rotura del material (N/m^2), K_c es un factor de corrosión, se recomienda en Coz (1995) una relación de 1 mm por cada 10 años (pág. 110) y K_j es el factor de soldadura, se recomienda en Coz (1995) soldada = 1.1, Plancha rolada y soldada = 1.2 (pág. 110).

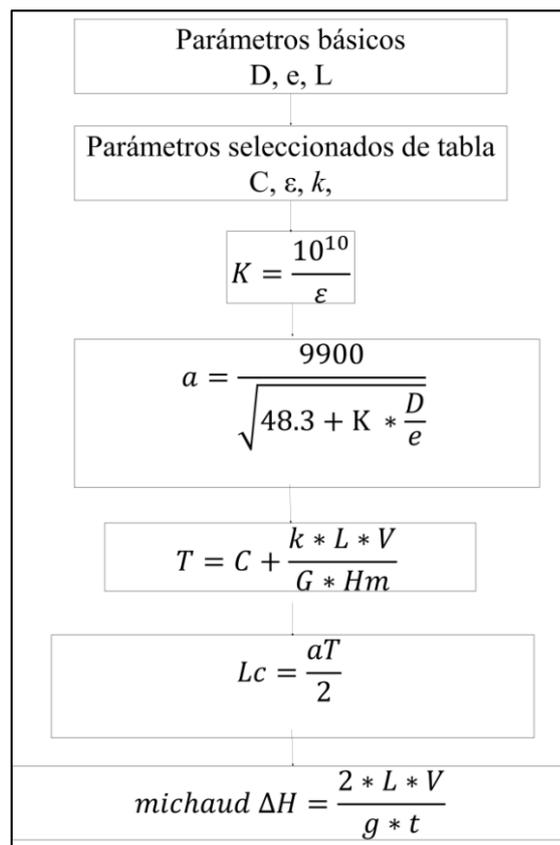
6.2.2.2. Golpe de ariete

En Mataix (1986) enuncia:

Este fenómeno se produce en los conductos al cerrar o abrir una válvula y al poner en marcha o parar una maquina hidráulica, o también al disminuir bruscamente el caudal. Un caso importante ocurre en las centrales hidroeléctricas, donde se ha de reducir bruscamente el caudal suministrado a las turbinas hidráulicas acopladas a alternadores, cuando se anula la carga del alternador: en este caso la instalación debe proyectarse de manera que no se produzca golpe de ariete excesivo. (p. 312).

En base a lo expuesto en el párrafo anterior, es necesario determinar la existencia o no de golpe de ariete en la microcentral. Con el fin de mantener un sistema hidráulico estable ante cualquier perturbación en el caudal o en la carga. En la página web (<https://www.hidrojing.com>) sugiere implementar un algoritmo de cálculo (Figura N°4) para determinar la existencia de golpe de ariete en un sistema.

Figura N° 4: Algoritmo para el cálculo de Golpe de Ariete



Fuente: Tomado de <https://www.hidrojing.com>

6.2.3. Turbina

La turbina tiene la misión de transformar la energía potencial del agua en energía rotacional. Esto se logra aprovechando las variaciones de la energía que el fluido experimenta al pasar por las palas de turbomáquina.

Se clasifican bajo un criterio el grado de reacción ϵ_T .

$$\epsilon_T = \frac{\text{Altura de presión absorbida por el rodete}}{\text{Altura total absorbida por el rodete}}$$

Ecuación N° 10

Mataix (1986) afirma: “Si el grado de reacción es 0 la turbina de acción. Si es diferente a 0 la turbina es de reacción” (p. 461). Es decir, dentro de las turbinas de acción la presión estática se mantiene constante y en la turbina de reacción la presión estática disminuye.

Algunos aspectos que diferencian a cada turbina se detallan en la Tabla N° 4. Todas estas características permiten seleccionar una turbina bajo condiciones específicas que antepone un sistema en particular. Cada una de ellas son más o menos apropiadas para un proyecto de electrificación en particular.

En cuanto a la relación de las microturbinas, es decir, las turbinas típicas para aplicaciones de microgeneración. La Tabla N° 5 se define los rangos de operación de las turbinas en relación a la velocidad específica y la eficiencia. Parámetros muy confiables para selección de una turbina. Esto mediante la siguiente ecuación:

$$N_s = N * \frac{\sqrt{P}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad \text{Ecuación N° 11}$$

Dónde: N = RPM (revoluciones por minuto)

P = Potencia esperada

H = Altura neta

La Figura N° 5 señala a las turbinas Axial, Turgo y Pelton como las más utilizadas en dos rangos de acción con respecto a su altura neta. Agrupando las turbinas Turgo y Pelton en la misma área de acción (5 – 100 m) y relegando a la turbina axial a alturas bajas (0.5 – 5 m).

La Figura N° 6 relaciona todas las turbinas de microgeneración en función de un parámetro llamado densidad de potencia. En S. J. Williamson, Stark, Booker (2014) lo define como: “La relación entre la potencia hidráulica generada y la masa necesaria para el adecuado funcionamiento de una turbina hidráulica” (pág. 1121). Entendiendo como la masa necesaria para su funcionamiento al conjunto de: la turbina, el o los inyectores, bocatoma, la tubería de presión y cualquier accesorio necesario para que la turbina hidráulica transforme la energía potencial del agua en potencia mecánica. Esta relación es importante en aspectos como la portabilidad del equipo hacia zonas aisladas y el costo de la instalación.

Tabla N° 4: Algunos aspectos que diferencian a las diferentes turbinas hidráulicas

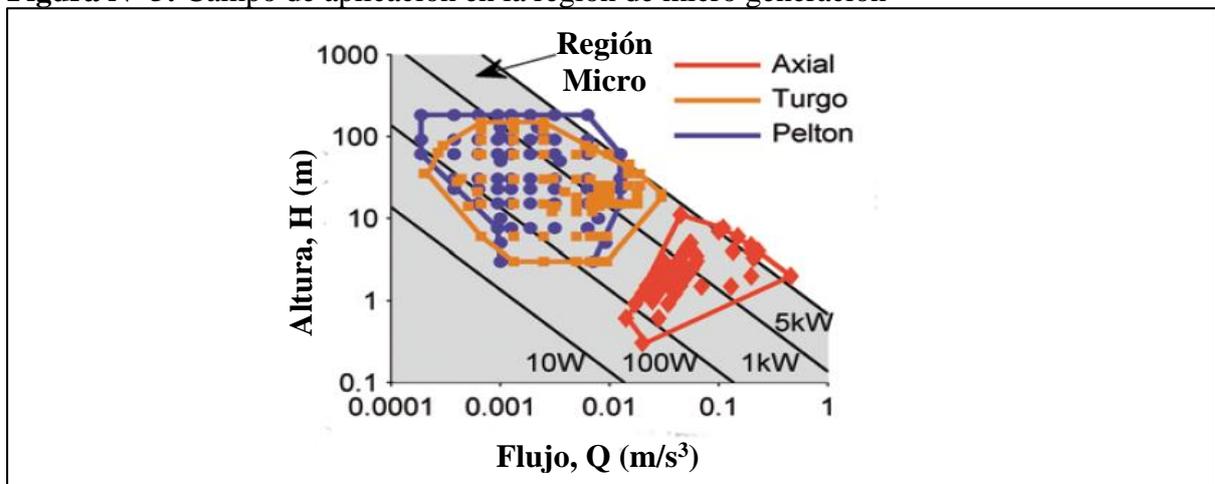
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Francis	
Bajas pérdidas hidráulicas, alta eficiencia, alta velocidad específica, bajos costos en acoplamiento con el generador. Opera a grandes rangos de alturas y caudales	Problemas de cavitación. Bajo rendimiento a cargas parciales. Alto desgaste de erosión por su geometría
Kaplan	
Alta velocidad específica, los alabes del rodete y distribuidor pueden adaptarse a cambios de salto y caudal. Su alta velocidad de rotación permite reducir su tamaño.	Altas velocidades de embalamiento. Los sistemas de regulación aumentan su costo considerablemente. Presenta alto riesgo de cavitación.
Bulbo	
Turbina-generador dentro del bulbo, bajo costo de obras civiles	Fabricación y mantenimiento complejo y costoso
Pelton	
Baja probabilidad de cavitación, y fabricación sencilla. Mantenimiento económico. Los alabes son robustos y duraderos. Alto rendimiento a cargas parciales (superior al 80% para un 20% del caudal nominal).	Requiere de múltiples inyectores para hacer frente a grandes caudales. Baja velocidad de operación, lo cual incrementa los costos respecto las turbinas de reacción. Para potencias altas, requiere grandes áreas debido a su gran rodete.
Turgo	
Baja probabilidad de cavitación. Reducción considerable del diámetro (hasta la mitad del de una Pelton). Menor número de inyectores, llevando a una simplificación en el sistema de control de velocidad. Permite acoplamiento directo al generador debido a su mayor velocidad angular.	Debe soportar grandes cargas axiales sobre los cojinetes debido al chorro inclinado. Su eficiencia (aprox. 85%) es menor que la de una turbina Pelton (91%). Fabricación compleja, debido a la complejidad de sus alabes los cuales se superponen y son más frágiles.
Michell-Banki	
Construcción sencilla, pocas piezas móviles. Facilita el mantenimiento. Sencilla instalación, bajos costos de obra. Más económica que los demás tipos de turbinas utilizadas en PCH. Permite fabricación local.	Baja eficiencia (65%-84%) con respecto a la de las demás turbinas tanto de acción como de reacción. Bajas eficiencias a potencias superiores a 1000kW.

Fuente: Tomado de *Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación*, (p. 180), por Morales, Corredor, Paba & Pacheco, Medellín: DYNA: Universidad Nacional de Colombia. Copyright 2013 por DYNA: Universidad Nacional de Colombia

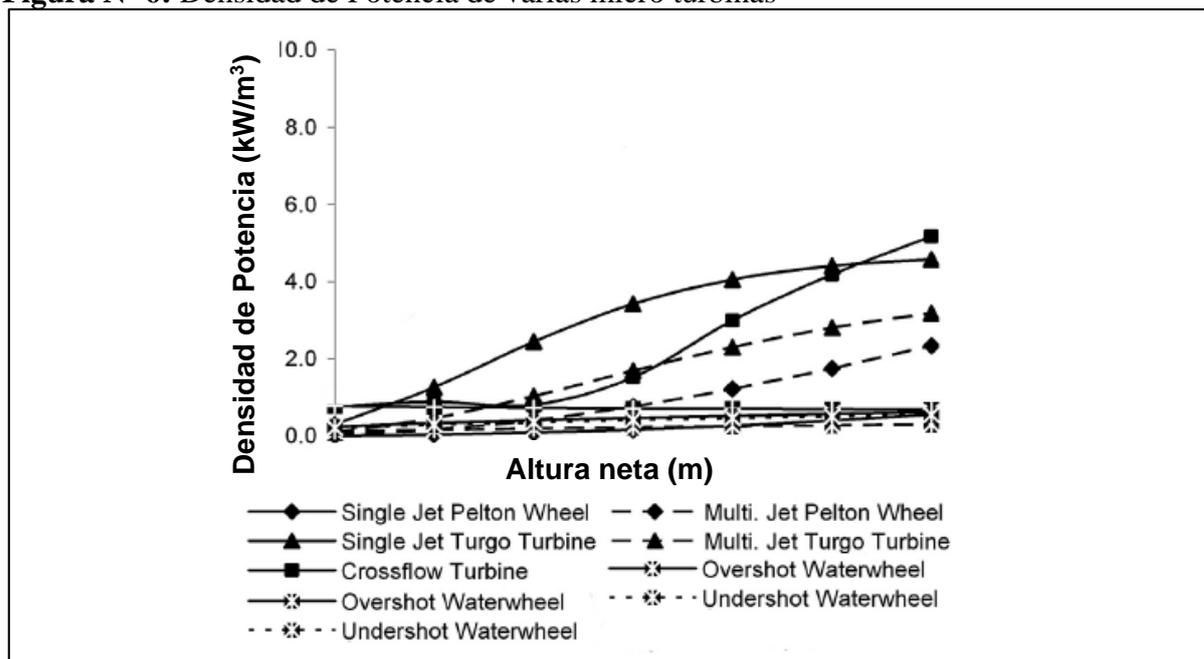
Tabla N° 5: Velocidad específica y eficiencia de algunas microturbinas

Tipo de turbina	Ns	Eficiencia η máx. %
Pelton de una tobera	12-30	91
Pelton de dos tobera	14-40	86
Turgo	20-70	85
Michell-Banki	20-200	82
Francis	80-400	92
Kaplan	140-1000	93

Fuente: Tomado de *Centrales hidroeléctricas*, (p. 75), por OLADE, 2011. www.olade.org

Figura N° 5: Campo de aplicación en la región de micro generación

Fuente: Tomado de *Site Implementation of a Low-Head Pico-Hydro Turgo Turbine*, (p. 331), por Williamson, Booker & Stark, Cham: Springer International Publishing. Copyright 2015 por Springer International Publishing

Figura N° 6: Densidad de Potencia de varias micro turbinas

Fuente: Tomado de *Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis*, (p. 48), por Williamson, S. J. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.020>

6.2.3.1. Turbina Turgo

Gordon & Gilkes menciona: “Fue inventada y patentada en 1920 por Eric Crewdson (UK) y desarrollado por Gilbert Gilkes Ltd” (p. 12). Pertenece al conjunto de turbinas de acción, de flujo axial y de admisión parcial. Tanto la Pelton y Turgo turbinas generan su par a través del cambio en el momento de un chorro de agua. El chorro incide con un ángulo de 20° respecto al plano diametral del rodete como se muestra en la Figura N° 7. Una de las características ideal es la aplicación de la fuerza hidráulica en varios alabes provocando una mayor velocidad periférica y por consiguiente una mayor velocidad angular. Esto genera una mayor velocidad específica lo que permite ser acoplada directamente al eje del generador.

Figura N° 7: Micro turbina Turgo (izquierda), ángulo de acción del inyector (derecha)



Fuente: Tomado de *Impulse (Turgo and Pelton) turbine performance characteristics and their impact on pico-hydro installations*, (p. 961), por Cobb & Sharp. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.010>

En el ámbito de los sistemas de micro generación hidroeléctrica la turbina Turgo, véase la Figura N° 5, posee un comportamiento excelente en con parámetros desde 23 lt/s en 1 m de altura. Generando potencias por debajo de los 5 kW. El comportamiento de está turbina la hace favorable sobre otras microturbinas utilizadas en la región de microgeneración.

La densidad de potencia de una turbina hidráulica es la relación entre potencia turbina y el volumen del sistema hidráulico (Turbina, eje, tubería forzada, válvula e inyectores) necesarios para su correcto funcionamiento. Esto nos permite dar un valor de portabilidad y mantenibilidad. Garantizando la eficiencia optima del sistema de microgeneración.

En la Figura N° 6 se describe la densidad de potencia de varias turbinas de micro generación. Donde sobresale el comportamiento de la turbina Turgo sobre la Pelton en una curva estable en función de la altura. La curva de la turbina Pelton es errática provocando que su correcto funcionamiento varié erráticamente.

Esta propiedad es importante ante los cambios bruscos de caudal ante factores ajenos. La estabilidad de esta turbina ante las variaciones de caudal la hacen ideal en sistemas donde no se puede garantizar un caudal constante como en las macros estructuras de generación hidráulica.

Algunos de sus componentes son:

- **Distribuidor.** - puede ser de un solo inyector o múltiples (hasta 4).
- **Rodete.** - su diseño permite que, a igualdad de diámetro del rodete, puede operar con un mayor caudal. Ya que el impacto del chorro sobre un alabe no interfiere con el funcionamiento de los alabes adyacentes.

Para la selección de una turbina se debe considerar tanto el caudal (Q) como la altura neta H_n . Así la potencia de la turbina P_t será el producto de estos valores y la eficiencia de la turbina η_t de la Tabla N° 5:

$$P_t = \rho g H_n Q \eta_t \quad \text{Ecuación N° 12}$$

Dónde: ρ = densidad del agua (1000 kg/m^3)

g = gravedad (m/s^2)

Así la eficiencia de la turbina η_t será la relación entre la potencia mecánica P_M y la potencia de la turbina P_t :

$$\eta_t = \frac{P_M}{P_t} \quad \text{Ecuación N° 13}$$

Como es una máquina de transferencia de momento, la eficiencia teórica de la turbina Turgo se puede calcular por el cambio en la velocidad del agua entre la entrada y la salida de la hoja.

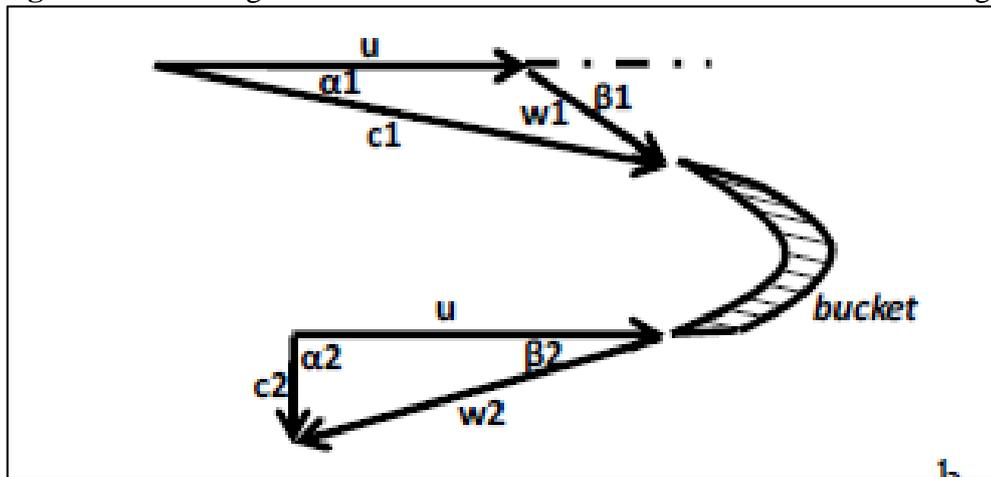
En la Figura N° 8 se muestra los vectores de velocidad y como un chorro de agua impacta en un solo alabe. La dirección de referencia es la de la velocidad del alabe, u .

$$u = \frac{D \cdot \pi \cdot N}{60} \quad \text{Ecuación N° 14}$$

Dónde: D = diámetro tentativo del rodete

N = Velocidad (rpm)

Figura N° 8: Triangulo de velocidades de un solo alabe de una Turbina Turgo



Fuente: Tomado de *An experimental investigation of design parameters for pico-hydro Turgo turbines using a response surface methodology*, (p.411), por Gaiser, Erickson, Stroeve & Delplanque. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.049>

El diámetro del rodete, desde el eje hasta el punto de impacto del chorro, puede ser calculado en función del caudal y la altura neta, detallado en la siguiente ecuación:

$$D_1 = 40.8 * \frac{\sqrt{H_n}}{N} \quad \text{Ecuación N° 15}$$

El agua entra con una velocidad absoluta, c_1 , una velocidad relativa W_1 , con respecto al marco de referencia de la hoja. El ángulo de entrada relativa del agua se supone que es paralelo al borde de entrada de la hoja de entrada sin problemas con el fin de evitar una descarga hidráulica, o martillo de agua. La velocidad absoluta de entrada se calcula con la siguiente ecuación:

$$c_1 = kc_1 \sqrt{2gH} \quad \text{Ecuación N° 16}$$

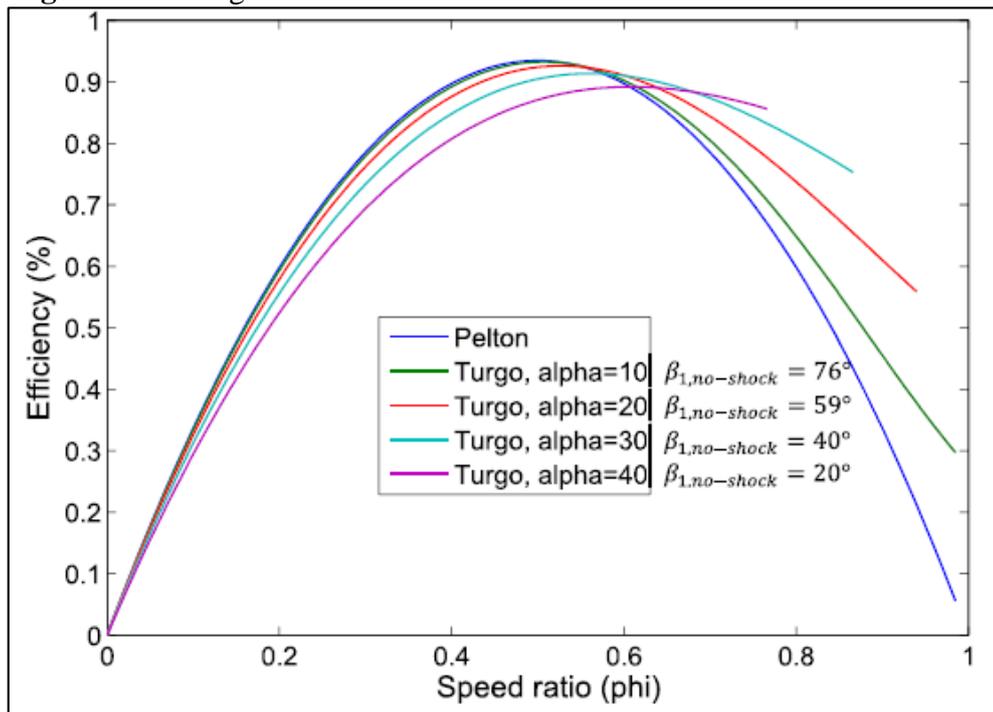
Donde kc_1 es un coeficiente de velocidad del inyector. En (S. J. Williamson, Stark, & Booker, 2013) sugiere como datos tentativos de diseño a el factor de eficiencia de chorro kw en 95% y factor de eficiencia del chorro kc_1 en 98% y el valor de α_2 en 90° . Y, de manera vectorial, la velocidad relativa se define en la ecuación:

$$w_1 = c_1 - u$$

Ecuación N° 17

Los ángulos β_1 y β_2 se encuentran utilizando las relaciones básicas de trigonometría. En tanto en la investigación de Gaiser, Erikson, Stroeve y Delplanque (2016) sugiere un ángulo de entrada del chorro, α_1 , en 20° . Esto como evidencia experimental descrito en la Figura N° 9, como el ángulo más estable en relación con la velocidad del rodete.

Figura N° 9: Angulo alfa 1 en relación a la velocidad



Fuente: Tomado de *An experimental investigation of design parameters for pico-hydro Turgo turbines using a response surface methodology*, (p.411), por Gaiser, Erickson, Stroeve & Delplanque. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.049>

El flujo másico del inyector, en Clerebault Correa, De Andrade, Croquer, Jeanty & Asuaje (2012), lo define en función de la velocidad absoluta del inyector y sus dimensiones:

$$\text{flujo masico del inyector} = c_1 * \frac{\pi}{4 * \left(\frac{d}{12}\right)^2} * 62.4$$

Ecuación N° 18

En el mismo documento se detalla la potencia teórica del inyector al multiplicar el flujo másico del inyector por la altura neta y la eficiencia del generador:

$$P_{\text{inyector}} = \text{flujo masico} * H_n * \eta_G \quad \text{Ecuación N}^\circ 19$$

Un parámetro de diseño importante es el coeficiente de operación del inyector, el cual según Clarembaux Correa, De Andrade, Croquer, Jeanty & Asuaje (2012) puede ser entre 55 – 43%. Pero también puede ser encontrado relacionando la fuerza ingreso del chorro del inyector y su salida. Esto a través de la conservación del momentum lineal.

$$\vec{P} = \overrightarrow{P_{\text{entrada}}} - \overrightarrow{P_{\text{salida}}} \quad \text{Ecuación N}^\circ 20$$

En Hibbeler (2010), define el momentum lineal en función de la masa y velocidad (p. 236). En este caso será el flujo másico del inyector y la velocidad relativa del inyector.

$$\vec{P} = m\vec{w} \quad \text{Ecuación N}^\circ 21$$

Deduciendo el momentum lineal tangencial a la entrada y salida del alabe en las siguientes ecuaciones:

$$P_{\text{entrada}} = (c1 - u) * \cos(\alpha) * \text{flujo masico del inyector} \quad \text{Ecuación N}^\circ 22$$

$$P_{\text{salida}} = Cb * (u - c1) * \cos(\beta1) * \text{flujo masico del inyector} \quad \text{Ecuación N}^\circ 23$$

El torque producido por un solo alabe se define en relación a el momentum lineal por la distancia de giro:

$$\tau = P * (D/2)$$

Y la potencia que genera el alabe será un producto de la velocidad y la fuerza (momentum lineal):

$$\text{Potencia mecanica} = u * \vec{P} \quad \text{Ecuación N}^\circ 24$$

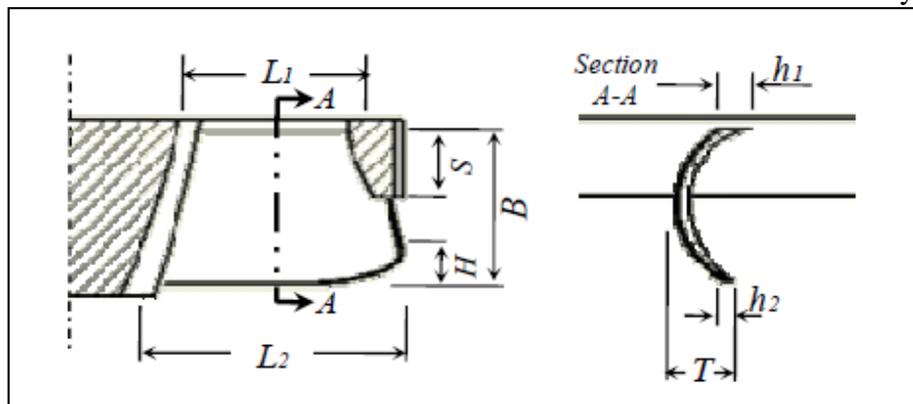
La eficiencia de la turbina se define en la Ecuación N° 4, donde el coeficiente de operación optimo del inyector coincide con el máximo valor de eficiencia de la turbina. En el documento de Gordon, 2012 recomienda las proporciones dimensionales de los alabes en

función del diámetro del chorro. En la Figura N° 10 y en la Tabla N° 6 se describen las medidas sugeridas entre varios rangos. Hay que señalar que el valor h_1 es el espesor del alabe el cual además debe soportar los esfuerzos mecánicos. En cuanto al número de alabes que el rodete contiene, se recomienda utilizar la siguiente fórmula en función del diámetro del inyector:

$$\text{numero de alabes} = \frac{D}{\pi} * 0.022$$

Ecuación N° 25

Figura N° 10: Dimensiones recomendadas en función del diámetro del inyector



Fuente: Tomado de *Desing procedure for a Turgo type turbine using a three-dimensional potential flow*, (p. 2042), por Clarembaux, De Andrade, Croquer, Jeanty & Asuaje. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.10.1115/GT2012-68807>

Tabla N° 6: Medidas del alabe de la Turbina Turgo

Dimensiones recomendadas en función del diámetro del inyector

L1 (1,60 – 1,90) d

B (1,50 – 2,10) d

h_1 (0,25 – 0,40) d

T (0,45 – 0,60) d

Alfa 1 (20°)

Beta 2 (<20°)

Fuente: Tomado de *Desing procedure for a Turgo type turbine using a three-dimensional potential flow*, (p. 2045), por Clarembaux, De Andrade, Croquer, Jeanty & Asuaje.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.10.1115/GT2012-68807>

6.2.4. Generador Eléctrico

Tanto transformadores, generadores y motores de corriente alternan basan la esencia de su funcionamiento en función de dos leyes:

- Ley de Faraday establece que: “El valor de la tensión inducida en una sola espira de hilo es proporcional a la velocidad de variación de las líneas de fuerza que la atraviesan (o concatenan con ella)” (Kosow, 1993, p. 4).
- La ley de Lorentz o fuerza de Lorentz: “La magnitud de la fuerza depende de la orientación del conductor con respecto a la dirección del campo. La fuerza es mayor cuando el conductor es perpendicular al campo y cero cuando es paralelo a él. Entre estos dos extremos, la fuerza tiene valores intermedios.” (Wildi, 2007, p. 30)

Estas leyes rigen el comportamiento de conversión eléctrica de las máquinas eléctricas (motores, generadores y transformadores). Específicamente, el generador, convierte la energía rotacional mecánica proveniente del eje de la turbina en energía eléctrica. Este es el objetivo principal de este sistema de generación eléctrica.

En el campo de los generadores podemos encontrar dos tipos: Síncronos y asíncronos. Lo que diferencia entre estos dos tipos de generadores, además de su forma constructiva, es la velocidad de sincronismo, véase la Tabla N° 7. En el generador síncrono el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético; mientras en el asíncrono existe un desfase, llamado deslizamiento, entre la velocidad del rotor y el campo magnético.

Tabla N° 7: Determinación de la velocidad síncrona en las máquinas eléctricas rotativas

Síncrono (alternador)	Asíncrono (Inducción)
$n_s = \frac{120f}{p}$	$n_s = \frac{120f}{p}(1 - s)$

Nota: n_s = Velocidad síncrona, f = frecuencia, p = número de polos, s = deslizamiento

Fuente: Tomado de *Máquinas eléctricas y transformadores*, (p. 263). 1993. Moscú: Editorial Mir. Copyright 2013 por Editorial Mir

Las máquinas síncronas tienen muchas ventajas sobre las máquinas de inducción. Uno de ellos es una mayor eficiencia. Es debido a que la intensidad de magnetización no es una parte de la corriente del estator.

En las máquinas de inducción necesitan estar conectados, en paralelo, a la red eléctrica o en su defecto prever un conjunto de capacitores que mantengan potencia reactiva para la magnetización en el sistema.

6.2.4.1. PMSG (Generador Sincrónico de Magnetos Permanentes)

Al igual que cualquier otro generador posee un rotor y un estator. El estator consiste en un devanado trifásico o monofásico conectado directamente a las cargas. El rotor, en lugar de poseer un devanado de excitación externa, es remplazado por imanes permanentes. Este método se llama auto excitación ya que no emplea ningún campo CD externo para generar el campo magnético necesario.

La auto excitación provoca diversos beneficios. Una de ellas es la eliminación de las pérdidas en el cobre del rotor. Por lo tanto, PMSG son más eficientes en comparación con WRSG (Generadores Síncronos de Rotor Devanado). Se eliminan las escobillas y los anillos colectores, así como los devanados del rotor se eliminan.

Un inconveniente con los PMSG es que el campo proporcionado por los imanes no es controlable. Por lo tanto, no es posible regular el voltaje y la potencia reactiva. De ahí la necesidad de controlar el caudal de tal manera que este sea constante en el tiempo. Sin embargo, menores requerimientos de mantenimiento y por lo tanto un menor coste son las principales razones por las que se utiliza este tipo generador en sistemas de pico generación hidroeléctrica.

Otra cuestión que debe tenerse en cuenta es el riesgo de desmagnetización de los imanes debido al aumento de la temperatura; los imanes pueden estar parcial o completamente desmagnetizado. Este fenómeno debilita las propiedades magnéticas del rotor, reduciendo su eficiencia. Así los PMSG son más adecuados para aplicaciones sin engranajes.

Existen varios PMSG con diferencias constructivas, estas influyen en la dirección del campo magnético generado:

- **Generador de flujo axial.** - la disposición de los imanes se encuentran insertados a lo largo del perímetro del rotor y el estator esta ranurado de forma radial. Esto genera un campo magnético de flujo axial.
- **Generador de flujo radial.** – es la configuración más usada, la disposición de los imanes es en sentido axial en la superficie cilíndrica del rotor. Ambos tipos de generadores se describen en la Figura N° 11.

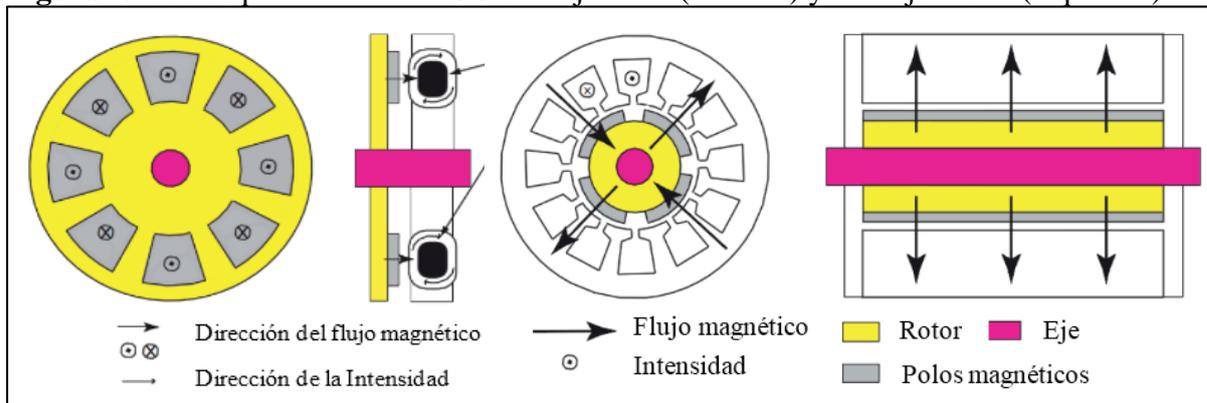
Ventajas

- Se evita la necesidad de un sistema de control para la excitatriz del generador.
- No posee escobillas
- Tiempo de trabajo continuo
- Escasa mantenibilidad
- Trabaja directamente en paralelo con redes interconectadas públicas o privadas.

Desventajas

- Con generación de corriente alterna se debe tener una regulación exacta, para cumplir con la frecuencia y otros aspectos técnicos de la red. Sin embargo, el diseño implementado en el proyecto resuelve este inconveniente
- No se puede controlar el campo magnético ya que este es constante. Pero, nuestro diseño prescinde de cualquier control de campo magnético.

Figura N° 11: Esquema de un PMSG de flujo axial (derecha) y de flujo radial (izquierda)



Fuente: Tomado de *Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine*, (p. 102), por Madani, Nima. 2011. Suecia: Royal Institute of Technology Stockholm Tesis de Maestría. Copyright 2011 por Royal Institute of Technology Stockholm

6.2.5. Control de voltaje y frecuencia

Sin un dispositivo de control, el sistema de generación eléctrica trabaja a una velocidad variable. Esto es por el uso de la energía. Una situación típica se produce cuando no hay carga o muy poca carga conectada al generador. A continuación, se extrae poca potencia mecánica de la turbina y por lo tanto el grupo turbina-generador acelerará. Con la velocidad aumentado de su valor nominal, la eficiencia de la turbina se reduce prácticamente a 0 por lo que no

puede producir energía mecánica para el grupo turbina-generator acelerando aún más. Provocando un cambio brusco en la frecuencia y el voltaje que suministra el generador.

Para mantener el voltaje y frecuencia en rangos considerados de calidad. Es necesario considerar la implementación de sistemas que compensen este fenómeno. Existen dos métodos para lograr este objetivo:

- Por regulación del caudal de agua en la válvula de entrada al inyector
- Por regulación de carga

El método de regulación del caudal de agua tiene el fin de regular manual o automáticamente el paso de agua igualando la potencia generado con la potencia de consumo. Utiliza reguladores oleomecánicos, taquimétricos, electro-mecánicos y electro-hidráulicos. Son de elevado coste, alto grado de dificultad en su instalación y calibración; por lo que son inviables en sistemas de pico generación.

6.2.5.1. Por regulación de carga

La meta de este tipo de regulación es mantener la potencia generada en un valor máximo y constante todo el tiempo. Un controlador direccionara el flujo de potencia a dos conjuntos de carga: la carga del consumidor y una carga lastre. Es decir, como se visualiza en la Figura N° 12 la potencia generada es igual a la suma de la potencia de consumo y la potencia de lastre.

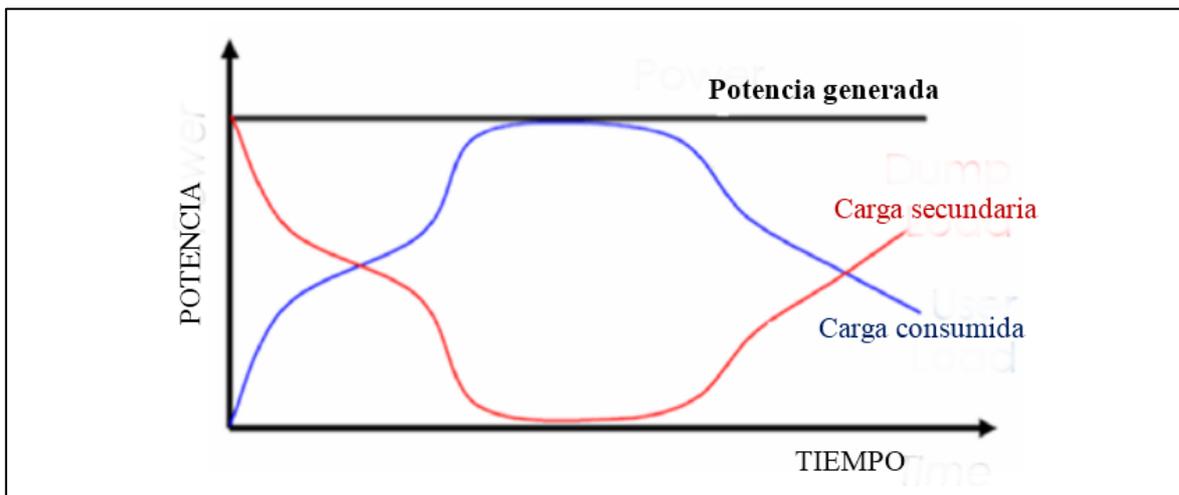
Este controlador electrónico de carga (ELC) por sus siglas en ingles. Son ideales en micro centrales hidroeléctricas con potencia menores de 10 kW. Frente a otros sistemas de regulación son más simples, de menor costo, baja mantenibilidad, fácil instalación, niel de respuesta rápida y no se corre el riesgo de que la tubería de presión sufra de sobrepresiones o golpe de ariete.

Existen en el mercado varios diseños de ELC, pero podemos distinguir algunos componentes básicos:

- a) **Fuente de poder.** - alimenta de energía al dispositivo utilizando la electricidad del generador

- b) **Unidad de control y protección.** - monitorea y controla el funcionamiento del circuito. Posee sensores de frecuencia, voltaje y corriente.
- c) **Unidad de potencia.** - es el actuador. Controla el flujo de potencia hacia la carga de lastre mediante tiristores o relés
- d) **Principio de funcionamiento.** - básicamente existen 2 el análogo y el digital. Dentro del mercado existen diseños comerciales protegidos por patentes y diseños abiertos.

Figura N° 12: Potencia generada = Carga consumida + Carga secundaria



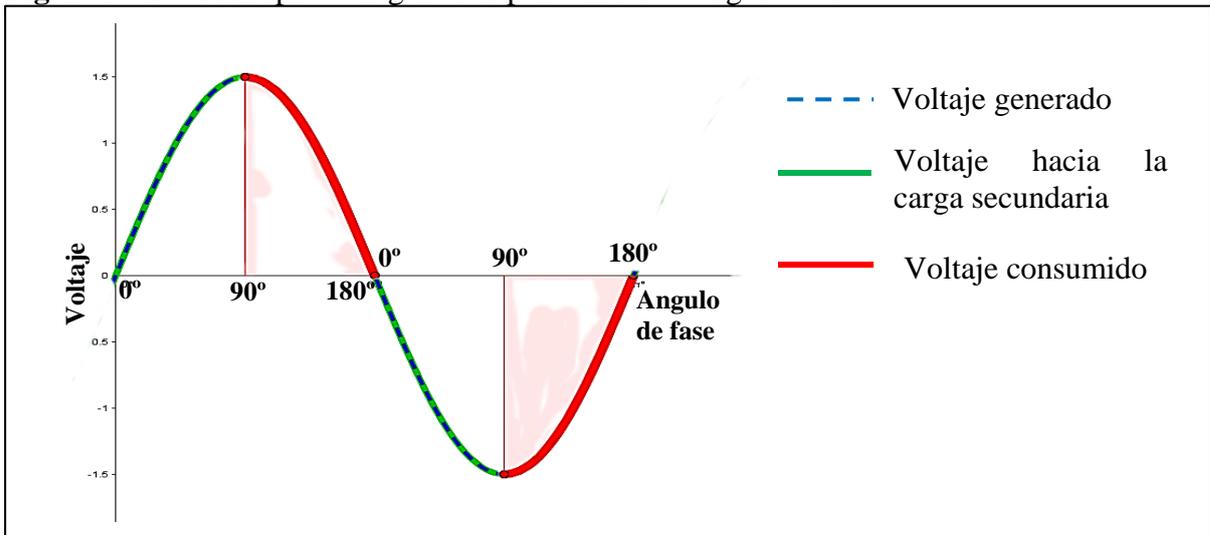
Fuente: Tomado de *Analysis and Design of Electronic Load Controllers for Micro-hydro Systems in the Developing World*, (p. 5), por Mbabazi & Leary. 2010. Universidad de Sheffield, E-Futures. Copyright 2010 por Universidad de Sheffield

6.2.5.2. ELC Analógico

Básicamente se utiliza el uso de rectificadores de control de silicio (SCR), este dispositivo electrónico de potencia funciona como un interruptor hacia la carga de lastre cuando recibe la señal de control. Recortando la señal senoidal, observe la Figura N° 13, variando las pulsaciones a la compuerta de control de 0° a 180°.

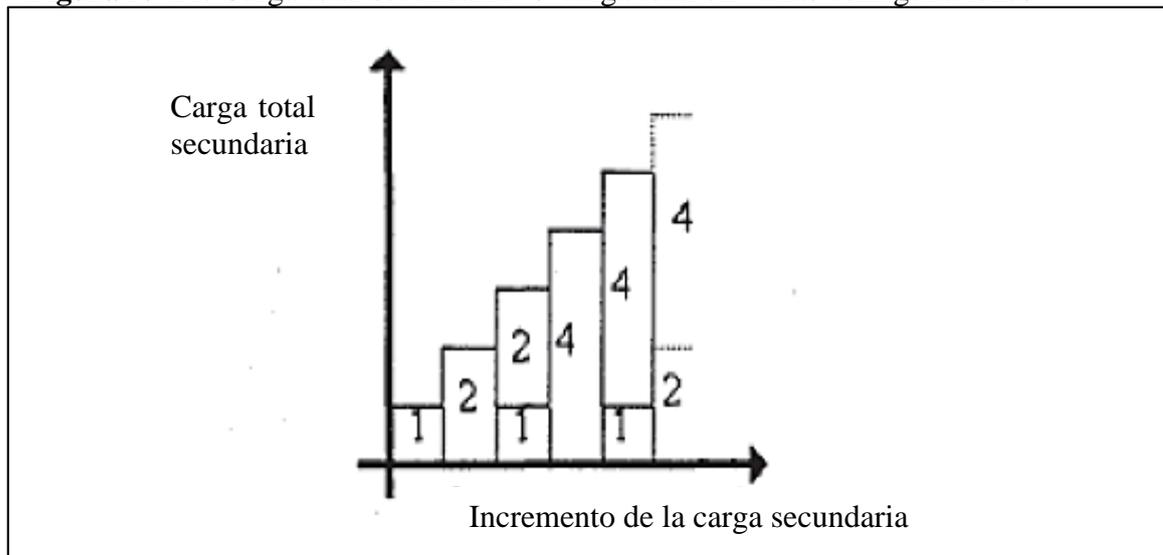
La variable que monitorea es la frecuencia se realiza una comparación con una señal de referencia. Emitiendo una señal diferencial. El circuito de control interpreta esta señal controlando el ángulo de fase de la pulsación hasta que la señal llega a cero. Cuando se produce una variación en la frecuencia la señal diferencial cambia también. El controlador reinterpreta la señal hasta que el diferencial vuelve a estar en cero.

Figura N° 13: Principio de regulación por control de ángulo de fase



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Figura N° 14: Carga total secundaria vs. carga total en varias configuraciones



Fuente: Tomado de *Analysis and Design of Electronic Load Controllers for Micro-hydro Systems in the Developing World*, (p. 5), por Mbabazi & Leary. 2010. University of Sheffield, E-Futures. Copyright 2010 por University of Sheffield

6.2.2.1. ELC Digital

En este caso no se corta la onda de corriente. Se utiliza un conjunto de relés que actúan cuando el controlador detecta un crece de la señal en cero. Los relés conectan sobre un grupo de resistencia con valores fijos pero que, en diferentes combinaciones, en conjunto; generan resistencias eléctricas diferentes. Si se observa la Figura N° 14 el controlador juega con las

resistencias hasta encontrar un conjunto de resistencias que combinadas y sumadas a la carga de consumo es aproximado a la potencia de generación.

El número de cargas puede fluctuar entre 4, 6, 8 y más resistencias. A mayor cantidad de resistencia se logra mejorar la precisión del control, pero eleva el costo del dispositivo. Cada principio de funcionamiento posee sus limitaciones y ventajas las cuales se detallan en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8: Comparación entre el ELC analógico y digital

	ELC Analógico	ELC Digital
Potencia máxima	=< 10 kW	=< 25 kW
Tipo de generador	Sincrónico y Asincrónico	Sincrónico
Ventajas	Barato Alta precisión	Diseño sencillo Fácil instalación y mantenimiento Pocos materiales Los parámetros del software son fácilmente cambiables
Desventajas	Construcción complicada El control de fase provoca en el sistema armónicos	Programación de PIC A comparación del analógico la precisión de regulación es baja

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

6.3. Calidad de Energía

6.3.1. Voltaje

Es la transición de voltaje, ya sea aumento o disminución de la tensión. Esta es provocada por la variación de carga en la red de distribución. Consiste en variaciones consecutivas de voltaje eficaz que llegan a valores nominales de +5% y el +10% en instantes de tiempo que pueden ser mili-segundos hasta 10 segundos. En la tabla 1.4 la regulación del CONELEC-004/01 establece caídas admisibles las cuales son perturbaciones en las cuales el valor eficaz del voltaje cambia con respecto a su valor nominal.

Los efectos de la variación de tensión pueden ser:

- Aceleración de la degeneración del aislamiento de los equipos, calentamiento intenso.

- El sobrevoltaje disminuye el tiempo de vida útil de los sistemas de iluminación
- La asimetría en la tensión influencia, de forma negativa, la operación de los sistemas de operación: relés, interruptores termomagnéticos. Provocando la apertura prematura de los equipos de fuerza.
- Variación del torque de los motores eléctricos, induciendo vibraciones y fatiga en los elementos mecánicos
- El bajo voltaje provoca el frenado de los motores asíncronos.

Tabla N° 9: CONELEC 0004/01 para diferentes voltajes de distribución nacional

PARAMETROS	ZONAS RURALES	ZONAS URBANAS
Voltajes inferiores a 0.6 kV	10%	8%
Voltajes entre 0.6 kV hasta 40 kV	8%	8%
Voltajes superiores a 40 kV	5%	5%

Fuente: Tomado de *Calidad del servicio eléctrico de distribución. Regulación N° 004/01*. (p. 12), CONELEC 2001. Quito: CONELEC. Copyright 2001 por CONELEC

6.3.2. Frecuencia

Es la desviación de frecuencia, en un rango de valores, con respecto a la frecuencia de referencia. En este caso el ente regulador de energía nacional CONELEC determina a las empresas de generación el control de este parámetro en el SIN (Sistema Nacional Interconectado). Las empresas distribuidoras, por su naturaleza, no están en la capacidad de controlar este parámetro.

Tabla N° 10: Rangos admisibles de frecuencia para los operadores de generación

Condición de operación	Rango de frecuencia
Redes aisladas, 20 seg.	Menor 57.5 Hz
Para un periodo máximo de 10 seg	57.5 - 58 Hz; 61.5 - 62 Hz
Para un periodo máximo de 20 seg	58 - 59 Hz; 61 - 61.5 Hz
Sin límite de tiempo	59 – 61 Hz

Fuente: Tomado de *Calidad del servicio eléctrico de distribución. Regulación N° 006/13*. (p. 76), CONELEC. 2001. Quito: CONELEC. Copyright 2001 por CONELEC

La calidad de servicio, en el aspecto de frecuencia, en la Tabla N° 10 se describe la regulación del CONELEC N° 006/13 sobre Procedimientos de despacho y operación. Esta define la desviación permisible en base a un valor de referencia de 60.00 Hz.

El efecto de la baja frecuencia provoca:

- Aumento del consumo de corriente y deterioro del aislamiento eléctrico
- Algunos equipos no encienden. Especialmente, motores y lámparas fluorescentes
- En el caso de las lámparas incandescentes: disminución de la iluminación a causa de la baja tensión

El efecto de la baja frecuencia provoca:

- Las lámparas incandescentes duran menos
- Los motores se sobrecalientan, y se averían
- La constante variación provoca cambios constantes de torque en los motores. Provocando vibración
- Los equipos de alta tecnología (Computadoras, tablets, celulares) funcionan erráticamente

9. HIPÓTESIS

¿Si se implementa un sistema de microgeneración hidráulica mediante el estudio potencial hidroeléctrico se garantizará la calidad de suministro de energía eléctrica en voltaje y frecuencia?

Variable Independiente

Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica

Variable Dependiente

Garantizará la calidad de suministro de energía eléctrica en voltaje y frecuencia

Tabla N° 11: Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicador	Técnicas e Instrumentos
Variable Independiente: Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica mediante el estudio potencial hidroeléctrico	Sistema de microgeneración hidroeléctrico	Evaluación de la energía potencial del agua.	
		Selección y dimensionamiento de la Tubería de presión y sus accesorios	
	Componentes de un sistema de microgeneración hidroeléctrico	Selección y dimensionamiento de Turbina hidráulica.	Técnica: Observación, Experimentación de campo Instrumento: Cuaderno de notas
		Selección del generador eléctrico	
		Selección del control de voltaje y frecuencia	
Variable Dependiente: Garantizará la calidad de suministro de energía eléctrica en voltaje y frecuencia	Calidad de energía	Estabilidad del Sistema de control de lazo cerrado.	Técnica: Experimentación Instrumento: Multímetro
		Voltaje	
		Frecuencia	

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

10. METODOLOGIAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1. Métodos

En el presente proyecto de investigación se ha aplicado el método científico experimental el cual aplica métodos definitorios y clasificatorios, métodos estadísticos, procedimientos de medición, entre otros.

Se ha utilizado también el método hipotético-deductivo que consistió en primera instancia en la medición del caudal y la observación de la baja calidad de energía debido a ello se creó una

hipótesis para explicar la falta de un buen suministro eléctrico, con ello se llegó a la deducción de las consecuencias si se procediera a la instalación de una pico central hidroeléctrica como posible solución del problema, luego de ello se teorizó las efectos fundamentales planteadas en la hipótesis y se logró verificar la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia obtenida.

10.1.1. Técnicas

Como principal técnica se utilizó la observación científica con lo cual se determinó la potencia máxima que nuestro proyecto podría generar de acuerdo a los parámetros de altura y recurso hídrico, esta técnica se utilizó a la par con la técnica de medición con lo cual pudimos establecer la turbina y tubería adecuada.

Para la determinación de la demanda eléctrica del lugar se aplicó la técnica de la entrevista (Anexo N° 8) al propietario de la hacienda San Nicolás, Sr. Fabián Gallardo con cuyos datos obtenidos (Anexo N° 4) se estipuló el tipo y potencia de generador idóneo.

10.1.2. Instrumentos

Se utilizó instrumentos técnicos de medición como son: georeferenciadores, nivel, multímetro para garantizar la veracidad de los datos, así como instrumentos de investigación científica como son cuaderno de notas donde se registró datos y resultados, así como un cuestionario para entrevista.

10.2. Selección de los componentes del sistema de microgeneración hidroeléctrica

10.2.1. Medición del caudal - Análisis del potencial hídrico

Para determinar el caudal se utilizó el método del recipiente con lo cual se elaboró la Tabla N° 12 en la que se detalla los datos obtenidos.

Se obtuvo un promedio de tiempo de 5,15s en el tiempo de llenado de un tanque de 25lt lo cual nos da un caudal disponible de 5lt/s.

Tabla N° 12: Mediciones de tiempo

NUMERO DE MEDICIONES	TIEMPO (s) .
T1	5,08
T2	4,95
T3	5,32
T4	5,25
T5	5,18

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

10.2.2. Presión nominal

La presión nominal del sistema se determina mediante la fórmula de presión por diferencia de altura, véase Anexo N° 18. Aplicando la Ecuación N° 1 se obtiene:

$$P = \frac{1000kg}{m^3} * \frac{9,81m}{s^2} * 14m$$

$$P = 137200 Pa = 19,9 Psi$$

En base a los datos obtenidos podemos determinar el diámetro de la tubería de presión.

10.2.3. Potencia neta estimada

La potencia hidráulica es uno de los principales parámetros de diseño el cual se puede determinar en función del caudal obtenido en la aforación, y la altura neta, mediante la Ecuación N° 12:

$$Pt = \rho * g * Hn * Q * \eta_t = 998 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 14 m * 0.05 \frac{m^3}{s} * 0.85 = 583.1 Watts$$

10.2.4. Tubería de presión y accesorios

Debido a que el costo de la tubería representa gran parte del presupuesto es necesario optimizar la selección para reducir la inversión inicial, así como costos de mantenimiento.

Para determinar la mejor opción para el diámetro de tubería se debe considerar los materiales, tipo de uniones, calcular la pérdida de altura por fricción, así como la probable presión adicional por golpe de ariete y el espesor de pared adecuado.

10.2.5. Material de la tubería

Decidir un material para tubería de presión implica grandes diferencias en el costo total, luego de revisar las características de cada material hemos seleccionado el polietileno de alta densidad, el cual según la Tabla N° 3 ofrece ventajas en sistemas pequeños debido a su facilidad de instalación, coeficiente de pérdidas por fricción bajo, alta resistencia a la corrosión y bajo costo.

10.2.6. Perdidas en tubería

Debido a que la potencia de la turbina depende en gran cantidad a la presión de agua en la entrada, la tubería de presión debe estar diseñada para que las pérdidas no sobrepasen el rango de 4-10% ya que producen una reducción del salto. Utilizando un algoritmo de cálculo en base a las Ecuaciones N° 2 hasta la Ecuación N° 6. Cuyo flujo de cálculo se describe en la Figura N° 15.

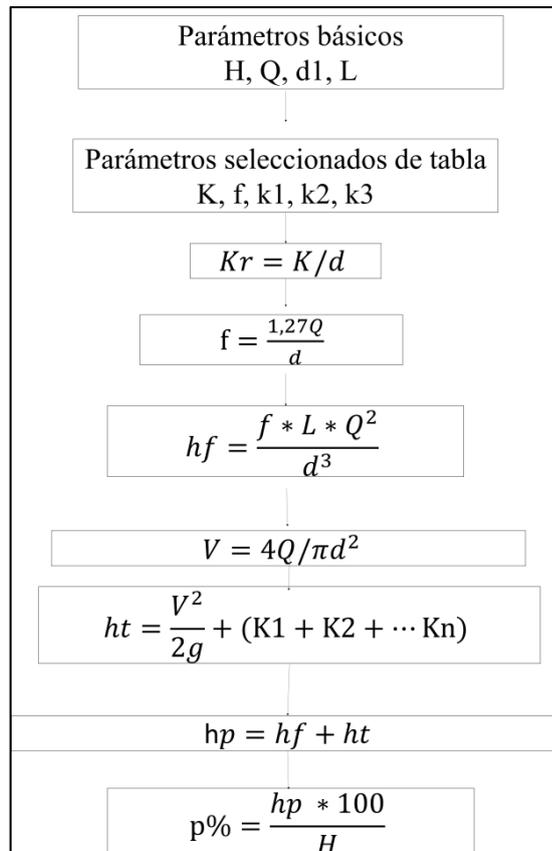
Se determina una pérdida total de 7,36% la cual se encuentra dentro del rango permitido lo que nos garantiza un buen rendimiento de nuestra turbina turgo con una tubería de 2 pulgadas.

10.2.7. Espesor de la pared de tubería

Para el cálculo del espesor de pared se consideró los dos parámetros principales que son: las presiones más altas que se espera soportar en la tubería y los efectos corrosivos del tiempo, rigidez y ondulación en fabricación. El algoritmo desarrollado en la Figura N° 16 está compuesto por las Ecuación N° 7 hasta la Ecuación N° 9.

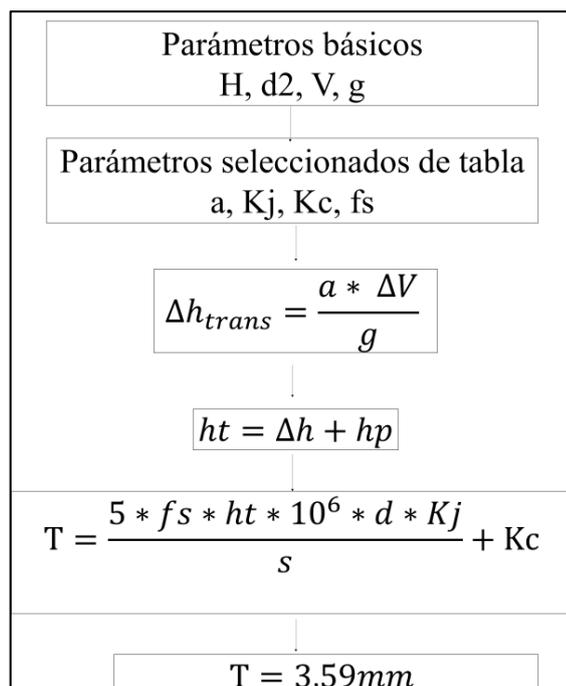
El espesor de pared más delgado disponible en tubería de 2 pulgadas es 4,8mm el mismo que fue seleccionamos en base al espesor teórico calculado de 3,59mm para nuestra implementación.

Figura N° 15: Algoritmo para pérdidas totales en tubería



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Figura N° 16: Algoritmo para espesor teórico



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

10.2.8. Golpe de ariete

Si el flujo de agua se detiene bruscamente se originará sobrepresiones llamadas golpes de ariete. Se utiliza el algoritmo de la Figura N° 4.

De acuerdo a los datos obtenidos la frecuencia de propagación de la onda es de 325.8m/s y el tiempo de parada del agua será de 3.5s con una longitud crítica de 556,6m lo que puntualiza nuestro sistema como instalación corta de cierre lento con lo que no existe sobrepresión por golpe de ariete.

10.2.9. Turbina

En función de los requerimientos de carga eléctrica del domicilio Anexo N° 4 y las pérdidas producidas en la tubería de presión. Se requiere seleccionar la turbina adecuada para una altura neta de 14 m y un caudal 0.05 m³/seg.

En la Tabla N° 5 y Tabla N° 4 se detallan las características de las turbinas que actualmente se comercializan a nivel mundial para los sistemas de microgeneración. En la primera tabla puntualiza la eficiencia de cada turbina colocando a las turbinas de impulso como las mejores: Pelton (91%) y Turgo (85%). En la segunda tabla se describen las características constructivas y su comportamiento ante diferentes fenómenos propios de las turbomáquinas. En la Figura N° 5, se detalla la aplicación de varias turbinas en la región de microgeneración. Destacándose una vez más el comportamiento de las turbinas de impulso. Ambas turbinas presentan las mismas ventajas. Sin embargo, la turbina Turgo se destaca como una máquina más atractiva para sistemas compactos de microgeneración. Esta afirmación se demuestra en la Figura N° 6 donde se detalla la actuación de las turbinas de impulso bajo el parámetro de densidad de potencia. Denotando la curva de la turbina Turgo de un solo inyector como la más alta y estable ante la variación del caudal.

Para lograr un diseño compacto se decide utilizar una turbina que permite un acople directo con el eje del generador. Esto nos permite despreocupar las pérdidas por la transmisión mecánica. Tentativamente se utiliza para el cálculo un generador de 4 polos con 1800 RPM. Podemos utilizar la Ecuación N° 11.

$$N_s = N * \frac{\sqrt{P}}{\sqrt[4]{H^3}} = 1800 \text{ RPM} * \frac{\sqrt{583.1 * 0.00134102}}{\sqrt[4]{14^3}} = 58.8$$

En base a la velocidad especifica presentada en la Tabla N° 5 la turbina adecuada para este proyecto es la turbina Turgo. Además de los criterios teóricos antes expuestos y recogidos en el marco teórico. Procediendo al proceso de cálculo y definición de las dimensiones de la turbina. Para el diámetro del rodete se utiliza la Ecuación N° 15.

$$D_1 = 40.8 * \frac{\sqrt{H_n}}{N} = 40.8 * \frac{\sqrt{14 \text{ m}}}{1800 \text{ rpm}} = 0.084 \text{ m}$$

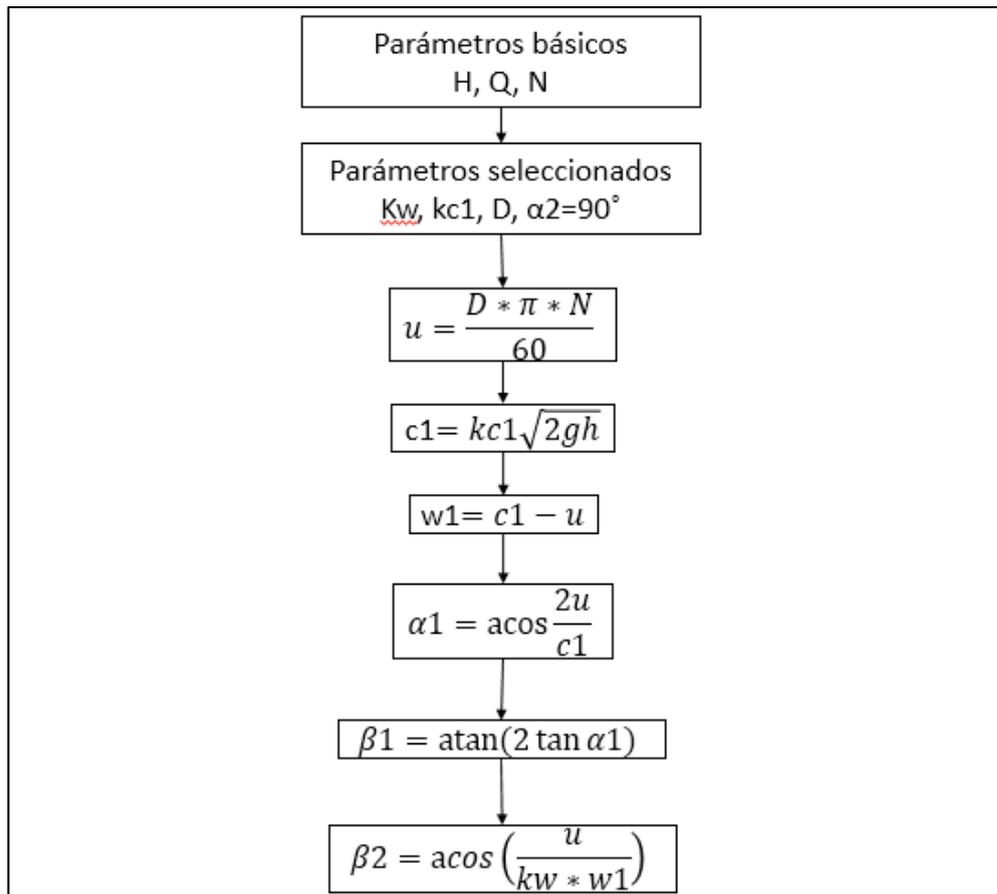
Las dimensiones del inyector se establecen con un diámetro de entrada igual al diámetro de la tubería y el diámetro de salida se defiende en una relación de altura neta y caudal en la siguiente Ecuación y en el Anexo N° 13 se detalla la geometría del inyector.

$$D_{injetor} = 0.54 * \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H_n}}} = 0.54 * \sqrt{\frac{0.005 \text{ m}^3/s}{\sqrt{14 \text{ m}}}} = 0.0195 \text{ m}$$

Para ello primero se define las dimensiones de la curvatura del alabe. En la Figura N° 17 se muestra el proceso del cálculo del ángulo de entrada del chorro sobre la curvatura del alabe. En base a las Ecuación N° 14, 16 y 17. Cuyos datos obtenidos se muestran en la Tabla N° 13. Se selecciona los valores de eficiencia del chorro de la velocidad relativa (kw) y eficiencia del chorro (kcI) en 95% y 98%. De acuerdo a lo que expresa el marco teórico. El perfil del alabe se grafica en el Anexo N° 20.

Con estos datos se calcula las características estáticas del inyector mostrada en el algoritmo de la Figura N° 18, construido en base a las Ecuación N° 15, 18 y 19. Cuyos resultados se describen en la Tabla N° 14.

Para definir las características dinámicas del inyector en aspectos de fuerza tangencial, torque y potencia. La Figura N° 19 describe el algoritmo correspondiente, tomado de la Ecuación N° 20 a la Ecuación N° 24. Cuyos valores se grafican en la Figura N° 20.

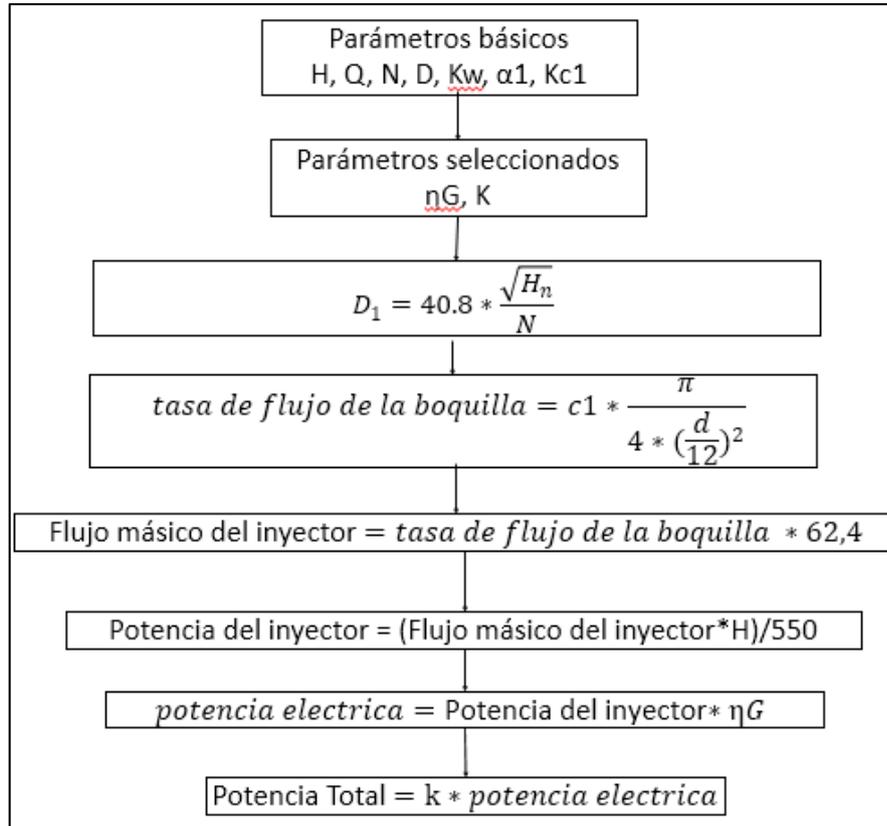
Figura N° 17: Algoritmo para los ángulos y velocidades de entrada del alabe

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Tabla N° 13: Valores seleccionados y obtenidos para entrada del chorro sobre el alabe

Parámetro	Nomenclatura	Valores	Unidades
Altura Neta	H	14	m
Caudal	Q	0,005	m ³ /seg
Velocidad	N	1800	rpm
Eficiencia del chorro de la velocidad relativa	Kw	95%	
Eficiencia del chorro	$Kc1$	98%	
Diámetro Tentativo del rodete	D	0,084	m
	$\alpha 2$	90	grados
Velocidad del rodete	u	7,92	m/seg
Velocidad absoluta a la entrada	$c1$	15,7	m/seg
Velocidad relativa	$w1$	7,82	m/seg
	$\alpha 1$	20	grados
	$\beta 1$	41	grados
	$\beta 2$	19	grados

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Figura N° 18: Algoritmo para el cálculo de las características del inyector

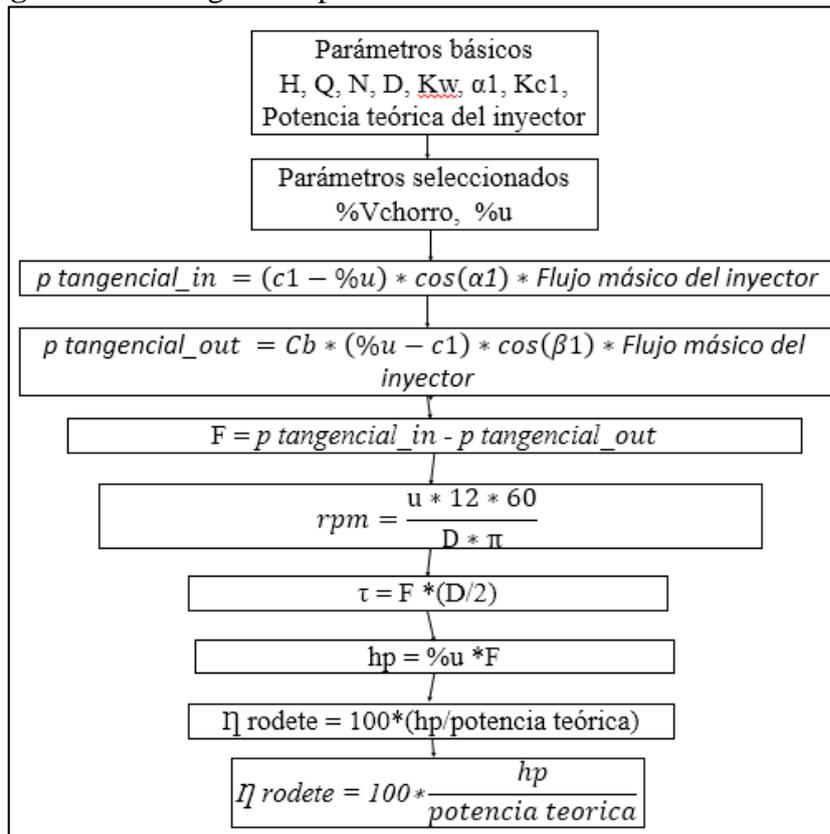
Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Tabla N° 14: Características estáticas del inyector

PARÁMETRO Y UNIDAD	VALOR
Diámetro del rodete. (mm)	84,1
Diámetro del inyector (mm)	19,6
Coefficiente de descarga del inyector (Cd)	0,95
altura neta (m)	14
Angulo de entrada	20
Coefficiente de velocidad del alabe (Cb)	0,98
Angulo de salida	19
Velocidad ideal del inyector (m/seg)	16,2
Velocidad real del inyector (m/seg)	15,7
RPM en 50% Vchorro ideal	1884,28
tasa de flujo de la boquilla individual (cfs)	0,17
Tasa de flujo de la boquilla individual (gpm)	75,37
Flujo masico de la boquilla individual (lb/seg)	10,48
Potencia teórica (hp)	0,88
Eficiencia del generador	85%
Potencia eléctrica por inyector (kW)	0,556
Numero de inyectores K	1
Potencia total (kW)	0,556

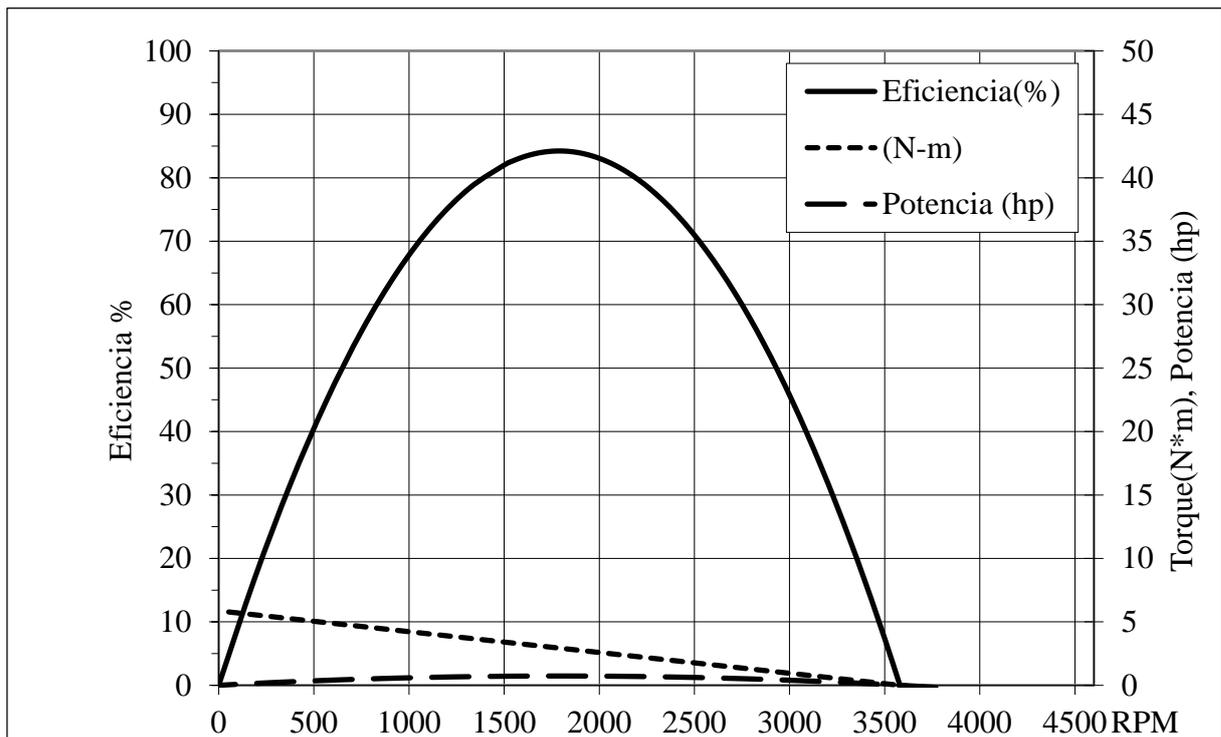
Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Figura N° 19: Algoritmo para el cálculo de características del rodete



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Figura N° 20: Características del rodete



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

A partir de la Figura N° 20 se obtiene el %Vchorro optimo que es 48% en el punto de mayor eficiencia (84.21%), con una potencia 467,8 Watts, torque de 2.9 N*m y una fuerza tangencial sobre el alabe de 69.1 N.

Las dimensiones se basan en la Figura N° 10 y en la Tabla N° 6 del alabe quedan determinadas.

Tabla N° 15: Dimensiones del alabe

Parámetros seleccionadas	
L1 (1,60 – 1,90) d	52,2 mm
B (1,50 – 2,10) d	35,81 mm
h1 (0,25 – 0,40) d	1,5 mm
T (0,45 – 0,60) d	21,5 mm
Alfa 1	20 grados
Beta 2	19 grados
Radio entrada	53,8 mm
Radio salida	32,51 mm

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Todas estas dimensiones se grafican en el Anexo N° 12.1, 12.2 y el diseño final de la Turbina en el Anexo N° 12.

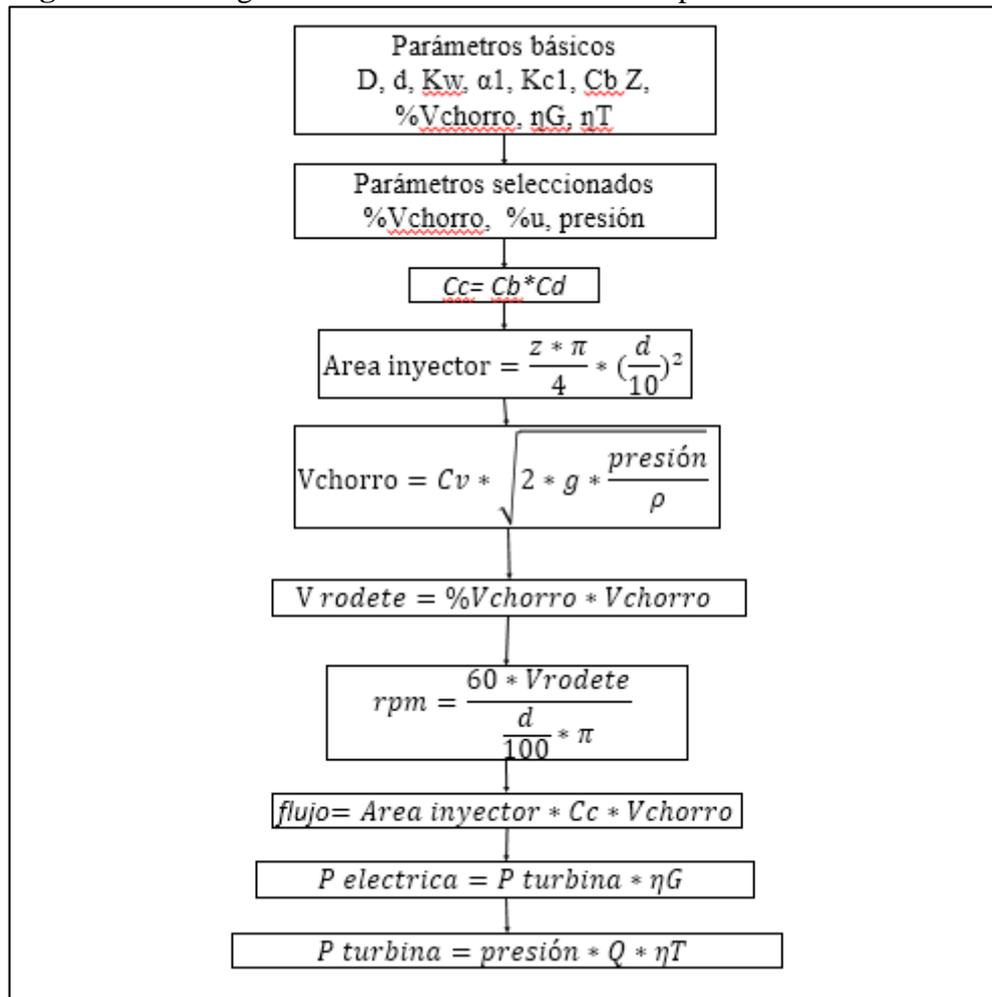
Para determinar la cantidad de palas necesarias en el rodete se tomó como referencia la Ecuación N° 25.

$$\text{numero de alabes} = \frac{D}{\pi} * 0.022 = \frac{0.084}{\pi} * 0.022 = 11.995 \cong 12$$

Teniendo las dimensiones y características de la turbina Turgo se calcula los parámetros básicos del sistema hidráulico bajo las condiciones preestablecida de altura neta, caudal, dimensiones del inyector, turbina y la energía esperada. En la Figura N° 21 se presenta el algoritmo para el cálculo y en los resultados obtenidos en la Tabla N° 16.

En desarrollo mecánico se recurrió al análisis del factor de seguridad de un solo alabe ya que su comportamiento ejemplificara la actuación total de la turbina. Teniendo el cálculo del torque en la Figura N° 20 se selecciona el máximo valor esperado 2.9 N.m cara frontal del alabe. Mediante el software Solidworks 2016 se simulo la acción de esta fuerza sobre un material Acero ASTM A36. Cuyas características se detallan en la Tabla N° 17. Este material es fácil de conseguir y económico. Facilitando su mantenibilidad.

Figura N° 21: Algoritmo de cálculo en función del presión



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Tabla N° 16: Parámetros teóricos generados por la Turbina Turgo

Parámetro y Unidad	Valor
Altura (m)	14,0
Vchorro (m/s)	16,6
V rodete(m/s)	7.92
RPM	1809
Flujo (litro/sec)	5
Potencia de la turbina (kW)	0,6
Potencia eléctrica (kW)	0,470
Altura (ft)	45,9
Potencia de la Turbina(hp)	0,7
Flujo (gpm)	75,3
Flujo (CFS)	0,17
PSI	variable

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Tabla N° 17: Características del Acero ASTM A36

Propiedades	
Nombre	ASTM A36 Acero
Límite elástico	2.5e+008 N/m ²
Límite de tracción	4e+008 N/m ²
Módulo elástico	2e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.26
Densidad	7850 kg/m ³
Módulo cortante	7.93e+010 N/m ²

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

En la simulación se considera una acción de torque en un elemento fijo. Esta sería una circunstancia extrema en el caso de que la turbina se detuviera en caso de algún desperfecto o en un aumento de carga del 100%. Se obtiene un factor de seguridad mínimo de 2.3. Los resultados se detallan en el Anexo N° 7.

10.2.10. Generador eléctrico

De acuerdo a los resultados obtenidos; para determinar las dimensiones de la turbina Turgo, se estima una velocidad de 1800 rpm. Además. Conocemos las necesidades energéticas del lugar (Anexo N°4) se ha elegido un generador de tipo síncrono de imanes permanentes con estator bobinados; este posee las siguientes características:

- Generador síncrono de imanes permanentes Monofásico.
- Potencia activa: 500 W.
- Tensión: 120V
- Frecuencia: 60Hz.
- Rendimiento: 85 %
- Reactancia subtrancitoria (Xd): 10.47%
- Tipo de aislamiento: H
- IP: 44
- Velocidad: 1800 RPM
- Corriente nominal: 4.2 A
- Temperatura de trabajo: -25 °C hasta 50 °C

10.2.11. Control de voltaje y frecuencia

El control de voltaje se realizará a través de las características de PMSG. este generador posee la desventaja de no poder manipular el campo magnético inductor del rotor por contar con imanes permanentes y no un embobinado rotórico. En este sistema de microgeneración esta desventaja se convierte en una característica de diseño importante. La desventaja puede ser solventada al diseñar un sistema en el cual se utilice una turbina capaz de manejar las fluctuaciones del caudal como la Turgo y Pelton. Al poseer un campo magnético constante y de acuerdo a la curva Voltaje vs RPM alcanza su voltaje nominal generado (120 Vca) sobre las 1800 RPM.

En la Tabla N° 8 se realiza una comparación entre el funcionamiento de los controladores de carga. Tanto el sistema analógico y digital poseen ventajas y desventajas para este proyecto. Para las características de esta investigación y teniendo en cuenta los requerimientos exigidos por la regulación 004/1 y 003/01. La mejor selección es el control analógico debido a su alta precisión.

La desventaja sobre la generación de armónicos a consecuencia del sistema de control de fase puede ser despreciada ya que este dispositivo será utilizado con una carga menor a 500 W en un sistema eléctrico cuyas características no comprenden equipos sensibles a la distorsión armónica. Además, se reduce la cantidad de armónicos en el sistema al implementar un sistema que no utiliza un controlador electrónico de voltaje (AVR).

Por lo que recurrimos a la implementación de un ELC Analógico Smart Renerconsys DT cuyas características son:

- Voltaje: 120/130 Volt, Monofasico
- Frecuencia: 60 Hz
- Desviación de la frecuencia: 1 – 3 Hz
- Máximo tiempo de estabilización: 0.45 seg
- Capacidad: hasta 1kW
- Tipo de demanda: Indiferente
- Tipo de carga de lastre resistivo: 500 W, Aleación Fe-Cr-Al (Kanthal)

10.2.12. Equipos de seccionamiento y protección eléctrica

a) Panel de control

La selección de un gabinete eléctrico debe cumplir criterios técnicos y requerimientos del sistema de microgeneración.

El gabinete debe poseer un índice de protección IP42 y poseer las dimensiones suficientes para albergar todos los dispositivos, teniendo una referencia de conexión para lo cual se puede apreciar en el diagrama Unifilar, Diagrama de Control, Diagrama de interconexión. En los Anexos N° 17 y 19.

b) Elementos de medición

Se escoge un voltímetro cuya escala es de 0 a 150 voltios. El cual será acoplado al gabinete de protección. Además de sistemas de lumínicos que alertan de existencia de generación.

El voltímetro posee una impedancia de 5 Ohm para ser acoplado en paralelo al sistema eléctrico. Junto a los demás elementos de protección y seccionamiento que se detallan en el Anexo N° 17.

c) Protección contra sobrecarga.

El interruptor termomagnético protegerá el sistema de generación en caso de fallo. La falla puede originarse de dos formas: la primera en caso de fallo del sistema de control ELC a causa de la avería de la carga lastre. La carga secundaria, funciona como un elemento de protección en caso de que el generador funcione en vacío, es decir, sin carga de consumo del usuario. La segunda falla puede producirse al sobrecargar el sistema de eléctrico de consumo con una intensidad que pueda provocar daños en el generador cuya máxima potencia es de 500 W.

Seleccionamos un interruptor termomagnético en función de la máxima potencia esperada (400 W) y el voltaje de trabajo (110 V). entregando una Intensidad de trabajo del sistema eléctrico de 3.6 Amperios. Se escoge un interruptor termomagnético comercial cuyo punto de ruptura es el más cercano.

I: 3.6 A. del sistema eléctrico se selecciona el interruptor termomagnético más cercano 10 A

d) Puesta a tierra.

El gabinete de control, el generador y todo aparato con un terminal eléctrico. Será aislado eléctricamente e interconectados a un sistema de protección. Se seleccionó un sistema de protección eléctrica básico, mediante una varilla copperwell de 25 micras de cobertura de cobre y 1.8 metros de longitud. Es un sistema sencillo y en caso de falla de fácil reparación.

11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1. Implementación del sistema de microgeneración

De acuerdo a lo expuesto en la selección de componentes del sistema de microgeneración, se procedió a ensamblar la microcentral. El detalle de los componentes en el sistema de microgeneración se describe en el Anexo N° 11.

- **Tubería de presión.** – se dimensiono una tubería de 69m, 2” Poliestileno de alta densidad. Se diseñó para que soporte una presión de 19.9 PSI. La marca comercial soporta 60 PSI. Suficientes para la implementación. Además, se seleccionó dos válvulas de PVC de compuerta y dos conectores de presión PVC flex.
- **Turbina hidráulica.** - en función del caudal y altura neta disponible. Se seleccionó una turbina Turgo cuyas dimensiones se detallan en la Tabla N° 15 y se describen gráficamente en los Anexos N° 12, 12.1 y 12.2. Cuyo torque es de 5.9 N.m. Un inyector cuyo diámetro de entrada es de 48.5 mm y se salida de 19.5 mm, véase Anexo N° 13. Además, se diseñó un soporte para el sistema Turbina-generador (Anexo N°14), una cubierta de protección (Anexo N° 15) y un difusor (Anexo N° 16) el cual permite el desalojo del agua turbinada.
- El acople entre el generador y la turbina es directo a través de un chavetero DIN 6885-4-4-32-A. Esto nos permite despreocupar las pérdidas por el acople.
- **Generador Eléctrico.** - se determinó una máquina de 1800 RPM, 60 hz, 120 V y aislamiento tipo H.
- **Controlador.** - Se eligió un controlador de carga ELC analógico Recornesys cuyas características de funcionamiento permiten una desviación de +- 3 hz. Cumpliendo

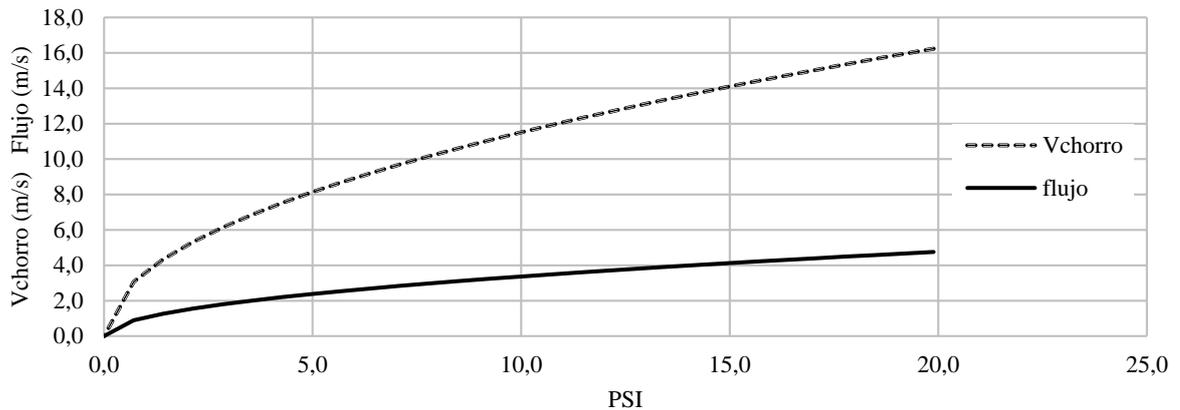
con los requisitos que solicita la regulación de CONELEC. El diagrama de conexiones se detalla en el Anexo N° 17.

- El sistema de microgeneración alimentara un circuito domiciliario cuya potencia de demanda se describe en el Anexo N° 4 (400w). Y cuyo circuito de iluminación y carga se puntualizan en el Anexo N° 19.

11.2. Resultados obtenidos

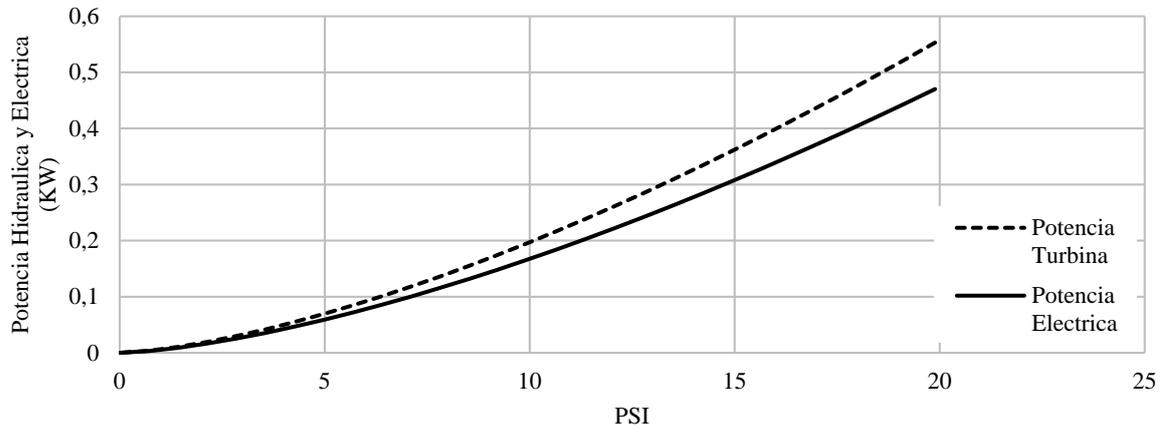
Se modelo el sistema de microgeneración para detallar los datos de generación en función del aumento de la presión hidráulica. En la Figura N° 22 se registra la evolución de la velocidad del chorro del inyector y el flujo al aumentar gradualmente la presión hidráulica en la tubería de presión (PSI). Obteniendo valores nominales de trabajo del proyecto al alcanzar la presión de 19.9 PSI con un V_{chorro} de 16.2 m/s y flujo de 5 lt/seg.

Figura N° 22: V_{chorro} y Flujo vs. PSI



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Figura N° 23: Potencia Mecánica y Eléctrica vs. PSI

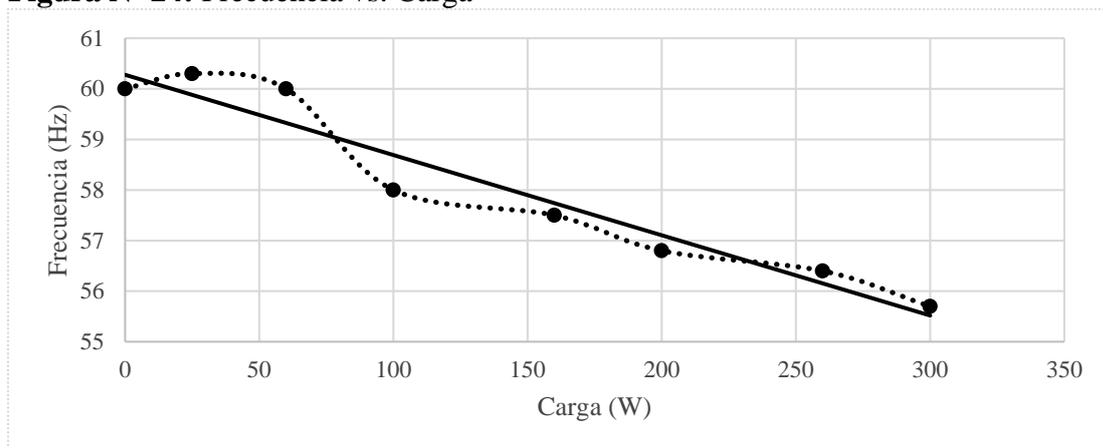


Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Además, en la Figura N° 23 se describe la relación entre la potencia entregada por la turbina en función del incremento de la presión hidráulica. Se grafican dos curvas sobre la potencia mecánica aprovechada y la energía eléctrica esperada del generador acoplado directamente a la turbina Turgo. Las curvas en un inicio se traslapan, pero a medida que la presión aumenta y llega a su valor nominal de trabajo (PSI= 19.9) las curvas se alejan a razón de un factor del 85% de pérdidas del generador. Llegando a una potencia mecánica de 0.55 kW y eléctrica 0.47 kW.

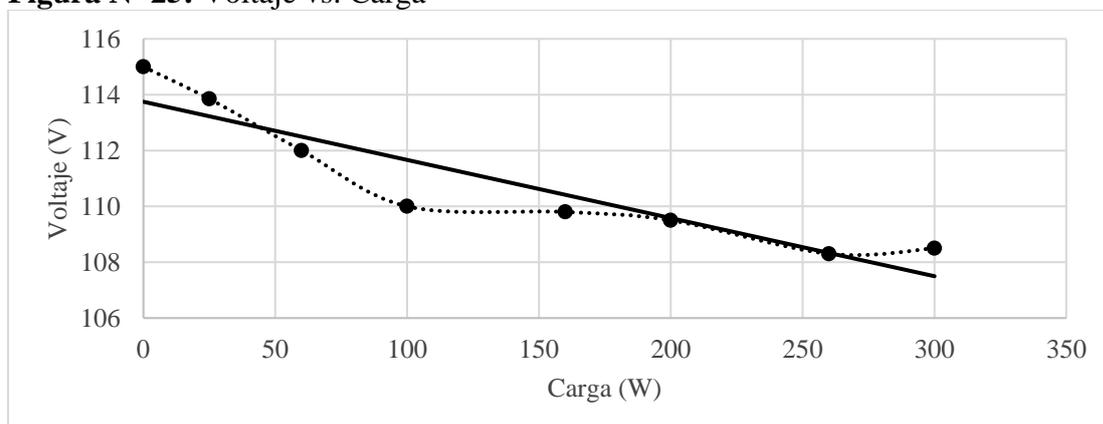
Se realizó la prueba del sistema en el campo, registrando valores que se detallan en las Figura N° 24 y Figura N° 25. Se utilizó una carga de 300 W, la cual es una muestra representativa. La metodología aplicada para esta prueba consistía en mantener al generador en vacío, e inmediatamente aplicar una determinada carga. Censar los valores. Y repetir de nuevo el procedimiento descrito con otro conjunto de cargas.

Figura N° 24: Frecuencia vs. Carga



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Figura N° 25: Voltaje vs. Carga



Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

En la Figura N° 24 se registra los valores censados de un conjunto de cargas resistivas y en donde en una relación de frecuencia y carga se obtiene un valor mínimo de 55.7 Hz y un valor máximo de 60.3 Hz.

En la Figura N° 25 se registra los valores medidos de la acción del controlador de carga en función de los parámetros de voltaje y carga. Donde se detalla un valor mínimo de 108 V y un máximo de 115 V. Hay que destacar que cada valor censado fluctuó por unos cuantos segundos hasta su estabilización en un valor cercano al de referencia.

11.3. Verificación de la hipótesis

Mediante la implementación de un sistema de microgeneración hidráulica con discriminación de carga se consiguió controlar los parámetros de voltaje en valores entre 108 - 111.8 V y frecuencia de 56.4 – 60.3 Hz para una potencia instalada de 400 W. Estos indicadores están dentro de los rangos admitidos por las regulaciones del CONELEC proporcionando energía eléctrica estable.

12. IMPACTOS

12.1. Aspecto Técnico

El impacto del proyecto de investigación es técnico. El cálculo e implementación del conjunto de equipos del sistema de microgeneración hidráulica (Tubería de presión y accesorios, turbina Turgo, generador eléctrico, control de carga) permiten el control automático de los parámetros de voltaje y frecuencia generados para una potencia instalada de 400 W. Se observa variaciones de voltaje en niveles del +-10% y frecuencia del +- 5%. Estos datos establecen un funcionamiento estable según las regulaciones del CONELEC.

12.2. Aspecto Económico

Depreciación Equipo

A continuación, en la Tabla N° 18, se presenta la depreciación del equipo (sistema de microgeneración) que será utilizado en el proyecto, mismo que será calculado a través del

método de línea recta, considerando de acuerdo a las normativas de Contabilidad Generalmente Aceptadas (NCGA), del 10% del valor residual y una vida útil de 10 años.

Tabla N° 18: Cálculo depreciación

EQUIPO	COSTO USD	% RESIDUAL	VALOR RESIDUAL	# DE AÑOS	DEPRECIACIÓN ANUAL
Sistema de microgeneración	\$ 3258.20	10%	325,82	10	293,24

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Calculo del VAN

Teniendo una inversión inicial de \$ 3258.2, Y considerando un periodo de 10 años de vida útil para los equipos, antes de ser considerados obsoletos. En la Tabla N° 19 tenemos los datos en un periodo de 10 años.

Al ser un proyecto técnico y social este no obtendrá una rentabilidad por lo que el Valor Actual Neto (VAN), será de cero.

Tabla N° 19: Calculo del VAN años 2016 – 2026

AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Total Flujos	0	325.82	325.82	325.82	325.82	325.82	325.82	325.82	325.82	325.82	325.82
Inversión Inicial	\$ 3258.2										
(-)suma de flujos anuales	\$ 325.82										
VAN DEL PROYECTO	\$ 0,00										

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

Calculo del TIR

En el cálculo del TIR al igual que el VAN, por ser un proyecto técnico y social este no obtendrá una tasa de interés aceptable que permita medir la rentabilidad ya que no existe tal, por tal razón el TIR de este proyecto es de -19%, véase Tabla N° 20, es decir un porcentaje negativo debido a que es un proyecto que no genera rentabilidad.

Tabla N° 20: Proyección de TIR

AÑOS	FLUJOS DE EFECTIVO
0	-3.258,20
1	325,82
2	325,82
3	325,82
4	325,82
5	325,82
TIR	-19%

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Acorde a la planificación realizada al principio de la investigación a fin de cumplir los objetivos en el tiempo propuesto, se llegó a la culminación de nuestro proyecto en 9 meses con un costo total de \$ 3258.20, en la Tabla N° 21 se individualizan los costos por actividades y porcentaje de avance del proyecto.

Tabla N° 21: Presupuesto del proyecto

Actividad	octubre	nov.	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
Formación del equipo de investigación									
Investigación bibliográfica	15	20	15						
Estudio hidrológico				40					
Estudio de Energía					30				
Instalación de tubería de presión						340			
Obras civiles Instalación de accesorios Casa de maquinas						360	250		
Instalación de equipo electromecánico, tablero de control								800	720
Distribución Eléctrica									
Instalación de tablero interruptores termo magnéticos								150	230
Instrumentación				15	20				40
Contingencias									213.15
COSTO POR AVANCE	15	20	15	55	50	700	250	950	1203.2
COSTO TOTAL ACUMULADO	15	35	50	105	155	855	1105	2055	3258.2
PORCENTAJE DE AVANCE	0.5%	1.1%	1.5%	3.2%	4.8%	26.2%	33.9%	63.1%	100%

Elaborado por: Areyuna F., Velastegui R.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó una investigación bibliográfica la misma que permitió el diseño aplicado para la generación eléctrica de 400 W óptimos para una energía potencial generados con una altura neta de 14 m aplicando una metodología de investigación de campo y experimental.
- Mediante diseño se determinó la selección de una turbina Turgo con dimensiones de 150 mm de diámetro suficientes para generar un torque dinámico en un rango máximo de 2.9 N.m, aplicado una fuerza tangencial de 69.1 N.
- Se estableció mediante cálculo y selección un conjunto de componentes (tubería de presión, turbina y generador) un sistema de microgeneración cuyas características de operación nominal son de flujo 5 litros/seg, velocidad del chorro de agua de 16.2 m/seg, porcentaje de operación V_{chorro} optimo del 49%, PSI de 19.9 y una velocidad del rodete de 1800 rpm
- Se seleccionó, mediante criterio técnico y acorde a los requisitos planteados en las regulaciones del CONELEC, un sistema de control con discriminación de carga ELC Analógico Smart Renerconsys DT que permite el control de frecuencia con una alta precisión. Obteniendo un rango de valores 55.7 – 60.3 Hz. con una tendencia de caída de frecuencia ante el incremento de la carga, pero manteniéndose en los rangos de diseño.
- Se determinó, mediante el análisis de potencial hídrico del sitio y el dimensionamiento adecuado de los equipos electromecánicos, un sistema turbina-generador y control con discriminación de carga que admite el control del voltaje en un mínimo 108 y máximo 115 V. Con una tendencia de caída de tensión ante el incremento de carga, pero manteniéndose en los límites permisibles en la regulación del CONELEC N° 004/01

RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los datos obtenidos en el proyecto es necesario realizar un estudio de distorsión armónica de tal forma que permita establecer nuevos parámetros óptimos para lograr la estabilidad del sistema en el suministro eléctrico.
- Realizar un estudio más profundo sobre el análisis de torque generado el mismo que permita obtener una relación estable entre el torque de la turbina y el torque de la

maquina (generador) estos parámetros de estudio ayudarían a optimizar el diseño del controlador.

- En vista de la potencia hidráulica obtenida y para estabilizar de mejor manera la generación es indispensable realizar estudios para diseñar una maquina generadora (Generador) que permita una generación desde parámetros de 800 rpm a 1200 rpm y analizar sus variables eléctricas y mecánicas.
- En vista del aporte a la investigación y al crecimiento de la microgeneración como una necesidad social es importante centrar un estudio hacia la optimización de la generación para obtener un sistema de generación con parámetros eléctricos estables y con el aprovechamiento mecánico, mejorando de esta forma su eficiencia.

15. BIBLIOGRAFIA

- Clarembaux Correa, J. L., De Andrade, J., Croquer, S., Jeanty, F., & Asuaje, M. (2012). Desing procedure for a Turgo type turbine using a three-dimensional potential flow. *ASME Turbo Expo 2012: Turbine Technical Conference and Exposition*, 8, 2039-2052. doi: 10.1115/GT2012-68807
- Cobb, B. R., & Sharp, K. V. (2013). Impulse (Turgo and Pelton) turbine performance characteristics and their impact on pico-hydro installations. *Renewable Energy*, 50, 959-964. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.010>
- Procedimientos de despacho y operación, N° 006/13 C.F.R. (2000).
- Calidad del servicio electrico de distribución, N° 004/01 C.F.R. (2001).
- Gaiser, K., Erickson, P., Stroeve, P., & Delplanque, J.-P. (2016). An experimental investigation of design parameters for pico-hydro Turgo turbines using a response surface methodology. *Renewable Energy*, 85, 406-418. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.049>
- Gordon, G. G. (2012). *GilKes: Sistemas de energía hidroeléctrica* (pp. 20). Recuperado de WWW.GILKES.COM
- Hibbeler, R. C. (2010). *Ingeniería mecánica - Dinámica* (P. Educación Ed. Decimosegunda ed. Vol. 1). México: Pearson Educación
- Kosow, I. (1993). *Maquinas electricas y transformadores* (S. A. Prentice-Hall Hispanoamericana Ed. 1 ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A.
- Lahimer, A. A., Alghoul, M. A., Sopian, K., Amin, N., Asim, N., & Fadhel, M. I. (2012). Research and development aspects of pico-hydro power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5861-5878. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.001>
- Leary, S. M. y. J. (2010). Analysis and Design of Electronic Load Controllers for Micro-hydro Systems in the Developing World. *University of Sheffield, E-Futures*.
- Llango, W., & Gallegos, E. (2012). *Diseño e implementacion de una pico-central hidroeléctrica aprovechando el movimiento del agua para la generación de energía eléctrica en la ecologica Baños de la parroquia Alaquez - Provincia de Cotopaxi*. (Ingeniería), Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.
- Madani, N. (2011). *Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine*. (Tesis de Maestría), Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden. (XR-EE-EME 2011:013)

- Mataix, C. (1986). *Mecanica de Fluidos y Maquinas Hidraulicas* (E. d. C. S. A. Ed. 2 ed.). España: Ediciones del Castillo S. A.
- Morales, S., Corredor, L., Paba, J., & Pacheco, L. (2013). Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación (abril 2014 ed., Vol. 18, pp. 178-185). Medellín: DYNA: Universidad Nacional de Colombia.
- OLADE. (2011). *Centrales hidroeléctricas* OLADE (Ed.) (pp. 267). Recuperado de www.olade.org
- Renovables, M. d. E. y. E. (2013). Objetivos alcanzados en el sector de la distribución eléctrica a nivel Nacional. Recuperado 25 mayo 2016, 2016, de <http://www.energia.gob.ec/objetivos-alcanzados-en-el-sector-de-la-distribucion-electrica-a-nivel-nacional/>
- SENPLADES. (2016). Plan Nacional del Buen Vivir. from <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia* (P. Educación Ed. 6 ed.). México: Pearson Educación.
- Williamson, S. J., Booker, J. D., & Stark, B. H. (2015). Site Implementation of a Low-Head Pico-Hydro Turgo Turbine *Renewable Energy in the Service of Mankind* (Vol. 1, pp. 329-338). Switzerland: Springer International Publishing.
- Williamson, S. J., Stark, B. H., & Booker, J. D. (2013). Performance of a low-head pico-hydro Turgo turbine. *Applied Energy*, 102, 1114-1126. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.029>
- Williamson, S. J., Stark, B. H., & Booker, J. D. (2014). Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, 61, 43-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.020>

ANEXOS

ALVARO SANTIAGO MULLO QUEVEDO

1.- DATOS PERSONALES

- NOMBRES Y APELLIDOS: Álvaro Santiago Mullo Quevedo
- FECHA DE NACIMIENTO: 1982-10-04
- CEDULA DE CIUDADANÍA: 050276854-2
- NUMEROS TELÉFONICOS: 098 854012 / 03 2292564 (Latacunga)
- E-MAIL: alsamullo@hotmail.com / alsamullo82@gmail.com

2.- ESTUDIOS REALIZADOS

- NIVEL PRIMARIO: Escuela “Isidro Ayora”
- NIVEL SECUNDARIO: “Instituto Tecnológico Ramón Barba Naranjo”
- NIVEL SUPERIOR: Escuela Politécnica del Ejercito
- NIVEL Post GRADO: Universidad Técnica de Cotopaxi

3.- TÍTULOS

- POSGRADO: Maestría en Gestión de Energías (2014)
- PREGRADO: Ingeniero en Electromecánica (2007)
- Docente habilitado monitoreado del Sistema Nacional de Nivelación y Admisión.

4.- EXPERIENCIA LABORAL

- Diseño y Construcción de Redes Eléctricas de Distribución 2009-actualidad (6 Años)
- UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI 2009-actualidad (5 Años)
- Capacitador en COPORSUPER 2008-actualidad (7 Años)
- IMHOTEPCON CIA. LTDA. 2009 - 2012
- ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO 2009 (Ocasional)
- REBINDUC 2008-2009
- FAIRIS 2007

5.- CARGOS DESEMPEÑADOS

- Coordinador de Ingeniería Electromecánica UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI (Sep. 2012- sep. 2015)
- Coordinador Nacional de la Red de Ingeniería Electromecánica RIELMEC. (Actual)
- Docente Universidad Técnica de Cotopaxi (oct. 2009 - actual)
- Gerente en Diseño y Construcción de Redes de Distribución IMHOTEPCON Cia Ltda. (Sep. 2009 – julio 2012)
- Docente Ocasional Escuela Politécnica del Ejercito (Oct 2009 – feb 2010)
- Jefe de Planta Rebinduc (2008-2009)
- Técnico en Mantenimiento Electromecánico FAIRIS (2007)

6.-EXPERTISE EN CONSTRUCCION DE REDES ELECTRICAS

Dentro de mi experiencia laboral en el campo del Diseño y construcción de Redes Eléctricas e instalación de Medidores se consideran:

- Diseño, construcción de la Red Eléctrica Trifásica de distribución ETTEXTECH – Saquisilí. PRIVADO

- Diseño, construcción de la red eléctrica de distribución Piedra Colorada – Sigchos. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.)
- Construcción de la red eléctrica de distribución Trifásica y Monofásica de la red Tisaleo - Ambato . Residente de Obra Ing. Guillermo Molina (E.E.A. SA)
- Diseño, construcción de la red eléctrica de distribución Pichul – Latacunga. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.)
- Diseño, construcción de la Red Eléctrica de Distribución Cristo Rey – Latacunga. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.)
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Poalo – Latacunga. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.)
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución 11 de Noviembre – Latacunga. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.)
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica Trifásica de Distribución Miño San Antonio – Latacunga. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.)
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Razuyacu– Latacunga. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.)
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Chilla Buena Esperanza – Latacunga. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.).
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Patañ – Salcedo. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.).
- Remodelación y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Yanayacu – Salcedo. Como gerente de Construcciones en IMHOTEPCON (ELEPCO S.A.).
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Monofásica y trifásica Salazaca - Ambato . Residente Ing. Guillermo Molina (E.E.A. SA)
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Monofásica y trifásica Luz de America - Ambato . Residente Ing. Guillermo Molina (E.E.A. SA)
- Remodelación, Diseño y Construcción de la Red Eléctrica de Distribución Monofásica y trifásica Juan Montalvo - Ambato . Residente Ing. Guillermo Molina (E.E.A. SA)
- Ampliaciones de la Red Eléctrica de Distribución Monofásica y Pillaro varios sectores - Ambato. Residente Ing. Guillermo Molina (E.E.A. SA)

7.-EXPERTISE EN MANTENIMIENTO

- Análisis energético y fiscalización en la empresa AVON, Amaguaña.
- Peritaje de análisis basado en el diagnostico en Petrocomercial, El Beaterio, Quito.
- Servicios Análisis eléctrico y termografía a las bombas de inyección de agua y tableros del los Campos AGIP OIL, Puyo.
- Servicios Análisis de vibraciones y termografía al Bloque 15 Petroamazonas a los Generadores.

8.-CURSOS DE CAPACITACIÓN

- Sexto congreso Nacional de Electricidad y Energías Alternativas Expo Electricidad, UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2014 (24 horas)
- Curso Internacional de Sistemas de Puestas a Tierra, COLEGIO DE ING. ELECTRICOS Y ELECTRONICOS CIEEPI, 2014 (32 horas)
- Curso de Manejo de ArcGis para diseño de redes de distribución, COLEGIO DE ING. ELECTRICOS Y ELECTRONICOS CIEEPI, 2014 (30horas)
- Tutor virtual en entornos virtuales de aprendizajes MOODLE, MOODLE ECUADOR y U.T.C. 2014 (40 Horas)
- 2da Jornada de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica, con enfoques de Tecnología, 2014. (40 horas)
- Sistema didáctico en Electromecánica EMANRO S.A. Lab- Volt, 2014.
- Curso Técnico Científico de sistemas de Protección de media y baja tensión, COLEGIO DE ING. ELECTRICOS Y ELECTRONICOS CIEEPI, 2013 (40 horas)

- Curso de SMART GRIDS, COLEGIO DE ING. ELECTRICOS Y ELECTRONICOS CIEEPI, 2013 (30 horas)
- Didáctica en la Educación Superior, CIENESPE, 2013 (42 horas)
- Quinto Congreso Nacional de Electricidad y Energías Alternativas Expo electricidad 2013, UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013 (32 Horas)
- Reforma Universitaria Retos y Perspectivas, Universidad Técnica de Cotopaxi (40 Horas)
- Atención Pre hospitalaria (Nivel Básico), Bomberos de Latacunga y la Universidad Técnica de Cotopaxi, 2013 (50 Horas)
- Participación y aprobación del curso de Seguridad y salud en el trabajo, dirigido por rama de Actividad, IESS Latacunga, 2013.
- Seminario de Elaboración de Reactivos para evaluar resultados de aprendizaje, 2013. (30 Horas)
- III Encuentro del Consejo Global de decanos de Ingeniería Capitulo Latinoamérica, 2013. (2 – 4 jun)
- Gestión Académica en el Aula Universitaria, Universidad Técnica de Cotopaxi, 2013. (32 Horas)
- Docente habilitado Monitoreado, Sistema Nacional de Nivelación- Universidad de Cuenca- SENESCYT, 2013 (54 Horas)
- 1ra Jornada de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica, con enfoques de Tecnología, 2013. (32 horas)
- Cuarto Congreso Nacional de Electricidad y Energías Alternativas Expo electricidad 2012, ESCUELA POLITECNICA DEL LITORAL, 2012
- Fundamentos Conceptuales del pensamiento matemático y aplicaciones del Cálculo Diferencial E Integral en las Ingenierías, 32 horas UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2012
- Jornadas Nacionales de Ingeniería Electromecánica, 24 HORAS UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, 2012.
- Diseño y elaboración de proyectos de investigación, 20 horas UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2011
- II Seminario Internacional de Prevención de riesgos en el Trabajo, 32 Horas, UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2011.
- Perspectiva Institucional hacia la acreditación de carreras” Universidad Técnica de Cotopaxi; 32 Horas, 2011
- Jornadas de Capacitación Hacia el Modelo Educativo Libertador de la UTC; 32 Horas, UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2011.
- Calidad de las Instituciones de Educación Superior, 30 Horas, 2010.
- Estrategias para la Enseñanza Universitaria, Universidad Técnica de Cotopaxi (2010)
- Curso de Ergonomía, UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga, con una duración de 30 horas. (2009)
- Curso de Licencia en Riesgos Eléctricos CISHT, Corporación COPORSUPER Quito, con una duración de 60 horas. (2009)
- Curso de Seguridad y Salud Laboral I, Corporación COPORSUPER Quito, con una duración de 20 horas. (2009)
- Curso de Análisis de Vibraciones y Balanceo de Motores, Generadores realizado en las instalaciones de la empresa REBINDUC con una duración de 40 horas. (2008)
- Primer “Seminario Internacional de Física y Matemáticas”, realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO, con una duración de 30 horas. (2005)
- Segundo “Seminario Internacional de Física y Matemáticas”, realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO, con una duración de 30 horas. (2004)
- Curso de “Modelación de Sólidos 3D”, diseño en dibujo mecánico en Mechanical Desktop, realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO, con una duración de 40 horas. (2004)
- Seminario de “Gestión de la Energía en la Industria”, otorgado por el Ministerio de Energía y

Minas, realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO. (2003)

- Jornadas de “Ingeniería en Electromecánica”, realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO, con una duración de 24 horas. (2004)
- Tratamientos de Aguas para Calderos, con una duración de 4 horas realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO, ofrecido por TESQUIMSA. (2003)
- Seminario de Criterios para el Diseño de Geometría y Cargas mecánicas de las estructuras de L/T de 69kv en adelante, ofrecido por SEDEMI, construcciones electromecánicas. Realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO. (2003)
- Curso de “Paquetes Electrónicos”, diseño de ruteado electrónico y análisis de estado. Recibido por el centro de Capacitación ocupacional “NET ZONE”. Duración de 30 horas. (2003)
- Curso de “LabView 7.0”, diseño de laboratorio virtual para control de procesos. Recibido por el centro de Capacitación ocupacional “NET ZONE”. Duración de 30 horas. (2003)
- Seminario de “Enfoques de Género y Medio Ambiente en la Universidad Ecuatoriana”. Dictado por la Universidad Técnica de Ambato. Realizado en la ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO (2002)

9.- SEMINARIOS DICTADOS

- Conferencista, 2DO SEMINARIO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN, 32 HORAS. TEMA: “Análisis de un sistema de posicionamiento automático y un sistema estático para determinar la eficiencia de generación eólica” UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2015.
- Conferencista, 1ER SEMINARIO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN, 32 HORAS. TEMA: “Caracterización del potencial energético del aceite residual automotriz para la conversión a combustible amigable con el ambiente” UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2014.
- Conferencista, I SEMINARIO INTERNACIONAL DE USO ENERGÉTICO ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 32 HORAS. UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2012.
- Expositor en Curso Seminario Taller en Seguridad Laboral y Riesgos Eléctricos, CONDUTO. Duración del curso 40 horas. (COCA -2011)
- Expositor en Curso Seminario Taller Practico En Automatizaciones Industriales. Particular-Público en general. Duración del curso 40 horas. (Quito -2011)
- Expositor en Seminario en Gestión en Seguridad y Administración de Riesgos Eléctricos. Compañía de servicios Petroleros AZUL. Duración del curso 30 horas. (Quito -2011)
- Expositor en Seminario en Mantenimiento Predictivo y Operación de transformadores AT/BT. En la Empresa Eléctrica del Sur- Loja. Duración del curso 30 horas. (Loja -2009)
- Expositor en Seminario en operación de Subestaciones y Centrales eléctricas. En la Compañía petrolera PetroAmazonas Bloque 15. Duración del curso 30 horas. (Quito -2010)
- Electrónica de Potencia a la Universidad Técnica de Cotopaxi a Ingeniería Electromecánica. Duración del curso 20 horas. (Quito -2007)
- Control de Calidad, Producción sin Desperdicios, Seguridad Industrial, Procesos de Producción al INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR (IGM) Quito. Duración del curso 40 horas. (Quito -2009)

.....
Ing. M. Sc. Álvaro Santiago Mullo Quevedo
Director del Trabajo de Investigación

**CURRICULUM
VITAE****INFORMACIÓN PERSONAL:**

Nombre: Rosario Geraldinne
Apellidos: Velastegui Briceño
Nacionalidad: Ecuatoriana
Cédula de Identidad: 070416158-7
Estado Civil: Soltera
Dirección Domicilio: Laguna Culebrilla e/ laguna Cuyabeno y 11 de noviembre
E-mail: geraldinne.vb@gmail.com
Celular: 0995270290
Teléfono: 032233274

ESTUDIOS REALIZADOS:

Superior: Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera: Ingeniería en Electromecánica

Secundaria: 2000-2007 Colegio fiscal "Marcelino Maridueña"
Título: BACHILLER FISICO MATEMATICO.

CURSOS REALIZADOS:

Suficiencia en el Idioma Inglés Universidad Técnica de Cotopaxi
Diciembre/2014 – febrero/2015

Licencia de Riesgos Eléctricos. CISHT. SEPRYTSA S.A. Fecha de expedición: 6 febrero del 2016

SEMINARIOS-CONGRESOS:

II Seminario Internacional USO ENERGÉTICO FUENTES ALTERNATIVAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

QUINTO Y SEXTO CONGRESO NACIONAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGIAS ALTERNATIVAS EXPO ELECTRICIDAD 2013 - 2014.

**CURRICULUM
VITAE****INFORMACIÓN PERSONAL:**

Nombre: Francisco Xavier
Apellidos: Areyuna Salazar
Nacionalidad: Ecuatoriana
Fecha de Nacimiento: 27 de mayo de 1984
Cédula de Identidad: 050287466-2
Estado Civil: Soltero
Dirección Domicilio: Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Tanicuchí, barrio San Pedro.
E-mail: frank.areyuna@gmail.com
Celular: 998449227

ESTUDIOS REALIZADOS:

Superior: Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera: Ingeniería en Electromecánica
Secundaria: Colegio Nacional "San José" de Guaytacama – 2004-2010.
Título: Bachiller en Ciencias especialización Físico Matemáticas.

CURSOS REALIZADOS:

Suficiencia en el Idioma Inglés Universidad Técnica de Cotopaxi
Diciembre/2014 – febrero/2015

Licencia de Riesgos Eléctricos. CISHT. SEPRYTSA S.A. Fecha de expedición: 6 febrero del 2016

SEMINARIOS-CONGRESOS:

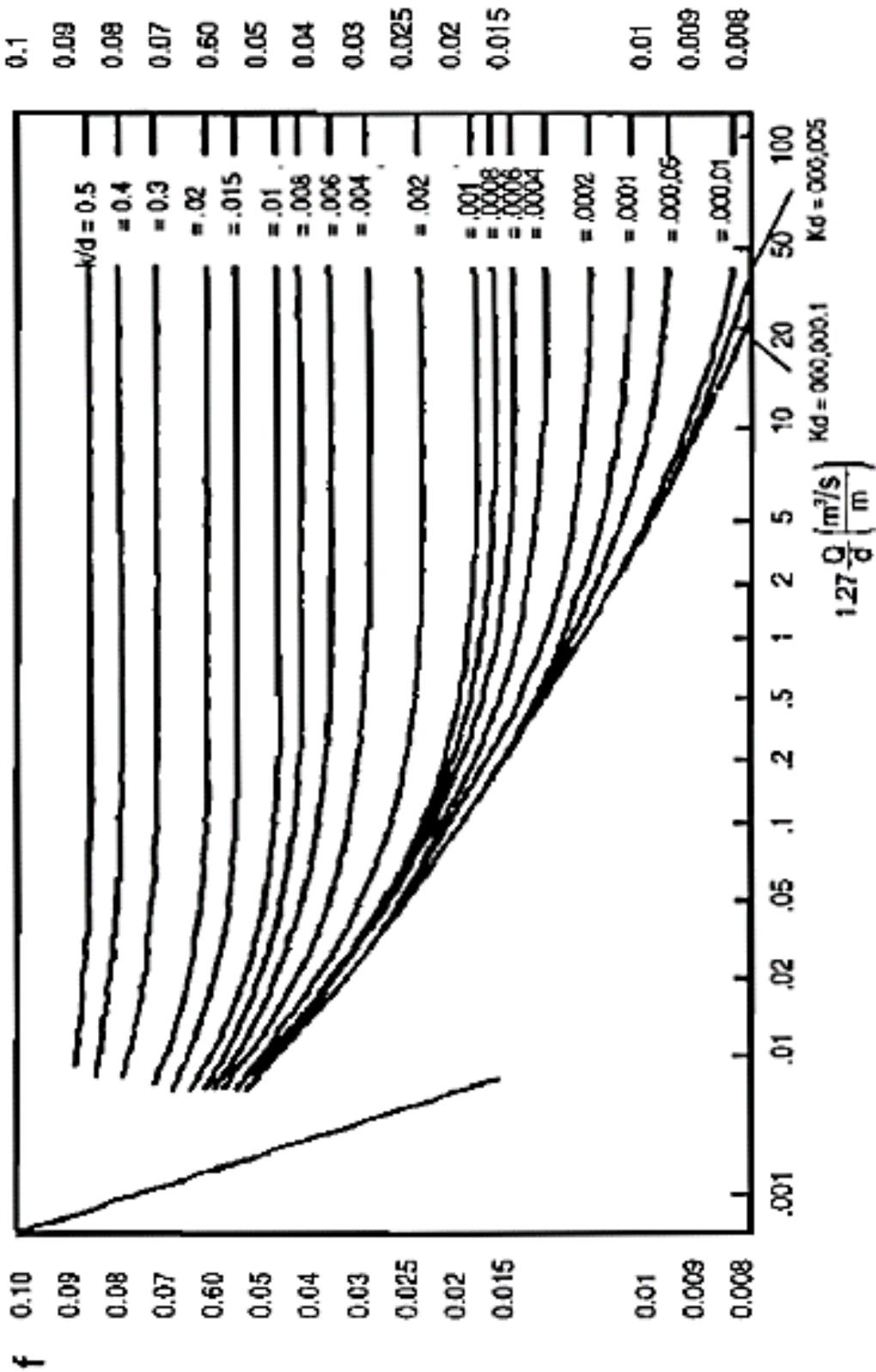
II Seminario Internacional USO ENERGÉTICO FUENTES ALTERNATIVAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

QUINTO Y SEXTO CONGRESO NACIONAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGIAS ALTERNATIVAS EXPO ELECTRICIDAD 2013 - 2014.

Nombre del proyecto: Microcentral Hidroeléctrica Hacienda San Nicolás

Localización: Hacienda San Nicolás en el sector de Virgen de Guadalupe, barrio Saragosin de la Parroquia Juan Montalvo de la ciudad de Latacunga

Descripción	Cantidad	P (W)	P. Total (W)
Puntos de alumbrado	4	25	100
Puntos de fuerza 1	1	100	100
Puntos de fuerza 2	1	100	100
Proyección a futuro		100	100
Total de requerimiento energético			400



Manual de funcionamiento

- 1) Comprobar si la tubería de presión está bloqueada.
- 2) A continuación, compruebe si los alabes de la turbina Turgo giraran con facilidad.
- 3) Para el primer arranque. Asegúrese de mantener el interruptor de generación abierto. Con el fin de utilizar la carga lastre del control.
- 4) Cuando la turbina haya alcanzado sus valores nominales de funcionamiento (120 V). Cerrar el seccionador para el consumo de la carga del usuario.
- 5) Durante la operación, la carga debe mantenerse estable posible. No apague la carga de repente, o de lo contrario la alta tensión podría quemar la carga lastre del control.
- 6) Para desconectar la totalidad de la carga del usuario. Es recomendable disminuir el caudal hasta que los valores nominales del generador caigan hasta cero.
- 7) La válvula debe cerrarse de forma lenta para evitar el golpe de ariete

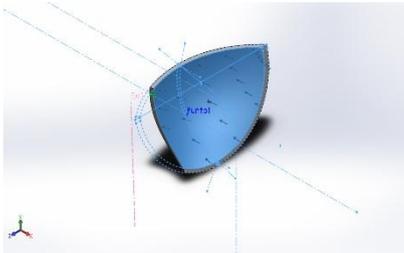
Manual de Mantenimiento

- 1) Limpiar el barro y material extraño en el tanque de aspiración y rejilla protectora.
- 2) El cojinete superior también debe añadirse la grasa resistente al agua por cada seis meses.
- 3) Mantener el generador seco y el gabinete de control.

Posibles Fallas

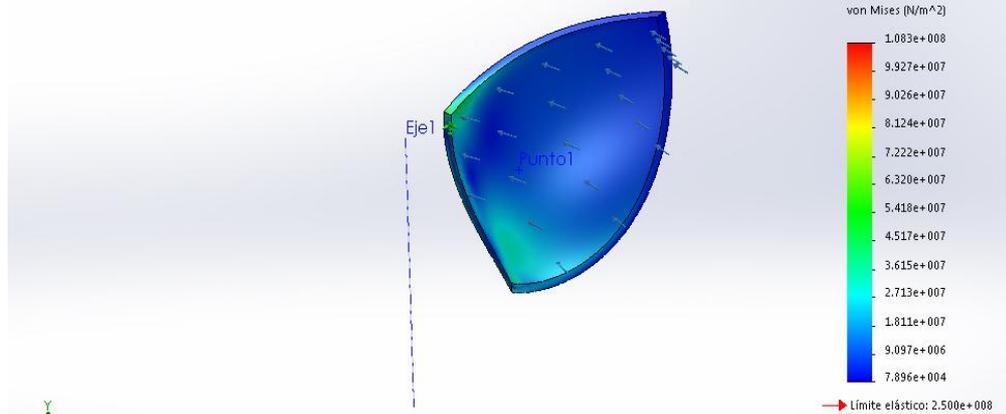
Fallas	Solución
Bajo volumen de agua cuando se encienda la unidad.	1. Hay material extraño que bloquea el inyector.
El generador no arranca	Límpielo. 2. Abra la válvula y expulse al aire en el interior de la tubería
El generador produce energía, pero no llega a la carga	1. El interruptor termomagnético se abrió. Reconectarlo. 2. Si el problema persiste existe un cortocircuito en el sistema eléctrico. Verificar y reparar
La tensión no llega a niveles óptimos	1. El volumen de agua es demasiado baja, aumentarla 2. Exceso de carga en el sistema. Reducir la carga del usuario

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.
	Límite elástico: 2.5e+008 N/m²
	Límite de tracción: 4e+008 N/m²
	Módulo elástico: 2e+011 N/m²
	Coefficiente de Poisson: 0.26
	Densidad: 7850 kg/m³
	Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²

Carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Eje1 Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 3 N.m

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	78961.7 N/m ² Nodo: 14821	1.08291e+008 N/m ² Nodo: 4356

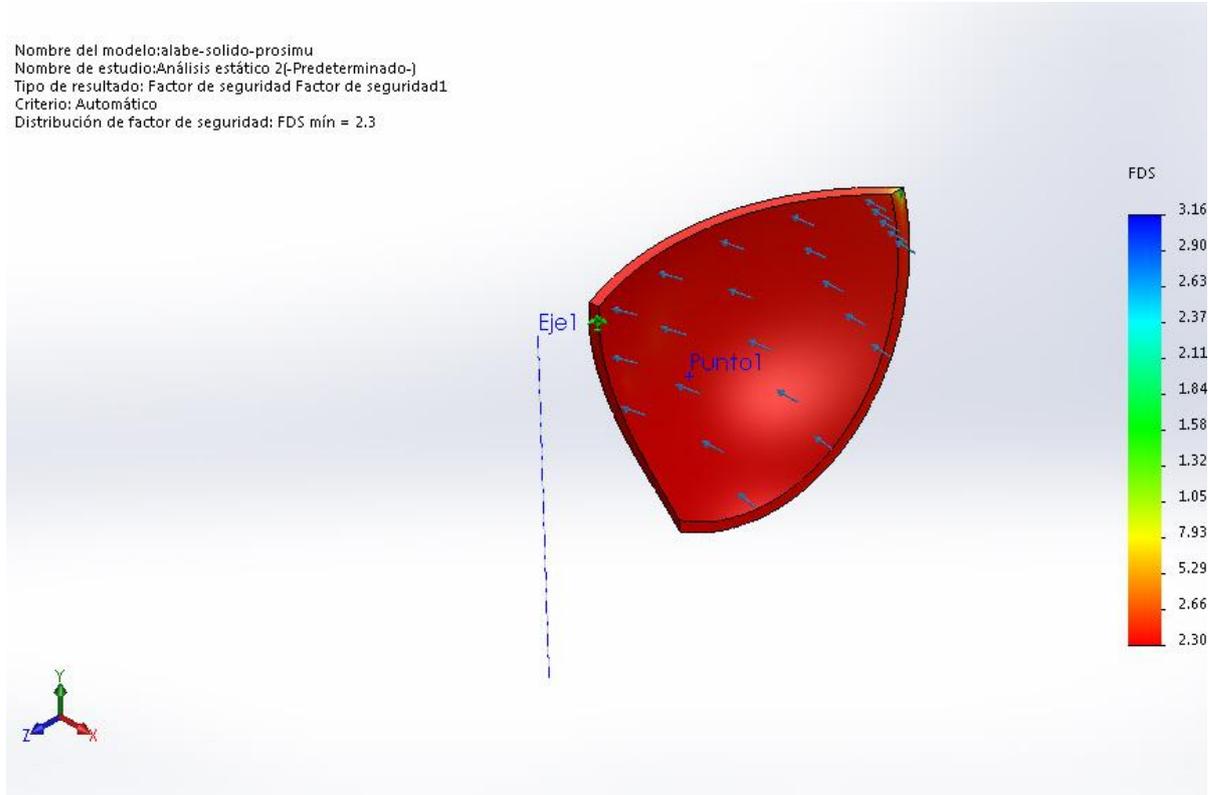
Nombre del modelo:alabe-solido-prosimu
 Nombre de estudio:Análisis estático 2[.Predeterminado-]
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 73.2937



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
--------	------	------	------

Factor de seguridad1	Automático	2.3086	3166.09
		Nodo: 4356	Nodo: 14821

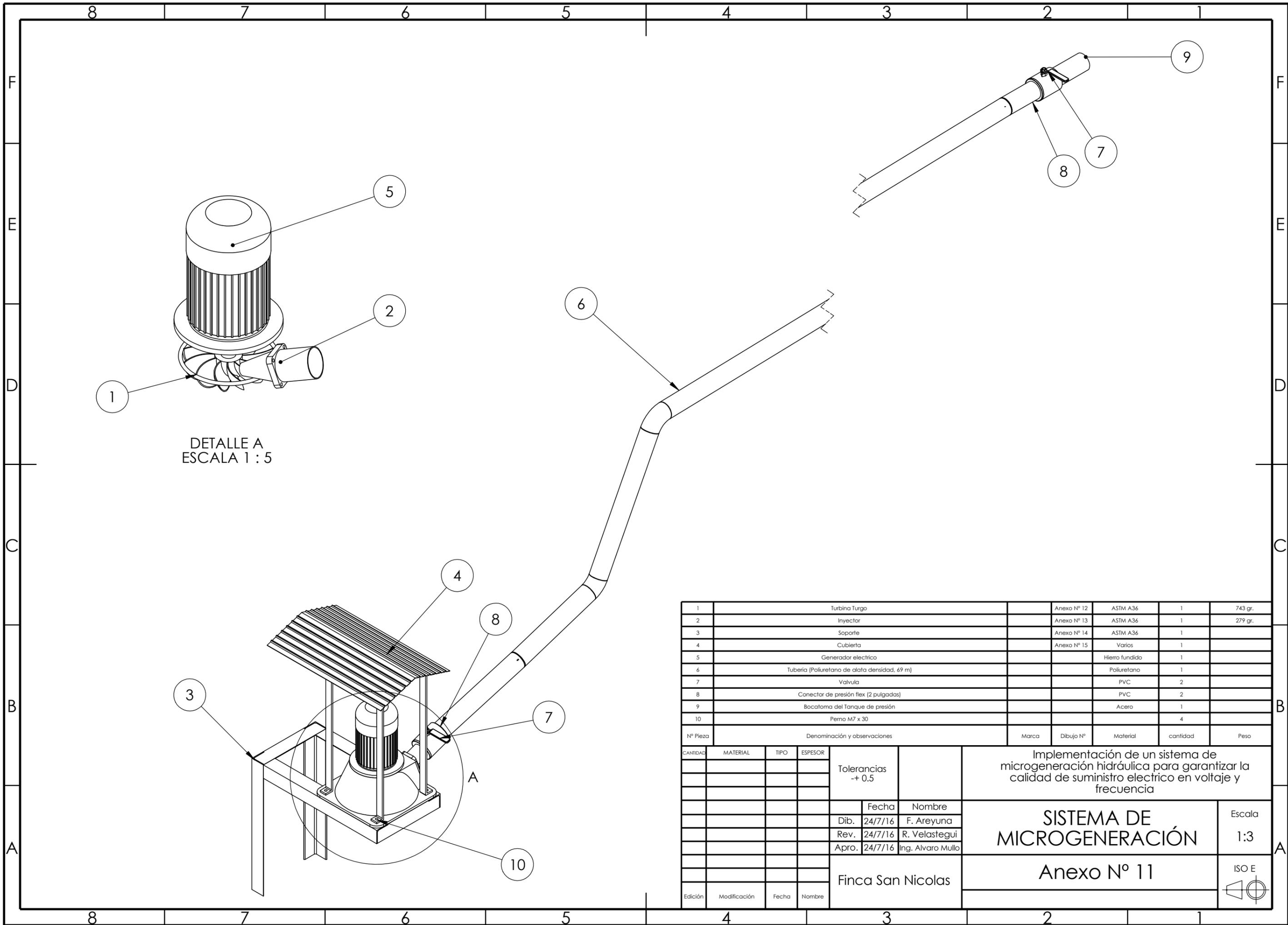
Nombre del modelo:alabe-solido-prosimu
 Nombre de estudio:Análisis estático 2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.3



Anexo N° 8	Entrevista	1/1
<p>Nombre del proyecto: Microcentral Hidroeléctrica hacienda San Nicolás</p> <p>Localización: Hacienda San Nicolás en el sector de Virgen de Guadalupe, barrio Saragosin de la Parroquia Juan Montalvo de la ciudad de Latacunga</p> <ul style="list-style-type: none"> <p>• <i>¿Cree usted que el recurso hídrico con el que cuenta su hacienda puede ser aprovechado para generar electricidad?</i></p> <p>Si, ya que al estar a las orillas del rio Illuchi el caudal constante que provee me permite a mí el cultivo de truchas para pesca deportiva, creo que fácilmente ese mismo caudal puede ser aprovechado para suministrar energía eléctrica.</p> <p>• <i>¿Cuáles son las dificultades que le presentan frente a la falta de energía eléctrica?</i></p> <p>La nula utilización de aparatos eléctricos básico en un hogar como son luminarias, licuadora y tomacorrientes para utilizar aparatos eléctricos de entretenimiento como son un radio o un televisor.</p> <p>• <i>¿Tiene una proyección a futuro en su hacienda si se implementa un generador hidroeléctrico?</i></p> <p>Si, al ser mi hacienda un punto turístico donde se ofrece caminatas y pesca deportiva de truchas, muchos de nuestros visitantes son familias o grupos por lo cual nos gustaría implementar iluminación o un televisor en el salón para brindar una mejor atención al turista.</p> <p>• <i>¿Cuántas personas se beneficiarían con la realización de este proyecto?</i></p> <p>Principalmente mi familia que consta de tres personas, mi esposa, hijo y yo, pero también un promedio de 20 personas al mes ya que nuestro negocio aun es pequeño. Esperamos que con la mejora debido al suministro eléctrico el potencial turístico de la hacienda crezca.</p> 		

El componente tangencial de movimiento (lbm - ft / sec ^ 2)													
% V inyector	u (ft/sec)	Entrada (x)	Salida (x)	Fuerza (x) (lbf)	Fuerza (x) (N)	rpm	(ft-lbf)	(N-m)	Power (hp)	Eficiencia(%)	Watts	% Pico	
96,00	52,3	-5,4	5,3	-0,3	-1,5	3618	0,0	-0,1	-0,03	-3,58	-19,9	-4,3%	
94,00	51,2	5,4	-5,3	0,3	1,5	3542	0,0	0,1	0,03	3,51	19,5	4,2%	
92,00	50,1	16,1	-15,9	1,0	4,4	3467	0,1	0,2	0,09	10,30	57,2	12,2%	
90,00	49,0	26,8	-26,4	1,7	7,4	3392	0,2	0,3	0,15	16,80	93,3	20,0%	
88,00	47,9	37,5	-37,0	2,3	10,3	3316	0,3	0,4	0,20	22,99	127,7	27,3%	
86,00	46,8	48,2	-47,6	3,0	13,2	3241	0,4	0,6	0,25	28,89	160,5	34,3%	
84,00	45,7	59,0	-58,1	3,6	16,2	3166	0,5	0,7	0,30	34,49	191,6	41,0%	
82,00	44,6	69,7	-68,7	4,3	19,1	3090	0,6	0,8	0,35	39,79	221,1	47,3%	
80,00	43,5	80,4	-79,3	5,0	22,1	3015	0,7	0,9	0,39	44,79	248,8	53,2%	
78,00	42,5	91,1	-89,9	5,6	25,0	2939	0,8	1,1	0,43	49,49	275,0	58,8%	
76,00	41,4	101,8	-100,4	6,3	27,9	2864	0,9	1,2	0,47	53,90	299,4	64,1%	
70,00	38,1	134,0	-132,1	8,3	36,8	2638	1,1	1,5	0,57	65,32	362,9	77,6%	
68,00	37,0	144,7	-142,7	8,9	39,7	2563	1,2	1,7	0,60	68,53	380,7	81,5%	
66,00	35,9	155,4	-153,3	9,6	42,6	2487	1,3	1,8	0,63	71,44	396,9	84,9%	
64,00	34,8	166,2	-163,8	10,2	45,6	2412	1,4	1,9	0,65	74,05	411,4	88,0%	
57,00	31,0	203,7	-200,8	12,6	55,9	2148	1,7	2,3	0,71	80,85	449,2	96,1%	
56,00	30,5	209,0	-206,1	12,9	57,3	2110	1,8	2,4	0,71	81,52	452,9	96,9%	
55,00	29,9	214,4	-211,4	13,2	58,8	2073	1,8	2,5	0,72	82,12	456,2	97,6%	
54,00	29,4	219,8	-216,7	13,6	60,3	2035	1,9	2,5	0,72	82,64	459,1	98,2%	
53,00	28,8	225,1	-222,0	13,9	61,8	1997	1,9	2,6	0,73	83,09	461,6	98,8%	
52,00	28,3	230,5	-227,3	14,2	63,2	1960	2,0	2,7	0,73	83,46	463,7	99,2%	
51,00	27,8	235,8	-232,6	14,5	64,7	1922	2,0	2,7	0,73	83,76	465,3	99,6%	
50,00	27,2	241,2	-237,8	14,9	66,2	1884	2,1	2,8	0,74	83,98	466,6	99,8%	
49,00	26,7	246,6	-243,1	15,2	67,6	1847	2,1	2,8	0,74	84,13	467,4	100,0%	
48,00	26,1	251,9	-248,4	15,5	69,1	1809	2,1	2,9	0,74	84,21	467,8	100,1%	
47,00	25,6	257,3	-253,7	15,9	70,6	1771	2,2	3,0	0,74	84,21	467,8	100,1%	

Anexo N° 10		Características de la Turbina Turgo								1/1
V inyector (m/s)	V rodete(m/s)	RPM	Flujo (litros/s)	Potencia de la turbina (kW)	Potencia eléctrica (kW)	Potencia de la Turbina(hp)	Flujo (gpm)	Flujo (CFS)	psi	
16,2	8,0	1809	5	0,553	0,470	0,7	75,3	0,17	19,9	
15,9	7,8	1776	5	0,524	0,445	0,7	74,0	0,16	19,2	
15,6	7,7	1743	5	0,495	0,421	0,7	72,6	0,16	18,5	
15,3	7,5	1709	4	0,467	0,397	0,6	71,2	0,16	17,8	
15,0	7,4	1674	4	0,439	0,373	0,6	69,7	0,16	17,0	
14,7	7,2	1639	4	0,412	0,350	0,6	68,3	0,15	16,3	
14,4	7,1	1603	4	0,385	0,327	0,5	66,8	0,15	15,6	
13,7	6,7	1529	4	0,334	0,284	0,4	63,7	0,14	14,2	
13,4	6,6	1490	4	0,309	0,263	0,4	62,0	0,14	13,5	
13,0	6,4	1450	4	0,285	0,242	0,4	60,4	0,13	12,8	
12,6	6,2	1409	4	0,262	0,222	0,4	58,7	0,13	12,1	
12,3	6,0	1367	4	0,239	0,203	0,3	56,9	0,13	11,4	
11,9	5,8	1324	3	0,2	0,184	0,3	55,1	0,12	10,7	
11,5	5,6	1279	3	0,2	0,166	0,3	53,3	0,12	9,9	
10,6	5,2	1184	3	0,2	0,132	0,2	49,3	0,11	8,5	
9,7	4,8	1081	3	0,1	0,100	0,2	45,0	0,10	7,1	
8,7	4,3	967	3	0,1	0,072	0,1	40,3	0,09	5,7	
7,5	3,7	837	2	0,1	0,047	0,1	34,9	0,08	4,3	
5,3	2,6	592	2	0,0	0,016	0,0	24,7	0,05	2,1	
4,3	2,1	483	1	0,0	0,009	0,0	20,1	0,04	1,4	
3,1	1,5	342	1	0,0	0,003	0,0	14,2	0,03	0,7	
0,0	0,0	0	0	0,0	0,000	0,0	0,0	0,00	0,0	



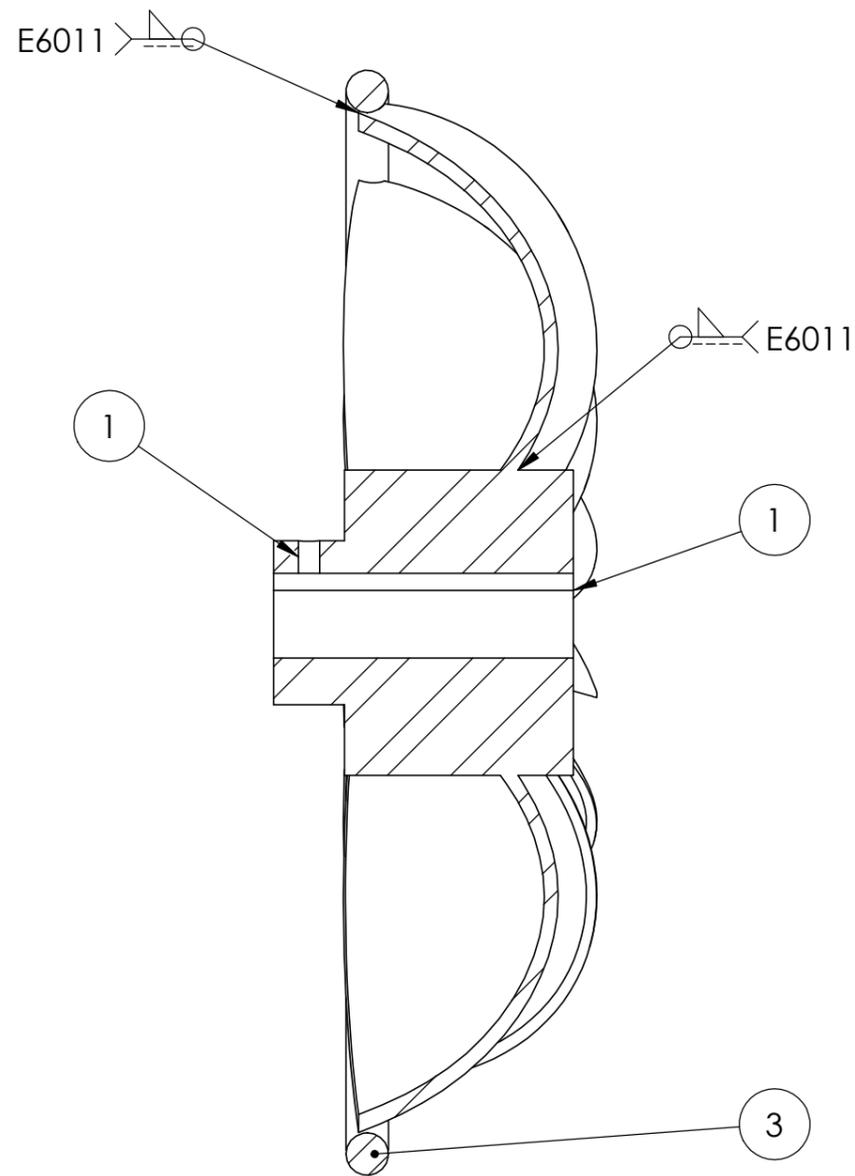
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

1	Turbina Turgo	Anexo N° 12	ASTM A36	1	743 gr.	
2	Inyector	Anexo N° 13	ASTM A36	1	279 gr.	
3	Soporte	Anexo N° 14	ASTM A36	1		
4	Cubierta	Anexo N° 15	Varios	1		
5	Generador eléctrico		Hierro fundido	1		
6	Tubería (Poliuretano de alata densidad, 69 m)		Poliuretano	1		
7	Valvula		PVC	2		
8	Conector de presión flex (2 pulgadas)		PVC	2		
9	Bocatoma del Tanque de presión		Acero	1		
10	Perno M7 x 30			4		
N° Pieza	Denominación y observaciones	Marca	Dibujo N°	Material	cantidad	Peso

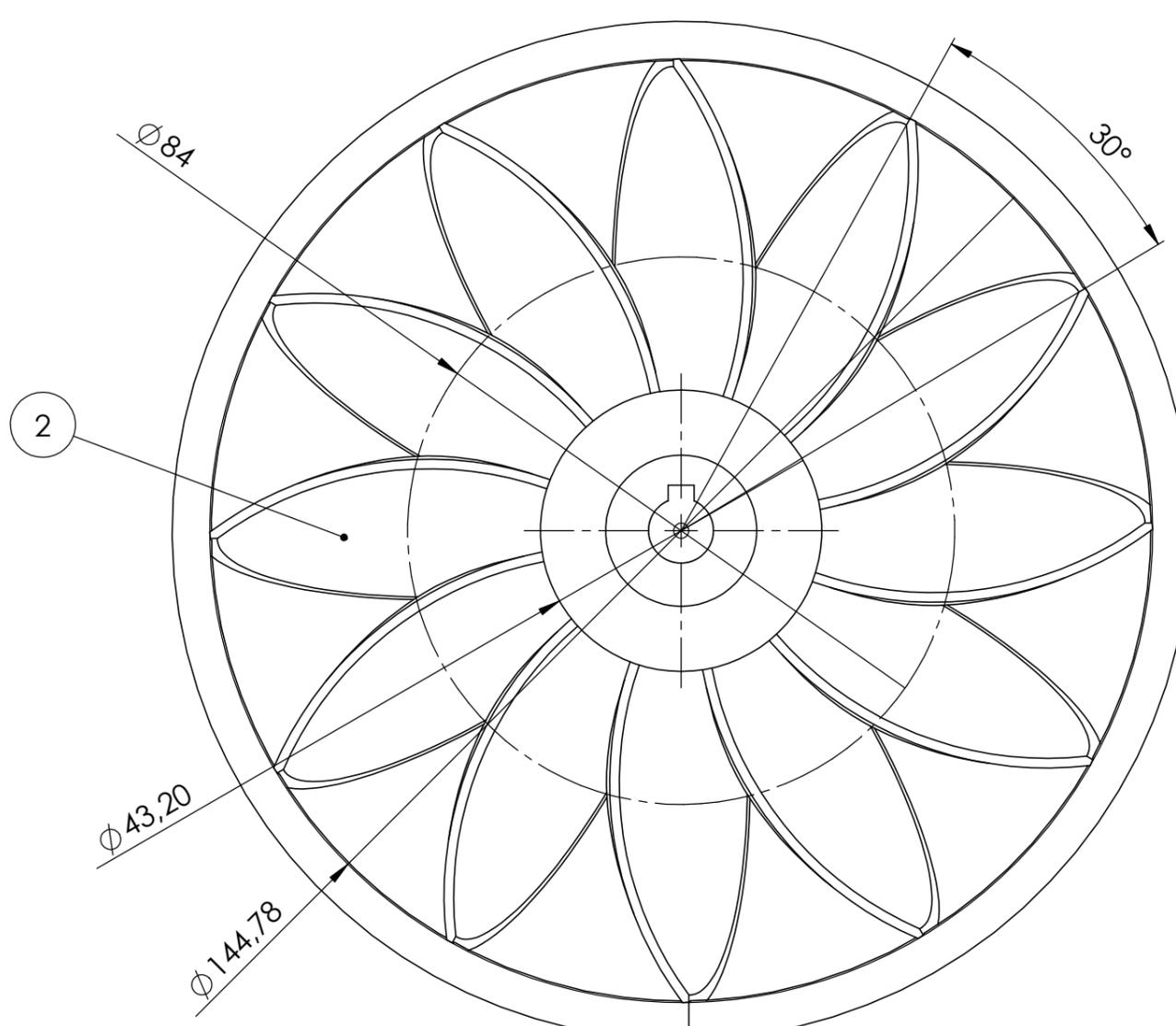
CANTIDAD	MATERIAL	TIPO	ESPEJOR	Tolerancias + 0.5		Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia	
				Fecha	Nombre	SISTEMA DE MICROGENERACIÓN Anexo N° 11 Escala 1:3 ISO E	
				Dib. 24/7/16	F. Areyuna		
				Rev. 24/7/16	R. Velastegui		
				Apro. 24/7/16	Ing. Alvaro Mullo		
				Finca San Nicolas			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



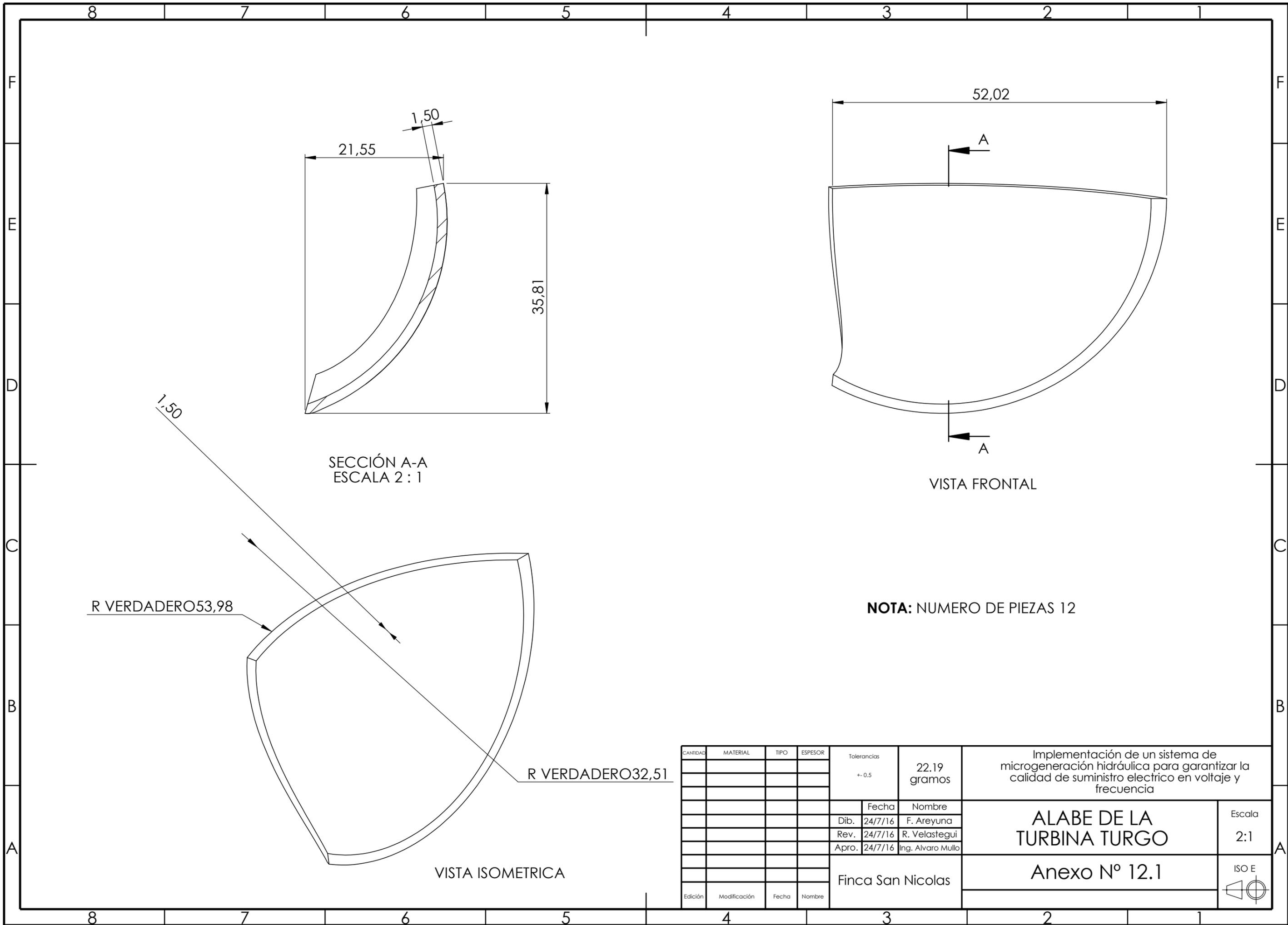
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:1



VISTA INFERIOR
ESCALA 1:1

1	NUCLEO	1	Anexo N° 12.1	ASTM A36	1	356 gr.
2	ALABES	2	Anexo N° 12.2	ASTMA A36	12	12 x 22.19 gr.
3	VARILLA CIRCULAR DE REFUERZO (espesor 6 mm)	3		ASTM A36	1	
4	CHAVETERO DIN 6885-4-4-32-A	4			1	
N° Pieza	Denominación y observaciones	Marca	Dibujo N°	Material	Cantidad	Peso
CANTIDAD	MATERIAL	TIPO	ESPESOR	Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia		
1	ASTM A 36					
		Tolerancias +- 0.5	743 gramos	TURBINA TURGO		
		Fecha	Nombre			
		Dib. 24/7/16	F. Areyuna			
		Rev. 24/7/16	R. Velastegui			
		Apro. 24/7/16	Ing. Alvaro Mullo	Anexo N° 12		
		Finca San Nicolas		ISO E		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

8 7 6 5 4 3 2 1



SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

VISTA FRONTAL

VISTA ISOMETRICA

NOTA: NUMERO DE PIEZAS 12

R VERDADERO 53,98

R VERDADERO 32,51

CANTIDAD	MATERIAL	TIPO	ESPESOR	Tolerancias	Fecha	Nombre
				+0.5	22.19 gramos	
					Dib. 24/7/16	F. Areyuna
					Rev. 24/7/16	R. Velastegui
					Apro. 24/7/16	Ing. Alvaro Mullo
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Finca San Nicolas		

Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia

ALABE DE LA TURBINA TURGO

Anexo N° 12.1

Escala
2:1



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

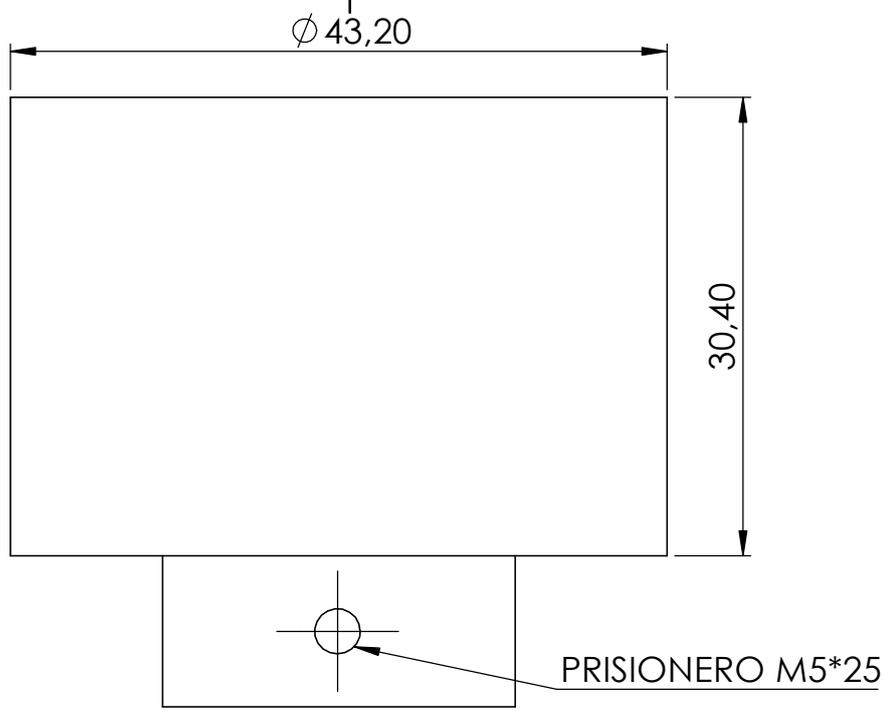
C

B

B

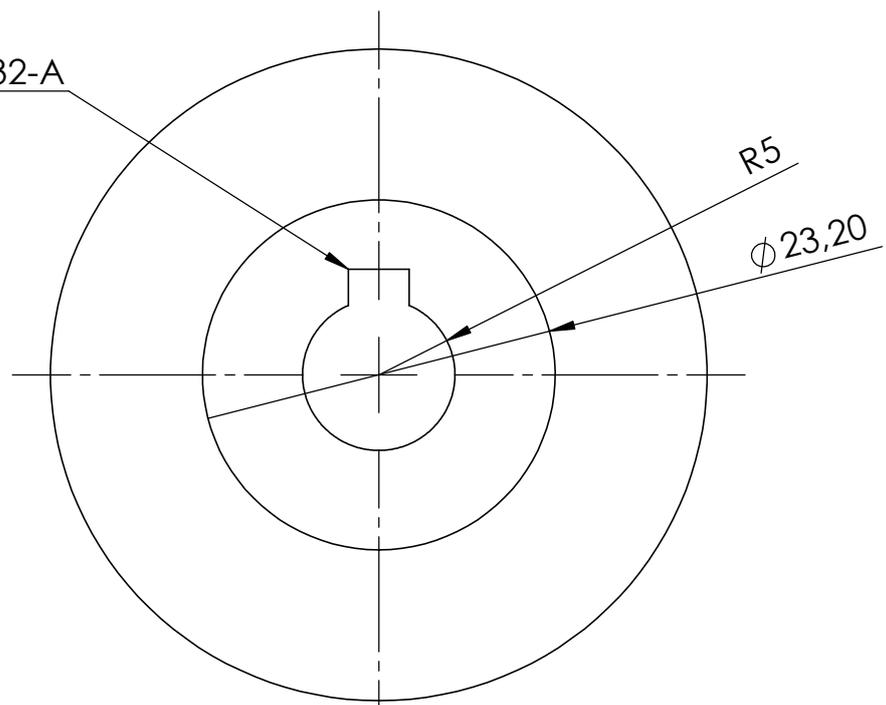
A

A



VISTA LATERAL

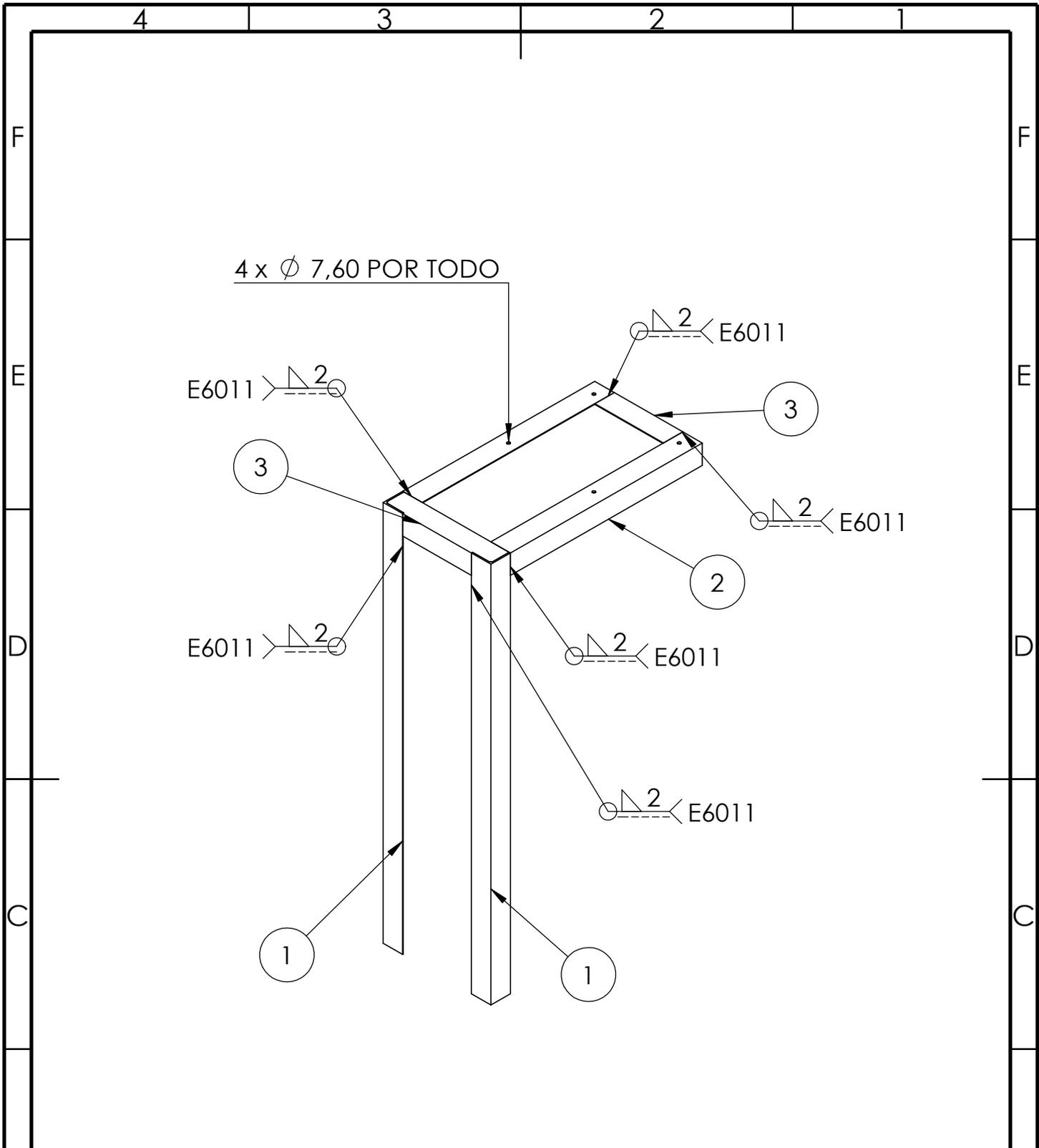
CHAVETERO
DIN 6885-4-4-32-A



VISTA SUPERIOR

CANTIDAD	MATERIAL	TIPO	ESPESOR	Tolerancias +0.5		356 gramos	Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia
				Fecha	Nombre	<p>NUCLEO DE LA TURBINA</p>	<p>Escala 2:1</p>
			Dib.	24/7/16	F. Areyuna		
			Rev.	24/7/16	R. Velastegui		
			Apro.	24/7/16	Ing. Alvaro Mullo	<p>Anexo N° 12.2</p>	<p>ISO E</p>
			Finca San Nicolas				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

4 3 2 1



1	Perfil "L" (40 x 40 x 1000 mm)			ASTM A36	2
2	Perfil "L" (40 x 40 x 408 mm)			ASTM A36	2
3	Perfil "L" (40 x 40 x 224 mm)			ASTM A36	2
Nº Pieza	Denominación y observaciones	Marca	Dibujo Nº	Material	Cantidad

CANTIDAD	MATERIAL	TIPO	ESPESOR	Tolerancias + 0.5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Finca San Nicolas	

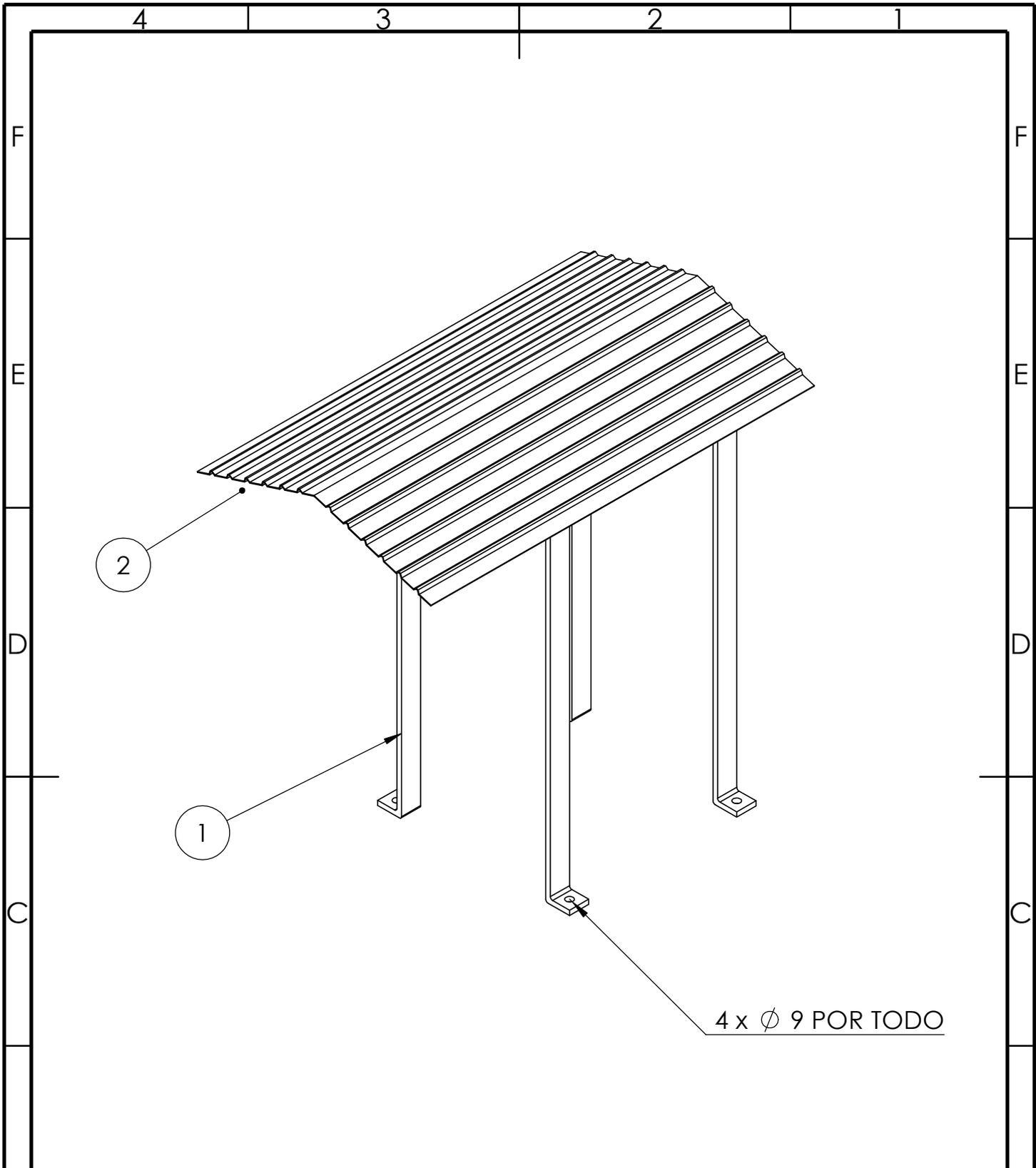
Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia

SOPORTE

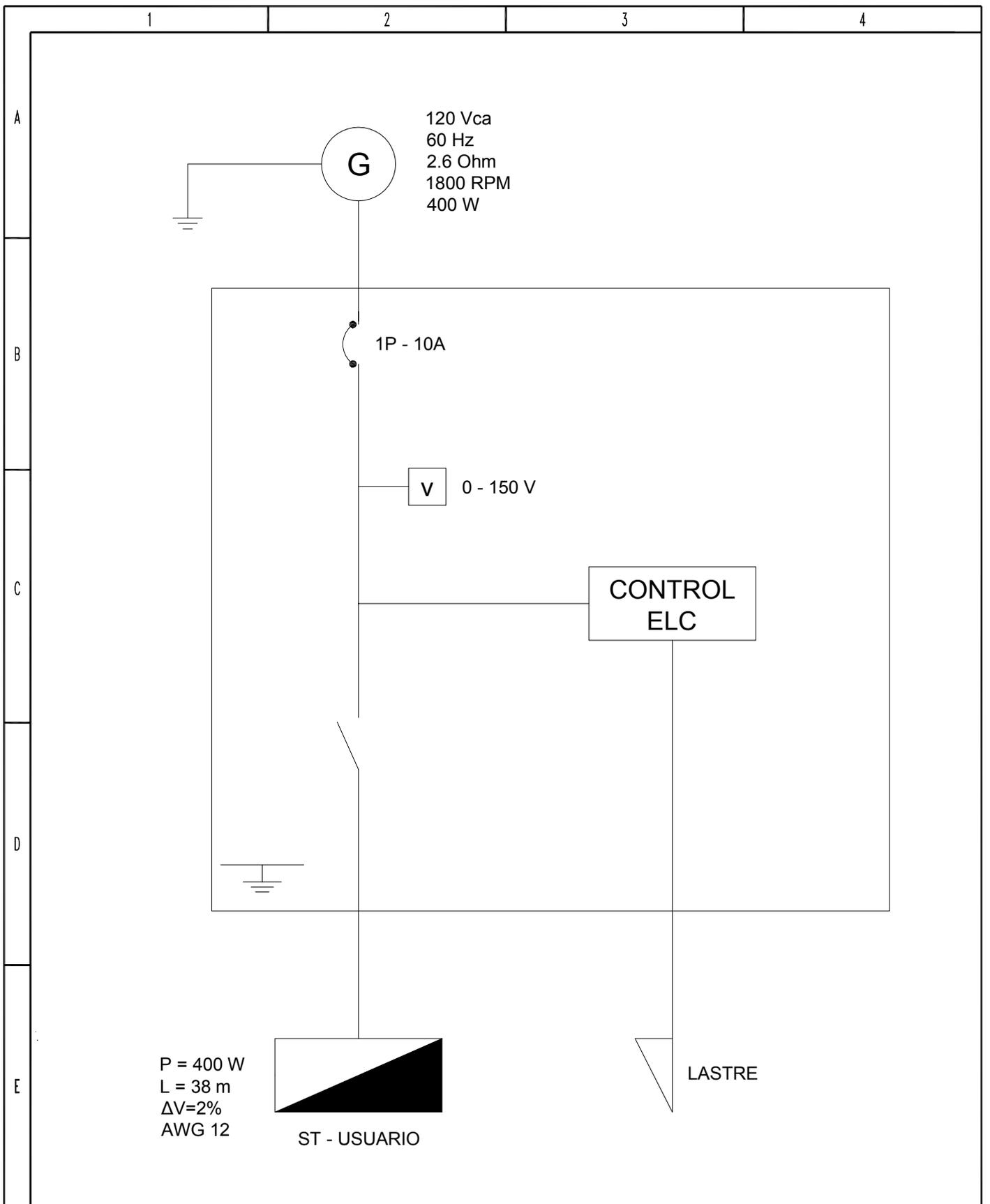
Escala 1:10

Anexo Nº 14

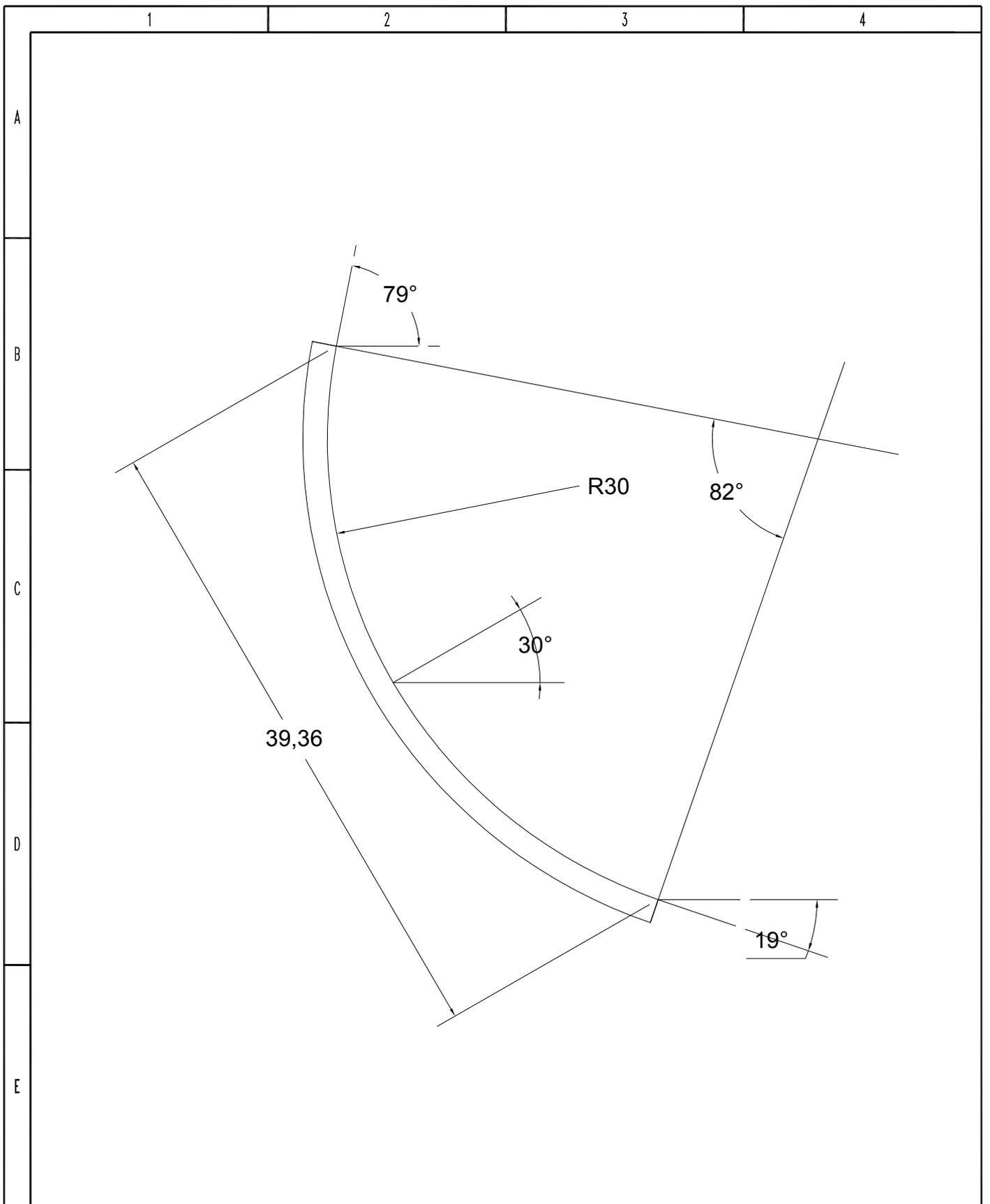
ISO E



1	Varilla rectangular (2.5 x 6 x 480 mm)				ASTM A36	4
2	Tejado Dipanel prepintado DP5 (340 x 500 espesor 1 mm)				ASTM A36	2
Nº Pieza	Denominación y observaciones				Marca	Dibujo Nº
CANTIDAD	MATERIAL	TIPO	ESPESOR	Tolerancias + 0.5		Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia
				Fecha	Nombre	
				Dib.	24/7/16 F. Areyuna	
				Rev.	24/7/16 R. Velastegui	
				Apro.	24/7/16 Ing. Alvaro Mullo	
Finca San Nicolas				CUBIERTA		Escala 1:5
Anexo Nº 15						ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			



CANTIDAD	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Peso)	Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia		
							DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE CONTROL	Escala 1:1	
					Fecha	Nombre			
				Dib.	24/07/16	F. Areyuna			
				Rev.	24/07/16	R. Velastegui			
				Apro.	24/07/16	Ing. Alvaro Mullo			
				Finca San Nicolas			Anexo Nº 17		ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



CANTIDAD	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Peso)	Implementación de un sistema de microgeneración hidráulica para garantizar la calidad de suministro eléctrico en voltaje y frecuencia	
					Fecha	Nombre	GEOMETRIA UNI-DIMENSIONAL DEL ALABE	Escala 3:1
				Dib.	24/07/16	F. Areyuna		
				Rev.	24/07/16	R. Velastegui		
				Apro.	24/07/16	Ing. Alvaro Mullo		
				Finca San Nicolas			Anexo Nº 20	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

