



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Extensión Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

Tesis de grado previo a la obtención del título de:

**INGENIEROS ELECTROMECAÁNICOS, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN  
INDUSTRIAL**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REMOLINO  
ARTIFICIAL DE AGUA PARA GENERAR 1 KW DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
QUE ABASTEZCA A LA VIVIENDA DEL SEÑOR MARIO CARDENAS EN EL  
RECINTO MIRAVALLE.**

**Estudiantes:**

MARCOS PATRICIO MEDRANO BOADA  
MARÍA FERNANDA MENA TRÁVEZ

**Director de Tesis:**

ING. HOLGER JAMI

Santo Domingo – Ecuador

Noviembre, 2012

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REMOLINO  
ARTIFICIAL DE AGUA PARA GENERAR 1 KW DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
QUE ABASTEZCA A LA VIVIENDA DEL SEÑOR MARIO CARDENAS EN EL  
RECINTO MIRAVALLE.**

Ing. Holger Jami  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

**APROBADO**

Ing. Marcelo Estrella  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Néstor Albán  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Javier Díaz  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Santo Domingo.....de.....2012.

**Autores:                   MARCOS PATRICIO MEDRANO BOADA  
                                  MARÍA FERNANDA MENA TRÁVEZ**

**Institución:             UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.**

**Título de Tesis:        DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO  
                                  DE REMOLINO ARTIFICIAL DE AGUA PARA  
                                  GENERAR 1 KW DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE  
                                  ABASTEZCA A LA VIVIENDA DEL SEÑOR  
                                  MARIO   CARDENAS    EN   EL   RECINTO  
                                  MIRAVALLE.**

**Fecha:                    NOVIEMBRE, 2012.**

El contenido del presente trabajo, está bajo la responsabilidad de los autores.

---

**Marcos Patricio Medrano Boada  
172078786-8**

---

**María Fernanda Mena Trávez  
172218614-3**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Extensión Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS**

Santo Domingo.....de.....del 2012.

Ing. Marcelo Estrella

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

Estimado Ingeniero

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por los señores: **MARCOS PATRICIO MEDRANO BOADA Y MARÍA FERNANDA MENA TRÁVEZ**, cuyo tema es: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REMOLINO ARTIFICIAL DE AGUA PARA GENERAR 1 KW DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE ABASTEZCA A LA VIVIENDA DEL SEÑOR MARIO CARDENAS EN EL RECINTO MIRAVALLE”**, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes

Atentamente.

---

Ing. Holger Jami  
**DIRECTOR DE TESIS**



# *Dedicatoria*

*Dedico este proyecto a Dios por haberme llenado de bendiciones y sabiduría para culminar el presente trabajo de investigación, que gracias a él, este logro alcanzado ha sido posible.*

*A mis padres, quienes han velado por mi bienestar y educación, apoyándome en cada momento sin importar las dificultades que se me han presentado, por confiar en mis capacidades y ser unos excelentes padres y amigos incondicionales. A mis hermanos, por enseñarme con ejemplo que los sacrificios tienen grandes recompensas, por ofrecerme esa mano amiga en las situaciones difíciles.*

*A mi querida esposa quien me acompaño en mi vida universitaria, estando a mi lado en cada momento, dándome fuerzas para seguir adelante y culminar con esta etapa de mi vida.*

*A mis amigos quienes me brindaron amistad, comprensión y apoyo, cuyos momentos gratos los tengo siempre presente en mi mente. A mis maestros por formar parte de este logro que nos abre puertas en nuestro desarrollo profesional y por haber contribuido en mi aprendizaje con su gran calidez humana y actitud de respeto.*

*Marcos*

# *Agradecimiento*

*Me gustaría agradecer a muchas personas especiales por su amistad, y compañía, en especial a Dios por guiarme en todo momento de mi vida, a mis padres, quienes han sido una fortaleza para mi superación personal y profesional, a quienes le agradezco por su afecto y amor dedicado en cada etapa de mi vida, por enseñarme a ser un hombre honesto y responsable. A mis hermanos por darme ánimos en los momentos más difíciles, por brindarme sus consejos y apoyarme en todo lo que me he planteado en la vida.*

*A mí amada esposa por ser paciente y haberme dado los momentos más especiales de mi vida, quien me ha brindado su amor y amistad para finalizar nuestro proyecto, siempre dándome ánimos y consejos para no desmallar en el camino.*

*A mis amigos por pasar a mi lado en las buenas y en las malas, por compartir conmigo sabias vivencias que jamás olvidaré.*

*A mis maestros quienes me han brindado su experiencia de la cual he aprendido para culminar este trabajo, y gracias a todos aquellos que me ayudaron a que este gran sueño se volviera realidad.*

*Marcos*

# *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo a Dios, a mis padres quienes día a día me brindaron su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida y me enseñaron virtudes, valores y principios que me formaron para ser una persona íntegra y capaz de alcanzar mis sueños, y estoy infinitamente agradecida por ser unos excelentes padres.*

*A mis hermanos por haberme brindado sus consejos y especialmente está dedicado a mi hermanita menor a quien estimo mucho y deseo que este logro alcanzado le sirva de ejemplo y le enseñe que todo esfuerzo en la vida tiene su recompensa.*

*A mi esposo por acompañarme en los momentos más importantes de mi vida y ser mi incentivo para seguir adelante y finalizar con éxito este proyecto.*

*A mis maestros quienes contribuyeron a mi formación académica y personal.*

*Mafer*

# *Agradecimiento*

*Este proyecto no se habría podido realizar sin la colaboración de personas que me han brindado su apoyo incondicional y han permanecido a mi lado aún en los momentos más difíciles, a quienes quiero expresar mis más sinceros agradecimientos.*

*Primeramente a Dios por haberme dado la vida ya que gracias a su infinito amor todo es posible, a mis padres quienes a lo largo de mi existencia me enseñaron con ejemplo, amor y sabios consejos; valores que me formaron como mujer y que gracias a sus sacrificios hoy puedo culminar mis estudios profesionales.*

*Al mismo tiempo quiero agradecer a mis hermanos y amigos, quienes me apoyaron en todo momento y me brindaron su constante estímulo para alcanzar esta meta propuesta.*

*Y especialmente quiero agradecer a mi esposo por ser el amor de mi vida, mi apoyo y mi motivación para terminar el presente trabajo de graduación.*

*Un reconocimiento a los miembros del Tribunal y al Director de este proyecto por haber compartido sus conocimientos, su experiencia técnica y por haber depositado su confianza en un ambiente de amistad y respeto, fundamental para la realización de este proyecto.*

*Mafer*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
Portada .....	i
Sustentación y Aprobación de los Integrantes del Tribunal .....	ii
Responsabilidad del Autor .....	iii
Aprobación del Director de Tesis .....	iv
Dedicatoria Marcos P. Medrano B. ....	v
Agradecimiento Marcos P. Medrano B. ....	vi
Dedicatoria María Fernanda Mena T. ....	vii
Agradecimiento María Fernanda Mena T. ....	viii
Índice .....	ix
Resumen Ejecutivo .....	xvi
Executive Summary .....	xvii

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes .....	1
1.1.1	Antecedentes Históricos .....	1
1.1.2	Antecedentes Científicos .....	2
1.1.3	Antecedentes Prácticos .....	3
1.1.4	Importancia del Estudio .....	4
1.1.5	Situación actual de las Pico-centrales de Generación de energía eléctrica .....	4
1.2	Limitaciones del estudio .....	5
1.3	Alcance del trabajo .....	6
1.4	Objeto de estudio .....	6
1.5	Objetivo general de estudio .....	6
1.5.1	Objetivo General .....	6
1.5.2	Objetivos Específicos .....	7
1.6	Justificación .....	7
1.7	Hipótesis .....	7
1.8	Metodología .....	8
1.8.1	Unidad de Análisis .....	8
1.8.2	Unidad de Estudio .....	8
1.8.3	Aspectos Metodológicos Generales del Estudio .....	8
1.8.4	Método de Estudio .....	9

### CAPÍTULO II

#### MARCO DE REFERENCIA

2.1	Generación de energía eléctrica .....	10
-----	---------------------------------------	----

2.1.1	Electricidad.....	11
2.1.2	Producción de Electricidad.....	12
2.2	Centrales Eléctricas .....	13
2.2.1	Mini-Centrales Hidroeléctricas .....	15
2.3	Tipos de Mini-Centrales Hidroeléctricas .....	16
2.3.1	Central de Agua Fluyente.....	17
2.3.2	Central de Pie de Presa.....	18
2.3.3	Central en Canal de Riego o Abastecimiento.....	20
2.4	Elementos que componen una Micro-Central Hidroeléctrica .....	21
2.4.1	Toma de Agua .....	22
2.4.2	Canal de Derivación .....	23
2.4.3	Cámara de Carga .....	23
2.4.4	Tubería Forzada.....	24
2.4.5	Edificio de la Central.....	24
2.4.6	Canal de Salida.....	25
2.5	Dinámica de Fluidos.....	25
2.5.1	Fundamentos Hidrostáticos .....	26
2.5.2	Fundamentos Hidrodinámicos.....	29
2.5.3	Turbinas Hidráulicas .....	34
2.6	Generador Eléctrico.....	40
2.6.1	Generador Síncrono.....	41
2.6.2	Generador Asíncrono .....	42
2.7	Rodamientos.....	43
2.7.1	Rodamientos para cargas Axiales .....	46
2.7.2	Rodamientos para cargas Radiales .....	46
2.7.3	Rodamientos para cargas Mixtas.....	47
2.8	Regulación de la Velocidad.....	48
2.8.1	Regulación de la velocidad por medio del caudal de carga en la turbina .....	48
2.8.2	Regulación de la velocidad por regulación de carga.....	48
2.9	Sistema de Transmisión .....	49
2.9.1	Transmisión por engranajes .....	50
2.9.2	Transmisión por cadenas .....	51
2.9.3	Transmisión por bandas .....	52
2.10	Sistemas de Protección.....	52
2.10.1	Protección contra Sobrevoltaje.....	53
2.10.2	Protección contra cortocircuitos.....	53
2.11	Puesta a Tierra.....	53
2.12	Selección del Lubricante .....	55

## CAPÍTULO III

### DISEÑO

3.1	Introducción .....	56
3.2	Diseño Hidráulico de la Turbina .....	56
3.2.1	Cálculo del volumen.....	61
3.2.2	Cálculo del Caudal Real .....	61
3.2.3	Cálculo de velocidades.....	62

3.2.4	Cálculo del numero de Reynolds .....	64
3.2.5	Cálculo de la Altura Neta .....	65
3.2.6	Cálculo del caudal aprovechable .....	66
3.2.7	Cálculo de la potencia ideal .....	67
3.2.8	Cálculo del Torque del Generador .....	68
3.2.9	Cálculo del Torque en el eje de la Turbina .....	69
3.2.10	Cálculo de la relación de Transmisión total .....	69
3.2.11	Cálculo de la relación de Transmisión al multiplicador de velocidad .....	70
3.3	Diseño Mecánico de la Turbina .....	70
3.3.1	Cálculo del caudal que ingresa a un álabe.....	70
3.3.2	Cálculo de las componentes de Fuerza en el plano x e y .....	72
3.3.3	Cálculo de la fuerza centrífuga sobre el álabe.....	75
3.3.4	Cálculo de la Fuerza Resultante total sobre el álabe .....	75
3.3.5	Diseño de las aspas.....	77
3.3.6	Cálculo del Momento .....	79
3.3.7	Cálculo del Momento de Inercia .....	80
3.4	Diagrama de Cuerpo Libre .....	82
3.4.1	Diagrama de Fuerzas Cortantes.....	84
3.4.2	Diagrama de Momento Flector .....	85
3.5	Cálculo del Diseño Estático .....	85
3.6	Diseño Dinámico .....	86
3.7	Selección de los Rodamientos.....	91
3.7.1	Ajuste para montaje de Rodamientos .....	93
3.8	Desarrollo de la Voluta .....	97
3.8.1	Construcción de la Voluta de prueba .....	99
3.9	Diseño del Tren de Engranajes.....	108
3.9.1	Cálculo de la velocidad del engranaje.....	110
3.9.2	Determinación del paso aproximado.....	111
3.9.3	Cálculo de la carga que soporta el diente .....	112
3.9.4	Cálculo del coeficiente de seguridad.....	112
3.10	Diseño y selección del Sistema de Transmisión Tren de Engranajes y Multiplicador de velocidad .....	113
3.10.1	Selección del paso de la cadena y el tamaño de la sprocket pequeña .....	114
3.10.2	Selección del sprocket mayor.....	114
3.10.3	Cálculo del número de eslabones y la longitud de la cadena .....	115
3.11	Selección del multiplicador de velocidad.....	118
3.12	Diseño y Selección de acoples .....	119
3.13	Cálculo y selección del generador.....	120
3.14	Selección del Tipo de Generador .....	120
3.15	Selección del sistema de Puesta a Tierra.....	122

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN

4.1	Construcción Civil.....	126
4.2	Construcción Mecánica .....	129
4.2.1	Construcción de la Voluta .....	129

4.3	Construcción de la Turbina .....	133
4.3.1	Construcción de los álabes .....	133
4.4	Construcción y montaje del eje de la Turbina.....	134
4.5	Montaje de Rodamientos.....	136
4.6	Montaje del Sistema de Transmisión .....	136
4.6.1	Montaje del Sistema de Engranajes .....	136
4.6.2	Montaje de la cadena y las ruedas dentadas .....	137
4.6.3	Montaje del Multiplicador.....	138
4.6.4	Montaje del Acople y generador .....	138
4.6.5	Tablero y Protecciones .....	139

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS DE GENERACIÓN**

5.1	Generación con diferentes tipos de carga.....	140
5.1.1	Generación con cargas resistivas.....	140
5.1.2	Generación con cargas inductivas .....	141
5.1.3	Generación con cargas capacitivas.....	142
5.2	Generación en vacío .....	143
5.3	Generación a plena carga .....	144

## **CAPÍTULO VI**

### **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

6.1	Componentes principales del Sistema de Generación.....	145
6.2	Diagnóstico y prevención de fallas .....	146
6.2.1	Diagnóstico y prevención de fallas en la Turbina .....	146
6.2.2	Diagnóstico y prevención de fallas en el Generador.....	147
6.2.3	Diagnóstico y prevención de fallas en el Tablero de Control .....	149
6.3	Acciones de Mantenimiento en la Tubería de presión .....	150
6.4	Acciones de Mantenimiento en Válvulas.....	150
6.5	Acciones de Mantenimiento en la Voluta .....	150
6.6	Acciones de Mantenimiento en Turbina .....	150
6.7	Acciones de Mantenimiento en Generador .....	151
6.8	Acciones de Mantenimiento en Rodamientos y componentes mecánicos... 151	
6.9	Acciones de Mantenimiento en Componentes eléctricos del Tablero .....	151
6.10	Herramientas y Repuestos para el mantenimiento preventivo .....	152

## **CAPÍTULO VII**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO**

7.1	Costos .....	155
7.1.1	Costos Directos del Proyecto .....	157
7.1.2	Costos Indirectos del Proyecto .....	157
7.1.3	Costos Totales del Proyecto .....	158



7.2	Costo de la energía .....	158
7.3	TIR y VAN.....	159
7.4	Relación Beneficio - Costo .....	163

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1	Conclusiones .....	165
8.2	Recomendaciones.....	167

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1	Clasificación de Sistemas Mini-Hidráulicos .....	15
Tabla 2-2	Cuadro comparativo de los diversos tipos de regulación de velocidad....	4949
Tabla 2-3	Rango de viscosidad recomendados para lubricantes de Turbinas .....	55
Tabla 3-1	Ángulos característicos del álabe .....	73
Tabla 3-2	Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x.....	75
Tabla 3-3	Factores de acabado de superficies .....	89
Tabla 3-4	Juego de Rodamientos según Catalogo FAG.....	94
Tabla 3-5	Caudal vs Altura del Agua medidos.....	100
Tabla 3-6	Caudal vs Altura del Agua calculados .....	101
Tabla 3-7	Diámetro del Remolino vs Altura del Agua medidas.....	102
Tabla 3-8	Diámetro del Remolino vs Altura del Agua calculadas .....	103
Tabla 3-9	Caudal vs Altura del Agua medidos.....	103
Tabla 3-10	Caudal vs Altura del Agua calculados .....	104
Tabla 3-11	Altura vs Remolino de Agua medidos .....	105
Tabla 3-12	Altura vs Remolino de Agua calculados .....	106
Tabla 3-13	Número de hileras de la cadena por factor de múltiples hileras.....	113
Tabla 3-14	Tabla de Velocidades de Sincronismo para generadores multipolos .....	121
Tabla 3-15	Resumen de Características de Generadores.....	122
Tabla 3-16	Constantes de materiales .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 5-1	Generación con cargas resistivas.....	141
Tabla 5-2	Generación con carga inductiva .....	142
Tabla 5-3	Generación con cargas capacitivas.....	143
Tabla 5-4	Generación en Vacío .....	143
Tabla 5-5	Valor máximo de voltaje alcanzado en vacío.....	144
Tabla 6-1	Diagnóstico y prevención de fallas en la Turbina .....	146
Tabla 6-2	Diagnóstico y prevención de fallas en el Generador.....	147
Tabla 6-3	Diagnóstico y prevención de fallas en el Tablero de Control .....	149
Tabla 6-4	Cuadro de Herramientas y Repuestos para el mantenimiento preventivo..	153
Tabla 7-1	Costos Directos - Materiales de Obra Civil.....	156
Tabla 7-2	Costos Directos – Materiales de Instalación Mecánica.....	156
Tabla 7-3	Costos Directos - Materiales de Instalación Eléctrica.....	157
Tabla 7-4	Costos Directos Totales.....	157
Tabla 7-5	Costos Indirectos Totales .....	158
Tabla 7-6	Costos Totales .....	158
Tabla 7-7	Costos Totales .....	159

Tabla 7-8 Ingresos y Egresos con TIR Y VAN .....	162
Tabla 7-9 Relación de Beneficio – Costo .....	164

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 La Energía .....	10
Figura 2-2 Modelo Atómico .....	12
Figura 2-3 Diagrama General de Producción de Electricidad .....	14
Figura 2-4 Ciclo Hidrológico.....	16
Figura 2-5 Elementos de la Construcción de una Central .....	18
Figura 2-6 Central Hidroeléctrica de Pie de Presa.....	19
Figura 2-7 Centrales Integradas en Redes de Agua.....	21
Figura 2-8 Centrales en Canales de Irrigación.....	21
Figura 2-9 Central Hidroeléctrica de Tipo Fluyente.....	22
Figura 2-10 Fuerza Distribuida Uniforme .....	28
Figura 2-11 Presión Hidrostática .....	28
Figura 2-12 Caudal .....	30
Figura 2-13 Principio de Continuidad .....	31
Figura 2-14 Teorema de Bernoulli.....	33
Figura 2-15 Teorema de Torricelli.....	34
Figura 2-16 Turbinas de Acción y de Reacción .....	35
Figura 2-17 Turbina Pelton.....	36
Figura 2-18 Turbina Michell.....	37
Figura 2-19 Turbina Francis .....	38
Figura 2-20 Turbina Kaplan .....	39
Figura 2-21 Generador Síncrono .....	42
Figura 2-22 Rodamientos.....	44
Figura 2-23 Estructura del Rodamiento.....	45
Figura 2-24 Clasificación de los Rodamientos según la dirección de la carga principal .....	45
Figura 2-25 Rodamientos Axiales .....	46
Figura 2-26 Rodamientos Radiales.....	47
Figura 2-27 Rodamientos para cargas Mixtas .....	47
Figura 2-28 Transmisión por engranes .....	51
Figura 2-29 Transmisión por cadenas.....	52
Figura 2-30 Puesta a Tierra Elementa.....	54
Figura 2-31 Puesta a Tierra múltiple (Sistema de Electrodo) .....	54
Figura 3-1 Condiciones del lugar de la Pico-Central.....	57
Figura 3-2 Dimensionamiento de las condiciones de la Picocentral .....	57
Figura 3-3 Análisis de Teorema de Torricelli.....	58
Figura 3-4 Tipos de Flujo .....	65
Figura 3-5 Caudal que ingresa al álabe de la Turbina .....	71
Figura 3-6 Ángulos de la velocidad absoluta a la entrada y salida del álabe .....	73
Figura 3-7 Componentes de la Fuerza .....	74
Figura 3-8 Composición de fuerzas sobre el álabe .....	76
Figura 3-9 Diseño de las aspas de la turbina .....	78
Figura 3-10 Diseño de aspas considerada como viga Cantilever .....	79
Figura 3-11 Sección de las aspas .....	80

Figura 3-12 Diagrama de Fuerzas.....	82
Figura 3-13 Diagrama de Cuerpo Libre.....	83
Figura 3-14 Diagrama de Reacciones.....	84
Figura 3-15 Diagrama de Cortantes.....	84
Figura 3-16 Diagrama de Momento Flector.....	85
Figura 3-17 Análisis de Esfuerzos.....	87
Figura 3-18 Ajuste de Rodamientos.....	94
Figura 3-19 Rugosidad de los asientos de los rodamientos.....	95
Figura 3-20 Voluta.....	97
Figura 3-21 Estructura.....	98
Figura 3-22 Espiral Logarítmica.....	99
Figura 3-23 Caudal vs Altura del Agua.....	100
Figura 3-24 Diámetro del Remolino vs Altura del Agua Calculados.....	102
Figura 3-25 Caudal vs Altura del Agua.....	104
Figura 3-26 Diámetro del Remolino vs Altura del Agua.....	105
Figura 3-27 Dimensiones de la Voluta.....	107
Figura 3-28 Transmisión sencilla de engranajes.....	108
Figura 3-29 Longitud de la cadena.....	116
Figura 3-30 Estimación de la fuerza de tensión de la cadena por hilera.....	118
Figura 4-1 Limpieza del terreno.....	126
Figura 4-2 Instalación de neplo en el tanque.....	127
Figura 4-3 Montaje de Tubería en el tanque de agua.....	127
Figura 4-4 Instalación de reducción de tubería.....	128
Figura 4-5 Montaje de Tuberías.....	128
Figura 4-6 Base de la Voluta.....	129
Figura 4-7 Corte de la base de Voluta.....	130
Figura 4-8 Corte completo de la base de Voluta.....	130
Figura 4-9 Soldadura de la base y las paredes de la Voluta.....	131
Figura 4-10 Soldadura de la base y las paredes de la Voluta.....	132
Figura 4-11 Soldadura de la base y las paredes de la Voluta.....	132
Figura 4-12 Modelo de álabe de madera.....	133
Figura 4-13 Preparación del molde para la fundición de los álabes.....	134
Figura 4-14 Montaje de los álabes.....	134
Figura 4-15 Construcción del eje.....	135
Figura 4-16 Montaje del eje y la turbina.....	135
Figura 4-17 Tren de Engranajes.....	137
Figura 4-18 Instalación y montaje de las catalinas y la cadena.....	137
Figura 4-19 Montaje del acople.....	138
Figura 4-20 Tablero del generador.....	139
Figura 5-1 Conexión de cargas resistivas.....	140
Figura 5-2 Conexión de carga inductiva.....	141
Figura 5-3 Conexión de carga capacitiva.....	142

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente documento se contempla el diseño y la construcción de un Prototipo de remolino artificial de agua para generar 1 kW de energía eléctrica que abastezca a la vivienda del señor Mario Cárdenas en el Recinto Miravalle, ubicado a 629 m.s.n.m.

El propósito de este proyecto es desarrollar un nuevo modelo de generar electricidad en el cual se ha empleado la hidroenergía como fuente renovable, que se obtiene al aprovechar la energía cinética del agua como una de las principales formas inventadas por el ser humano para transformar las fuerzas de la naturaleza en trabajo mecánico y producir energía eléctrica que permita cuidar nuestro medio ambiente y que pueda ser aplicado en comunidades rurales que dispongan del cauce de un río o embalsamiento de agua.

Se detallan los cálculos para determinar las dimensiones del prototipo y sus elementos, partiendo del principio de funcionamiento de un remolino de río, aprovechando el vórtice de agua gravitacional producido en la voluta con forma de espiral logarítmica para generar energía eléctrica como una nueva alternativa de utilizar los recursos renovables sin perjudicar el medio ambiente y en base a la experimentación ha permitido establecer las posibles aplicaciones de este prototipo para beneficio de la sociedad.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

This document provides for the design and construction of a prototype artificial swirl of water to generate 1 kW of electric power that caters to the home of Mr. Mario Cardenas in Miravalle site, located at 629 meters above sea level.

The purpose of this project is to develop a new model of generating electricity which has been used as a renewable source of hydropower, which is obtained by harnessing the kinetic energy of water as one of the main forms invented by man to transform the forces of nature into mechanical and electrical energy production that allows care for our environment and it can be applied in rural communities that have the bed of a river or impoundment of water.

We detail the calculations to determine the dimensions of the prototype and its elements, operating on the principle of a swirling river, using the gravitational vortex produced water in the volute with logarithmic spiral to generate electricity as a new alternative of using renewable resources without harming the environment and on the basis of experimentation has allowed to establish the potential applications of this prototype for the benefit of society.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

##### 1.1.1 Antecedentes Históricos

Nuestros antepasados han utilizado las ruedas para cumplir con los trabajos laboriosos desde épocas antiguas, la fuerza del agua ha sido usada para moler trigo, pero fue con la Revolución Industrial, y especialmente a partir del siglo XIX, cuando comenzó a tener gran importancia con la aparición de las ruedas hidráulicas para la producción de energía eléctrica y que hasta la actualidad la demanda de electricidad sigue en aumento.

En la primera parte del siglo XIX se desarrolla la primera turbina hidráulica moderna gracias al Ingeniero Civil Benoît Fourneyron nacido en Francia (1802 - 1867). A mediados del siglo XIX las turbinas se desarrollan por varios investigadores, de tal forma que por el año de 1.890 se crean distintos tipos de turbinas.

La invención de la luz eléctrica a manos de Thomas Edison, y las maneras de distribuir electricidad ocurren por los mismos períodos de tiempo, llevando a un gran auge en el desarrollo hidroeléctrico en el mundo entero. Durante el siglo XX la mayoría de los avances hidroeléctricos eran relativamente pequeños, en escalas de las centrales mini-hidroeléctricas o incluso micro-hidroeléctricas. Esta situación ocurre por dos razones: la primera era que las personas desconocen de la construcción de presas, así como las turbinas eran demasiado grandes, y la segunda los sistemas hidroeléctricos pequeños hacen difícil generar grandes cantidades de electricidad.

Inicialmente los sistemas mini-hidroeléctricos se utilizan para abastecer una ciudad y sus alrededores, mientras que los sistemas micro-hidroeléctricos se usan en granjas y ranchos apartados para proveer energía necesaria para esas personas.

En la era de los años 50 y 60 la innovación de la tecnología y el precio barato del aceite, conjuntamente con la transmisión eléctrica interurbana mejorada, permiten que la electricidad se venda más barata de lo que las plantas hidráulicas pequeñas pueden hacerlo. La mayoría de instalaciones hidroeléctricas pequeñas fueron abandonadas o desmontadas durante este período.

Algunas de las plantas que fueron abandonadas en estos períodos ahora se están restaurando, y se están desarrollando muchas plantas nuevas, los países como Ecuador se están animando por esta propuesta, así como organizaciones de desarrollo, debido a que esto será de mucha ayuda, en especial a los países en vías de desarrollo, con el objetivo de reducir las importaciones de los productos derivados del petróleo y animar el desarrollo de la Micro-hidroeléctrica.

La gran importancia de las micro-centrales hidroeléctricas consiste en proporcionar energía eléctrica utilizando recursos naturales de los cuales se encuentran en nuestro entorno, para disponer de los servicios básicos eléctricos en áreas lejanas. La micro-hidroeléctrica desempeña así un papel importante en promover el desarrollo rural en áreas alejadas.

### **1.1.2 Antecedentes Científicos**

El aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía comienza en tiempos antiguos con el uso de ruedas hidráulicas muy rudimentarias pero que permiten la producción de fuerza motriz para aliviar el trabajo manual del hombre.

Las ruedas hidráulicas más evolucionadas acompañan el nacimiento de la era industrial, aun antes de la llegada del motor a vapor. La revolución industrial con su fuerte demanda energética moviliza el desarrollo tecnológico de los procesos de conversión de energía y la rueda hidráulica fue superada por la turbina a partir del inicio del siglo XIX.

Se ha mantenido el mismo principio de funcionamiento de las primeras centrales eléctricas, el cual se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad a través de conductos forzados y al pasar, por las paletas móviles o rotores, provoca un movimiento de rotación el cual es transmitido al eje del rotor que gira conectado a un generador eléctrico, que finalmente transforma ese movimiento en energía eléctrica; el agua que sale de la turbina es devuelta, a través de los sistemas de restitución a su curso original, a un nivel determinado por el canal a cielo abierto inferior. Finalmente el recurso natural disponible en zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelto río abajo.

### **1.1.3 Antecedentes Prácticos**

El proceso de conversión del recurso hídrico más difundido en la actualidad es la producción de energía eléctrica, esto se debe a la implementación de microcentrales hidroeléctricas que están siendo impulsados por países que cuentan con buenos recursos hídricos, para poder abastecer de energía a zonas que no poseen el sistema eléctrico de energía.

El desarrollo de la tecnología ha permitido alcanzar altísimos niveles de eficiencia en la conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica así como la instalación de nuevos mecanismos de producción de energía para contribuir con la demanda eléctrica del país.



#### **1.1.4 Importancia del Estudio**

La energía eléctrica es un servicio básico fundamental para el desarrollo humano en la sociedad, sin embargo, en las zonas rurales muy pocas familias cuentan con este servicio. El acceso a través de la red nacional se hace cada vez más costoso y difícil por la lejanía en la que muchas de las poblaciones se encuentran, así como el costo adicional que significa extender el tendido eléctrico para poder abastecer a lugares con baja densidad poblacional.

Esto conlleva a impulsar proyectos de generación a pequeña escala como Pico-Centrales hidroeléctricas las cuales puedan proporcionar servicio eléctrico a estas comunidades y satisfacer sus necesidades, esto mediante el aprovechamiento de los recursos naturales.

De igual manera mediante la implementación de estas Pico-Centrales se puede aportar al déficit energético que tiene el país, con la autogeneración de energía a un costo moderado y sin repercusiones al medioambiente y a poblaciones lejanas de nuestro país.

#### **1.1.5 Situación actual de las Pico-centrales de Generación de energía eléctrica**

En el Ecuador los sistemas eléctricos interconectados han resuelto el abastecimiento eléctrico dentro de la población urbana y parcialmente en las áreas rurales, pero aún quedan bastantes áreas geográficas que no disponen del servicio eléctrico y la población rural que las habita se encuentran en situación precaria, con niveles de actividad económica de subsistencia y altos índices de necesidades sociales básicas insatisfechas.

Esto demuestra claramente que existe una relación directa entre las condiciones socioeconómicas de la población y la ausencia de una demanda que se exprese en términos de mercado para promover su abastecimiento.

Dentro de estas áreas rurales donde la población se encuentra alejada de las redes de distribución, y que tienen requerimientos energéticos insatisfechos, constituyen el ámbito principal donde la pequeña hidrogenación eléctrica encuentra su aplicación potencial, en tanto se cuente con recursos hídricos locales suficientes y el apoyo del gobierno nacional para poder llevar a cabo estos proyectos necesarios para la población rural.

En el ámbito principal, las micro-centrales hidroeléctricas tienen un rol asegurado, pero no es el único y excluyente. Los factores ambientales como técnicos le asignan a este tipo de tecnología otros campos de aplicación complementarios.

## **1.2 Limitaciones del estudio**

Debido a que el funcionamiento del proyecto es innovador no se tienen datos o muestras de ayuda con prototipos iguales que sirva de guía, pues se desea generar energía eléctrica mediante el aprovechamiento de un remolino artificial de agua, donde se tiene que construir una estructura de forma circular con un orificio en la parte inferior que permita desfogar el agua y de esta manera formar el remolino; para el suministro de agua al tanque se necesita de un reservorio, que dará el impulso inicial para mover la turbina dentro del remolino provocando posteriormente el movimiento sucesivo debido a la corriente creada por el agua y de esta forma producir energía.

Debido a que el principio de funcionamiento del proyecto es nuevo comparado con pico-centrales existentes, se desconoce si la capacidad de generación a diseñar del prototipo coincidirá con la realidad, cuando este se encuentre construido y en pleno trabajo.

La influencia del gobierno nacional por incentivar a los futuros ingenieros a crear nuevas fuentes de generación eléctrica renovables, también repercute en la investigación y desarrollo de nuevos proyectos que permita aprovechar los recursos naturales que posee el Ecuador y aportar con el progreso del país.

### **1.3 Alcance del trabajo**

Con la culminación de este proyecto se podrá observar nuevas formas de generación hidráulica a pequeña escala que podríamos aplicar en zonas rurales de nuestro país, utilizando los recursos que se dispone de la naturaleza para satisfacer las necesidades eléctricas de la población, a un bajo costo de generación y sin daños perjudiciales a nuestro entorno.

Además de contribuir al progreso hidroeléctrico del Ecuador, con la innovación de nuevos proyectos, dando soluciones a los problemas energéticos que se presenten en el futuro.

### **1.4 Objeto de estudio**

Diseñar y construir un prototipo para generar energía eléctrica mediante la utilización de un remolino de agua artificial y abastecer a una vivienda, conservando el entorno natural y de manera más económica en su implementación. Asimismo impulsar nuevas formas y métodos para producir energía, para que estas sean aplicadas en poblaciones de gran riqueza fluvial.

### **1.5 Objetivo general de estudio**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Realizar el diseño y construcción de un prototipo de remolino artificial de agua para generar 1 kW de energía eléctrica que abastezca a la vivienda del señor Mario Cárdenas en el Recinto Miravalle en el año 2011.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar la estructura para que se forme el remolino artificial de agua.
- Obtener energía eléctrica a través del sistema de generación.
- Seleccionar los equipos adecuados para la construcción del prototipo.
- Calcular el caudal apropiado para el sistema.
- Diseñar la turbina en función del movimiento del agua.

### **1.6 Justificación**

Desarrollar técnicas innovadoras para obtener energía eléctrica ecológica a partir del diseño de un remolino artificial que permita aprovechar el agua como recurso renovable sin contaminar el medio ambiente e impulsar la creación de nuevas formas de energía.

Generar energía mediante el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos y un mecanismo que constituye la opción más adecuada para producir energía eléctrica sin contaminar al medio ambiente y a la vez muy ventajoso, ya que a más de aportar al país con energía no se perjudica al ecosistema y a la sociedad en general.

Se llevará a cabo, ante la imperiosa necesidad del uso eficiente de recursos renovables con los que cuenta el país, sin la necesidad de tener grandes caídas de agua y producir energía eléctrica no contaminante y que a su vez contribuya a la demanda energética local y nacional.

### **1.7 Hipótesis**

El diseño y construcción de un prototipo que ocasione un remolino de agua artificial que se pueda aprovechar para generar energía y abastecer de electricidad a una vivienda, utilizando los recursos naturales disponibles, de igual manera se va a contribuir para reducir el déficit energético que existe en el país.

## **1.8 Metodología**

### **1.8.1 Unidad de Análisis**

La unidad de análisis corresponde al prototipo de generación hidroeléctrica, con la cual se va a obtener los conocimientos necesarios para desarrollar este método y de esta manera llegar a diferentes partes del Ecuador.

### **1.8.2 Unidad de Estudio**

La necesidad de contar con aplicaciones que ayude al profesional a sustentar la información teórica científica se genera la necesidad de seleccionar el tipo de turbina que más se adecue al medio de estudio.

### **1.8.3 Aspectos Metodológicos Generales del Estudio**

El problema de investigación se realiza por medio de un tipo de estudio de carácter aplicado, con niveles de investigación exploratorio y descriptivo, que nos permita profundizar sustancialmente en el desarrollo del trabajo al disponer de conocimientos previos y con la posibilidad de consultar a profesionales con probada experiencia.

**Aplicado.-** Debido a que la investigación consiste en desarrollar un modelo innovador de diseño para la generación hidroeléctrica, en donde se necesita adquirir nuevos conocimientos teóricos y prácticos para que el proyecto se lleve a cabo.

**Exploratorio.-** Ya que no se ha tomado como base un modelo anterior que sirva de referencia para el planteamiento de cálculos, se ha utilizado formulaciones geométricas para el diseño mecánico y con la ayuda de conocimientos teóricos sobre generación eléctrica e hidráulica para realizar la construcción del prototipo.

**Descriptivo.-** A través de la investigación se recolecta información para el respectivo análisis minucioso de los resultados provenientes de la aplicación de un nuevo modelo implementado en la generación de energía, con el fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al desarrollo de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

#### **1.8.4 Método de Estudio**

**Sintético.-** Por medio de este método se podrá establecer una explicación al nuevo modelo que se propone y se ha planteado como hipótesis para generar eléctrica y este a su vez será sometido a la prueba.

**Analítico.-** A partir de la experimentación y el análisis de las teorías de diseño de Minicentrales Hidroeléctricas, con el objeto de que sean estudiadas y examinadas detalladamente para desarrollar un prototipo que genere energía eléctrica.

**Lógico inductivo.-** Este método permite la formación de hipótesis en el tema de Centrales Hidroeléctricas y las demostraciones que permitan crear nuevas formas de generación de energía eléctrica.

## CAPÍTULO II

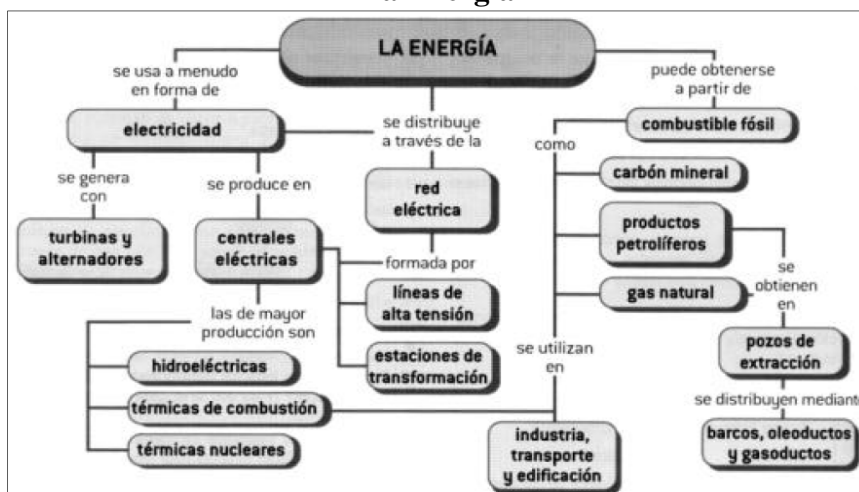
### MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1 Generación de energía eléctrica

Es una de las formas de manifestarse la energía, tiene como cualidades la docilidad en su control, la fácil y limpia transformación de energía en trabajo, y el rápido y eficaz transporte, esto permiten a la electricidad ser casi la energía perfecta.<sup>1</sup>

Su principio radica en transformar algún tipo de energía, ya sea esta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación a grandes cantidades se acude a instalaciones llamadas centrales eléctricas, que se encargan de realizar alguna de las transformaciones anteriormente citadas, constituyendo un avance al sistema de suministro eléctrico. La energía eléctrica se mide en unidades llamadas vatios (V), y para las cantidades grandes de energía en kilovatios (kW).

**Figura 2-1**  
**La Energía**



**Fuente:** [http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/e\\_electrica.pdf](http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/e_electrica.pdf)  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

<sup>1</sup>CRISTOBAL DE MONROY, Dpto. de Tecnología, Energía Eléctrica, Pág. 1.

A partir que Nikola Tesla descubrió la corriente alterna y la manera de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una grandiosa actividad tecnológica para transportar la energía eléctrica a todo el mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han edificado también redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta, así los países desarrollados son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado Tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

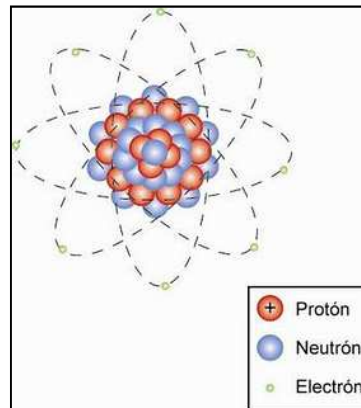
### **2.1.1 Electricidad**

A partir del modelo atómico se explican los fundamentos físicos de la electricidad. La materia está compuesta por un conjunto de partículas elementales: electrones, protones y neutrones. Cuando un átomo tiene el mismo número de protones (cargas positivas) que de electrones (cargas negativas) es eléctricamente neutro. Es decir, la electricidad no se manifiesta, ya que las cargas de diferente signo se neutralizan. Los electrones de las capas más alejadas del núcleo, sobre todo de los átomos metálicos, tienen cierta facilidad para desprenderse.

Cuando un átomo pierde electrones queda cargado positivamente y si, por el contrario, captura electrones, entonces queda cargado negativamente. Este es el principio por el que algunos cuerpos adquieren carga negativa (hay más electrones que protones) o adquieren carga positiva (hay más protones que electrones). Un cuerpo con carga negativa tiene predisposición a ceder electrones y un cuerpo con carga positiva tiene tendencia a capturarlos.



**Figura 2-2**  
**Modelo Atómico**



**Fuente:** <http://www.google.com.ec/imgres?q=modelo+atomico&um>  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Por lo tanto, cuando se comunican dos cuerpos con cargas eléctricas distintas, mediante un material conductor de la electricidad, fluye una corriente eléctrica que no es otra cosa que la circulación de electrones. Por lo tanto, la corriente eléctrica circula desde el cuerpo cargado negativamente hacia el cuerpo positivo.

### **2.1.2 Producción de Electricidad**

Para que se origine una corriente eléctrica es necesario que exista una diferencia de potencial o tensión eléctrica entre dos puntos. Dicha diferencia se puede conseguir por distintos procedimientos:

Por Transformación Química.- Al sumergir dos metales diferentes, o un metal y carbón, en una solución apropiada, se origina una diferencia de potencial entre los dos metales. Las pilas se basan en este hecho.

Por Inducción.- Si se desplaza un conductor eléctrico en el interior de un campo magnético, aparece una diferencia de potencial en los extremos del mismo. Los generadores industriales de electricidad están basados en esta propiedad electromagnética.

Por Calentamiento.- Cuando se calienta una soldadura de dos metales distintos, aparece una tensión eléctrica. Esta tensión es muy pequeña, por lo que suele tener aplicaciones para la medida de temperaturas.

Por Acción de la Luz.- Al incidir los fotones de la luz sobre ciertos materiales aparece un flujo de corriente de cierta importancia. Las células fotovoltaicas aprovechan esta energía.

Por fricción.- Al frotar dos objetos entre sí puede producirse una diferencia de potencial entre ellos. Por ejemplo, la electricidad estática que suele acumular un coche está ligada al rozamiento del aire con la carrocería y al propio rozamiento de las ruedas. Igualmente, al frotar una varilla de vidrio o plástico con un trozo de lana aparece una acumulación de cargas de diferente signo en ambos objetos.

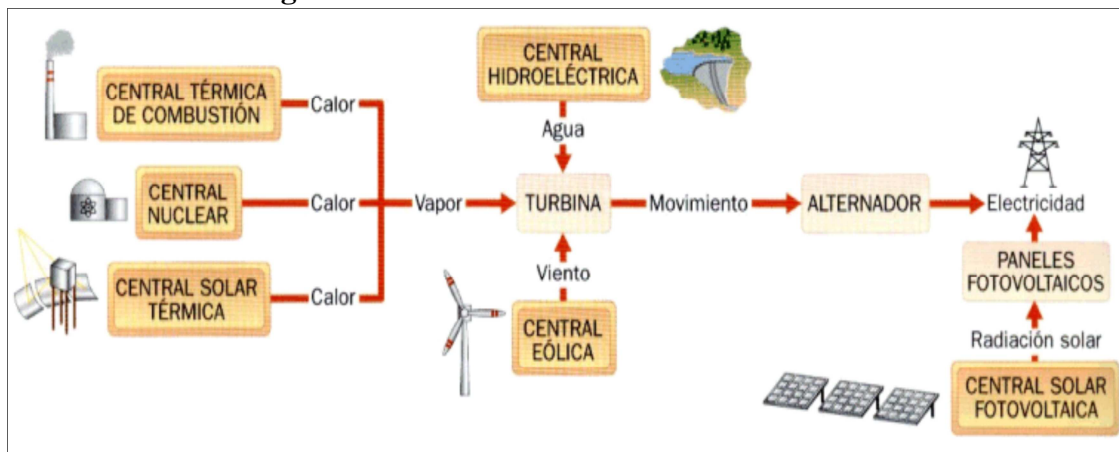
Por Presión.- Algunos materiales tienen la propiedad de que, al serles aplicadas fuerzas de compresión o de tracción, aparecen tensiones eléctricas en sus superficies. Este fenómeno piezoeléctrico es característico de algunos cristales, principalmente cuarzo, y tiene diferentes aplicaciones para la producción de pequeñas corrientes: micrófono, reloj de cuarzo o mechero.

## **2.2 Centrales Eléctricas**

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicas. La mayor parte de la energía eléctrica generada en todo el mundo proviene de los dos primeros tipos de centrales eléctricas. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada. De todos estos procedimientos para

la producción de electricidad, el más conveniente para transformar una energía mecánica en corriente eléctrica es el basado en el principio de inducción.

**Figura 2-3**  
**Diagrama General de Producción de Electricidad**



**Fuente:** <http://www.byrdnet.info/cachoeira/aems/definicion/definicion.html>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

La energía cinética del agua que cae por la tubería de una central, el movimiento de las aspas de un aerogenerador o la presión que ejerce el vapor de una central térmica son fácilmente transformables en electricidad. Para ello, sólo es necesario intercalar un generador de electricidad, el cual, en esencia, no es más que un conjunto de conductores que se mueven en el interior de un campo magnético.

El funcionamiento global de una central eléctrica es básicamente el mismo, sea ésta térmica, nuclear o hidroeléctrica. Simplemente, consiste en transformar la energía cinética del vapor o del agua en energía mecánica de rotación. De ello se encarga la turbina, que, al estar solidariamente unida al generador de electricidad, permite transformar movimiento en electricidad.<sup>2</sup> El condensador es un elemento que hace posible que el vapor de agua, a la salida de la turbina, se convierta en agua líquida, para volver a repetir el proceso de calentamiento en la caldera.

<sup>2</sup>CRISTÓBAL DE MONROY, Dpto. de Tecnología, Energía Eléctrica, Pág. 3.

Finalmente, el transporte de la electricidad interesa hacerlo a muy altas tensiones para reducir las pérdidas, por lo que debe elevarse la tensión de salida del generador varias decenas de veces. El transformador es el encargado de hacer esta última función.

### 2.2.1 Mini-Centrales Hidroeléctricas

Una mini-central o pequeña central hidroeléctrica es el conjunto de instalaciones y otras infraestructuras realizadas con el objetivo de transformar la energía potencial de un curso de agua en energía eléctrica útil, cuyo destino es, bien su autoconsumo en el mismo lugar de producción, o bien, su venta a la red eléctrica comercial con el fin de obtener una ganancia económica. Estas instalaciones de producción de energía eléctrica se localizan dentro del ecosistema fluvial, ecosistema de gran valor natural, bien adaptado a las variaciones de caudal estacionales, tanto a las crecidas invernales y primaverales como a los estiajes del verano, y que se ve alterado por los efectos de regulación de caudales.

La clasificación de los sistemas mini-hidráulicos es una convención útil para expresar distintas particularidades de funcionamiento y se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2-1**  
**Clasificación de Sistemas Mini-Hidráulicos**

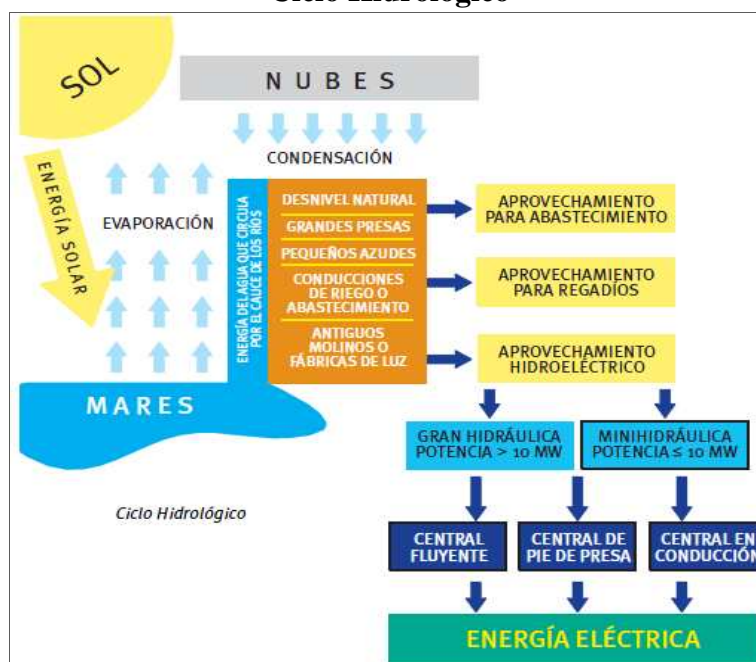
<b>Pico</b>	centrales	$P < 5\text{kW}$
<b>Micro</b>	centrales	$P < 100\text{kW}$
<b>Mini</b>	centrales	$P < 1000\text{ kW}$
<b>Pequeñas</b>	centrales	$P < 10000\text{ kW}$

**Fuente:** [www.ceu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/4%20minihidraulica.htm](http://www.ceu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/4%20minihidraulica.htm)  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

La superficie terrestre está cubierta en un 71% de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol, calientan la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire

caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares.

**Figura 2-4**  
**Ciclo Hidrológico**



**Fuente:** [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10374\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_06\\_d3d056dd.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Minicentrales_hidroelectricas_06_d3d056dd.pdf)

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Las centrales y mini-centrales hidroeléctricas transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, ésta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica.

### 2.3 Tipos de Mini-Centrales Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las mini-centrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo

hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.<sup>3</sup>

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se realiza la siguiente clasificación general:

Centrales de agua fluyente. Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado, se devuelve al río.

Centrales de pie de presa. Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.

Centrales en canal de riego o de abastecimiento. Se encuentran ubicadas en Conducciones de agua construidas para otros usos, como el riego o el abastecimiento a poblaciones.

### **2.3.1 Central de Agua Fluyente**

Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río.

Dependiendo del emplazamiento donde se sitúe la central será necesaria la construcción de todos o sólo algunos de los siguientes elementos:

-Azud.

- Toma.

---

<sup>3</sup>ADRIANA CASTRO, Mini-Centrales Hidroeléctricas, Pág. 27, manual 2006, España.

- Canal de derivación.
- Cámara de carga.
- Tubería forzada.
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico.
- Canal de descarga.
- Subestación y línea eléctrica.

**Figura 2-5**  
**Elementos de la Construcción de una Central**



**Fuente:** <http://www.ecovive.com/centrales-segun-la-afluencia-del-caudal>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Dentro de este grupo hay diversas formas de realizar el proceso de generación de energía. La característica común a todas las centrales de agua fluyente es que dependen directamente de la hidrología, ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y éste es muy variable. Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende directamente del caudal que pasa por el río.

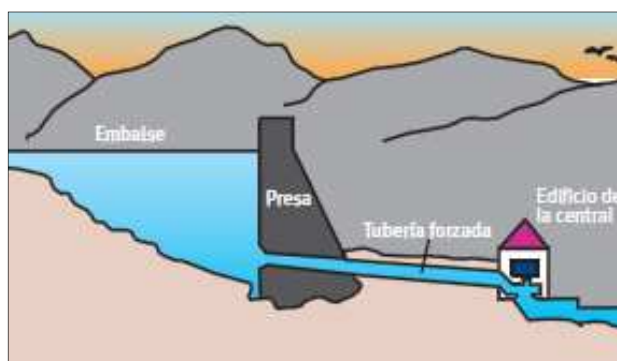
### 2.3.2 Central de Pie de Presa

Se sitúan aguas debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros fines (riego, por ejemplo), a los que la central no afecta, ya que no consume volumen de agua.

Estas centrales tienen la ventaja de almacenar el agua y poder emplearla en los momentos en que más se necesiten.<sup>4</sup>

La característica principal de este tipo de instalaciones es que cuentan con la capacidad de regulación de los caudales de salida del agua, que será turbinada en los momentos que se precise. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas punta de consumo.

**Figura 2-6**  
**Central Hidroeléctrica de Pie de Presa**



**Fuente:** [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10374\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_06\\_d3d056dd.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Minicentrales_hidroelectricas_06_d3d056dd.pdf), pág. 29.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Las obras e instalaciones necesarias para construir una mini-central al pie de una presa que ya existe son:

- Adaptación o construcción de las conducciones de la presa.
- Toma de agua con compuerta y reja.
- Tubería forzada hasta la central.
- Edificio central y equipamiento electromecánico.
- Subestación y línea eléctrica.

---

<sup>4</sup>PEPA MOSQUERA MARTINEZ; LUIS MERINO RUESGA, Empresa y energías renovables, Pág. 219, primera edición).



La toma de agua de la central se encuentra en la denominada zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se sitúa la denominada zona muerta, que simplemente almacena agua no útil para turbinar. Según la capacidad de agua que tenga la zona útil la regulación puede ser horaria, diaria o semanal. En las mini-centrales hidroeléctricas el volumen de almacenado suele ser pequeño, permitiendo por ejemplo producir energía eléctrica un número de horas durante el día, y llenándose el embalse durante la noche.

### **2.3.3 Central en Canal de Riego o Abastecimiento**

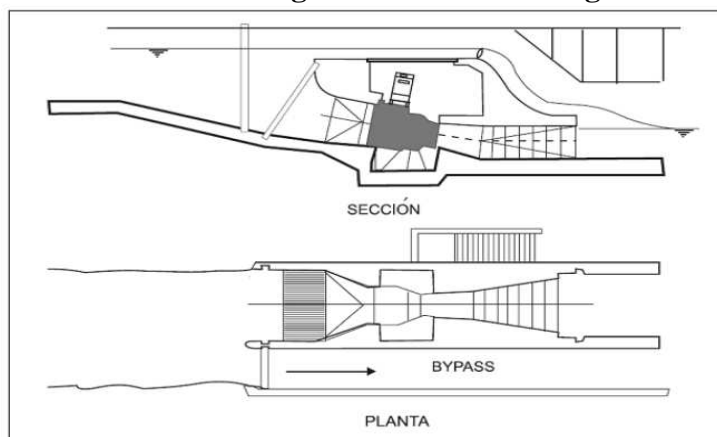
Se distinguen dos tipos de centrales dentro de este grupo:

- Las que utilizan el desnivel existente en el propio canal, mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se conduce el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal.
- Las que aprovechan el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano, en este caso se instala cercana al río y se turbinan las aguas excedentes en el canal.

Las obras que hay que realizar en estos tipos de centrales son las siguientes:

- Toma en el canal, con un aliviadero que habitualmente es en forma de pico de pato para aumentar así la longitud del aliviadero.
- Tubería forzada.
- Edificio de la central con el equipamiento electromecánico.
- Obra de incorporación al canal o al río, dependiendo del tipo de aprovechamiento.
- Subestación y línea eléctrica.

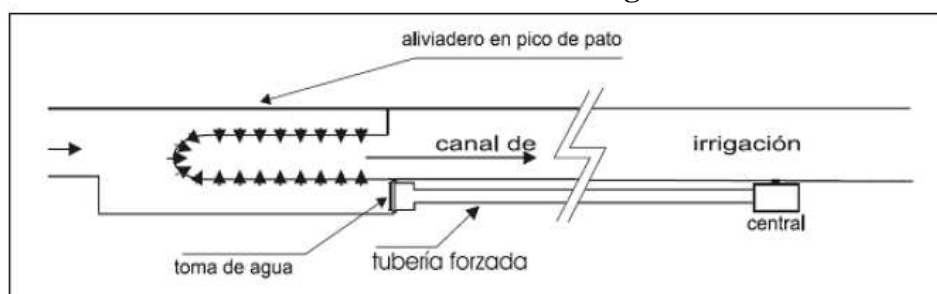
**Figura 2-7**  
**Centrales Integradas en Redes de Agua**



**Fuente:** [www.esha.be/fileadmin/esha\\_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE\\_SHP/GUIDE\\_SHP\\_ES\\_01.pdf](http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_ES_01.pdf), pág. 7.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Figura 2-8**  
**Centrales en Canales de Irrigación**



**Fuente:** [www.esha.be/fileadmin/esha\\_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE\\_SHP/GUIDE\\_SHP\\_ES\\_01.pdf](http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_ES_01.pdf), pág. 8.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

## 2.4 Elementos que componen una Micro-Central Hidroeléctrica

La Pico-Central hidroeléctrica a implementar va a ser de tipo de Agua Fluyente, ya que vamos a utilizar parte del flujo de un río para generar energía eléctrica, el agua desviada se conduce hasta la cámara de carga, de donde sale la tubería forzada por la que pasa el agua para ser turbinada en el punto más bajo de la central y producir energía eléctrica, posteriormente retornada al cauce del río mediante el canal de salida.

Por lo general las Pico-Centrales se encuentran formadas por componentes hidráulicos tales como: sistema de captación de agua, tomas de agua, sistema de canalización y de restitución; a además de componentes electromecánicos como son: turbina, generador eléctrico, circuitos eléctricos, sistemas de mando, etc.

Entre estos elementos vamos hablar de los siguientes:

- 1.- Toma de Agua
- 2.- Canal de Derivación
- 3.- Cámara de Carga
- 4.- Tubería Forzada
- 5.- Edificio de la Central
- 6.- Canal de Salida

**Figura 2-9**  
**Central Hidroeléctrica de Tipo Fluyente**



**Fuente:** [www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10374\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_06\\_d3d056dd.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Minicentrales_hidroelectricas_06_d3d056dd.pdf), pág. 28.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

#### **2.4.1 Toma de Agua**

Consiste en la estructura que se realiza para desviar parte del agua del cauce del río y facilitar su entrada desde el azud o la presa, su diseño debe estar calculado para que las pérdidas de carga producidas sean mínimas. La toma normalmente dispone de una

rejilla que evita la entrada de elementos sólidos al canal y una compuerta de seguridad que se denomina ataguía. En funcionamiento normal esta compuerta permanece abierta, cerrándose únicamente en caso de emergencia o cuando se va a realizar una inspección o reparación.<sup>5</sup>

Existe otro tipo de toma que es la sumergida, se realiza un canal excavado transversalmente en el cauce del río, de manera que el agua entra a través de la reja superior que protege esta entrada, y sale transversalmente al curso del río para incorporarse al canal de derivación. La toma de agua sumergida suele utilizarse en centrales de montaña por la sencillez de su construcción, además de que provoca un impacto mínimo sobre el medio ambiente.

#### **2.4.2 Canal de Derivación**

Es la conducción que transporta el agua que se deriva hacia la mini-central desde la toma hasta la cámara de carga. A lo largo del canal dependiendo de su longitud, puede haber varias compuertas para limpieza y vaciado del canal en caso necesario. Generalmente la conducción del agua se da a través de una ligera pendiente en el canal, y se puede dar a través de canales abiertos, canales enterrados o canales a presión que sería el caso de tuberías.

#### **2.4.3 Cámara de Carga**

La cámara de carga es un depósito localizado al final del canal del cual arranca la tubería forzada, en algunos casos se utiliza como depósito final de regulación, aunque normalmente tiene solo capacidad para suministrar el volumen necesario para el arranque de la turbina sin intermitencias.

---

<sup>5</sup>ADRIANA CASTRO, Mini-Centrales Hidroeléctricas, Pág. 41, manual 2006, España.

Cuando la conducción entre la toma de agua y la cámara de carga se realiza en presión, ésta última será cerrada y tendrá además una chimenea de equilibrio, para amortiguar las variaciones de presión y protegerla de los golpes de ariete.

Esta cámara es necesaria para evitar la entrada de aire en la tubería forzada, que provocaría sobrepresiones. También es muy útil la instalación en la cámara de una reja con limpia-rejas y compuertas de desarenación y limpieza.

#### **2.4.4 Tubería Forzada**

Es la tubería que se encarga de llevar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina, debe estar preparada para soportar la presión que produce la columna de agua, además de la sobrepresión que provoca el golpe de ariete en caso de parada brusca de la mini-central. Al inicio de la tubería se instala un órgano de cierre que permite evitar el paso de agua y vaciar la tubería poco a poco. Los materiales más utilizados para la construcción de este tipo de tuberías son el acero, la fundición, el fibrocemento y el plástico reforzado con fibra de vidrio, en función del desnivel existente.

Dependiendo de la orografía del terreno y de los factores medioambientales, la colocación de la tubería forzada será enterrada o aérea. En este último caso, será necesario sujetar la tubería mediante apoyos, además de los anclajes necesarios en cada cambio de dirección de ésta y la instalación de juntas de dilatación que compensen los esfuerzos originados por los cambios de temperatura.

#### **2.4.5 Edificio de la Central**

Es el emplazamiento donde se sitúa el equipamiento de la mini-central: turbinas, bancadas, generadores, alternadores, cuadros eléctricos, cuadros de control, etc. La ubicación del edificio debe analizarse muy atentamente, considerando los estudios topográficos, geológicos y geotécnicos, y la accesibilidad al mismo.

Independientemente del lugar donde se ubique, el edificio contará con las conducciones necesarias para que el agua llegue hasta la turbina con las menores pérdidas de carga posibles.

El proyecto final del edificio va a depender del tipo de maquinaria que vaya a ser utilizado, que a su vez depende del caudal de equipamiento y del salto del aprovechamiento. Es muy importante que en el diseño de la mini-central los costes económicos se minimicen al máximo, así como el impacto visual.

#### **2.4.6 Canal de Salida**

Es el último elemento de la pico-central hidroeléctrica, el cual cumple la función de retornar el agua al río y así mantener un ecosistema más limpio. De esta manera se cumple las etapas para la generación de energía eléctrica en este tipo de centrales.

### **2.5 Dinámica de Fluidos**

Los fluidos son agregaciones de moléculas, muy separadas en los gases y próximas en los líquidos, siendo la distancia entre las moléculas mucho mayor que el diámetro molecular, no estando fijas en una red, sino que se mueven libremente. Un fluido se denomina medio continuo, cuando la variación de sus propiedades es tan suave que se puede utilizar el cálculo diferencial para analizarlo.<sup>6</sup>

El estudio de la hidrostática e hidrodinámica tiene vital importancia para la humanidad, ya que sin ellas, ciencias como hidráulica no existirían, y es esta ciencia precisamente la que se encarga del estudio y distribución de agua potable.

---

<sup>6</sup>PEDRO FERNÁNDEZ DÍEZ, Mecánica de Fluidos, Departamento de ingeniería eléctrica y energética de la Universidad de Cantabria, Pág. 1.

Los principios más útiles en las aplicaciones de la mecánica de fluidos son el balance de materia, o ecuación de continuidad, las ecuaciones del balance de movimiento y el balance de energía mecánica. Pueden escribirse de forma diferencial, mostrando las condiciones en un punto del interior de un elemento de volumen, o bien de forma integrada, aplicable a un volumen o masa finitos de fluido.

### 2.5.1 Fundamentos Hidrostáticos

La hidrostática se refiere al estudio de los fluidos en reposo. Los fluidos son sustancias, idealmente un continuo de masa, donde su forma puede cambiar fácilmente por escurrimiento debido a la acción de fuerzas pequeñas. Son fluidos tanto los líquidos como los gases. Si se analizan las fuerzas que pueden actuar sobre una porción de fluido, ellas son de dos tipos:

- Causada por agentes exteriores, típicamente el peso de él.
- Causadas por el fluido que está en su exterior mediante contacto.

### Densidad

Se define como la distribución de la masa de un cuerpo en un determinado. En un fluido, es importante la densidad o masa específica ella permite calcular el peso del elemento de volumen que se considere, que es una posible fuerza exterior actuando sobre cada elemento de fluido. Su fórmula matemática es:

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{2.1}$$

## Fuerza

Es una acción que permite modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo. Es una magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas (la física de partículas se habla de interacción).

$$F = m \cdot g \quad (2.2)$$

Ahora bien si se despeja la masa de la formula de la densidad y se reemplaza en la formula de la fuerza, se encuentra una nueva fórmula para calcular la fuerza, esta quedaría de la siguiente manera:

$$F = \rho \cdot V \cdot g \quad (2.3)$$

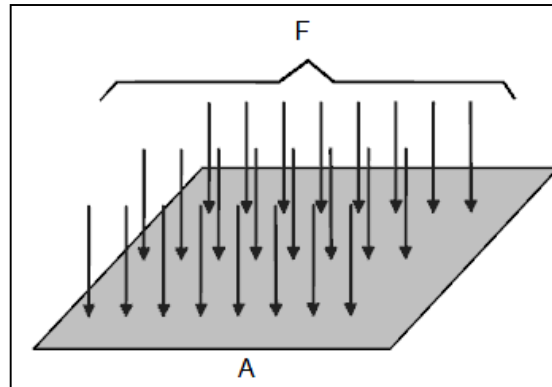
## Presión

La presión se define como la distribución de una fuerza en una superficie o área determinada. Si una superficie se coloca en contacto con un fluido en equilibrio (en reposo) el fluido, gas o líquido, ejerce fuerzas normales sobre la superficie.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$



**Figura 2-10**  
**Fuerza Distribuida Uniforme**



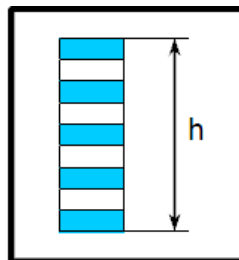
**Fuente:** Hidrostática, Capítulo 5, pág. 127.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### Presión Hidrostática

Una columna de líquido, ejerce por su propio peso, una presión sobre la superficie en que actúa. La presión por lo tanto, estará en función de la altura de la columna ( $h$ ), de la densidad y de la gravedad.<sup>7</sup>

**Figura 2-11**  
**Presión Hidrostática**



**Fuente:** Manual de Hidráulica y Neumática, [www.inacap.cl](http://www.inacap.cl)

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

$$P = h \cdot \rho \cdot g$$

(2.5)

<sup>7</sup>INACAP, Manual de hidráulica y neumática, Pág. 13, 2002.

## Peso Específico

El peso específico de un fluido, corresponde al peso por unidad de volumen. El peso específico está en función de la temperatura y de la presión.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{y} \quad \gamma = \rho * g \quad (2.6 \text{ y } 2.7)$$

$\gamma$  = Peso específico

W = Peso ( $p=m*g$ )

V = Volumen del fluido

$\rho$  = Densidad

### 2.5.2 Fundamentos Hidrodinámicos

Esta rama de la mecánica de fluidos se ocupa de las leyes de los fluidos en movimiento; estas leyes son enormemente complejas, y aunque la hidrodinámica tiene una importancia práctica mayor que la hidrostática, solo se puede tratar algunos conceptos básicos.

Euler fue el primero en reconocer que las leyes dinámicas para los fluidos solo pueden expresarse de forma relativamente sencilla si se supone que el fluido es incomprensible e ideal, es decir, si se pueden despreciar los efectos del rozamiento y la viscosidad. Sin embargo, como esto nunca es así en el caso de los fluidos reales en movimiento, los resultados de dicho análisis solo pueden servir como estimación para flujos en los que los efectos de la viscosidad son pequeños.

## Caudal

El caudal o gasto es una de las magnitudes principales en el estudio de la hidrodinámica, que se define como el volumen del líquido  $\Delta V$  que fluye por unidad de tiempo  $\Delta t$ .

Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en el tiempo. Esta fórmula nos permite saber la cantidad de líquido que pasa por un conducto en cierto intervalo de tiempo o determinar el tiempo que tardará en pasar cierta cantidad de líquido. Su expresión matemática es la siguiente:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad (2.8)$$

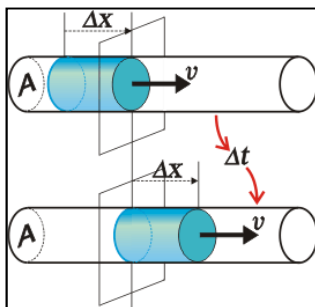
Q= Caudal o Gasto ( $m^3/\text{seg}$ , etc.....)

V = Volumen ( $m^3, \text{cm}^3, \text{pie}^3, \dots$ )

t = Tiempo (seg,min,ht,.....)

Si bien se dice que el caudal es el volumen que circula dividido el tiempo que pasa, se puede deducir otra fórmula a partir de la primera guiándonos en el gráfico. El líquido al moverse dentro del tubo recorre una cierta distancia d. Entonces el volumen que circula dentro del tubo se lo puede representar como la superficie del tubo por la distancia.

**Figura 2-12**  
**Caudal**



**Fuente:** [http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/No\\_me\\_salen/FLUIDOS/FT\\_caudal.html](http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/No_me_salen/FLUIDOS/FT_caudal.html)  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Reemplazando ( $V = A * d$ ); (2.9)

$$Q = \frac{A * d}{\Delta t}$$

En donde ( $d/t=v$ ); (2.10)

Por tanto la ecuación para calcular el Caudal, es la siguiente:

$$Q = A * v \quad (2.11)$$

Q = Caudal

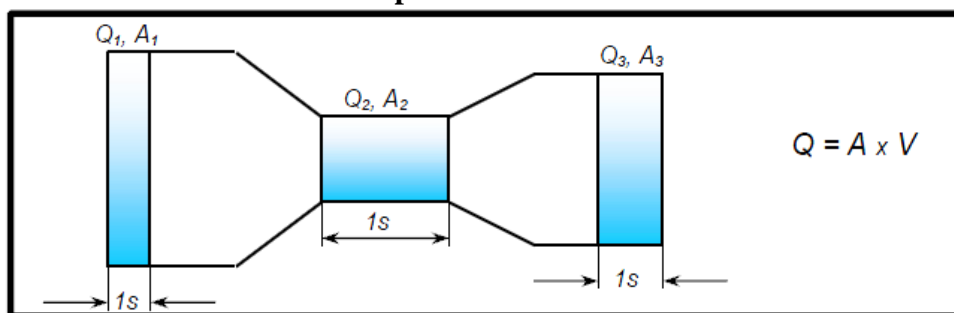
A = Superficie o área del tubo

v = Velocidad del líquido

### Ecuación de Continuidad

La ley de continuidad está referida a líquidos, que como ya se sabe, son incompresibles, y por lo tanto poseen una densidad constante, esto implica que si por un conducto que posee variadas secciones, circula en forma continua un líquido, por cada tramo de conducción o por cada sección pasarán los mismos volúmenes por unidad de tiempo, es decir el caudal se mantendrá constante.<sup>8</sup>

**Figura 2-13**  
**Principio de Continuidad**



**Fuente:** Manual de Hidráulica y Neumática, [www.inacap.cl](http://www.inacap.cl)

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Donde;

$v_e$  = velocidad de entrada (m / s)

$v_s$  = velocidad de salida (m/s)

<sup>8</sup>INACAP, Manual de hidráulica y neumática, Pág. 22, 2002.

$A_e = \text{área de entrada}(m^2)$

$A_s = \text{área de salida}(m^2)$

$Q_{entra} = Q_{sale}$

$v_e * A_e = v_s * A_s$

Esto representa la expresión matemática de la Ley o principio de continuidad: las velocidades y las secciones o áreas son inversamente proporcionales entre sí.

### **Ecuación de Bernoulli**

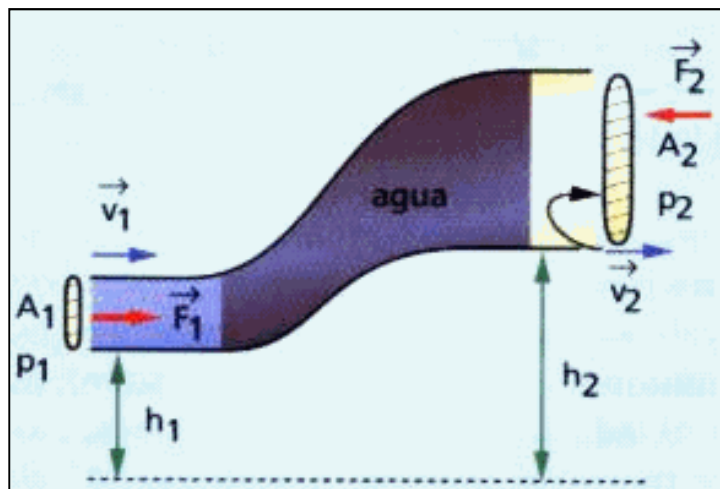
El teorema de Bernoulli es una consecuencia de la conservación de la energía en los líquidos en movimiento. Establece que un líquido incomprensible y no viscoso, la suma de la presión hidrostática, la energía cinética por unidad de volumen y la energía potencial gravitatoria por unidad de volumen, es constante a lo largo de todo el circuito.

Es decir, que dicha magnitud toma el mismo valor en cualquier par de puntos del circuito. Su expresión matemática es:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.12)$$

Donde P es la presión hidrostática,  $\rho$  la densidad, g la aceleración de la gravedad, h la altura del punto y V la velocidad del fluido en ese punto.

**Figura 2-14**  
**Teorema de Bernoulli**



**Fuente:** [http://cesarcbtis121.blogspot.com/2008\\_06\\_01\\_archive.html](http://cesarcbtis121.blogspot.com/2008_06_01_archive.html)  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

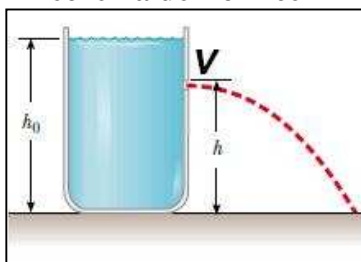
### Teorema de Torricelli

Es una aplicación de Bernoulli y estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio, bajo la acción de la gravedad. Apartir del teorema de Torricelli se puede calcular el caudal de salida de un líquido por un orificio.

“La velocidad de un líquido en una vasija abierta, por un orificio, es la que tendría un cuerpo cualquiera, cayendo libremente en el vacío desde el nivel del líquido hasta el centro de la gravedad del orificio”.

$$v_s = \sqrt{2 g h} \quad (2.13)$$

**Figura 2-15**  
**Teorema de Torricelli**



**Fuente:** <http://fisicaidued.blogspot.com/2010/12/teorema-de-torricelli-vaciado-de-un.html>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 2.5.3 Turbinas Hidráulicas

La turbina hidráulica es el elemento clave de la mini-central, esta aprovecha la energía cinética y potencial que contiene el agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica. En una máquina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; éste mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua.<sup>9</sup>

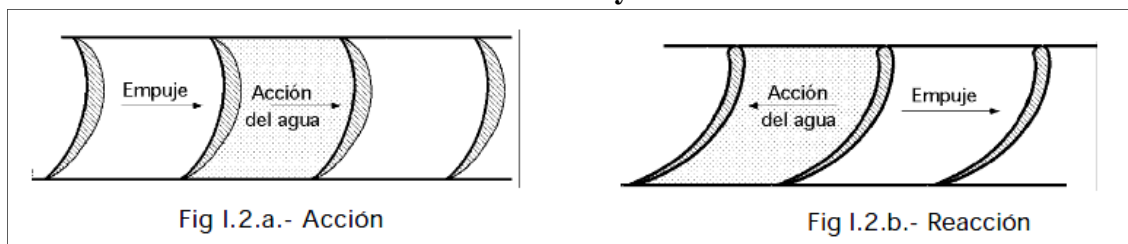
El elemento básico de la turbina es el rodete o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento, produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico.

Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción.

---

<sup>9</sup>PEDRO FERNÁNDEZ DÍEZ, Turbinas Hidráulicas, Departamento de ingeniería eléctrica y energética de la Universidad de Cantabria, Pág. 1.

**Figura 2-16**  
**Turbinas de Acción y de Reacción**



**Fuente:** Pedro Fernández Díez, Turbinas Hidráulicas, Pág. 4.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 2.5.3.1 Turbina de Acción

Son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar, el sentido de la proyección del chorro de agua y el sentido de giro del rodete coinciden, en el punto de empuje o choque del agua sobre los álabes del mismo. En el rodete, la velocidad de salida del agua es prácticamente igual a la de entrada, por lo que, al no ser apreciables las pérdidas de carga, la potencia transmitida a éste es función exclusivamente de la energía potencial o, lo que es lo mismo, del salto existente. Por consiguiente, se deduce que la energía cinética, originada por el desplazamiento del agua, es cedida íntegramente al rodete.

El tipo más utilizado es la denominada turbina Pelton, aunque existen otros como la Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o de flujo cruzado, también conocida por turbina Ossberger o Banki-Michell.

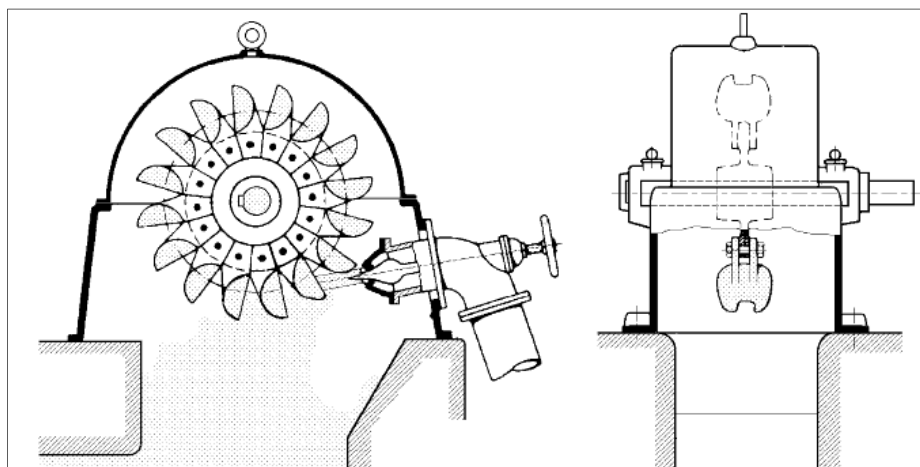
### 2.5.3.2 Turbina Pelton

Esta turbina se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Está formada por un rodete (disco circular) móvil con álabes (cazoletas) de doble cuenco, el chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los álabes y provocando el movimiento de giro de la turbina. La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. En las paradas de



emergencia se emplea un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento de los inyectores, sin golpes de presión en la tubería forzada.

**Figura 2-17**  
**Turbina Pelton**



**Fuente:** Pedro Fernández Díez, Turbinas Hidráulicas, Pág. 6.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

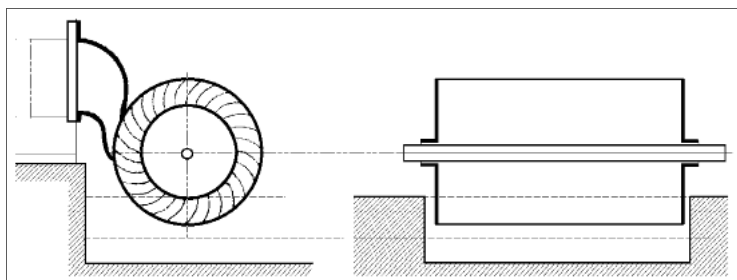
Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto (superior al 90% en condiciones de diseño: presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal). Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su funcionamiento.

### 2.5.3.3 Turbina Banki-Michell

Está constituida por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica, con sus múltiples palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales. El primer impulso se produce cuando el caudal entra en la turbina orientado por el álabe del inyector hacia las palas del rodete. Cuando este caudal ya ha

atravesado el interior del rodete proporciona el segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración.<sup>10</sup>

**Figura 2-18**  
**Turbina Michell**



**Fuente:** Pedro Fernández Díez, Turbinas Hidráulicas, Pág. 6.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Este tipo de turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio, ya que se pueden instalar en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros con un rango de variación de caudales muy grande.

#### 2.5.3.4 Turbina de Reacción

Este tipo de turbinas cuentan con un diseño de rotor que permite aprovechar la presión que aún le queda al agua a su entrada para convertirla en energía cinética. El agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los álabes del rodete, de forma que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión.<sup>11</sup>

<sup>10</sup>ADRIANA CASTRO, Mini-Centrales Hidroeléctricas, Pág. 49, manual 2006, España.

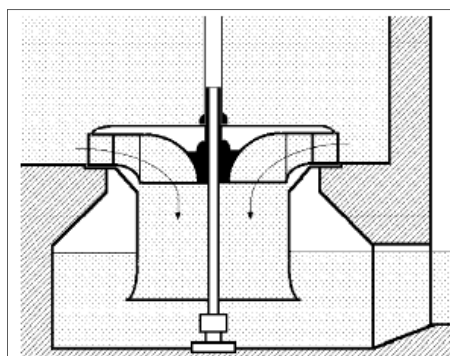
<sup>11</sup>PEDRO FERNÁNDEZ DÍEZ, Turbinas Hidráulicas, Departamento de ingeniería eléctrica y energética de la Universidad de Cantabria, Pág. 3.

En las turbinas de reacción, cada una de las láminas de fluido que se forman, después de pasar el agua a través de las palas fijas y directrices, no se proyectan hacia los álabes del rodete de manera frontal, sino que más bien, se trata de un deslizamiento sobre los mismos, de tal modo que el sentido de giro del rodete no coincide con la dirección de entrada y salida del agua.

### 2.5.3.5 Turbina Francis

Esta turbina se adapta muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido de agua en dirección radial, y a medida que ésta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial. El rendimiento de las turbinas Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre 60% y el 125% del nominal.

**Figura 2-19**  
**Turbina Francis**



**Fuente:** Pedro Fernández Díez, Turbinas Hidráulicas, Pág. 5.  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

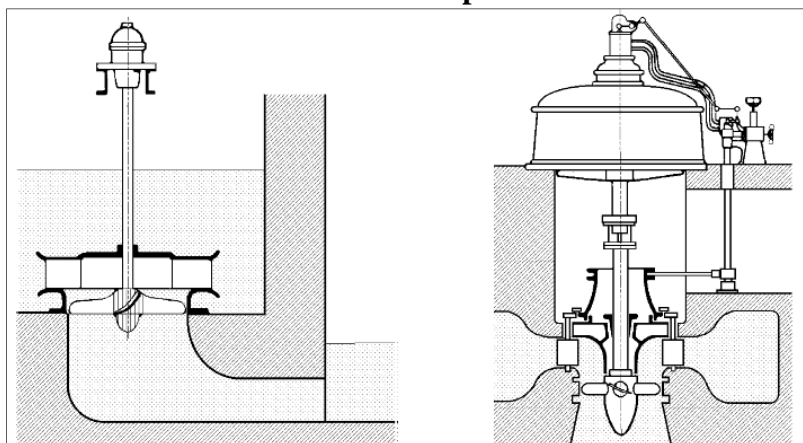
Como es una turbina de reacción, el fluido cambia de presión a medida que se desplaza a través de la turbina, perdiendo su energía. Se necesita una carcasa para contener el caudal de agua, la admisión tiene forma de espiral. Los álabes directores dirigen el agua tangencialmente hacia el rodete. Este flujo radial actúa sobre los álabes del rodete, causando que este gire.

### 2.5.3.6 Turbina Kaplan

Son turbinas de reacción de flujo axial, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice de un barco, se utilizan en saltos de pequeña altura. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta.

Los álabes del rodete en las turbinas Kaplan son siempre regulables y tienen forma de una hélice, mientras que los álabes de los distribuidores pueden ser fijos o regulables. Si ambos son regulables, se dice que la turbina es una turbina Kaplan verdadera; si solo son regulables los álabes del rodete, se dice que la turbina es una turbina Semi-Kaplan. Las turbinas Kaplan son de admisión radial mientras que las semi-Kaplan pueden ser de admisión radial o axial.

**Figura 2-20**  
**Turbina Kaplan**



**Fuente:** Pedro Fernández Díez, Turbinas Hidráulicas, Pág. 5.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se emplean en saltos de pequeña altura (alrededor de 50 m. y menores), con caudales medios y grandes (aproximadamente de 15 m<sup>3</sup>/s en adelante). Debido a su singular diseño, permiten desarrollar elevadas velocidades específicas, obteniéndose buenos rendimientos, incluso dentro de extensos límites de variación de caudal.

## 2.6 Generador Eléctrico

Es la máquina que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica, basa su funcionamiento en la inducción electromagnética que es el principio de la ley de Faraday, mediante la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él.

Al principio electromagnético del generador se le llama ACCIÓN DEL GENERADOR y se la conoce también como INDUCCIÓN. El voltaje se puede inducir en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético, esto sucede cuando el flujo magnético se corta por el conductor. En algunos casos, se mueve el alambre; en otros, se mueve el campo, y aún en otros, ambos se mueven pero a distintas velocidades.<sup>12</sup>

El generador o alternador, está compuesto de dos partes fundamentales:

- Rotor o inductor móvil. Su función es generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.
- Estator o inducido fijo. Sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

Los generadores se pueden dividir en dos grupos, de corriente directa y de corriente alterna. En aplicaciones de micro-hidroeléctricas no son muy utilizados los de corriente directa, salvo en aplicaciones especiales de pequeñas dimensiones, la principal limitación está en la poca disponibilidad de aparatos electrodomésticos de corriente directa. Los generadores de corriente alterna son normalmente utilizados, ya sea del tipo monofásico con una tensión nominal de servicio de 220 V o trifásicos con una tensión de servicio nominal de 380 V.

---

<sup>12</sup>ENRIQUEZHARPER, El libro practico de los generadores, transformadores y motores eléctricos, Pág. 1, primera edición 2004, México.

### 2.6.1 Generador Síncrono

En este tipo de generador la conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo, que viene dada por la expresión:

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2.14)$$

$N_s$  = velocidad de sincronismo expresada en rpm

$f$  = frecuencia en Hz (60 Hz en Ecuador)

$p$  = número de polos del generador

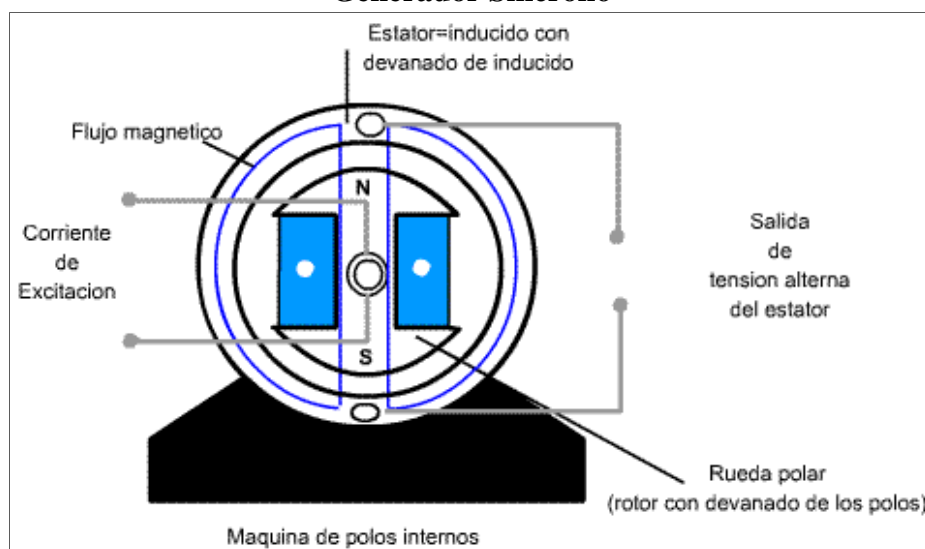
Las bobinas arrolladas crean el campo magnético en los polos del rotor. Para que esto ocurra, por estas bobinas debe circular una corriente eléctrica continua, para producir esta corriente continua pueden emplearse diferentes sistemas de excitación:

- Autoexcitación estática. La corriente proviene de la propia energía eléctrica generada, previamente transformada de alterna en continua.
- Excitación con diodos giratorios. Se crea una corriente alterna invertida, con polos en el estator y se rectifica por un sistema de diodos, situado en el eje común.
- Excitación auxiliar. La corriente necesaria se genera mediante una dinamo auxiliar regulada por un reóstato.

Se mantiene el conductor o espira en reposo, haciendo que sea el campo magnético el que experimente un movimiento giratorio relativo respecto al conductor, se produce igualmente una fuerza electromotriz inducida en el conductor. La ventaja que se obtiene está en que la corriente alterna se puede extraer de los bornes fijos y no de las escobillas sometidas continuamente a rozamiento. La corriente inducida se produce en este caso en

los devanados con núcleo de hierro, que están en reposo y se encuentran distribuidos en la parte interior del estator, de manera que la tensión y la corriente inducidas sea sinusoidales.

**Figura 2-21**  
**Generador Síncrono**



**Fuente:** <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema18/tema18-4.htm>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 2.6.2 Generador Asíncrono

Debido a la simplicidad, robustez y bajo costo de los clásicos motores eléctricos, éstos han venido utilizándose como generadores eléctricos sobre todo en centrales de pequeña potencia. Para ello es necesario que el par mecánico comunicado al rotor produzca una velocidad de giro superior a la de sincronismo. Este exceso de velocidad produce un campo giratorio excitador. Es importante que la diferencia entre las velocidades de funcionamiento y la de sincronismo sea pequeña, para reducir las pérdidas en el cobre del rotor.<sup>13</sup>

El generador toma la corriente de la red para la creación del campo magnético. También es necesaria la colocación de una batería de condensadores que compense la energía

<sup>13</sup>ADRIANA CASTRO, Mini-Centrales Hidroeléctricas, Pág. 55, manual 2006, España.

reactiva generada. El uso de este tipo de generadores no precisa regulador de velocidad en la turbina. Para arrancar el grupo se abre el distribuidor de la turbina hasta que se llega a una velocidad superior a la de sincronismo (aunque próxima a la misma) y en este momento se conecta a la red por medio de un interruptor automático.

Son muy adecuados para su empleo en sistemas de regulación de carga por absorción en los cuales el generador trabaja a carga máxima y el sistema de control realiza el balance de la energía que entrega a la demanda y la que envía a las resistencias disipadoras. Su empleo en micro-hidroeléctricas se ha expandido debido al menor precio final resultante de la instalación y a su sencillez.

## **2.7 Rodamientos**

El rodamiento es un elemento normalizado que consta de dos aros concéntricos con caminos de rodadura, en la mayoría de los casos esféricos, sobre los que se desplazan unos cuerpos rodantes, bolas o rodillos, cuya finalidad es el permitir la movilidad de la parte giratoria respecto de la fija.<sup>14</sup>

Los rodamientos son elementos mecánicos cuya función es reducir la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, además de servir de apoyo y facilitar su desplazamiento y por ende fáciles de utilizar. Esto hace que su gama de aplicaciones sea muy amplia.

---

<sup>14</sup><http://es.scribd.com/doc/39489607/58/RODAMIENTOS-DEFINICION>



**Figura 2-22**  
**Rodamientos**



**Fuente:**<http://mrelectromecanica.blogspot.com/2010/12/rodamientos-con-agujero-cilindrico.html>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Ventajas de los Rodamientos

- Rozamiento insignificante, sobre todo en el arranque.
- Gran capacidad de carga.
- Desgaste prácticamente nulo durante el funcionamiento.
- Facilidad de recambio, dado que son elementos normalizados.
- Precios discretos, dado que los lotes de fabricación son de cantidades importantes.

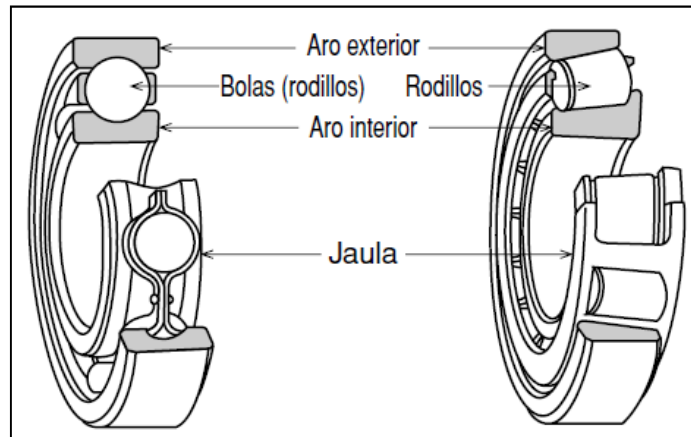
Estructura de los Rodamientos

Los rodamientos se componen de dos aros (aro interior y aro exterior), múltiples bolas o rodillos que ruedan entre ellos, y una jaula que separa las bolas o los rodillos.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup>[http://www.nachi.de/1/files/basic\\_sp\\_hp.pdf](http://www.nachi.de/1/files/basic_sp_hp.pdf), pág. 6.

**Figura 2-23**  
**Estructura del Rodamiento**



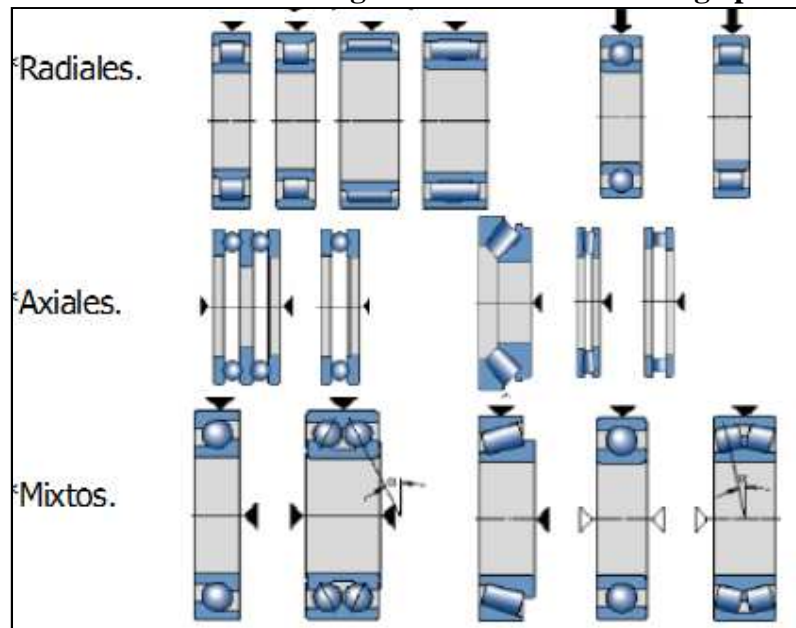
Fuente: [http://www.nachi.de/1/files/basic\\_sp\\_hp.pdf](http://www.nachi.de/1/files/basic_sp_hp.pdf)

Elaborado por: Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Según la dirección de la carga principal los rodamientos se clasifican en:

- Radiales
- Axiales y
- Mixtos

**Figura 2-24**  
**Clasificación de los Rodamientos según la dirección de la carga principal**



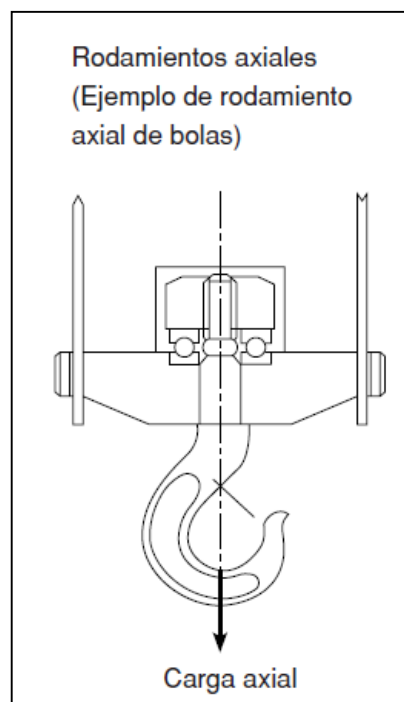
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/39489607/58/RODAMIENTOS>

Elaborado por: Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 2.7.1 Rodamientos para cargas Axiales

Pueden soportar cargas que actúen únicamente en la dirección del eje de rotación. A su vez pueden ser: rodamientos de simple efecto, que pueden recibir cargas axiales en un sentido, y rodamientos de doble efecto que pueden recibir cargas axiales en ambos sentidos.

**Figura 2-25**  
**Rodamientos Axiales**



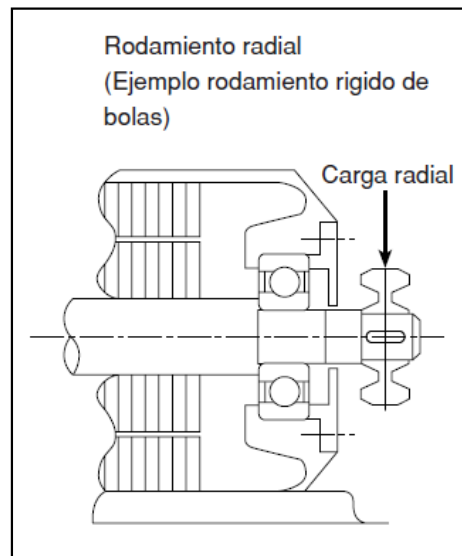
**Fuente:** [http://www.nachi.de/1/files/basic\\_sp\\_hp.pdf](http://www.nachi.de/1/files/basic_sp_hp.pdf)

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 2.7.2 Rodamientos para cargas Radiales

Estos rodamientos pueden soportar preferentemente cargas dirigidas en la dirección perpendicular al eje de rotación.

**Figura 2-26**  
**Rodamientos Radiales**



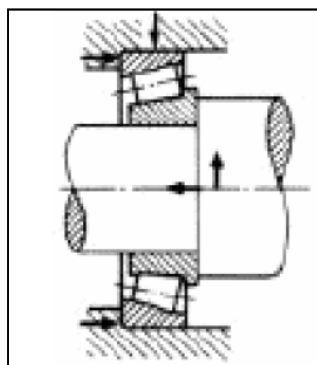
**Fuente:** [http://www.nachi.de/1/files/basic\\_sp\\_hp.pdf](http://www.nachi.de/1/files/basic_sp_hp.pdf)

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 2.7.3 Rodamientos para cargas Mixtas

Estos rodamientos pueden soportar esfuerzos radiales, axiales o ambos combinados.

**Figura 2-27**  
**Rodamientos para cargas Mixtas**



**Fuente:** [www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/apuntes/ahumada/pdfs/Rodamientos%20af.pdf](http://www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/apuntes/ahumada/pdfs/Rodamientos%20af.pdf)  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

## **2.8 Regulación de la Velocidad**

### **2.8.1 Regulación de la velocidad por medio del caudal de carga en la turbina**

La regulación por caudal, se da cuando la carga que ve el generador es variable, en donde es la turbina la que debe suministrar una potencia variable durante la operación, dicha variación de la potencia de la turbina se obtiene variando el caudal de agua que ingresa al rotor de la turbina, ya que la altura de carga es fija. La turbina en todo momento es la que regula el paso de agua con el fin de igualar la potencia generada con la demanda para mantener la velocidad de giro constante., en los sistemas de regulación de carga.

### **2.8.2 Regulación de la velocidad por regulación de carga**

Esta regulación consiste en disipar el exceso de potencia generada en forma de calor a través de resistencias sumergidas en el agua o en el aire; se puede realizar de forma manual y automática.

#### **2.8.2.1 Regulación Manual**

Para esta regulación se requiere tener un banco de resistencias (hornillas eléctricas, focos incandescentes, baterías, etc.), que se debe conectar y desconectar según aumente o disminuya la frecuencia. Este sistema es útil para microcentrales muy pequeñas que atienden a un número reducido de usuarios.

#### **2.8.2.2 Regulación Automática de carga**

El Regulador Electrónico de carga a través de unas válvulas electrónicas conocidas como tiristores, derivan la energía no consumida por la demanda a un sistema de disipación de energía.

Este sistema ha encontrado su campo de aplicación en el rango de las microcentrales hidroeléctricas, es decir para potencias inferiores de 100 kW. Tienen varias ventajas tales como: simplificación del diseño, menor costo, operación y mantenimiento sencillo, no produce sobrepresiones en la tubería, fácil ensamblaje y mayor respuesta a cambios de carga.

**Tabla 2-2**  
**Cuadro comparativo de los diversos tipos de regulación de velocidad**

TIPO DE REGULACIÓN	REGULACIÓN DE CAUDAL		REGULACIÓN DE CARGA	
	Manual	Automático	Manual	Automático
Costo Inicial	muy bajo	Alto	Bajo	Medio
Precisión en la regulación de frecuencia	depende del operador	Alto	depende del operador	muy alto
Dificultad de instalación	no hay	Alta	Baja	Baja
Dificultad de operación y mantenimiento	muy baja	Baja	muy baja	Baja
Requiere vigilancia del operador	Si	No	Si	No

**Fuente:** [http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos\\_grandes/002\\_microhidrocentrales.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos_grandes/002_microhidrocentrales.pdf)

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

## 2.9 Sistema de Transmisión

Los sistemas de transmisión de potencia mecánica en una picocentral hidroeléctrica, es necesaria para convertir la energía hidráulica a mecánica en la turbina, y de energía mecánica a eléctrica en el generador.

La velocidad de giro en la turbina está relacionada con la caída neta, el caudal y las dimensiones del rodete. En el caso de microcentrales hidroeléctricas se emplea los rodetes con dimensiones estándares de los fabricantes; en consecuencia, la velocidad de operación, para las condiciones de caída neta y caudal disponible, en algunas ocasiones coincide con la de los generadores, por esta razón en las microcentrales hidroeléctricas se debe emplear sistemas de transmisión de movimiento y potencia mecánica en la turbina y generador.

En el caso de sistemas eléctricos con corriente alterna, a una frecuencia de 60 Hz, se dispone de generadores con velocidades de  $n=3600$  rpm, siendo “p” el número de pares de polos del generador. De esta manera se puede contar con velocidades de 3600, 1800, 1200, 900 rpm y menos, siendo más costoso el generador de bajas velocidades.<sup>16</sup>

En todo sistema de transmisión de movimiento y potencia mecánica se pueden distinguir los elementos mecánicos involucrados en la transmisión:

- Rueda impulsora
- Rueda conducida
- Ejes que soportan las ruedas y giran con ellas
- Soportes de los ejes (cojinetes de rodamiento o deslizamiento)
- Acoplamientos

Existen varios tipos de transmisiones mecánicas, que se detallarán a continuación:

- Transmisión por engranajes
- Transmisión por cadenas
- Transmisión por bandas

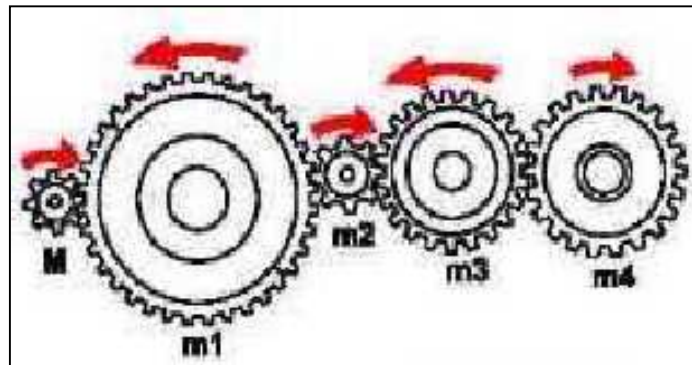
### **2.9.1 Transmisión por engranajes**

Este tipo de transmisión se aplica cuando la razón entre las velocidades tiene que ser constante, es decir como un reductor o multiplicador de velocidades en máquinas en las que se requiere una velocidad específica. La principal ventaja es de realizar el trabajo sin pérdidas de energía, con la desventaja de tener un elevado costo con respecto a los otros tipos de transmisión.

---

<sup>16</sup>[www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos\\_grandes/002\\_microhidrocentrales.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos_grandes/002_microhidrocentrales.pdf),pág.63.

**Figura 2-28**  
**Transmisión por engranes**



**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/25882475/TRANSMISION-MECANICA>  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

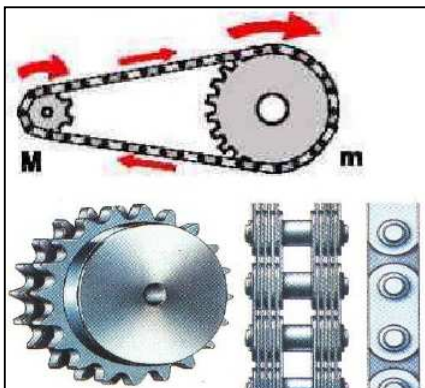
### 2.9.2 Transmisión por cadenas

En las transmisiones por cadena que tienen el esquema de transmisión flexible, con ruedas dentadas y una cadena. En este tipo de transmisión por cadena, el movimiento y la fuerza se transmiten a cierta distancia de los engranes y se conserva el sentido de giro, permitiendo una transmisión sincronizada entre la rueda y el piñón.

Las ventajas son múltiples: al poseer un funcionamiento silencioso, absorben choques en la transmisión debido a la elasticidad de la correa, permiten transmitir potencia entre árboles a distancias relativamente grandes de forma económica, requiere poco mantenimiento, permite transmitir potencia entre ejes no paralelos, son fácilmente desacoplables y acoplables, permiten cambiar la relación de transmisión fácilmente y pueden alcanzar velocidades bastante elevadas en comparación a las cadenas.



**Figura 2-29**  
**Transmisión por cadenas**



**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/25882475/TRANSMISION-MECANICA>  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 2.9.3 Transmisión por bandas

La transmisión por bandas es comúnmente utilizada para reducir la velocidad, donde la banda se diseña de manera que gire alrededor de las poleas sin deslizarse. Cuando se transmite potencia, la fricción provoca que la banda se adhiera a la polea impulsora y a su vez se incrementa la tensión a un lado. La capacidad de transmisión depende de la fricción entre las bandas y las ruedas, que a su vez depende del coeficiente de rozamiento y del ángulo de contacto de la faja de la polea menor.

### 2.10 Sistemas de Protección

Las protecciones para las Picocentrales son una parte integral, que tiene como tarea evitar la destrucción de un conjunto de dispositivos interconectados por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse sin control en forma encadenada. El sistema de protecciones debe aislar la parte donde se ha producido la falla buscando perturbar lo menos posible la red.

### **2.10.1 Protección contra Sobrevoltaje**

La protección contra Sobrevoltaje es recomendada especialmente para generadores hidroeléctricos sujetos a sobrevelocidades y por consiguiente a sobrevoltajes cuando se pierde carga. Los generadores accionados por turbinas hidráulicas, tienen mayor peligro porque la sobrevelocidad de estas máquinas motrices puede producir un envalamiento, cuando falla el regulador de velocidad de la turbina puede producirse un sobrevoltaje peligroso.

### **2.10.2 Protección contra cortocircuitos**

El constante incremento de producción de energía eléctrica, las corrientes de cortocircuitos, en los sistemas de transporte y distribución alcanzan valores elevados, que en muchos casos pueden afectar gravemente las instalaciones. La corriente de cortocircuito de una instalación eléctrica, en general, va acompañada, en el momento inicial, de fenómenos transitorios seguidos de una situación permanente. Tanto en media tensión como en alta tensión se utilizan dispositivos de protección como interruptores, fusibles, seccionadores en carga, etc.

## **2.11 Puesta a Tierra**

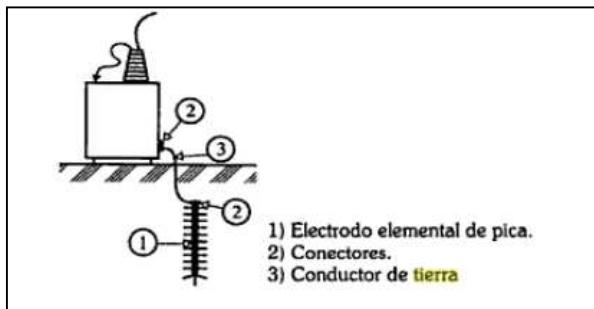
Una instalación de puesta a tierra es aquella instalación eléctrica que tiene como misión derivar corriente hacia la tierra, o bien, establecer contacto con ella; las corrientes involucradas pueden ser de naturaleza estacionaria, casi estacionaria, de alta frecuencia o electromagnética en forma de impulsos, corrientes que pueden ser originadas durante el funcionamiento de un sistema técnico hecho por el hombre o causado por un fenómeno natural.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup>DE LA VEGA; Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra; segunda edición; Editorial Limusa ;pág.38.

La puesta a tierra más elemental satisface los requisitos para considerarse un sistema de puesta a tierra, tal como se ilustra a continuación en la siguiente figura:

**Figura 2-30**  
**Puesta a Tierra Elemental**

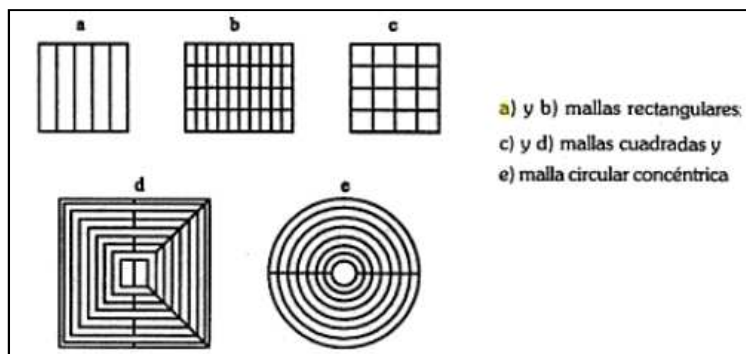


**Fuente:**DE LA VEGA; Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra;pág.39.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

El elemento central de una instalación de puesta a tierra es el electrodo, que es un elemento metálico que puede ser de cobre, aluminio, etc., por medio del cual se introduce la corriente a la tierra; los electrodos adoptan formas geométricas bien ensayadas para tal fin y son: semiesfera, pica, banda, placa y anillo. Se debe utilizar la forma geométrica más conveniente es decir, que ofrezca mejor eficiencia y requiera un menor gasto, se puede utilizar un solo electrodo si la corriente de tierra no es muy intensa o varios electrodos de manera que trabajen en paralelo, integrándose los llamados electrodos múltiples, tal como se indica en la figura:

**Figura 2-31**  
**Puesta a Tierra múltiple (Sistema de Electrodo)**



**Fuente:**DE LA VEGA; Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra;pág.40.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

## 2.12 Selección del Lubricante

Los lubricantes hidráulicos son utilizados para transmitir potencia a través de un sistema hidráulico. La utilización de un lubricante con muy baja viscosidad puede causar resbalamiento mientras que si el lubricante es de alta viscosidad puede resultar en una operación lenta, mayor fricción, excesivo consumo de potencia y posible cavitación.

El lubricante para turbinas se utilizan es sistemas de circulación para lubricar y enfriar los cojinetes de turbinas y generadores, así como cojinetes. El lubricante está expuesto está expuesto a los efectos nocivos del calor, agua y desgaste del metal.

Las propiedades más recomendables para este tipo de lubricantes son: viscosidad adecuada, elevada estabilidad frente a la oxidación, buena protección contra la corrosión e inhibición a la espuma. Además, los sistemas de lubricación deben ser diseñados con una gran capacidad de refrigeración.<sup>18</sup>

**Tabla 2-3**  
**Rango de viscosidad recomendados para lubricantes de Turbinas**

<b>Método de lubricación</b>	<b>Viscosidad recomendada a 40°C (cSt)</b>
Lubricación forzada	32-100
Lubricación por goteo	32-46

**Fuente:** Mantenimiento Mecánico de Máquinas; Francisco Sánchez; pág.41

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

La selección del lubricante adecuado para una determinada transmisión por engranajes es fundamental ya que condiciona su durabilidad, funcionamiento, desgaste, las pérdidas energéticas, etc.

<sup>18</sup> FRANCISCO T. SÁNCHEZ MARÍN, Antonio Pérez González, Joaquín L. Sancho Bru, Pablo J. Rodríguez Cervantes; Mantenimiento Mecánico de Máquinas; segunda edición ;UniversitatJaume;pág.41.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO

#### 3.1 Introducción

Para el desarrollo de los cálculos, se ha tomado en cuenta los parámetros disponibles para realizar el diseño de los elementos constitutivos del prototipo, para posteriormente determinar el material y las dimensiones que sean capaces de soportar los esfuerzos a los que se exponen.

Cabe indicar que se dispone de un tanque de agua de 1.4 m de altura, 6 m de largo y 3 de ancho, con una salida de 6" de diámetro, a partir de estos datos se realiza el diseño y construcción del prototipo que genere 1 kW de potencia. Además se dispone de dos tuberías de 6" a la salida del tanque, con una longitud de 12 metros de tubería acoplada a una tubería de 4" de 6 metros, todos estos materiales son de PVC que soportan una presión de 0.80 MPa. (ANEXO A).

#### 3.2 Diseño Hidráulico de la Turbina

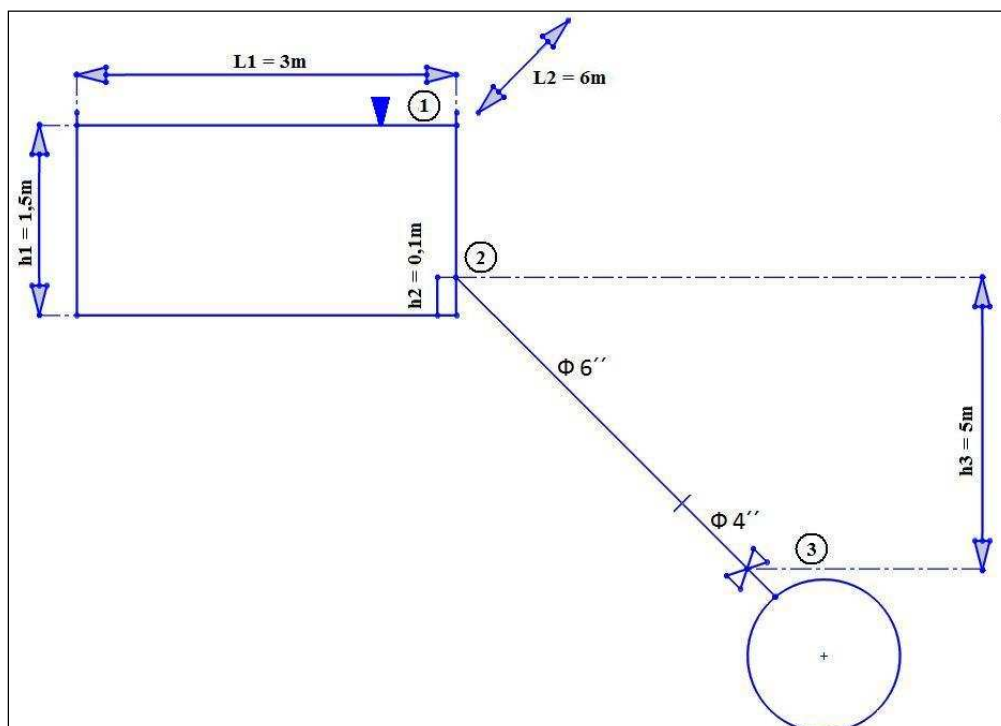
Para realizar el diseño Hidráulico de la Turbina se parte de las condiciones del tanque de agua hasta el punto en donde se va a colocar el equipo para generar energía, tal como se indica a continuación en las siguientes figuras:

**Figura 3-1**  
**Condiciones del lugar de la Pico-Central**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Figura 3-2**  
**Dimensionamiento de las condiciones de la Picocentral**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Como se conoce el volumen volumétrico se emplea la fórmula:

$$Q = A * v$$

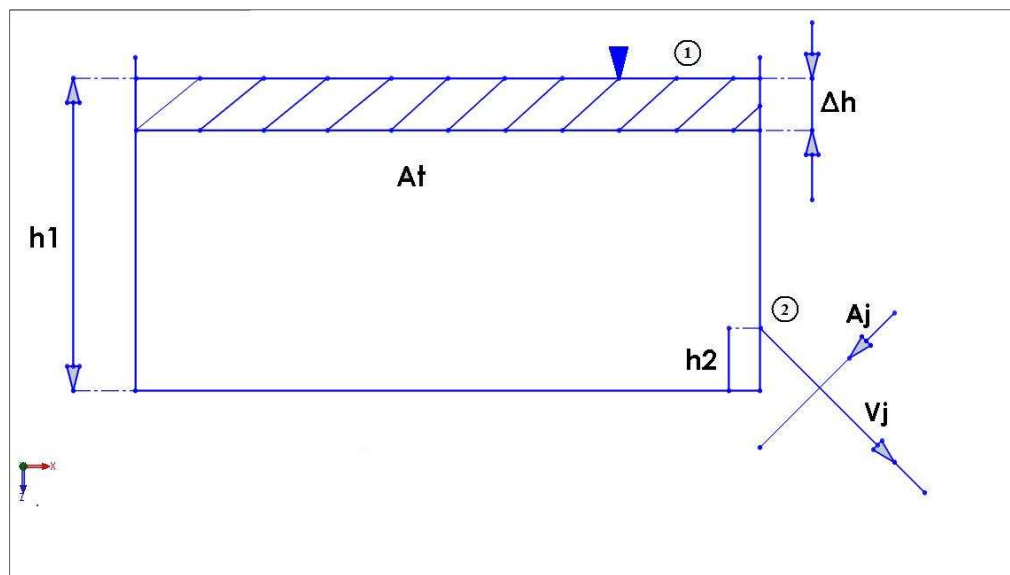
Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$A$  = Área o superficie del tubo ( $m^2$ )

$v$  = Velocidad del líquido ( $m/s$ )

**Figura 3-3**  
**Análisis de Teorema de Torricelli**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

El volumen que fluye =  $Q(dt) = A_j * V_j (dt)$

El volumen expulsado =  $-A_t * dh$

Estos dos volúmenes deben ser iguales, según la ecuación de la continuidad:

$$A_j * V_j(dt) = -A_t * dh$$

Despejando el tiempo  $dt$ :

$$dt = \frac{-(A_t/A_J)}{V_J} * dh$$

Para obtener el cálculo de la velocidad de salida del agua de tanque, se parte del Teorema de Torricelli, se emplea la fórmula (2.13):

Donde;

$v_j$  = velocidad (m/s)

$g$  = gravedad(m/s<sup>2</sup>)

$h$  = altura (m)

$$v_j = \sqrt{2gh}$$

Por tanto:

$$dt = \frac{-(A_t/A_J)}{\sqrt{2gh}} * dh \quad (3.1)$$

$$dt = \frac{-(A_t/A_J)}{\sqrt{2g}} * h^{-1/2} dh$$

Integrando se tiene:

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = \frac{-(A_t/A_J)}{\sqrt{2g}} * \int_{h_1}^{h_2} h^{-\frac{1}{2}} dh \quad (3.2)$$

$$t_2 - t_1 = \frac{-\left(\frac{A_t}{A_J}\right) * \left(h_2^{1/2} - h_1^{1/2}\right)}{\sqrt{2g} * \frac{1}{2}}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{-2\left(\frac{A_t}{A_J}\right) * \left(h_2^{1/2} - h_1^{1/2}\right)}{\sqrt{2g}} \quad (3.3)$$

Se tiene:



Donde:

$$L_1 = 3 \text{ m}$$

$$L_2 = 6 \text{ m}$$

$$A_t = L_1 * L_2 \tag{3.4.}$$

$$A_t = (3 * 6)m^2$$

$$A_t = 18 \text{ m}^2$$

Por tanto el área total es de  $18 \text{ m}^2$ .

Se calcula el área que pasa por la tubería de 6" mediante la siguiente fórmula:

Donde:

$$\phi = 6" = 0,1524 \text{ m}$$

$$A_j = \frac{\pi * \phi^2}{4} \tag{3.5.}$$

$$A_j = \frac{\pi * (0,1524 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_j = 0,01824 \text{ m}^2$$

Se conoce que el área que pasa por la tubería de 6 pulgadas es de  $0,01824 \text{ m}^2$ .

Se reemplazan los datos encontrados anteriormente en la ecuación **3.3**:

Donde:

$$h_1 = 1.5 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.1 \text{ m}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{-2 \left( \frac{A_t}{A_j} \right) * \left( h_2^{1/2} - h_1^{1/2} \right)}{\sqrt{2g}}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{-2 \left( \frac{18 \text{ m}^2}{0.01824 \text{ m}^2} \right) * \left( 0.1^{1/2} - 1.5^{1/2} \right)}{\sqrt{2 * 9.8}}$$

$$t_2 - t_1 = 404.75 \text{ seg.}$$

### 3.2.1 Cálculo del volumen

Se calcula el volumen con la siguiente fórmula:

Donde:

$V = \text{Volumen}$

$B = \text{Base}$

$H = \text{Altura} ; h_1 - h_2 = 1,4 \text{ m}$

$L = \text{Largo}$

$$V = B * H * L \tag{3.6.}$$

$$V = 3 \text{ m} * 1.4 \text{ m} * 6 \text{ m}$$

$$V = 25.2 \text{ m}^3$$

Por tanto se tiene que el volumen es de  $25,2\text{m}^3$ .

### 3.2.2 Cálculo del Caudal Real

En donde el caudal real se obtiene mediante la ecuación **2.8**, y se reemplaza los datos encontrados anteriormente:

Donde:

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

$A = \text{Área o superficie del tubo (m}^2\text{)}$

$v = \text{Velocidad del líquido (m/s)}$

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{25.2 \text{ m}^3}{404.75 \text{ seg}}$$

$$Q = 0,06226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Por tanto se obtiene un caudal real de  $0,06226 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.2.3 Cálculo de velocidades

Se despeja la fórmula para encontrar la velocidad y se reemplaza:

Donde:

$$\phi_j = 6 \text{ " } = 0.1524 \text{ m}$$

$$Q = A_j v_j$$

$$v_j = \frac{Q}{A_j}$$

$$v_j = \frac{0,06226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,01824 \text{ m}^2}$$

$$v_2 = v_j = 3,41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De acuerdo a la ecuación de la continuidad:

Donde:

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

$$A = \text{Área o superficie del tubo (m}^2\text{)}$$

$$v = \text{Velocidad del líquido (m/s)}$$

$$v_1 * A_1 = v_2 * A_2$$

$$v_1 = \frac{v_2 * A_2}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{(3,41 \frac{\text{m}}{\text{s}}) * \frac{\pi * (0.1524 \text{ m})^2}{4}}{18 \text{ m}^2}$$

$$v_1 = 0,00345 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se plantea la ecuación de la energía:

$$\begin{aligned} \text{Energía en la sección 1} + \text{Energía añadida} - \text{Energía perdida} - \text{Energía extraída} \\ = \text{Energía en la sección 2} \end{aligned}$$

$$\left( \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2}{2g} + Z_2 \right) + H_A - H_L - H_E = \left( \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3}{2g} + Z_3 \right) \quad (3.7.)$$

Donde:

$$\frac{p_2}{\gamma} = 1.4 \text{ m}$$

$$v_2 = 3.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_2 = 5 \text{ m}$$

$$H_A = 0$$

$$H_E = 0$$

$$\frac{p_3}{\gamma} = ?$$

$$v_3 = i$$

$$A_3 = \phi_3 = 4'' = 0.1016 \text{ m}$$

Para encontrar la velocidad  $v_3$  se reemplaza:

$$A_2 * v_2 = A_3 * v_3$$

$$v_3 = \frac{A_2 * v_2}{A_3}$$

$$v_3 = \frac{(0.01824 \text{ m}^2)(3.41 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{\frac{\pi * (0.1016 \text{ m})^2}{4}}$$

$$v_3 = 7,68 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad al ingreso de la turbina es de 7,68 m/s.

### 3.2.4 Cálculo del numero de Reynolds

Se calcula el número de Reynolds

Donde:

$R_e$  = Número de Reynolds

$v$  = Velocidad característica del fluido

$D$  = Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido

$\rho$  = Densidad del fluido

$\gamma$  = Viscosidad cinemática del fluido =  $1.02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  del agua a  $20^\circ \text{ C}$  (**ANEXO B**)

$$R_e = \frac{V * D * \rho}{\mu} \quad (3.8.)$$

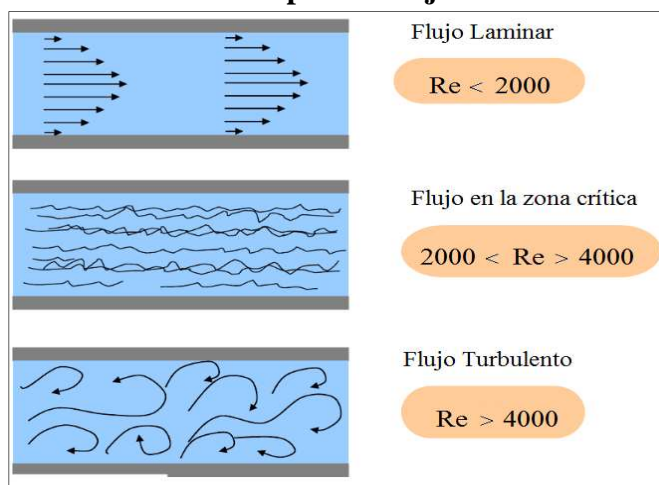
$$R_e = \frac{V * D}{\gamma}$$

$$R_e = \frac{(7.68 * 0.1016) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{1.02 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$R_e = 764988,23$$

Por tanto se deduce, que estamos en flujo turbulento tal como se indica en la figura y se procede al cálculo de las pérdidas.

**Figura 3-4**  
**Tipos de Flujo**



**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 3.2.5 Cálculo de la Altura Neta

La altura bruta se mide empleando el método del GPS, mediante la triangulación de los satélites, se realizó el cálculo mediante la diferencia entre los dos lugares a ser medidos por el altímetro del instrumento de medida, por tanto se ha considerado una altura bruta o geodésica considerable de 5 metros desde el tanque hasta la ubicación del prototipo.

Para calcular la altura originada por las pérdidas, se toma la siguiente ecuación:

Donde:

$n$  = coeficiente de rugosidad del material (**ANEXO C**)

$L$  = Longitud de la tubería (m)

$V$  = Velocidad en la tubería (m/s)

$d$  = Diámetro en la tubería (m)

$$\Delta_h = H_{pérd} = 6.35 \frac{n^2 * L * V^2}{d_4^3} \quad (3.9.)$$

$$\Delta_h = H_{pérd} = 6.35 \frac{(3 \times 10^{-7})^2 * (18\text{m}) * \left(\frac{7.68\text{ m}}{\text{s}}\right)^2}{(0.1016\text{ m})^{\frac{3}{4}}}$$

$$\Delta_h = H_{pérd} = 3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

La altura neta **Hn** es la energía aprovechada en forma de presión y resulta del cálculo entre la altura bruta **H<sub>b</sub>**, menos las pérdidas **H<sub>pérd</sub>** que se producen en la tubería de presión y demás accesorios.

Donde:

Hn = altura neta (m)

H<sub>b</sub> = altura bruta (m)

H<sub>pérd</sub> = Altura originada por las pérdidas (m)

Por tanto la altura neta se obtiene de la siguiente ecuación:

$$H_n = H_b - H_{pérd} \quad (3.10.)$$

$$H_n = 5 \text{ m} - (3 \times 10^{-9}) \text{ m}$$

$$H_n = 4,99 \text{ m}$$

La altura neta que se va a aprovechar es de 4,99 metros.

### 3.2.6 Cálculo del caudal aprovechable

A continuación se calcula el caudal aprovechable:

Donde:

$Q_t$  = Caudal aprovechable en  $m^3/s$

$Q$  = Caudal de diseño

$Q_m$  = Caudal medio anual que en nuestro caso es **caudal de diseño**.

$$Q_t = Q - (0.1 * Q_m) \quad (3.11.)$$

$$Q_t = Q * (1 - 0.1)$$

$$Q_t = 0.9 Q$$

$$Q_t = 0.9 * 0.06226 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_t = 0.056 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por tanto el caudal aprovechable es de  $0.056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ .

### 3.2.7 Cálculo de la potencia ideal

Para calcular la potencia hidráulica que puede generar la Pico-central, se debe emplear los datos obtenidos anteriormente; es decir, del caudal, la altura neta y las eficiencias, la misma que viene dada por la siguiente expresión:

(Los ensayos realizados por distintos investigadores sitúan el rendimiento hidráulico de la turbina entre un 65% - 70%, otros autores mencionan un 61% aclarando que la segunda etapa entrega un 17%, y en general muchos autores indican un 70% hasta un 84%.)<sup>19</sup>

La potencia ideal a generar se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Donde:

P = Potencia Hidráulica

Qn = Caudal neto ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Hn = Altura Neta (m)

$\eta_{turb}$  = Eficiencia de la turbina (%)

$\eta_{gen}$  = Eficiencia del generador (%)

$$Pn = 9.8 * Qn * Hn * \eta_{turb} * \eta_{gen} \quad (3.12.)$$

$$Pn = 9.8 * 0,056 \text{ m}^3/\text{s} * 4.99\text{m} * 0,8 * 0,8$$

$$Pn = 1,75 \text{ kW}$$

---

<sup>19</sup> [www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos\\_grandes/002\\_microhidrocentrales.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos_grandes/002_microhidrocentrales.pdf),pág.63



La potencia hidráulica ideal que se tiene es de 1,75 kW.

### 3.2.8 Cálculo del Torque del Generador

Se calcula el torque mecánico necesario que necesita el generador mediante la fórmula que se indica a continuación:

$$P = T * \omega \quad (3.13.)$$

Conociendo la potencia hidráulica a generar será idealmente de 1.75 kW pero debido a que el Proyecto de Tesis comprende el diseño de una turbina experimental, por tanto se toma el dato de nuestro objetivo, es decir con la Potencia de 1 kW tenemos:

Donde:

$P =$  Potencia a transmitir (W)

$w =$  Velocidad angular (rad/seg)

$T =$  Torque (N.m)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{1000 \text{ W}}{3600 * \frac{1}{60} * 2 \pi}$$

$$T = 2,65 \text{ N.m}$$

El Torque que necesita el generador es de 2,65 Nm.

### 3.2.9 Cálculo del Torque en el eje de la Turbina

De acuerdo a los datos experimentales obtenidos al realizar las diferentes pruebas, la velocidad angular máxima obtenida al girar la turbina es de 50 rpm, se emplea la fórmula **3.12**:

$$P = T * \omega$$

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{1000 \text{ W}}{50 * \frac{1}{60} * 2 \pi}$$

$$T = 190,98 \text{ Nm}$$

El Torque necesario para que se mueva la turbina es de 190,98 Nm.

### 3.2.10 Cálculo de la relación de Transmisión total

Se obtiene la relación de transmisión total mediante la diferencia entre la velocidad del generador y de la turbina, es decir:

Donde:

$i_f$  = Relación de transmisión total

$\eta_i$  = Velocidad del generador

$\eta_f$  = Velocidad de la turbina

$$i_f = \frac{\eta_i}{\eta_f} \tag{3.14.}$$

$$i_f = \frac{3600}{50}$$

$$i_f = 72$$

La relación de transmisión total es de  $i_f = 72$ .

### 3.2.11 Cálculo de la relación de Transmisión al multiplicador de velocidad

Se asume una relación de  $i_1 = 5$  para el cálculo de la relación de transmisión:

$$i_f = \frac{\eta_i}{\eta_{\text{multiplicador}}} \quad (3.15.)$$

$$\eta_{\text{multiplicador}} = \frac{\eta_i}{i_1}$$

$$\eta_{\text{multiplicador}} = \frac{3600}{5}$$

$$\eta_{\text{multiplicador}} = 720 \text{ rpm}$$

La relación de transmisión de multiplicador es de 720 rpm.

#### 3.2.11.1 Cálculo del Torque del Multiplicador

Por lo tanto calculamos el torque necesario que debe tener el multiplicador de velocidad:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{1000 \text{ W}}{720 * \frac{1}{60} * 2 \pi}$$

$$T = 13.26 \text{ Nm}$$

El torque para que se mueva el multiplicador es de 13,26 Nm.

## 3.3 Diseño Mecánico de la Turbina

### 3.3.1 Cálculo del caudal que ingresa a un álabe

A continuación se calcula el caudal que ingresa a un álabe con la siguiente fórmula:

Donde:

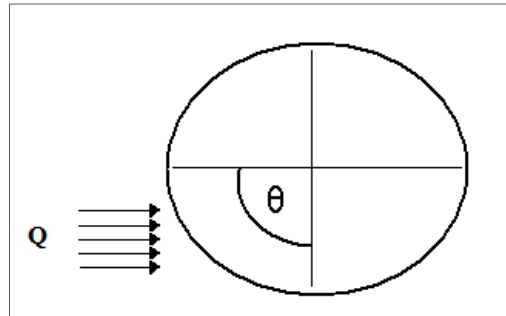
$Z_f$  = Número de álabes que reciben el flujo de agua

$Z$  = Número de álabes del rotor

$$z_f = \frac{\theta}{360^\circ} * z \quad (3.16.)$$

Que se obtiene de:

**Figura 3-5**  
**Caudal que ingresa al álabe de la Turbina**



**Fuente:** PAZ PÉREZ EDGAR; Metodología de Diseño Hidráulico y Mecánico de una turbina Michell-Banki; 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica; 2007, pág. 5.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se asume que:

$$\theta = 90^\circ$$

$z$  = número de álabes del rotor de la turbina

$Z_f$  = Número de álabes que reciben el flujo de agua

$$z_f = \frac{\theta}{360^\circ} * z$$

$$z_f = \frac{90^\circ}{360^\circ} * 4$$

$$z_f = 1$$

Por lo tanto se tiene que cada álabe va a recibir el flujo de agua que ingresa al rotor.

Para calcular el caudal que ingresa a los álaves se tiene:

Donde:

$Z_f$  = Número de álaves que reciben el flujo de agua

$Q_a$  = Caudal que ingresa en un álabe ( $m^3/seg.$ )

$Q_t = 0,056 \frac{m^3}{s}$  = Caudal aprovechable

$$Q_a = \frac{Q_t}{Z_f} \quad (3.17.)$$

$$Q_a = \frac{0.056 \text{ m}^3/s}{1}$$

$$Q_a = 0,056 \text{ m}^3/s$$

El caudal que ingresa a un álabe es  $0,056 \text{ m}^3/s$ .

### 3.3.2 Cálculo de las componentes de Fuerza en el plano x e y

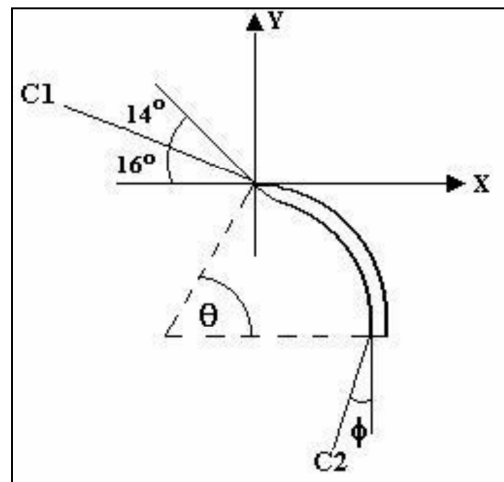
Para obtener las componentes de la fuerza en el plano  $x$  y  $y$ , se emplean las siguientes fórmulas:

$$F_{hx} = 429.38 * Q_a * \sqrt{H_{m\acute{a}x}} * (\cos 16^\circ - \text{sen } \phi) \quad (3.18.)$$

$$F_{hy} = 429.38 * Q_a * \sqrt{H_{m\acute{a}x}} * (\text{sen } 16^\circ + \text{Cos } \phi) \quad (3.19.)$$

$$F_{hr} = \sqrt{F_{hx}^2 + F_{hy}^2} \quad (3.20.)$$

**Figura 3-6**  
**Ángulos de la velocidad absoluta a la entrada y salida del álabe**



**Fuente:** PAZ PÉREZ EDGAR; Metodología de Diseño Hidráulico y Mecánico de una turbina Michell-Banki; 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica; 2007, pág. 5.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Para lo cual hay que considerar los ángulos característicos del álabe, que se muestran en la tabla:

**Tabla 3-1**  
**Ángulos característicos del álabe**

Diámetro (mm)	$\Phi$ (°)	$\theta$ (°)
600	20	70

**Fuente:** INE 1986

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Donde:

$F_x$  = Fuerza hidráulica sobre el álabe en dirección x

$F_y$  = Fuerza hidráulica sobre el álabe en dirección y

$F_{hr}$  = Fuerza hidráulica resultante sobre el álabe

$\Phi$  = Ángulo de velocidad a la salida del álabe

Por tanto se tiene:

$$F_{hx} = 429,38 * Q_a * \sqrt{H_{m\acute{a}x}} * (\cos 16^\circ - \text{sen } \phi)$$

$$F_{hx} = 429,38 * 0,056 \text{ m}^3/\text{s} * \sqrt{4,99 \text{ m}} * (\cos 16^\circ - \text{sen } 20^\circ)$$

$$F_{hx} = 33,26 \text{ kgf}$$

La fuerza hidruica sobre el álabe en dirección x es de **33.26kgf**.

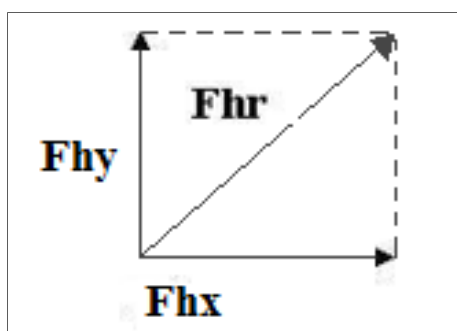
$$F_{hy} = 429,38 * Q_a * \sqrt{H_{m\acute{a}x}} * (\text{sen } 16^\circ + \cos \phi)$$

$$F_{hy} = 429,38 * 0,056 \text{ m}^3/\text{s} * \sqrt{4,99 \text{ m}} * (\text{sen } 16^\circ + \cos 20^\circ)$$

$$F_{hy} = 65,28 \text{ kgf}$$

La fuerza hidruica sobre el álabe en dirección y es de **65,28kgf**.

**Figura 3-7**  
**Componentes de la Fuerza**



**Fuente:** PAZ PÉREZ EDGAR; Metodología de Diseño Hidruico y Mecánico de una turbina Michell-Banki; 8 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica; 2007.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se determina la fuerza hidruica con la siguiente fórmula:

$$F_{hr} = \sqrt{F_{hx}^2 + F_{hy}^2}$$

$$F_{hr} = \sqrt{(33,26 \text{ kgf})^2 + (65,28 \text{ kgf})^2}$$

$$F_{hr} = 73,26 \text{ kgf}$$

La fuerza hidráulica resultante sobre el álabe es de **73,26 kgf**.

### 3.3.3 Cálculo de la fuerza centrífuga sobre el álabe

Con las componentes encontradas se calcula la fuerza centrífuga con la siguiente fórmula:

Donde:

$$P_a = \text{Peso del álabe} = 1,70 \text{ kgf}$$

$$F_c = 0,895 * \frac{P_a * H_{m\acute{a}x}}{D_e} \quad (3.21.)$$

$$F_c = 0,895 * \frac{1,70 \text{ kgf} * 4,99 \text{ m}}{0,6 \text{ m}}$$

$$F_c = 12,65 \text{ kgf}$$

La fuerza centrífuga sobre el álabe es de 12,65 kgf.

### 3.3.4 Cálculo de la Fuerza Resultante total sobre el álabe

La fuerza total se obtiene entre la resultante de las fuerzas hidráulicas y centrífuga, donde el ángulo  $\lambda$  es diferente para cada diámetro de rotor como se indica en la tabla:

**Tabla 3-2**  
**Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x**

Díámetro del rotor (mm)	$\lambda$ (°)
600	32.02

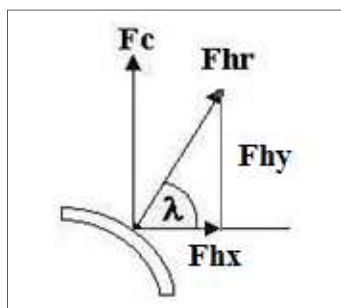
Fuente: INE 1986

Elaborado por: Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Considerando el ángulo de acuerdo al diámetro del rotor seleccionado, se tienen la composición de fuerzas sobre el álabe tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 3-8**  
**Composición de fuerzas sobre el álabe**



**Fuente:** PAZ PÉREZ EDGAR; Metodología de Diseño Hidráulico y Mecánico de una turbina Michell-Banki; 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica; 2007.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Para encontrar estas componentes se utilizan las siguientes fórmulas:

$$R_x = F_{hr} \cos \lambda \quad (3.22)$$

$$R_y = F_{hr} \sin \lambda + F_c \quad (3.23)$$

$$R_T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (3.24)$$

Donde:

$R_x$  = Fuerza resultante sobre el álabe en dirección x

$R_y$  = Fuerza resultante sobre el álabe en dirección y

$R_T$  = Fuerza resultante total sobre el álabe

$\lambda$  = Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x

$$R_x = F_{hr} \cos \lambda$$

$$R_x = 73,26 \text{ kgf} * \cos 32,02^\circ$$

$$R_x = 62,11 \text{ kgf}$$

La fuerza resultante sobre el álabe en dirección x es de **62,11kgf**.

$$R_y = F_{hr} \operatorname{sen} \lambda + F_c$$

$$R_y = 73,26 \operatorname{kgf} * \operatorname{sen} 32,02^\circ + 12,65 \operatorname{kgf}$$

$$R_y = 51,49 \operatorname{kgf}$$

La fuerza resultante sobre el álabe es de **51,49 kgf**.

$$R_T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R_T = \sqrt{(62,11 \operatorname{kgf})^2 + (51,49 \operatorname{kgf})^2}$$

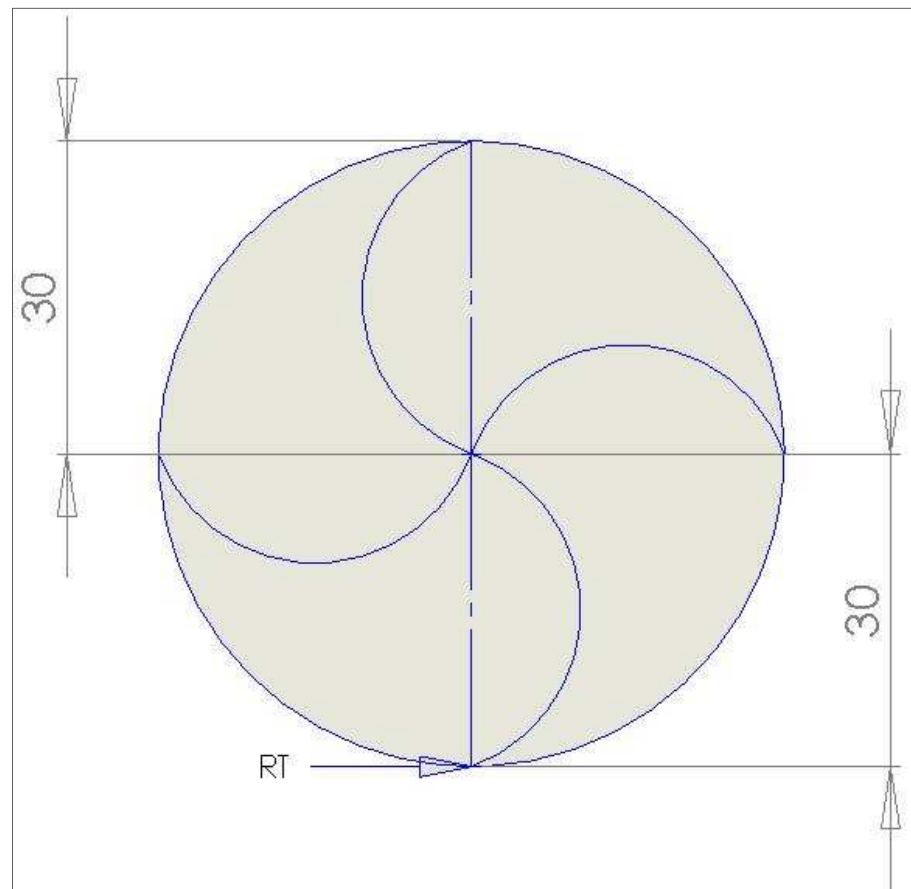
$$R_T = 80,67 \operatorname{kgf}$$

La fuerza resultante total sobre el álabe es de **80,67kgf**.

### 3.3.5 Diseño de las aspas

Se realiza el diseño considerando a las aspas planas como una Viga en Cantilever, tal como se indican en la siguiente figura:

**Figura 3-9**  
**Diseño de las aspas de la turbina**



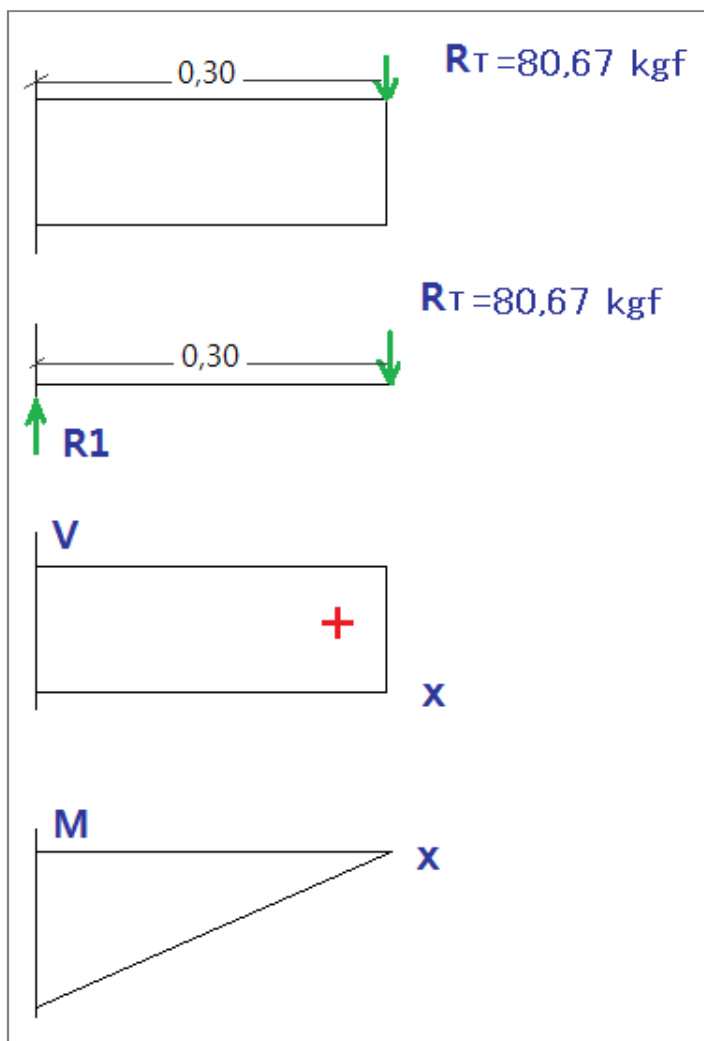
**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se diseñan las aspas planas y se considera como una viga Cantilever, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3-10

Diseño de aspas considerada como viga Cantilever



Fuente: Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Elaborado por: Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 3.3.6 Cálculo del Momento

Se determina mediante la ayuda de la siguiente fórmula:

Donde:

$$R_1 = R_T = 80,67 \text{ kgf}$$

Por tanto:

$$M = -R_T * L$$

(3.25)

$$M = -80,67 \text{ kgf} * 0.30 \text{ m}$$

$$M = -24,20 \text{ kgf} - \text{m}$$

### 3.3.7 Cálculo del Momento de Inercia

Se determina el momento de inercia mediante la siguiente fórmula:

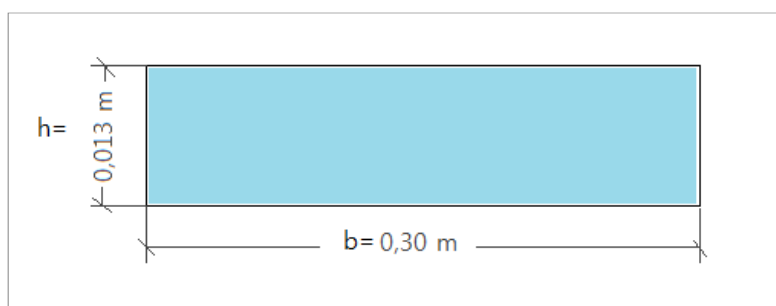
Donde:

$I$  = Momento de Inercia

$b$  = Base del aspa

$h$  = Altura del aspa

**Figura 3-11**  
**Sección de las aspas**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

$$I = \frac{1}{12} * b * h^3 \quad (3.26.)$$

$$I = \frac{1}{12} * 0.30 \text{ m} * (0.013 \text{ m})^3$$

$$I = 5,49 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

Cálculo del centro de gravedad

$$C = \frac{h}{2} \quad (3.27)$$

$$C = \frac{0,013 \text{ m}}{2}$$

$$C = 6,5 * 10^{-3} \text{ m}$$

Para el caso cinético de la fibra extrema se tiene:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= 0 \\ \sigma_{xy} &= \frac{M * C}{I} \\ \sigma_{xy} &= \frac{24,20 \text{ kgf} - \text{m} * 6,5 * 10^{-3} \text{ m}}{5,49 * 10^{-8} \text{ m}^4} \\ \sigma_{xy} &= 2,86 * 10^6 \text{ kgf/m}^2 \end{aligned} \tag{3.28}$$

Según la teoría del esfuerzo cortante máximo

El material seleccionado para los álabes es de aluminio por tanto se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \sigma_{eq} &= \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \sigma_{xy}^2} \\ \sigma_{eq} &= \sigma_x \end{aligned} \tag{3.29}$$

Donde:

$\eta$  = Coeficiente de seguridad

$$S_y = \text{Límite de fluencia} = 18000 \frac{\text{lbf}}{\text{plg}^2} = 12.68 * 10^6 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_x = \frac{S_y}{\eta} \tag{3.30}$$

Se despeja de la ecuación 3.29:

$$\eta\eta = \frac{S_y}{\sigma_x}$$

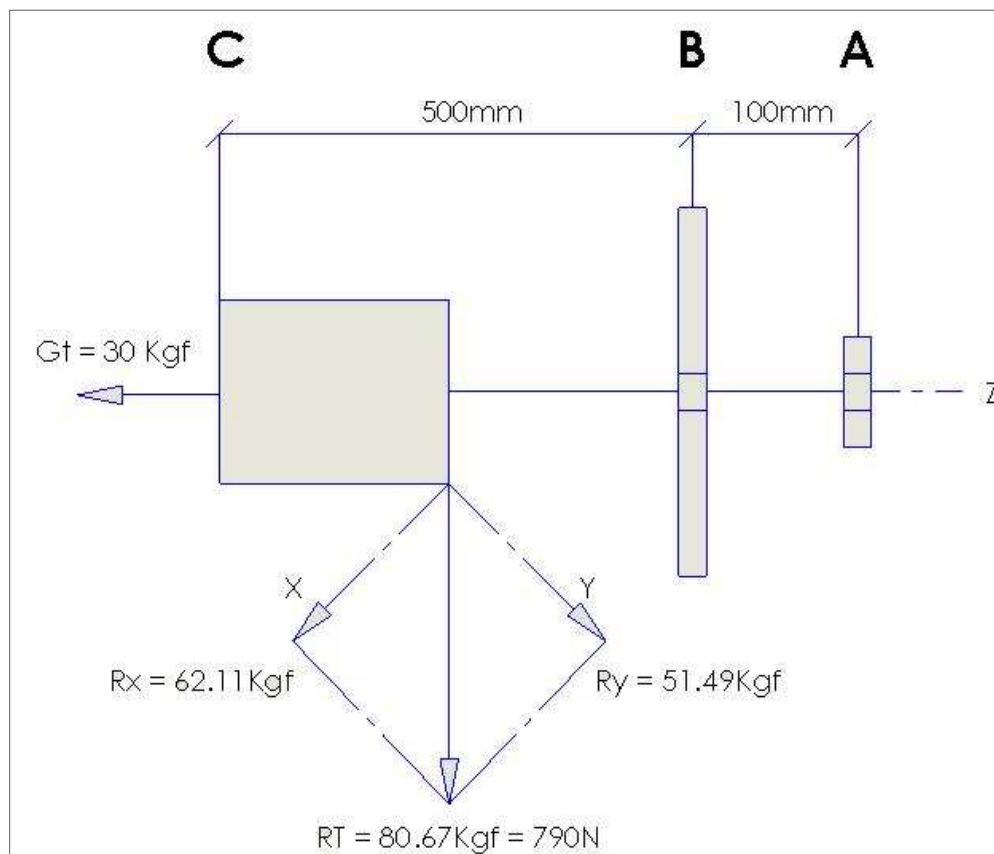
$$\eta\eta = \frac{12.68 * 10^6 \text{ kgf/m}^2}{2,86 * 10^6 \text{ m}^4 \text{ kgf/m}^2}$$

$$\eta\eta = 4,43$$

### 3.4 Diagrama de Cuerpo Libre

Se grafica el diagrama de cuerpo libre para conocer las fuerzas y momentos que se producen, teniendo el peso de la turbina de 30 kgf o 294 Nm.

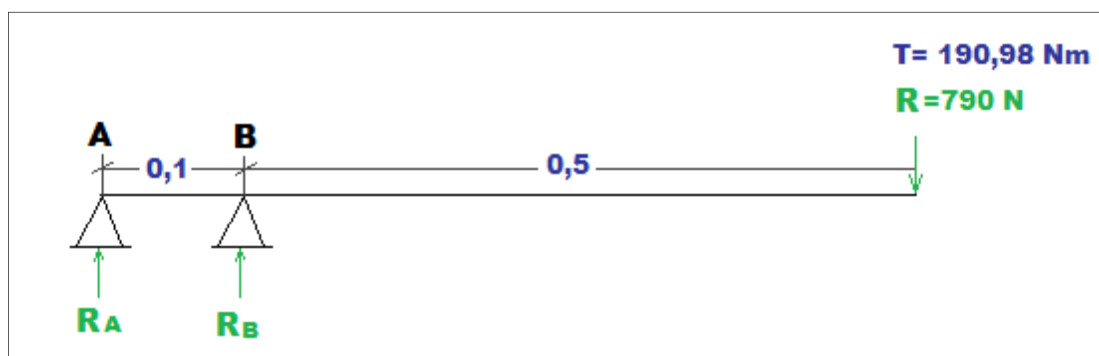
**Figura 3-12**  
**Diagrama de Fuerzas**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Figura 3-13**  
**Diagrama de Cuerpo Libre**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

La sumatoria de Fuerzas en y es:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (3.31)$$

$$R_A + R_B - R = 0$$

La sumatoria de Momentos en B

Donde:

$$R = 80,67 \text{ kgf} = 790,56 \text{ N}$$

$$\Sigma M_B = 0 \quad (3.32)$$

$$R_A(0.1 \text{ m}) - R(0.5 \text{ m}) = 0$$

$$R_A(0.1 \text{ m}) = R(0.5 \text{ m})$$

$$R_A = \frac{R(0.5 \text{ m})}{0.1 \text{ m}}$$

$$R_A = \frac{790,56 \text{ N} * (0.5 \text{ m})}{0.1 \text{ m}}$$

$$R_A = 3952,8 \text{ N}$$

$$R_B = R - R_A$$

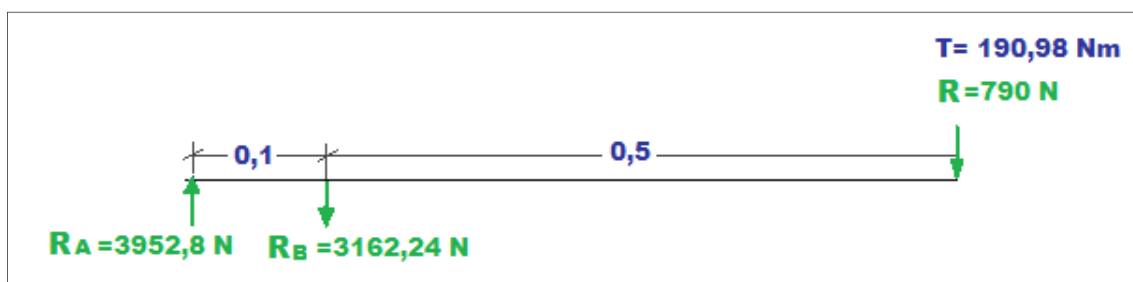
$$R_B = 790,56 \text{ N} - 3952,8 \text{ N}$$



$$R_B = -3162,24 \text{ N}$$

Por tanto se tiene:

**Figura 3-14**  
**Diagrama de Reacciones**

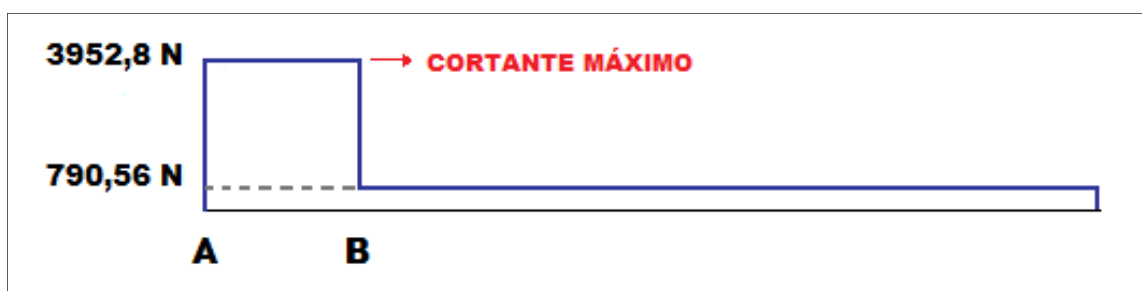


**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 3.4.1 Diagrama de Fuerzas Cortantes

**Figura 3-15**  
**Diagrama de Cortantes**

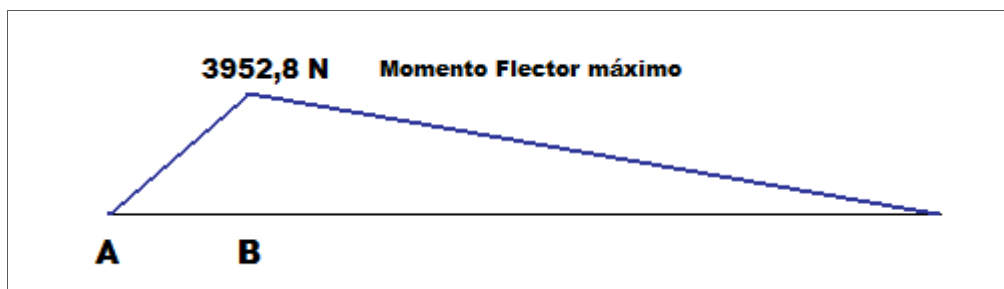


**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

### 3.4.2 Diagrama de Momento Flector

**Figura 3-16**  
**Diagrama de Momento Flector**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Del análisis se obtiene que el punto crítico de diseño se encuentra en el punto B.

### 3.5 Cálculo del Diseño Estático

El diseño estático real del eje se calcula mediante esfuerzos combinados de torsión y flexión.

Donde:

$$M = 395,28 N - m$$

$$T = 190,98 N - m$$

$$\sigma_x = \frac{32 M}{\pi * d^3} \quad (3.33)$$

$$\sigma_x = \frac{32 (395,28 N - m)}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{4026,28 N - m}{d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 T}{\pi * d^3} \quad (3.34)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 (190,98 N - m)}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{972,65 N - m}{d^3}$$

Se aplica el criterio de Tresca:

$\eta$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4 T_{xy}^2} \quad (3.35)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{4026,28 N - m}{d^3}\right)^2 + 4 \left(\frac{972,65 N - m}{d^3}\right)^2}$$

Se selecciona un eje de acero 414 con un  $S_y = 655,9 * 10^6 Pa$ , por sus buenas propiedades de resistencia a la corrosión y se asume un  $d = 25 mm$  se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

$$\eta = \frac{655,9 * 10^6 Pa}{\sqrt{\left(\frac{4026,28 N - m}{d^3}\right)^2 + 4 \left(\frac{972,65 N - m}{d^3}\right)^2}}$$

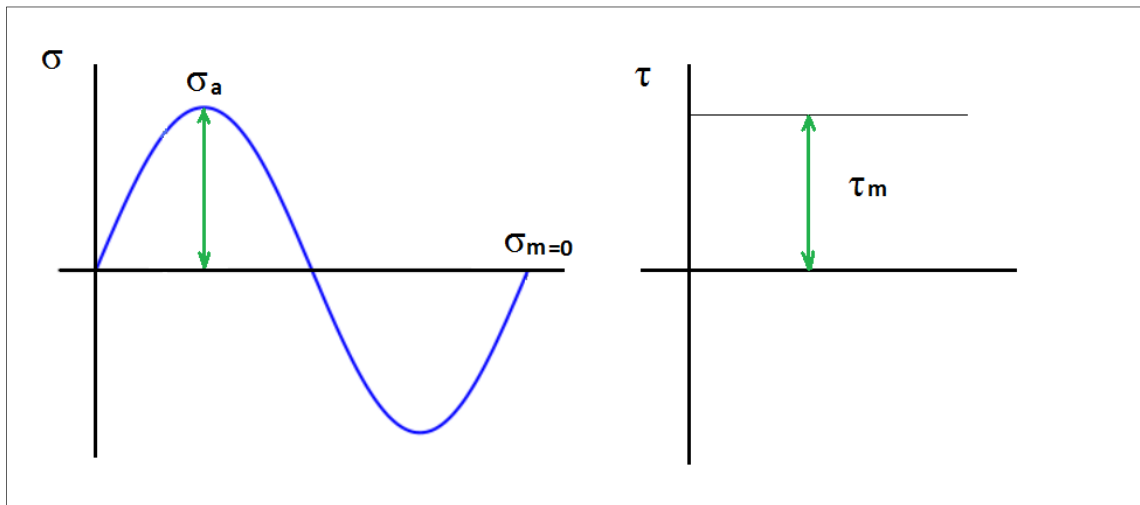
$$\eta = 2,29$$

### 3.6 Diseño Dinámico

Con los cálculos anteriores se obtiene el momento flector de interés que es el punto en el Momento B;  $M_B = 395,28 N - m$ .

Se analiza los esfuerzos:

**Figura 3-17**  
**Análisis de Esfuerzos**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Del diseño estático se tiene un diámetro  $d = 0,025 \text{ m}$ , con un acero inoxidable 414.

En el punto B:

$$\sigma_{xm} = 0$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 * M_B}{\pi D_B^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 * 395,28 \text{ N} - \text{m}}{\pi (0.025 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_{xa} = 25,77 * 10^7 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xym} = 0$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 * T}{\pi D_B^3}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 190,98 \text{ N} - \text{m}}{\pi (0.025 \text{ m})^3}$$

$$\tau_{xym} = 62,25 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xya} = 0$$

Según el criterio de Von Mises se tiene los siguientes esfuerzos equivalentes:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3 \tau_{xym}^2} \quad (3.36)$$

$$\text{Donde } \sigma_{xm} = 0$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3 \tau_{xym}^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3 * (62,25 * 10^6 Pa)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 107,82 * 10^6 Pa$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3 \tau_{xya}^2} ; \text{ Donde } \tau_{xya} = 0$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(25,77 * 10^7 Pa)^2}$$

$$\sigma_{eqa} = \sigma_{xa} = 25,77 * 10^7 Pa$$

Como se selecciona un acero S414 00 recocido (**ANEXO D**) se tiene un:

$$S_y = 95000 \text{ lb/plg}^2 = 656 * 10^6 Pa = \text{resistencia a la fluencia}$$

$$S_{ut} = 120000 \text{ lb/plg}^2 = 829 * 10^6 Pa = \text{resistencia última}$$

El límite de fatiga es:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_g * S'_e \quad (3.37)$$

Donde:

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad (3.38)$$

Los coeficientes modificativos del límite de fatiga son:

$$K_a = \text{Por acabado de maquinaria}$$

$K_b =$  Por efectos de tamaño

$K_c = 0.897 =$  Por confiabilidad al 90%

$K_d = 1 =$  Por efectos de temperatura

$K_e = 1 =$  Por econcentración de esfuerzos

$K_g = 1 =$  Por efectos diversos

Se define los coeficientes que modifican el límite de resistencia de fatiga que para el factor de superficie  $K_a$ , se toma referencia a la tabla que se muestra a continuación:

**Tabla 3-3**  
**Factores de acabado de superficies**

Acabado de Superficie	Factor $a$		Exponente $b$
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1,34	1,58	-0,085
<b>Maquinado o estirado en frío</b>	<b>2,70</b>	<b>4,51</b>	<b>-0,265</b>
Laminado en caliente	14,40	57,70	-0,718
Forjado	39,90	272,00	-0,995

**Fuente:** JOSEPH SHIGLEY.-Diseño en Ing. Mecánica, Pág. 318

**Elaborado por:** Marcos Medrano / María Fernanda Mena/2011.

$$K_a = aS_{ut}^b$$

Donde:

$K_a =$  Coeficiente por factor de superficie

$a =$  Factor del coeficiente de acabado de superficie ( $1,86 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ )

$b =$  Exponente del coeficiente (-0,265)

Entonces:

$$ka = a S_{ut}^b$$

$$ka = 1,86 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times (0,829 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})^{-0,265}$$

$$ka = 1,86 \times (0,829)^{-0,265}$$

$$ka = 1,95$$

Además se determina el coeficiente por factor de tamaño  $kb$ : para ejes en pulgadas el coeficiente es:

$$kb = \left(\frac{d}{0,3}\right)^{-0,1133} \text{ in}$$

Donde:

$kb$  = Coeficiente por factor de tamaño

$d$  = Diámetro del eje = 25 mm =  $9,84 \times 10^{-4}$  plg.

El exponente es -0,1133 para ejes en pulgadas

$$kb = \left(\frac{d}{0,3}\right)^{-0,1133} \text{ in}$$

$$kb = \left(\frac{9,84 \times 10^{-4} \text{ "}}{0,3}\right)^{-0,1133}$$

$$kb = 1,91$$

Se calcula mediante la ecuación **3.36**:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_g * S'_e$$

$$S_e = 1,95 * 1,91 * 0,897 * 1 * 1 * 1 * 0,5 * 829 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$S_e = 1,38 * 10^9 \text{ Pa}$$

Del diagrama de Soderbeg se tiene:

Donde:

$S_m$  = Teorema de Soderberg

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma_a}{\sigma_m} + \frac{S_e}{S_y}} \quad (3.39)$$

$$S_m = \frac{1,38 * 10^9 \text{ Pa}}{\frac{25,77 * 10^7 \text{ Pa}}{107,82 * 10^6 \text{ Pa}} + \frac{1,38 * 10^9 \text{ Pa}}{656 * 10^6 \text{ Pa}}}$$

$$S_m = 307.09 * 10^6 Pa$$

$$\eta\eta = \frac{S_m}{\sigma_m} \quad (3.40)$$

$$\eta = \frac{307.09 * 10^6 Pa}{107.82 * 10^6 Pa}$$

$$\eta\eta = 2.85$$

Con el eje seleccionado de 25 mm no fallará a la fatiga al tener un factor de seguridad de 2.85, por tanto la selección del eje esta correcta.

### 3.7 Selección de los Rodamientos

Se procede a la selección de los rodamientos con los siguientes datos preliminares:

- Velocidad del eje= 50 rpm
- Diámetro del eje de 25 mm, que anteriormente se comprueba la resistencia a la fatiga del eje.

Siendo las condiciones de servicio las siguientes:

- Accionamiento de máquina en general.
- Temperatura de servicio 50 ° C.
- Buena limpieza en el intersticio de lubricación, aditivos apropiados en el lubricante.
- Aceite lubricante, grasa saponificada de litio V<sub>40</sub>



Para lo cual se desea conocer la duración de vida y colocación de los rodamientos en el punto A y B.

Del catálogo FAG (**ANEXO E**), se toma el factor de velocidad de acuerdo a la velocidad de la turbina de  $n = 50$  rpm, por tanto el factor de velocidad  $fn$  es de 0,874 para un Rodamiento de Bolas.

De acuerdo a la condición de servicio que nos da la tabla del catálogo FAG (**ANEXO F**), el valor de orientación del esfuerzo dinámico es de:

Donde:

$f_L =$  Factor de esfuerzos dinámicos

$L_h =$  Horas de vida para un rodamiento de bolas

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} \quad (3.41)$$

Para una vida de 8000 horas se tiene:

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{8000}{500}}$$

$$f_L = 2.52$$

La Capacidad dinámica de carga se calcula con la fórmula, para un rodamiento rígido de bolas con una hilera de bolas se tiene:

$$P = X * F_r + Y F_a \quad (3.42)$$

Donde los valores X e Y dependen del tipo de rodamiento Falco:

$F_a =$  Peso de la turbina = es la carga axial = 294 N

$$P_o = 0.6 * F_r + 0.5 F_a \quad (3.43)$$

$$P_o = 0,6 * 3952,8 N + 0.5 * 294 N$$

$$P_o = 2518,68 N$$

Por tanto la capacidad dinámica de carga requerida es de:

$$C = \frac{f_L}{f_n} * P \quad (3.44)$$

$$C = \frac{2,52}{0,874} * 2518,68 N$$

$$C = 7262,09 N$$

La capacidad de carga dinámica es de 7,26 kN por lo que esta dentro del rango que indica la tabla (**ANEXO G**).

Por tanto se selecciona un Rodamiento Rígido de Bolas de una hilera 6005 SE según el Catalogo FAG, con las siguientes características: (**ANEXO G**):

$$\phi_{int} = 25 \text{ mm}$$

$$\phi_{ext} = 47 \text{ mm}$$

$$Ancho = 12 = B$$

$$Peso = 0.08 \text{ kg}$$

### 3.7.1 Ajuste para montaje de Rodamientos

El ajuste recomendado para el rodamiento de bolas se selecciona según la tabla que se muestra a continuación:

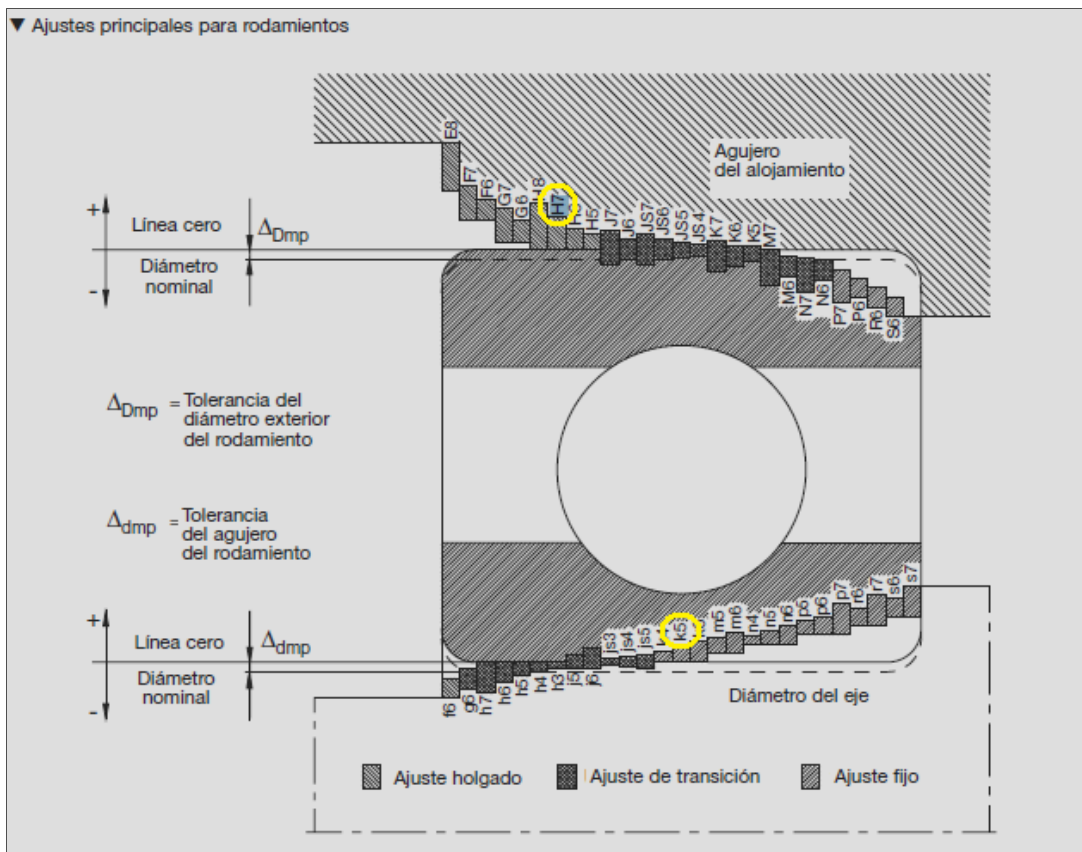
**Tabla 3-4**  
**Juego de Rodamientos según Catalogo FAG**

	Eje	Alojamiento
Rodamiento de bolas	j5...k5	H7...J7
Rodamiento de rodillos	k5...m5	H7...M7

Fuente: Catalogo FAG.

Elaborado por: Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Figura 3-18**  
**Ajuste de Rodamientos**



Fuente: Catalogo FAG.

Elaborado por: Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Por tanto el ajuste recomendado para los rodamientos A y B es un ajuste H7K5, se tiene:

$$\phi_{eje} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Eje ajuste K5 (ANEXO H): } 25 \begin{matrix} +11 \\ +2 \end{matrix}$$

$$\text{Agujero ajuste H7 (ANEXO I) : } 25 \begin{matrix} +21 \\ 0 \end{matrix}$$

$$\text{Apriete máximo} = 25,011 - 24,979 = 0,032$$

$$\text{Apriete mínimo} = 25,002 - 25,000 = 0.002$$

Se verifica si tecnológicamente es posible obtener K5 en el medio:

$$T = 11 - 2 = 9 \mu\text{m (ANEXO J)} = 0.009 \text{ mm}$$

Por tanto se tiene una tolerancia IT5, con lo que nos dirigimos a la Tabla (ANEXO K), y se obtiene que la rugosidad se encuentra entre N5 y N7, es decir para la clase N6, el valor medio de rugosidad de los asientos encontrado para los rodamientos es de  $R_a=0,8 \mu\text{m}$ .

**Figura 3-19**  
**Rugosidad de los asientos de los rodamientos**

▼ Clases de rugosidad según DIN ISO 1302								
Clase de rugosidad	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Valor medio de rugosidad $R_a$	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5
Profundidad de la rugosidad $R_v = R_z$	1	1,6	2,5	6,3	10	25	40	63

**Fuente:** Catalogo FAG.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se calcula el ajuste mínimo necesario para A:

$$\Delta = \Delta F + \Delta t + \Delta \text{efect} \tag{3.45}$$

Donde:

$$\Delta F = 0.08 \sqrt{\frac{d * F_r}{B}} \quad (3.46)$$

$$\Delta F = 0,08 \sqrt{\frac{25 \text{ mm} * 3952,8 \text{ N}}{12 \text{ mm}}}$$

$$\Delta F = 7,26$$

$$\Delta t = 0.0015 * d * \Delta t \quad (3.47)$$

$$\Delta t = 0.0015 * 25 * (50 - 15)$$

$$\Delta t = 1.31$$

$$\Delta_{effect} = \frac{d}{d+3} * (\Delta f + \Delta t) \quad (3.48)$$

$$\Delta_{effect} = \frac{25}{25+3} * (7,26 + 1,31)$$

$$\Delta_{effect} = 7,65$$

Por tanto, se reemplaza en la ecuación 3.44:

$$\Delta = \Delta F + \Delta t + \Delta_{effect}$$

$$\Delta = 7,26 + 1,31 + 7,65$$

$$\Delta = 16,22$$

$$\overline{\Delta} > \Delta \quad (3.49)$$

$$17 \mu\text{m} > 16,22 \mu\text{m}$$

Por tanto se cumple la condición de ajuste.

### 3.8 Desarrollo de la Voluta

El diseño se lo ha realizado tomando en consideración el principio de funcionamiento de un remolino de río, para ser usado como fuente de energía renovable para el presente proyecto, haciéndose uso de la energía cinética inherentes aun vórtice inducido artificialmente, en donde la energía del agua vórtice es recogido por un movimiento lento de la superficie de la turbina, descargando el agua por la parte inferior, dándole un fin ecológico al preservar la vida de las especies acuáticas.

**Figura 3-20**  
**Voluta**



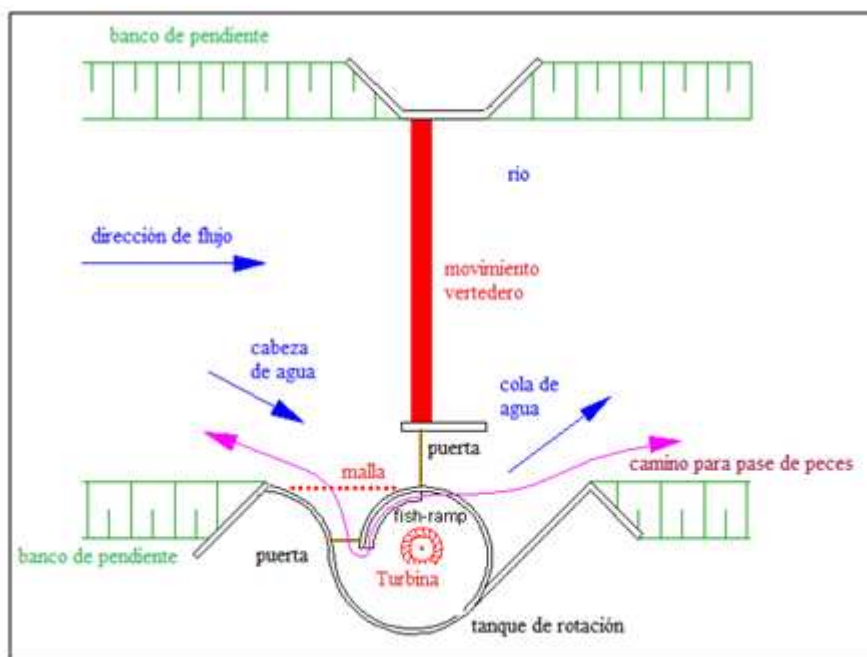
**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se ha diseñado con una entrada de agua que entra tangencialmente en un recipiente redondo que tiene la forma de un caracol, con la finalidad de formar un poderoso vórtice de agua para lo cual se debe utilizar una turbina en donde se aproveche la fuerza dinámica del vórtice, juntamente con un sistema mecánico que induce el vórtice artificial.

El vórtice de agua de la gravitación central convierte la energía potencial del agua en un tanque de rotación con un vórtice gravitacional de agua a presión en energía cinética y energía de rotación, ya que se concentra en el centro de la vorágine en la turbina.

**Figura 3-21**  
**Estructura**



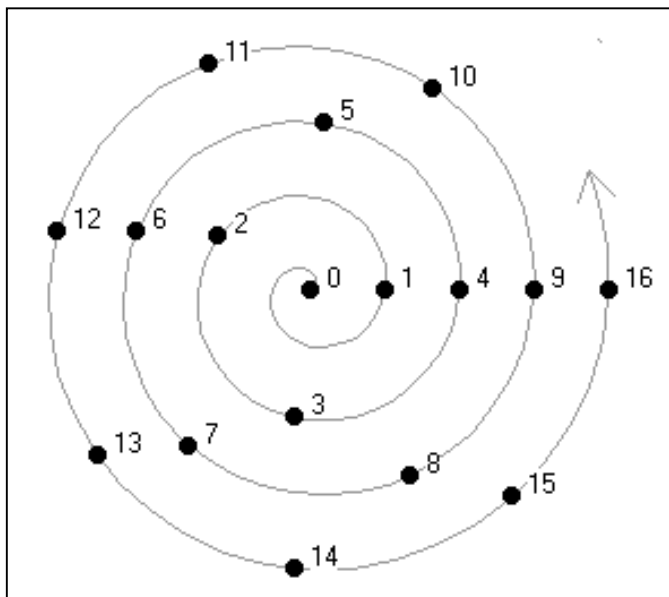
**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Desde el punto de vista técnico el vórtice de agua gravitacional es el estado estacionario de una rotación y oscilación del flujo de agua de alta dinámica, produce un aumento de la velocidad del flujo en la superficie del agua, permitiéndose la aireación natural del agua, lo cual acelera la degradación de los contaminantes, de esta forma la energía rotacional del agua se ha convertido en la nueva forma de generar energía hidroeléctrica.

Para obtener la transferencia de energía se ha dado la forma de una cámara espiral, la misma que geoméricamente se ha diseñado en base a la espiral logarítmica o espiral de Arquímedes, tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3-22**  
**Espiral Logarítmica**



**Fuente:** [www.dosideas.com/foros/ascensor-a-ningun-lugar/306-los-espiales-y-las-matematicas.html](http://www.dosideas.com/foros/ascensor-a-ningun-lugar/306-los-espiales-y-las-matematicas.html)  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Básicamente es de construcción sencilla, no tan costosa y de menor impacto ambiental, siendo una forma natural de generar electricidad a partir de la corriente de agua.

### 3.8.1 Construcción de la Voluta de prueba

Se ha realizado varias pruebas en dos prototipos de voluta contruidos de madera en base a la espiral logarítmica, con la finalidad de conocer el diámetro del remolino de agua que se desarrolla para cada dato de caudal que va a ser ingresado y determinar las dimensiones de la voluta y la turbina.

#### 3.8.1.1 Maqueta 1

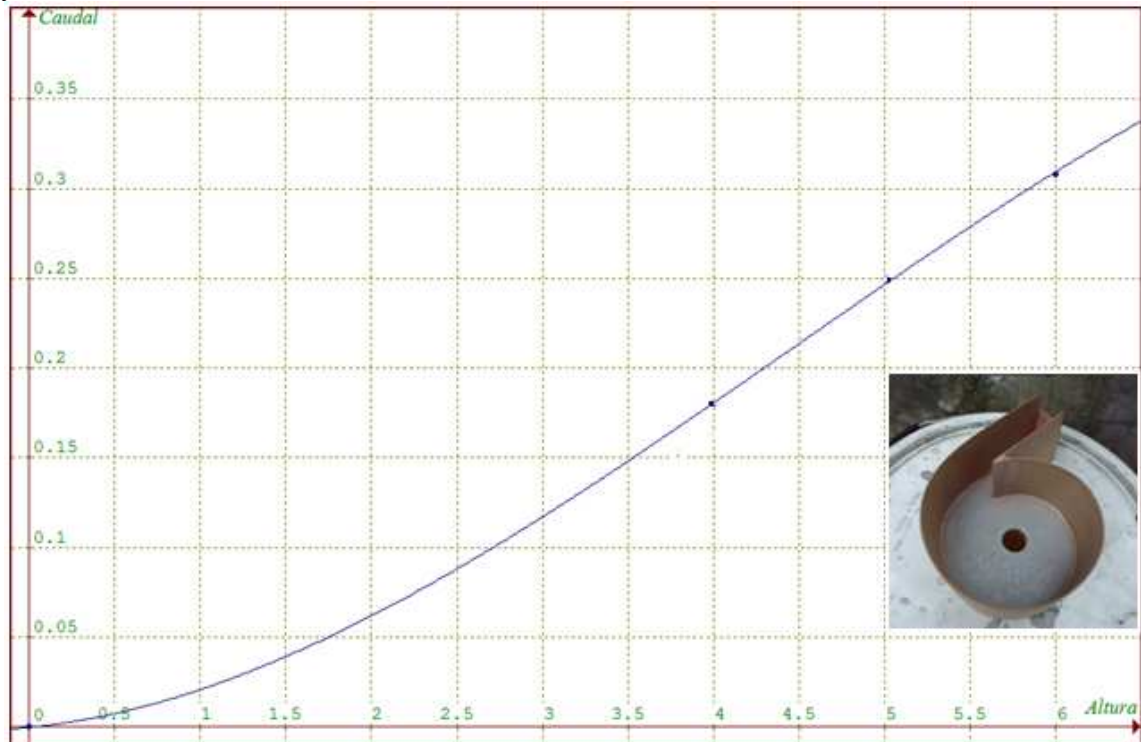
A continuación se muestran las figuras y los datos para el primer prototipo de voluta:



**Figura 3-23**  
**Caudal vs Altura del Agua**

$$y = -0.00097x^3 + 0.0129x^2 + 0.0091x - 0.00025$$

(3.50.)



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Para la primera maqueta, se mide la altura en base al caudal conocido, los mismos que se detallan la altura alcanzada en cm y el caudal en lit/seg.:

**Tabla 3-5**  
**Caudal vs Altura del Agua medidos**

Altura (cm)	Caudal (l/s)
Eje X	Eje Y
0	0
4	0.178
5	0.251
6	0.308

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Con los valores medidores de altura para el primer prototipo de voluta, se calcula mediante la fórmula anterior, se dan valores a la altura para calcular los caudales y se determina el caudal máximo, tal como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 3-6**  
**Caudal vs Altura del Agua calculados**

<b>Altura (cm)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
Eje X	Eje Y
1	0.0208
2	0.0618
3	0.117
7.3	0.3763

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

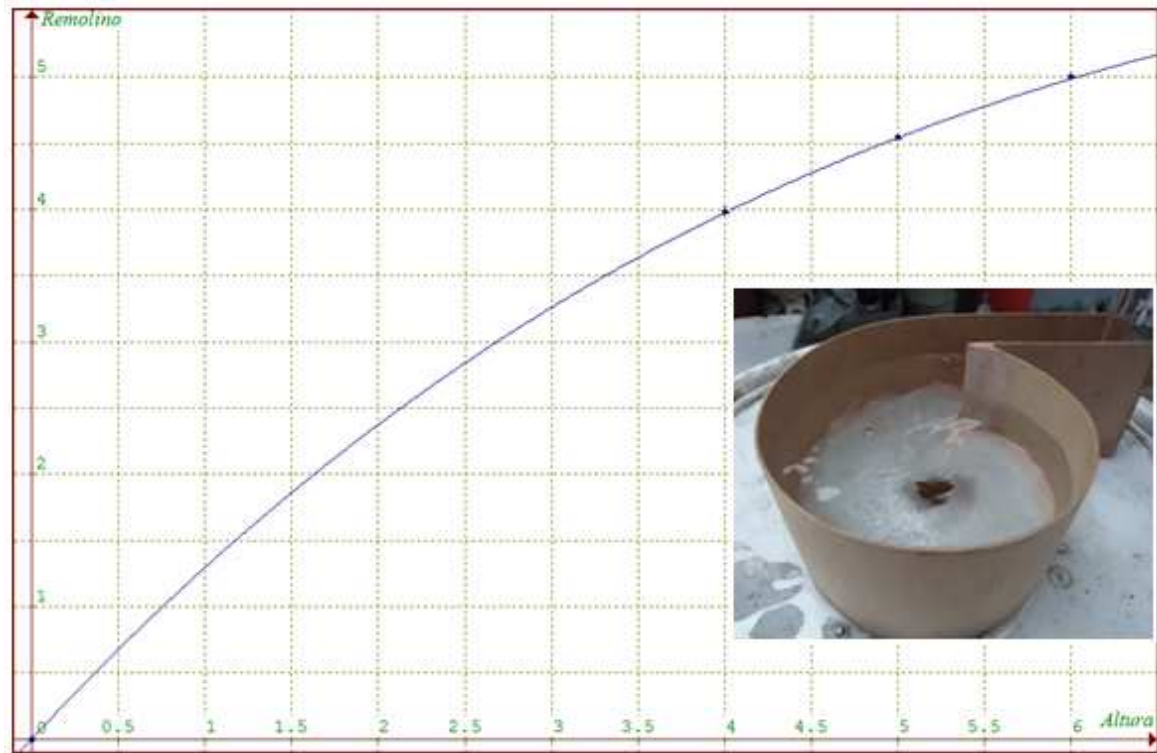
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se ingresa agua para los diferentes niveles de altura para obtener los datos calculados y conocer el caudal para cada altura aplicada, por lo tanto se conoce que con una altura máxima de 7.3cm se alcanza un caudal de 0.3763 lt/s

Una vez que se conoce la altura y el caudal alcanzado, se puede determinar el diámetro del remolino de agua, obteniéndose los siguientes resultados que se detallan en la siguiente figura, la misma que muestran estos parámetros:

**Figura 3-24**  
**Diámetro del Remolino vs Altura del Agua Calculados**

$$y = 0.0039x^3 - 0.12x^2 + 1.41x + 0.0023 \quad (3.51.)$$



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Tabla 3-7**  
**Diámetro del Remolino vs Altura del Agua medidas**

Altura (cm)	Remolino (cm)
Eje X	Eje Y
0	0
4	4
5	4.5
6	5

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Tabla 3-8**  
**Diámetro del Remolino vs Altura del Agua calculadas**

<b>Altura (cm)</b>	<b>Remolino (cm)</b>
<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
1	1.2962
2	2.3735
3	3.2576
7.3	5.4177

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Con un Caudal de 0.3763 L/s y la altura de 7.3 centímetros se tiene un diámetro de remolino de 5.4177cm.

### 3.8.1.2 Maqueta 2

**Tabla 3-9**  
**Caudal vs Altura del Agua medidos**

<b>Altura(cm)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
0	0
3	0.178
4	0.251
5	0.308

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Con los valores medidores de altura para el segundo prototipo de voluta, se calcula mediante la fórmula anterior, se dan valores a la altura para calcular los caudales y se determina el caudal máximo, tal como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 3-10**  
**Caudal vs Altura del Agua calculados**

Altura (cm)	Caudal (l/s)
Eje X	Eje Y
1	0.0446
2	0.1081
6	0.3581
7	0.3716
10	0.632

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

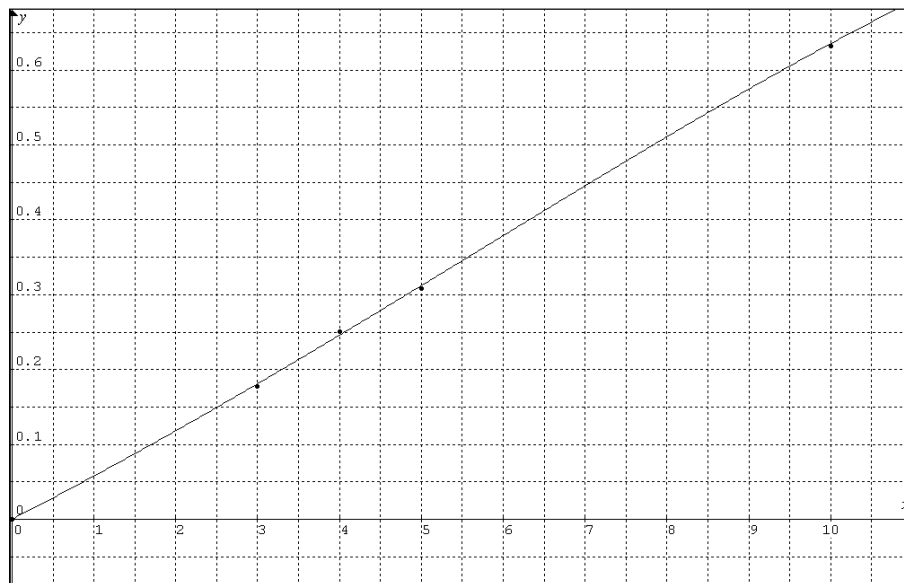
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

En el segundo prototipo de voluta se conoce que con una altura máxima de agua alcanzada, es decir 10cm se necesita un caudal de 0.632 L/s.

**Figura 3-25**  
**Caudal vs Altura del Agua**

$$y = -0.0016x^3 + 0.0142x^2 + 0.0321x - 0.00015$$

$$y = -3.5 \cdot 10^{-6}x^4 - 5.1 \cdot 10^{-5}x^3 + 0.0016x^2 + 0.0561x - 1.7 \cdot 10^{-5}$$



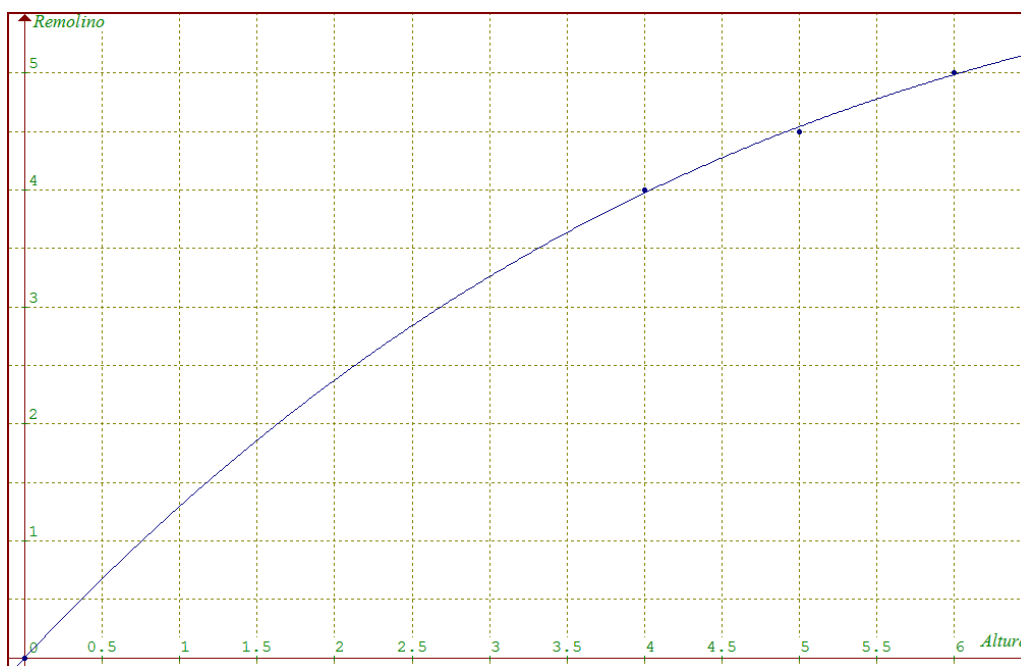
**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

En base a este dato conocido se puede obtener el remolino formado en la voluta para este segundo protocolo de pruebas, tal como se indica en la siguiente figura:

**Figura 3-26**  
**Diámetro del Remolino vs Altura del Agua**

$$y = 0.0039x^3 - 0.12x^2 + 1.41x + 0.0023$$



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

A continuación se muestra una tabla que indica los diferentes diámetros de remolino de agua según la altura que alcanza el agua en la voluta:

**Tabla 3-11**  
**Altura vs Remolino de Agua medidos**

Altura (cm)	Remolino (cm)
Eje X	Eje Y
0	0
4	4
5	4.5
6	5

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Tabla 3-12**  
**Altura vs Remolino de Agua calculados**

Altura (cm)	Remolino (cm)
Eje X	Eje Y
1	1.2962
2	2.3735
3	3.2576
7.3	5.4177

**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Con el Caudal de 0.632 L/s y la altura de 7.3 cm se obtiene un diámetro de remolino de 5.4177cm.

Po lo tanto, para una voluta de sección rectangular y anchura  $b=cte$ , la expresión se describe a continuación:

$$\frac{\theta^\circ}{360} = \frac{\dot{r}}{2 * \pi * q} * b * \ln \frac{R}{r_3} \quad (3.52.)$$

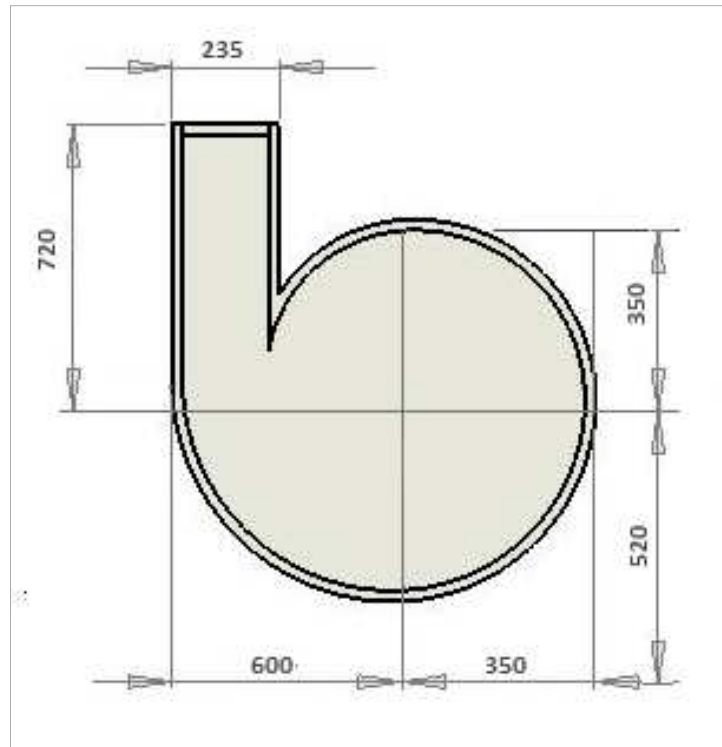
$$\frac{\theta^\circ}{360} = \frac{g * Hm * b}{q * \omega * n_m} * \ln \frac{R}{r_3}$$

$$\frac{\theta^\circ}{360} = \frac{30 * Hm * b}{q * \pi * n * n_m} * \ln \frac{R}{r_3}$$

$$\frac{\theta^\circ}{360} = 93.58 * \frac{Hm * b}{q * n * n_m} * \ln \frac{R}{r_3}$$

Si se dan valores a  $\theta$  desde 0 a 360 ° por ejemplo a intervalos de 45 °, se tiene valores de R, desde  $r_3$  hasta R máx, con esto se obtiene el contorno de la voluta..

**Figura 3-27**  
**Dimensiones de la Voluta**



**Fuente:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Se considera los siguientes datos:

$$H_m = 4,99 \text{ m}$$

$$b = 0,3 \text{ m}$$

$$Q = 0,056 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta = 50$$

$$\eta_m = \text{rendimiento manométrico} = ?$$

$$R = 0,520$$

$$R_3 = 0,350$$

Se reemplaza en la ecuación 3.52 y se calcula el rendimiento manométrico de la voluta, cuando  $\theta = 360^\circ$ .



$$\frac{\theta^\circ}{360} = 93.58 * \frac{Hm * b}{q * n * n_m} * \ln \frac{R}{r_3}$$

$$n_m = 93.58 * \frac{Hm * b}{q * n} * \ln \frac{R}{r_3}$$

$$n_m = 93.58 * \frac{4,99 \text{ m} * 0,3 \text{ m}}{0,056 \text{ m}^3/\text{s} * 50} * \ln \frac{0,520}{0,350}$$

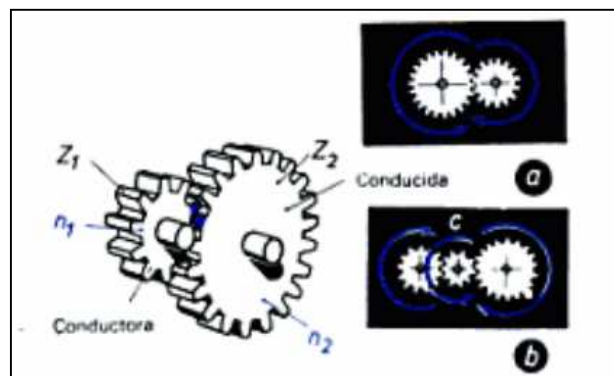
$$n_m = 93.58 * \frac{4,99 \text{ m} * 0,3 \text{ m}}{0,056 \text{ m}^3/\text{s} * 50} * \ln \frac{0,520}{0,350}$$

$$n_m = 19,80 \%$$

### 3.9 Diseño del Tren de Engranajes

Para la realización de este proyecto se ha utilizado una transmisión sencilla de engranajes, donde cada diente de la rueda conductora hace avanzar a la rueda conducida en el valor de un diente, tal como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3-28**  
**Transmisión sencilla de engranajes**



**Fuente:** HEINRICH GERLING; Alrededor de las máquinas-herramientas; pág.13.  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Donde;

$i$  = relación de transmisión

$n_1$  = nº rev. rueda conductora

$z_1$  = nº dientes rueda conductora

$$n_2 = n^\circ \text{ rev. rueda conducida}$$

$$z_2 = n^\circ \text{ dientes rueda conducida}$$

Por tanto;

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (3.53.)$$

$$i = \frac{n^\circ \text{ rev. rueda conductora}}{n^\circ \text{ rev. rueda conducida}} = \frac{n^\circ \text{ dientes rueda conducida}}{n^\circ \text{ dientes rueda conductora}}$$

Se necesita generar 1 kW de potencia, por lo que inicialmente se ha medido la velocidad de la turbina, conociéndose este dato, se dispone de un engrane de 60 dientes, que va en el mismo eje de la turbina para así generar las revoluciones necesarias para generar la potencia requerida, así:

Donde:

$$n_1 = 50 \text{ rpm}$$

$$z_1 = 60 \text{ dientes}$$

$$z_2 = 15 \text{ dientes}$$

$$n_2 = ?$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$\frac{50 \text{ rpm}}{n_2} = \frac{15}{60}$$

$$n_2 = \frac{60 * 50 \text{ rpm}}{15}$$

$$n_2 = 200 \text{ rpm}$$

Las revoluciones obtenidas en el engrane de 15 dientes es de 200 rpm.

El mismo eje que sujeta al engrane de 15 dientes, se ha colocado uno de 60 dientes, por lo tanto se calcula la velocidad con la misma fórmula, tal como se indica a continuación:

Donde:

$$n_2 = 200 \text{ rpm}$$

$$z_2 = 60 \text{ dientes}$$

$$z_3 = 15 \text{ dientes}$$

$$n_3 = ?$$

$$\frac{n_2}{n_3} = \frac{z_3}{z_2}$$

$$\frac{200 \text{ rpm}}{n_3} = \frac{15}{60}$$

$$n_3 = \frac{200 \text{ rpm} * 60}{15}$$

$$n_3 = 800 \text{ rpm}$$

Se obtiene una velocidad de 800 rpm a la salida del tren de engranajes, las mismas que ingresan al multiplicador de velocidad.

### 3.9.1 Cálculo de la velocidad del engranaje

Datos:

$$P = 1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1,3 \text{ Hp}$$

$$T = 190,98 \text{ N} - m$$

$$\omega = 50 \text{ rpm} = 5,24 \text{ rad/s}$$

$$F_s = 1,5 = \text{factor de seguridad}$$

$$D_{Hp} = Hp * F_s \tag{3.54.}$$

$$D_{Hp} = 1,3 * 1,5$$

$$D_{Hp} = 1,95 \text{ Hp}$$

$$v = \omega * R \quad (3.55.)$$

$$v = 5,24 \text{ rad/s} * 0,045 \text{ m}$$

$$v = 0,236 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 46,41 \text{ fpm}$$

Por tanto se obtiene 46,41 pies por minuto.

### 3.9.2 Determinación del paso aproximado

Donde:

$P_D =$  Paso diametral

$S =$  Estrés estático seguro por pulgada

$$P_D = \sqrt{\frac{3,1416}{D_{Hp}} * \frac{S}{27,5} * \frac{3}{(1200+v)} * v * 0,25} \quad (3.56.)$$

$$P_D = \sqrt{\frac{3,1416}{1,95} * \frac{25000}{27,5} * \frac{3}{(1200 + 46,41)} * 46,41 * 0,25}$$

$$P_D = 6,4$$

Se asume un  $P_D = 6$ .

$D_P =$  Diámetro de paso

$$D_P = \frac{N}{P_D} \quad (3.57.)$$

$$D_P = \frac{60}{6}$$

$$D_P = 10$$

### 3.9.3 Cálculo de la carga que soporta el diente

Para calcular la carga que soporta el diente, se asume el ancho del diente de  $f = 25$  mm, mediante la siguiente fórmula:

Donde:

$Y =$  Factor de fuerza basado en el ángulo de presión y el diente

$$L = \frac{S * Y * F}{P_D} * \frac{600}{600 + V} \quad (3.58.)$$

$$L = \frac{25000 * 0,421 * 0,98}{6} * \frac{600}{600 + 46,41}$$

$$L = 1595,6 \text{ lbs}$$

Se obtiene una carga de 1595,6 lbs.

### 3.9.4 Cálculo del coeficiente de seguridad

Antes de realizar el cálculo del coeficiente de seguridad se debe conocer la fuerza máxima que soporta el diente del engranaje con la siguiente fórmula:

$$P = T * \omega$$

$$P = F * r * \omega$$

$$F_{\text{máx}} = \frac{P}{r * \omega}$$

$$F_{\text{máx}} = \frac{1000 \text{ W}}{0,045 * 5,24 \text{ rad/s}}$$

$$F_{\text{máx}} = 4240,88 \text{ N} = 952 \text{ lbs}$$

Con la fuerza obtenida de 952 lbs, se calcula el coeficiente de seguridad:

$L =$  carga a – soportada

$F_{\text{máx}} = \text{carga } g - \text{calculada}$

$$\eta = \frac{L}{F_{\text{máx}}} \quad (3.59.)$$

$$\eta = \frac{1595,6 \text{ lbs}}{952 \text{ lbs}}$$

$$\eta = 1,68$$

Se obtiene un factor de seguridad de 1,68 por lo que queda comprobado que el diente si va a resistir a la carga máxima.

### 3.10 Diseño y selección del Sistema de Transmisión Tren de Engranajes y Multiplicador de velocidad

Se determina la potencia de diseño mediante la relación de la potencia del generador, el factor de servicio y el tipo de carga que soportara el sistema:

$$P_d = \frac{P_M * K_s}{K_h} \quad (3.60.)$$

Donde:

$P_d = \text{Potencia de diseño}$

$P_M = \text{Potencia del elemento motriz (generador)}$

$K_s = \text{Factor de servicio para cadena de rodillos}$

$K_h = \text{Factor de múltiples hileras}$

**Tabla 3-13**  
**Número de hileras de la cadena por factor de múltiples hileras**

Número de hileras de la cadena h	Factor de múltiples hileras Kh
1	1
2	1,7
3	2,5
4	3,3

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/80549772/Transmision-Por-Cadenas>  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011

Se asume una cadena de una hilera  $K_h=1$  y un factor de servicio de  $K_s=1,3$  para una potencia a transmitir de 1 kW o 1,34 hp, es decir para que soporte una carga del 30%:

$$P_d = \frac{P_M * K_s}{K_h}$$

$$P_d = \frac{1,34 \text{ Hp} * 1,3}{1}$$

$$P_d = 1,74 \text{ Hp}$$

### 3.10.1 Selección del paso de la cadena y el tamaño de la sprocket pequeña

Una vez conocida la potencia de diseño y las revoluciones del eje motriz de 800 rpm, se selecciona el número de dientes del sprocket menor que según la tabla la rueda dentada es de Tipo B y paso de 1/2" o paso 40 de 12 dientes. (ANEXO L).

### 3.10.2 Selección del sprocket mayor

Con el número de dientes conocido de la rueda dentada menor y la relación de transmisión se estima el número de dientes de la sprocket mayor, con la fórmula:

Donde:

$Z_2$  = número de dientes de sprocket mayor

$Z_1$  = número de dientes de sprocket menor

$i$  = relación de transmisión

$$Z_2 = i * Z_1$$

$$Z_2 = 1 * 12 \text{ dientes}$$

$$Z_2 = 12 \text{ dientes}$$

### 3.10.3 Cálculo del número de eslabones y la longitud de la cadena

#### 3.10.3.1 Cálculo del número de eslabones de la cadena

Se determina el número de eslabones de la cadena empleando la siguiente ecuación:

$$N_e = 2C + \frac{Z_2 + Z_1}{2} + \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{4C\pi^2} \quad (3.61.)$$

Donde:

$N_e$  = Número de eslabones de la cadena

$C$  = Distancia entre centros de los ejes expresado en pasos = 250 mm = 22 pasos

$Z_2$  y  $Z_1$  = número de dientes de la sprocket mayor y menor, respectivamente.

Por tanto se tiene:

$$N_e = 2C + \frac{Z_2 + Z_1}{2} + \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{2C\pi^2}$$

$$N_e = 2 * 22 + \frac{12 + 12}{2} + \frac{(12 - 12)^2}{2 * 22 * \pi^2}$$

$$N_e = 56 \text{ eslabones}$$

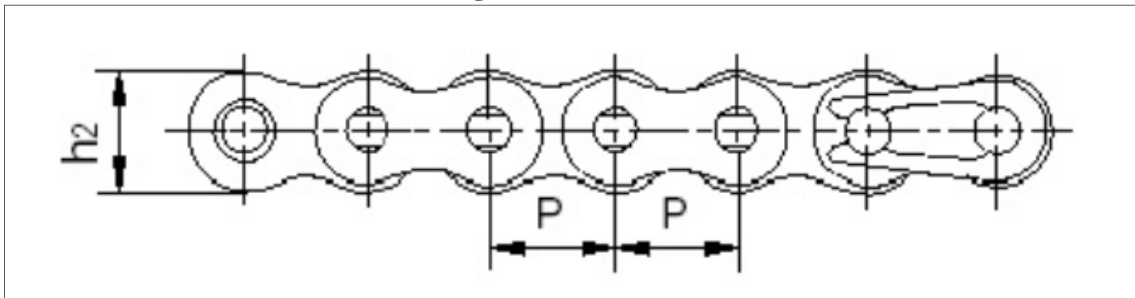
Por tanto se obtiene que el número de eslabones para la cadena debe ser de 56 eslabones.



### 3.10.3.2 Cálculo de la longitud de la cadena

Para realizar el cálculo de la longitud de la cadena se debe considerar que un paso equivale al largo de un eslabón, tal como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3-29**  
**Longitud de la cadena**



**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/80549772/Transmision-Par-Cadenas>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011

Se calcula la longitud con la siguiente ecuación:

$$L_C = N_e * P \quad (3.62.)$$

Donde:

$N_e$  = Número de eslabones de la cadena

$L_C$  = Longitud de la cadena

$P$  = Paso de la cadena

$$L_C = N_e * P$$

$$L_C = 56 * 12,7 \text{ mm}$$

$$L_C = 711,2 \text{ mm} \cong 0,71 \text{ m}$$

### 3.10.3.3 Cálculo de la velocidad media de la cadena

La velocidad media de la cadena se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = Z_1 * \eta_1 * P \quad (3.63.)$$

Donde:

$Z_1 =$  Número de dientes de la sprocket menor

$\eta_1 =$  Velocidad de la sprocket menor = 800 rev/min = 13,33 rev/s

$P =$  Paso

$$V = Z_1 * \eta_1 * P$$

$$V = 12 * 13,33 * 0,5$$

$$V = 79,98 \frac{plg}{s} \cong 80 \text{ plg/s}$$

### 3.10.3.4 Cálculo de la fuerza periférica

La fuerza periférica se obtiene con la potencia y la velocidad media de la cadena:

$$F = 66000 * \frac{P_M * K_S}{V} \quad (3.64.)$$

Donde:

$F =$  Fuerza periférica en lbf

$P_M =$  Potencia del elemento motriz en Hp

$V =$  Velocidad periférica en plg/s

$$F = 66000 * \frac{P_M * K_S}{V}$$

$$F = 66000 * \frac{1,34 \text{ Hp} * 1,3}{80 \text{ plg/s}}$$

$$F = 1437,15 \text{ lbf}$$

Con una fuerza de 1437,15lbf se tiene una fuerza de tensión de 3700 lbf para un paso de cadena de 1/2”.

**Figura 3-30**  
**Estimación de la fuerza de tensión de la cadena por hilera**

Paso de la cadena [in]	Fuerza de tensión de la cadena [lbf]
¼	925
½	3700
5/8	6100
1	14500
1 ½	34000
2	58000
2 ½	95000
3	135000

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/80549772/Transmision-Por-Cadenas>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011

El factor de seguridad para un sistema de transmisión por cadena se estima con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\text{Fuerza de tensión}}{K_s * F} \quad (3.65.)$$

$$N = \frac{3700 \text{ lbf}}{1,3 * 1437,15 \text{ lbf}}$$

$$N = 1,98$$

### 3.11 Selección del multiplicador de velocidad

Se selecciona el multiplicador mediante la ayuda de la siguiente fórmula:

Donde:

$$P = \text{Potencia a transmitir (W)}$$

$$\omega = \text{Velocidad angular (rad/seg)} = 800 \text{ rpm} = 83,75 \text{ rad/seg}$$

$$T = \text{Torque (N.m)}$$

$$P = T * \omega$$

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{1000 \text{ W}}{83,75 \text{ rad/s}}$$

$$T = 11,94 \text{ N.m} \sim 12 \text{ Nm}$$

Por tanto el Torque que necesita el multiplicador es de 12 Nm, para este proyecto se determina que el reductor va a tener un factor de servicio (sf) de 1,00 ya que va a trabajar durante 8 horas diarias en servicio continuo. **(ANEXO M).**

### 3.12 Diseño y Selección de acoples

Para seleccionar el acople se parte de la potencia a transmitir y el torque encontrado para el multiplicador, por tanto se tiene que:

$$P = 1000 \text{ W} = 1,34 \text{ Hp}$$

$$T = 12 \text{ Nm} = 106,22 \text{ lb} * \text{plg}$$

Se selecciona del catalogo la potencia a transmitir a 3600 rpm. **(ANEXO N).**

$$\eta = \frac{4,7 \text{ Hp}}{1,34 \text{ Hp}}$$

$$\eta = 3,5$$

### 3.13 Cálculo y selección del generador

La potencia hidráulica que se puede generar con el caudal y altura es de 1.75 kW.

Para calcular el torque del generador se emplea la ecuación:

$$P_g = T * w$$

Donde:

$$P_g = \text{Potencia del generador (W)}$$

$$T = \text{Torque (Nm)}$$

$$w = \text{Velocidad angular(1/s)}$$

$$T = \frac{P_g}{w}$$

$$T = \frac{1000 \text{ W}}{3600 * \frac{2}{60} * \pi}$$

$$T = \frac{1000 \text{ W}}{376,99/\text{seg}}$$

$$\mathbf{T = 3,97 Nm}$$

El torque del generador debe ser de 3,97 Nm.

### 3.14 Selección del Tipo de Generador

Luego de haber realizado el diseño y construcción de la turbina, se debe seleccionar adecuadamente el generador, considerando dos aspectos; la potencia requerida y el uso de la energía, las mismas que definirán el tipo de generación, la fase y el tipo de regulación.

La potencia demandada es menor a 5 kW, por tanto la generación es de corriente continua ya que la potencia requerida para la realización del proyecto es de 1 kW, de tipo monofásico que va a funcionar desconectado de la red.

Se debe definir la tensión de generación y la velocidad del generador, que influyen directamente en los costos de protecciones y conductores, así también la velocidad determina la frecuencia a la que se desea generar conjuntamente con el número de polos de la máquina, tal como se indica en la siguiente tabla.

**Tabla 3-14**  
**Tabla de Velocidades de Sincronismo para generadores multipolos**

N° de Polos	Frecuencia		N° de Polos	Frecuencia	
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	277
14	428	540	28	214	257

**Fuente:** <http://telergia.blogs.com/>

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011

A continuación se presenta una tabla que muestra los rangos de potencia en los que se recomienda utilizar cada tipo de generador, la fase y tipo de regulación para Pico y Micro Centrales Hidroeléctricas.

**Tabla 3-15**  
**Resumen de Características de Generadores**

Tipo de generador	Tipo generación	Rango de potencia	Tipo de regulación	Comentario
Alternador	C.C. (Carga de Baterías)	100 W – 2 kW	Mediante un controlador específico para sistemas de carga de baterías.	Se refiere al alternador de un automóvil que se emplea como generador para cargar baterías.
Sincrónico	C.A. - 1Ø	5 – 10 kW	Mediante controlador electrónico de carga (ELC).	
	C.A. - 3Ø	10 – 100 kW		
Motor Inducción como Generador	C.A. - 1Ø	2 – 15 kW	Con ELC. Pero más recomendable usar controlador para generador de inducción (IGC).	Se refiere a la máquina asíncrona que tiene la finalidad de ser usada como motor pero que se emplea como generador.
Asíncrono	C.A. - 1Ø	1 – 10 kW		Se refiere a la máquina asíncrona que tiene la finalidad de ser usada específicamente como generador.
	C.A. - 3Ø	10 – 100 kW		

**Fuente:** MARIN UREÑA JUAN MIGUEL; Estudio de Costos de Instalación de sistema pico y micro hidroeléctrico (100 W a 100 kW); IE-0502 Proyecto Eléctrico; Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Eléctrica; Ciudad Universitaria Rodrigo Facio; 2007, pág. 48.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

Considerando los aspectos anteriores para la selección del generador, para cubrir la demanda de 1 kW, se ha seleccionado un generador monofásico de 1.5 kW de 120 V, con un esquema de generación de corriente continua, el generador es de 2 polos para minimizar costos y tamaño de acuerdo a la demanda, con una velocidad de 3600 rpm a 60 Hz, en el presente caso es necesario optar por la utilización de un sistema de transmisión que modifique la velocidad de la turbina usada para el proyecto. ANEXO O.

### 3.15 Selección del sistema de Puesta a Tierra

El sistema de puestas a tierra, es una parte principal de la Picocentral para proteger al sistema de sobretensiones, garantizar la protección de equipos y personal y fijar un potencial de referencia a los elementos de la instalación, de esta manera se logra:

- Limitar la diferencia de potencial.

- Posibilitar la detección de defectos a tierra.
- Asegurar la actuación y coordinación de las protecciones.
- Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

En la instalación de la puesta a tierra, es importante también analizar los electrodos, es decir; la clase, el tipo de electrodo, las condiciones de derivación de la corriente a tierra, la conductividad del terreno, la naturaleza de la corriente eléctrica que se deriva a la tierra y en ciertos casos la heterogeneidad del terreno. Además del conductor y conector a utilizarse.

Las conexiones que van bajo el nivel del suelo en puestas a tierra, deben ser realizadas con un conector certificado para enterramiento directo conforme a la guía norma IECC 837 o la norma NTC 2206.

Para efectos del reglamento los electrodos de puesta a tierra deben cumplir con las normas IEC 60364-5-54 BS 7430, AS 1768, UL 467, UNESA 6501F y NTC 2050. ANEXO P.

Además los electrodos de puesta a tierra deben garantizar que la resistencia a la corrosión sea de 15 años mínima a partir de la instalación según norma ASTM G 1 y ASTM G 162, en la siguiente figura se muestran los requisitos que deben tener los electrodos a ser usados en un sistema de puesta a tierra.

Para realizar un buen diseño de puesta a tierra se debe garantizar el control de las tensiones en caso de que ocurran una falla a tierra no superen las máximas permitidas, por lo que se debe tomar como referencia los valores máximos de resistencia de puesta a tierra, los mismos que están adoptados a normas: IEC60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552, por seguridad de diseño el sistema de puesta a tierra se ha establecido un valor de resistencia de puesta a tierra de 25  $\Omega$ . ANEXO Q.



Con el fin de minimizar los riesgos, se ha optado emplear una varilla de puesta a tierra de cobre por su buenas características de tener un 97% de conductividad, el conductor debe ser continuo y debe conectarse rígidamente al electrodo de 2,4 m de longitud mínima con un diámetro de 5/8 de pulgadas, el mismo que es enterrado perpendicularmente en el terreno.

**Tabla 3-16**  
**Constantes de materiales.**

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (%)	T <sub>m</sub> (°C)	K <sub>F</sub>
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica.	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conector mecánico.	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,64
Aluminio grado EC	61	657	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	652	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	654	12,47
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	657	17,2
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero recubierta en acero inoxidable	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de cinc (galvanizado)	8,5	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

**Fuente:** [http://www.sic.gov.co/archivo\\_descarga.php?idcategoria=18164](http://www.sic.gov.co/archivo_descarga.php?idcategoria=18164), pág. 63.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2011.

El electrodo del sistema de puesta a tierra va a ser colocado en pica vertical, por lo que para estimar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno se va a emplear la siguiente fórmula: ANEXO R.

$$R = \frac{\rho}{l} \quad (3.68.)$$

Donde;

$\rho$  = resistividad del terreno ( $\Omega m$ ) ANEXO S.

$l$  = longitud de la pica o del conductor (m)

El terreno al ser de tipo arenoso, húmedo tiene una resistividad de  $200 \Omega\text{m}$  con una varilla de 2,4 m de longitud; la resistividad será de  $83.33 \Omega$  para lo que se debe aplicar dos soluciones salinas para lograr una reducción porcentual del 79 al 85% por tanto se obtiene una resistencia de  $17.49 \Omega$ , cumpliéndose con la normativa de ser menor a  $25 \Omega$ .<sup>20</sup>

El conductor a tierra debe cumplir la norma ANSI/IEEE 80, y deberá ser un conductor de cobre desnudo de calibre 2 AWG para tener mayor contacto con el suelo y mejor área de disipación de falla. ANEXO T.

---

<sup>20</sup>Seminario de Diseño y Análisis de Puesta a tierra en sistemas de Distribución, UTE.

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN

#### 4.1 Construcción Civil

Se selecciona el lugar en donde se va a ubicar el prototipo y se procede a adecuar el terreno mediante la ayuda de palas y picos ya que es un terreno arenoso y húmedo de modo que se elimine la capa de tierra vegetal superficial, para dejar el terreno nivelado ya que sobre este cimiento va a descansar el prototipo, el cimiento va a ser de concreto reforzado con un orificio en la parte central que cumple la función de evacuar el agua que sale de la voluta, la misma que se dirige a una desembocadura de río.

**Figura 4-1**  
**Limpieza del terreno**



**Fuente:** Miravalle 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Se realiza una perforación de 6 pulgadas en el tanque de agua, se coloca un neplo y se fija con cemento de construcción, a partir de esta unión se acoplan dos tuberías de presión de 6 pulgadas de 6 metros con pegamento para tuberías Polipega.

**Figura 4-2**  
**Instalación de neplo en el tanque**



**Fuente:** Miravalle 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Figura 4-3**  
**Montaje de Tubería en el tanque de agua**



**Fuente:** Miravalle 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Se coloca una reducción para acoplar la tubería de 6 a 4 pulgadas y se funden pilares de cemento que sirven de soporte para las tuberías y al final se coloca una válvula de 4”.

**Figura 4-4**  
**Instalación de reducción de tubería**



**Fuente:** Miravalle 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Figura 4-5**  
**Montaje de Tuberías**



**Fuente:** Miravalle 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.



## 4.2 Construcción Mecánica

### 4.2.1 Construcción de la Voluta

En base a los resultados obtenidos del protocolo de pruebas, se proyecta a construir a gran escala con las dimensiones que se indica en el capítulo de Diseño, siendo el material seleccionado de acero inoxidable de 2 mm de espesor se procede a realizar el corte y soldadura de la plancha de acero.

**Figura 4-6**  
**Base de la Voluta**



**Fuente:** Taller de Soldadura

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Figura 4-7**  
**Corte de la base de Voluta**



**Fuente:** Taller de Soldadura

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Para obtener la forma deseada se procede a cortar la base mediante soldadura de arco metálico y gas inerte MIG, tal como se indica en la siguiente figura:

**Figura 4-8**  
**Corte completo de la base de Voluta**



**Fuente:** Taller de Soldadura

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Con soldadura MIG y microalambre sólido para acero al bajo carbono del tipo ER70S6 de 0.9 mm de diámetro (**ANEXO U**), se procede a soldar las paredes a la base de la voluta tal y como se indica en el diseño, asegurándose que permanezcan fijas todas las partes soldadas y comprobando que no se filtre el agua en ninguna sección.

Se utiliza este tipo de alambre por las propiedades de resistencia a la tensión de 480 MPa.

**Figura 4-9**  
**Soldadura de la base y las paredes de la Voluta**



**Fuente:** Taller de Soldadura

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.



**Figura 4-10**  
**Soldadura de la base y las paredes de la Voluta**



**Fuente:** Taller de Soldadura  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Luego de armar la estructura se procede a pulir las asperezas y se realiza un canal para asentar la tubería de 4" para luego revestir toda la estructura con pintura epóxica de color rojo óxido para protegerlo de la corrosión.

**Figura 4-11**  
**Soldadura de la base y las paredes de la Voluta**



**Fuente:** Taller de Soldadura  
**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 4.3 Construcción de la Turbina

Para la construcción de la turbina se ha utilizado fundición de aluminio, por ser un material ligero, altamente resistente a la corrosión, por la tenacidad y por costos, compuesto por cuatro álabes curvados en forma circular, técnicamente dimensionados de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo de diseño.

#### 4.3.1 Construcción de los álabes

Para la fabricación de los álabes se elabora una maqueta en madera que sirve de modelo para la fundición de acuerdo a los planos, considerando las tolerancias por contracción del material fundido.

**Figura 4-12**  
**Modelo de álabe de madera**



**Fuente:** Taller de Fundición Mantilla

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Se prepara el molde de arena consolidada por una apisonadora manual y se coloca el álabe modelo para que el molde tome la forma de la pieza a fundir, luego se extrae el modelo, se vierte la colada y se destruye el molde de arena cuando la pieza se solidifica. Lo mismo se realiza para la cruceta en la que se van a unir los álabes.

**Figura 4-13**  
**Preparación del molde para la fundición de los álabes**



**Fuente:** Taller de Fundición Mantilla

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Los cuatro álabes se unen mediante pernos, tomando en cuenta la correcta posición de los álabes en dirección de la entrada de flujo de agua.

**Figura 4-14**  
**Montaje de los álabes**



**Fuente:** Taller de Fundición Mantilla

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

#### **4.4 Construcción y montaje del eje de la Turbina**

Con el eje de acero AISI 4140 de 25 mm, previamente comprobado que no falle a la fatiga y cumpla con el factor de seguridad permitido, se maquina el eje motriz en el

torno para realizar el chavetero para acoplar el tren de engranajes y en el otro extremo del eje se coloca la turbina.

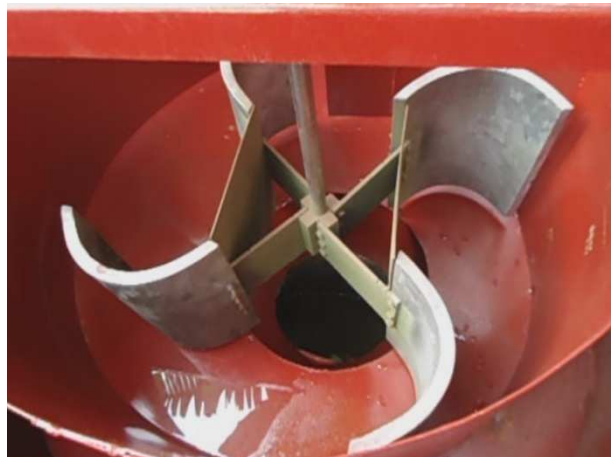
**Figura 4-15**  
**Construcción del eje**



**Fuente:** Taller Mecánico Cárdenas.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Figura 4-16**  
**Montaje del eje y la turbina**



**Fuente:** Taller de Metalmecánica Coto.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

## **4.5 Montaje de Rodamientos**

Se montan los rodamientos rígidos de bolas de una hilera 6005 SE al eje de 25 mm de diámetro con el ajuste del eje especificado y de los alojamientos con las tolerancias básicas según normas DIN ISO 286, considerando las recomendaciones de mecanizado y la rugosidad de los asientos de acuerdo a las especificaciones indicadas en el catalogo FAG de Rodamientos rígido de bolas.

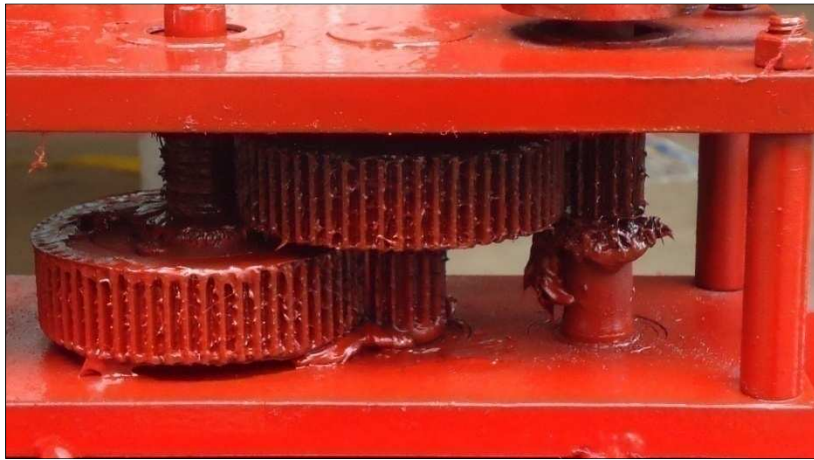
## **4.6 Montaje del Sistema de Transmisión**

### **4.6.1 Montaje del Sistema de Engranajes**

Con la velocidad de giro conocida de la turbina de 50 rpm y la velocidad de giro del generador de 3600 rpm, se procede a construir un sistema de transmisión mediante engranajes para transmitir el movimiento, el engranaje que va conectado al eje de la turbina es de mayor diámetro debido a que tiene que aumentar las rpm del sistema. La relación de transmisión es de 1:16 por lo que el tren de engranajes consta de un engranaje de 60 dientes que transmite movimiento a un engranaje de 15 dientes que se encuentra en el mismo eje un engranaje de 60 dientes que transmite movimiento a un último engranaje de 15 dientes obteniendo una velocidad de 800 rpm a la salida del tren de engranajes.

Se maquinan los engranajes requeridos en una fresadora universal tal como se indica en el capítulo de diseño.

**Figura 4-17**  
**Tren de Engranajes**



**Fuente:** Taller de Metalmecánica Coto.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

#### **4.6.2 Montaje de la cadena y las ruedas dentadas**

Se maquina los agujeros de las catalinas según los diámetros de los ejes, en donde la catalina conductora de 12 dientes se acopla en el eje de la salida del tren de engranajes, y la catalina conducida de 12 dientes se acopla en el eje motriz del multiplicador, se instala la cadena de rodillos paso 40 de 56 eslabones, la relación de transmisión es 1:1.

**Figura 4-18**  
**Instalación y montaje de las catalinas y la cadena**



**Fuente:** Metalmecánica Coto.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.



#### 4.6.3 Montaje del Multiplicador

Se instala el multiplicador de velocidad relación 1:5, que recibe 800 rpm en la entrada y va a transmitir al generador 3600 rpm.

#### 4.6.4 Montaje del Acople y generador

Se alinea el eje del multiplicador y del generador y se instala el acople LOVEJOY tipo ML075 seleccionado en el capítulo de diseño con la potencia a transmitir de 3600 rpm y un torque de 12 Nm.

**Figura 4-19**  
**Montaje del acople**



**Fuente:** Metalmecánica Coto.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

#### 4.6.5 Tablero y Protecciones

Se monta el generador seleccionado el mismo que tiene un tablero con sus protecciones, a la cual se prepara el terreno y se instala una varilla de puesta a tierra de 2,4 m de longitud con un conductor de cobre desnudo de calibre 2 AWG.

**Figura 4-20**  
**Tablero del generador**



**Fuente:** Metalmecánica Coto.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.



## CAPÍTULO V

### PRUEBAS DE GENERACIÓN

#### 5.1 Generación con diferentes tipos de carga

Para determinar los valores generados se realizan pruebas con elementos pasivos conocidos como cargas, ya que por medio de estas se consume energía eléctrica dependiendo de la intensidad de corriente que circule por los mismos, por lo que se realiza pruebas con cargas resistivas, inductivas, capacitivas y combinadas, mediante la utilización de un analizador de carga que nos permite medir y realizar trabajo de diagnóstico y calidad de potencia, medir el voltaje, corriente y frecuencia.(ANEXO U).

##### 5.1.1 Generación con cargas resistivas

En las pruebas para cargas resistivas se emplea 4 focos incandescentes de 60 W, los cuales van a convertir la energía en luz y calor, para realizar las pruebas se va conectando de uno en uno los focos y se mide los valores de corriente, voltaje y frecuencia mediante la utilización de una pinza amperimétrica.

**Figura 5-1**  
**Conexión de cargas resistivas**



**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Se tabulan los datos obtenidos de las pruebas realizadas con cargas resistivas, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5-1**  
**Generación con cargas resistivas**

Pruebas realizadas	Potencia de focos (W)	Voltaje (V)	Corriente (I)	Frecuencia (Hz)
1	60	105,4	0,55	57,3
2	120	104,7	1,13	57,1
3	180	103,2	1,71	56,8
4	240	100,8	2,36	56,6

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 5.1.2 Generación con cargas inductivas

Se realizan las pruebas inductivas empleando una extractora de jugos de 250 W, ya que su característica principal es de consumir la energía que se va a generar y luego se mide los valores de voltaje, corriente y frecuencia, para lo cual se enciende el aparato y luego se va utilizando gradualmente.

**Figura 5-2**  
**Conexión de carga inductiva**



**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

A continuación se muestran los valores medidos de las pruebas realizadas con carga inductiva:

**Tabla 5-2**  
**Generación con carga inductiva**

Pruebas realizadas	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (I)	Frecuencia (Hz)
1	50	105.6	0.5	57.5
2	100	105.1	1.04	56.8
3	150	104.8	1.46	56.1
4	200	104.3	1.92	55.7
5	250	103.9	2.3	54.9

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 5.1.3 Generación con cargas capacitivas

En las pruebas para cargas capacitivas se emplea capacitores de 20  $\mu\text{F}$ , los mismos que van a almacenar energía, para realizar las pruebas capacitivas se va conectando los capacitores y se mide los valores de corriente, voltaje y frecuencia respectivamente.

**Figura 5-3**  
**Conexión de carga capacitiva**



**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Tabla 5-3**  
**Generación con cargas capacitivas**

<b>Pruebas realizadas</b>	<b>Potencia (μF)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (I)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
<b>1</b>	<b>20</b>	<b>104.7</b>	<b>0.77</b>	<b>57.2</b>
<b>2</b>	<b>40</b>	<b>105.2</b>	<b>1.56</b>	<b>57.5</b>
<b>3</b>	<b>60</b>	<b>105.4</b>	<b>2.37</b>	<b>57.6</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

## 5.2 Generación en vacío

Esta prueba se realiza sin cargas para medir los valores de generación durante una hora, se miden por lapsos de 15 minutos, por tanto se tienen los siguientes datos:

**Tabla 5-4**  
**Generación en Vacío**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (I)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
<b>15</b>	<b>109,9</b>	<b>0</b>	<b>58.01</b>
<b>30</b>	<b>109,8</b>	<b>0</b>	<b>57.8</b>
<b>45</b>	<b>109,6</b>	<b>0</b>	<b>57.4</b>
<b>60</b>	<b>109,5</b>	<b>0</b>	<b>57.2</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

El analizador de carga muestra el máximo valor alcanzado de voltaje del generador, como se indica en la siguiente figura:

**Tabla 5-5**  
**Valor máximo de voltaje alcanzado en vacío**



**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 5.3 Generación a plena carga

En la práctica se generan 250 W, por tanto en las anteriores pruebas se ha generado a plena carga.

## CAPÍTULO VI

### MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

#### 6.1 Componentes principales del Sistema de Generación

La operación y mantenimiento de una Picocentral son actividades que deben ser cuidadosamente consideradas, para que se pueda tomar acciones preventivas de modo que una operación adecuada y un programa de mantenimiento bien planificado pueda alargar la vida útil de los equipos y componentes principales de la Picocentral como:

- Tanque de agua
- Tuberías
- Válvulas
- Voluta
- Turbina
- Generador
- Ejes
- Elementos del tablero de control
- Elementos de protección
- Elementos de transmisión
- Base de sujeción del sistema

Para la puesta en marcha de la Picocentral se debe tomar en cuenta las siguientes actividades periódicas:

- El nivel de agua de la tubería de presión debe estar chequeado de tal forma que se garantice el caudal de diseño.
- El filtro de malla de la tubería debe estar colocada correctamente para impedir la entrada de objetos e impurezas que pueden provocar daños en la tubería.

- Todas las partes del sistema de generación deben estar debidamente sujetadas y ajustadas para evitar fallas mecánicas.
- Los equipos electromecánicos deben estar libres de cualquier objeto extraño que no pertenezca al sistema.

## 6.2 Diagnóstico y prevención de fallas

Para diagnosticar los puntos futuros de fallas de los equipos que conforma la Picocentral, se debe usar técnicas de análisis de tal forma que se pueda tomar una acción predictiva dependiendo de la magnitud de la falla para corregir los problemas que afectan al sistema de generación.

Para diagnosticar las causas posibles de fallas que se puedan producir y las alternativas de solución, se presenta una tabla de ayuda a continuación:

### 6.2.1 Diagnóstico y prevención de fallas en la Turbina

**Tabla 6-1**  
**Diagnóstico y prevención de fallas en la Turbina**

FALLAS	CAUSAS	ACCIÓN A TOMAR
La Turbina no gira	Nivel de agua no alcanzado	Verificar el nivel de agua en el tanque de manera que este el adecuado para que se forme el vórtice de agua requerido.
La turbina gira pero pierde velocidad al conectarse la carga.	Obstáculo en el paso de agua.	Verificar y limpiar en caso de la existencia de impurezas en la entrada de agua.
	Escasa alimentación de agua.	Verificar la entrada de agua a la turbina.
La turbina gira opera con carga por	Tubería de descarga de agua obstruida.	Revisar y limpiar en caso de que sea necesario.

un tiempo y pierde velocidad o se detiene.	Insuficiente agua en el tanque.	Ajustar la carga de acuerdo a la disponibilidad de agua que se tiene.
No se forma el vórtice de agua de acuerdo a los requerimientos	Desalineación de la Turbina	Equilibrar y ajustar los pernos sin forzarlos al momento de apretar los álabes de la turbina en el eje de sujeción.
	Bajo nivel de agua.	Verificar la alimentación de agua a la turbina.
	Canal de salida de agua obstruido.	Verificar y limpiar impurezas a la salida de agua en la Voluta.

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

## 6.2.2 Diagnóstico y prevención de fallas en el Generador

**Tabla 6-2**  
**Diagnóstico y prevención de fallas en el Generador**

FALLAS	CAUSAS	ACCIÓN A TOMAR
Sobrecalentamiento en el generador	Bobinas se encuentran con impurezas o grasa	Revisar el aislamiento de la bobina y limpiar el bobinado con algún líquido dieléctrico o aire comprimido.
	Sobrecarga en el generador.	Verificar y en caso de ser necesario reducir la carga.
Vibración fuerte	Elementos de sujeción sueltos.	Comprobar los elementos y reajustarlos.
	Desequilibrio en la Turbina	Llamar al técnico.
Calentamiento de los rodamientos	Falta de lubricación	Comprobar la cantidad de lubricante
	Desgaste de los rodamientos	Verificar y si es necesario cambiar los rodamientos.



Ruido en los rodamientos	Poco lubricante	Revisar y aplicar la cantidad necesaria de lubricante para amortiguar el ruido.
	Exceso de lubricante	Verificar y retirar si es necesario
No existe voltaje cuando el generador se ha puesto en marcha	Bornera floja	Revisar y reajustar
	Baja velocidad de rotación	Verificar y corregir
	No identificada	Llamar al técnico especializado.
Nivel de voltaje demasiado bajo sin carga.	Velocidad de rotación baja	Verificar y corregir
	Contacto deficiente de las escobillas.	Chequear, limpiar, verificar y probar nuevamente.
Nivel de voltaje demasiado alto sin carga.	Velocidad demasiado alta	Verificar y corregir en caso de ser necesario.
Caída de voltaje al conectar la carga	Caída de velocidad al conectar la carga.	Verificar la válvula de ingreso de agua.
	Sobrecarga del generador	Verificar los instrumentos y reducir la carga.
	No identificada	Llamar al técnico especializado.
Variación continua del voltaje	Sistema de transmisión flojo	Verificar y ajustar en caso de que se requiera.
	Bornes flojos	Verificar y ajustar los bornes en caso de que se requiera.

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 6.2.3 Diagnóstico y prevención de fallas en el Tablero de Control

**Tabla 6-3**  
**Diagnóstico y prevención de fallas en el Tablero de Control**

<b>FALLAS</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>ACCIÓN A TOMAR</b>
Calentamiento del Interruptor al conectar la carga	Bornes Flojos	Ajustar y verificar que queden bien sujetos.
	Sobrecalentamiento del cableado eléctrico	Comprobar empalmes y en lo posible cambiar el calibre del conductor.
	Chispas en las conexiones	Apagar el equipo y verificar el ajuste de los bornes.
	Interruptor en mal estado	Reemplazar el interruptor.
No se puede conectar la carga principal	Falla en la puesta a tierra	Revisar y reparar
	Bornes Flojos	Verificar y ajustar
	Falla en el circuito del interruptor	Comprobar el circuito y reparar si así se requiere.
	Circuito cortocircuitado	Chequear el tramo del cableado eléctrico.

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### **6.3 Acciones de Mantenimiento en la Tubería de presión**

La tubería de presión que lleva el agua hacia la turbina de la picocentral debe estar en lo posible cubierta por los rayos solares ya que podría provocar un rápido envejecimiento y hacerla quebradiza ya que es de PVC, además se debe revisar las uniones y accesorios de la tubería y evitar las pérdidas de presión y roturas del propio material.

### **6.4 Acciones de Mantenimiento en Válvulas**

Las válvulas se debe comprobar que exista el cierre hermético cumpla con el trabajo de apertura y cierre continuo, nunca en estado medio ya que funcionan en dos posiciones sea abierta o cerrada, por lo que deben colocarse con teflón y un pegante para contrarrestar las fugas de agua, caso contrario se debe desmontar y colocarla cuando funcione correctamente.

### **6.5 Acciones de Mantenimiento en la Voluta**

La voluta debe ser chequeada en las uniones de soldadura de manera que se pueda evitar fugas de agua y posibles desgastes. Cuando se realice paradas debido a mantenimiento de la Picocentral se debe aprovechar para dar una limpieza y pintada de la estructura con un anticorrosivo para alargar la vida útil del material.

### **6.6 Acciones de Mantenimiento en Turbina**

Los álabes de la turbina se deben inspeccionar y verificar el ajuste de los pernos que lo sostienen al eje, en caso de ser necesario se debe apretarlos o cambiarlos si se encuentran deteriorados. Así también se debe observar que el desgaste de los álabes, por lo que es necesario realizar una inspección anual rigurosa para reprograma una reparación o cambio de las mismas.

## **6.7 Acciones de Mantenimiento en Generador**

Se debe realizar inspecciones frecuentes en el interior del generador para detectar impurezas, polvo, grasa o humedad y evitar de esta manera que puedan provocar daños en el bobinado. Además se debe inspeccionar el estado de los rodamientos y su respectiva lubricación, para realizar el cambio de los mismos de acuerdo a las especificaciones técnicas.

Es importante que se verifique que no existan ruidos en el generador y que no existan vibraciones en el sistema que acopla al generador y al sistema de transmisión.

## **6.8 Acciones de Mantenimiento en Rodamientos y componentes mecánicos**

Los rodamientos deben ser lubricados periódicamente cada tres meses para evitar el desgaste y la fatiga prematura y con ello garantizar suficientemente una larga vida de servicio, además de estar alerta ante la presencia de ruidos extraños o sobrecalentamientos en los rodamientos.

También se debe revisar que no exista desgaste y rotura en los dientes de los engranes y verificar que estén bien alineados para impedir pérdidas de transmisión de movimiento. Es importante revisar el desgaste de los pernos de los álabes de la turbina y lubricarlos ya que al estar en constante contacto con el agua se correen.

## **6.9 Acciones de Mantenimiento en Componentes eléctricos del Tablero**

Los elementos de control, protección, cableado, palancas de seccionamiento deben estar protegidos para evitar el contacto con las personas e impedir el ingreso de polvo, humedad y objetos extraños.

## 6.10 Herramientas y Repuestos para el mantenimiento preventivo

A más de la operación correcta se necesita un stock de repuestos de los elementos y herramientas útiles para un mantenimiento oportuno de tal forma que se pueda reemplazar a tiempo antes de que cause una falla a gran escala en el sistema de generación de la Picocentral.

Las herramientas necesarias que se deben tener son las siguientes:

- Juego de llaves hexagonales
- Juego de destornilladores
- Juego de alicates
- Llave de tubo
- Flexómetro
- Multímetro
- Martillo mecánico
- Graseo o aceitero
- Sierra de arco
- Comprobador de voltaje

Dentro de los repuestos que comúnmente van a ser reemplazados son:

- Rodamientos
- Breackers
- Fusibles
- Plastipega
- Papel lija fina
- Lubricante
- Pernos de sujeción de los álabes

Además de esto, se necesita de un plan de actividades de mantenimiento periódico, en el cual se debe monitorear las condiciones en que se encuentran los elementos y componentes de la Pico central para prevenir a tiempo los problemas que a futuro se presenten, tal como se detalla a continuación:

**Tabla 6-4**  
**Cuadro de Herramientas y Repuestos para el mantenimiento preventivo**

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE LA PICO CENTRAL</b>	<b>DIARIA</b>	<b>SEMANAL</b>	<b>MENSUAL</b>	<b>TRIMESTRAL</b>	<b>SEMESTRAL</b>	<b>ANUAL</b>
Revisión y sellado de fugas en la tubería	X					
Limpieza de malla	X					
Revisión del estado de las válvulas	X					
Verificación de fugas de agua en la Voluta	X					
Chequeo de vibraciones en la Turbina	X					
Verificación de ruidos en la Turbina	X					
Revisión del cableado eléctrico	X					
Revisión de la salida de agua	X					
Limpieza del tanque de agua		X				
Verificación de ruidos en el Generador		X				
Verificación de la lubricación de rodamientos		X				
Verificación de la lubricación de los engranes		X				
Verificación de la alineación de la Turbina		X				
Verificación del estado de los rodamientos		X				
Verificación del estado de los interruptores		X				
Chequeo de impurezas/polvo en el Generador			X			
Chequeo de la humedad en el Generador			X			
Inspección de conexiones eléctricas				X		

Lubricación de rodamientos				X		
Cambio de Rodamientos					X	
Inspección del estado de álabes de Turbina					X	
Medición de aislamiento del Generador						X
Limpieza de las bobinas del Generador						X

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

#### 7.1 Costos

El análisis económico para el presente proyecto social se ha utilizado para identificar los recursos y tomar las decisiones que mejoren la efectividad. Sin embargo es importante considerar los beneficios y costos sociales que van más allá de los monetarios o económicos, debido a que la implementación del proyecto contribuye a maximizar el bienestar de la comunidad.

Los contadores definen al costo como un recurso sacrificado o perdido para alcanzar un objetivo específico. Un costo (tal como materiales o publicidad) se mide por lo general como la cantidad monetaria que debe pagarse para adquirir bienes y servicios. Un costo real es el costo en el que se ha incurrido (un costo histórico o pasado), a diferencia de un costo presupuestado, que es un costo predicho o pronosticado (un costo futuro).<sup>21</sup>

Los costos directos son aquellos que son fácil y físicamente identificables con la unidad del producto. Los costos indirectos son aquellos que se deben primero acumular para luego asignarlos a la unidad pertinente.<sup>22</sup>

Por tanto, se ha considerado agrupar los costos en directos e indirectos para determinar la rentabilidad económica del Proyecto Hidroeléctrico.

---

<sup>21</sup>CHARLES T. HORNGREN, Srikant M. Datar, George Foster; Contabilidad de costos: un enfoque gerencial; Pearson Prentice Hall; décimo segunda edición; pág. 27.

<sup>22</sup>GONZALO SINISTERRA V., Luis E. Polanco I.; Contabilidad Administrativa; Ecoe Ediciones; 2007; Segunda edición; pág. 91.



**Tabla 7-1**  
**Costos Directos - Materiales de Obra Civil**

<b>COSTO DE MATERIALES DE LA OBRA CIVIL</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	
				<b>UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Tubería de 3" (6 m)	M	3	\$15.00	\$45.00
2	Tubería plástica de 4" (6m)	M	6	\$20.00	\$ 120.00
3	Platipega para tubería	U	1	\$4.25	\$ 4.25
4	Lija fina	U	1	\$2.00	\$2.00
5	Codos de 45 °	U	2	\$9.75	\$19.50
6	Codo de 90 ° de 4"	U	1	\$9.75	\$9.75
7	Uniones roscables	U	3	\$12.00	\$36.00
8	Reductor de 4 a 3"	U	1	\$20.00	\$ 20.00
9	Válvula de acero de 4"	U	1	\$40.00	\$40.00
10	Válvula plástica de 3"	U	1	\$35.00	\$35.00
11	Cemento	U	5	\$5.00	\$ 25.00
12	Arena	m <sup>2</sup>	6	\$6.00	\$36.00
13	Ripio	m <sup>2</sup>	6	\$6.00	\$ 36.00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$428.50</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Tabla 7-2**  
**Costos Directos – Materiales de Instalación Mecánica**

<b>COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN MECÁNICA</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	
				<b>UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Voluta de acero inoxidable	U	1	\$240.00	\$240.00
2	Eje de acero inoxidable	U	1	\$60.00	\$60.00
3	Turbina	U	1	\$200.00	\$200.00
4	Pernos de sujeción turbina al eje	U	12	\$0.10	\$1.20
5	Sistema de sujeción	U	1	\$250.00	\$250.00
6	Caja de Engranés	U	1	\$300.00	\$300.00
7	Maquinado de ejes para engranes	U	1	\$120.00	\$120.00
8	Base para generador	U	1	\$100.00	\$100.00
9	Pernos para base del generador	U	4	\$2.00	\$8.00
10	Rodamientos	U	12	\$4.00	\$48.00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$1,327.20</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

**Tabla 7-3**  
**Costos Directos - Materiales de Instalación Eléctrica**

<b>COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Generador de 1.5 kW	U	1	\$150.00	\$150.00
2	Elementos del Tablero	U	1	\$200.00	\$200.00
3	Puesta a Tierra	U	1	\$30.00	\$30.00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 380.00</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 7.1.1 Costos Directos del Proyecto

Los costos directos incluyen los materiales, mano de obra, herramientas, maquinarias involucradas en la construcción de la obra civil, mecánica y eléctrica que se ha detallado en los cuadros anteriores

**Tabla 7-4**  
**Costos Directos Totales**

<b>COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO</b>	
Costo de materiales de la Obra Civil	\$ 428.50
Costo de materiales para la instalación Mecánica	\$ 1,327.20
Costo de materiales para la instalación Eléctrica	\$ 380.00
Costo de Mano de Obra	\$ 150.00
Costo de Transporte	\$ 150.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2,435.70</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 7.1.2 Costos Indirectos del Proyecto

A continuación se presentan una tabla que muestra los costos indirectos.

**Tabla 7-5**  
**Costos Indirectos Totales**

<b>COSTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO</b>		
Costo de Ingeniería	\$	487.14
Imprevistos	\$	100.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>587.14</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 7.1.3 Costos Totales del Proyecto

Los costos totales se detallan a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 7-6**  
**Costos Totales**

<b>COSTO TOTAL DE LA PICOCENTRAL</b>		
Costo Directo	\$	2,435.70
Costo Indirecto	\$	587.14
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>3,022.84</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

## 7.2 Costo de la energía

Para determinar los ingresos anuales de la energía producida, se ha considerado que el tiempo de consumo diario del cliente es de 12 horas diarias durante un año, obteniéndose la producción anual de energía.

$$\text{Producción anual de energía} = 1kW * 12 \text{ h} * 365 \text{ días}$$

$$\text{Producción anual de energía} = 4380 \text{ (kW – h)}$$

Conociéndose la energía producida en un año y el costo promedio del kW-h en el país, se obtienen los ingresos anuales por el consumo de la energía, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 7-7**  
**Costo de la Energía**

<b>COSTO DE LA ENERGÍA</b>	
Producción anual de energía (kW-h)	4380
Costo promedio del kW-h en (\$ USD)	\$ 0.08
Ingresos por consumo anual de energía	<b>\$ 350.4</b>

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

### 7.3 TIR y VAN

Las técnicas de evaluación de inversión más utilizadas son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa de Rentabilidad Interna). Ambas son herramientas matemáticas que reducen una inversión a un flujo de fondos de entradas y salidas de dinero en momentos temporales distintos.<sup>23</sup>

Los beneficios esperados de una inversión realizada en cierto momento y conservada a lo largo de la vida útil de la Picocentral, radican esencialmente en los rendimientos futuros que se espera que la inversión produzca. A la diferencia entre los ingresos y los gastos, descontados ambos, al año cero en el que el promotor comienza la inversión, es lo que se conoce como valor actualizado neto (VAN).

La fórmula del VAN es:

$$VAN = -I_0 + \frac{1}{(1+i)^1} + \frac{1}{(1+i)^2} \frac{1}{(1+i)^3} + \dots \frac{1}{(1+i)^n} \quad (6.1)$$

<sup>23</sup>XAVIER BRUN, Oscar Elvira, Xavier Puig; Matemática financiera y estadística básica: Cálculos financieros y conocimientos estadísticos básicos; Bresca Editorial; 2008; pág. 47.

Donde:

VAN = Valor actual neto

$I_0$  = Inversión inicial.

$i$  = Tasa de interés

$n$  = Periodo o vida útil del proyecto.

Si el proyecto presenta un VAN negativo será rechazados, ya que los beneficios obtenidos a lo largo de la vida del proyecto, actualizados al presente, no llegaran a cubrir los costos de inversión, mientras que si el resultado del VAN es positivo el proyecto es viable.

Por tanto:

VAN>0 Rentable, produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida.

VAN<0 No Rentable, produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

VAN=0 Proyecto Rentable, no produciría ganancias ni pérdidas.

La Tasa Interna de Rentabilidad TIR es la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto VAN de una inversión sea igual a cero.

La fórmula del TIR es:

$$TIR = i_{inferior} + (i_{superior} - i_{inferior}) * \frac{VAN_{inferior}}{|VAN_{inferior}| + |VAN_{superior}|} \quad (6.2)$$

Donde:

TIR = Tasa interna de rentabilidad.

VAN = Valor actual neto

$i$  = Tasa de interés

Cuando el TIR es mayor que la tasa de interés, el rendimiento que el inversionista va a obtener realizando la inversión es mayor, por lo que es conveniente realizar la inversión, mientras que si el TIR es menor que la tasa de interés el proyecto debe rechazarse y finalmente si el TIR es igual a la tasa de interés, el inversionista es indiferente a realizar la inversión o no.

Por tanto:

TIR >  $i$  Realizar el Proyecto

TIR =  $i$  Se puede o no realizar el Proyecto

TIR <  $i$  No Realizar el Proyecto

La Picocentral va a tener una capacidad de instalada de 1 kW, con una producción anual de 4380 kW-h que generan \$350.40 dólares de ingresos anuales por la energía, se considera que el costo de operación y mantenimiento es un 4% de la inversión total y que la tarifa eléctrica va a conservarse constante.

Además se ha tomado la tasa de interés del 12%, en función de la inflación y considerando una vida útil de la Picocentral de 20 años.

**Tabla 7-8**  
**Ingresos y Egresos con TIR Y VAN**

<b>COSTO DE LA INVERSIÓN</b>		-\$2,435.70					
<b>GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>		\$97.43					
<b>VIDA ÚTIL DE LA PICOCENTRAL (AÑOS)</b>		20					
<b>AÑO</b>	<b>INGRESOS</b>	<b>EGRESOS</b>	<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>FACTOR DESCT.</b>	<b>VPN 12%</b>	<b>FACTOR DESCT.</b>	<b>VPN 28%</b>
0	0	-\$ 2,435.70	-\$ 2,435.70	1.00	-\$2,435.70	1.00	-\$2,435.70
1	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.89	\$225.87	0.78	\$ 197.63
2	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.80	\$201.67	0.61	\$ 154.40
3	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.71	\$180.06	0.48	\$ 120.63
4	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.64	\$160.77	0.37	\$ 94.24
5	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.57	\$143.54	0.29	\$ 73.62
6	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.51	\$128.16	0.23	\$ 57.52
7	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.45	\$114.43	0.18	\$ 44.94
8	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.40	\$102.17	0.14	\$ 35.11
9	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.36	\$ 91.22	0.11	\$ 27.43
10	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.32	\$ 81.45	0.08	\$ 21.43
11	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.29	\$ 72.72	0.07	\$ 16.74
12	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.26	\$ 64.93	0.05	\$ 13.08
13	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.23	\$ 57.97	0.04	\$ 10.22
14	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.20	\$ 51.76	0.03	\$ 7.98
15	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.18	\$ 46.22	0.02	\$ 6.24
16	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.16	\$ 41.27	0.02	\$ 4.87
17	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.15	\$ 36.84	0.02	\$ 3.81
18	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.13	\$ 32.90	0.01	\$ 2.97
19	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.12	\$ 29.37	0.01	\$ 2.32
20	\$350.40	\$97.43	\$252.97	0.10	\$ 26.22	0.01	\$ 1.81
<b>VAN 12%</b>					<b>-\$546.14</b>	<b>VAN28%</b>	<b>-\$1,538.71</b>
<b>TIR</b>					<b>8%</b>		

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Utilizando el criterio de las herramientas financieras, se obtiene un VAN de -\$546.14 y una TIR del 8%, que nos indica que el Proyecto no es rentable al tener una tasa inferior a la tasa de interés por lo cual no es viable realizar el proyecto de inversión, pero es importante acentuar la importancia de realizar este proyecto de beneficio, ya que

la finalidad es alcanzar la maximización del bienestar social, el crecimiento óptimo y la satisfacción de los intereses de la sociedad en su conjunto, es decir los beneficios intangibles que se producen y que no pueden ser cuantificables en valores monetarios.

#### 7.4 Relación Beneficio - Costo

El método del beneficio/costo compara el valor actual de los beneficios previstos con el de los costos actualizados. Este indicador financiero expresa la rentabilidad en términos relativos que resulta de dividir los ingresos netos actualizados entre los egresos.

La fórmula de la relación Beneficio / Costo es la siguiente:

$$R_c^b = \left[ \sum_{n=1}^n \frac{Y_i}{(1+i)^n} \right] / \left[ I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{C_i}{(1+i)^n} \right] \quad (6.3)$$

Donde:

$R_c^b$  = Relación Beneficio - Costo

Y= Ingresos del Proyecto

C= Costos del Proyecto

$I_0$  = Inversión inicial

i = Tasa de interés

n = Periodo o vida útil del proyecto.

Si el índice sale positivo o cero, indica que por cada dólar de costos se obtiene más de un dólar de beneficio, es decir el proyecto debe aceptarse. Si al contrario el índice es negativo este debe rechazarse ya que por cada dólar de costo se obtiene menos un dólar de beneficio, en donde los proyectos con una relación menor que la unidad deben ser automáticamente rechazados.

Por tanto:



Relación B/C > 0 Proyecto es rentable, se recomienda

Relación B/C = 0 Proyecto incierto, con los ingresos apenas cubre los costos

Relación B/C < 0 Proyecto no es rentable, no se recomienda

**Tabla 7-9**  
**Relación de Beneficio – Costo**

AÑO	INGRESOS	COSTOS	FACTOR	VAN	VAN
			ACT. 12%	INGRESOS	COSTOS
0	0	\$ 2,435.70		0	\$2,435.70
1	\$350.40	\$97.43	0.89	\$312.86	\$ 98.32
2	\$350.40	\$97.43	0.80	\$279.34	\$ 98.23
3	\$350.40	\$97.43	0.71	\$249.41	\$ 98.14
4	\$350.40	\$97.43	0.64	\$222.69	\$ 98.06
5	\$350.40	\$97.43	0.57	\$198.83	\$ 98.00
6	\$350.40	\$97.43	0.51	\$177.52	\$ 97.93
7	\$350.40	\$97.43	0.45	\$158.50	\$ 97.88
8	\$350.40	\$97.43	0.40	\$141.52	\$ 97.83
9	\$350.40	\$97.43	0.36	\$126.36	\$ 97.79
10	\$350.40	\$97.43	0.32	\$112.82	\$ 97.75
11	\$350.40	\$97.43	0.29	\$100.73	\$ 97.72
12	\$350.40	\$97.43	0.26	\$89.94	\$ 97.68
13	\$350.40	\$97.43	0.23	\$80.30	\$ 97.66
14	\$350.40	\$97.43	0.20	\$71.70	\$ 97.63
15	\$350.40	\$97.43	0.18	\$64.02	\$ 97.61
16	\$350.40	\$97.43	0.16	\$57.16	\$ 97.59
17	\$350.40	\$97.43	0.15	\$51.03	\$ 97.57
18	\$350.40	\$97.43	0.13	\$45.57	\$ 97.56
19	\$350.40	\$97.43	0.12	\$40.68	\$ 97.54
20	\$350.40	\$97.43	0.10	\$36.32	\$ 97.53
				\$2,617.29	\$4,391.73
<b>RELACION B/C</b>				0.60	

**Fuente:** Santo Domingo, Miravalle / 2012.

**Elaborado por:** Marcos Medrano y María Fernanda Mena / 2012.

Siendo un proyecto de beneficio social, este indicador nos demuestra que para un inversionista el proyecto no es recomendable, ya que por cada dólar invertido se recupera \$0.60 ctvs., pero nuestro análisis social de costo-beneficio se enfoca más a los resultados encaminados a mejorar la calidad de vida de las personas y los beneficios intangibles que no pueden cuantificarse.

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

- El prototipo de generación hidroeléctrica cuenta con una entrada de agua que ingresa tangencialmente en una voluta diseñada geométricamente en base a la espiral logarítmica de Arquímedes, con la finalidad de formar un vórtice de agua, creando un remolino artificial, que con la ayuda de la turbina se puede aprovechar la fuerza dinámica del vórtice y juntamente con el sistema de transmisión generar a 110 V y 57 Hz una potencia de 250 W.
- Se puede indicar que el sistema de generación que se realizó necesita encontrar el punto donde la eficiencia sea la máxima, ya que en las pruebas nos indicó una eficiencia baja del 20% por lo cual no es rentable construir equipos en serie, sin embargo siendo un prototipo sirve de base para posteriores modificaciones.
- El aumento de la velocidad del flujo en la superficie del agua permite la aireación natural lo cual acelera la degradación de los contaminantes por lo que este tipo de sistemas de generación pueden ser aplicados en arroyos ecológicamente sensibles sin consecuencias negativas al medio ambiente.
- De acuerdo a las condiciones de funcionamiento del sistema de generación se selecciona el tipo y la forma de la turbina, la cual depende del diámetro de remolino formado en la voluta, es así que para este proyecto se ha seleccionado una turbina con un diámetro de 600 mm ya que se tiene un diámetro de remolino de 650 mm.
- Se ha comprobado que mientras existe mayor caudal de entrada, la altura de agua en la voluta será mayor y por ende el diámetro de remolino va a incrementarse, obteniéndose más velocidad centrífuga que ayuda a dar movimiento a la turbina.
- Este proyecto fomenta la investigación de nuevas formas de producir energía eléctrica con un mínimo impacto ambiental, mediante energías renovables que permitan la superación y desarrollo de sectores rurales o alejados de la ciudad donde no cuentan con vías de acceso y que disponen de recursos hídricos sin necesidad de

que tengan grandes alturas de agua, siendo una alternativa para que estos sectores accedan al servicio básico.

- Los indicadores financieros nos indican que para un inversionista el proyecto no es recomendable, pero al ser un proyecto de beneficio social nuestro análisis se enfoca en evaluar las consecuencias que se derivan como producto de este proyecto, al mejorar la calidad de vida de las personas y alcanzar el crecimiento del bienestar social en zonas rurales que no disponen de electricidad.

## 8.2 Recomendaciones

- Para mejorar el rendimiento de este sistema de generación se debe redimensionar la voluta y la turbina para poder mejorar las eficiencias y tener menos pérdidas al momento de generar energía.
- Se recomienda que la estructura del sistema de generación sea desmontable en su totalidad de modo que permita su fácil traslado y cambio de algún elemento en caso de ser necesario, además es importante que sea revestida con pintura epóxica para proteger los elementos de la corrosión.
- Se recomienda mantener un nivel constante de agua en el tanque para evitar variaciones de voltaje y frecuencia en el sistema de generación.
- Se recomienda realizar la obra civil en época de verano, ya que la temporada invernal puede causar inconvenientes por las fuertes lluvias y atrasos en el proyecto.
- Realizar mantenimientos periódicos de acuerdo a lo indicado en el manual para prolongar la vida útil de los equipos y del sistema de generación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ADRIANA CASTRO, Mini-Centrales Hidroeléctricas, Manual 2006, España.
2. Catálogo general SKF.
3. CHARLES T. HORNGREN, Srikant M. Datar, George Foster; Contabilidad de costos: un enfoque gerencial; Pearson Prentice Hall; décimo segunda edición.
4. DE LA VEGA; Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra; segunda edición; Editorial Limusa.
5. ENCINAS MANUEL POLO; Turbomáquinas Hidráulicas; 1974.
6. ENRIQUE Z HARPER, El libro practico de los generadores, transformadores y motores eléctricos, primera edición 2004, México.
7. FRANCISCO T. SÁNCHEZ MARÍN, Antonio Pérez González, Joaquín L. Sancho Bru, Pablo J. Rodríguez Cervantes; Mantenimiento Mecánico de Máquinas; segunda edición; Universitat Jaume.
8. GONZALO SINISTERRA V., Luis E. Polanco I.; Contabilidad Administrativa; Ecoe Ediciones; 2007; Segunda edición.
9. GRANDA JAIME; BOZADA VINICIO; Selección e Implementación de una Pico Central Hidroeléctrica de 3-5 kW en el Estero Alto, para el suministro de energía eléctrica a cuatro familias del Recinto Nueva Esperanza; UTE Santo Domingo; 2009.
10. HEINRICH GERLING; Alrededor de las máquinas-herramientas; tercera edición ; editorial Reverté
11. INACAP, Manual de hidráulica y neumática, 2002.
12. KARASSIK IGOR J, Krutzsch William C., Fraser Warren H.; Manual de Bombas; primera edición; 1983.
13. Manual de Aceros Especiales BOHLER.
14. MARIN UREÑA JUAN MIGUEL; Estudio de Costos de Instalación de sistema pico y micro hidroeléctrico (100 W a 100 kW); IE-0502 Proyecto Eléctrico; Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Eléctrica; Ciudad Universitaria Rodrigo Facio; 2007.

15. PAZ PÉREZ EDGAR, CarrociLuiz, MagalhãesFilho, Romero Luna Carlos; Metodología de Diseño Hidráulico y Mecánico de una turbina Michell-Banki; 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica; Departamento de Energía; Octubre del 2007.
16. PEDRO FERNÁNDEZ DÍEZ, Mecánica de Fluidos, Departamento de ingeniería eléctrica y energética de la Universidad de Cantabria.
17. PEPA MOSQUERA MARTINEZ; LUIS MERINO RUESGA, Empresa y energías renovables, primera edición.
18. SARDÓN JOSÉ MARÍA, García Adolfo, Fernández Jesús, Santos Florentino, Herrero Miguel Ángel, Macías Manuel; Paraninfo; 2002.
19. XAVIER BRUN, Oscar Elvira, Xavier Puig; Matemática financiera y estadística básica: Cálculos financieros y conocimientos estadísticos básicos; Bresca Editorial; 2008.
20. <http://es.scribd.com/doc/25882475/TRANSMISION-MECANICA>; Transmisión Mecánica; en línea consulta 26 de marzo del 2011.
21. <http://es.scribd.com/doc/39489607/58/RODAMIENTOS>; Clasificación de los Rodamientos según la dirección de la carga principal; en línea, consulta 25 de marzo del 2011.
22. <http://es.scribd.com/doc/80549772/Transmision-Por-Cadenas>; transmisión por cadenas; en línea consulta 30 de marzo del 2011.
23. <http://fisicaidued.blogspot.com/2010/12/teorema-de-torricelli-vaciado-de-un.html>, Teoremas Hidráulicos; en línea, consulta 25 de marzo del 2011.
24. <http://mrelectromecanica.blogspot.com/2010/12/rodamientos-con-agujero-cilindrico.html>; Rodamientos; en línea, consulta 25 de marzo del 2011.
25. <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema18/tema18-4.htm>; Generador Síncrono; en línea, consulta 25 de marzo del 2011.
26. [http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/e\\_electrica.pdf](http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/e_electrica.pdf); La Energía; en línea, consulta 23 marzo del 2011.
27. [www.byrnet.info/cachoeira/aems/definicion/definicion.html](http://www.byrnet.info/cachoeira/aems/definicion/definicion.html); Diagrama General de Producción de Electricidad; en línea, consulta 23 marzo del 2011.

28. [www.cecuc.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/4%20minihidraulica.htm](http://www.cecuc.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/4%20minihidraulica.htm); Clasificación de Sistemas Mini-Hidráulicos; en línea, consulta 23 marzo del 2011.
29. [www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos\\_grandes/002\\_microhidrocentrales.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos_grandes/002_microhidrocentrales.pdf); Cuadro comparativo de los diversos tipos de regulación de velocidad; en línea, consulta 26 de marzo del 2011.
30. [www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos\\_grandes/002\\_microhidrocentrales.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos_grandes/002_microhidrocentrales.pdf); Transmisión de sistemas electromecánicos; en línea, consulta 26 de marzo del 2011.
31. [www.ecovive.com/centrales-segun-la-afluencia-del-caudal](http://www.ecovive.com/centrales-segun-la-afluencia-del-caudal); Elementos de la Construcción de una Central; en línea, consulta 23 marzo del 2011.
32. [www.esha.be/fileadmin/esha\\_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE\\_SHP/GUIDE\\_SHP\\_ES\\_01.pdf](http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_ES_01.pdf); Centrales en Canales de rrigación; en línea, consulta 24 marzo del 2011.
33. [www.esha.be/fileadmin/esha\\_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE\\_SHP/GUIDE\\_SHP\\_ES\\_01.pdf](http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_ES_01.pdf); Centrales Integradas en Redes de Agua; en línea, consulta 24 marzo del 2011.
34. [www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/apuntes/ahumada/pdfs/Rodamientos%20af.pdf](http://www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/apuntes/ahumada/pdfs/Rodamientos%20af.pdf); Rodamientos para cargas Mixtas; en línea, consulta 25 de marzo del 2011.
35. [www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10374\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_06\\_d3d056dd.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Minicentrales_hidroelectricas_06_d3d056dd.pdf) ; Central Hidroeléctrica de Pie de Presa. en línea, consulta 24 marzo del 2011.
36. [www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10374\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_06\\_d3d056dd.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Minicentrales_hidroelectricas_06_d3d056dd.pdf); Central Hidroeléctrica de Tipo Fluyente; en línea, consulta 24 marzo del 2011.
37. [www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10374\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_06\\_d3d056dd.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Minicentrales_hidroelectricas_06_d3d056dd.pdf); Ciclo Hidrológico para producir energía eléctrica; en línea, consulta 23 marzo del 2011.
38. [www.nachi.de/1/files/basic\\_sp\\_hp.pdf](http://www.nachi.de/1/files/basic_sp_hp.pdf); Estructura del Rodamiento; en línea, consulta 25 de marzo del 2011.

# ANEXOS



**ANEXO A**

**CATÁLOGO DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA  
UTILIZADA**

**Tuberías de PVC Cedula 80:**

Color - Gris Oscuro.

Uso - Manejo de fluidos corrosivos a presiones de hasta 150 lbs. Minería, plantas de tratamiento, metalmecánica, sistemas de ácidos, automotriz, agua desionizada, etc.

Extremos - Lisos

Tipo de anillos - No usa

Instalación - Cementado. También existen conexiones roscadas en caso de que así sean requeridas. La tubería viene con extremos lisos pero el usuario final puede determinar si le rosca los extremos para no tener que cementar. Las conexiones roscadas las hay disponibles hasta 4".

Aditamentos de instalación.- Pegamento acorde al diámetro y tipo de PVC así como a las condiciones de instalación.

Puede usar primer para mejorar la eficiencia de cementado.

Longitud - 6 metros por tramo.

Sistema - Inglés

Diámetros - De ½" hasta 12" de línea.

**Fuente:**[http://tuberiasyconexiones.com/tuberias\\_de\\_pvc\\_y\\_cpvc.html](http://tuberiasyconexiones.com/tuberias_de_pvc_y_cpvc.html)

Diámetro Nominal (DN)	TOM® PVC-O 500									
	Diámetro exterior (OD)		PN12,5		PN16		PN20		PN25	
	min.	max.	Diámetro Interior (ID)	Espesor (e)	Diámetro Interior (ID)	Espesor (e)	Diámetro Interior (ID)	Espesor (e)	Diámetro Interior (ID)	Espesor (e)
mm	mm	mm	medio	min.	medio	min.	medio	min.	medio	min.
90	90,0	90,3	-	-	84,0	2,0	84,0	2,5	82,2	3,1
110	110,0	110,4	104,4	2,4	104,0	2,4	103,2	3,1	101,4	3,8
140	140,0	140,5	133,0	3,0	132,4	3,1	131,2	3,9	129,2	4,8
160	160,0	160,5	152,0	3,5	151,4	3,5	150,0	4,4	147,6	5,5
200	200,0	200,6	190,0	4,3	189,2	4,4	187,4	5,5	184,4	6,9
225	225,0	225,7	213,6	4,9	212,8	5,0	210,8	6,2	207,4	7,7
250	250,0	250,8	237,4	5,4	236,4	5,5	234,2	6,9	230,6	8,6
315	315,0	316,0	299,2	6,8	298,0	6,9	295,2	8,7	290,6	10,8
400	400,0	401,2	379,8	8,7	378,4	8,8	374,8	11,0	369,0	13,7
500	500,0	501,5	474,6	10,9	472,8	11,0	468,6	13,7	461,2	17,1
630	630,0	631,9	597,8	13,8	595,8	13,8	590,4	17,3	581,0	21,6

**Fuente:**[www.mlecor.com/es/CANALIZACIONES/can\\_produc\\_gama\\_es.html](http://www.mlecor.com/es/CANALIZACIONES/can_produc_gama_es.html)

## ANEXO B

### PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\eta$ (Pa·s)	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$

**Fuente:** Mecánica de fluidos, sexta edición, Robert Mott.

## ANEXO C

### COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA MATERIALES

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

**Fuente:** Diseño de Elementos de máquinas, Robert Mott.

**ANEXO D**  
**CARÁCTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ACERO AISI 4140**

AISI No. <sup>a</sup>	Treatment	Strength		Elongation, Per cent	Reduction in Area, Per cent	Hardness, Bhn	Impact Strength (Izod), ft-lb
		Tensile	Yield				
		lb/in. <sup>2</sup>					
1340	Normalized (1600 F)	121,250	81,000	22.0	62.9	248	68.2
	Annealed (1475 F)	102,000	63,250	25.5	57.3	207	52.0
3140	Normalized (1600 F)	129,250	87,000	19.7	57.3	262	39.5
	Annealed (1500 F)	100,000	61,250	24.5	50.8	197	34.2
4130	Normalized (1600 F)	97,000	63,250	25.5	59.5	197	63.7
	Annealed (1585 F)	81,250	52,250	28.2	55.6	156	45.5
4140	Normalized (1600 F)	148,000	95,000	17.7	46.8	302	16.7
	Annealed (1500 F)	95,000	60,500	25.7	56.9	197	40.2
4150	Normalized (1600 F)	167,500	106,500	11.7	30.8	321	8.5
	Annealed (1500 F)	105,750	55,000	20.2	40.2	197	18.2
4320	Normalized (1640 F)	115,000	67,250	20.8	50.7	235	53.8
	Annealed (1560 F)	84,000	61,625	29.0	58.4	163	81.0
4340	Normalized (1600 F)	185,500	125,000	12.2	36.3	363	11.7
	Annealed (1490 F)	108,000	68,500	22.0	49.9	217	37.7
4620	Normalized (1650 F)	83,250	53,125	29.0	66.7	174	98.0
	Annealed (1575 F)	74,250	54,000	31.3	60.3	149	69.0
4820	Normalized (1580 F)	109,500	70,250	24.0	59.2	229	81.0

**Fuente:** [http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=17&cad=rja&ved=0CEwQFjAGOAo&url=http%3A%2F%2Fwww2.hcmuaf.edu.vn%2Fdata%2Fphamducdung%2Fthamkhao%2FMachineryHandbook%2FMH26%2Fyd.pdf&ei=ivOKUNjhGpKm8gSVnoHwDw&usg=AFQjCNE9\\_VrMT4LJT-3H3OT0om5QHgwsrw&sig2=grb31VyrNHFfNtBAQXxqTQ](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=17&cad=rja&ved=0CEwQFjAGOAo&url=http%3A%2F%2Fwww2.hcmuaf.edu.vn%2Fdata%2Fphamducdung%2Fthamkhao%2FMachineryHandbook%2FMH26%2Fyd.pdf&ei=ivOKUNjhGpKm8gSVnoHwDw&usg=AFQjCNE9_VrMT4LJT-3H3OT0om5QHgwsrw&sig2=grb31VyrNHFfNtBAQXxqTQ)

## ANEXO E

VIDA Lh Y FACTOR DE VELOCIDAD  $f_n$  PARA RODAMIENTO DE BOLAS

▼ Valores  $f_n$  para rodamientos de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$$

n	$f_n$	n	$f_n$	n	$f_n$	n	$f_n$	n	$f_n$
min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>		min <sup>-1</sup>	
10	1,49	55	0,846	340	0,461	1800	0,265	9500	0,152
11	1,45	60	0,822	360	0,452	1900	0,26	10000	0,149
12	1,41	65	0,8	380	0,444	2000	0,255	11000	0,145
13	1,37	70	0,781	400	0,437	2200	0,247	12000	0,141
14	1,34	75	0,763	420	0,43	2400	0,24	13000	0,137
15	1,3	80	0,747	440	0,423	2600	0,234	14000	0,134
16	1,28	85	0,732	460	0,417	2800	0,228	15000	0,131
17	1,25	90	0,718	480	0,411	3000	0,223	16000	0,128
18	1,23	95	0,705	500	0,405	3200	0,218	17000	0,125
19	1,21	100	0,693	550	0,393	3400	0,214	18000	0,123
20	1,19	110	0,672	600	0,382	3600	0,21	19000	0,121
22	1,15	120	0,652	650	0,372	3800	0,206	20000	0,119
24	1,12	130	0,635	700	0,362	4000	0,203	22000	0,115
26	1,09	140	0,62	750	0,354	4200	0,199	24000	0,112
28	1,06	150	0,606	800	0,347	4400	0,196	26000	0,109
30	1,04	160	0,593	850	0,34	4600	0,194	28000	0,106
32	1,01	170	0,581	900	0,333	4800	0,191	30000	0,104
34	0,993	180	0,57	950	0,327	5000	0,188	32000	0,101
36	0,975	190	0,56	1000	0,322	5500	0,182	34000	0,0993
38	0,957	200	0,55	1100	0,312	6000	0,177	36000	0,0975
40	0,941	220	0,533	1200	0,303	6500	0,172	38000	0,0957
42	0,926	240	0,518	1300	0,295	7000	0,168	40000	0,0941
44	0,912	260	0,504	1400	0,288	7500	0,164	42000	0,0926
46	0,898	280	0,492	1500	0,281	8000	0,161	44000	0,0912
48	0,886	300	0,481	1600	0,275	8500	0,158	46000	0,0898
50	0,874	320	0,471	1700	0,27	9000	0,155	50000	0,0874

Fuente: Catalogo de rodamientos FAG

**ANEXO F**  
**VALORES PARA FACTOR DE ESFUERZOS DINÁMICOS**

▼ Valores  $f_L$  para rodamientos de bolas

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500} \cdot \frac{1}{f_L}}$$

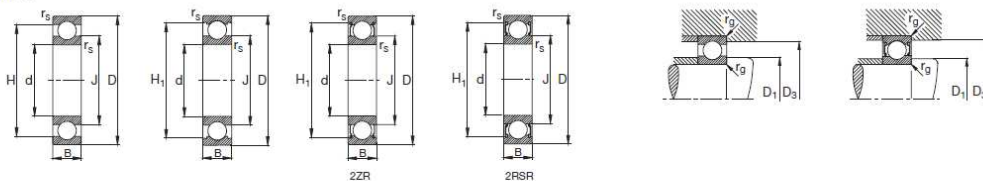
$L_h$	$f_L$	$L_h$	$f_L$	$L_h$	$f_L$	$L_h$	$f_L$	$L_h$	$f_L$
h		h		h		h		h	
100	0,585	420	0,944	1700	1,5	6500	2,35	28000	3,83
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08
140	0,654	500	1	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16
150	0,669	550	1,03	2400	1,69	9000	2,62	38000	4,24
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,8	44000	4,45
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79
260	0,804	950	1,24	4000	2	16000	3,17	60000	4,93
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07
300	0,843	1100	1,3	4400	2,06	18000	3,3	70000	5,19
320	0,862	1200	1,34	4600	2,1	19000	3,36	75000	5,31
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85

**Fuente:** Catalogo de rodamientos FAG

## ANEXO G

### CARACTERÍSTICAS DEL RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6005

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Eje	Dimensiones							Peso m kg	Capacidad de carga		Velocidad límite min <sup>-1</sup>	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG
	d	D	B	r <sub>c</sub> min	H m	H <sub>1</sub> m	J m		d <sub>ym</sub> C kN	stat. C <sub>0</sub>			
20	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,105	12,7	6,55	18000	19000	6204
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,105	12,7	6,55	18000	19000	S6204.W203B
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,109	12,7	6,55	15000	19000	6204.2ZR
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,109	12,7	6,55	10000		6204.2RSR
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,109	12,7	6,55	10000		S6204.2RSR.W203B
	20	47	18	1	38,4	41	28,8	0,139	12,7	6,55	10000		62204.2RSR
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,151	16	7,8	34000	18000	6304
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,153	16	7,8	34000	18000	S6304.W203B
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,155	16	7,8	14000	18000	6304.2ZR
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,155	16	7,8	9500		6304.2RSR
	20	52	21	1,1	42,1	44,4	30,3	0,209	16	7,8	9500		62304.2RSR
	20	72	19	1,1	55		37	0,415	30,5	15	26000	15000	6404
25	25	47	8	0,3	39,7	41,1	32,2	0,055	7,2	4,65	19000	14000	16005
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,08	10	5,85	36000	17000	6005
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,082	10	5,85	36000	17000	S6005.W203B
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,083	10	5,85	15000	17000	6005.2ZR
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,084	10	5,85	10000		6005.2RSR
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,083	10	5,85	10000		S6005.2RSR.W203B

Fuente: Catalogo de rodamientos FAG



## ANEXO H AJUSTE DE LOS EJES

		Dimensiones mm											
Medida nominal del eje	más de hasta	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 65						
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)											
Diferencia del agujero del rodamiento	$\Delta_{dmp}$	0 -8	0 -8	0 -8	0 -10	0 -12	0 -15						
Esquema del ajuste Eje	$\Delta_{dmp}$ - 0 +	Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)											
f6		-10 -18	2 8 18	-13 -22	5 11 22	-16 -27	8 15 27	-20 -33	10 17 33	-25 -41	13 22 41	-30 -49	15 26 49
g5		-4 -9	4 0 9	-5 -11	3 2 11	-6 -14	2 3 14	-7 -16	3 3 16	-9 -20	3 5 20	-10 -23	5 4 23
g6		-4 -12	4 1 12	-5 -14	3 3 14	-6 -17	2 4 17	-7 -20	3 5 20	-9 -25	3 6 25	-10 -29	5 6 29
h5		0 -5	8 4 5	0 -6	8 3 6	0 -8	8 3 8	0 -9	10 4 9	0 -11	12 4 11	0 -13	15 6 13
h6		0 -8	8 3 8	0 -9	8 2 9	0 -11	8 2 11	0 -13	10 2 13	0 -16	12 3 16	0 -19	15 4 19
j5		+3 -2	11 7 2	+4 -2	12 7 2	+5 -3	13 8 3	+5 -4	15 9 4	+6 -5	18 10 5	+8 -7	21 12 7
j6		+6 -2	14 8 2	+7 -2	15 9 2	+8 -3	16 10 3	+9 -4	19 11 4	+11 -5	23 14 5	+12 -7	27 16 7
js5		+2,5 -2,5	11 6 3	+3 -3	11 6 3	+4 -4	12 6 4	+4,5 -4,5	15 9 5	+5,5 -5,5	18 10 6	+6,5 -6,5	22 13 7
js6		+4 -4	12 7 4	+4,5 -4,5	13 7 5	+5,5 -5,5	14 8 6	+6,5 -6,5	17 9 7	+8 -8	20 11 8	+9,5 -9,5	25 13 10
k5		+6 +1	14 9 1	+7 +1	15 10 1	+9 +1	17 12 1	+11 +2	21 15 2	+13 +2	25 17 2	+15 +2	30 21 2
k6		+9 +1	17 11 1	+10 +1	18 12 1	+12 +1	20 14 1	+15 +2	25 17 2	+18 +2	30 21 2	+21 +2	36 25 2
m5		+9 +4	17 13 4	+12 +6	20 15 6	+15 +7	23 18 7	+17 +8	27 21 8	+20 +9	32 24 9	+24 +11	39 30 11

Fuente: Catalogo de rodamientos FAG

## ANEXO I

### AJUSTE DE LOS ALOJAMIENTOS

		Dimensiones en mm																							
Medida nominal del agujero del alojamiento	más de hasta	6	10	18	30	50	80	80	120																
		10	18	30	50	80	120																		
		Tolerancia en micras (0.001 $\mu\text{m}$ ) (tolerancia normal)																							
Diferencia del diámetro exterior del rodamiento	$\Delta_{Dmp}$	0	0	0	0	0	0	0	0																
		-8	-8	-9	-11	-11	-13	-13	-15																
Esquema del ajuste Alojamiento		Tolerancia del alojamiento, apriete u holgura en micras (0.001 $\mu\text{m}$ )																							
		E8	+47	25	+59	32	+73	40	+89	50	+106	60	+126	72	+25	35	+32	44	+40	54	+50	67	+60	79	+72
F7	+28	13	+34	16	+41	20	+50	25	+60	30	+71	36	+13	21	+16	25	+20	30	+25	37	+30	44	+36	53	86
G6	+14	5	+17	6	+20	7	+25	9	+29	10	+34	12	+5	11	+6	12	+7	14	+9	18	+10	21	+12	24	49
G7	+20	5	+24	8	+28	7	+34	9	+40	10	+47	12	+5	13	+6	15	+7	17	+9	21	+10	24	+12	29	62
H6	+9	0	+11	0	+13	0	+16	0	+19	0	+22	0	0	6	0	6	0	7	0	9	0	11	0	12	37
H7	+15	0	+18	0	+21	0	+25	0	+30	0	+35	0	0	8	0	9	0	10	0	12	0	14	0	17	50
H8	+22	0	+27	12	+33	14	+39	17	+46	20	+54	23	0	10	0	12	0	14	0	17	0	20	0	23	69
J6	+5	4	+6	5	+8	5	+10	6	+13	6	+16	6	-4	2	-5	1	-5	2	-6	3	-6	5	-6	6	31
J7	+8	7	+10	8	+12	9	+14	11	+18	12	+22	13	-7	1	-8	1	-9	1	-11	1	-12	2	-13	4	37
JS6 i	+4,5	4,5	+5,5	5,5	+6,5	6,5	+8	8	+9,5	9,5	+11	11	-4,5	2	-5,5	1	-6,5	0	-8	1	-9,5	0	-11	1	26

Fuente: Catalogo de rodamientos FAG



## ANEXO J

### TOLERANCIAS BÁSICAS SEGÚN DIN ISO 286

▼ Tolerancias básicas ISO (calidades IT) según DIN ISO 286

Dimensiones nominales en mm

más de hasta	1 3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800	800 1000	1000 1250	1250 1600	1600 2000	2000 2500	2500 3150
	Valores en $\mu\text{m}$																				
IT0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6								
IT1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8								
IT2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10								
IT3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15								
IT4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20								
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	29	32	36	42	50	60	70	86
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	44	50	56	66	78	92	110	135
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	70	80	90	105	125	150	175	210
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	110	125	140	165	195	230	280	330
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	175	200	230	260	310	370	440	540
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	280	320	360	420	500	600	700	860
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	440	500	560	660	780	920	1100	1350
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	700	800	900	1050	1250	1500	1750	2100

**Fuente:** Catalogo de rodamientos FAG

**ANEXO K**

**RECOMENDACIONES PARA LA TOLERANCIA DE MECANIZADO Y LA RUGOSIDAD DE LOS ASIENTOS DE LOS RODAMIENTOS**

▼ Recomendaciones para la tolerancia de mecanizado y la rugosidad de los asiento de los rodamientos

Clases tolerancias rodamientos	Asientos rodamientos	Tolerancia mecanizado	Rugosidad
Normal, P6X	Eje	IT6 (IT5)	N5...N7
	Alojamiento	IT7 (IT6)	N6...N8
P5	Eje	IT5	N5...N7
	Alojamiento	IT6	N6...N8
P4, P4S, SP	Eje	IT4	N4...N6
	Alojamiento	IT5	N5...N7
UP	Eje	IT3	N3...N5
	Alojamiento	IT4	N4...N6

Las clases de rugosidad mayores se eligen para diámetros mayores.



**Fuente:** Catalogo de rodamientos FAG

**ANEXO L**  
**NÚMERO DE PASO DE LA PROCKET PEQUEÑA**

1/2 inch Pitch Standard Single-Strand Roller Chain — No. 40	No. of Teeth Small Spkt.	Revolutions per Minute — Small Sprocket <sup>a</sup>												
		50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800
		Horsepower Rating												
11	0.23	0.43	0.80	1.16	1.50	1.83	2.48	3.11	3.42	4.03	4.63	5.22	4.66	
12	0.25	0.47	0.88	1.27	1.65	2.01	2.73	3.42	3.76	4.43	5.09	5.74	5.31	
13	0.28	0.52	0.96	1.39	1.80	2.20	2.97	3.73	4.10	4.83	5.55	6.26	5.99	
14	0.30	0.56	1.04	1.50	1.95	2.38	3.22	4.04	4.44	5.23	6.01	6.78	6.70	
15	0.32	0.60	1.12	1.62	2.10	2.56	3.47	4.35	4.78	5.64	6.47	7.30	7.43	
16	0.35	0.65	1.20	1.74	2.25	2.75	3.72	4.66	5.13	6.04	6.94	7.83	8.18	
17	0.37	0.69	1.29	1.85	2.40	2.93	3.97	4.98	5.48	6.45	7.41	8.36	8.96	
18	0.39	0.73	1.37	1.97	2.55	3.12	4.22	5.30	5.82	6.86	7.88	8.89	9.76	
19	0.42	0.78	1.45	2.09	2.71	3.31	4.48	5.62	6.17	7.27	8.36	9.42	10.5	
20	0.44	0.82	1.53	2.21	2.86	3.50	4.73	5.94	6.53	7.69	8.83	9.96	11.1	
21	0.46	0.87	1.62	2.33	3.02	3.69	4.99	6.26	6.88	8.11	9.31	10.5	11.7	
22	0.49	0.91	1.70	2.45	3.17	3.88	5.25	6.58	7.23	8.52	9.79	11.0	12.3	
23	0.51	0.96	1.78	2.57	3.33	4.07	5.51	6.90	7.59	8.94	10.3	11.6	12.9	
24	0.54	1.00	1.87	2.69	3.48	4.26	5.76	7.23	7.95	9.36	10.8	12.1	13.5	
25	0.56	1.05	1.95	2.81	3.64	4.45	6.02	7.55	8.30	9.78	11.2	12.7	14.1	
26	0.58	1.09	2.04	2.93	3.80	4.64	6.28	7.88	8.66	10.2	11.7	13.2	14.7	
28	0.63	1.18	2.20	3.18	4.11	5.03	6.81	8.54	9.39	11.1	12.7	14.3	15.9	
30	0.68	1.27	2.38	3.42	4.43	5.42	7.33	9.20	10.1	11.9	13.7	15.4	17.2	
32	0.73	1.36	2.55	3.67	4.75	5.81	7.86	9.86	10.8	12.8	14.7	16.5	18.4	
35	0.81	1.50	2.81	4.04	5.24	6.40	8.66	10.9	11.9	14.1	16.2	18.2	20.3	
40	0.93	1.74	3.24	4.67	6.05	7.39	10.0	12.5	13.8	16.3	18.7	21.1	23.4	
45	1.06	1.97	3.68	5.30	6.87	8.40	11.4	14.2	15.7	18.5	21.2	23.9	26.6	
	Type A	Type B									Type C			

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/80549772/Transmision-Par-Cadenas>

**ANEXO M**  
**CATALOGO REDUCTORES MOTOVARIO**

n2 [1/min]	M2 [Nm]	f.s.	i			Fr [N]
560,0	12	2,1	5	NMRV040	71C2	912
373,3	17	1,6	7,5	NMRV040	71C2	1044
280,0	23	1,3	10	NMRV040	71C2	1149
186,7	33	1,0	15	NMRV040	71C2	1315
560,0	12	3,9	5	NMRV050	80A2	1251
373,3	17	3,0	7,5	NMRV050	80A2	1433
280,0	23	2,4	10	NMRV050	80A2	1577
186,7	33	1,7	15	NMRV050	80A2	1805
140,0	42	1,2	20	NMRV050	80A2	1987
112,0	52	1,0	25	NMRV050	80A2	2140
93,3	59	1,1	30	NMRV050	80A2	2274
280,0	23	3,0	5	NMRV050	80B4	1577
186,7	34	2,3	7,5	NMRV050	80B4	1805
140,0	45	1,8	10	NMRV050	80B4	1987
93,3	64	1,3	15	NMRV050	80B4	2274
70,0	82	1,0	20	NMRV050	80B4	2503
140,0	43	2,3	20	NMRV063	80A2	2597
112,0	53	1,7	25	NMRV063	80A2	2797
93,3	61	2,0	30	NMRV063	80A2	2973
70,0	78	1,4	40	NMRV063	80A2	3272
56,0	92	1,1	50	NMRV063	80A2	3524
46,7	106	0,9	60	NMRV063	80A2	3745

**ANEXO N**  
**RANGOS DE TORQUE Y HP PARA SELECCIONAR EL ACOPLER**



Bore Tolerances:  
 $\frac{1}{2}$  -  $1 \frac{3}{4}$  + .001 - .000  
 $1 \frac{3}{16}$  -  $2 \frac{5}{8}$  + .0015 - .0000

**Martin ML (Universal Series) — Torque and Horsepower Ratings**

Catalog Number	Torque Rating Lb. — In.		Buna-N Horsepower Capacity at Various RPM					Max. Bore	(Each) Weight
	Buna-N	Hytrel*	100	300	1200	1800	3600		
ML035	3.5	—	.006	.02	.07	.10	.20	$\frac{3}{8}$	.07
ML050	31.5	94.5	.05	.15	.60	.9	1.8	$\frac{1}{2}$	.13
ML070	42	126	.07	.21	.84	1.2	2.5	$\frac{3}{4}$	.25
ML075	81	242	.13	.39	1.56	2.3	4.7	$\frac{7}{8}$	.44
ML090	140	420	.22	.66	2.64	4.0	7.9	1 $\frac{1}{8}$	.69
ML095	189	567	.30	.90	3.6	5.4	10.8	1 $\frac{1}{4}$	.84
ML099	290	870	.46	1.4	5.5	8.3	16.6	1 $\frac{3}{8}$	1.19
ML100	416	1248	.66	2.0	7.9	11.9	23.8	1 $\frac{3}{4}$	1.47
ML110	756	2268	1.2	3.6	14.4	21.6	43.2	1 $\frac{7}{8}$	3.20
ML150	1197	3591	1.9	5.7	22.8	34.2	68.4	1 $\frac{7}{8}$	4.50
ML190	1512	4536	2.4	7.2	28.8	43.2	86.4	2 $\frac{1}{8}$	8.25
ML225	2268	6804	3.6	10.8	43.2	64.8	129.6	2 $\frac{1}{2}$	12.00

NOTE: Above H.P. capacities are for Buna-N rubber spider and service factor of one. When Hytrel spider is used multiply capacities by three.

Fuente: <http://www.martinsprocket.com/PDF/ca16.pdf>

## ANEXO O

### CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR

#### CARACTERÍSTICAS

##### GENERADOR

Voltaje nominal .....12V CC, 120V CA

Amperaje nominal..... 8,3A CC, 11,7A CA

Salida nominal..... 1,400 W

Salida máxima..... 1,750 W

Frecuencia nominal ..... 60 Hz

##### DIMENSIONES

Longitud ..... 15,0 pulg.

Ancho ..... 18,5 pulg.

Altura ..... 16,38 pulg.

Peso ..... 60 lbs.

**Fuente:** Manual del operador de Generador HOMELITE de 1400 W.

## ANEXO P

### REQUISITOS PARA ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.

Tipo de Electrodo	Materiales	Dimensiones Mínimas			
		Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Espesor mm	Recubrimiento μm
Varilla	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total en cobre	15			2000
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
Cable	Cobre o cobre estañado	1,8 para cada hilo	50		
	Acero galvanizado en caliente	1,8 para cada hilo	70		
Placa	Cobre		20000	1,5	
	Acero inoxidable		20000	6	

**Fuente:** [www.sic.gov.co/archivo\\_descarga.php?idcategoria=18164](http://www.sic.gov.co/archivo_descarga.php?idcategoria=18164), pág. 62.

## ANEXO Q

## VALORES DE REFERENCIA PARA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras de líneas de transmisión o torrecillas metálicas de distribución con cable de guarda	20 $\Omega$
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 $\Omega$
Subestaciones de media tensión.	10 $\Omega$
Protección contra rayos.	10 $\Omega$
Neutro de acometida en baja tensión.	25 $\Omega$

Fuente: [http://www.sic.gov.co/archivo\\_descarga.php?idcategoria=18164](http://www.sic.gov.co/archivo_descarga.php?idcategoria=18164), pág. 64.

## ANEXO R

FÓRMULAS PARA ESTIMAR LA RESISTENCIA DE TIERRA EN FUNCIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL ELECTRODO

**TABLA 5. Fórmulas para estimar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo**

Electrodo	Resistencia de tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0,8\rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2\rho/L$

$\rho$ : Resistividad del terreno (Ohm · m).  
 $P$ : Perímetro de la placa (m).  
 $L$ : longitud de la pica o del conductor (m).

Fuente: Reglamento electrotécnico para baja tensión; pág. 119

## ANEXO S

### RESISTIVIDAD SEGÚN EL TIPO DE TERRENO

Tipo de terreno	Resistividad del terreno $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	
	Margen de valores	Valor medio
Terreno pantanoso	2 - 50	30
Barro mezclado con paja	2 - 200	40
Terreno fangoso y arcilloso, humus	20 - 260	100
Arena y terreno arenoso	50 - 3.000	200 (húmedo)
Turba	> 1.200	200
Grava (húmeda)	50 - 3.000	1.000 (húmedo)
Terreno pedregoso y rocoso	100 - 8.000	2.000
Hormigón: 1 parte de cemento + 3 partes de arena	50 - 300	150
1 parte de cemento + 5 partes de grava	100 - 8.000	400

*Tabla 1 - Resistividad del terreno  $\rho$  para varios tipos de suelo y hormigón [2.3]*

**Fuente:** [http://www.leonardo-energy.org/espanol/lee-guia\\_calidad/Guia%20Calidad%206-3-1%20Puesta%20a%20Tierra%20-%20Calculo%20y%20diseno.pdf](http://www.leonardo-energy.org/espanol/lee-guia_calidad/Guia%20Calidad%206-3-1%20Puesta%20a%20Tierra%20-%20Calculo%20y%20diseno.pdf), pág. 2.

## ANEXO T

### CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR PARA LA PUESTA A TIERRA.

CALIBRE AWG / kcmil	NUMERO DE HILOS	CONDUCTOR		ESPESOR DE AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO APROXIMADO kg/km	CAPACIDAD DE CORRIENTE AMPERE		
		AREA mm <sup>2</sup>	DIAMETRO NOMINAL mm				60°C	75°C	90°C
<b>ALAMBRES TIPO THW-LS/THHW-LS AUTOEXTINGUIBLES</b>							60°C	75°C	90°C
14	1	2,08	1,63	0,76	3,3	27,0	20	20	25
12	1	3,31	2,05	0,76	3,8	39,0	25	25	30
10	1	5,26	2,60	0,76	4,3	58,0	30	35	40
8	1	8,37		1,14	5,8	100,0	40	50	55
<b>CABLES TIPO THW-LS/THHW-LS AUTOEXTINGUIBLES</b>							60°C	75°C	90°C
14	19	2,08	1,8	0,76	3,5	29,0	20	20	25
12	19	3,31	2,3	0,76	4,0	50,0	25	25	30
10	19	5,26	2,9	0,76	4,6	70,0	30	35	40
8	19	8,37	3,7	1,14	6,2	110,0	40	50	55
6	19	13,30	4,7	1,52	8,0	168,0	55	65	75
4	19	21,15	5,9	1,52	9,2	249,0	70	85	95
2	19	33,63	7,5	1,52	10,8	370,0	95	115	130
1/0	19	53,51	9,5	2,03	13,9	610,0	125	150	170
2/0	19	67,44	10,6	2,03	15,1	750,0	145	175	195
3/0	19	85,03	11,9	2,03	16,4	910,0	165	200	225
4/0	19	107,20	13,4	2,03	17,9	1 130,0	195	230	260

Datos aproximados, sujetos a tolerancias de manufactura.

**Fuente:** [http://www.viakable.com/image/Triptico\\_Indiana.pdf](http://www.viakable.com/image/Triptico_Indiana.pdf)



## ANEXO U

### CARACTERÍSTICAS DEL ALAMBRE UTILIZADO EN LA SOLDADURA MIG

Microalambre sólido para acero al bajo carbono

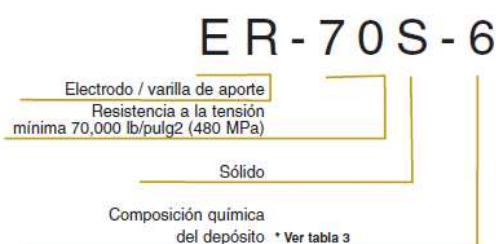


Tabla 3. Composición química del microalambre

CLASIFICACION AWS	GAS DE PROTECCION	RESISTENCIA A LA TENSION* KSI (MPa)	LIMITE ELASTICO* KSI (MPa)	RESISTENCIA AL IMPACTO MINIMO* EN Joules a °C	COMPOSICION QUÍMICA									
					C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Otros
ER70S-2	CO <sub>2</sub> ó mezclas	70(480)	58(400)	27 @ -30°C	0.07	0.90-1.40	0.40-0.70	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.50	Ti,Zr,Al
ER70S-3	CO <sub>2</sub> ó mezclas	70(480)	58(400)	27 @ -30°C	0.06-0.15	0.90-1.40	0.45-0.75	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.50	—
ER70S-4	CO <sub>2</sub> ó mezclas	70(480)	58(400)	—	0.06-0.15	1.00-1.50	0.65-0.85	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.50	—
ER70S-6	CO <sub>2</sub> ó mezclas	70(480)	58(400)	27 @ -34°C	0.06-0.15	1.40-1.85	0.80-1.15	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.50	—
ER70S-7	CO <sub>2</sub> ó mezclas	70(480)	58(400)	27 @ -34°C	0.07-0.15	1.50-2.00	0.50-0.80	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.50	—

\* Estas características se incrementan al utilizar mezcla para soldar.

Wire Size(mm)	φ0.8	φ1.0	φ1.2	φ1.6	Welding position	
Welding current(A)	40~140	50~220	80~350	120~550		
Please be noted	Wire shall be stocked in dry.open the packs just when welding to avoid the wire rust. Before welding please clean out the oil,rust,water etc from the work parts					

**Fuente:** [http://www.infra.com.mx/servicio\\_atencion/libreria/catalogo\\_ventas/documentos/material\\_aporte\\_soldadura2012.pdf](http://www.infra.com.mx/servicio_atencion/libreria/catalogo_ventas/documentos/material_aporte_soldadura2012.pdf)

ANEXO V  
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ANALIZADOR DE CARGA

■ ANALIZADOR DE RED  
ELECTRICAL TRIFASICO

# 3945-B



ESPAÑOL

Manual de Instrucciones

 **AEMC**<sup>®</sup>  
INSTRUMENTS

---

## CAPÍTULO 2

---

### **CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO**

#### **2.1 Descripción**

El PowerPad® Modelo 3945-B es un analizador de calidad de potencia trifásica fácil de usar, compacto y resistente a golpes. Está dirigido a técnicos e ingenieros para medir y realizar trabajo de diagnóstico y calidad de potencia en redes de bajo voltaje mono, bi y trifásicas.

Los usuarios pueden obtener formas de onda instantáneas de las principales características de una red eléctrica y también monitorear sus variaciones en el tiempo. El sistema de medición de multitareas maneja simultáneamente todas las funciones de medición y presentación de formas de onda de las diferentes magnitudes, su detección, su registro continuo y su presentación sin limitaciones.

#### **Características:**

- Medición de voltajes RMS hasta 480V (fase-a-neutro) o 830V (fase-a-fase) para sistemas de dos, tres o cuatro hilos
- Medición de corrientes RMS hasta 6500Arms
- Medición de frecuencia (sistemas de 41 a 70Hz)
- Cálculo de corriente neutra en configuraciones Y
- Cálculo de Factores de Cresta de corriente y voltaje
- Cálculo de factor K en transformadores
- Cálculo de parpadeos (flickers) de voltaje de corta duración
- Cálculo de desbalance de fases en voltaje y corriente (sistemas de 3 fases solamente)
- Medición de ángulos y razones de armónicos (referidos a la fundamental o al valor RMS) de voltaje, corriente o potencia, hasta le 50º armónico
- Cálculo de factores de distorsión armónica total
- Monitoreo del valor promedio de cualquier parámetro, calculado en un periodo desde 1 seg. hasta 2 hrs.
- Medición de la potencia activa, reactiva y aparente por fase y su respectiva suma total
- Cálculo del factor de potencia, factor de potencia de desplazamiento y factor de tangente
- Potencia total en un instante de tiempo, elegido por el operador
- Registro, marcación en el tiempo y caracterización de perturbaciones (alzas, caídas e interrupciones, superación de umbrales de potencia y de armónicos)
- Detección de transientes y registro de las formas de onda asociadas

---

## CAPÍTULO 3

---

# ESPECIFICACIONES

### 3.1 Condiciones de Referencia

Parámetro	Condiciones de Referencia
Temperatura ambiente	73°F ± 5°F (23°C ± 3°C)
Humedad	45%
Presión atmosférica	25.4" Hg a 31.3" Hg (860 a 1060 hPa)
Voltaje de fase	230Vrms y 110Vrms ±2% sin CD
Voltaje de entrada del circuito de corriente de tenaza	0.03V a 1Vrms sin CD (<-0.5%)
Voltaje de entrada del circuito de corriente AmpFlex®	11.8mV a 118mVrms sin CD (<-0.5%)
Frecuencia de la red eléctrica	50 y 60Hz ± 0.1Hz
Corriente de fase V/I	0° potencia activa / 90° potencia reactiva
Armónicos	<0.1%

Las incertidumbres dadas para las mediciones de potencia y de energía son máximas para  $\cos \phi = 1$  o  $\sin \phi = 1$  y son típicas para los otros corrimientos de fase.



**NOTA:** El símbolo "U" se usará en este manual y en el Instrumento para referirse a mediciones de voltaje fase-a-fase.

El símbolo "V" se usará para mediciones de voltaje fase-a-neutro.

\*Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin aviso.

### 3.2 Especificaciones Eléctricas

**Frecuencia de Muestreo (256 muestras por ciclo):**

12.8kHz muestras/seg. por canal @ 50Hz

15.36kHz muestras/seg. por canal @ 60Hz

**Tamaño de la Memoria:** 4MB

**Partición de la Memoria:** Registro de Datos - 2MB; Captura de forma de onda - XXMB; Captura de transientes -XXB; Alarmas - XXB

#### 3.2.1 Entradas de Voltaje

**Rango de Operación:** Fase-Fase - 960Vrms CA/CD

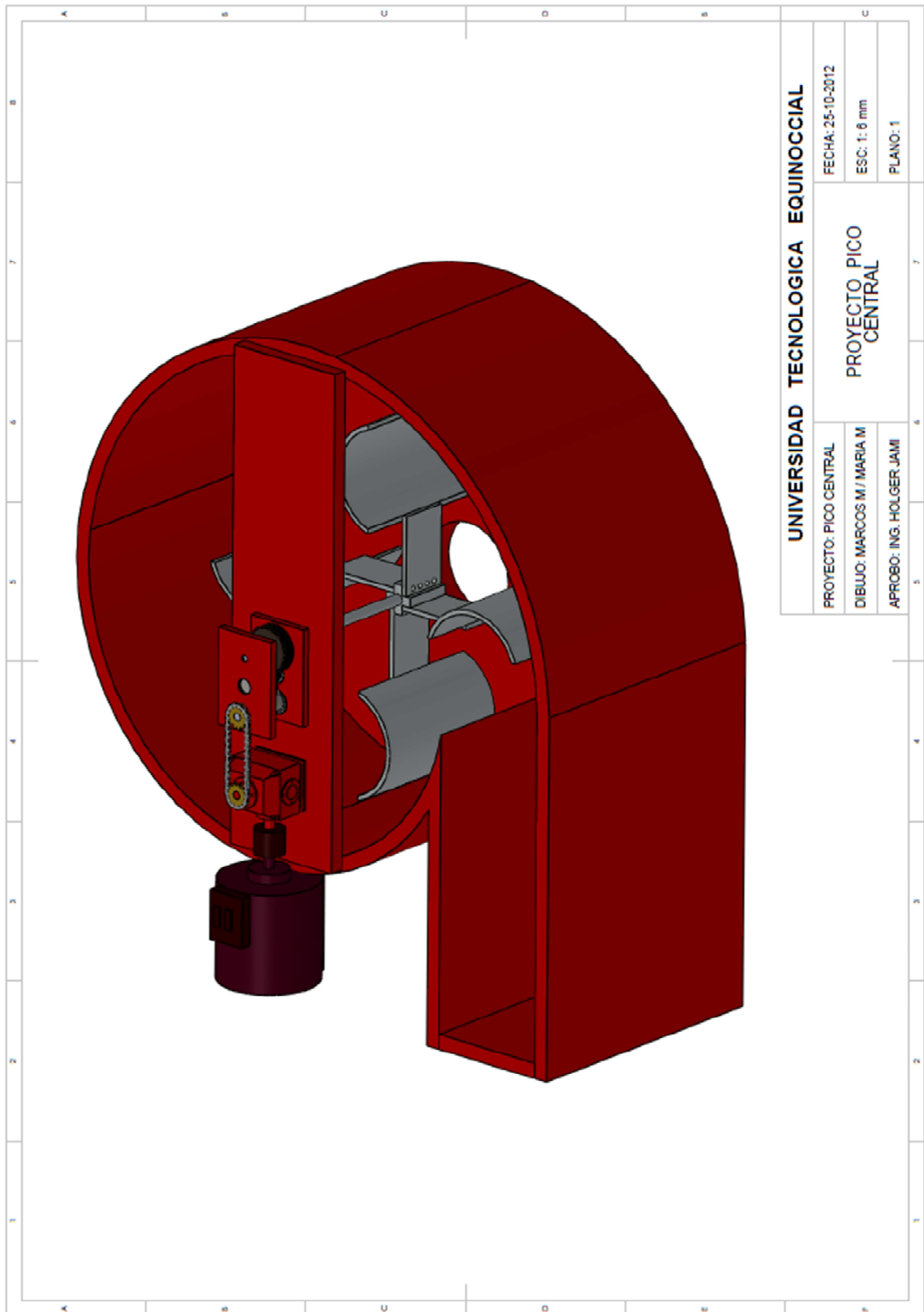
Fase-Neutro - 480Vrms CA/CD

**Impedancia de Entrada:** 340kΩ entre fase y neutro

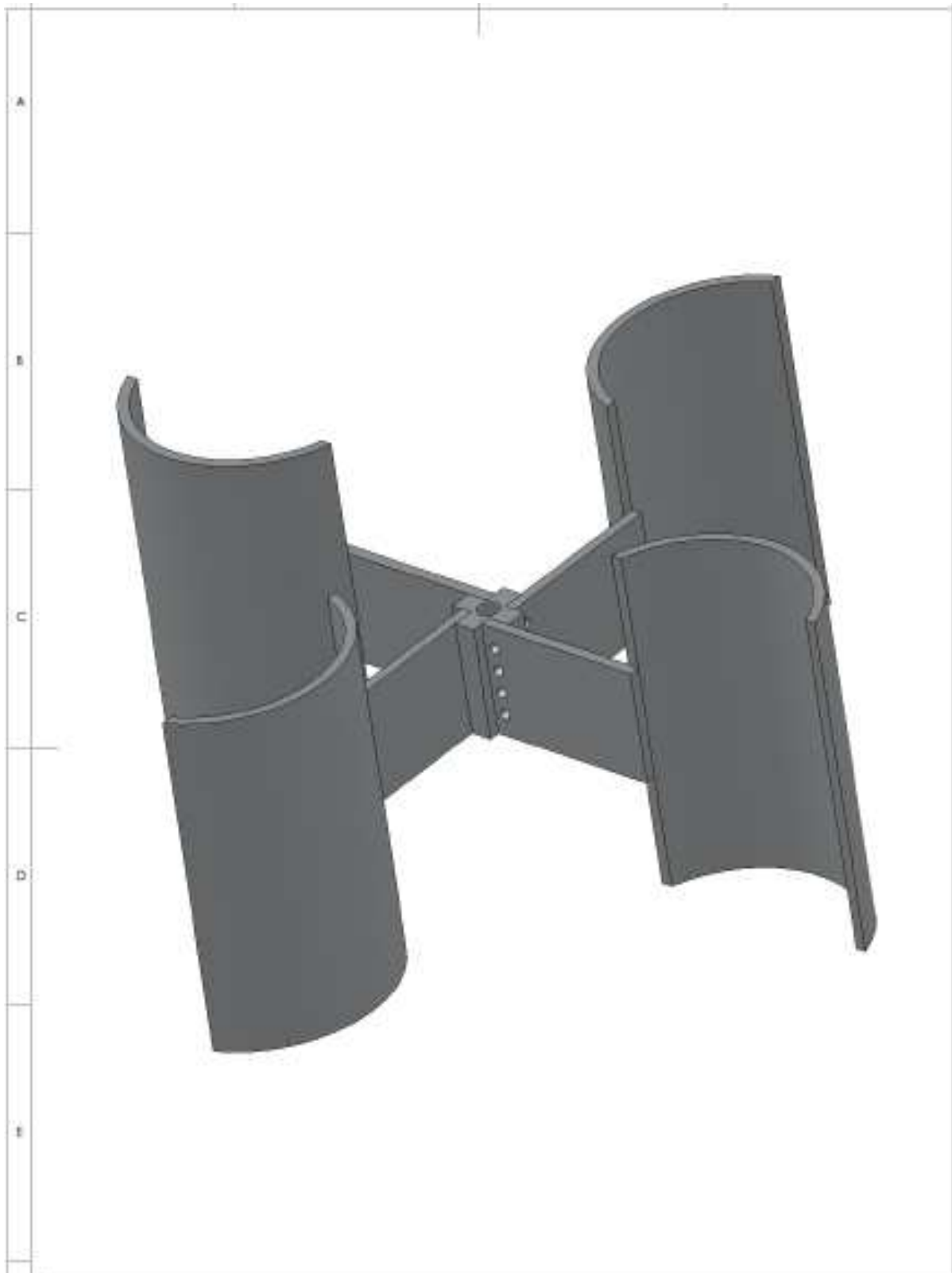
**Sobrecarga:** 1.2Vn permanentemente; 2Vn por 1 seg. (Vn = voltaje nominal)

# PLANOS







**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

PROYECTO: PICO CENTRAL

FECHA: 25-10-2012

DIBUJO: MARCOS M / MARIA M

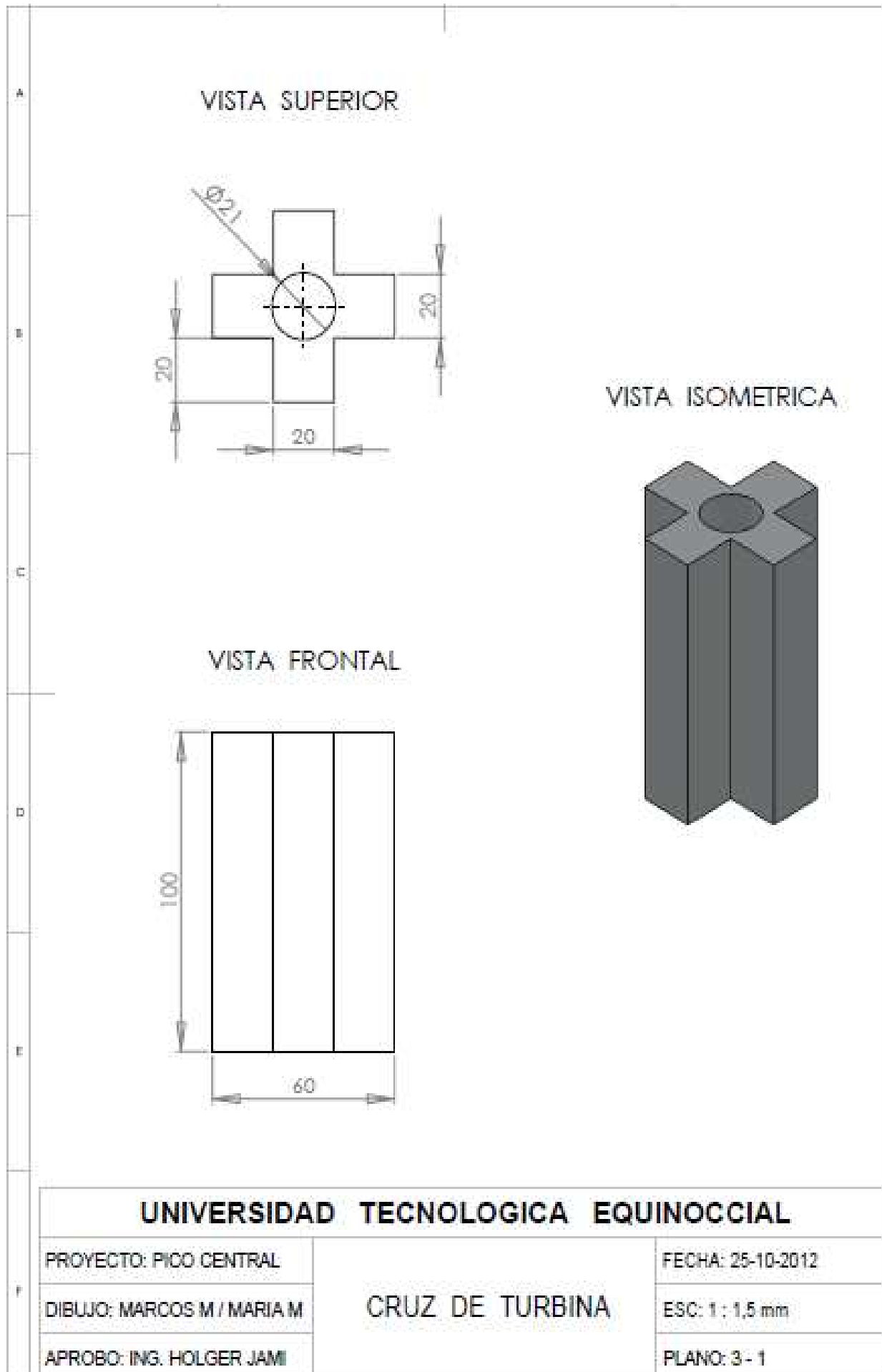
TURBINA

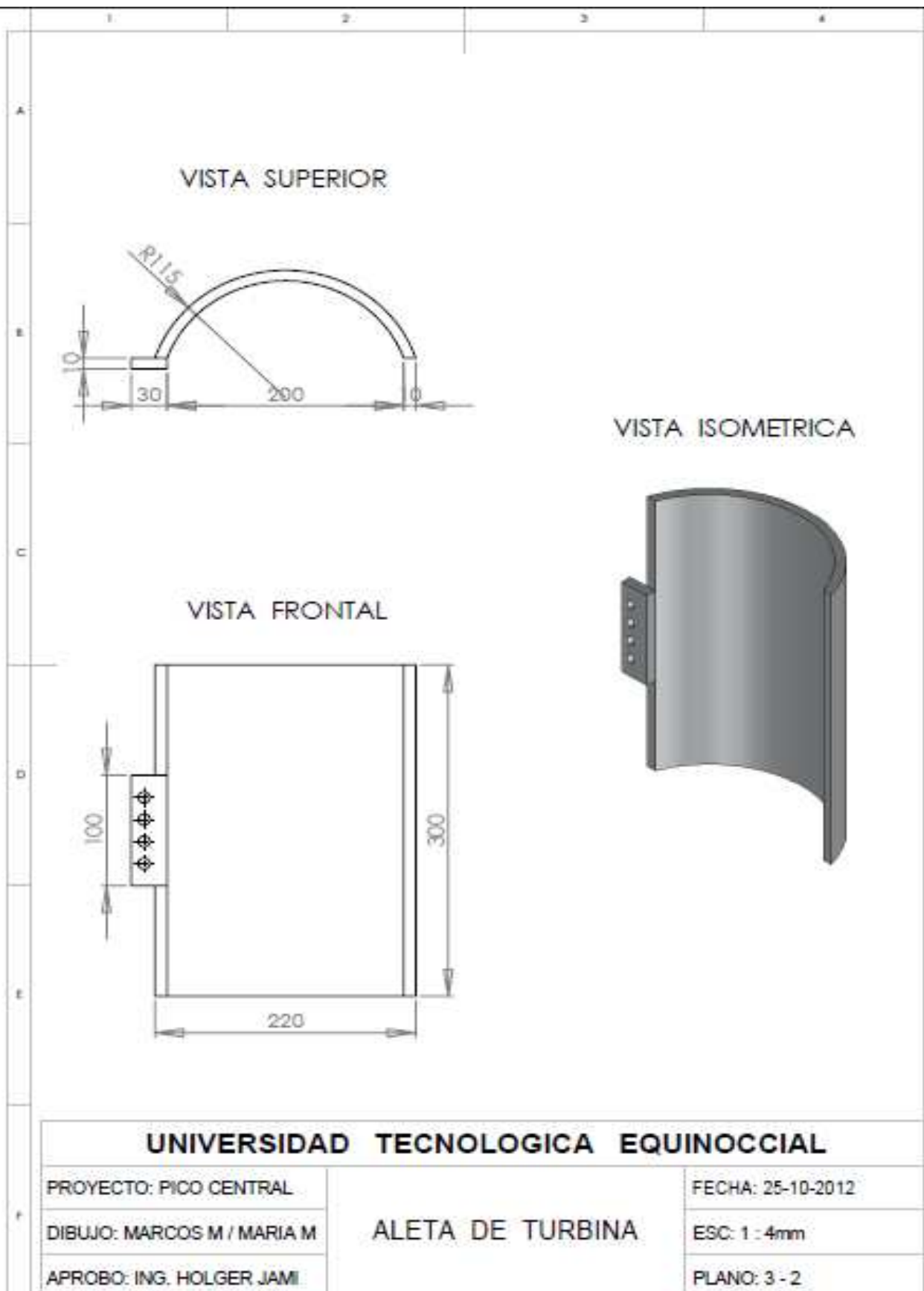
ESC: 1 : 4mm

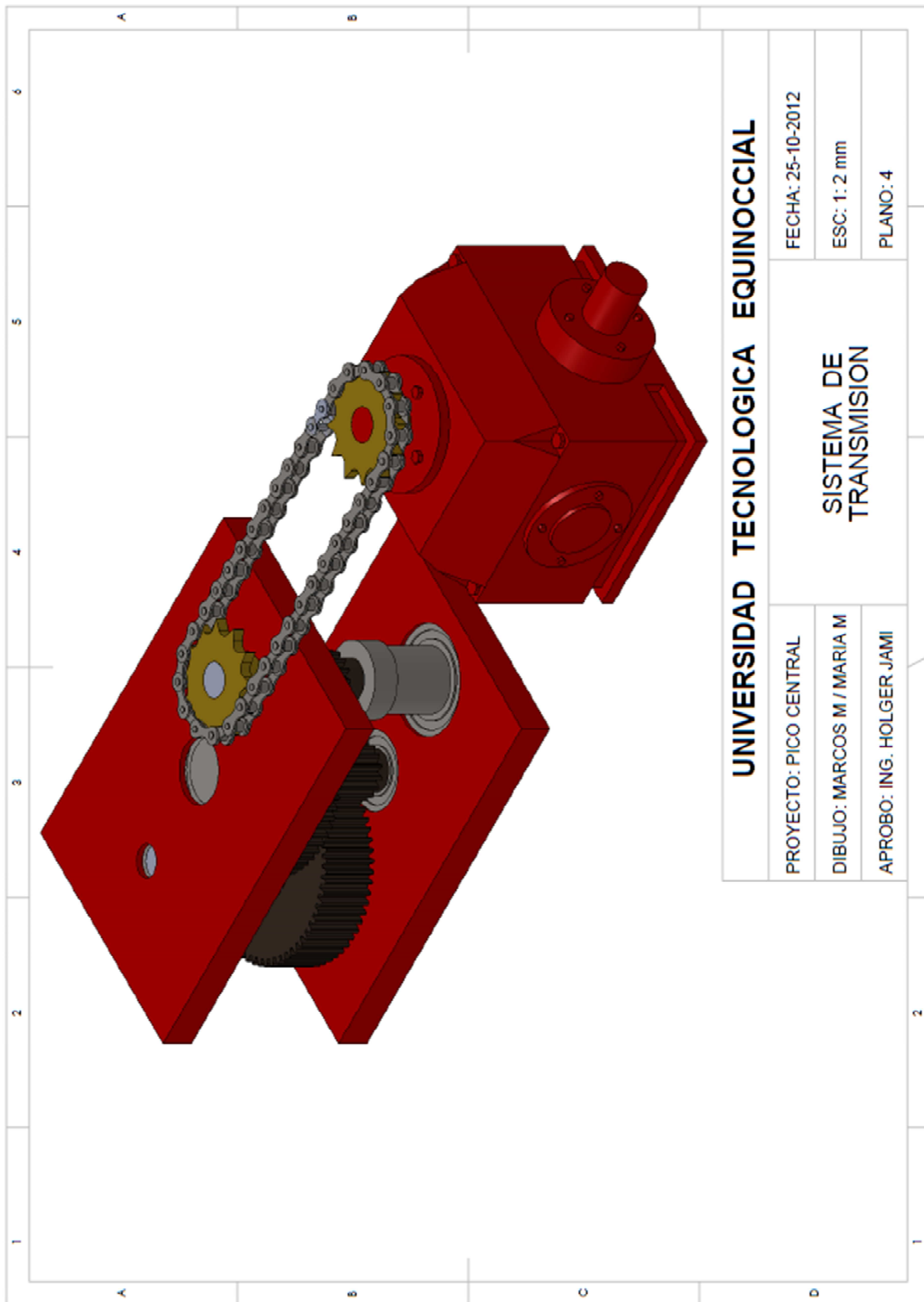
APROBO: ING. HOLGER JAMI

PLANO: 3

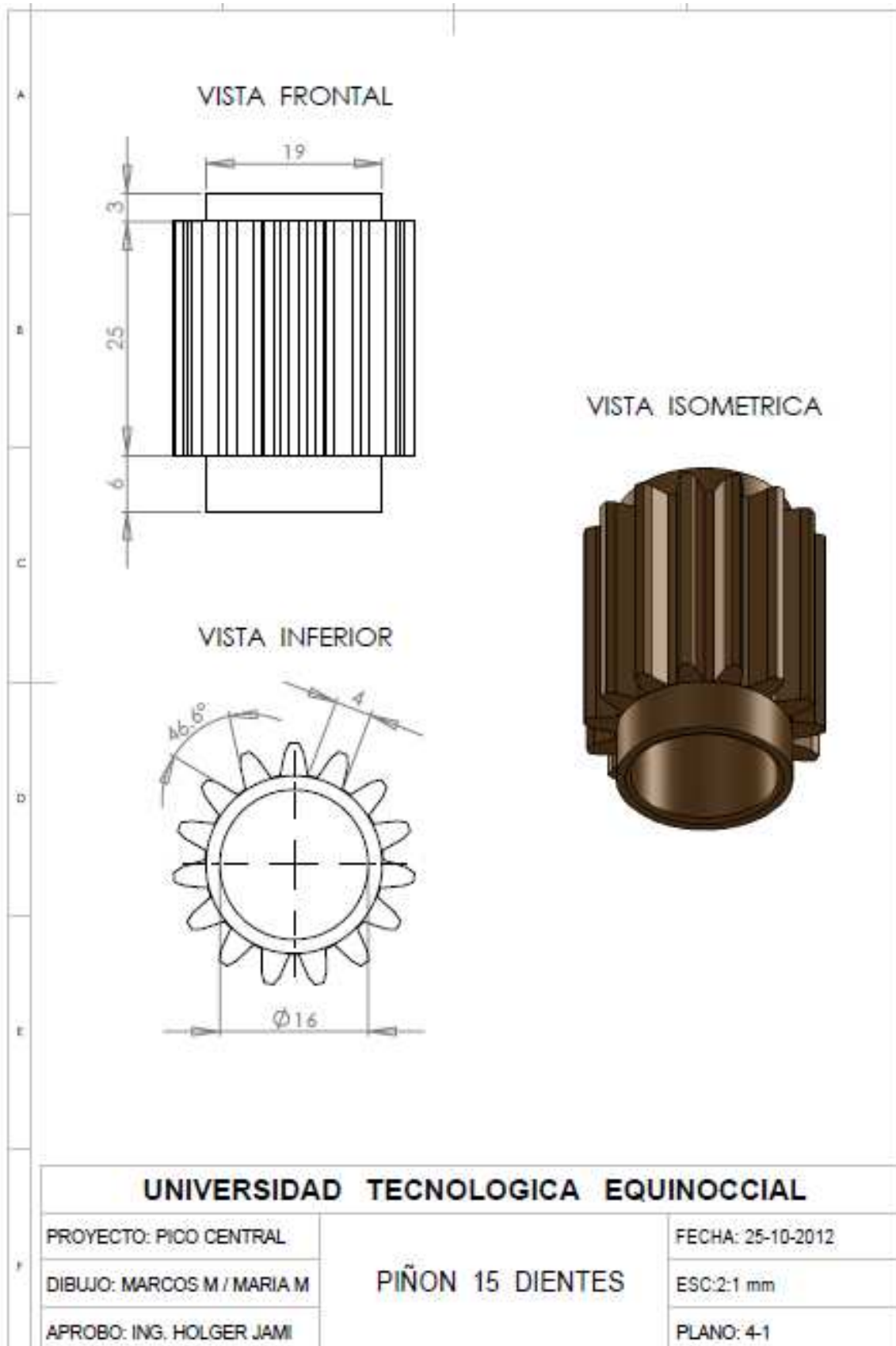


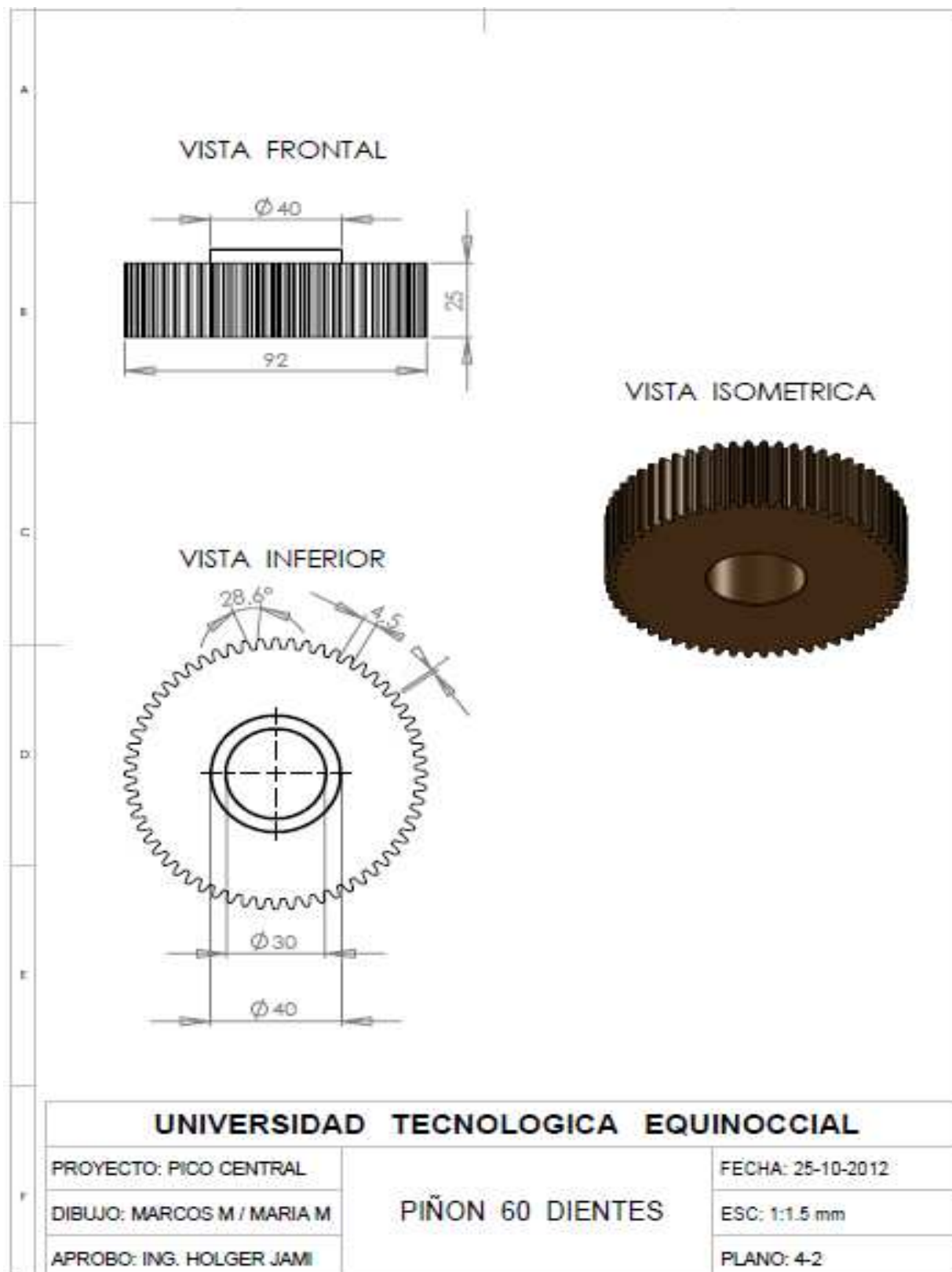


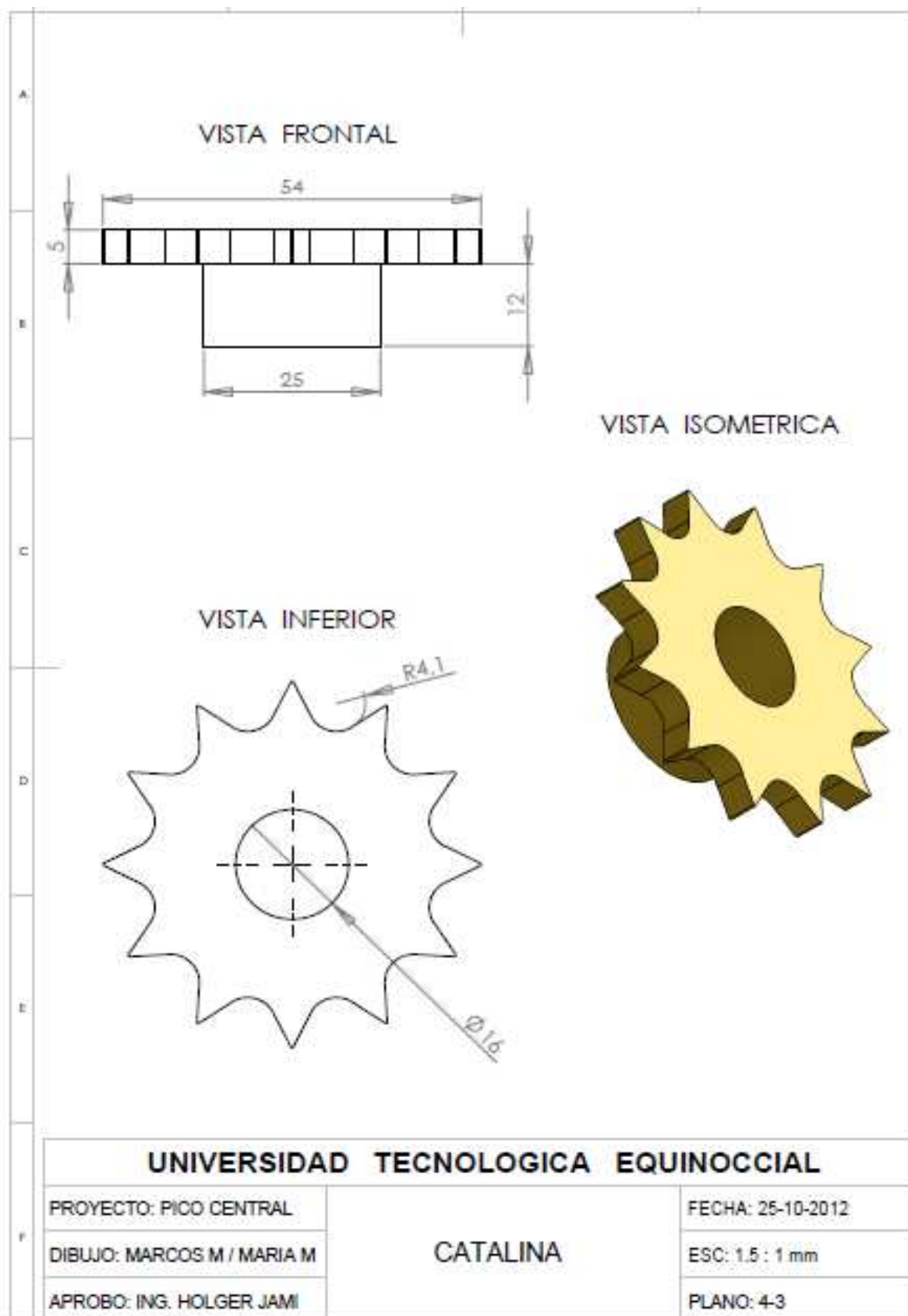


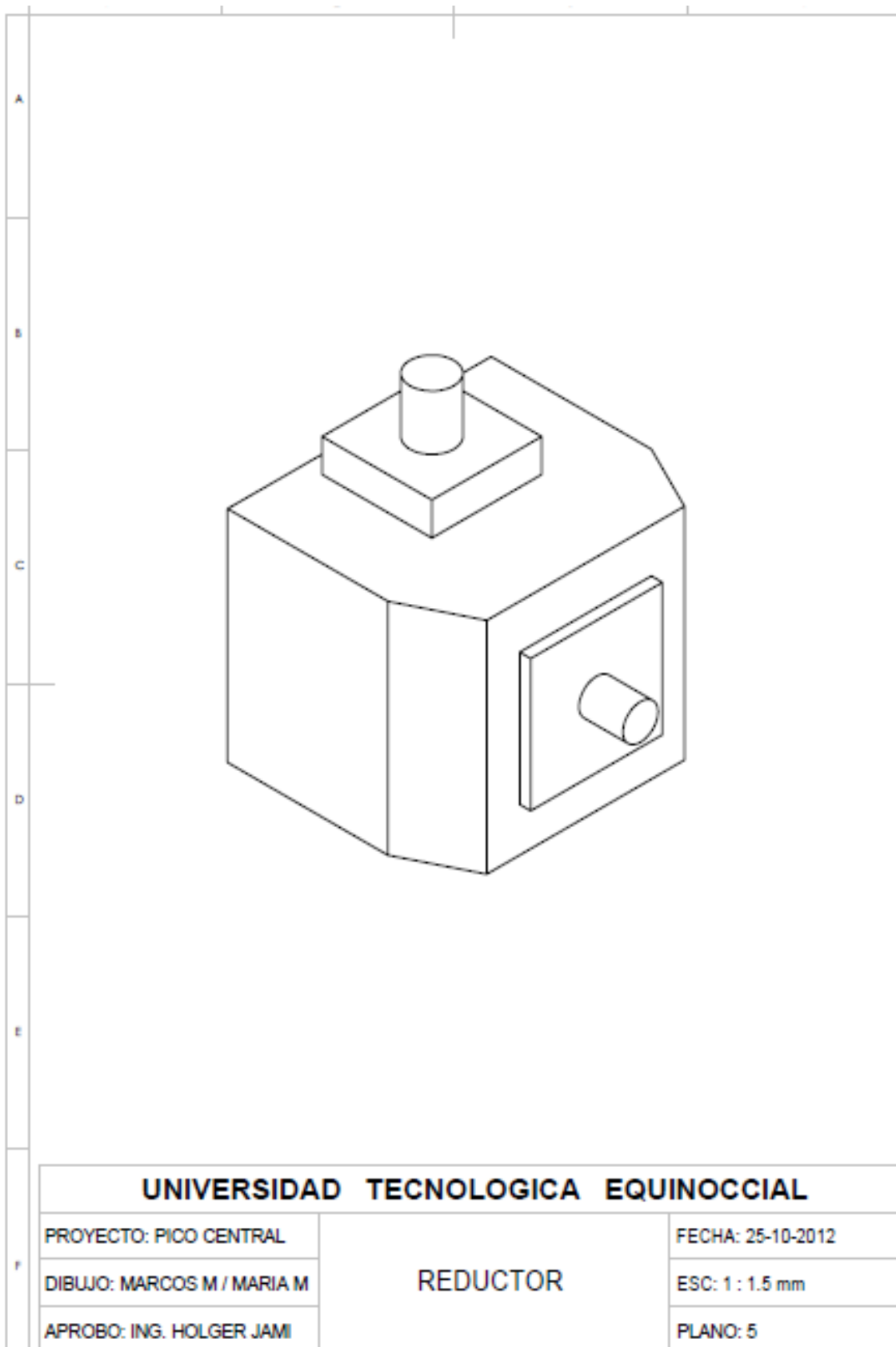


<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL</b>	
PROYECTO: PICO CENTRAL	FECHA: 25-10-2012
DIBUJO: MARCOS M / MARIA M	ESC: 1: 2 mm
APROBO: ING. HOLGER JAMI	PLANO: 4







**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

PROYECTO: PICO CENTRAL

FECHA: 25-10-2012

DIBUJO: MARCOS M / MARIA M

**REDUCTOR**

ESC: 1 : 1.5 mm

APROBO: ING. HOLGER JAMI

PLANO: 5

