

**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UNA TURBINA  
HIDRAULICA 2 NZ**

**RAMÓN GONZÁLEZ CANO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÀNICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UNA TURBINA  
HIDRAULICA 2 NZ**

**RAMÓN GONZÁLEZ CANO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Director**  
**EMIL HERNANDEZ ARROYO**  
**Ing. Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÀNICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bucaramanga 27de enero de 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

A los que nunca dudaron que lograría este triunfo; mis padres Hermán González Villalobos y Ruby María Cano porque siempre estuvieron con su apoyo incondicional, especialmente en esta etapa universitaria, a mi hermana María José González Cano por acompañarme y expresar siempre su satisfacción de compartir todo conmigo, ellos quienes me han enseñado con su ejemplo a rebasar todas las barreras que la vida nos presenta, a querer ser mejor cada día, a entender que no hay nada imposible y que sólo hay que esmerarse y sacrificarse, si es necesario, para lograr las metas que nos planteamos. A mis amigos y compañeros por ser mis principales aliados en lograr mi objetivo.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, en especial a la facultad de Ingeniería Mecánica, por abrirnos sus puertas y permitirnos ser parte de una comunidad fiel a sus principios y al conocimiento profesional.

Al ingeniero Emil Hernández Arroyo por ser el guía y mayor colaborador en el desarrollo de este proyecto.

A todos los miembros del cuerpo docente de la facultad de ingeniería mecánica por su apoyo y por el conocimiento que nos fue transmitido durante el transcurso de mi carrera y desarrollo del proyecto.

A Ludwig Casas y Víctor Cuellar quienes acompañaron y colaboraron en la construcción de este proyecto.

*A todos que Dios los bendiga.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	17
OBJETIVOS	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1. MARCO TEORICO	21
1.1 TURBINAS HIDRÁULICAS	21
1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS	22
1.2.1 Turbo maquinas motrices	22
1.2.2 Turbo maquinas generatrices	22
1.2.3 Turbo maquinas reversibles	22
1.2.4 Grupos de transmisión o acoplamiento	23
1.3 RUEDAS HIDRÁULICAS	23
1.4 PARTES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS	24
1.4.1 El distribuidor y difusor	25
1.4.2 El distribuidor	25
1.4.3 El rodete	25
1.4.3.1 Turbinas de acción	25
1.4.3.2 Turbinas de reacción	25
1.4.4 Difusor o tubo de aspiración	26
1.5 CLASIFICACION DE LAS TURBINAS SEGÚN LA ENTRADA DEL AGUA	26
1.5.1 Axiales	26
1.5.2 Radiales	27
1.5.3 Mixtas	27
1.5.4 Tangenciales	28
1.6DESCRIPCION SUMARIA DE ALGUNOS TIPOS DE TURBINAS HIDRAULICAS.	28

1.6.1.1 Turbina Fourneyron	28
1.6.1.2 Turbina Heuschel-jonval (1833)	29
1.6.1.3 Turbina Francis (1849)	29
1.6.1.4 Turbina Kaplan (1912)	30
1.6.2 Turbinas de acción	31
1.6.2.1 Turbina Peltón	31
1.6.2.2 Turbina Schwamkrug, (1850). Radial y centrifuga	31
1.6.2.3 Turbina Girard, (1863)	32
1.6.2.4 Turbina Michel o Banki	32
1.6.2.5 Turbina Turgo (Turbina instalada)	33
1.7 FUNCIONAMIENTO DE UNA TURBINA TURGO	35
1.7.1 Turbina alternativa Garman	36
1.8 CURVAS CARACTERÍSTICA PARA UNA TURBINA HIDRÁULICA	37
1.8.1 Rendimiento de las turbinas	38
1.8.2 Condiciones de ensayo teórico “Selección de norma”	38
1.9 ESTADO DEL ARTE EN ENERGÍAS RENOVABLES	39
1.9.1 Principal agente en energías renovables en Colombia, Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas IPSE	39
1.9.1.1 Ejemplo de proyecto del IPSE	40
1.9.2 Revista futura	44
1.9.3 Países con mayores publicaciones en energías renovables	44
1.9.4 Estado del arte en bancos de pruebas para micro turbinas hidráulicas	
Modulo didáctico para turbina Peltón generador asíncrono	45
2. MARCO CONCEPTUAL	47
2.1 BANCO DE PRUEBAS	47
2.1.2 Generador	48
2.1.3 Batería o acumulador	50
2.1.4 Inversor	52
2.1.5 Lámparas incandescentes	53

2.1.6 Bombas Centrifugas. “Para fines solo académicos, se utilizaran bombas centrifugas que permitirán crear un ciclo para el banco de pruebas”	53
2.1.7 Acometida hidráulica para la TURBINA TURGO	54
2.1.7.1 Tubería de PVC	54
2.1.8 Válvulas	55
2.1.8.1 Válvulas de aguja.	56
2.1.8.2 Válvulas de bola.	56
2.1.8.3 Válvulas de compuerta	56
2.1.8.4 Válvula de cono	56
2.1.8.5 Válvula de cuchillo	57
2.1.8.6 Válvulas de diafragma	57
2.1.8.7 Válvula mariposa	57
2.1.8.8 Válvula globo	57
2.2 COSTO DE INSTALACIÓN POR KILOVATIO HORA PARA UNA TURBINA TURGO DE 1 KW DE POTENCIA	58
2.2.1 Cuadro comparativo	60
3. DISEÑO CONCEPTUAL	61
3.1 VARIABLES A MEDIR	61
3.2 PASOS APLICADOS AL DISEÑO CONCEPTUAL	62
3.3 REQUERIMIENTO DEL BANCO	62
4. DISEÑO BASICO	64
4.1 VARIABLES A MEDIR	64
4.2 PASOS APLICADOS AL DISEÑO BÁSICO	65
4.2.1 Investigación sobre bancos de pruebas para turbinas hidráulicas	65
4.2.2 Crear un banco de pruebas de turbinas que permita el desarrollo, caracterización y pruebas de turbinas hidráulicas	66
4.2.3 La instalación debe permitir el funcionamiento de la turbina en diferentes regímenes	66
4.2.4 Un banco de pruebas actualizado con instrumentos e implementos de medición	66

4.3 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO	66
4.3.1 Tanque	68
4.3.2 Tubería	69
4.3.3 Medidor de presión en tubería.	69
4.3.4 Inyectores	70
4.3.5 Generador	70
4.3.6 Tablero de carga y amperímetro	71
4.3.7 Cronometro	72
4.3.8 Tacómetro	72
4.3.9 Bombas centrifugas	72
4.3.10 Medidor de voltaje	73
4.3.11 Batería o acumulador	74
5. DISEÑO DETALLADO	75
5.1 CALCULO EN LAS TUBERÍAS	75
5.1.1 Accesorios en PVC	77
5.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA	78
5.3 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL CALIBRE DEL CABLE QUE SUMINISTRARA ENERGÍA A LAS BOMBAS	82
5.4 ACOMETIDA ELÉCTRICA	84
5.5 CONFIGURACIÓN DEL TABLERO DE CARGA	85
5.6 BANCO DE PRUEBAS	87
6. METODOLOGIA	93
6.1 CONDICIONES DE ENSAYO TEÓRICO	93
6.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PRUEBAS	95
6.3 MÉTODO EXPERIMENTAL	97
6.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	98
6.5 RESULTADOS DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LA TURBINA TURGO 2 NZ	100
6.5.1 Análisis de la curva RPM vs Caudal	103
6.5.2 Análisis de la grafica RPM vs Voltaje	105



6.5.3 Análisis de la grafica RPM vs Corriente	106
6.5.4 Análisis de la grafica RPM vs Potencia Hidráulica	107
6.5.5 Análisis de la grafica RPM vs Potencia Eléctrica	108
6.5.6 Análisis de la grafica RPM vs Eficiencia	109
7. CONCLUSIONES	111
8. RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFIA	115
ANEXOS	118

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ruedas Hidráulicas	23
Figura 2. Entrada del agua en una turbina de Acción y Reacción	27
Figura 3. Turbina de flujo axial	27
Figura 4. Turbina de flujo radial	27
Figura 5. Turbina de flujo tangencial	28
Figura 6. Esquema de una Turbina Fourneyron	29
Figura 7. Esquema de una <b>Turbina Heuschel-jonval</b>	29
Figura 8. Esquema de una <b>Turbina Francis</b>	30
Figura 9. Esquema de una <b>Turbina Kaplan</b>	30
Figura 10. Esquema de una <b>Turbina Peltón</b>	31
Figura 11. Esquema de una <b>Turbina Schwamkrug</b>	31
Figura 12. Esquema de una <b>Turbina Girard</b>	32
Figura 13. Esquema de una <b>Turbina Girard</b>	32
Figura 14. Turbina 2 NZ	33
Figura 15. Imagen de los alabes y rodete de la Turgo	35
Figura 16. Imagen de entrada del chorro de agua a los alabes en una turgo	36
Figura 17. Esquema de una turbina Garman	36
Figura 18. Imagen de una Turbina Garman	37
Figura 19. Mapa de cobertura IPSE	40
Figura 20. Panorámica de micro central	41
Figura 21. Vista general y detalles de la presa	42
Figura 22. Imagen de la revista futura	44
Figura 23. Banco de pruebas Construido por CONTROL Y CONTROLES INDUSTRIALES LTDA. Bucaramanga-Colombia	45
Figura 24. Acometida eléctrica para la potencia generada en la turbina turgo	48
Figura 25. Esquema de una batería	51
Figura 26. Lámpara 12 VDC – 15 W	53

Figura 27. Acometida hidráulica para la TURBINA TURGO	54
Figura 28. Entradas y salidas del equipo para caracterización de la turbina hidráulica	61
Figura 29. Diseño básico del banco didáctico	64
Figura 30. Válvulas de bola	66
Figura 31. Diagrama de funcionamiento del banco didáctico para pruebas de una Turbina Hidráulica 2 NZ de 1 KW	67
Figura 32. Tanque de abastecimiento	69
Figura 33. Manómetro	69
Figura 34. Manómetro	70
Figura 35. Alternador de imanes permanentes	71
Figura 36. Tablero de carga	71
Figura 37. Tablero de carga	72
Figura 38. Tacómetro digital de la Facultad de Ingeniería Mecánica UPB	72
Figura 39. Bomba pedrolloPk60	73
Figura 40. Multímetro	73
Figura 41. Batería MT 122050 12Vdc	74
Figura 42. Esquema de general del banco	75
Figura 43. Tubería y accesorios en PVC	77
Figura 44. Braket de Protección	84
Figura 45. Plano eléctrico del banco de pruebas	84
Figura 46. Circuito seleccionado	86
Figura 47. Fuerzas que intervienen en la estructura	88
Figura 48. Análisis de las cargas	89
Figura 49. Análisis para el soporte de la turbina Turgo	91
Figura 50. Determinación de la norma para las pruebas del banco	93
Figura 51. Diagrama de pérdidas	102

## LISTA DE GRAFICOS

	<b>Pág.</b>
Grafica 1. Rango funcional de las diferentes turbinas hidráulicas, de color rojo la turbina tipo Turgo o flujo cruzado con caudal y cabeza menor a la Francis y Peltón	34
Grafica 2. Curvas característica para una turbina Hidráulica	38
Grafica 3. Países con mayor investigación y publicaciones en energías alternativas.	45
Gráfica 4. Determinación de la eficiencia según la cabeza de 5m donde operara la bomba C-210	81
Grafica 5. RPM vs Caudal	104
Grafica 6. Grafica RPM vs Voltaje	105
Grafica 7. Grafica RPM vs Corriente	106
Grafica 8. Grafica RPM vs Corriente	107
Grafica 9. Grafica RPM vs Potencia Hidráulica	108
Grafica 10. Grafica RPM vs Potencia Eléctrica	109
Grafica 11. Grafica RPM vs eficiencia	109

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Rendimiento de las turbinas	38
Tabla 2. Descripción de la transformación de la energía en un generador DC	49
Tabla 3. Cuadro comparativo entre una batería convencional y una en gel	51
Tabla 4. Propiedades para tubería en PVC de alta y baja densidad	55
Tabla 5. Cuadro comparativo para una turbina hidráulica y un motor generador	60
Tabla 6. Requerimiento del banco	62
Tabla 7. Bancos de prueba	65
Tabla 8. Determinación de pérdidas y caudal para la bomba C-210	80
Tabla 9. Resultados a graficar en las pérdidas para la bomba C-210	80
Tabla 10. Características de las bombas	81
Tabla 11. Tabla para determinar los calibres del cable según su potencia	83
Tabla 12. Calculo de las fuerzas existentes en el sistema	88
Tabla 13. Tabla indicadora del número de pruebas a realizar por abertura de la válvula	96
Tabla 14. Determinación de caudal, boquilla y RPM	98
Tabla 15. Tabla con los resultados de todas las pruebas realizadas en el banco a la turbina Turgo 2 NZ	100
Tabla 16. Ecuaciones para determinación de las características de la turbina Turgo 2 NZ	101
Tabla 17. Perdidas en tubería	102

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. MANUAL	119
ANEXO B. TABLAS DE RESULTADOS PARA LA TURBINA 2 NZ	146
ANEXO C. CARACTERISTICA DE LA BOMBA CARACOL C-210	148
ANEXO D. CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS PEDROLLO PK 60	151
ANEXO E. BATERIA MT122050	153
ANEXO F. PLANOS DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO	154
ANEXO G. GUIA DE LABORATORIO	159

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TITULO:</b>	CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UNA TURBINA HIDRAULICA 2 NZ
<b>AUTOR(ES):</b>	Ramón González Cano
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería Mecánica
<b>DIRECTOR(A):</b>	Ing. Emil Hernández Arroyo

### RESUMEN

El presente proyecto, es un banco de pruebas dotado por una turbina Turgo que simula el funcionamiento de una pequeña central hidroeléctrica y permite disponer como herramienta para capacitar e incentivar a estudiantes en energías limpias y renovables. La tesis desarrollada abarca la construcción de un sistema que muestra el funcionamiento de una turbina Turgo, aprovechando la operación de 3 bombas centrífugas para simular el salto hidráulico. El trabajo comprende; la construcción del banco "Montaje de la turbina, acometida eléctrica, bombas y simulación de la caída de agua", la selección de los instrumentos y dispositivos para el control y el registro de las variables y los protocolos de ensayo así como los procedimientos de evaluación y diseño de la prueba de laboratorio para dicho banco. El banco de pruebas que se propone permitirá: visualizar el proceso de transformación de energía, determinar las zonas de aplicación de la turbina hidráulica, determinar las curvas de funcionamiento y evaluar el comportamiento de la turbina. Las características nominales de la turbina son las siguientes: 1kW de potencia eléctrica, velocidad de rotación de hasta 1000 RPM, 93% de eficiencia, abarca un salto mínimo de 5m, el rango para el caudal es de 1.37 GPM hasta 939 GPM. Se utiliza 3 bombas centrífugas que simularán el salto hidráulico, para accionar la turbina, considerando un volumen para el llenado del tanque número 1 de 1000 Lt y para el tanque número 2 de 600 Lt por medio del cual se garantiza la recirculación del agua para la realización de los diversos ensayos. La turbina Turgo utiliza un alternador sin escobillas para la generación de energía de la turbina y junto a la instalación de luminarias simularan la demanda de electricidad de una central hidráulica, de esta manera se tendrá un panorama real de todo el funcionamiento del proyecto.

### PALABRAS CLAVES:

Turbina Turgo, Cabeza hidráulica, caudal, banco de pruebas.

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** BUILDING A TEST BENCH FOR A HYDRAULIC TURBINE 2 NZ

**AUTHOR(S):** Ramón González Cano

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Ing. Emil Hernández Arroyo

### ABSTRACT

This project is a test bed equipped with a turbine Turgo that simulates the operation of a small hydroelectric plant and makes available as a tool to train and encourage students in clean and renewable energy. The thesis developed includes the construction of a system showing the operation of a turbine Turgo, using the centrifugal operation 3 to simulate hydraulic jump. The work includes, construction of the bank "turbine assembly, electrical connection, pumps and simulation of the waterfall", the selection of instruments and devices for monitoring and recording of variables and testing protocols and assessment procedures and test design laboratory for that bank. The test proposed will: display the energy transformation process, identify areas of application of the hydraulic turbine performance curves to determine and evaluate the performance of the turbine. The rating of the turbine are: 1 kW of electrical power, rotation speed of 1000 RPM, 93% efficiency, covering a minimum of 5m jump, the range for the flow is 1.37 GPM to 939 GPM. Centrifugal pumps used 3 simulating the hydraulic jump, to drive the turbine, considering a volume to fill the tank of 1000 Lt number 1 and number 2 tank of 600 Lt where by ensuring the recirculation of water for performing the various tests. The turbine uses a Turgo brushless alternator for power generation turbine and with the installation of lights simulate the demand for electricity from a hydroelectric plant, so there will be a true picture of project performance.

### KEYWORDS:

Turgo turbine, hydraulic head, flow test.



## INTRODUCCION

Colombia cuenta con zonas de difícil acceso y poco viables económicamente para ser incluidas en la red nacional de energía eléctrica. De esta forma es necesario investigar en una nueva obtención de energía a pequeña escala que pueda suplir finalmente esta necesidad.

El presente trabajo de grado hace un recorrido en la construcción de un banco de prueba para una **Turbina Hidráulica tipo Turgo Ref: 2 NZ** de 1 KW de potencia fabricada por “**Energy Systems & Design Ltd. CANADA**”.

Dicho banco permitirá una aplicación real de los conceptos hidráulicos de la cátedra de Máquinas Hidráulicas del programa de Ingeniería mecánica en la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, con este sistema se podrán obtener resultados experimentales y curvas de desempeño que permiten caracterizar la turbina hidráulica. También se realizaron guías de laboratorio que orientaran a los estudiantes en el desarrollo de sus prácticas experimentales el mismo está constituido por una estructura metálica, una turbina hidráulica, una batería, tres bombas y un tablero de carga. Sobre esta estructura y con el apoyo de equipos de medición como el tacómetro, voltímetro, amperímetro se realizan pruebas de funcionamiento de la turbina a diferentes regímenes de velocidad con el objeto de obtener las curvas características antes mencionadas. Las curvas obtenidas son reportadas y analizadas en el presente documento.

La tecnología aplicada resulta relativamente sencilla y de muy bajo costo y puede ser aplicada mediante recursos propios de quien lo demande, generando a su vez resultados para comunidades con deficiencia o nulo suministro de energía eléctrica.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Construir un banco de pruebas para la **Turbina Hidráulica 2 NZ** y ***evaluar su desempeño***, utilizando la energía potencial del agua, como generadora de energía eléctrica, produciendo con esto prácticas de laboratorio para la asignatura de Máquinas Hidráulicas.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica relacionada con las “Turbinas Hidráulicas” para la generación de electricidad utilizando fuentes académicas, comerciales y bases de datos. **Resultado:** documento que contenga la revisión bibliográfica relacionada con turbinas de impulso. **Indicador:** se utilizarán fuentes académicas y comerciales, así como la base de datos del campo específico de la **Turbina Hidráulica 2 NZ**.
- Aplicar en la construcción del banco de pruebas de la **Turbina Hidráulica 2 NZ** adquirida por la UPB y asignada al laboratorio de Maquinas Hidráulicas las normas aportadas por el fabricante (Energy Systems and Desing LTDA, Canadá E4E 5L7) y la norma para el montaje (International code, forabnahmeversuchean wasser turbinen in kraftwerken -Código internacional, para pruebas de aceptación en las turbinas de agua en las plantas de energía). **Resultado:** Banco de pruebas de la **turbina 2 NZ** para el laboratorio de maquinas hidráulicas. **Indicador:** entregar el banco de pruebas con las *normas suministradas* por el fabricante de la **turbina Hidráulica 2 NZ** (Energy Systems and Desing LTDA, Canadá E4E 5L7) y la norma para el montaje (International code, forabnahmeversuchean wasser turbinen in kraftwerken).

- Diseñar prácticas de laboratorio para la **Turbina Hidráulica 2 NZ** usando normas y guías existentes en la asignatura de máquinas hidráulicas.

**Resultado:** manual que contenga por lo menos dos prácticas de laboratorio para la **turbina 2 NZ**.  
**Indicador:** Entregar la práctica de laboratorio para la **turbina 2 NZ** con normas técnicas (International code, forabnahmeversuchean wasser turbinen in kraftwerken), guías existentes para pruebas de Turbinas (Energy Systems and Desing LTDA, Canadá E4E 5L7), recomendaciones de la universidad para este tipo de documentos y contenido de la asignatura Maquinas Hidráulicas.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana no cuentan con un laboratorio de turbo maquinas hidráulicas, presente la necesidad es pertinente adquirir equipos de laboratorio que permitan interactuar a los estudiantes con los principios y fenómenos involucrados, brindando con esto, la posibilidad de comprender y evaluar los aspectos básicos para soportar los conceptos teóricos. Este proyecto responde a la necesidad que presenta la institución al no contar con un laboratorio para la **turbina 2 NZ** que fue adquirida para la facultad de ingeniería mecánica, en la asignatura de maquinas hidráulicas, por ende, la realización de este proyecto involucra estudios como: Mecánica de Fluidos, electrotecnia, Diseño y Maquinas hidráulicas, permitiendo la oportunidad de afianzar conocimientos adquiridos durante el proceso de aprendizaje de cada una de ellas y a su vez experimentar con energías alternativas y renovables.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 TURBINAS HIDRÁULICAS

Una maquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en mecánica; puede ser motrices (turbinas), o generatrices (Bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa. En el estudio de las turbo maquinas hidráulicas no se tienen en cuenta efectos de tipo térmico, aunque a veces habrá necesidad de recurrirá determinados conceptos termodinámicos: todos los fenómenos que se estudian serán en régimen permanente, caracterizados por una velocidad de rotación de la maquina y un caudal constantes. En una maquina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revoluciones que gira alrededor de su eje de simetría; este mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de alabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua.<sup>1</sup>

Los métodos utilizados para su estudio son, el analítico, el experimental y el análisis dimensional.<sup>2</sup>

- El método analítico se fundamenta en el estudio del movimiento del fluido de los alabes, según los principios de la mecánica de fluidos.
- El método experimental, se fundamenta en la formulación empírica de la Hidráulica, y la experimentación.
- El análisis dimensional ofrece grupos de relaciones entre las variables que intervienen en el proceso, confirmando los coeficientes de funcionamiento de las

---

<sup>1</sup>Turbinas Hidráulicas; Autor: Pedro D. Fernández.

<sup>2</sup> ibíd.

turbinas, al igual que los diversos números adimensionales que proporcionan información acerca de la influencia de las propiedades del fluido en movimiento a través de los órganos que las componen.<sup>3</sup>

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS.

Una primera calificación de las turbo máquinas hidráulicas, (de fluido incompresible), se puede hacer con arreglo a la función que desempeñan, en la forma siguiente:<sup>4</sup>

**1.2.1 Turbo máquinas motrices.** Que recogen la energía cedida por el fluido que las atraviesa, y la transforman en mecánica, pudiendo ser de dos tipos:

- Dinámicas o cinéticas, turbinas y ruedas hidráulicas.
- Estáticas o de presión, celulares (paletas), de engranajes, helicoidales, etc.

**1.2.2 Turbomaquinas generatrices.** Que aumentan la energía del fluido que las atraviesa de forma potencial, (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen en sus entradas por un motor, pudiendo ser:

*Bombas de alabes*, entre las que se encuentran las bombas centrifugas y axiales. Hélices marinas, cuyo principio es diferente a las anteriores: proporcionan un empuje similar al requerido para un buque.

**1.2.3 Turbon máquinas reversibles.** Tanto generatrices como motrices, que ejecutan una serie de funciones que quedan aseguradas, mediante un rotor específico, siendo las más importantes:

---

<sup>3</sup>Ibid.

<sup>4</sup>Ibid.

*Grupos turbina-bomba*, utilizados en centrales eléctricas de acumulación por bombeo.

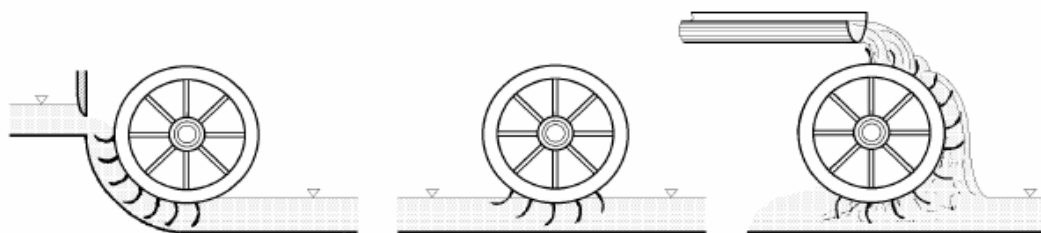
*Grupos Bulbo*, utilizados en la explotación de pequeños saltos de centrales mareomotrices.

**1.2.4 Grupos de transmisión o acoplamiento.** Que son una combinación de maquinas motrices y generatrices, es decir, un acoplamiento (bomba-turbina), alimentadas en circuito cerrado por un fluido, en general aceite; a este grupo pertenecen los cambios de par.<sup>5</sup>

### 1.3 RUEDAS HIDRÁULICAS

Las ruedas hidráulicas son maquinas capaces de transformar la energía del agua, cinética o potencial, en energía mecánica de rotación. En ellas, la energía potencial del agua se transforma en energía mecánica como se muestra en la figura 1.<sup>6</sup>

Figura 1. Ruedas Hidráulicas.



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

Se clasifican en:

---

<sup>5</sup>ibíd.

<sup>6</sup>ibíd.

- a) Ruedas movidas por el costado.
- b) Ruedas movidas por debajo.
- c) Ruedas movidas por arriba.

Su diámetro decrece con la altura H del salto del agua.

Los cangilones crecen con el caudal.

Los rendimientos son dl orden del 50% debido a la gran cantidad de engranajes intermedios.

El número de RPM es de 4 a 8.

Las potencias son bajas, y suelen variar entre 5 y 15 KW, siendo pequeñas si se las compara con las potencias de varios cientos de MW conseguidas en las turbinas.<sup>7</sup>

#### **1.4 PARTES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS**

Una turbo maquina elemental o mono celular tiene, básicamente una serie de alabes fijos, (distribuidor), y otra de alabes móviles,(rueda, rodete, rotor). La asociación de un órgano fijo y una rueda móvil constituye una célula; una turbo maquina mono celular se compone de tres órganos diferentes que el fluido va atravesando sucesivamente, el distribuidor, el rodete y el difusor.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> Ibid.



**1.4.1 El distribuidor y difusor.** (Tubo de aspiración), forman parte del estator de la maquina, es decir, son órganos fijos; así como el rodete está siempre presente, el distribuidor y el difusor pueden ser en determinadas turbinas, inexistentes.<sup>9</sup>

**1.4.2El distribuidor.** Es un órgano fijo cuya misión es dirigir el agua, desde la sección de entrada de la maquina hacia la entrada en el rodete, distribuyéndola alrededor del mismo. (turbinas de admisión total), o una parte, (turbinas de admisión parcial),es decir, que permite regular el agua que entra en la turbina, desde cerrar el paso totalmente, caudal cero, hasta lograr el caudal máximo. Es también un órgano que transforma la energía de presión en energía de velocidad; en las turbinas helicocentrípetas y en las axiales esta precedido de una cámara espiral (voluta) que conduce el agua desde la sección de entrada asegurando un reparto simétrico de la misma en la superficie de entrada del distribuidor.<sup>10</sup>

**1.4.3 El rodete.** El elemento esencial de la turbina, estando provisto de alabes en los que tiene lugar el intercambio de energía entre el agua y la maquina. Atendiendo a que la presión varié o no en el rodete, las turbinas se clasifican en turbinas de acción y de reacción.

**1.4.3.1 Turbinas de acción.**El agua sale del distribuidor a presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión; en estas turbinas, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete de energía cinética.

**1.4.3.2 turbinas de reacción.** El agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los alabes 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

---

<sup>9</sup> Ibid.  
<sup>10</sup> Ibid.

energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión.<sup>11</sup>

**1.4.4 Difusor o tubo de aspiración.** Es un conducto por el que desagua el agua, generalmente ensanchamiento progresivo, recto o acodado, que sale del rodete y la conduce hasta el canal de fuga, permitiendo recuperar parte de la energía cinética a la salida del rodete para lo cual debe ensancharse; si por razones de explotación el rodete está instalando a una cierta altura por encima del canal de fuga, un simple difusor cilíndrico permite su recuperación, que de otra forma se perdería. Si la turbina no posee tubo de aspiración, se la llama de escape libre, en las turbinas de acción, el empuje y la acción del agua, coinciden, mientras que en las turbinas de reacción, el empuje y la acción del agua, coinciden, mientras que en las turbinas de reacción, el empuje y la reacción del agua son opuestos. Este empuje es consecuencia de la diferencia de velocidades entre la entrada y la salida del agua en el rodete, según la proyección de la misma sobre la perpendicular al eje de giro.<sup>12</sup>

## **1.5 CLASIFICACION DE LAS TURBINAS SEGÚN LA ENTRADA DEL AGUA**

Atendiendo a la dirección de entrada del agua en las turbinas, estas pueden clasificarse en radiales, axiales, mixtas y tangenciales.

**1.5.1 axiales.** (Kaplan, Hélice, bulbo), el agua entra paralelamente al eje, tal como se muestra en la figura 2 y 3.<sup>13</sup>

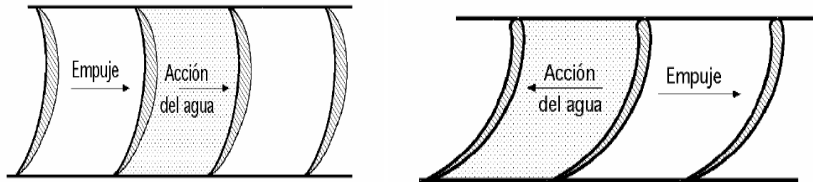
---

<sup>11</sup> Ibíd.

<sup>12</sup> Ibíd.

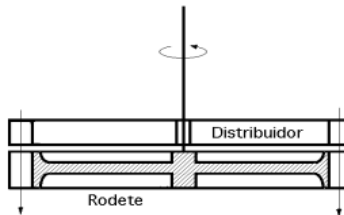
<sup>13</sup> Ibíd.

Figura 2. Entrada del agua en una turbina de Acción y Reacción.



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

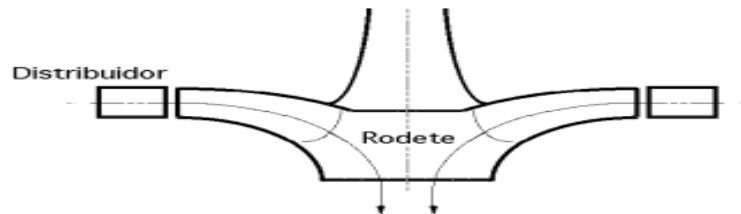
Figura 3. Turbina de flujo axial.



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

**1.5.2 Radiales.** El agua entra perpendicularmente al eje siendo centrífugas cuando el agua vaya de dentro hacia fuera, y centrípetas, cuando el agua vaya de afuera hacia adentro (Francis). Ver figura 4.

Figura 4. Turbina de flujo radial.

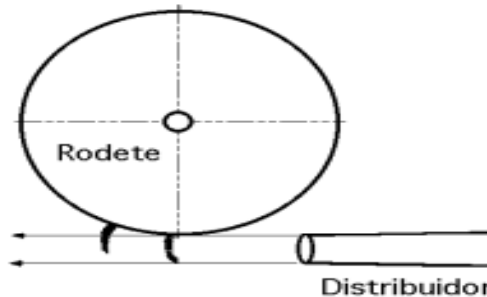


Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

**1.5.3 Mixtas.** Se tiene una combinación de las anteriores.

**1.5.4Tangenciales.**El agua entra lateral o tangencialmente (Peltón) contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda. Ver figura 5.

Figura 5.Turbina de flujo tangencial.



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

Atendiendo a la disposición del eje de giro, se pueden clasificar en:

- a) Turbinas de eje horizontal.
- b) Turbinas de eje vertical.<sup>14</sup>

## 1.6DESCRIPCION SUMARIA DE ALGUNOS TIPOS DE TURBINAS HIDRAULICAS.<sup>15</sup>

### 1.6.1 Turbinas de reacción

**1.6.1.1Turbina Fourneyron.** En la que el rodete se mueve dentro del agua. Es una turbina radial centrífuga, lo que supone un gran diámetro de rodete; en la actualidad no se construye. Ver figura 6.<sup>16</sup>

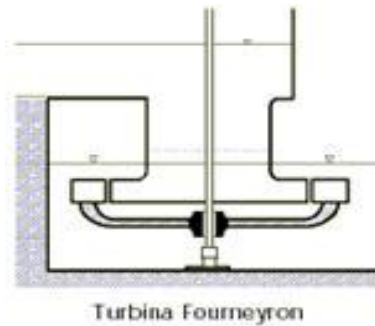
---

<sup>14</sup> ibíd.

<sup>15</sup> ibíd.

<sup>16</sup> ibíd.

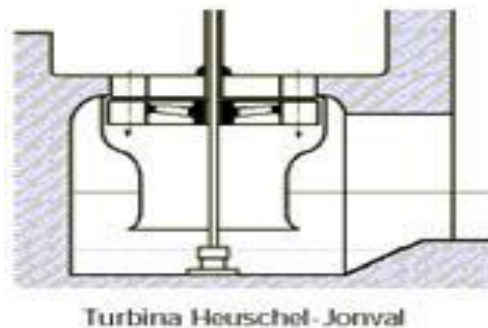
Figura 6. Esquema de una Turbina Fourneyron



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

**1.6.1.2 Turbina Heuschel - jonval (1833).** Axial y con tubo de aspiración; el rodete es prácticamente inaccesible, en la actualidad no se construye. Ver figura 7.<sup>17</sup>

Figura 7. Esquema de una **Turbina Heuschel - jonval.**



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

**1.6.1.3 Turbina Francis (1849).** Es radial centrípeta, con tubo de aspiración; el rodete es de fácil acceso, por lo que es muy práctica. Es fácilmente regulable y funciona a un elevado número de revoluciones; es el tipo más empleado, y se

---

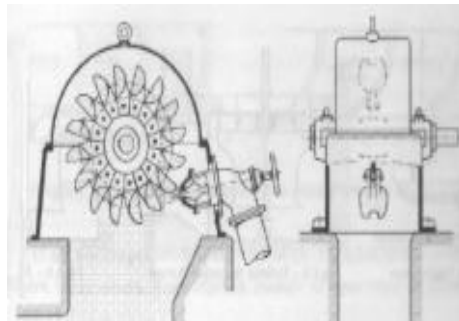
<sup>17</sup> ibíd.



**1.6.2 Turbinas de acción.** Estas turbinas se empezaron a utilizar antes que las de reacción; entre ellas se tienen:<sup>20</sup>

**1.6.2.1 Turbina Peltón.** Es tangencial, y la más utilizada para grandes saltos. Ver Figura 10.<sup>21</sup>

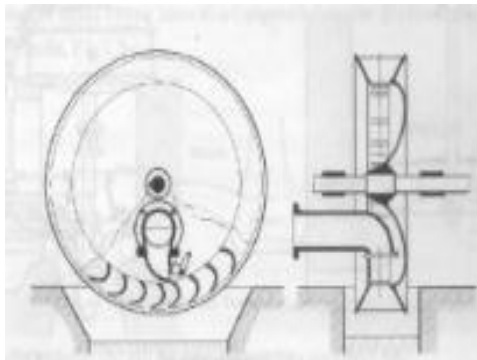
Figura 10. Esquema de una **Turbina Peltón.**



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

**1.6.2.2 Turbina Schwamkrug, (1850). Radial y centrífuga.** Ver figura 11.<sup>22</sup>

Figura 11. Esquema de una **Turbina Schwamkrug.**



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

---

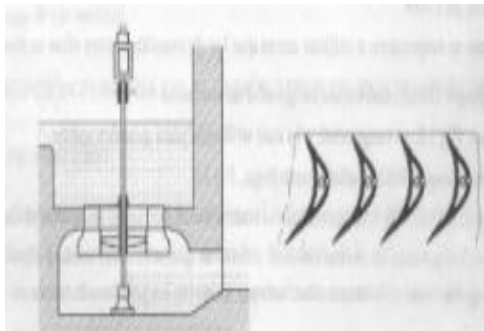
<sup>20</sup> Ibíd.

<sup>21</sup> ibíd.

<sup>22</sup> ibid.

**1.6.2.3 Turbina Girard, (1863).** Axial, con el rodete fuera del agua; mientras el cauce no subía de nivel, trabajaba como una de acción normal, mientras que si el nivel subía y el rodete quedaba sumergido, trabajaba como una de reacción, aunque no en las mejores condiciones; en la actualidad no se utiliza. Ver figura 12.<sup>23</sup>

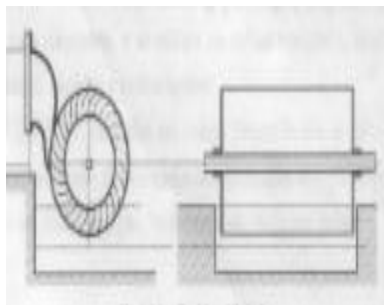
Figura 12. Esquema de una **Turbina Girard**.



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

**1.6.2.4 Turbina Michel o Banki.** El agua pasa dos veces por los alabes del rodete, construido en forma de tambor; se utiliza para pequeños y grandes saltos. Ver figura 13.<sup>24</sup>

Figura 13. Esquema de una **Turbina Girard**.



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

---

<sup>23</sup> ibid.

<sup>24</sup> Ibid.



**1.6.2.5 Turbina Turgo (Turbina instalada).** La turbina Turgo (Figura 14) se trata de una máquina de acción con similitud física y de funcionamiento a la turbina Peltón, se diferencian por el ángulo de incidencia del chorro del agua. El chorro de la Peltón es tangencial y en la Turgo es lateral. Ver anexo A.

Figura 14. Turbina 2 NZ.



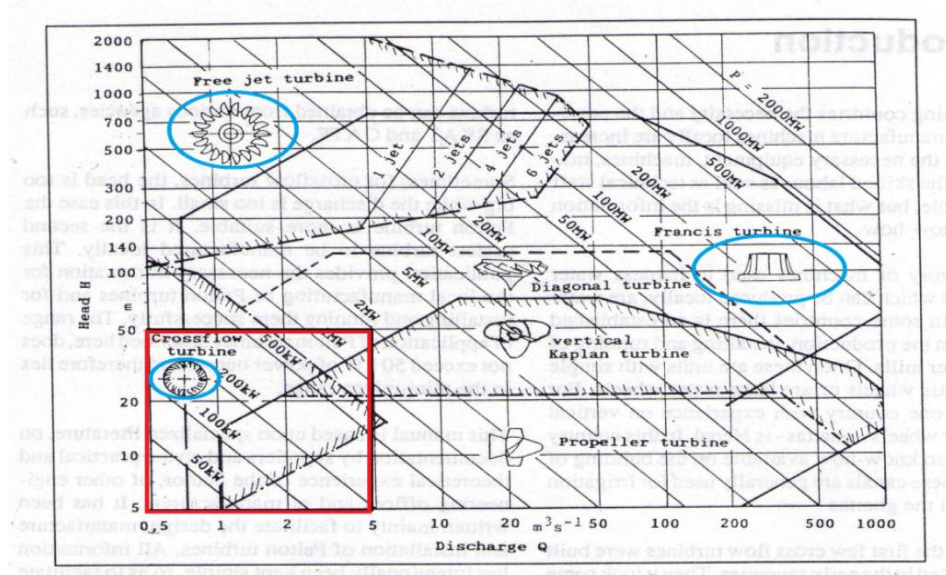
Fuente: "<http://www.microhydropower.com/>". 5 de diciembre del 2011.

El chorro del agua incide en el inyector y en el rotor lateralmente, formando un ángulo de 20 grados como se muestra en la figura 16. El agua escurre por las hélices saliendo libremente al otro lado para el canal de fuga. La Turgo atiende caídas entre 5 a 10 m y caudales de 0,01 a 5 m<sup>3</sup>/s, con potencias de 1W a 100KW. Ver grafica 1 y anexo A.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup>The Mini Hydro Power Group MHPG. Micro Peltón Turbine. Volumen 9. Página 2.

Grafica 1. Rango funcional de las diferentes turbinas hidráulicas, de color rojo la turbina tipo Turgo o flujo cruzado con caudal y cabeza menor a la Francis y Peltón.



Fuente: The Mini HydroPowerGroup MHPG. Micro Peltón Turbine. Volumen 9. Página 2.

Debido a sus particularidades, la Turgo compite con la Peltón Multichorros hasta la Francis Normal. Comparada con la Peltón Multichorros presenta las siguientes ventajas:

- Debido a la posición del chorro, la turbina Turgo puede asumir diámetros hasta la mitad de la rueda Peltón para las mismas condiciones.<sup>26</sup>
- Como la Peltón, la Turgo puede tener hasta tres inyectores.
- Debido a los mayores caudales admisibles en los inyectores de la rueda Turgo, se presenta una disminución del número de inyectores, y consecuentemente, hay una simplificación en el sistema de control de velocidad.

<sup>26</sup>The Mini Hydro Power Group MHPG. Micro Peltón Turbine. Volumen 9. Página 2.

- Con la disminución del diámetro hay un aumento en la rotación, por lo tanto, con caídas menores, es posible obtener rotaciones adecuadas al generador.<sup>27</sup>

## 1.7 FUNCIONAMIENTO DE UNA TURBINA TURGO

El agua no cambia de presión. La energía potencial del agua se convierte en energía cinética en el inyector. El agua sale con muy poca energía. Pueden tener un rendimiento por encima del 90%. El rodete se parece al de una Peltón partido por la mitad. Para la misma potencia, tiene la mitad del diámetro y dobla la velocidad específica. Puede manejar un mayor flujo de agua que la Peltón porque el agua que sale no interfiere con las paletas. Ver figura 15.<sup>28</sup>

Figura 15. Imagen de los alabes y rodete de la Turgo.



Fuente: [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html). 10 de diciembre 2011.

Las turbinas Turgo<sup>29</sup> a veces se pueden conectar directamente a un generador en lugar de tener una cara de velocidad mayor de transmisión. La Turgo opera en un rango donde la cabeza de la Peltón y turbinas Francis se superponen.

Aunque hay muchas instalaciones Turgo grandes, son especialmente populares también para aplicaciones de micro generación de potencia.<sup>30</sup>

---

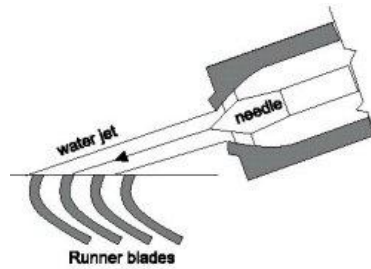
<sup>27</sup>The Mini Hydro Power Group MHPG. Micro Peltón Turbine. Volumen 9. Página 2.

<sup>28</sup> [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html)

<sup>29</sup> [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html)

<sup>30</sup> [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html)

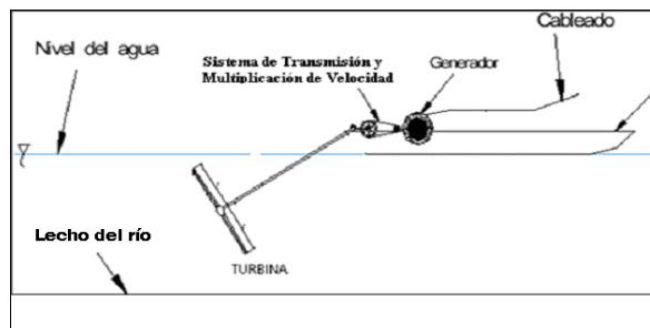
Figura 16. Imagen de entrada del chorro de agua a los alabes en una turgo.



Fuente: [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html). 8 de diciembre del 2011.

**1.7.1 Turbina alternativa Garman.** Otro tipo de turbina que funciona sin necesidad de la construcción de una represa. Ver figura 17.

Figura 17. Esquema de una turbina Garman.



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/24969501/Disenio-Turbina-de-Rio-Para-Generacion-de-Electric-Id-Ad>. 9 de diciembre del 2011.

Esta turbina fue concebida, con la finalidad de cargar baterías para el suministro de energía eléctrica doméstica o para el uso de centros de salud, escuelas o instalaciones similares. Además la turbina puede ser utilizada en sistemas con propósito doble, bombeo de agua y generación de electricidad. Dependiendo de la disponibilidad del recurso hídrico. Ver figura18.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html)

Figura18. Imagen de una Turbina Garman.



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/24969501/Disenio-Turbina-de-Rio-Para-Generacion-de-Electric-Id-Ad>. 9 de diciembre del 2011.

Para producir electricidad con esta turbina, se necesita un sistema compuesto por una turbina de tres palas de fibra de vidrio, un generador eléctrico, y si es necesario, un sistema de multiplicación de velocidad.<sup>32</sup>

### **1.8 CURVAS CARACTERÍSTICA PARA UNA TURBINA HIDRÁULICA.**

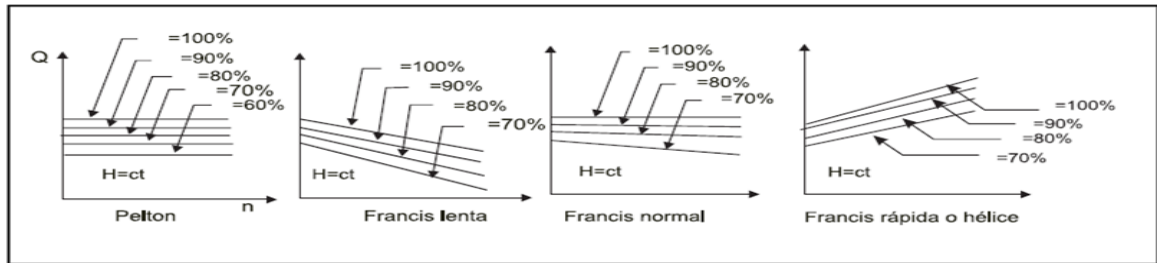
Las curvas  $Q(n)$  para diferentes grados de apertura  $x$  y salto constante  $H_n$ , son rectas, para la Peltón son rectas horizontales, siendo el gasto del inyector rigurosamente independiente de la velocidad de rotación; para las ruedas Francis, el caudal varia con la velocidad, pero la inclinación de las curvas  $Q(n)$  varia con los valores de  $n_s$ ; a las ruedas hélice, ya las Francis rápidas, corresponden curvas siempre crecientes, lo cual significa que a velocidad constante y salto variable, la capacidadde absorción de la rueda es tanto mayor cuanto menor sea el salto lo que constituye una gran ventaja para saltos pequeños. Ver grafica 2.<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html)

<sup>33</sup> Fernández, Pedro D. Departamento de ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

Grafica 2. Curvas característica para una turbina Hidráulica



Fuente: Fernández, Pedro D. Departamento de ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, Universidad de Cantabria

### 1.8.1 Rendimiento de las turbinas. Ver tabla 1.

Tabla 1. Rendimiento de las turbinas.

Turbina	Rendimiento %
KAPLAN	93 - 100
FRANCIS	92 - 100
PELTÓN	90 - 91

Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas.

**1.8.2 Condiciones de ensayo teórico “Selección de norma”.** De acuerdo con las normas internacionales para la determinación de la altura neta de los ensayos de turbinas hidroeléctricas (International code, furabnahmeversuchean wasser turbinen in kraftwerken) y turbinas de reacción, los ensayos para esta turbina se realizaran bajo las ecuaciones de dicha norma para turbo maquinas hidráulicas la cual indica el procedimiento para hallar la potencia neta del mismo.<sup>34</sup>

<sup>34</sup>MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición, Editorial Alfa omega. Capitulo 22.

## 1.9 ESTADO DEL ARTE EN ENERGÍAS RENOVABLES

Colombia no es uno de los productores principales de energía en el mundo, aún así produce mucho más que sus necesidades. La diferencia entre su producción energética y consumo ha sido sobre todo debido a sus exportaciones de aceite y carbón. La demanda de Colombia de energía ha estado aumentando en la última década y se espera que crezca en un promedio de 3.5% por año hasta el 2020.<sup>35</sup>

Colombia ha confiado por mucho tiempo en una abundante dotación de hidroelectricidad, combustibles fósiles, aceite, carbón, y gas para resolver energéticas domésticas tan bien como contribuir substancialmente a la balanza comercial en mercados internacionales. La situación está a punto de cambiar con la pérdida anunciada de autosuficiencia en aceite pronosticada para el 2010-2011 y dificultades similares en reservas que se amplían del gas natural y de su red de distribución.<sup>36</sup>

**1.9.1 Principal agente en energías renovables en Colombia, Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas IPSE.** El IPSE ofrece soluciones energéticas estructurales en las comunidades rurales como factor de equidad y seguridad nacional, con criterios de eficacia, eficiencia y efectividad, fundamentado en el mejoramiento continuo de sus procesos, con responsabilidad ambiental y en condiciones de trabajo seguro y saludable para las partes interesadas, asegurando el cumplimiento de la legislación aplicable a las actividades que desarrolla y otros requisitos que la organización suscriba. Ver figura 19. “ZNI: Zonas no interconectadas”<sup>37</sup>

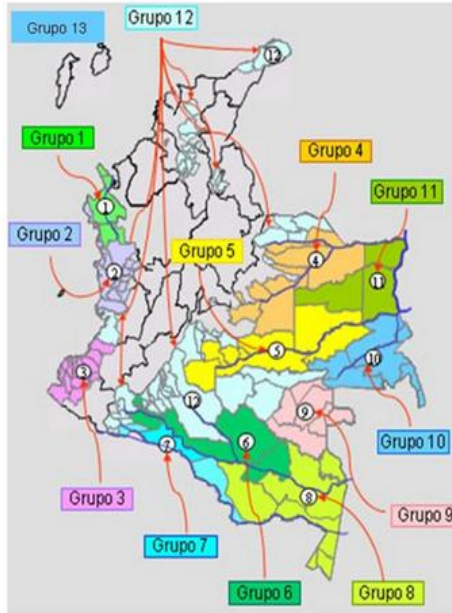
---

<sup>35</sup><http://www.redenergiaalternativa.org/spanish/indexsp.htm>

<sup>36</sup><http://www.redenergiaalternativa.org/spanish/indexsp.htm>

<sup>37</sup>[http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201)

Figura 19. Mapa de cobertura IPSE.



### DIAGNÓSTICO ZNI

- ✓ 66 % territorio nacional
- ✓ 16 Departamentos
- ✓ 4 Capitales departamentales
- ✓ 13 Grupos territoriales
- ✓ 44 Cabeceras municipales
- ✓ 91 Municipios
- ✓ 1.200 Localidades
- ✓ 118 mil usuarios atendidos
- ✓ 91 Entes prestadores
- ✓ 118 MW

Fuente: [http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201)

#### 1.9.1.1 Ejemplo de proyecto del IPSE

**Construcción y puesta en operación de la pequeña central hidroeléctrica de 55 KW en el departamento de Antioquia.**

#### Objetivos

Montaje, instalación y puesta en funcionamiento de central de generación hidráulica de 55 KW para suplir de energía al corregimiento la encarnación. Ver figura 20.<sup>38</sup>

<sup>38</sup>[http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201)



## Descripción

Suministro, instalación, montaje y puesta en operación de un grupo turbina generador trifásico de 55 kw e instalación de red eléctrica en el corregimiento de la encarnación, incluyendo obras civiles, boca toma, canal de conducción, casa de maquinas, equipos electromecánicos y redes de distribución eléctrica.<sup>39</sup>

Figura 20. Panorámica de micro central.



Panorámica de la Micro Central, incluye tubería de carga, Casa de Máquinas y Subestación Elevadora tipo patio. Diciembre 2007

Fuente: Tomada: [http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201). 10 diciembre del 2011.

**Generalidades del proyecto.** Ver figura 21.

**Población beneficiada.** 420 habitantes conformadas por colonos y mestizos, capilla, cuatro escuelas y cuatro locales comerciales.

**Gestor del proyecto.** Gobernación de Antioquia e Instituto de Planeación y Promoción de soluciones energéticas IPSE.

**Estado del proyecto.** En operación desde octubre de 2007.

---

<sup>39</sup>[http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201)

**Costo total del proyecto.** U\$713.500 dólares a septiembre del 2009.

**Administrador de los recursos.** Instituto para el desarrollo de Antioquia IDEA.

**Fuente de recursos.** Instituto de Planeación y Promoción de soluciones energéticas IPSE y gobernación de Antioquia.<sup>40</sup>

Figura 21. Vista general y detalles de la presa.



Vista general de la Micro Central y el Corregimiento de La Encarnación. Diciembre 2007



Detalle de las obras civiles de la presa y bocatoma de la Micro Central Hidroeléctrica. Enero 2007

Fuente: [http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201).  
10 de diciembre del 2011.

### **Datos técnicos específicos del proyecto**

**Turbina.** Una de flujo cruzado tipo Michel banki, de 55 kw, captación lateral a filo de agua.

**Carga neta.** 40m

**Longitud del canal de conducción.** 2980m.

---

<sup>40</sup>[http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201)

**Longitud y diámetro tubería de presión.** 110m y 20cm.

**Generador.** Trifásico, sincrónico, 55 kw, 1800 rpm y 60 Hz.

**Subestación eléctrica elevadora.** Tipo patio, con banco de tres transformadores elevadores monofásicos, de 37.5 KVA de 120/240/13200 Voltios, 60 Hz, refrigerados en aceite. Red aérea de 13200 V. Apoyos en posteria de madera con cable ACSR de 4 AWG desnudo en una longitud de 26.8 km.

**Transformadores de distribución reductores.** Tipo poste, monofásicos, nueve de 1 KW, tres de 3 KW, nueve de 5 KW y cuatro de 10 KW, todos de 13200/240/120 Voltios, 60 Hz y refrigerados en aceite.[19]

**Red aérea trenzada de distribución a 120/208 Voltios de corriente alterna.** En conductor de aluminio trenzado, auto soportado, calibre 4 aislado AWG en una longitud 8.1Km.

**Acometidas a las viviendas.** 124 monofásicas bifilares, en cable de cobre encauchetado con neutro concéntrico calibre 8 AWG-THW.

**Alumbrado público.** Ocho luminarias de vapor de sodio de 70W a 240V con foto celda individual.

Proyectos productivos. Microempresa de producción de derivados lácteos (queso). Proceso agroindustrial con aprovechamiento de vegetales de la región (uso del fique).

Proceso agroindustrial de producción de alimentos para ganado bovino.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup>[http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201)

### 1.9.2 Revista futura. Ver figura 22.

Figura 22. Imagen de la revista futura.



Fuente: REVISTA FUTURA. Tecnología Renovable y Sostenible, año 1 publicación 06. Diciembre 20 del 2011.

**Futura** es la primera revista completamente digital del país, especializada en tecnología renovable y sostenible, que busca aproximarse a temas complejos de manera sencilla, inteligente, hermosa y sofisticada.

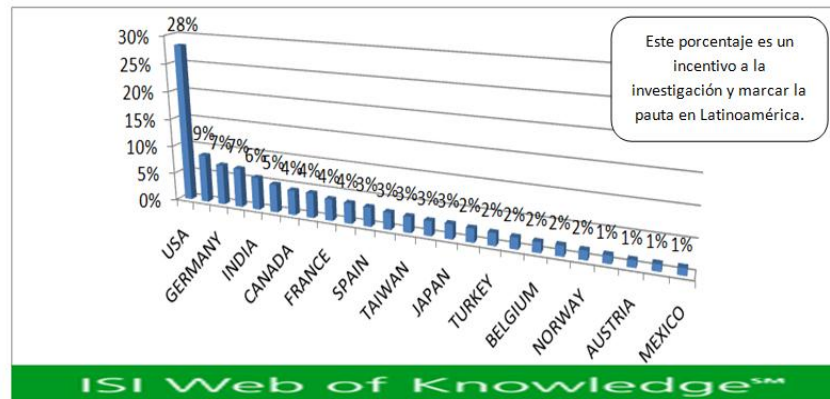
Ubicada en Piedecuesta Santander, brinda charlas, asesorías y talleres en energías limpias y renovables dirigido a estudiantes y profesionales.<sup>42</sup>

### 1.9.3 Países con mayores publicaciones en energías renovables. Ver grafica 3

---

<sup>42</sup>REVISTA FUTURA. Tecnología Renovable y Sostenible, año 1 publicación 06.

Grafica 3. Países con mayor investigación y publicaciones en energías alternativas.



Fuente: Tomada: <http://pcs.isiknowledge.com/analyze/ra.cgi>. Mayo 15 del 2011.

Con esta grafica se demuestra que las instituciones de educación superior colombianas no presentan interés en investigar y publicar proyectos o soluciones en energías renovables, a pesar del consumo diario y las pocas reservas de fuentes energéticas fósil actualmente explotadas.<sup>43</sup>

#### 1.9.4 Estado del arte en bancos de pruebas para micro turbinas hidráulicas Modulo didáctico para turbina Peltón generador asíncrono. Ver figura 23.

Figura 23. Banco de pruebas Construido por CONTROL Y CONTROLES INDUSTRIALES LTDA. Bucaramanga-Colombia.



Fuente: <http://www.kelcolombia.com/futura-06.pdf>. Junio 10 del 2011.

<sup>43</sup><http://pcs.isiknowledge.com/analyze/ra.cgi>

Este equipo permite capacitar a estudiantes en el diseño, construcción, montaje, puestas en marcha y operación de pequeñas centrales hidroeléctricas.

En este banco se pueden realizar las siguientes prácticas:

- Turbina Peltón y sus características.
- Generador asíncrono conectado a la red.
- Generador asíncrono aislado.
- Entrara en paralelo con la red en forma manual o automática.
- Transferencia de carga de la red al generador y viceversa.
- Pasar de motor a generador y viceversa.
- Control manual de tensión y frecuencia del generador en forma aislada.
- Trabajar con energía activa y reactiva en los cuatro cuadrantes.
- Características bomba centrifuga.
- Practica en instrumentación.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se exponen los términos e implementos necesarios para el diseño del banco.

### 2.1 BANCO DE PRUEBAS

Un banco de pruebas se emplea tanto para la obtención de datos importantes sobre la puesta a punto de prototipos, como para la determinación de ciertos datos fundamentales necesarios para la prueba de motores, turbinas u otras maquinas.<sup>44</sup>

Para la determinación de materiales e instrumentos electrónicos es necesario precisar sus cálculos. En el esquema brindado por el fabricante se observa que a partir del generador es necesaria una batería, un controlador de voltaje y un inversor, pero como las pruebas serán en VDC no será necesario el inversor pues se cuenta con bombillas de 12 VDC. A continuación se aportan las características teóricas y demás, necesarias para este capítulo:

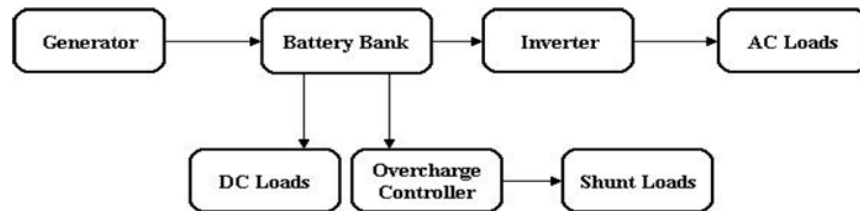
- Generador
- Batería o acumulador
- Inversor
- DC Loads-Lámparas incandescentes
- Bomba centrífuga

---

<sup>44</sup> <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/banco-de-pruebas-definicion-significado/gmx-niv15-con193089.htm>

- Potencia eléctrica

Figura 24. Acometida eléctrica para la potencia generada en la turbina turgo. Ver anexo A.

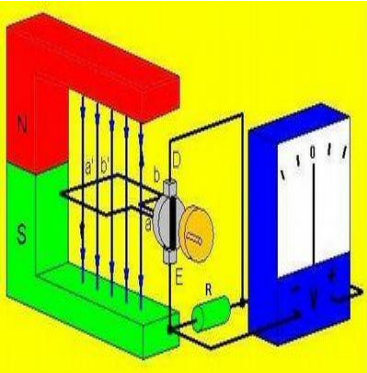
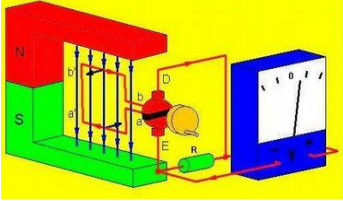
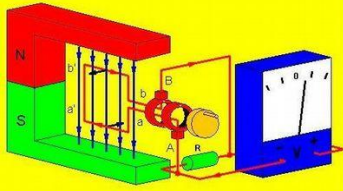
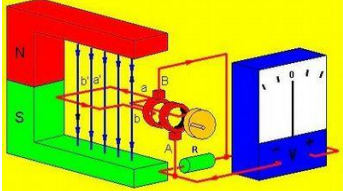


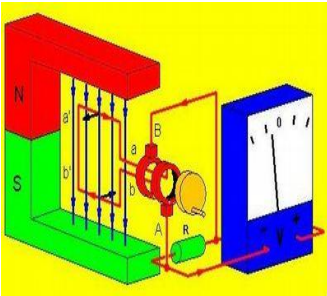
**2.1.2 Generador.** El generador tiene como misión transformar en energía eléctrica la energía mecánica suministrada por la turbina. En un principio se utilizaban generadores de corriente continua; actualmente, salvo rarísimas excepciones, solo se utilizan alternadores trifásicos de corriente alterna. En función de la red que debe alimentar. **Manual de la pequeña represa**

También es conocido con el nombre de dinamo. Un dinamo es un generador eléctrico destinado a la transformación de energía mecánica en energía eléctrica. En el momento en que se haga girar un espiral dentro de un campo magnético, aparecerá una corriente inducida en esa espira. La corriente inducida en esta espira será siempre positiva, por eso se le llama corriente continua, porque su valor no cambia de positivo a negativo. Ver tabla 2.



Tabla 2. Descripción de la transformación de la energía en un generador DC.

Descripción de los pasos	pasos
<p>Al girar el espiral baja la acción del campo magnético creado por el estator habrá unas posiciones donde la f.e.m (fuerza electro motriz) inducida que recojan las escobillas (D i E) será máxima y otras donde será mínima. Fijémonos en una vuelta completa del espiral. Cuando el espiral está situado de manera que el plano que describe es perpendicular a la dirección del campo magnético, el flujo atraviesa ese máximo. La variación de flujo es nula, la f.e.m que se induce a la bobina es nula y no circula ninguna corriente.</p>	
<p>Cuando el espiral gira 90° en sentido contrario a las agujas del reloj, el flujo magnético que lo atraviesa es nulo, pero la variación de flujo que tiene en ese instante llega a su valor máximo y, por lo tanto, la f.e.m que se induce en la espira es máxima.</p>	
<p>Cuando el espiral gira 90° más, se vuelve a estar en la misma situación que al principio, con la única diferencia que el tramo a-a' y el b-b' están intercambiados. De manera que la f.e.m inducida vuelve a ser nula.</p>	
<p>Si el espiral gira otros 90°, ahora estamos en la misma posición que en la figura 2, pero con los lados de la espiral cambiados. De forma que la variación de flujo vuelve a ser máxima por lo que tendremos otra vez, el valor máximo de corriente inducida en la bobina.</p>	

Descripción de los pasos	pasos
<p>Si el espiral gira 90° más, volvemos a la posición inicial. Realizando así una vuelta completa (un ciclo) y obteniendo corriente inducida continua. Esta corriente es continua porque en todo momento la mitad de la espiral por donde circula la corriente está en contacto con la misma escobilla. Cuando la espiral gira indefinidamente, el ciclo completo se va repitiendo.</p>	

Fuente: [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores). Enero 5 del 2012.

**2.1.3 Batería o acumulador.** Normalmente los acumuladores constan de dos placas de plomo sumergidas en un electrolito formado por una disolución de agua destilada más ácido sulfúrico ( $H_2SO_4 + H_2O$ ).<sup>45</sup>

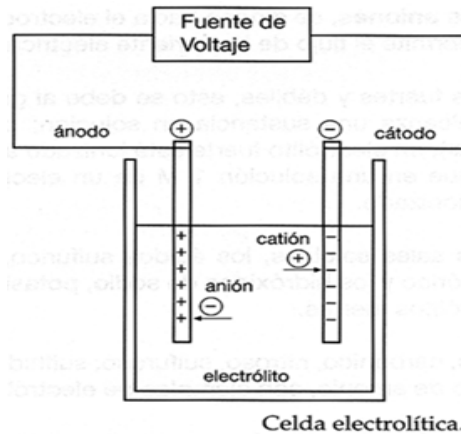
La **electrolisis** es un proceso mediante el cual, al hacer pasar una corriente eléctrica a través de una sustancia (en solución o fundida) se separa en los iones<sup>46</sup> que la forman, este proceso se utiliza para descomponer una sustancia en sus elementos, para purificar metales y para aplicar una capa metálica externa a un objeto. Esta última aplicación es muy utilizada en procesos como la galvanoplastia, la galvanostegia y el niquelado, los cuales tienen gran importancia en la industria, ya que mediante ellos se fabrican latas para envasar alimentos y se hacen el cromado y el chapeado, entre otros. Ver figura 25.<sup>47</sup>

<sup>45</sup>Alcalde, Pablo. Equipos e Instalaciones Electrotécnicas. Segunda Edición, Editorial Thomson. Capítulo 3 - 18.

<sup>46</sup>[http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC\\_83.HTM](http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC_83.HTM)

<sup>47</sup>[http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC\\_83.HTM](http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC_83.HTM)

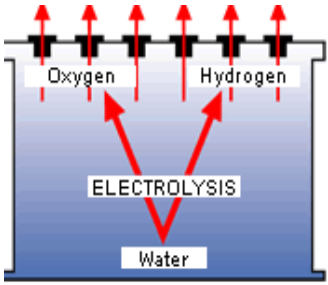
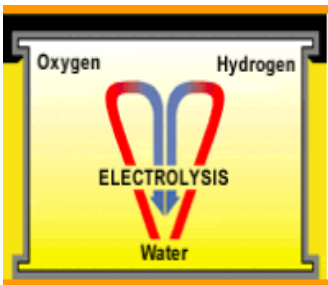
Figura 25. Esquema de una batería.



Fuente: Tomado:[http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC\\_83.HTM](http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC_83.HTM). Enero 11 del 2011

También existe el Principio de recombinación de gases para sistemas de batería sellada y hermética de Gel, los gases que se producen durante la carga se combinan para convertirse de nuevo en agua dentro de los elementos que componen la batería. De esta forma la batería es excepcionalmente limpia y segura de manejar porque no se producen gases o vapores de ácido que pueden escapar al exterior de la batería. Ver tabla 3.<sup>48</sup>

Tabla 3. Cuadro comparativo entre una batería convencional y una en gel.

Ventajas	Batería convencional	Sistema de sellado
Absolutamente libre de mantenimiento.		
Medioambientalmente limpia.		
No hay escape de vapores de ácido.		
Extremadamente baja		

<sup>48</sup><http://www.bastan.es/pagproductos/bateriasgel.htm>

Ventajas	Batería convencional	Sistema de sellado
<p>gasificación.</p> <p>Destacable arranque en frío durante toda su vida útil.</p> <p>Mínima descarga.</p> <p>Superior rendimiento de trabajo en ciclos.</p> <p>Permite un ángulo de inclinación de 180°.</p> <p>Probada capacidad de descarga profunda.</p> <p>Sin estratificación.</p> <p>Alta resistencia a la vibración.</p>	<p>Libera hidrogeno, oxigeno y vapores de acido</p>	<p>Hermético con válvulas de seguridad</p>

Fuente: <http://www.bastan.es/pagproductos/bateriasgel.htm>. Enero 12 del 2012.

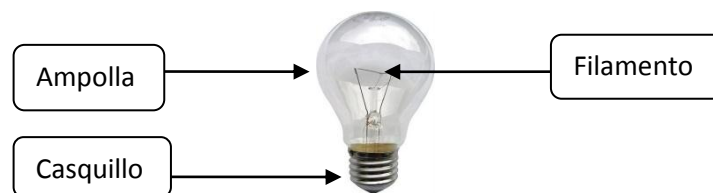
**2.1.4 Inversor.** Tal como lo dice su nombre, los inversores de voltaje transforman la corriente continua (CC) de baja tensión (12V, 24V, 32V 36V ó 48V) en corriente alterna (AC) de alta tensión (110V, 220V). El cambio de voltaje es necesario dado que los aparatos eléctricos se alimentan de uno u otro tipo de corriente. Como referencia, la gran mayoría de los aparatos eléctricos presentes en hogares y oficinas requieren de corriente alterna. Una vez que la corriente continua entra al inversor de voltaje, ya sea proveniente de la celda solar o desde una batería de ciclo profundo, ésta es conducida al transformador que se encuentra almacenado dentro del inversor de voltaje. El inversor de voltaje de una u otra manera “burla” al transformador forzando a la corriente continua a actuar como si fuese corriente alterna. Esto se logra mediante la interrupción permanente

de la corriente continua; pasándola a través de dos o más transistores que se encienden y apagan continuamente.<sup>49</sup>

**2.1.5 Lámparas incandescentes.** Estas lámparas serán las cargas para así determinar la eficiencia de la turbina Turgo, pues la potencia se mide a partir de la corriente consumida tanto en pruebas con carga como en vacío.

El funcionamiento de una lámpara incandescente es muy sencillo. Al atravesar la corriente un filamento resistivo, este alcanza una gran temperatura (unos 2.000 °C) poniéndose al rojo blanco, o sea incandescente. Lo que provoca una emisión de radiaciones luminosas. Ver figura 26.<sup>50</sup>

Figura 26. Lámpara 12 VDC – 15 W.



Fuente. Ramón González cano.

Las lámparas incandescentes son muy utilizadas por su bajo coste y por la facilidad de su montaje. Sin embargo, poseen un rendimiento luminoso bastante bajo frente a otro tipo de lámparas., como por ejemplo las fluorescentes. Además, la duración de las mismas no suele superar las 1.000 horas de funcionamiento.

**2.1.6 Bombas Centrifugas.** “Para fines solo académicos, se utilizaran bombas centrifugas que permitirán crear un ciclo para el banco de pruebas”.

Bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa *Energía Hidráulica*.

<sup>49</sup>[http://www.solener.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=104:inversores&catid=47:productos](http://www.solener.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=104:inversores&catid=47:productos)

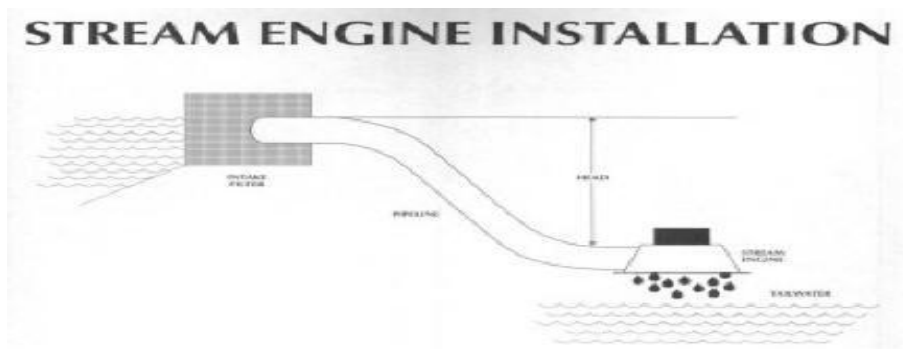
<sup>50</sup>Alcalde, Pablo. Equipos e Instalaciones Electrotécnicas. Segunda Edición, Editorial Thomson. Capítulo 3 - 18.

Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, líquidos alimentos).<sup>51</sup>

**2.1.7 Acometida hidráulica para la TURBINA TURGO.** Para la acometida hidráulica como muéstrala imagen 27, será necesario los siguientes elementos:

- Tubería de PVC
- Accesorios en PVC
- Válvulas

Figura 27. Acometida hidráulica para la TURBINA TURGO.



Fuente: <http://www.microhydropower.com/how-it-works/seinstall/>. Noviembre 4 del 2011.

**2.1.7.1 Tubería de PVC.** La materia prima utilizada para la fabricación de tubos de presión es el cloruro de polivinilo (PVC) o el polietileno. Ver tabla 4.

El primero de ellos, el PVC, debe ser puro en un 96 %, admitiendo únicamente en su composición colorante, estabilizadora y material auxiliares.

---

<sup>51</sup>MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición, Editorial Alfa omega. Capítulo 22.

El polietileno para la formación de tubos también tienen que ser puro, añadiendo un 2 % de negro de humo y un 0,3 % de colorantes, estabilizadores y materiales auxiliares. Ahora bien, el polietileno, según sea fabricado a alta presión o a baja presión, nos da un producto diferente, denominado el primero de baja densidad y el segundo de alta densidad, cuyas características son diferentes:

Tabla 4. Propiedades para tubería en PVC de alta y baja densidad.

PROPIEDADES PARA TUBERIA EN PVC DE ALTA Y BAJA DENSIDAD		
Densidad de	1,37 a 1,42 Kg/dm. <sup>3</sup>	
Coefficiente de dilatación lineal de	0,000.060 a 0.000.080 m/°C/m.	
Temperatura de reblandecimiento	> 80 °C.	
Modulo de elasticidad a 20° C	> 28.000 Kg./cm. <sup>2</sup>	
Tensión de rotura a tracción	> 500 Kg./cm. <sup>2</sup>	
	Baja densidad	Alta densidad
Peso específico	0,930 gr./ml.	0,940 gr./ml.
Coefficiente dilatación lineal	0,0002 a 0,00023 m/°C/m	ídem B. densidad
Temperatura remblandeciente	87 °C	100 °C
Módulo elasticidad a 20 °C	1.200 Kg./cm. <sup>2</sup>	9.000 Kg./cm. <sup>2</sup>
Tensión de rotura a tracción	100 Kg./cm. <sup>2</sup>	190 Kg./cm. <sup>2</sup>

Fuente:<http://www.terra.es/personal8/2501174/teoria/teo4.4.htm>. Enero 14 del 2011.

**2.1.8Válvulas.** Las válvulas son aparatos mecánicos o electromecánicos, cuya función es la apertura y cierre (ON-OFF) y regulación de flujo, pudiendo ser este, líquido, gas, vapor o líquidos con sólidos en suspensión. El buen funcionamiento de un sistema de cañerías depende en gran parte de la elección adecuada y de la ubicación de las válvulas que controlan y regulan la circulación de los fluidos en la instalación.

Podemos clasificar las válvulas de acuerdo a su diseño y su composición química

(material). Los principales y más conocidos tipos de válvulas son, compuerta, mariposa, bola, globo, retención, diafragma, etc.<sup>52</sup>

**2.1.8.1 Válvulas de aguja.** Suelen usarse para instrumentos, calibres, etc., ya que se logran estrangulamientos muy precisos, usándose también en aplicaciones con grandes presiones y/o grandes temperaturas. En estas válvulas el vástago suele acabar en forma de aguja ajustándose de forma precisa al asiento, asegurando el cierre con el mínimo esfuerzo.

**2.1.8.2 Válvulas de bola.** Para aplicaciones de alta presión y alta temperatura, en forma independiente o combinada con otras válvulas. Amplia variedad de materiales y tamaños. Por lo general, bajo torque, baja disminución de presión y acción simple de la válvula. Deben escogerse otras válvulas para trabajos abrasivos, esterilidad, fluidos coagulantes y aplicaciones de regulación de flujo.<sup>53</sup>

**2.1.8.3 Válvulas de compuerta.** Las válvulas de compuerta se pueden dejar abiertas o cerradas en diversas aplicaciones de agua, gas y químicos durante largos períodos con la seguridad de que se obtendrá una operación satisfactoria cuando es necesario. Intentar un buen control o regulación del flujo podría causar una seria erosión de la compuerta. Para la instalación y mantenimiento de válvulas de alta sustentación y alta rigurosidad, se necesita espacio libre en la parte superior. Las aplicaciones para sólidos gruesos en suspensión podría ser problemática, ya que puede causar desgaste del asiento y problemas de cierre.

**2.1.8.4 Válvula de cono.** La válvula de cono es una variación de la válvula de aguja, pero el cono sellado, gira hacia afuera del eje de la tubería en lugar de retirarlo axialmente.

---

<sup>52</sup><http://www.valvulasindustriales.com/product.php?categoryID=71>

<sup>53</sup><http://www.valvulasindustriales.com/product.php?categoryID=71>



Son válvulas que están específicamente diseñadas para manejar materiales secos en transportes neumáticos en fase diluida a presión o vacío.

**2.1.8.5 Válvula de cuchillo.** Son válvulas que están específicamente diseñadas para manejar materiales secos en transportes neumáticos en fase diluida a presión o vacío.

**2.1.8.6 Válvulas de diafragma.** Igualmente adecuadas para apertura/cierre y regulación, presión y vacío, aire o químicos peligrosos. El mantenimiento prácticamente se limita al aceite. No es una válvula para altas temperaturas (por lo general, 175° es la temperatura máxima), posee características de flujo definidas, pero la amplia cobertura que proporciona es tal, que casi todas las industrias las han utilizado en alguna parte del proceso. También está disponible en versiones rectas. No es adecuada para estructuras de altas presiones o donde se requiere cierre o apertura instantáneos.<sup>54</sup>

**2.1.8.7 Válvula mariposa.** Una amplia selección de materiales de cuerpo y disco se encuentra disponible con recubrimientos que abarcan desde goma natural hasta PTFE. Excelente para sistemas que requieren una unidad compacta y liviana que sea igualmente buena, en términos generales, para trabajos de regulación y apertura y cierre. Deben evitarse las aplicaciones con sólidos de gran tamaño o gruesos, como también la operación de disco demasiado rápida ya que existe la posibilidad de inducir un aumento de presión y golpes de agua. Si la aplicación requiere que las válvulas se dejen cerradas durante largos períodos.

**2.1.8.8 Válvula globo.** Ideales como válvulas para vapor y, con otras modificaciones, para uso como válvulas de detención y de control. Disponibles en versiones con cuerpo de globo o anguladas en una amplia gama de materiales. Por lo general, no son adecuadas para el manejo de líquidos de tipo virulento o

---

<sup>54</sup><http://www.valvulasindustriales.com/product.php?categoryID=71>

lechada, ni tampoco para gases nocivos o tóxicos, debido al flujo y la dificultad de proporcionar una estanqueidad empaquetada en forma eficaz.<sup>55</sup>

## **2.2 COSTO DE INSTALACIÓN POR KILOVATIO HORA PARA UNA TURBINA TURGO DE 1 KW DE POTENCIA.**

Este capítulo tiene la finalidad de analizar el comportamiento de los costos de Inversión en equipo electromecánico en pico y micro-centrales hidroeléctricas, tomando en cuenta las distintas variables que hacen ver estos costos modificados. Mediante consultas, se coincide en que los costos de este tipo de centrales son muy variables. Estos dependen de factores que no se pueden controlar, como la altura o la potencia demandada; y de factores que si se pueden controlar como la cantidad, calidad y características de los equipos. Estos últimos a su vez quedan definidos por el motivo del cual se decide construir la central.

Entre los motivos que llevan a la construcción de una pequeña central de generación, está la necesidad de energía eléctrica en un determinado lugar (generalmente aislado), la necesidad privada, la comercialización de la energía u otros. Así, generalmente los costos unitarios son muy altos en los casos que se refieren a plantas en lugares aislados, y alcanzan valores bajos principalmente cuando el motivo de la instalación de la planta es comercialización de energía o de necesidad privada, esto porque entran en juego la factibilidad económica y la financiación del proyecto. Ver tabla 5.

### **Consumo Energético por Familia**

8 focos ahorradores de 20 W = 160 W

1 radio de 20 W = 20 W

---

<sup>55</sup><http://www.valvulasindustriales.com/product.php?categoryID=71>

1 Tv de 70 W = 70 W

**Entonces:**

Consumo Promedio por familia = 250 W

Tiempo de consumo = 4 horas/día.

Consumo Promedio diario por familia = 250 W x 4 (horas/día) = 1000 W x hora

Consumo Promedio diario por familia = 1 Kw/hora

Consumo Promedio mensual = 1 (Kw x hora/familia) x 30 días = 30 Kw.  
hora/familia.

**Potencia Generada por la Turbina**

Potencia media = 250 W

Tiempo en Funcionamiento = 6 horas/día

Potencia Generada diaria = 250 W x 6 (horas/día) = 1500 W.= 1.5 Kw. hora.

Potencia Generada mensual = 1.5 Kw. hora x 30 días = 45 Kw.hora.

Teniendo en cuenta que la posibilidad más cercana para obtener energía eléctrica en una zona no interconectada en Colombia es un motor generador diesel se plantea la siguiente comparación:

## 2.2.1 Cuadro comparativo

Tabla 5. Cuadro comparativo para una turbina hidráulica y un motor generador.

Generadores	Características
	<p>Turbina Turgo (micro hydropower) U\$ 2495            = \$ 4.990.000 Pesos colombianos.            Acometida y obras civiles = \$ 2.000.000            Pesos colombianos.            Total = \$ 6.900.000 Pesos colombianos.</p>
	<p><b>Motor Generador Eléctrico 1.1 KW Motor            4t = \$ 489.000 Pesos colombianos</b>            Consumo promedio de gasolina ¼ galón de            ACPM = \$ 2.000 Pesos colombianos            Gasto mensual de ACPM = 30 x 2.000 = \$            60.000 Pesos colombianos mensuales</p>

Fuentes: <http://www.microhydropower.com/price-list/>

[http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-19780369-generador-electrico-planta-bauker-wh1500-1100-watss-motor-4t-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-19780369-generador-electrico-planta-bauker-wh1500-1100-watss-motor-4t-_JM). Diciembre 22 del 2011.

Este cuadro muestra la comparación entre la generación de potencia de cada sistema y su rentabilidad, cabría agregar los valores de mantenimiento, disponibilidad del servicio de cada una, pero es notorio que en un determinado tiempo de (2 años) las dos maquinas tendrían el mismo valor de adquisición debido al consumo de combustible por el motor generador pero su consumo no pararía, por consiguiente es viable instalar una turbina Turgo si las condiciones hidrográficas lo permiten.

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL

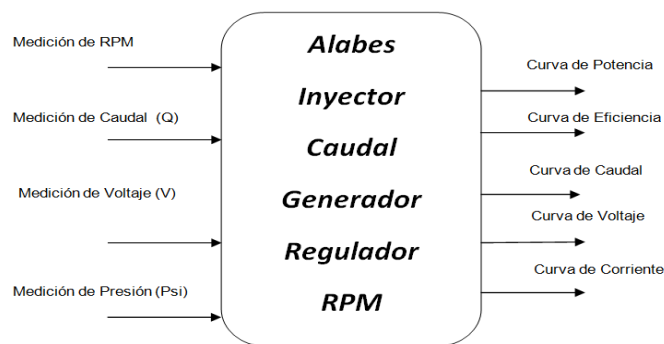
El diseño del banco de pruebas parte del planteamiento de un diseño conceptual que permite responder a los objetivos planteados.

Este capítulo refiere a la definición de los parámetros para el diseño del banco, en el cual se instalaran las 2 turbinas hidráulicas (2 nz y LH 1000). En dicho banco se utilizara una TURBINA HIDRAULICA 2 NZ DE 1KW de origen CANDIENSE la cual se expone su instalación en el presente documento. Esta turbina fue adquirida por la facultad de Ingeniería Mecánica para experiencias de laboratorio en la asignatura de MAQUINAS HIDRAULICAS - Como aspectos importantes de la misma deben destacarse su simplicidad, bajo costo y fácil acceso a repuestos y mantenimiento.

#### 3.1 VARIABLES A MEDIR

En la figura 28 se plasma las mediciones y curvas de salida para medición de variables operativas de una turbina hidráulica. Establecer parámetros, es de gran ayuda a la hora de delimitar un banco de pruebas didáctico.

Figura 28. Entradas y salidas del equipo para caracterización de la turbina hidráulica.



Fuente: Ramón González Cano, 2011

### 3.2 PASOS APLICADOS AL DISEÑO CONCEPTUAL

1. investigación sobre bancos de pruebas para turbinas hidráulicas.
2. Crear un banco de pruebas de turbinas que permita el desarrollo, caracterización y pruebas de turbinas hidráulicas.
3. La instalación debe permitir el funcionamiento de la turbina en regímenes diferentes y ofrecer mediciones de algunas variables físicas.
4. Un banco de pruebas actualizado con instrumentos e implementos de medición.

### 3.3 REQUERIMIENTO DEL BANCO. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Requerimiento del banco.

REQUERIMIENTO	DESEADO	DEMANDADO
Capacidad		
Capaz de medir potencia hidráulica		x
Capaz de medir potencia eléctrica		x
Capaz de medir potencia caudal		x
Capaz de medir potencia voltaje		x
Precio		
Valor igual o menor a los recursos dados	x	
Forma de operar		
Turbina que entregue una potencia cercana a los 1.000 Watts.	x	
Fácil toma de datos		x
Fácil operación del banco e instrumentos por los estudiantes		x
Mantenimiento		
Fácil lubricación		x
Menor número de piezas posibles y fáciles de ensamblar y desensamblar a causa del uso		x

<b>REQUERIMIENTO</b>	<b>DESEADO</b>	<b>DEMANDADO</b>
Fácil comercialización de piezas sometidas a desgaste mecánico		x
Repuestos para la turbina en el banco		x
<b>Seguridad</b>		
Cero filos y/o elementos corto-punzantes		x
Pocas piezas exteriores que se puedan desensamblar a causa del uso		x
Elementos exteriores aislados		x
Protección contra sobrecargas		x
<b>Confiabilidad</b>		
Resolución mínima del medidor angular 1 RPM	x	
Resolución mínima del medidor de voltaje 0.1 Vol.	x	
Resolución mínima del medidor de amperios 0.1 Am	x	
Caudal variables para ajustar condiciones propias de la turbina		x

Fuente: Ramón González Cano.

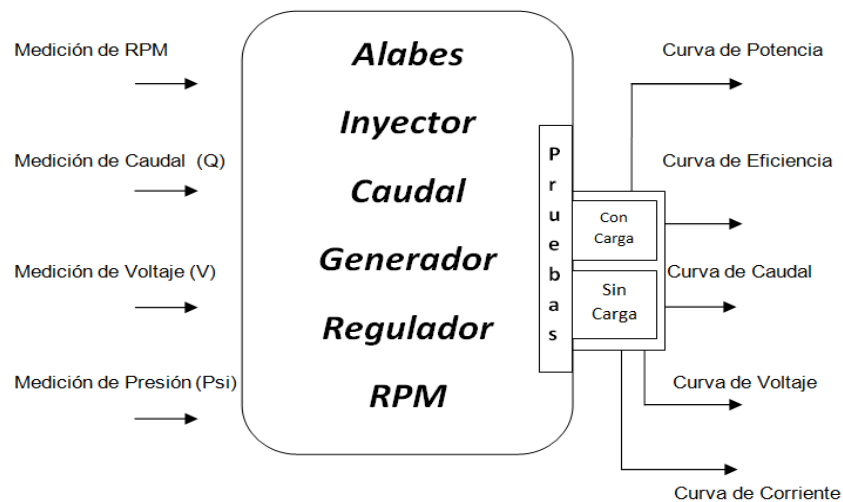
## 4. DISEÑO BASICO

En este capítulo se dará a conocer la solución delo planteado en el diseño conceptual.

### 4.1 VARIABLES A MEDIR

Para diseñar y construir el banco de pruebas didáctico, compuesto por una turbina hidráulica, bombas, regulador de voltaje, cometida eléctrica y una estructura que sirva de soporte a estas piezas será necesario plantear la solución como lo muestra la figura 29.

Figura 29. Diseño básico del banco didáctico.



Fuente: Ramón González Cano, 2011


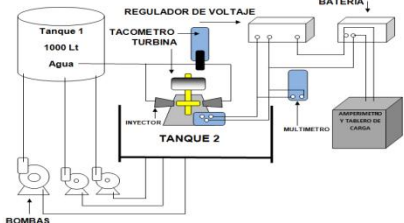
Esta imagen propone medir la potencia de la turbina, la velocidad de giro y su caudal de manera que se puedan derivar las curvas de eficiencia, voltaje, caudal, y carga.



## 4.2 PASOS APLICADOS AL DISEÑO BÁSICO

**4.2.1 Investigación sobre bancos de pruebas para turbinas hidráulicas.** Para la selección del banco se hace un estudio y análisis de ventajas y desventajas de las alternativas disponibles, con el fin de elegir la que se acomoda a las necesidades del proyecto. En la tabla 7 se especifican los tipos y generalidades de los mismos.

Tabla 7. Bancos de prueba.

Opción	Tipo de banco	Ventajas	Desventajas
1		Fácil adquisición en el mercado local y repuestos económicos.	No permite la evaluación de eficiencia de las bombas. No permite la instalación de la turbina LH 100.
2		La facultad de Ing. Mecánica UPB cuenta con la mayoría de los elementos para construir el banco.  Permite la evaluación de las turbinas (2NZ y LH 1000) y de las bombas.	Disponibilidad de espacio en la universidad para la instalación del banco.

Fuente: Ramón González Cano.

**4.2.2 Crear un banco de pruebas de turbinas que permita el desarrollo, caracterización y pruebas de turbinas hidráulicas.** La selección adoptada para el proyecto es el banco de opción numero 2 mencionado en la tabla 4, puesto que se ajusta a las necesidades técnicas y económicas del mismo.

**4.2.3 La instalación debe permitir el funcionamiento de la turbina en diferentes regímenes.** Este paso se logra mediante la instalación de válvulas de bola a la entrada de cada inyector de la turbina, las válvulas de bola disminuyen presión y su accionamiento es simple. Ver figura 30.

Figura 30. Válvulas de bola.



Fuente: Ramón González Cano, 2011

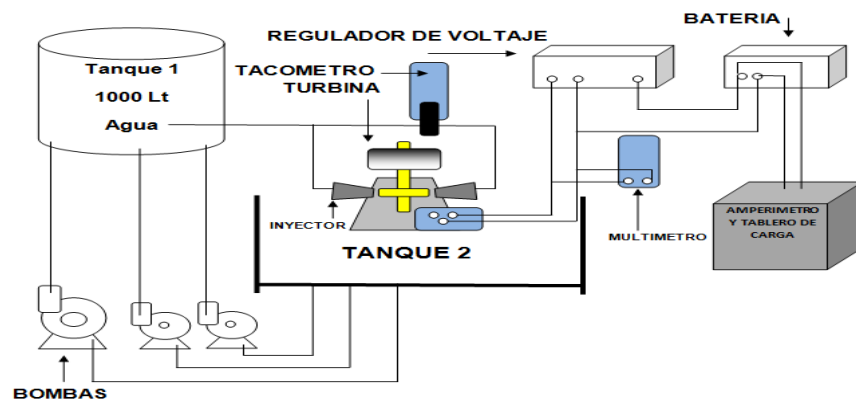
**4.2.4 Un banco de pruebas actualizado con instrumentos e implementos de medición.**

### **4.3 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO**

Utilizando la energía potencial del agua, para generar energía eléctrica, se dispondrá de un ambiente creado por los estudiantes donde se representara una

caída de agua de aproximadamente 4m, seguida de este y con ayuda de manómetros se determinara dicha altura de forma real, así mismo el caudal que proporcione esta caída con tubería de 4" de diámetro atravesara hasta la turbina con una reducción a 1.5" de diámetro que es la medida de los dos inyectores aportados por el fabricante de la turbina, seguido la rueda tipo Turgo que recibirá dicho impulso proporcionado por el chorro de agua girara y transmitirá este impulso de rotación al generador para así obtener un voltaje y amperaje dependiente de las características del generador, un regulador realizara el control de dicho voltaje y amperaje para no causar daños en el tablero de carga y sus bombillos de 12 VDC y la batería que se cargara constantemente para brindar la disponibilidad de energía. Para recrear el ciclo se cuentan con bombas centrífugas que circularan el agua. Para la toma de datos se cuenta con multímetros, amperímetros, cronometro y tacómetro. Ver figura 31.

Figura 31. Diagrama de funcionamiento del banco didáctico para pruebas de una Turbina Hidráulica 2 NZ de 1 KW.



Fuente: Ramón González Cano.

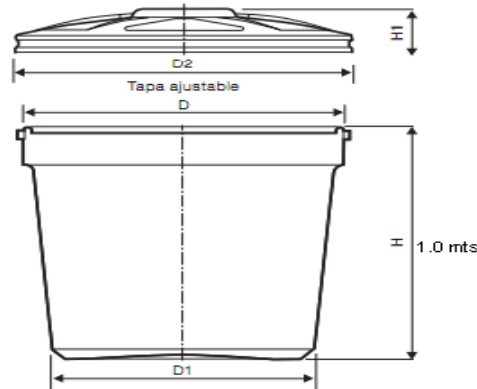
Selección de accesorios, instrumentos de medición y potencia.

1. Tanque

2. Tubería
3. Manómetro
4. Inyectores
5. Válvulas(mencionadas en el anterior ítem de este capítulo)
6. Generador
7. Tablero de carga
8. Bombas
9. Multímetro
10. Amperímetro
11. Cronometro
12. Tacómetro
13. Batería

**4.3.1 Tanque.** Tanque de 1000 Litros de capacidad, entregado por la universidad para dicho fin e indispensable para este sistema. Este tanque simulara la presa necesaria para alimentar la turbina, su capacidad es de unos 1000 Lt. Ver figura 32.

Figura 32. Tanque de abastecimiento



Fuente: <http://www.artex-us.com>. Enero 8 del 2012.

**4.3.2 Tubería.** El tramo de tubería de 4" (El diámetro es porque este tramo también alimenta la turbina LH 1000) de PVC debe precisarse mediante cálculos, determinando la presión a la que será sometida y determinar así las propiedades para comprar tubería de alta o baja presión como lo muestra la tabla 4. Estas propiedades serán analizadas en el siguiente capítulo (Diseño detallado).

**4.3.3 Medidor de presión en tubería.** Las opciones de medidores de presión que se encuentran en el mercado son bastante variadas al igual que su precio, para el caso particular de este proyecto todas las opciones son compatibles con el desarrollo del mismo, por tal motivo se realizó la compra de un manómetro en glicerina de hasta 60 psi. Ver figura 33.

Figura 33. Manómetro.



Fuente: Ramón González Cano.

**4.3.4 Inyectores.** Los fabricantes STREAM ENGINE junto a la turbina envían 4 inyectores plásticos para realizar el montaje y contar con 2 repuestos. Ver figura 34.

Figura 34. Manómetro.



Fuente: Ramón González Cano.

**4.3.5 Generador.** Los fabricantes STREAM ENGINE junto a la turbina envían El alternador de imanes permanentes, este ha sido diseñado específicamente para aplicaciones de micro-hidroeléctricas. Con una potencia de 1000watts/1000rpm, es más del 80% de eficiencia a plena carga. Operativo sin escobillas, y con sus bobinas encapsuladas en epoxi, el mantenimiento es mínimo, y por lo general limitada a la sustitución de los rodamientos. El rotor es ajustable para permitir al usuario variar la intensidad de campo, y coincide con la salida a la carga. Con una variedad de configuraciones de cableado, el alternador de imanes permanentes es ideal para la mayoría de los sitios. Tiene un eje de 17 mm y un paso de rosca de 1,25 mm. Cojinetes de bolas sellados se utilizan para dar un rendimiento fiable y proporcionar fácil para la adquisición de piezas de repuesto. Ver figura 35. Ver Anexo A.

Figura 35. Alternador de imanes permanentes.



Fuente <http://www.evolvegreen.ca>. Enero 14 del 2012.

**4.3.6 Tablero de carga y amperímetro.** Este tablero de carga, propiedad de la universidad pontificia bolivariana, posee un amperímetro útil para medir la corriente que presenten los bombillos de 12 VDC-15Watts que se logren encender. Ver figura 36.

Figura 36. Tablero de carga.



Fuente: Ramón González Cano.

Su conexión en paralelo permite una buena luminosidad con el mismo voltaje y corriente para cada uno, este circuito eléctrico en paralelo es una conexión donde los puertos de entrada de todas las bombillas conectadas coinciden entre sí, lo mismo que sus terminales de salida.

**4.3.7Cronometro.** Este cronometro permitirá establecer el caudal de la turbina y las bombas. Ver figura 37.

Figura 37. Tablero de carga.



Fuente: Ramón González Cano.

**4.3.8Tacómetro.** Las opciones de medidores de velocidad que se encuentran en el mercado son bastante variadas y para el caso particular de este proyecto todas las opciones son compatibles con el desarrollo del mismo.

La facultad de ingeniería mecánica de la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga cuenta con un tacómetro digital de contacto y óptico, el cual se solicitara para cada una de las pruebas que se realice. Ver figura 38.

Figura 38. Tacómetro digital de la Facultad de Ingeniería Mecánica UPB.



Fuente: <http://www.inforsecuritel.com>. Noviembre 15 del 2011

**4.3.9 Bombas centrifugas.** De acuerdo con el proyecto se necesita recrear una constante circulación de agua por consiguiente se adapta al banco bombas centrifugas. La Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con 2 bombas Pedrollo de 1/2 HP e impeler en bronce, estas bombas solo garantizaran el ciclo del agua



para la turbina, el agua será limpia y con baja cabeza por consiguiente es necesario determinar un caudal para que las pruebas se realicen en un tiempo prudente y si lo es necesario adquirir otra bomba. Ver figura 39. Las bombas poseen 2 breakers de protección. Ver figura 39 y anexo C y D.

Figura 39. Bomba pedrolloPk60



Fuente <http://www.pedrollo.com/>. 15 de noviembre del 2011.

**4.3.10 Medidor de voltaje.** Los fabricantes STREAM ENGINE junto a la turbina envían un multímetro para realizar las mediciones de voltaje y corriente de la turbina. Ver figura 40.

Figura 40. Multímetro.



Fuente. Ramón González Cano.

**4.3.11 Batería o acumulador.** La Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con dos baterías de gel marca M-TEK de 12 VDC y 61 Am para pruebas en sus paneles solares las cuales son precisas para el desarrollo de las pruebas en el banco de la turbina Turgo. Ver figura 41.

Figura 41. Batería MT 122050 12Vdc



Fuente <http://www.mtek-sa.com>. Enero 14 del 2012

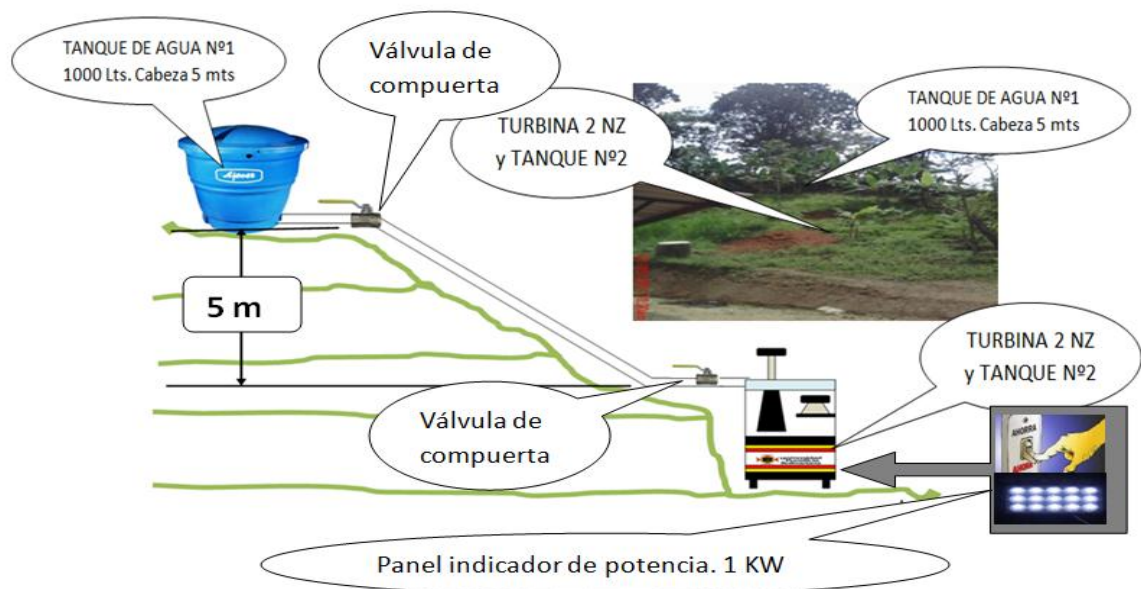
## 5. DISEÑO DETALLADO

Este capítulo muestra los cálculos y decisiones tomadas para cada uno de los elementos utilizados en el proyecto.

### 5.1 CALCULO EN LAS TUBERÍAS

El montaje del banco será realizado como lo muestra la figura 42, se maneja una cabeza aproximada de 5m, esta cabeza asumida servirá para determinar el caudal inicial del sistema, dicho caudal ayudara determinar la potencia de las bombas y el tipo de tubería (Tubería de baja o alta presión).

Figura 42. Esquema de general del banco.



Fuente. Ramón González Cano

Entonces:

$$\frac{P_{in}}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_{in}^2}{2g} = \frac{P_{out}}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_{out}^2}{2g} \quad (1)$$

Realizando el balance en la ecuación general se obtiene la cancelación de la presiones de entrada y salida del sistema, la presión de entrada en el tanque es cero por estar expuesta a presión atmosférica y la segunda por no existir obstrucción en la salida, la velocidad de entrada también se cancela por estar el sistema estático.

Entonces la nueva ecuación es:

$$(Z_1 - Z_2) = \frac{V_{out}^2}{2g} \quad (2)$$

$$V_{out} = \sqrt{2g \times (Z_1 - Z_2)} \quad (3)$$

$$V_{out} = 9.8 \frac{m}{sg}$$

$$Q = V \times A \quad (4)$$

$$Q = 0.0807 \frac{m^3}{sg}$$

$$Q = 484 \frac{Lt}{min}$$

Este es el caudal aproximado ( $Q = 484 \frac{Lt}{min}$ ) el cual determinara el caudal que deben suplir las bombas para completar el ciclo en el banco, estos cálculos se mencionaran en el ítem “calculo de las bombas”.

Ahora con ayuda de los anteriores valores hallados se determinara la presión que debe soportar la tubería para seleccionar cual adquirir:

$$H_n = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

$$5m = \frac{P}{1000 \times 9.8 \frac{m}{sg^2}} + \frac{(9.8 \frac{m}{sg})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{sg^2}}$$

$$P = 50.000 \text{ pas}$$

$$\underline{P = 7.25 \text{ psi}}$$

Conociendo el valor de la presión de 7.25 Psi a la que será sometida la tubería, se puede decidir por una tubería de baja presión que soporta hasta 120 Psi como se muestra en la tabla 4.

### 5.1.1 Accesorios en PVC. Ver figura 43

Figura 43. Tubería y accesorios en PVC.



Fuente: Ramón González Cano.

Los accesorios y tubería son en PVC de 4", 2" y 1 ½" de baja y alta presión.

Las válvulas son de bola de 4" y 1 ½", las válvulas actuarán como inyectores para las turbinas hidráulicas 2 NZ y LH 1000.

Se aplicara soldadura en mayoría de las uniones entre accesorios y tubería, en los casos que se necesita roscar se aplicara teflón para evitar fugas.

Las bombas contarán con accesorios que permitirán conectar las mangueras con las salidas de las bombas y así desplazar el agua hasta el tanque número 1.

Las abrazaderas evitaran fugas en las mangueras aumentando su sujeción a estas.

Las bombas contarán también con uniones universales que permitirán una fácil desconexión de estas con el banco de pruebas favoreciendo así su mantenimiento o revisión.

## **5.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA**

Para este ítem se seleccionara la bomba para que trabaje en condiciones adecuadas según el criterio de eficiencia.

Debido a que el tanque de suministro proporciona un caudal de ( $Q = 484 \frac{Lt}{min}$ ) **el cual es el que utiliza la turbina para su funcionamiento se hace necesario circular este caudal para que el sistema funcione en ciclo cerrado**, como la Universidad Pontificia Bolivariana destino para este banco 2 bombas Pedrollo PK 60 de 1/2 Hp con caudal de 40 L/min cada una para cabezas de hasta 40 m y 120 V, es necesario encontrar como circular los 404 Lt restantes. Ver anexo C y D.

A partir de los siguientes cálculos la bomba comercialmente viable es de la línea Caracol C-210 con un caudal de 307 (Lt/min), cabeza de hasta 23m y 1HP. Es necesario obtener de manera clara las perdidas y caudal para las condiciones en que esta operara. Ver tabla 8 y grafica 4.

Las pérdidas (Ft) se determinaran con la siguiente ecuación:

$$F_t = \frac{0.25}{\left(\log\left(\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{E}\right)}\right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)\right)^2} \quad (6)$$

Ft: Perdidas por fricción = (m)

D: Diámetro de la tubería = 0.0508 (m<sup>2</sup>)

E:  $3 \times 10^{-7}$

L: Longitud de la tubería = (m)

Re: Numero Reynolds  $\rightarrow Re = \frac{Vel \times D}{\nu}$

*U: Viscosidad cinemática del agua a 25°C  $\rightarrow 8.94 \times 10^{-7} \frac{m^2}{sg}$*

*Vel: Velocidad del fluido  $\rightarrow Vel = \frac{Q}{A} = \left(\frac{m}{sg}\right)$*

*Q: Caudal =  $\left(\frac{Lt}{min}\right)$*

*A: Área  $\rightarrow \frac{\pi \times D^2}{4} = 2.02 \times 10^{-3} (m^2)$*

La cabeza asumida de 5m donde operara la bomba C-210 definirá la eficiencia de la bomba mediante las siguientes ecuaciones:

$$Hg = Ft \times \frac{L}{D} \times \frac{Vel^2}{2 \times g} \quad (7)$$

Hg = pérdidas totales

g: Gravedad  $9.8 \frac{m}{sg^2}$

La siguiente tabla muestra los valores hallados para determinar Hf con ayuda de las ecuaciones mencionadas. Ver tabla 8.

Tabla 8. Determinación de pérdidas y caudal para la bomba C-210.

Caudal = Q ( $\frac{m^3}{sg}$ )	Velocidad = Vel ( $\frac{m}{sg}$ )	Reynolds = Re	Perdidas = Ft
$1.66 \times 10^{-3}$	0,82	46.595	0,0211
$3.33 \times 10^{-3}$	1,65	93.758	0,0181
$5 \times 10^{-3}$	2,47	140.353	0,0167
$6.66 \times 10^{-3}$	3,3	187.516	0,0157

Fuente: Ramón González Cano

En la tabla 9 se muestra los caudal vs perdidas, cabeza y eficiencia para la bomba C-210 calculado con la ayuda de las ecuaciones mencionadas en este ítem.

Tabla 9. Resultados a graficar en las pérdidas para la bomba C-210.

Q (L/min)	H	Eficiencia	Hg(m)
<b>bomba(m)</b>			
<b>100</b>	20	11	5,191
<b>200</b>	15	10	5,663
<b>300</b>	7,5	7,5	6,372
<b>400</b>	2	3	7,3

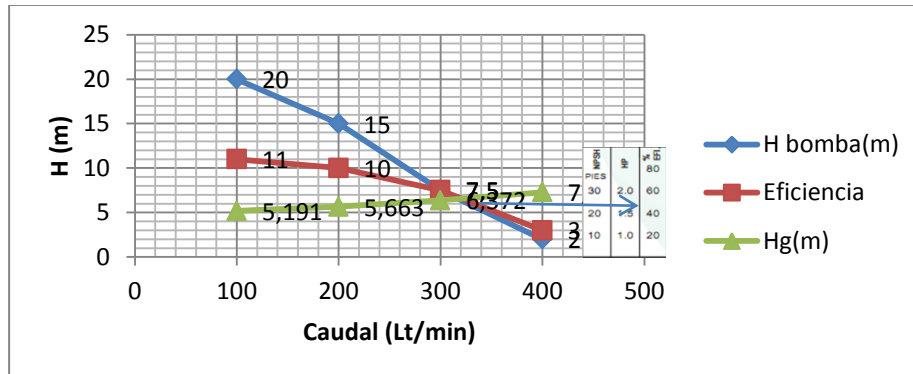
Fuente: Ramón González Cano

En la grafica 4 se muestra la intersección de la curva del sistema (línea roja) con respecto a la curva de pérdidas (línea verde), esta intersección indica el punto de operación de la bomba al proyectarla (Flechas azul) indica el porcentaje de eficiencia de la misma con un valor superior al 45% y un caudal de 320 (lt/min),



estos valores indican que para una mayor eficiencia de la bomba sería necesario manejar un menor caudal, por consiguiente esta eficiencia y caudal es viable para el proyecto.

Gráfica 4. Determinación de la eficiencia según la cabeza de 5m donde operara la bomba C-210. Ver anexo C.



Con estas tres máquinas ya es posible circular el agua en el sistema de forma rápida y eficiente. Ahora las bombas ya instaladas presentan los siguientes valores de prueba, ver tabla 10.

Tabla 10. Características de las bombas.

Cantidad de Bombas	Potencia	Tiempo (sg) Para 10 Lt	Promedio Tiempo (sg) Para 10 Lt	Caudal (Q)
2	½ HP c/u	18.64	17.56	55 Lt/min cada una
		17.58		
		16.45		
1 CARACOL C-210	1HP	2.98	3.02	333 Lt/min
		3.02		
		3.06		

Fuente: Ramón González Cano.

Con estos cálculos se puede apreciar que al sumar los tres caudales aportados por las tres bombas se obtiene un valor total ( $443 \frac{\text{Lt}}{\text{min}}$ ), caudal que esta cerca del aportado por el sistema a la turbina 2 NZ ( $483 \frac{\text{Lt}}{\text{min}}$ ), de igual manera estos 40 Lt restantes no serán un inconveniente mayor para realizar las pruebas de laboratorio ya que este cuenta con un tanque de 600 Lt que puede almacenar el agua antes de ser desplazada por las bombas al tanque principal de 1000 Lt.

### 5.3 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL CALIBRE DEL CABLE QUE SUMINISTRARA ENERGÍA A LAS BOMBAS

Como la toma eléctrica más cercana al banco se encuentra a unos 30 m, es necesario determinar el cableado para evitar sobrecalentamiento ó cortocircuito, para este ítem se estimara el número de cable a usar y sus protecciones, tanto para las bombas como para los estudiantes. Potencia de las bombas: ver tabla 12. Calculo para la determinación del calibre de cable para la conexión de las 3 bombas:

$$\boxed{P = V \times I} \quad \boxed{P = R \times I^2} \quad \boxed{P = \frac{V^2}{R}} \quad (8)$$

Potencia = 2 HP x 746 = 1492 Watts → tabla de conversiones [24].

$$I = 13.5 \text{ Am}$$

R = 8.18 ohm \* 5 = 41 ÷ 100 = 0.41 → Cable **calibre 6-8**. Ver tabla 11.

Tabla 11. Tabla para determinar los calibres del cable según su potencia.

<b>RESISTENCIA DEL ALAMBRE COBRE</b>			
<b>Wire Gauge</b>	<b>Diameter Inches</b>	<b>Ohms per 1000'</b>	<b>Ohms per Mile</b>
0000	0.460	0.05	0.26
000	0.410	0.06	0.33
00	0.364	0.08	0.42
0	0.324	0.10	0.52
2	0.258	0.16	0.84
4	0.204	0.25	1.34
6	0.162	0.40	2.13
8	0.128	0.64	3.38
10	0.102	1.02	5.38
12	0.081	1.62	8.56
14	0.064	2.58	13.6
16	0.051	4.10	21.6
18	0.040	6.52	34.4

Fuente: Tomado del manual de la turbina Turgo 2 NZ. Ver anexo 1.

Protecciones:

1. Protección por sobretensión, este breakers fue instalado en la caja principal. Ver figura 44.
2. Protección por recalentamiento y corto circuito, fue necesario debido a que las bombas y su cometa eléctrica se encuentran separadas por 30 m de distancia lo cual implica la no activación del primer breakers al ser una distancia no prudente. Ver tabla 12 y figura 44.

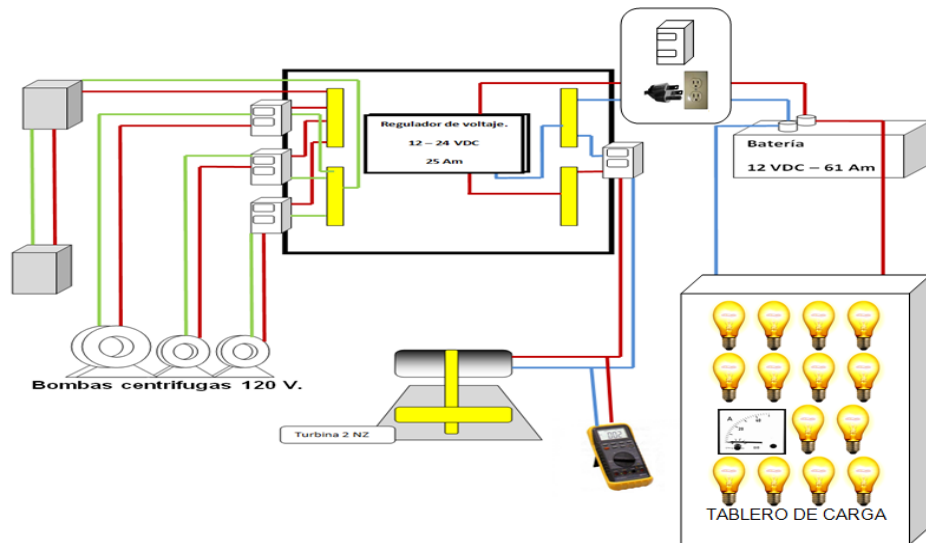
Figura 44. Breakers de Protección.



Fuente: Ramón González Cano.

#### 5.4 ACOMETIDA ELÉCTRICA. Ver figura 45.

Figura 45. Plano eléctrico del banco de pruebas.



Fuente: Ramón González Cano.

#### Características de los implementos mostrados en la figura 44:

 Línea Positiva, Cable calibre 10 a 120 VAC.

 Línea negativa, Cable calibre 10 a 120 VAC.



Interruptor on/off completamente cerrado CC.

 Línea Negativa, Cable calibre 10 a 12 - 48 VDC.

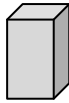
 Línea Positiva, Cable calibre 10 a 12- 48 VDC.



Bombillas 12 VDC – 15 W.



Clavijas en cobre.

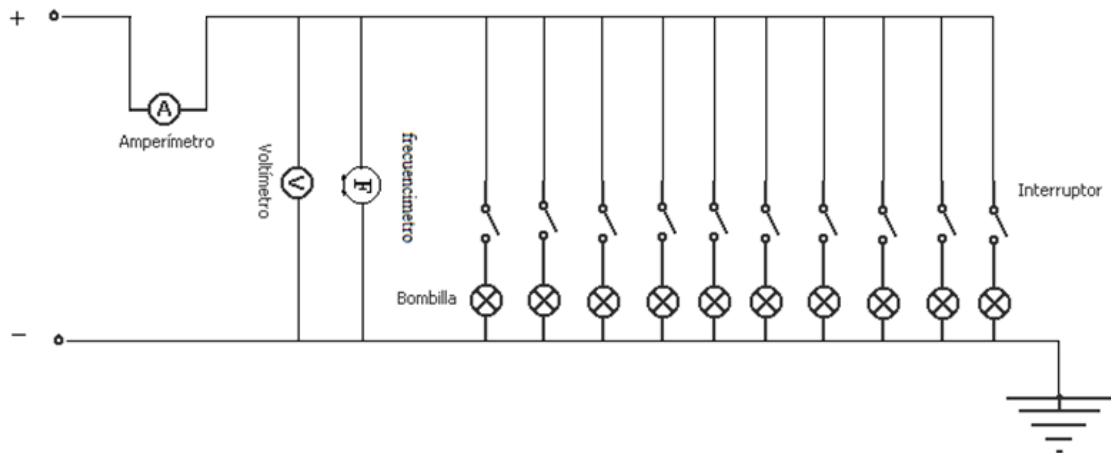


Breakers 120 V - 30 Am.

#### 5.5 CONFIGURACIÓN DEL TABLERO DE CARGA

El tablero de carga representara la demanda de corriente que la turbina deberá generar para así encender cada uno de los bombillos. En este ítem se determinara cual conexión (Serie o paralelo) demandara la potencia generada por la turbina. Ver figura 46.

Figura 46. Circuito seleccionado.



Fuente: Ramón González Cano

En un **circuito serie**, cada elemento que lo conforma, va conectado uno después del otro. Considerando 3 Bombillos que serian los elementos del circuito, al conectar el primer bombillo hay que tomar una de sus puntas y conectarla, en este caso a la fuente de voltaje, la otra punta a otro borne del segundo bombillo, el otro borne del segundo bombillo hay que conectarlo con el otro borne del tercero, y el último borne que queda hay que conectarlo al otro borne de la fuente de voltaje. *Además otra de las características de este tipo de conexión, es que si cualquiera de sus elementos se desconecta, se suspende la energía en todo el circuito.* En todos los elementos la corriente siempre será la misma, y el voltaje varia en cada elemento, dado que el voltaje total es la suma del voltaje de cada elemento.

**Para el caso de un circuito en paralelo**, cada borne de los elementos que lo conforman van conectados a cada entrada y salida de la fuente de voltaje, con los mismo elementos del ejemplo del circuito serie, tres bombillos, ahora conectas el primero al borne de la fuente del voltaje, el otro borne del mismo bombillo al otro borne de la fuente de voltaje. para conectar el segundo se hará de la misma forma, conectar un borne a uno de las otras puntas del primer bombillo ya conectado o a la fuente, y el otro borne lo conecta a la otra punta del otro borne

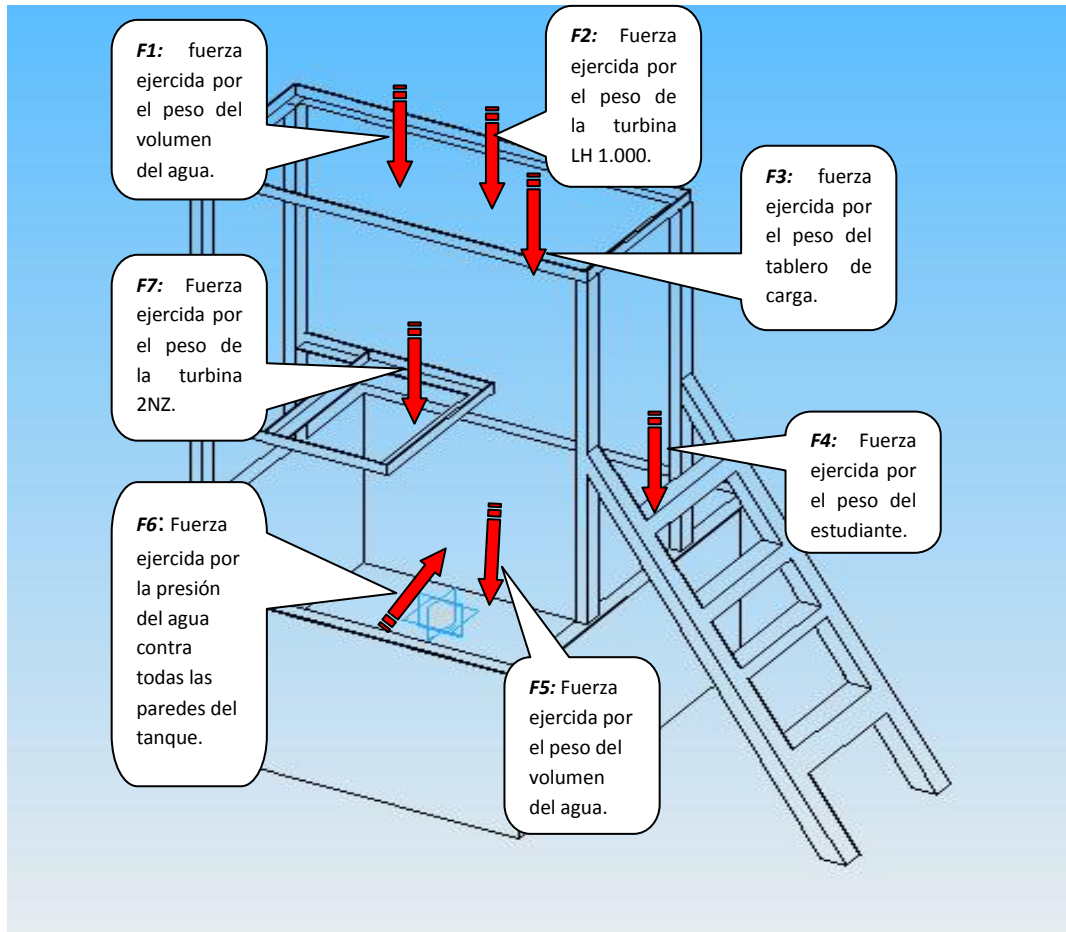
del primer foco ya conectado, y así hasta el último. Estas características permiten que el voltaje en todos los elementos sea el mismo, **ahora la corriente es la que varía, la corriente total es la suma de las corrientes de cada elemento.**

Como lo explica este ítem, **la conexión ideal sería en paralelo**, debido a que la turbina estará sometida a diferentes caudales lo que traduce que su amperaje variara y así su generación de energía podrá ser evaluada dependiendo de su capacidad de generar corriente y no un alto voltaje, ahora, si por algún motivo un bombillo falla (Funde) el siguiente podría encenderse normalmente y seguir con la prueba. Es por esto que el tablero de carga cuenta con bombillos de 15 V-15W por que el mayor voltaje generado por el alternador de la turbina es de 48 V lo que limitaría el sistema a solo encender no más de 3 bombillos, es así como en paralelo se obtendrá mayores bombillas encendidos por que el alternador alcanzara hasta 25 amperios en el mejor de los casos.

## **5.6 BANCO DE PRUEBAS.**

Para el desarrollo del diseño estructural del banco se realizan varias alternativas preliminares, con la herramienta de diseño CAD (Solid-Edge) se pretende visualizar detalladamente. Mediante resistencia de materiales se determina la geometría para llegar a un prototipo que más se acomode a las necesidades del proyecto ver anexo f. De esta forma se logre evaluar el prototipo que convenga para la instalación de las dos turbinas. Ver figura 47, tabla 12 y anexo F.

Figura 47. Fuerzas que intervienen en la estructura.



Fuente: Ramón González Cano.

Tabla 12. Calculo de las fuerzas existentes en el sistema.

FUERZA	CALCULO Y ECUACIONES	RESULTADO
<b>F1</b>	$\text{Volume} = L \times L \times L = 0.45 \text{ [m]} \times 1 \text{ [m]} \times 0.35 \text{ [m]} = 0.1575 \text{ [m}^3\text{]}$ $F = \xi \times \text{Volume} \times g \rightarrow 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]} \times 0.1575 \text{ [m}^3\text{]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$	<b>1543.5 N</b>
<b>F2</b>	Peso de la turbina x Gravedad $F = 11 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$	<b>108 N</b>
<b>F3</b>	Peso del tablero de carga x Gravedad $F3 = 8 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$	<b>79 N</b>
<b>F4</b>	Peso del estudiante x Gravedad $F3 = 100 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$	<b>980 N</b>
<b>F5</b>	$\text{Volume} = L \times L \times L = 1 \text{ [m]} \times 1 \text{ [m]} \times 0.6 \text{ [m]} = 0.6 \text{ [m}^3\text{]}$	

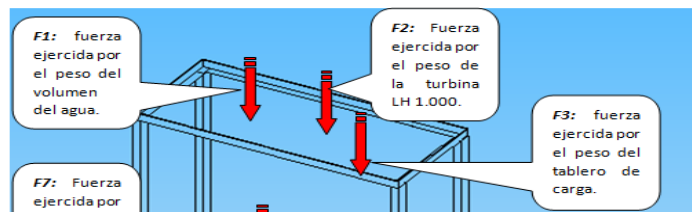


FUERZA	CALCULO Y ECUACIONES	RESULTADO
<b>F5</b>	$F = \xi \times \text{Volume} \times g \rightarrow 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]} \times 0.6 \text{ [m}^3\text{]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$	<b>5880 N</b>
<b>F6</b>	$\xi \times g \times \left(\frac{d}{2}\right) \times \text{Area}$ $F6 = 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]} \times \left(\frac{0.6}{2}\right) \times 0.6$	<b>1764 N</b>
<b>F7</b>	Peso de la turbina 2 NZ x Gravedad $F7 = 12 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$	<b>118 N</b>

Fuente: Ramón González Cano

Teniendo en cuenta todas las fuerzas implicadas en el sistema se procede a determinar los factores de seguridad en las geometrías más críticas de la estructura. Para empezar, una sumatoria de fuerza en la parte superior de la estructura, incluyendo la fuerza F3 que se encuentra en un extremos de la estructura pero al ser una fuerza pequeña no implica un gran esfuerzo para la estructura es así como se determina como una carga distribuida sobre toda la estructura. Ver figura 48.

Figura 48. Análisis de las cargas.



Fuente: Ramón González Cano.

$$\Sigma F = F1 + F2 + F3 \text{ (9)}$$

$$F_T = 1730 \text{ N}$$

1. Ahora detallando la estructura su parte más débil son sus columnas, entonces hay que dividir esta fuerza para las 4 columnas y así analizar solo una de estas pues esta tendrá el mismo comportamiento de las 3 restantes.

$$\frac{\Sigma F}{4\text{Columnas}} = 433 \text{ N} \quad (10)$$

Los tramos horizontales se analizaran siempre y cuando el esfuerzo en las columnas verticales sean mayor a estas, claro está que dicha decisión se asume por la diferencia de material y detalles de diseño:

- Tramos horizontales: Angulo de 1" y 3 mm de espesor.
- Columnas verticales: tubo cuadrado de 5 cm x 2 cm y espesor de 2 mm.

Entonces:

$$ns = \frac{\theta_{\text{permisible}}}{\theta_{\text{diseño}}} \quad (11)$$

Sy - Resistencia a la fluencia- tablas: Acero de bajo carbono = 295 Mpa  
 $\theta_{\text{permisible}} = S_y \times 0.6 = 177 \text{ Exp6 Pas}$

$$\theta_{\text{diseño}} = \frac{P}{A} \rightarrow \frac{433 \text{ N}}{2 \times 0.002 \times (0.046 + 0.02)} = 108 \text{ Exp6 Pas}$$

$$ns = 1.63$$

Este factor de seguridad es conveniente para el banco de pruebas teniendo en cuenta que su uso no será diario.

2. Trasladando las fuerzas (F1, F2, F3, F4, F7 y F8 siendo otra persona de 100 Kg) obtenemos una fuerza total de 3809 N.

Ahora para determinar el factor de seguridad para las paredes del tanque tenemos:  
 Sy - Resistencia a la fluencia- tablas: Acero de bajo carbono = 295 Mpa  
 $\theta_{\text{permisible}} = S_y \times 0.6 = 177 \text{ Exp6 Pas}$

$$\theta_{diseño} = \frac{P}{A} \rightarrow \frac{3809 \text{ N}}{0.6 \times 0.005} = 127 \text{ Exp6 Pas}$$

$$ns = 1.39$$

3. Ahora para el apoyo de la turbina 2 NZ, esta estará sobre ángulos de 1" y 3mm de espesor, si dividimos la estructura y aplicamos la carga distribuida se determinara la flexión del diseño ya que la carga se encuentra en voladizo. Ver figura 49.

Figura 49. Análisis para el soporte de la turbina Turgo.



Fuente: Ramón González Cano.

$$P = 59 \text{ N}$$

$$y = - \frac{P}{6 \times E \times I} \times ((X - a)^3 - X^3 + 3X^2a) \quad (11)$$

$$I = \frac{bh}{2} = \frac{0.0256^2}{2} = 3.27 \text{ Exp-4} \quad (12)$$

$$E = 207 \text{ Gpas}$$

$$y = 3.248 \text{ Exp-8m}$$

El material usado para esta sección es determinado por disponibilidad del mismo en la institución, pero como es apreciado en los cálculos su flexión será

prácticamente nula, lo que brindara una excelente estabilidad a la turbina 2 NZ por tratarse de una carga flotante.

Para culminar, se determinara el factor de seguridad del tanque inferior. Como la presión que ejerce la fuerza del agua es igual en cada uno de los puntos de la superficie de la lámina, se debe tomar una pequeña sección para analizar.

$$\theta_{diseño} = \frac{P}{A} = \frac{5880 \text{ N}}{0.005^2} = 235 \text{ Exp6}$$

$$ns = 1.25$$

Al evaluar la resistencia del tanque y todo el sistema, se puede determinar que es una buena elección de material para dicha función. El fondo del tanque se apoyó sobre 5 tubos redondos distribuidos en cada extremo y centro, esto garantiza la no deformación del mismo al saber ya su factor de seguridad en las caras laterales y sometidas a la mayoría de esfuerzos.

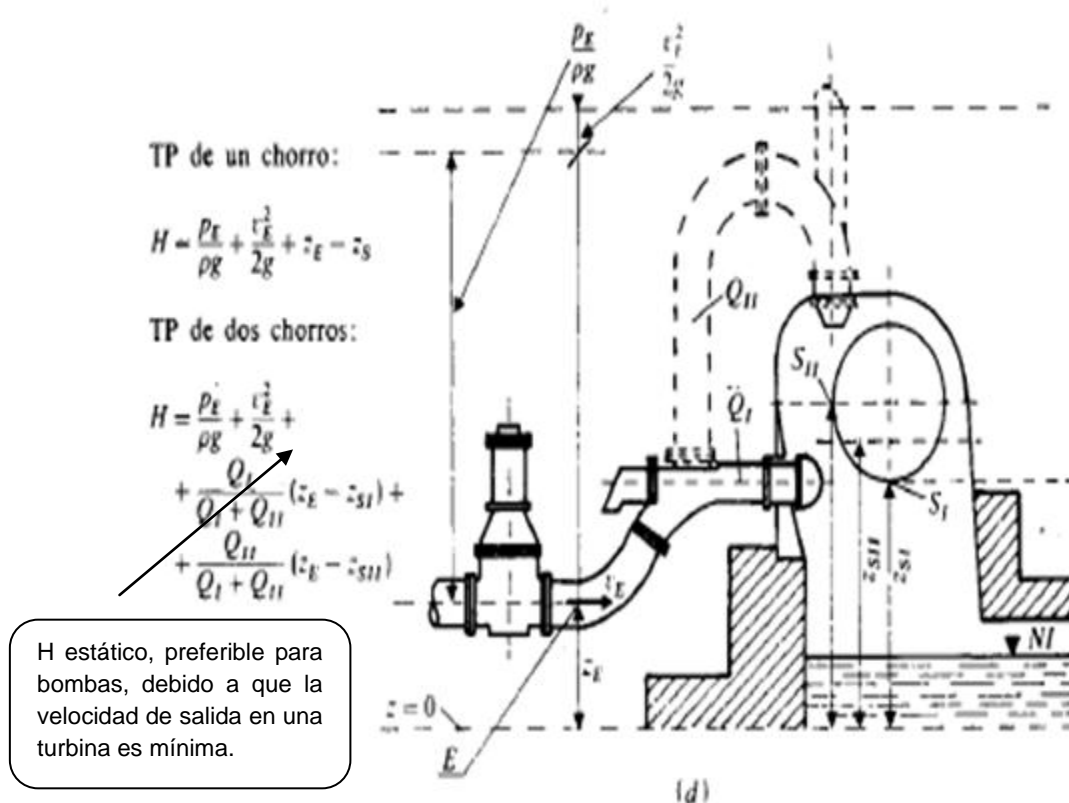
Como los resultados anteriores son satisfactorios se procede a la construcción del Banco de pruebas.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1 CONDICIONES DE ENSAYO TEÓRICO

De acuerdo con las normas internacionales para la determinación de la altura neta de los ensayos de turbinas hidroeléctricas (International code, furabnahmeversuchean wasser turbinen in kraftwerken) y turbinas de reacción, los ensayos para esta turbina se realizaran bajo las ecuaciones de dicha norma para turbo maquinas hidráulicas la cual indica el procedimiento para hallar la potencia neta del mismo. Ver figura 50.

Figura 50. Determinación de la norma para las pruebas del banco.<sup>56</sup>



<sup>56</sup>MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición, Editorial Alfa omega. Capítulo 22.

Se basara la toma de datos solo en la determinación de caudal, RPM, voltaje, corriente, pero la altura neta será determinada por la norma para que de esta forma comparar y determinar el tamaño de la boquilla que de acuerdo a lo sugerido por el fabricante deberá cumplir unas RPM con relación a la presión que ejerza el agua y compararlos con los cálculos determinados para la prueba.

En resumen según dicha norma:

- Sección E: en todas las turbinas la sección de entrada se encuentra inmediatamente detrás de la válvula de admisión o Compuerta de mariposa, de rodillos, etc.). A veces, si los saltos son muy pequeños y los caudales no muy grandes (hasta unos 10 m<sup>3</sup>/s), el canal mismo de admisión se ensancha formando una cámara , donde se instala la turbina que sed ice instalada en cámara de agua,: en dichas instalaciones la perdida desde el nivel de aguas arriba hasta la entrada de la turbina es tan pequeña que puede despreciarse, con lo que puede tomarse el nivel de aguas arriba como sección E (en dichas turbinas la altura neta coincide prácticamente con la altura bruta).<sup>57</sup>

- Sección S: La sección de salida se encuentra.

b). en todas las turbinas de acción (Peltón) en el punto de tangencia del eje de chorro con un circulo cuyo centro es el centro del rodete.

Por lo tanto, si por dificultades de construcción (excavación en roca, por ejemplo) el punto S de una turbina Peltón se encuentra a 15 m por encima del canal de salida, estos 15 m constituyen una pérdida de altura bruta; pero no afectan al rendimiento de la turbina, porque solo son imputables a la turbina las pérdidas

---

<sup>57</sup>MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición, Editorial Alfa omega. Capitulo 22.

que tienen lugar entre la sección E y la S. Sin embargo, como ya se ha dicho, la pérdida  $ts^2/2g^2$  si es imputable a la turbina.<sup>58</sup>

## 6.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PRUEBAS<sup>59</sup>

Mediante cálculos estadísticos se establece la cantidad de pruebas para cada medición que luego serán promediadas y así tener un porcentaje de error lo más bajo posible con respecto al número de pruebas.

Por lo tanto se determinó para un principio un nivel de confiabilidad del 95 % ( $Z=1.96$ ), para hacer evidente esta decisión se asocian las siguientes ecuaciones:

$$np = \frac{Z^2 \times S^2}{e^2} \quad (13)$$

np: número de pruebas.

S: desviación standard.

e: margen de error.

Z: nivel de confiabilidad.<sup>60</sup>

Ahora para determinar cada valor:

---

<sup>58</sup>MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición, Editorial Alfa omega. Capitulo 22.

<sup>59</sup>HERNANDEZ ARROYO, Emil. Manual de Estadística. 1 Ed. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Cooperativa de Colombia (Educc), 2006.

<sup>60</sup>HERNANDEZ ARROYO, Emil. Manual de Estadística. 1 Ed. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Cooperativa de Colombia (Educc), 2006.

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_o)^2} \quad (14)$$

$$X_o = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_o)}{n} \quad (15)$$

Para poder obtener este número de pruebas se debe tener por lo menos 3 medidas de caudal aforando en el banco de pruebas para la turbina 2 NZ, seguido se llenara la tabla que indicara dicho valor. Para cada valor de e% se determinara también el porcentaje mismo en la desviación standard de cada uno de los datos y este mismo valor es el introducido en la ecuación np. Ver tabla 13.<sup>61</sup>

Tabla 13. Tabla indicadora del número de pruebas a realizar por abertura de la válvula.

e %	S	np
0.02	7.381 E -5	13.43
0.03	1.188 E -4	5.183
0.04	1.584 E -4	2.912
0.05	1.845 E -4	2.14
0.08	2.952 E -4	0.833
0.10	3.691 E -4	0.536
0.12	4.428 E -4	0.371

Fuente: Ramón González Cano, 2011

Dentro de los resultados se debe decidir el porcentaje de error con respecto a un número de pruebas coherentes que permitan dar con un promedio certero para los datos analizar es así como tener en cuenta un 3 % de error con 5 pruebas es la mejor opción para una toma de datos consistente para la investigación.

<sup>61</sup> HERNANDEZ ARROYO, Emil. Manual de Estadística. 1 Ed. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Cooperativa de Colombia (Educc), 2006.



### 6.3 MÉTODO EXPERIMENTAL

Con base en los aspectos expuestos anteriormente se desarrolla la metodología experimental para obtener las curvas de LA TURBINA HIDRAULICA 2 NZ en el banco de pruebas.

Antes de encender la turbina e iniciar las pruebas, el primer paso es conectar el Multímetro en las salidas del generador verificando que la polarización de este quede instalada de forma correcta, pero sin encenderla. En el banco existen dos tacos para alta tensión que deben ser energizados para el accionamiento de las tres bombas que circularan el agua en el banco. Con apertura de las válvulas lentamente se busca alcanzar las pruebas en vacío de hasta 12-24 y 48 VDC.

Se aplica la carga resistiva, realizando el procedimiento anterior pero ahora accionando el push botón asignado para la turbina 2NZ permitiendo la realización de la prueba con carga real puesto que este conecta directamente al tablero de carga.

Se encienden los bombillos de 12 VDC, esperando que el amperímetro registre los valores de corriente del generador, ahora también se puede hacer la prueba no permitiendo cargar la batería accionando un interruptor que salte este paso, aquí también se puede evaluar la potencia de la turbina tratando de encender los bombillos cargados directamente del generador de la misma.

Para determinar el caudal en cada una de las pruebas, se realiza por el método de aforar el cual consiste en determinar el consumo de agua en un determinado tiempo bajo los mismos regímenes de velocidad de giro utilizados en el método para hallar la potencia.



Calculo para la dimensión de la boquilla:

$Z = \#$  de alabes

$D_p =$  Diámetro de la rueda

$d_o =$  Diámetro de la boquilla (Nozzle)

$$Z = \frac{\pi D_p}{(1.5) \times d_o}$$

$D_p = 18$  cm

$Z = 20$

$$d_o = \frac{\pi D_p}{(1.5) \times Z} \quad (16)$$

$$d_o = \frac{18\pi}{(1.5) \times 20}$$

$d_o = 1.9$  cm

De acuerdo a estos cálculos la boquilla tendrá un diámetro de 1.9 cm, partiendo de este valor y comparándolo con los de la tabla se debe obtener por lo menos una presión de 4.3 Psi, una cabeza mayor a 3m, un caudal de 47.6 y unas 650 RPM. Ver figura 33.

## 6.5 RESULTADOS DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LA TURBINA TURGO 2 NZ

En la tabla 156, se muestra los datos promedios obtenidos del nuevo banco de pruebas a diferente caudal y RPM. Ver anexo B.

Tabla 15. Tabla con los resultados de todas las pruebas realizadas en el banco a la turbina Turgo 2 NZ.

<b>RPM</b>	<b>Caudal(m<sup>3</sup>/sg)</b>			<b>Voltaje (V)</b>			<b>Corriente (A)</b>	
	Carga directa	Vacio	Carga y batería	Carga directa	Vacio	Carga y batería	Carga directa	Carga y batería
175	0,0037			3,68			1,6	
190	0,00545			3,8			3	
197,9		0,00413			12			0,004
210			0,00324			10,8		0,005
220			0,00548			11,1		
396,76		0,00558			24,54			
777,92		0,00724			48,28			

<b>RPM</b>	<b>Potencia eléctrica (W)</b>		<b>Potencia hidráulica (W)</b>			<b>Eficiencia (%)</b>	
	Carga directa	Carga y batería	Carga directa	Vacio	Carga y batería	Carga directa	Carga y batería
175	6,08		177,64			3,42	
190	11,4		394,16			2,89	
197,9		0,054		114,15			0,038
210		0,055			139,39		0,013
220					399,03		
396,76				332,108			
777,92				564,4			

Fuente: Ramón González Cano, 2011.

Para la determinación de todos los valores calculados en la tabla se usaron las ecuaciones mostradas en la tabla 16.

**Cálculos:**

Tabla 16. Ecuaciones para determinación de las características de la turbina Turgo 2 NZ.

Descripción	Ecuaciones
Determinación del caudal en las pruebas aforando. $Q = (m^3/sg)$ . $V =$ velocidad (m/sg). $t =$ Tiempo (sg)	$Q = \frac{V}{t} \quad (17)$
Determinación de la velocidad del fluido parahallar la $H_n$ . $V = (m/s)$ $A =$ Área ( $m^2$ )	$Q = V \times A \quad (18)$
Determinación de la altura o cabeza hidráulica. $H_n = (m)$ . $P =$ Presión 4 psi $\gamma =$ Densidad del agua $g =$ Gravedad $9.8 (m/sg^2)$	$H_n = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (19)$
Determinación de la potencia hidráulica en la turbina. $P_{oth} = W$ $h =$ Cabeza	$P_{oth} = \gamma \times Q \times h \quad (20)$
Determinación de la potencia eléctrica del generador. $Pot = (W)$ $V =$ Voltaje (V) $I =$ Corriente (Am)	$Pot = V \times I \quad (21)$
Determinación de la eficiencia de la turbina. $E = \%$	$\%E = \frac{Potencia\ Electrica\ (Pot)}{Potencia\ Hidraulica\ (Poth)} \times 100 \quad (22)$

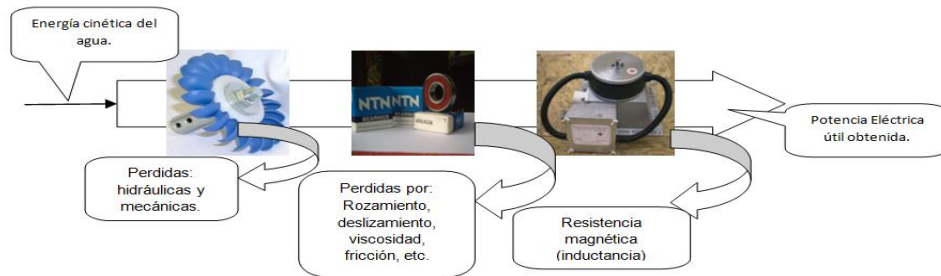
Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición, Editorial Alfa omega. Capitulo 22.

Antes de determinar cualquier observación es importante tener claro que una maquina siempre contara con perdidas lo cual evitara su eficiencia al 100%.

En la *figura 51* se representa claramente los distintos procesos de transformación que sufre la energía manipulada en una Turbina. La energía es capturada como

energía cinética del agua, punto 1 de la figura, hasta llegar a representarse por un determinado valor de tensión y corriente eléctrica, punto 4, pasando por diversas transformaciones mecánicas.

Figura 51. Diagrama de pérdidas.



Fuente Ramón González Cano.

Para determinación de la altura estática se debe sumar el valor que aparece según el caudal y las 4" de diámetro de la tubería para así obtener el valor real de la altura o cabeza y pérdidas en toda la tubería. Ver tabla 17.

Tabla 17. Perdidas en tubería.

**Table 3.2: Head Loss from Friction in Class 160 PVC Pipe**  
(in feet of head per 100 feet) C = 130  
pipe size in inches

flow in US gpm	1"	1.25"	1.5"	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
3	1.0	.3	.1							
4	1.7	.6	.2	.1						
5	2.5	.9	.4	.1						
10	9.2	3.1	1.3	.3						
15	19.5	6.6	2.7	.7	.1					
20	33.1	11.2	4.6	1.1	.2					
30	70.1	23.7	9.7	2.4	.3	.1				
40		40.3	16.6	4.1	.6	.1				
50		60.9	25.1	6.2	.9	.2	.1			
60		85.3	35.1	8.6	1.2	.3	.1			
70			46.7	11.5	1.6	.4	.1	.1		
80			59.8	14.7	2.0	.5	.2	.1		
90			74.3	18.3	2.5	.6	.2	.1		
100			90.3	22.2	3.1	.8	.3	.1		
150				47.1	6.5	1.6	.5	.2	.1	
200				80.2	11.1	2.7	.9	.4	.1	
250					16.8	4.1	1.4	.6	.1	
300					23.6	5.8	2.0	.8	.2	.1
400					40.1	9.9	3.3	1.4	.3	.1
500					60.7	14.9	5.0	2.1	.5	.2
600					85.0	20.9	7.1	2.9	.7	.2

Fuente: SCOTT, Davis. Microhydro. New Society Publishers.

**6.5.1 Análisis de la curva RPM vs Caudal.** Como se observa en las gráficas siguientes tenemos 4 ítems graficados, los cuales se dividen en 3 mediciones realizadas en el nuevo banco de pruebas más el valor aportado por el fabricante.

Los valores de caudal fueron determinados aforando, es decir se midió el tiempo que tardaba en ser llenado un determinado volumen en el tanque número 2.

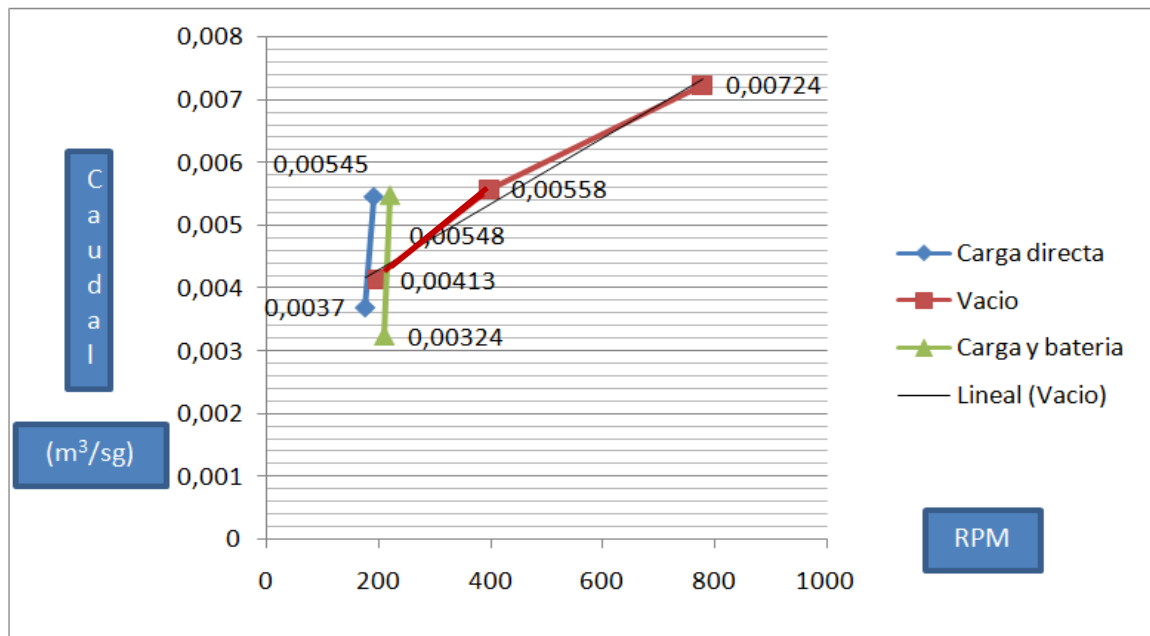
$$Q = \frac{V}{t}$$

De esta forma para la línea roja que grafica los datos obtenidos en las pruebas **sin carga** de potencia, sus RPM tienden a ser las más altas 778 RPM con contrariedad de su caudal a tan solo 435 Lt/min, claro está, que dicha prueba está limitada por la carga que puede soportar el generador diseñado para 12-24 y 48 VDC-25Am y 1kw para todas , siendo así una limitante ya que al exceder dichos valores podría causar el deterioro del mismo generador, para la prueba y por recomendaciones del fabricante la resistencia interna que controla estos valores esta a 48 VDC, valor el cual no se debe exceder-independiente al caudal y RPM que alcance la turbina. Seguida a esta grafica tenemos la línea con **carga directa** de color rojo, esta prueba nos muestra una reducción en la velocidad de giro de 289 RPM pero con un alto caudal de 790 Lt/min, lo que es poco favorable para cualquier tipo de máquina, esto se presenta debido a que la prueba se realiza conectando la turbina y toda su acometida eléctrica incluyendo el regulador de voltaje 12-24VDC a una carga "este regulador es necesario para no estropear las bombillas, que solo trabajan con 12VDC-15W lo que limita nuevamente el trabajo de la turbina a no más de 24 VDC-la mitad del voltaje permitido para la prueba anterior" esta carga crea una resistencia al generador llamada inductancia la cuales un campo **magnético** que a su vez detiene en un alto porcentaje las RPM de la turbina y de esta forma es necesario aumentar el caudal para que esta responda ante dicho fenómeno.

Ahora solo quedan 2 ítems por ser analizados, pero estos tienen la particularidad de no formar ninguna gráfica, para **carga y batería** corresponde al mismo fenómeno inductivo mencionado anteriormente, a pesar de que esta prueba se hace con las válvulas de los inyectores completamente abierta solo se alcanza 314 RPM y 295 Lt/min, y es directamente proporcional a I amperaje que en estas condiciones la turbina brinda.

El **fabricante** solo muestra un valor en donde menciona que bajo estas condiciones la turbina se comportaría entre 180 RPM y 650 Lt/min- lo que sería ideal para la generación de energía eléctrica. Ver grafica 5.

Grafica 5. RPM vs Caudal



Fuente: Ramón González Cano.

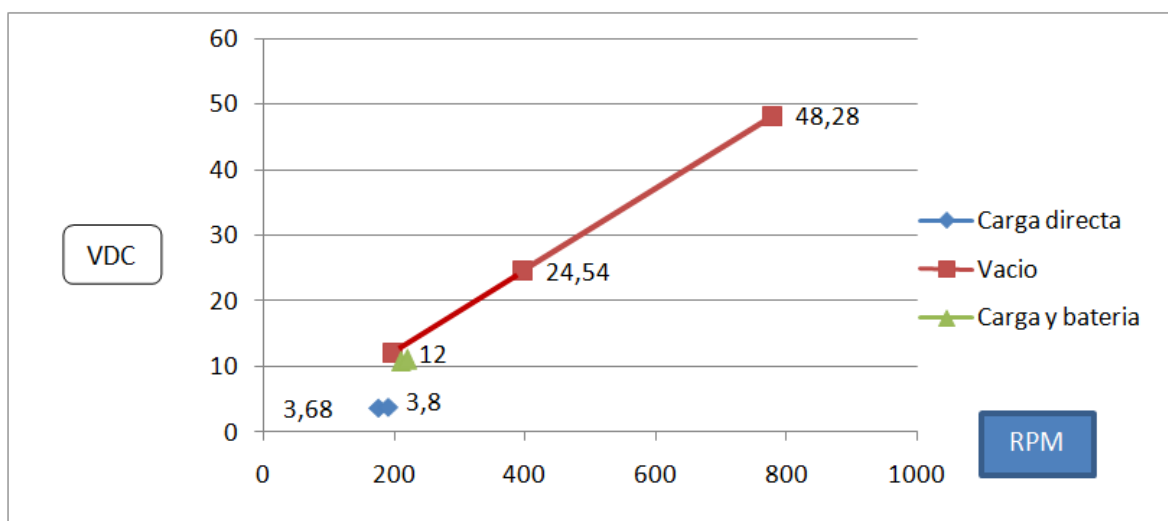
Se puede observar que los valores son comparables, estos son muy cercanos entre la turbina sin carga y los datos aportados por el fabricante, lo que evidencia que en la práctica de laboratorio se puede llegar a una experiencia cercana a la sugerida por los diseñadores de la turbina 2NZ y el método experimental.



**6.5.2 Análisis de la grafica RPM vs Voltaje.** Para esta grafica no se cuenta con los valores aportados por el fabricante, entonces solo se analizara las graficas obtenidas de modo experimental.

Teniendo en cuenta los limites técnicos expresados para la primera grafica “RPM vs caudal “, se puede apreciar que al no poseer ninguna resistencia por carga en el generador este puede llegar fácilmente a 48 VDC con tan solo 778 RPM como lo muestra la grafica azul. Pero el aplicar carga vuelve y juega la resistencia en el generador obteniendo en las mismas condiciones de funcionamiento solo 3.8 VDC no estables como lo muestra la grafica azul, no estable por que se aprecia como la luz de las bombillas aumenta y disminuye repetidamente. Para la carga y batería el comportamiento es ideal aunque solo se alcance 11.1 VDC y 220 RPM indica que la que si se aprecia la grafica “RPM vs caudal “muestra que para que este funcione su caudal no debe ser el más alto que el sistema pueda brindar a pesar de que la prueba se realice con la válvula completamente abierta, este último fenómeno se debe a que el generador se encuentra ligeramente cargado magnéticamente e impide que el chorro de agua salga libremente. Ver grafica 6.

Grafica 6. Grafica RPM vs Voltaje



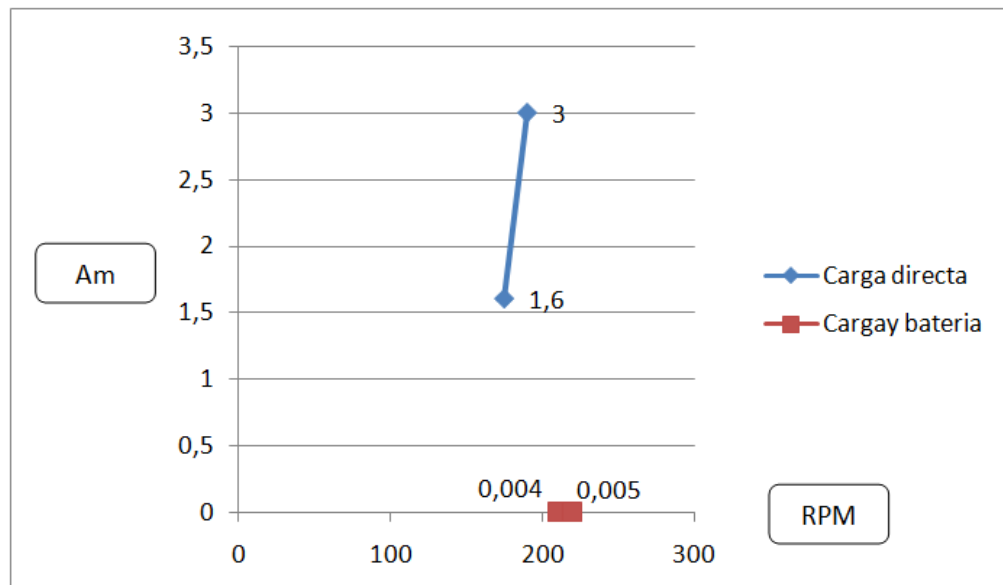
Fuente: Ramón González Cano.

**6.5.3 Análisis de la grafica RPM vs Corriente.** La corriente es de los aspectos más importantes a valorar dentro de las pruebas ya que indica de forma visual y didáctica la capacidad de la turbina al encender cada uno de los bombillos del panel de carga.

Se aprecia en la gráfica 7 el desempeño cuando es instalada la turbina y su batería permitiendo de esta forma obtener una gran corriente y potencia del sistema.

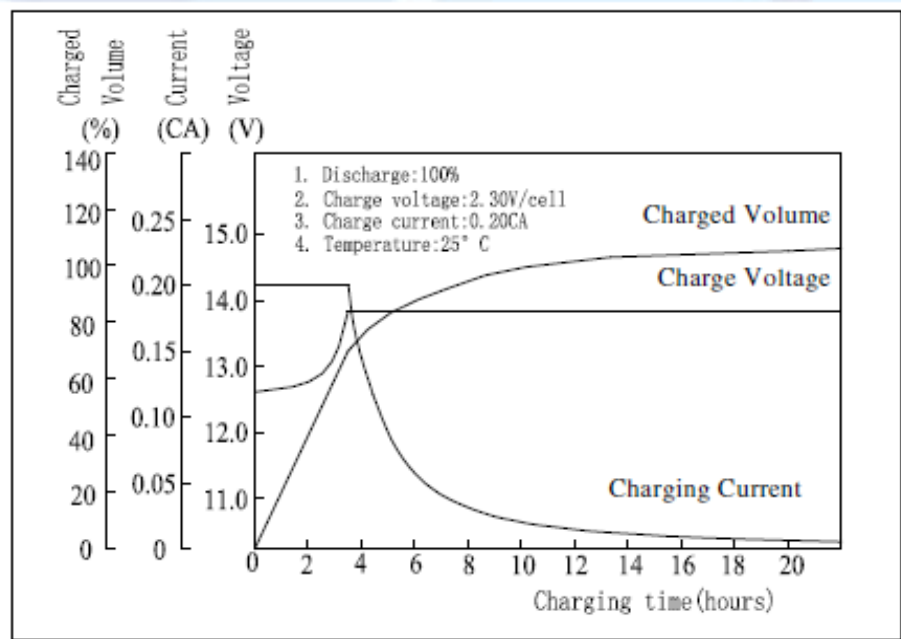
Así mismo el fabricante indica que para una corriente de 0.005 A y 11.1 VDC la rata de carga es del 20% por consiguiente tardara varios días en cargar dicha batería. Ver grafica 8 y anexo E.

Grafica 7. Grafica RPM vs Corriente.



Fuente: Ramón González Cano.

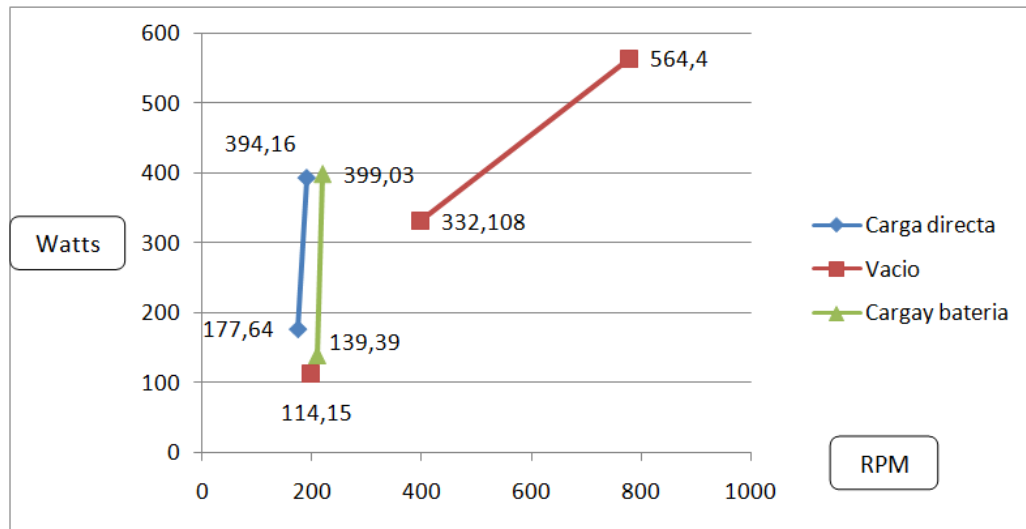
Grafica 8. Grafica RPM vs Corriente



**6.5.4 Análisis de la grafica RPM vs Potencia Hidráulica.** La potencia hidráulica depende del caudal y la cabeza hidráulica que se maneje por consiguiente es claro que esta medida es clave para evaluar la eficiencia del sistema por que incluye las mediciones realizadas a la turbina en el banco de pruebas. Ver grafica 9.

$$Potencia\ Hidráulica\ (P_{oth}) = \gamma \times Q \times h$$

Grafica 9. Grafica RPM vs Potencia Hidráulica.



Fuente: Ramón González Cano.

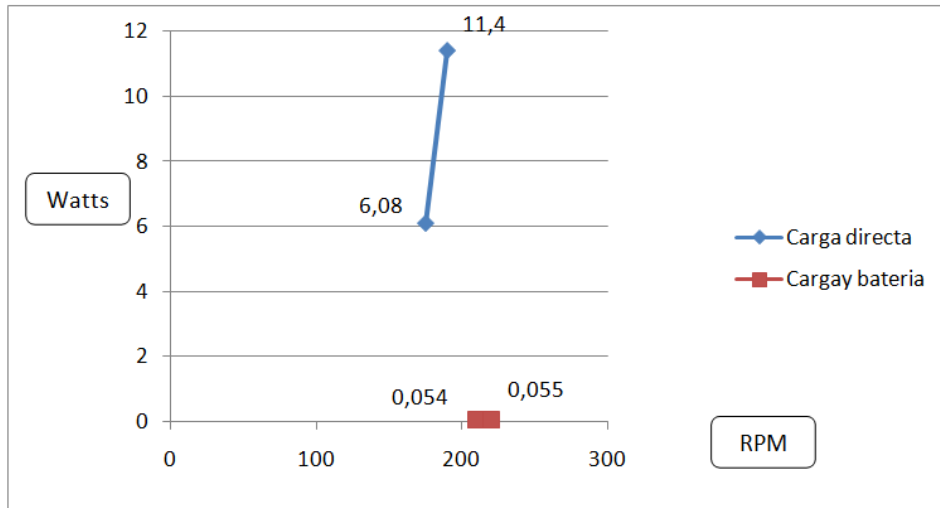
**6.5.5 Análisis de la grafica RPM vs Potencia Eléctrica.** Cabe recordar que todo lo anterior mencionado es visible de forma más traumática en esta graficala corriente inductiva en el generador no permite que se obtenga una potencia digna para el gasto hídrico consumido por la turbina.

$$\text{Potencia eléctrica } P = V \times I$$

En las siguientes graficas se dará a conocer el valor más importante para una turbina pues de esta depende su desempeño y aplicación real; ahora se notara una gran diferencia entre la eficiencia mostrada par las dos pruebas (con carga y sin carga) teóricamente esto depende de la reactancia inductiva, esta oposición o resistencia que ofrecen al flujo de la corriente por un circuito eléctrico cerrado las bobinas o enrollados hechos con alambre de cobre, ampliamente utilizados en motores eléctricos, transformadores de tensión de voltaje y otros dispositivos. Esta reactancia representa una carga inductiva para el circuito de corriente donde se encuentre conectada. Ver grafica 10.

Los motores de corriente constituyen carga inductiva cuando funcionan conectados a un circuito.

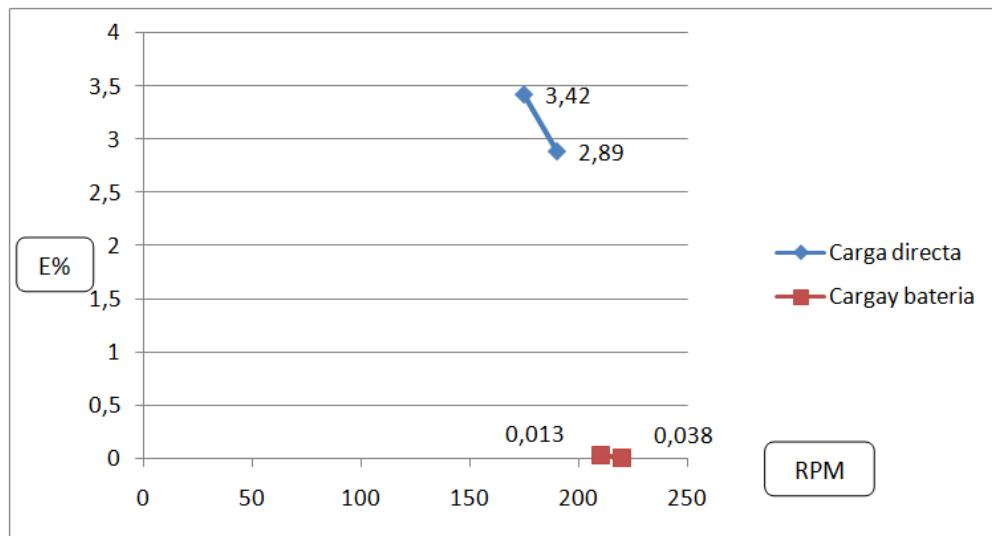
Grafica 10. Grafica RPM vs Potencia Eléctrica.



Fuente: Ramón González Cano.

### 6.5.6 Análisis de la grafica RPM vs Eficiencia. Ver grafica 11.

Grafica 11. Grafica RPM vs eficiencia.



Fuente: Ramón González Cano.

$$\%E = \frac{\text{Potencia Electrica (Pot)}}{\text{Potencia Hidraulica (Poth)}} \times 100 \text{ (22-24)}$$

Debido a que la caracterización de esta variable depende de la potencia, la práctica se realizó bajo las mismas condiciones del método experimental, lo que da como resultado una gráfica con valores según el montaje sugerido por el fabricante y la bibliografía acerca de la turbina Turgo, esta eficiencia del 3 y 0.3% a solo 190 y 220 RPM respectivamente y una razón de carga a 25 % en la batería muestra que la turbina hidráulica 2 NZ tiene un aceptable desempeño.

## 7. CONCLUSIONES

Fueron realizados planos del banco de pruebas donde se indica el diseño conceptual y a detalle, dejando como constancia cálculos y documentos del mismo. Para este capítulo se determinaron factores de seguridad por encima de 1 y no mayor a 2 para ahorrar en lo mayor posible material.

La eficiencia apreciada en la gráfica 11 (RPM vs eficiencia) muestra los resultados para la turbina 2 NZ de acuerdo con el montaje instalado, dicha eficiencia es del 0.038%, este resultado no es comparable con lo indicado en los textos de referencia que sugieren un valor del 91% para las Turbinas Peltón, pero como es explicado en este documento la Turbina Turgo al poseer características similares a la Peltón se convierte en su margen de referencia, así mismo esta eficiencia corresponde a un funcionamiento como cargador de baterías por consiguiente los fabricantes de baterías indican que esta carga debe ser mayor al 10 o 14 % de la carga necesaria para cargar la batería, como lo es sustentado en la grafica 8 estas condiciones se prestan para que la turbina cargue la batería en una razón del 25%.

Se concluye que estos sistemas tienen una alta eficiencia siempre y cuando su aplicación sea completamente de carga de baterías, evitando así la carga inductiva, de esta manera se nota una alta diferencia en las curvas de desempeño entre pruebas con carga y sin carga, a pesar de no usar un inversor de voltaje, las pruebas son confiables debido a que la carga usada para tomar los valores de corriente donde la carga es real y aplicable a una situación real.

Gracias a la información recopilada en el estado del arte, este proyecto logra delimitar los parámetros operativos, obteniendo un banco completamente didáctico, lo que indica que por lo menos se necesitan de 4 a 5 estudiantes para

operar bombas, turbina, válvulas, multímetro, RPM y toma de datos, esto garantiza un trabajo grupal.

Los parámetros calculados para determinar la eficiencia de la turbina están bajo la norma (International code, furabnahmeversuchean wasser turbinen in kraftwerken) oportunas para turbinas Peltón y Turgo de doble inyector, esto garantiza la procedencia y resultados de las pruebas aplicadas al banco.

El documento para las prácticas de laboratorio (guía de laboratorio) elaborado como parte de este proyecto, permite orientar de manera efectiva a los estudiantes de ingeniería mecánica “Maquinas Hidráulicas” de la universidad pontifica bolivariana seccional Bucaramanga, durante la experiencia de laboratorio con el banco de pruebas. Mediante esta guía es posible recrear el trabajo experimental hecho en este proyecto y develar el comportamiento de la Turbina Hidráulica 2 NZ para comparar la información teórica manejada por los estudiantes.

Para terminar, del diseño preliminar fue retirado el controlador de voltaje lo cual permitió obtener mejores datos de eficiencia, este controlador no permitía determinar con exactitud el amperaje del generador y batería. A su vez creaba una corriente inductiva estando en vacio el sistema.



## 8. RECOMENDACIONES

No es oportuno realizar pruebas con corrientes de carga directa al generador de la turbina por un tiempo mayor a 10 min, debido a que la resistencia inductiva es enorme y causa calentamiento al generador, lo que puede ocasionar daño en el aislamiento del mismo.

Este banco de pruebas no solo es oportuno para la turbina 2 nz, también lo es para realizar pruebas de desempeño a las 3 bombas instaladas en la circulación del agua, en esta nueva practica se cuenta con una cabeza de 4 a 5m lo que la hace apetecible determinar curvas de RPM vs caudal para cada una de las bombas ,para ello sería indicado y necesario instalar cheques y manómetros a la salida de estas.

En la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana, actualmente se encuentra en construcción un nuevo banco de pruebas para una turbina Peltón de 1 Kw, sería viable aprovechar el banco de las turbinas 2 NZ y LH 1000 ya construido con espacio suficiente para la Peltón, ahorrando así recursos en materiales e invertirlos en una nueva bomba de 1HP para garantizar mayor rapidez en el flujo de agua e instrumentos mencionados en el ítem anterior.

Sería un excelente logro establecer un sistema hibrido (Turbinas Hidráulicas, paneles solares y Turbinas Eólicas) el cual auto bastara por lo menos el funcionamiento de las turbinas hidráulicas y así evitaría el consumo de energía eléctrica para las bombas. Estableciendo con el mismo un gran reto pero ambicioso proyecto, digno de mostrar en cualquier presentación de la facultad de Ingeniería Mecánica UPB.

Realizar comparación de curvas en la turbina (Turgo vs Hélice) y (Turgo vs Peltón) con los datos hallados en el nuevo banco de pruebas.

Con apoyo del semillero de energías renovables buscar comunicación con IPSE y trabajar en proyectos de energías alternativas, en regiones que busquen mejorar la calidad de vida de aquellas personas que no cuentan con energía eléctrica en sus hogares o áreas laborales, y a su vez demostrar que la Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con proyectos útiles que fortalecen el campo investigativo de la facultad en su búsqueda de mejores, nuevas y limpias energías.

## BIBLIOGRAFIA

FERNANDEZ, Pedro D. Departamento de ingeniería eléctrica y energética, Turbinas Hidráulicas, universidad de Cantabria.

<http://www.textoscientificos.com/imagenes/energia/turbina-tipo-kaplan.gif>.

02-dic-2011

The Mini Hydro Power Group MHPG. Micro Peltón Turbine. Volumen 9. Página 2

<http://es.scribd.com/doc/24969501/Disenio-Turbina-de-Rio-Para-Generacion-de-Electric-Id-Ad>

FABRICANTES DE MICRO TURBINAS HIDRAULICAS.

<http://www.smallhydropower.com/turgo.html>. Última consulta: junio 14 de 2010.

FABRICANTES DE MICRO TURBINAS HIDRAULICAS.

<http://www.microhydropower.com/>. Última consulta: junio 14 de 2010.

[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_Turgo\\_turbine.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html)

MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición, Editorial Alfa omega. Capitulo 22.

Alcalde, Pablo. Equipos e Instalaciones Electrotécnicas. Segunda Edición, Editorial Thomson. Capitulo 3 - 18.

SCOTT, Davis. Microhydro. New Society Publishers.

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/img/112\\_41.gif](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/img/112_41.gif)

[http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-19780369-generador-electrico-planta-bauker-wh1500-1100-watss-motor-4t-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-19780369-generador-electrico-planta-bauker-wh1500-1100-watss-motor-4t-_JM)

<http://www.microhydropower.com/price-list/>.

<http://www.redenergiaalternativa.org/spanish/indexsp.htm>

portafolio.com.co, JOSÉ MAURICIO HIGUERA / Redactor de EL TIEMPO

<http://www.polarisenergy.com/>

<http://fuentesrenovables.blogspot.com/2011/11/nivel-de-generacion-electrica.html>

[http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/Cobertura%202005\\_Preliminar.pdf](http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/Cobertura%202005_Preliminar.pdf)

[http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=164&Itemid=201](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=164&Itemid=201)

REVISTA FUTURA. Tecnología Renovable y Sostenible, año 1 publicación 06.

<http://www.kelcolombia.com/futura-06.pdf>. Última consulta: junio 14 de 2010.

<http://pcs.isiknowledge.com/analyze/ra.cgi>.

<http://www.kelcolombia.com/futura-06.pdf>

<http://www.inforsecuritel.com>, [consulta: 15 noviembre 2011]

Tabla de conversiones <http://www.chenlo.com/tablas.HTM>

[http://www.mtek-sa.com/mtek/Catalogo/tabid/64/CatID/11/Bater%C3%ADas\\_Gel\\_OPzV\\_y\\_OPzS.aspx](http://www.mtek-sa.com/mtek/Catalogo/tabid/64/CatID/11/Bater%C3%ADas_Gel_OPzV_y_OPzS.aspx)

MINISTERIO DE EDUCACION DE BRASIL.

<http://www.cerpch.unifei.edu.br/sp/turgo.php>. Última consulta: junio 14 de 2010.

CANAVOS. George C. Probabilidad y Estadística. McGraw Hill, Capitulo 7.

HERNANDEZ ARROYO, Emil. Manual de Estadística. 1 Ed. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Cooperativa de Colombia (Educc), 2006.

# **ANEXOS**

**ANEXO A MANUAL**

**EL MOTOR DE CORRIENTE**

PERSONAL ENERGÍA HIDROELÉCTRICA  
MANUAL DEL PROPIETARIO

**POR FAVOR LEA ATENTAMENTE**

HECHO EN CANADÁ

POR

**SISTEMAS DE ENERGÍA Y DISEÑO SL**

PO BOX 4557

SUSSEX, NB

CANADÁ 5L7 E4E

TEL: (506) 433-3151

FAX: (506) 433-6151

CORREO ELECTRÓNICO: [support@microhydropower.com](mailto:support@microhydropower.com)

PÁGINA WEB: [www.microhydropower.com](http://www.microhydropower.com)

El *motor de Stream* es una marca registrada de Sistemas de Energía y Diseño SL

Felicitaciones por la compra de un nuevo *motor de corriente!* Con una instalación completa y un poco de mantenimiento de rutina, su corriente de motor le dará años de operación sin problemas.

Este manual le ayudará a instalar la corriente del motor, así como ayudarle en la solución de problemas. Por supuesto, usted puede comunicarse con Energy Systems Ltd. Diseño y si se meten en problemas, que tus aventuras tengan éxito!

### **POR FAVOR LEA ATENTAMENTE**

Es muy importante mantener el rotor del alternador, de ponerse en contacto con el estator (la parte fija en el rotor). Si esto ocurre, puede sufrir daños graves.

Cada vez que usted está operando la máquina con un pequeño espacio de aire (distancia entre rotor del alternador y estator) usted debe comprobar la brecha cada vez se hace un ajuste! Para ello, la inserción de una tarjeta de negocios (0.010 "o 0.25 mm de espesor) en el espacio cuando el rotor está parado.

Compruebe todo el camino alrededor del rotor. Esta es también una forma de comprobar el desgaste de rodamiento sobre una base mensual.

Si **no puede** insertar la tarjeta en la brecha, ya sea todo o en parte, es necesario ajustar el rotor hacia arriba (*véase el resultado de ajuste* en este manual).

Al hacer ajustes espacio de aire, asegúrese de que el perno se aprieta más grande (a la derecha) en contra del eje y el perno de menor tamaño también está apretado (sentido horario), a fin de sujetar las dos partes en su lugar.



## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	122
1. SITIO DE EVALUACIÓN	123
2. CABEZA DE LA MEDIDA	123
3. MEDICIÓN DE FLUJO	124
4. VERTEDERO DE LA MESA DE MEDICIÓN	125
5. ENTRADA, TUBERÍA Y TAILRACE	126
6. BATERÍAS, INVERSORES Y CONTROLADORES	128
7. CABLEADO Y CENTRO DE CARGA	130
8. EJEMPLO DE DISEÑO	131
9. SALIDA DE AJUSTE	134
10. SÓLO LOS MODELOS DE ALTO VOLTAJE	136
11. RODAMIENTOS, SERVICIO Y ASAMBLEA	137
12. ESQUEMAS	140
13. SISTEMAS DE CABLEADO	141
14. NUEVA TÉCNICA DE MEDICIÓN DE CORRIENTE	142

## INTRODUCCIÓN

Este manual describe **el motor de corriente**, que es fabricado por Sistemas de Energía y Diseño Ltd. El instalador deberá poseer algunos conocimientos de los sistemas eléctricos y de plomería. Estas máquinas son pequeñas, pero puede generar algo de muy altas tensiones. Incluso 12 - máquinas voltios puede producir altos voltajes bajo ciertas condiciones. La práctica toda la seguridad debida. Electricidad no puede ser vista y puede ser letal.

Es importante consultar con las autoridades locales antes de realizar cualquier alteración del curso de agua. ES & D aconseja seguir todas las leyes y ordenanzas locales sobre cursos de agua. La electricidad es generada a partir de la energía potencial en el movimiento del agua desde un punto alto a uno más bajo. Esta distancia se llama "cabeza" y se mide en unidades de distancia (pies, metros) o en unidades de presión (libras por pulgada cuadrada, kilo-Pascales). "Flow" se mide en unidades de volumen (galones por Minutos - gpm, o litros por segundo - l / s), y es la segunda parte de la ecuación de poder. El poder está orientado a la cabeza y el flujo. El motor de Stream está diseñado para operar en un amplio rango de los jefes y los flujos. Esto se logra con el uso de un corredor Turgo, o la rueda. Diámetro de la boquilla de 1 / 8 a 1 pulgadas están disponibles, y hasta cuatro boquillas se pueden utilizar en una máquina, para utilizar cabezas tan bajo como cuatro pies y tan alto como cientos de personas. El motor de corriente utiliza un alternador de imanes permanentes tipo. Este diseño elimina la necesidad de cepillos y el mantenimiento que las acompañan, mientras que aumentan la eficiencia. El motor de Stream salida puede ser optimizado, simplemente ajustando la liquidación del rotor.

## **1. SITIO DE EVALUACIÓN**

Cierta información debe ser determinada con respecto a su sitio, a fin de utilizar su potencial para máximo rendimiento. La cabeza y el flujo debe ser determinada. Otros factores son: longitud de la tubería, la distancia de transmisión, y la tensión del sistema. Estos factores determinan cuánta energía se puede esperar. La energía es generada a un ritmo constante por el motor de corriente y se almacena en baterías de corriente continua (CC). La alimentación se realiza, según sea necesario, por las baterías, que almacenan energía durante los períodos de baja consumo para su uso en periodos donde el consumo supera la tasa de generación. Aparatos que operan directamente desde las baterías, o 120 voltios de corriente alterna (CA) pueden suministrarse a través de un inversor, la conversión de DC a la red. Los sitios pueden variar, así que considerar cuidadosamente el flujo y la cabeza la hora de elegir el tuyo. Recuerde, el máximo la cabeza se puede lograr mediante la colocación de la corriente del motor tan bajo como sea posible una elevación, pero va demasiado bajo puede hacer que la máquina se sumerja.

## **2. CABEZA DE LA MEDIDA**

La cabeza puede ser medida mediante diversas técnicas. Una manguera de jardín o la longitud del tubo pueden ser sumergidas con un extremo aguas arriba y aguas abajo del otro extremo.

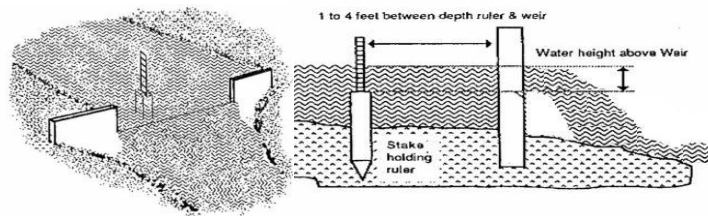
Fije el extremo aguas arriba con piedras o un asistente que mantenga, el agua debe salir por el extremo más bajo, especialmente si la tubería está pre cargada. Una vez el agua está fluyendo, levante el extremo aguas abajo hasta el tope. Haga esto lentamente ya que el agua tiende a oscilar. Cuando el flujo se ha estabilizado, medir la distancia de siembra para el nivel de agua en la corriente con una cinta métrica. Esto le dará una medida muy exacta de la sección

corriente. Marque la lugar y luego repetir el procedimiento hasta que toda la distancia se cubre.

Otra técnica es utilizar un inspector de tránsito. Este método también se puede aproximar mediante u nivel de uso de una vara de medir o un "polo de la historia." Esta técnica también se realiza en una serie de pasos para llegar a la cabeza en general. Una variante de este método es el uso de altímetros.

### 3. MEDICIÓN DE FLUJO

El método más sencillo para medir caudales pequeños es canalizar el agua en una tubería con un dique temporal y para llenar un recipiente de volumen conocido. Midiendo el tiempo para llenar el recipiente que permite calcular el caudal.



**TABLA MEDIDORA WEIR**

La tabla muestra la corriente de agua que fluirá en galones por minutos (gpm) durante a una pulgada weir de ancho y desde 1/8 hasta 10-7/8 pulgadas de hondo.

Inches		1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"
0	0.0	0.1	0.4	0.7	1.0	1.4	1.9	2.4
1	3.0	3.5	4.1	4.8	5.5	6.1	6.9	7.6
2	8.5	9.2	10.1	10.9	11.8	12.7	13.6	14.6
3	15.5	16.5	17.5	18.6	19.5	20.6	21.7	22.8
4	23.9	25.1	26.2	27.4	28.5	29.7	31.0	32.2
5	33.4	34.7	36.0	37.3	38.5	39.9	41.2	42.6
6	43.9	45.3	46.8	48.2	49.5	51.0	52.4	53.9
7	55.4	56.8	58.3	59.9	61.4	63.0	64.6	66.0
8	67.7	69.3	70.8	72.5	74.1	75.8	77.4	79.1
9	80.8	82.4	84.2	85.9	87.6	89.3	91.0	92.8
10	94.5	96.3	98.1	99.9	101.7	103.6	105.4	107.3

Suponga que la profundidad del agua arriba de una estaca es 9 3/8". Encuentre 9 en la columna izquierda y 3/8 en la columna de arriba. El valor donde esta intersectado es 85.9 gpm. Como se eso es solo por una weir pulgada. Usted multiplica este valor por el grueso de su weir en pulgadas para obtener la corriente de agua.

El método del azud es más versátil y puede ser útil para flujos más altos. Esta técnica utiliza un corte la abertura rectangular en una tabla o un pedazo de chapa

puesto en el arroyo como un dique. El agua es canalizada hacia la presa y la profundidad se mide desde la parte superior de un juego que es el nivel con el borde de la presa y varios metros aguas arriba.

La medición del flujo en diferentes épocas del año ayuda a calcular máximos y mínimos utilizables los flujos. Si la fuente de agua es estacionalmente limitada, es posible que tenga que depender de alguna otra fuente de poder durante los tiempos de secado (solar y eólica). Tenga en cuenta que una cantidad razonable de agua debe quedar en la corriente (No lo tome todo, que el agua soporta las formas de vida). Cuando la cabeza y el flujo se determinan, la potencia esperada puede ser determinada a partir del siguiente gráfico. Tenga en cuenta que los valores de tabla representan *genera* la producción y que el poder real entregado a las baterías se reducirá en las líneas de transmisión, convertidores de potencia, y otros equipo requerido por el sistema. Todos los sistemas deben ser cuidadosamente planeados para maximizar la potencia de salida.

#### 4. VERTEDERO DE LA MESA DE MEDICIÓN

La tabla muestra el flujo de agua en galones por minuto (GPM) que el flujo sobre un vertedero de una pulgada de ancho y de 1/8 a 10-7/8 pulgadas de profundidad.

Net Head		Flow Rate						
		Liters/sec (Gallons/min)						
Meters	Feet	0.67 (10)	1.33 (20)	2.50 (40)	5.00 (75)	6.67 (100)	7.50 (112)	9.50 (150)
3	10	-	20	40	75	100	130	150
6	20	15	40	80	150	200	250	350
15	49	45	100	200	375	500	650	800
30	98	80	200	400	750	1000	*	*
60	197	150	400	800	1500	*	*	*
90	295	200	550	1200	*	*	*	*
120	394	300	700	1500	*	*	*	*
150	492	400	850	1900	*	*	*	*

\* In these higher output situations, it may be worthwhile to utilize more than one Stream Engine.

## 5. ENTRADA, TUBERÍA Y TAILRACE

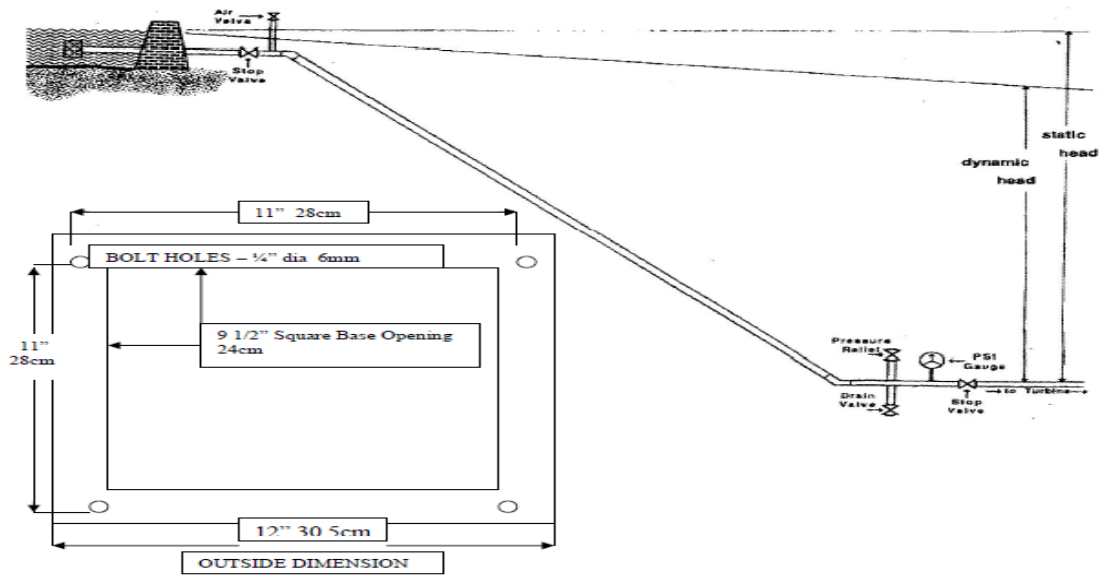
Todos los sistemas hidroeléctricos requieren una tubería. Incluso los sistemas operativos directamente de una presa requieren por lo menos ejecutar tuberías cortas. Es importante utilizar el tipo correcto y el tamaño de la tubería para reducir al mínimo las restricciones en el flujo de la boquilla (s). Cuando sea posible, las tuberías deben ser enterradas, lo que estabiliza la línea y evita que los animales de masticarla. A la entrada del tubo, un filtro debe ser instalado. Un cuadro de detección se puede utilizar con la tubería entrar en un lado, o añadir una sección de tubería llena de agujeros perforados envuelto en la pantalla o agujeros pequeños y utilizados sin la pantalla. Asegúrese de que las aberturas del filtro son más pequeñas que el más pequeño boquilla utilizada. La ingesta debe estar por encima del lecho del río para no aspirar limo y debe ser lo suficientemente profundo para no a chupar en el aire. La obra de toma se debe colocar a un lado de la corriente principal de la corriente para que la fuerza del agua que fluye y sus restos se pase por alto. Limpiar de forma periódica la ingesta de las hojas u otros desechos. Si la tubería general no se ejecuta siempre hacia abajo y, al menos en la primera sección debe, por lo que el agua puede comenzar a fluir. Una válvula de derivación puede ser necesaria. Esto debe ser instalado en un punto bajo en el tubería. De tuberías para atropellar a las presas, el lado de aguas abajo puede ser llenado a mano. Una vez llena, la parada válvula en la turbina se puede abrir para iniciar el flujo. Si la presión total no se desarrolla, una mano de propulsión bomba de vacío se puede utilizar para eliminar el aire atrapado en el punto alto.

Al final de la turbina de la tubería una válvula de derivación que sean necesarias para permitir que el agua a ejecutar a través de la tubería sin afectar a la turbina, limpieza de la línea de flujo de aire o aumentar para evitar la congelación.

Una válvula de cierre debe ser instalado aguas arriba de la boquilla. Un indicador de presión se debe instalar aguas arriba de la válvula de cierre por lo tanto la carga estática (sin flujo de agua) y la carga dinámica (agua flujo) se puede leer.

La válvula de cierre de un oleoducto debe estar siempre cerrada lentamente para evitar golpes de ariete (la columna de agua en el tubo que viene a una parada brusca). Esto es fácil de destruir su transmisión y para esta razón, puede que desee instalar una válvula de alivio de presión justo antes de la válvula de parada. Esto también puede producirse si los desechos obstruye la boquilla.

Las boquillas se pueden instalar o cambiar aflojando sus cuatro tuercas con un 11 mm (7.16 ") Llave. El uso de tuberías flexibles hace que sea más fácil quitar la tubería de las boquillas.



La carcasa de la turbina se puede montar en dos tablas de suspenderla por encima de la corriente. Se recomienda tener el motor de corriente en un recinto pequeño o bajo alguna cobertura para mantenerlo seco y proporcionar un lugar para el equipo auxiliar.

Montaje de la máquina en concreto también es posible (es posible que desee probar una madera de montaje temporal primero). La apertura en la cubierta para recoger el agua debe ser al menos del tamaño de la turbina la apertura de la vivienda, y preferiblemente un poco más grande. Asegúrese de que el canal de descarga (canal de salida) proporciona suficiente flujo para el agua que sale. La apertura de la vivienda es 9-1/2 pulgadas cuadradas, los agujeros están en una pulgada cuadrada-11, y el alojamiento es de 12 pulgadas cuadradas.

En climas fríos, puede ser necesario construir una "trampa" en la salida. Esto impide que el aire exterior entrar en la vivienda y causando-ups congelar.

## 6. BATERÍAS, INVERSORES Y CONTROLADORES

Tensión del sistema un sistema pequeño con una distancia de transmisión corta es generalmente diseñados para funcionar a 12 voltios. Ampliar sistemas también puede ser de 12 voltios, **pero si una mayor potencia deseada o la distancia de transmisión son largas, a continuación, un sistema de 24 voltios o más alto puede ser preferible.** Esto es especialmente cierto si todas las cargas están inversor alimentación. En un sistema de 12 voltios operando a un nivel bajo de potencia, puede ser ventajoso para operar todas las directamente las cargas de las baterías. De 12 voltios Muchos electrodomésticos y pequeños inversores están disponibles. En 24 voltios sistemas, también puede ser preferible para operar las cargas no directamente (aunque, como muchos aparatos se disponible).

En los sistemas de energía más alta, por lo general es mejor utilizar un inversor para convertir el voltaje de la batería para regular 120 VCA. Esto ha sido posible con la llegada de inversores fiables de alta potencia. Miles de sistemas de energía de origen se encuentran en operación con cargas de CA solamente.



Dimensionamiento de la capacidad de la batería Un sistema hidráulico típica debe tener alrededor de dos días de almacenamiento de capacidad de la batería. Esto por lo general de mantenimiento de pilas de plomo-ácido que operan en el centro de su área de distribución de carga en el que son los más eficientes y de larga duración. Las pilas alcalinas como el níquel-hierro y el cadmio-níquel tipos puede tener un menor capacidad, ya que pueden ser más completamente descargadas sin daño alguno.

Las baterías deben estar situadas fuera del espacio vital, o una ventilación adecuada se debe proporcionar, como el aumento de nivel de carga tiende a producir el gas de hidrógeno y gases corrosivos. Además, el agua aumenta el consumo, el agua destilada se debe utilizar para mantener el nivel del agua.

**Regulación de carga:** Un sistema hidráulico que requiere una carga de estar presentes para que el poder tenga lugar a donde ir. De lo contrario, el voltaje del sistema puede subir a niveles muy altos. Esta situación ofrece la oportunidad de hacer algo con el exceso de energía (una descarga de la carga se puede utilizar para calentar agua).

Como las baterías se cargan completamente, sus subidas de tensión. En algún momento, el proceso de carga debe parar y el poder ser desviados a la carga de volcado (hay una buena cantidad de conjeturas que participan aquí). La tensión de puesta a punto debe ser de 13,5 a 14,5 para un sistema de 12 voltios en función de la tasa de carga. Cuanto mayor sea el nivel de carga, mayor es la tensión puede ir. Si las baterías están a menudo en un estado de carga, el límite de tensión debe estar en el extremo inferior del rango.

Algunos ejemplos de controladores de carga buenos son los de TRACE C-35, C-40 y la ENERMAXER. Ambos interruptores de alimentación a una carga de volcado cuando su punto de consigna se alcanza. El ENERMAXER tiene un punto

de ajuste y utiliza el estado de los interruptores sólida para volcar el poder poco a poco a la tensión de uno. Cargas de descarga son por lo general resistencia, tales como calentadores, pero puede ser cualquier cosa que sea compatible con el sistema. Un voltímetro o un metro del vatio-hora pueden ser usados para monitorear el nivel de carga de la batería. Tensión de la batería es más o menos en función del nivel de carga, y varía según el nivel de carga y velocidad de carga. A medida que adquirir experiencia, el voltaje de la batería se puede utilizar para evaluar el nivel de carga con más precisión.

## **7. CABLEADO Y CENTRO DE CARGA**

Cada sistema requiere un poco de cableado para conectar los distintos componentes. Centros de carga están disponibles como un paquete completo que fácilmente se facilita la conexión de cargas y fuente de alimentación (s). Todos los circuitos en el sistema deben utilizar cable de tamaño adecuado y tener fusibles o interruptores de la capacidad suficiente para llevar a la carga de espera actual. El motor de corriente tiene que estar protegida, ya que pueden sufrir un cortocircuito o fallos similares al igual que cualquier otra cosa en el sistema.

Dentro de la caja de conexiones en el lado de la máquina son dos bloques de terminales para el cableado de la batería. El terminal negativo está atornillado a la caja y el terminal positivo está atornillado a la placa de plástico. Sus extremos del cable de transmisión se insertan en estos dos conectores (después de haber sido despojado de aislamiento) y a continuación, apretados. Asegúrese de que el cableado de la batería está correctamente conectado o el rectificador será destruido. No haga funcionar la máquina sin estar conectado a las baterías de alta tensión muy se puede generar. El milímetro conectado a los terminales de la desviación medirá la corriente de salida y es comparable a la del velocímetro de un coche. Un voltímetro conectado a las baterías aproximadamente indicará el

nivel de carga, como se describe en el nivel de carga de encima, y es comparable con el indicador de gasolina.

## **8. EJEMPLO DE DISEÑO**

Este ejemplo muestra la forma de proceder con una instalación completa. Los parámetros del sitio de ejemplo son los siguientes:

- 120 Metros de la cabeza a una distancia de 1.000 metros
- Un flujo de 30 gpm (la mayoría de las veces)
- 100 Metros de distancia de la casa a la máquina hidráulica
- 24 Voltios del sistema

Lo primero que debemos hacer es determinar el tamaño de la tubería. A pesar de la potencia máxima se produce a partir del tamaño de la tubería cuando la pérdida de flujo es de 1/3 de la carga estática, más energía se puede obtener a partir del mismo flujo con un tubo más grande, que tiene menores pérdidas. Por lo tanto, el tamaño del tubo debe ser optimizado basado en la economía. A medida que disminuye la cabeza, la eficiencia del sistema disminuye, y es importante para mantener el cabeza tener bajas pérdidas. Los diagramas de flujo de tubería nos muestran que de dos pulgadas de tubería de polietileno de diámetro tiene una pérdida de carga de 1,77 metros de la cabeza por 100 pies de tubería con un caudal de 30 gpm. Esto es de 17,7 pies de la pérdida de 1,000 pies de tubería. El uso de dos pulgadas de PVC nos da una pérdida de 1.17 pies de altura por 100 metros de la tubería o los pies 11,7 para 1000pies. De polietileno viene en rollos continuos, ya que es flexible (y más resistente al congelamiento). PVC viene en tramos más cortos y tiene que ser pegadas o comprado con juntas (para

tamaños más grandes). Digamos que seleccionamos de polietileno. La potencia máxima se produce con un flujo de alrededor de 45 gpm ya que nos da una pérdida de carga de 3,75 metros por cada 100 pies de tubería, o 37,5 pies de la pérdida de nuestros 1000 pies de tubería. Esto es de 37,5 " los 120" cabeza = 31% pérdida. Un flujo de 30 gpm da un salto neto de 102,3 metros (120 '- 17.7'). Las pérdidas causadas por el tubo de varios accesorios y pantalla de entrada aún más la disminución de la carga dinámica, de manera que 100 metros es un buen trabajo. En esta condición la cabeza y el flujo de salida de la máquina son igual a 300 watts. Ya que requieren de 24 voltios y la distancia de transmisión es relativamente corta, se puede generar y transmitir 24 voltios con el motor de corriente. Este motor de corriente también podría utilizarse para tensiones superiores 48 y 120 o 240. Con voltajes más altos, el poder puede transmitirse a grandes distancias. Mirando la tabla de flujo de la tobera, vemos que un 3 / 8 "de la boquilla se produce un flujo de 27,6 gpm a 100 'la cabeza. Esto es muy cerca del punto de diseño, sino que producir unos resultados ligeramente menos que si tuviéramos exactamente 30 gpm. Un 7/16 "de la boquilla se produce el flujo ligeramente mayor y la salida, pero con más cabeza y pérdidas. Tenemos que ir a 100 "con 300 vatios en nuestro sitio. Este período es de 10 amperios a 30 voltios en el generador. Tenga en cuenta que habrá algunas caída de tensión en la línea y baterías de 24 voltios requieren tensiones de algo superior a la nominal al ser cargadas. Así que los 10 amperios deben pasar a través de 200 'del alambre para la ida y vuelta. Pérdidas de resistencia debe mantenerse tan bajo como permitir que la economía, al igual que en los gasoductos. Digamos que queremos tener en torno a un 10% de pérdida. Se trata de 30 vatios de la original de 300. La fórmula por la pérdida de resistencia es  **$I^2R = \text{vatios}$**  cuando I = intensidad (en amperios) y la resistencia R = (en ohmios).

$$(10 \text{ amperios})^2 \times R \text{ (ohms)} = 30 \text{ vatios}$$

$$100 \text{ A} \times R \text{ (ohms)} = 30 \text{ vatios}$$

$$R = 0,3 \text{ ohmios}$$

Esta es la resistencia de los cables que se produce una pérdida del 10%. El gráfico muestra la pérdida de la pérdida de cable por cada 1000 ', por lo que:

$$1000' / 200' \times 0,3 \text{ ohmios} = 1,5 \text{ ohmios por } 1000.$$

El gráfico muestra, calibre 12. Alambre tiene una resistencia de 1,62 ohmios por 1000 ", por lo que:

$$200' / 1000' \times 1,62 = 0,32 \text{ ohms ohms. Esto se acerca al nivel deseado.}$$

$$10 \text{ A} \times 10 \text{ A} \times 0,32 \text{ ohmios} = 32 \text{ vatios de la pérdida.}$$

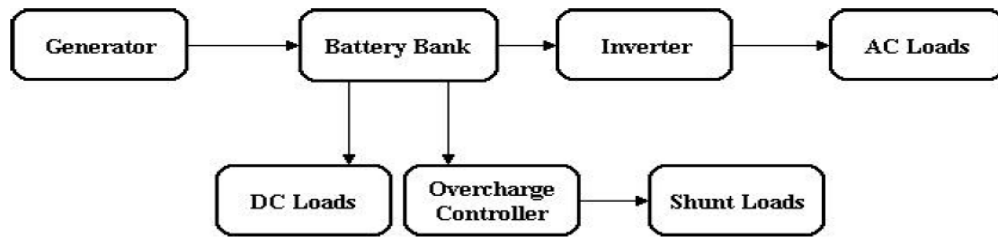
El aumento del tamaño del cable reduciría aún más las pérdidas. La caída de tensión en el alambre es igual a:

$$IR = 10 \text{ amperios} \times 0,32 = 3,2 \text{ voltios ohmios}$$

Así que si el voltaje de la batería es de 26,8, el generador esté funcionando a 30,0 voltios. Tenga en cuenta que se trata de siempre las baterías que determinan la tensión del sistema. Es decir, todas las tensiones en el sistema de ascenso y la caída de acuerdo al estado de la carga de la batería. En el lugar, estaremos generando 10 amperios continuamente. Si usamos baterías de plomo ácido se tienen dos días de capacidad de almacenamiento, entonces:

$$10 \text{ A} \times 24 \text{ horas} \times 2 \text{ días} = 480 \text{ amperios. Horas Capacidad}$$

Probablemente no volveríamos a usar un inversor y controlador de carga con el sistema. El diagrama para un sistema sería el siguiente:



Esquema de una batería basada en sistema típico:

### RESISTENCIA DEL ALAMBRE COBRE

Wire Gauge	Diameter Inches	Ohms per 1000'	Ohms per Mile
0000	0.460	0.05	0.26
000	0.410	0.06	0.33
00	0.364	0.08	0.42
0	0.324	0.10	0.52
2	0.258	0.16	0.84
4	0.204	0.25	1.34
6	0.162	0.40	2.13
8	0.128	0.64	3.38
10	0.102	1.02	5.38
12	0.081	1.62	8.56
14	0.064	2.58	13.6
16	0.051	4.10	21.6
18	0.040	6.52	34.4

## 9. SALIDA DE AJUSTE

Para la máquina para producir la salida más alta, la altura del rotor se debe ajustar. Esto implica subir y bajar el rotor para aumentar el nivel de flujo magnético. Esto es necesario para que coincida con la salida de la turbina con la del generador. Después de que la máquina está instalada, realizar una tirada inicial de establecer un nivel de potencia de salida. Esto puede ser determinado usando un amperímetro para medir o un medidor digital de corriente para medir la tensión. Una buena idea es mantener un diario para anotar cualquier salida

cambia en relación a los ajustes. Después de que todo está conectado, en marcha la máquina al abrir la válvula de cierre. Ejecutar el tiempo suficiente para el nivel de producción para estabilizar y nota de la corriente (o tensión). A continuación, cierre la válvula de cierre. La máquina viene con el conjunto del rotor muy cerca del estator (la parte fija de la máquina). Para aumentar esta distancia y reducir el nivel de flujo magnético, debe activar el perno de 19 mm mayor (3/4 ") la cabeza en la parte superior del rotor mientras se mantiene inmóvil. Esto se realiza mediante la inserción de 1/4 "pin presenta en uno de los agujeros en el borde del rotor. Entonces, el menor de 11 mm (7/16 ") es la cabeza del perno aflojado. Ahora usted puede dar vuelta el tornillo más grande, lo que obligará a que el rotor hacia arriba. Cada vuelta completa del tornillo se mueve el rotor vertical de 1,25 mm (0,050 "). Si el aumento de las causas del rotor de la actual (o la tensión) para aumentar, a continuación, seguir haciéndolo hasta que ya no tengamos un aumento. Si se alcanza un punto donde se produce una disminución, a continuación, el rotor se debe reducir. Esto se hace aflojando el tornillo más grande y luego apretar el más pequeño. Al Girar el tornillo más pequeño hace que el rotor se mueva verticalmente la misma distancia por vuelta como el perno más grande lo hace. Cuando haya encontrado la mejor posición (sin aumento en la corriente o voltaje), asegúrese de que el perno más grande se da vuelta hasta que esté firme. Ahora los tornillos más pequeños deben ser apretados para bloquear todo en su lugar. No hay nuevos ajustes se debe exigir a menos tamaños de boquillas se cambian.

Al ajustar el rotor a la baja, puede llegar al punto en que se pondrá en contacto con el estator. Si este se produce, siempre se ajustan hacia arriba por al menos un 1 / 4 de vuelta del tornillo más grande. Funcionamiento de la máquina con el rotor más cerca de lo que podría dañar la máquina.

**\*\* Siempre girar el rotor con la mano antes de iniciar la máquina para comprobar si hay roce \*\*.**

Retire el pasador en el borde del rotor antes de iniciar la máquina.

**El tamaño óptimo de la boquilla se puede encontrar utilizando una técnica similar.**

Sistemas de Energía y Diseño ha introducido un nuevo tipo de boquilla para sus generadores eléctricos de hidromasaje. Esto hace posible la creación de los aviones de tamaño de boquilla que puedan ser requeridos por cortando el boquilla a la longitud adecuada. De corte se puede hacer con una sierra de arco, o cualquier otro vio dientes finos.

El final de la boquilla y se terminó con un pedazo de papel de lija. Esto se logra mejor mediante la colocación de el papel de lija sobre una superficie plana y moviendo la boquilla en su contra. Las marcas están en la boquilla para ayudar a en el corte al tamaño correcto. Las cifras son en milímetros y corresponden a pulgadas de la siguiente manera:

mm	3	4.5	6	8	10	13	16	19	22	25
inches	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1

Tamaños impares también puede ser producido. La apertura de la boquilla es de aproximadamente 6% más grande que el avión real de agua que sale de ella. Otra posibilidad es hacer la abertura más grande hasta que el flujo deseado obtenidos. Un anillo se proporciona con el fin de sellar el rostro. Esto evita las fugas de agua en el exterior de la máquina. Para la boquilla de tamaño más pequeño, la boquilla puede ser instalada con el lado numerado frente hacia arriba, de modo que al final no se comunicará con la rueda de la turbina.

**10. SÓLO LOS MODELOS DE ALTO VOLTAJE**

Cuando se opera un motor de corriente mediante transformadores, se requiere una técnica diferente con el fin de optimizar la salida. Esto se puede hacer en la



turbina mediante el ajuste de máxima tensión en lugar de corriente máxima. Voltaje de CA se puede medir a través de dos de los terminales de salida. Estos terminales son los mismos en la placa de terminales como para los sistemas de corriente continua-bajo. Hacer purga de aire del rotor ajustes de acuerdo a las instrucciones en este manual. Un interruptor (on/off) se suministra para el de alimentación de CA entrante. En uso normal, el interruptor está a la izquierda en general.

### Flujo de la tobera TABLA DE CAUDAL EN EE.UU. GALONES POR MINUTO

Head Feet	Pressure PSI	Nozzle Diameter, inches											Turbine RPM
		1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	5/8	3/4	7/8	1.0	
5	2.2					6.18	8.40	11.0	17.1	24.7	33.6	43.9	460
10	4.3			3.88	6.05	8.75	11.6	15.6	24.2	35.0	47.6	62.1	650
15	6.5		2.68	4.76	7.40	10.7	14.6	19.0	29.7	42.8	58.2	76.0	800
20	8.7	1.37	3.09	5.49	8.56	12.4	16.8	22.0	34.3	49.4	67.3	87.8	925
30	13.0	1.68	3.78	6.72	10.5	15.1	20.6	26.9	42.0	60.5	82.4	107	1140
40	17.3	1.94	4.37	7.76	12.1	17.5	23.8	31.1	48.5	69.9	95.1	124	1310
50	21.7	2.17	4.88	8.68	13.6	19.5	26.6	34.7	54.3	78.1	106	139	1470
60	26.0	2.38	5.35	9.51	14.8	21.4	29.1	38.0	59.4	85.6	117	152	1600
80	34.6	2.75	6.18	11.0	17.1	24.7	33.6	43.9	68.6	98.8	135	176	1850
100	43.3	3.07	6.91	12.3	19.2	27.6	37.6	49.1	76.7	111	150	196	2070
120	52.0	3.36	7.56	13.4	21.0	30.3	41.2	53.8	84.1	121	165	215	2270
150	65.0	3.76	8.95	15.0	23.5	33.8	46.0	60.1	93.9	135	184	241	2540
200	86.6	4.34	9.77	17.4	27.1	39.1	53.2	69.4	109	156	213	278	2930
250	108	4.86	10.9	19.9	30.3	43.6	59.4	77.6	121	175	238	311	3270
300	130	5.32	12.0	21.3	33.2	47.8	65.1	85.1	133	191	261	340	3591
400	173	6.14	13.8	24.5	38.3	55.2	75.2	98.2	154	221	301	393	4140

### 11. RODAMIENTOS, SERVICIO Y ASAMBLEA.

Con el fin de quitar el generador primero debe quitar la rueda de la turbina. La rueda de la máquina es aflojado desde el eje del rotor con la celebración de la de 1 / 4 "en diámetro se inserta en uno de los agujeros en el borde del rotor. La rueda de la turbina está montada con una lavadora y un separador de la parte superior. El eje se hace con el estándar de roscas a mano derecha de la rueda de la turbina por lo que se puede aflojar en un A la izquierda dirección a la hora de buscar en el eje (con la máquina al revés). A continuación, puede quitar los cuatro tornillos con 5 / 32 ") hexagonal unidad (de 4 mm).

Debe reemplazar los rodamientos tan pronto como usted nota alguna flojedad. Si están demasiado sueltas, graves daños tanto el rotor y el estator puede resultar. Esta máquina utiliza tres rodamientos de bolas 6203 sellos de contacto. En las máquinas anteriores se trata de ajuste a presión en la carcasa del alternador y se debe instalar y se quitan con una prensa de capacidad adecuada y un mandril de tamaño adecuado. En la actualidad los rodamientos en la máquina son un ajuste flojo en el agujero del alojamiento y se puede sustituir a mano si no hay demasiado óxido mucho.

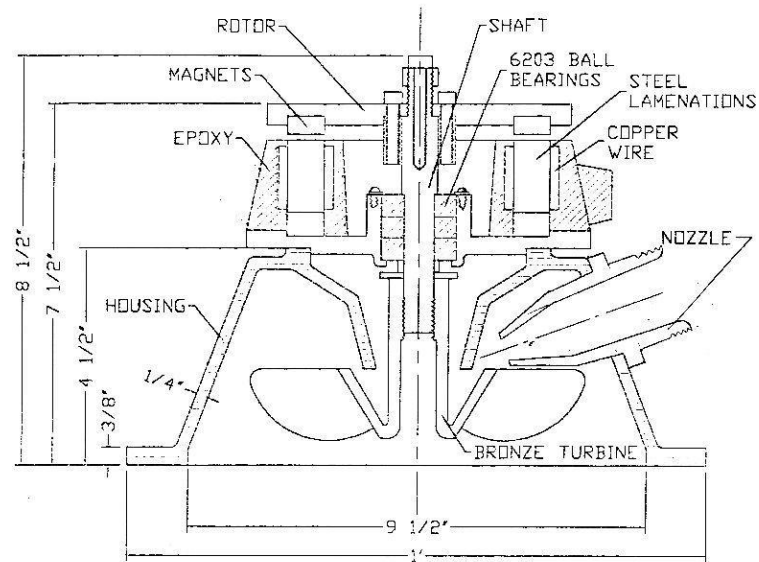
**Para reemplazar los rodamientos:**

1. Uso del eje del rotor para sujetar el eje, desenroscar el corredor del eje del generador.
2. Retire del rotor. Para quitar el rotor y elevar el eje del rotor como se describe en el *ajuste de salida* hasta que la atracción magnética es lo suficientemente bajo para separar el / eje rotor de la vivienda y el estator.
3. Desenrosque los 4 tornillos y arandelas de retención de los rodamientos.
4. Con el motor de corriente invertida sentado, con los pulgares, presione a los rodamientos de la manga o toque los rodamientos a cabo. Esto puede requerir una prensa en algunas situaciones.
5. Limpieza manga de cojinete e insertar nuevos 6203LLU rodamientos.
6. Volver a montar.

## **POR FAVOR LEA CUIDADOSAMENTE**

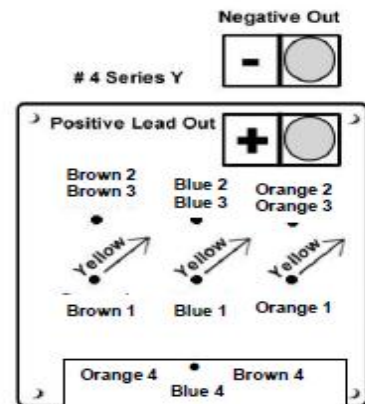
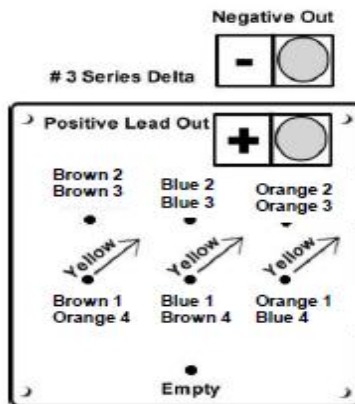
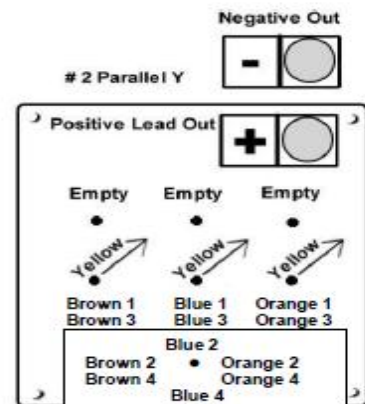
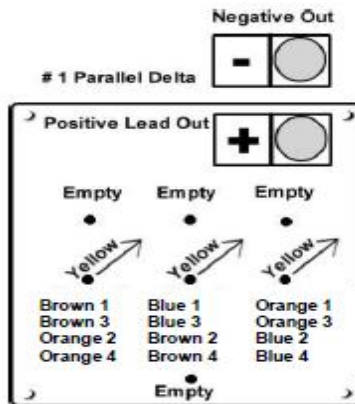
Es muy importante para mantener el rotor del alternador de ponerse en contacto con el estator (parte fija en la el rotor). Si esto ocurre, el daño puede causar graves.

Siempre que se opera la máquina con un pequeño espacio de aire (distancia entre el rotor del alternador y estator) usted debe comprobar la brecha cada vez se hace un ajuste! Para ello, la inserción de una placa de apoyo (0,020 "de espesor o 0,5 mm) o más grueso algo en la brecha cuando el rotor es estacionaria (pista: la mayoría de tarjetas de visita son 0.010 "de espesor, por lo tanto, el uso de dos tarjetas de visita de esta espesor se podría utilizar para comprobar el espacio de aire). Compruebe todo el camino alrededor del rotor. Esta es también una forma para comprobar si hay desgaste de los rodamientos sobre una base mensual. Si no puede insertar la cuña en la brecha, todo o en parte, es necesario ajustar el rotor hacia arriba (ver Ajuste de la salida de este manual). **NO UTILICE** galgas de acero, ya que se sentirán atraídos por los imanes. Al hacer los ajustes de espacio de aire, asegúrese de que el perno se aprieta más grande (a la derecha) en contra de la eje y el tornillo más pequeño también es apretado (sentido horario), así como para fijar las dos partes en su lugar.



## 12. ESQUEMAS

Estos diagramas representan las cuatro combinaciones posibles de cableado de salida. Ellos son en orden de potencial. Si encuentra el ajuste de espacio de aire que, como mínimo, y desea probar para obtener más poder, a continuación, intente utilizar la combinación más alta siguiente. Si encuentra que el espacio de aire es muy grande, pruebe la siguiente más baja una. Tenga en cuenta que sólo hay un pequeño cambio en el potencial entre el #2 y # 3.



Revision 7/22/2008

### 13. SISTEMAS DE CABLEADO

12 VOLTS	24 VOLTS	48 VOLTS
<b>Parallel Delta</b> All Heads	<b>Series Delta</b> up to 60'/18 m	<b>Series Y</b> up to 60'/ 18m
	<b>Parallel Delta</b> 30'/ 9m and up	<b>Series Delta</b> 30'/9m to 250'/75m
		<b>Parallel Delta</b> 140'/43m and up

*Nota:* En un lugar determinado, más de un esquema puede funcionar. Pero uno de ellos funciona mejor.

Configuración en estrella paralelo no se menciona porque es muy similar a la del delta serie. Se diferencia en un 15%. Si usted tiene un sitio en donde se utiliza la serie del delta y que la producción podría ser mayor, intente. Recuerde que debe ajustar el rotor de salida más alta al cambiar el cableado.

#### **14. NUEVA TÉCNICA DE MEDICIÓN DE CORRIENTE**

Anteriormente, todos los motores de corriente fueron equipados con amperímetros analógicos. Ahora, uno integrado en la desviación Resistencia de precisión) se instala en la caja de conexiones que permite que la corriente que se mide (digitalmente. Esto se hace con el DMM suministrado (multímetro digital). Para medir la corriente producida por el generador, ajustar la escala DMM a "DC milivoltios" o "200 m" en el nueve posición. No utilice la escala de amperios. Conecte el negativo en el orificio inferior, y positivo en el agujero del medio.

Conecte los cables en su correspondiente toma de color codificado en la derivación en la caja de conexiones. Esto dar lecturas de corriente de 0,1 amperios a 99,9 amperios. Por supuesto, el DMM puede ser utilizado para otras tareas con su sistema de energía renovable.



#### **EJEMPLOS DE INSTALACIÓN**

Un motor de corriente instalado con tubería de PVC y válvulas de unión.



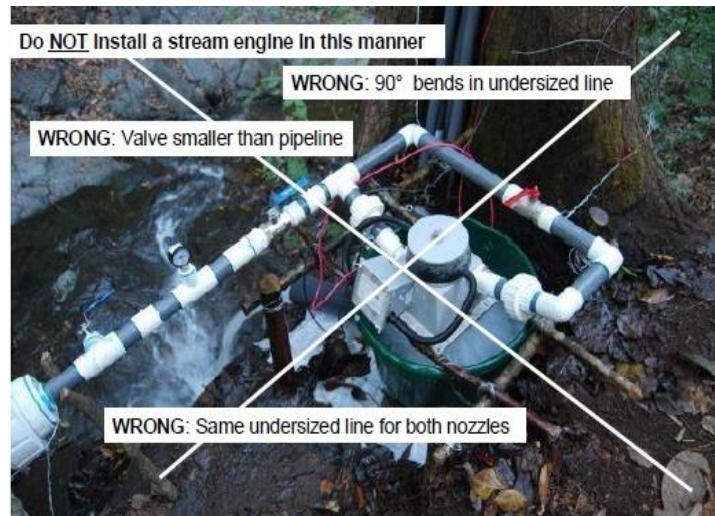
En construcción, un sitio de la cabeza 30 'se muestra delante de la base de grava se añadió. Instalación con tubería flexible. Nota de la tubería se une a las boquillas con abrazaderas de manguera.



Medidor de presión instalado en cuenta por el taladrado y roscado de la conexión T y el uso de una pequeña válvula. Este permite la extracción del medidor para evitar daños por congelación hasta el medidor.



El siguiente es un ejemplo de lo que NO hay que hacer para una instalación de motor corriente. Una instalación de este tipo se traducirá en una pérdida enorme de poder. Para optimizar la salida del generador de todos los aspectos de instalación debe ser bien hecho. Es importante prestar atención a la plomería, tamaño de la boquilla, el consumo de condiciones, los componentes de la ubicación, eléctrica, así como el mantenimiento regular.

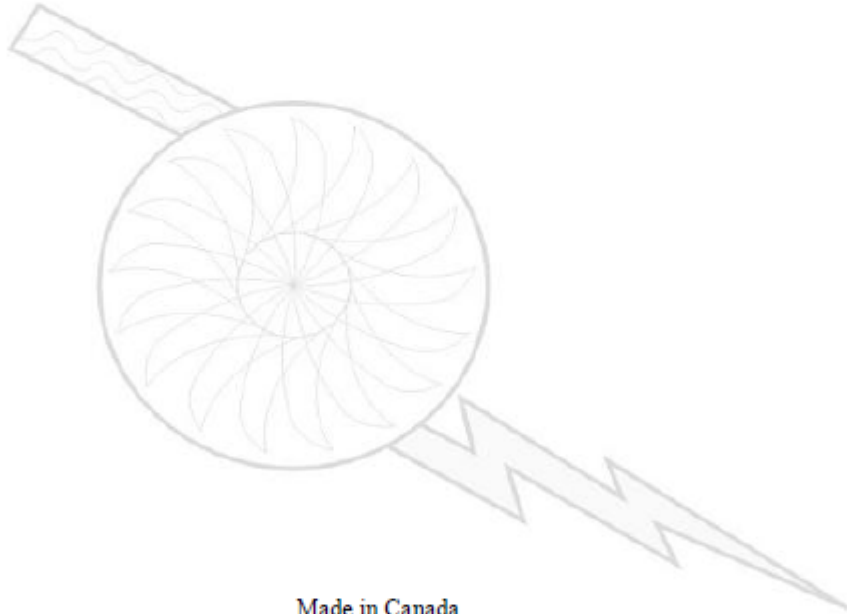




## Personal Hydropower

### Product Information

Model # \_\_\_\_\_ Serial # \_\_\_\_\_  
Date Purchased \_\_\_\_\_  
Purchased From \_\_\_\_\_  
Name: \_\_\_\_\_  
Address: \_\_\_\_\_  
City: \_\_\_\_\_  
State/Prov: \_\_\_\_\_ Zip/Postal Code: \_\_\_\_\_  
Telephone: \_\_\_\_\_  
Email: \_\_\_\_\_  
Comments: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Made in Canada

by

**Energy Systems and Design Ltd.**  
PO Box 4557  
Sussex NB  
Canada E4E 5L7

Phone +1 (506) 433-3151  
Fax +1 (506) 433-6151  
Email: [support@microhydropower.com](mailto:support@microhydropower.com)  
Website: [www.microhydropower.com](http://www.microhydropower.com)

## ANEXO B. TABLAS DE RESULTADOS PARA LA TURBINA 2 NZ

# de Pruebas	RPM	Voltaje [V]	Tiempo [sg]	Q caudal (Lt/min)	Cabeza (m)	Potencia Hidráulica(W)
1	204,4	12,2	27,98			
2	190,3	11,5	17,53			
3	202,3	12,3	25,27	247,831	2,82	114,15
4	196,2	12,1	26,16			
5	196,3	11,9	24,11			
<b>Promedio</b>	<b>197,9</b>	<b>12</b>	<b>24,21</b>			
1	399,8	24,6	18,81			
2	398	24,7	17,58			
3	393,8	24,4	17,5	334,821	5,89	332,108
4	395,8	24,4	17,7			
5	396,4	24,6	18,01			
<b>Promedio</b>	<b>396,76</b>	<b>24,54</b>	<b>17,92</b>			
1	773,6	48,2	12,81			
2	783,7	48,7	13,64			
3	772,8	47,9	14,31	434,656	7,95	564,4
4	780,3	48,2	14,44			
5	779,2	48,4	13,82			
<b>Promedio</b>	<b>777,92</b>	<b>48,28</b>	<b>13,804</b>			

Pruebas sin carga

Pruebas con carga directa

# de Pruebas	RPM	Voltaje [V]	Tiempo [sg]	Amperaje [Am]
1	175	3.8	27	1.6
2	174	3.5	28	1.6
3	173	3.6	27	1.5
4	174	3.7	26	1.4
5	175	3.8	28	1.6
Promedio	175	3.8	27	1.6

1	190	3.8	18.32	3
2	192	3.8	18.40	2.9
3	192	3.7	17.32	2.9
4	190	3.6	15	3
5	190	3.8	18.20	3
Promedio	190	3.8	18	3

1	210	10.8	30.81	0,05
2	208	10.7	29.02	0,05
3	209	10.9	31.04	0,05
4	209	10.8	30.32	0,05
5	211	10.8	29.88	0,05
Promedio	210	10.8	30.81	0,05

1	220	11.1	18.23	0,05
2	224	11,2	18.01	0,05
3	219	11,4	19.55	0,05
4	221	11,8	20.14	0,05
5	215	11,2	18.13	0,05
Promedio	220	11.1	18.23	0,05

Pruebas con carga directa Y BATERIA

## ANEXO C. CARACTERISTICA DE LA BOMBA CARACOL C-210

### BOMBAS BARNES LINEA CARACOL

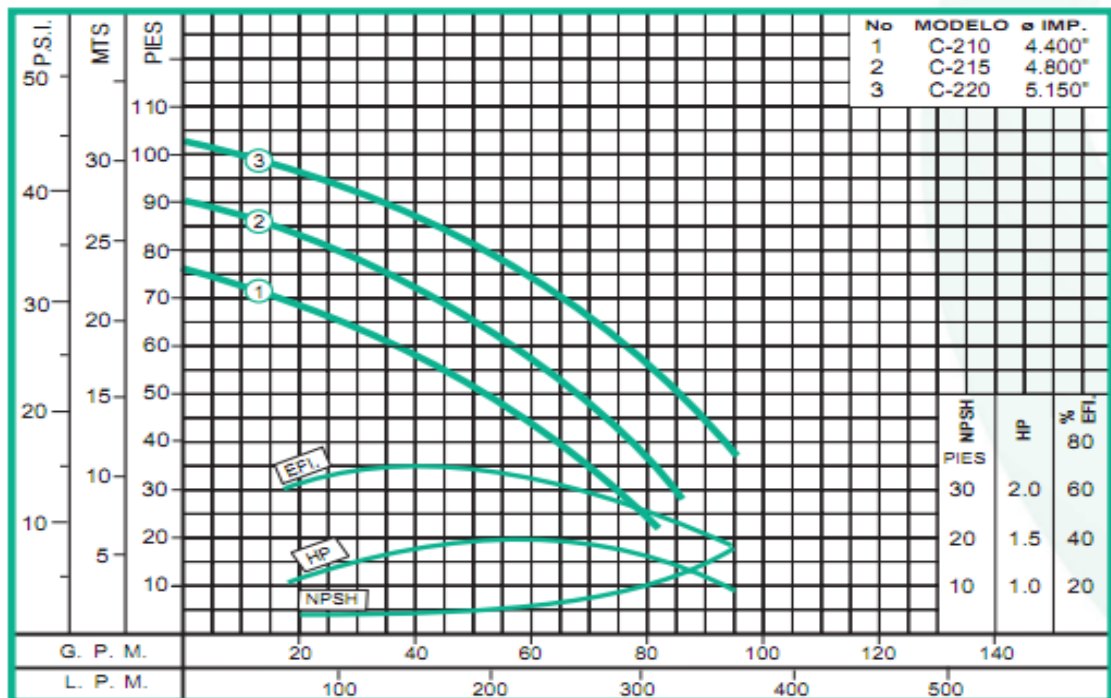
Características de la bomba	
Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Tipo de impulsor	Cerrado en plástico
Cantidad de impulsores	1
Tipo de cierre	Sello mecánico 5/8" tipo 6
Temperatura Max. Líquido	158° F (70 ° C) Continua

Modelo	Ref.	Potencia (HP)	Fasea	Amperaje		H max. (mca) *	Q max. (GPM) **	Succión	Descarga
				115 V	230 V				
C-210	1A0083	1,0	Monofásico	16,3	8,15	23	81	1 1/2"	1 1/2"
C-215	1A0084	1,5	Monofásico	22,0	11,0	27	85	1 1/2"	1 1/2"
C-220	1A0085	2,0	Monofásico	25,0	12,5	31	95	1 1/2"	1 1/2"

\* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada

\*\* El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta

Curva de rendimiento

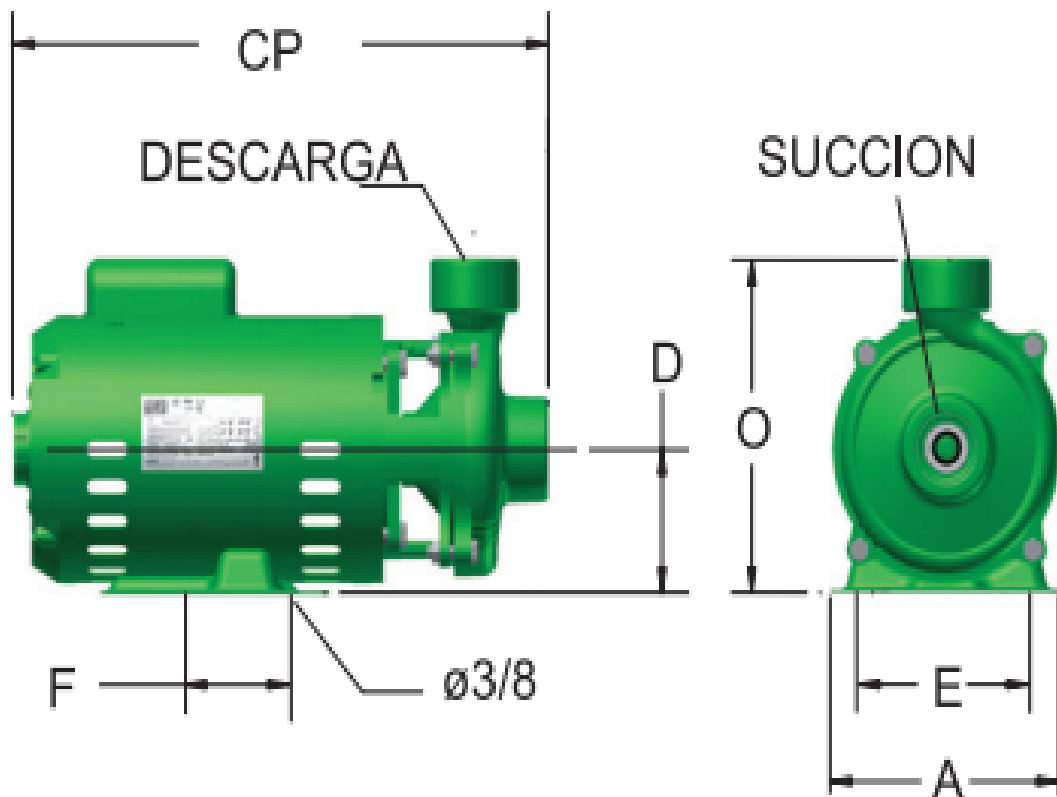


### Características del Motor

Velocidad	3.450 RPM (nominal)
Diseño	Nema 56J
Aislamiento	Clase B
Factor de servicio	1.15
Frecuencia	60 Hz

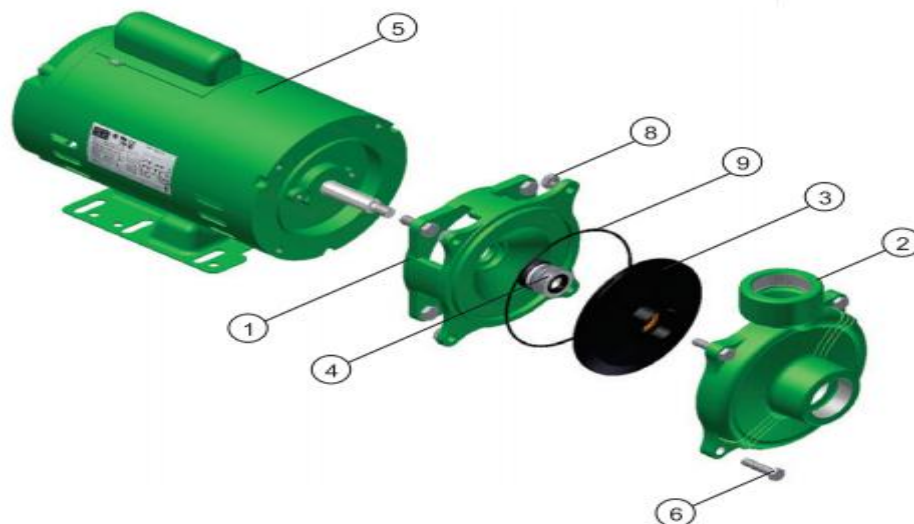
### Dimensiones generales (mm)

Modelo	CP	O	D	F	A	E	Peso
C-210	358	206	89	76,2	166	123,8	16 kg
C-215	379	206	89	76,2	166	123,8	18,5 kg
C-220	387	206	89	76,2	166	123,8	20 kg



Materiales	
Cuerpo	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Impulsor	Noryl
Sello mecánico	Carbón / Cerámica / Buna-N
Acople intermedio	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Empaques	Buna Nitrilo

Lista de partes					
No.	Descripción	Ref.	Cantidad		
			C-210	C-215	C-220
1	ACOPLE FUND FE. EH	19589	1	1	1
2	CUERPO EC 1-1/2X1-1/2	31438	1	1	1
3	IMPULSOR PLASTICO EC-210 ø4.40	23440	1		
3	IMP PLAST EC-215 4.800"	23480		1	
3	IMP PLAST EC-220 ø5.150	23520			1
4	SELLO MEC. 5/8" T08 0810SBP4RS	00049	1	1	1
5	MOTOR 1.0HP 3500RPM 1F 58J WEG	25291	1		
5	MOTOR 1.5HP 3500RPM 1F 58J WEG	25292		1	
5	MOTOR 2.0HP 3500RPM 1F 58J WEG	25293			1
6	TORNILLO 5/16x1-1/4NC.GR.5 ZIN	02220	4	4	4
7	TORNILLO 3/8 X 3/4 NC.GR.2	02195	4	4	4
8	TUERCA 5/16 NC.GR.2 IRIZADA	02501	4	4	4
9	ANILLO O EH/EC #159	17732	1	1	1



## ANEXO D. CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS PEDROLLO PK 60

### CAMPO DE LAS PRESTACIONES

Caudal hasta 90 l/min (5.4 m<sup>3</sup>/h)  
 Altura manométrica hasta 100 m

### LIMITES DE UTILIZO

Altura de aspiración manométrica hasta 8 m  
 Temperatura del fluido hasta + 60°C  
 Máxima temperatura ambiente hasta + 40°C

### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD:

EN 60 335-1	EN 60034-1
IEC 335-1	IEC 34-1
CEI 61-150	CEI 2-3

### EMPLEOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia que no contenga partículas abrasivas y/o líquidos químicamente agresivos para los materiales que constituyen la bomba.

GRACIAS A SU FIABILIDAD, SENCILLEZ DE EMPLEO Y ECONOMIA, SON PARTICULARMENTE APTAS PARA EL EMPLEO DOMESTICO Y ESPECIALMENTE PARA LA DISTRIBUCION AUTOMATICA DEL AGUA ACOPLADAS A PEQUEÑOS EQUIPOS HIDRONEUMATICOS, PARA RIEGOS DE HUERTAS Y JARDINES, PARA INCREMENTAR LA INSUFICIENTE PRESION DE LA RED DE ACUEDUCTOS.

La instalación se debe efectuar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

### GARANTIA: 2 AÑOS

(según nuestras condiciones generales de venta).

### CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION

- **CUERPO BOMBA:**  
en hierro fundido, con bocas de aspiración e impulsión roscadas gas UNI ISO 228/1.
- **SOPORTE MOTOR patente n° 1289150:**  
en aluminio con laminilla de ajuste frontal en latón que reduce las dificultades de arranque causadas por el bloqueo del rodete tras largos períodos de inactividad.
- **RODETE:**  
en latón, del tipo aspas periféricas radiales, flotante respecto al eje.
- **EJE MOTOR:**  
en acero inoxidable AISI 430F (AISI 416 hasta 0.50 kW).
- **SELLO MECANICO:**  
cerámica y grafito.
- **MOTOR ELECTRICO:**  
las bombas están acopladas directamente a un motor eléctrico PEDROLLO expresamente dimensionado, de tipo asincrónico con elevado rendimiento, silencioso, cerrado, con ventilación externa, de forma constructiva "IM B3", apto para servicio continuo. AISLAMIENTO clase F (B hasta a 0.75 kW).  
El protector térmico (salvavomotor) está incorporado en los motores monofásicos.  
Los motores trifásicos deben estar protegidos con un salvavomotor exterior adecuado, por lo que se prevé una conexión conforme a las normas vigentes.
- **PROTECCION:** IP 44.
- **MODELO REGISTRADO n° 72753**



### DATOS DE FUNCIONAMIENTO A n= 2900 1/min

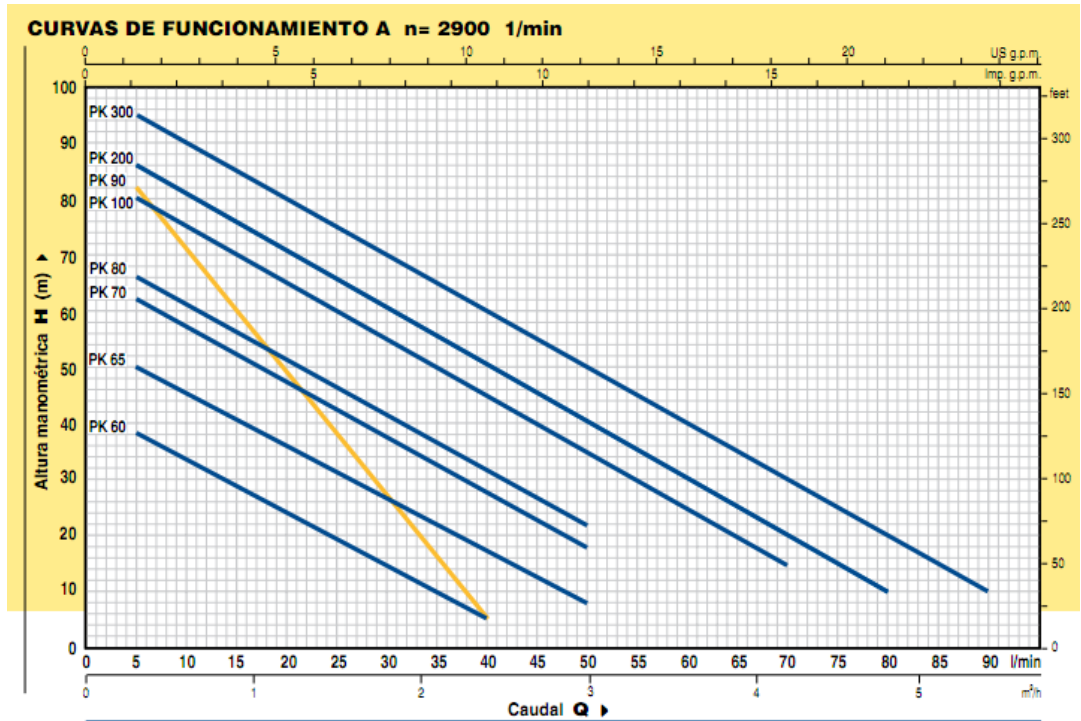
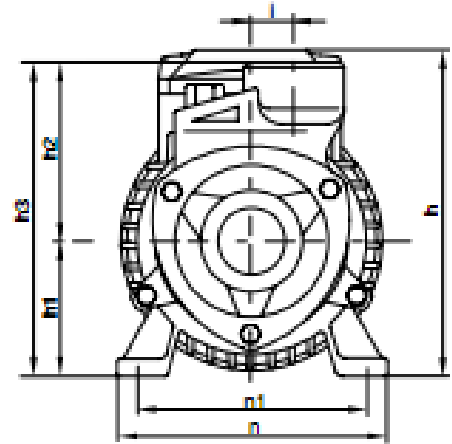
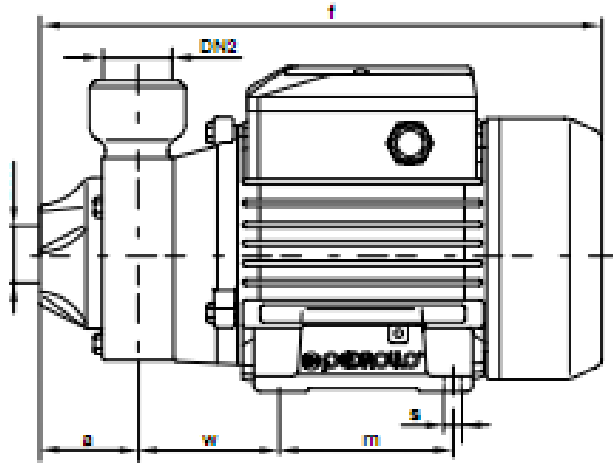
MODELO BOMBA		POTENCIA		Q m <sup>3</sup> /h l/min	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	
PKm 60 <sup>3</sup>	PK 60 <sup>3</sup>	0.37	0.50	H (m)	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5						
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8					
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18					
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22					
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5						
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15			
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10		
---	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10	

Q = CAUDAL H = ALTURA MANOMETRICA TOTAL

Tolerancia de las curvas de prestaciones según ISO 2548.


### TABLA DE DIMENSIONES

MODELO BOMBA		DIMENSIONES mm													
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s
PKm 60 <sup>a</sup>	PK 60 <sup>a</sup>	1"	1"	42	243	152	63	75	138	20	80	120	100	55	7
PKm 65	---	1"	1"	48	258	152	63	80	143	20	80	120	100	55	7
---	PK 65	1"	1"	48	250	152	63	80	143	20	80	120	100	55	7
PKm 70-80	PK 70-80	1"	1"	55	285	179	71	85	156	20	90	138	112	62	7
PKm 90	PK 90	3/4"	3/4"	58	288	179	71	95	166	20	90	138	112	62	7
PKm 100	PK 100	1"	1"	55	322	203	80	94	174	20	100	158	125	85	9
PKm 200	---	1"	1"	55	342	203	80	94	174	20	100	158	125	95	9
---	PK 200	1"	1"	55	322	203	80	94	174	20	100	158	125	85	9
---	PK 300	1"	1"	55	342	203	80	94	174	20	100	158	125	95	9





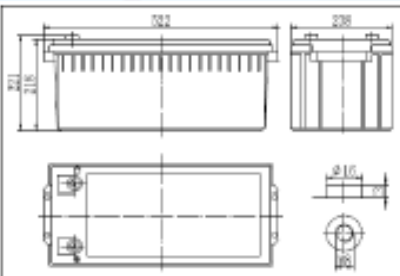
# ANEXO E. BATERIA MT122050 (12V205 AH)



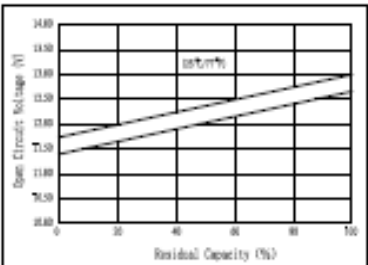
**MT122050(12V205Ah)**

---

### Dimensions



### The Relationship for Open Circuit Voltage and Residual Capacity (25°C)

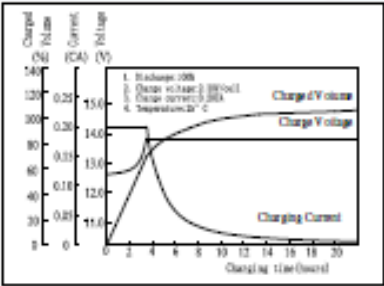


---

### Specifications

Nominal Voltage		12 V
Capacity(10HR, 25°C)		205 Ah
Dimension	Length	522mm (20.55inch)
	Width	238mm (9.37inch)
	Height	218mm (8.58inch)
	Total Height	221mm (8.70inch)
Approx. Weight		65kg (143lbs)
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx. 3.5mΩ
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C±3°C (77°F±5°F)
Operating temperature range		-15°C~50°C (5°F~122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.50 to 13.80V
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V
Maximum charging current		60A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		1500A(5 sec.)

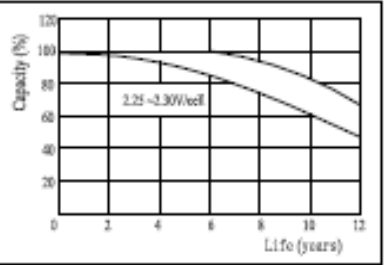
### Charging Characteristics(25°C)



---

- ⌚ ACM and VRLA technology;
- ⌚ Recognized by UL & CE;
- ⌚ ABS container. Orange, Blue or Black Color.

### Floating Life Characteristics (25°C)



Note: Floating life at 20°C designed for 10 years.

---

### Constant Current Discharge Characteristics (A, 25°C)

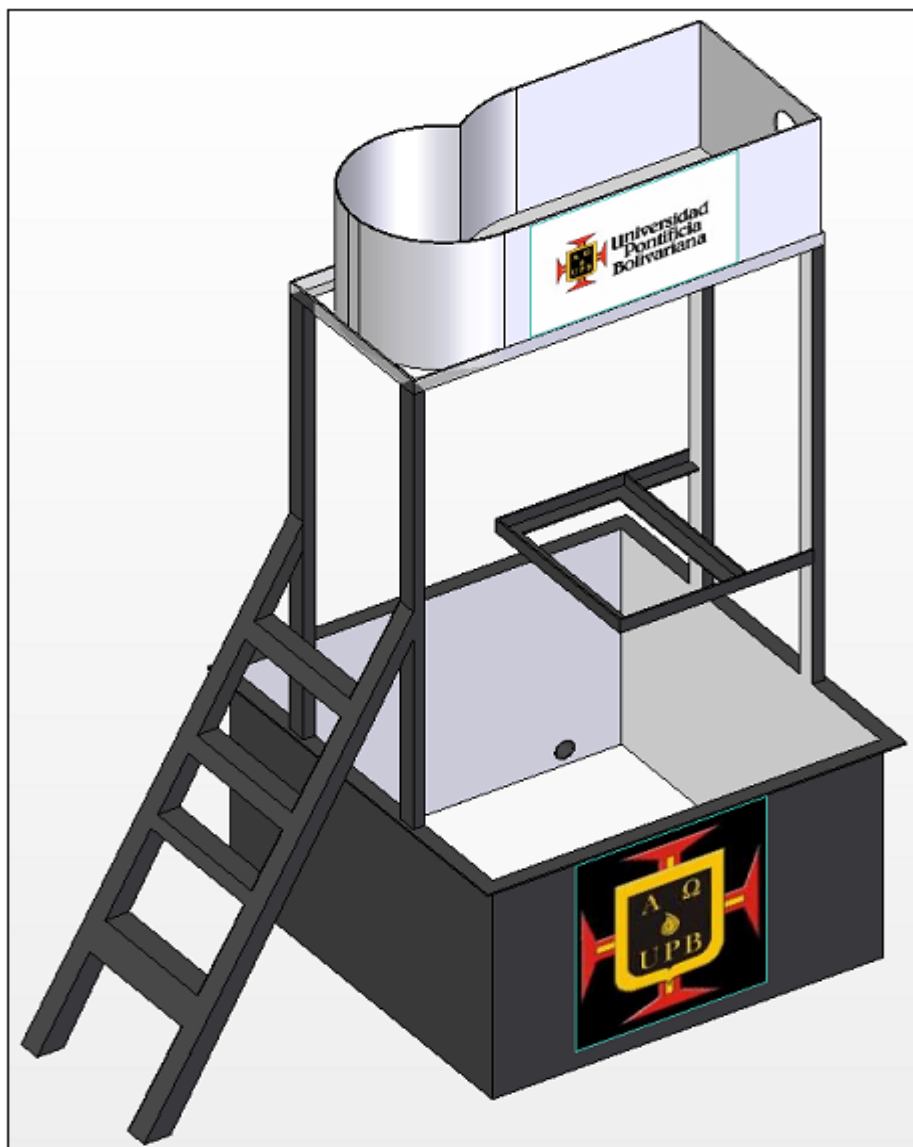
I·V/TIME:	5min	10min	15min	30min	60min	3h	5h	10h	20h
9.6V	651	430	363	209	135	55.0	38.2	20.3	10.4
10.2V	615	409	350	202	127	53.5	37.0	20.1	10.3
10.8V	575	380	331	190	119	52.4	36.3	20.0	10.2

### Constant Power Discharge Characteristics (Watt, 25°C)

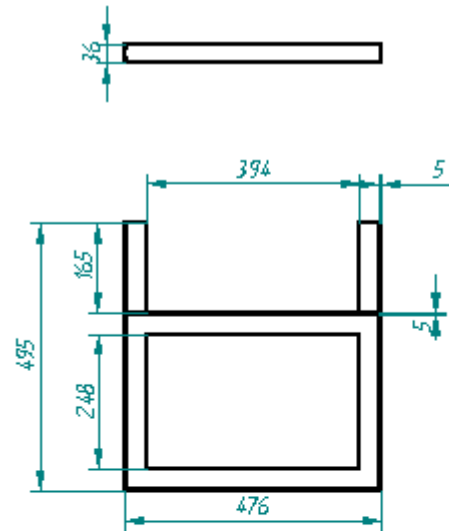
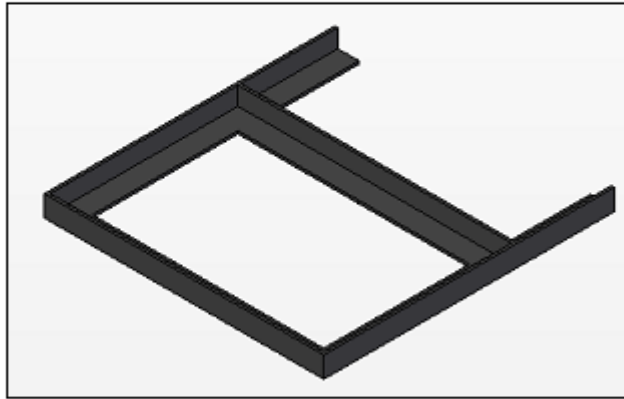
I·V/TIME:	5min	10min	15min	30min	60min	3h	5h	10h	20h
9.6V	6720	4550	4010	2319	1482	639	444	242	124
10.2V	6480	4400	3852	2227	1423	629	437	240	123
10.8V	6012	4123	3651	2136	1352	617	429	240	122

[WWW.MTEK-SA.COM](http://WWW.MTEK-SA.COM) 2009

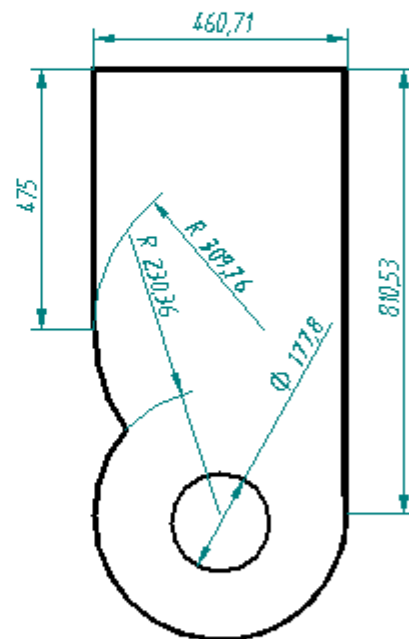
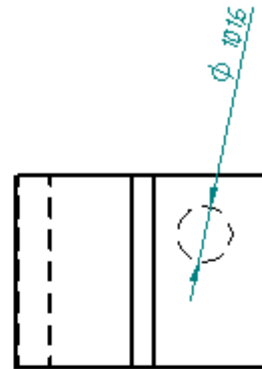
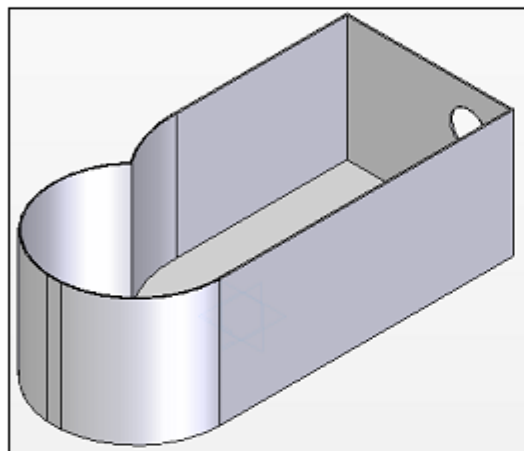
## ANEXO F. PLANOS DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO



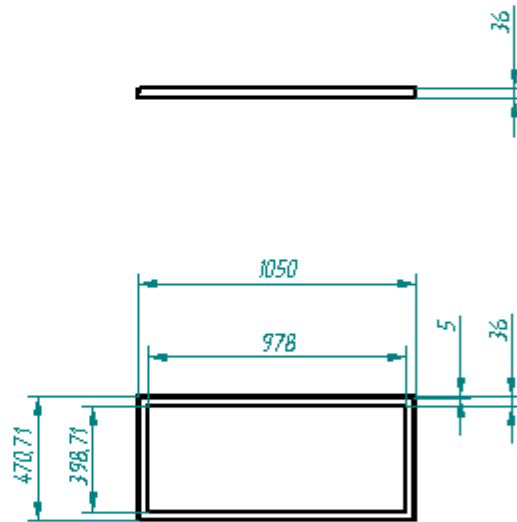
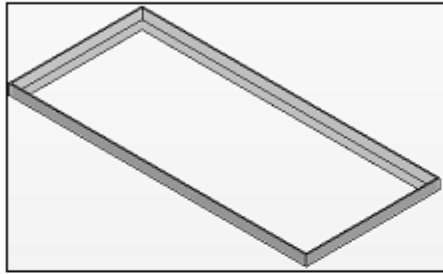
	<i>Nombre</i>	<i>Fecha</i>		
<i>Diseño</i>	<i>Rosario González C.</i>	<i>27 Enero 2012</i>	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingeniería Facultad de Ingeniería Mecánica
<i>Director</i>	<i>Emil Hernández A.</i>			
<i>Nº de</i>	<i>150</i>			
<i>Escala</i> 1:20	<i>Banco de pruebas para la turbina IH 1000 y 2Nc</i>			<i>Construido de un banco de pruebas para una turbina hidráulica tipo IH 1000</i>
<i>Modelo en aluminio</i>				



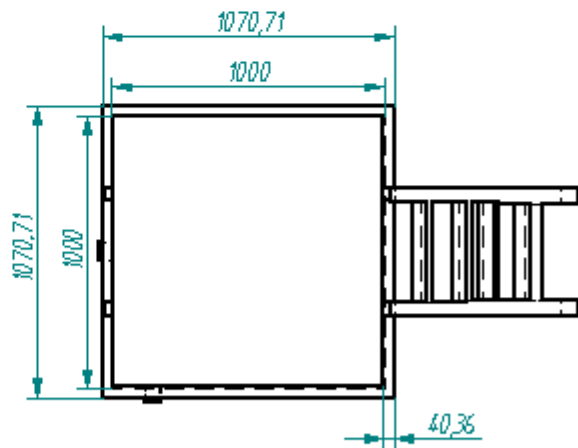
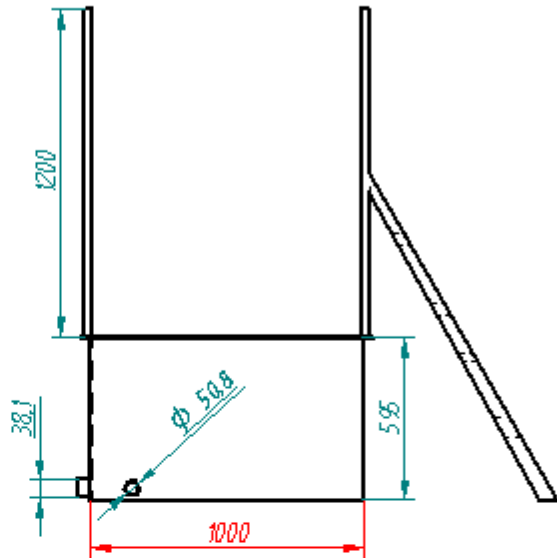
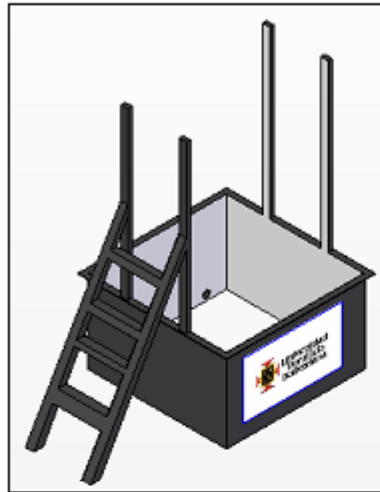
Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingeniería Facultad de Ingeniería Mecánica		
Elaboró	27 Enero 2002				
Diseñó					
Nivel	130				
Escala 1:10 Medidas en milímetros	Según para la tabla 2 A.		Construcción de un banco de pruebas para una turbina hidroeléctrica tipo Pelton H 1000		




	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenieros
Alumno	Rivera Gonzalez, L.	27 Enero 2012		Facultad de Ingeniería Mecánica
Director	Emil Hernandez, A.			
Nombre	150			
Escuela H0 Hólder de máquinas	Cuent para la tarjeta LN 1000		Construcción de un banco de pruebas para una tarjeta híbrida LN 1000	




	<i>Nombre</i>	<i>Fecha</i>	 Universidad Pontificia Bolívariana	<i>Escuela de Ingeniería</i>
<i>Dibujante</i>	<i>Rafael González C.</i>	<i>27 Enero 2002</i>		<i>Facultad de Ingeniería Mecánica</i>
<i>Director</i>	<i>Enil Norales A.</i>			
<i>Número</i>	<i>150</i>			
<i>Escala</i> <i>1:20</i> <i>Medidas</i> <i>en milímetros</i>	<i>Sejerto para el canal de la turbina BH 1000</i>			<i>Construcción de un banco de pruebas para una turbina hidroeléctrica tipo bolica BH 1000</i>



	Nombre	Fecha	 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b>	Escuela de Ingenierías
Bibliografía	Rivero Gonzalez C. E.	27 Enero 2002		<b>Facultad de Ingeniería Mecánica</b>
Director	Emil Hernández A.			
Número	158			
Escuela 120 Módulo de máquinas	<i>Trabajo de reestructuración, reparar y acelarar.</i>			<i>Entregada de su banco de pruebas para ser testeado hidráulico 1 kg pulco IN 1000</i>

## ANEXO G. GUIA DE LABORATORIO

<b>LABORATORIO DE MAQUINAS HIDRAULICAS</b>		 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b>
<b>PRACTICA N° 1</b>	<b>ENSAYO A UNA TURBINA HIDRAULICA TIPO TURGO DE 1 Kw</b>	<b>Realizó: RAMÓN GONZALÉZ CANO</b>
		<b>Revisó: EMIL HERNANDEZ ARROYO</b>

### PRACTICA DE LABORATORIO DEL BANCO DE PRUEBAS DE UNA TURBINA HIDRAULICA TIPO TURGO

#### INTRODUCCION

En la actualidad los bancos de TURBINAS HIDRAULICAS son utilizados para el desarrollo, caracterización y pruebas de las turbinas alternativas. Esta instalación, permite que la turbina funcione a diferentes regímenes y al mismo tiempo ofrece la posibilidad de medir algunas variables físicas asociadas con el funcionamiento de la misma.

#### OBJETIVOS

1. Determinar a distintas aperturas de las válvulas →caudal, RPM, voltaje y corriente. Pero estando la turbina conectada en las siguientes tres condiciones:

- Carga directa.
- Carga y batería.
- Sin carga o en vacio.

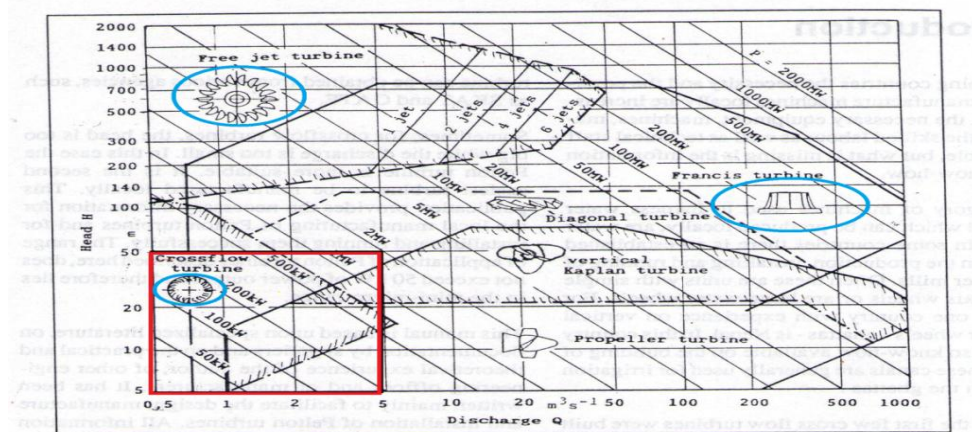
2. Determinar la potencia y eficiencia de la turbina a partir de las mediciones y condiciones anteriores.
3. Construir graficas para cada una de las tres condiciones y mediciones.

## MARCO TEÓRICO

### TURBINA TURGO ó FLUJO CRUZADO



La turbina Turgo se trata de una máquina de acción con similitud física y de funcionamiento a la turbina Peltón, se diferencian por el ángulo de incidencia del chorro del agua. **El chorro de la Peltón es tangencial y en la Turgo es lateral.** El chorro del agua incide en el inyector y en el rotor lateralmente, formando un ángulo de 20 grados. El agua escurre por las hélices saliendo libremente al otro lado para el canal de fuga. **La Turgo atiende caídas entre 5 a 10 m y caudales de 0,01 a 5 m<sup>3</sup>/s, con potencias de 1W a 100 KW.**





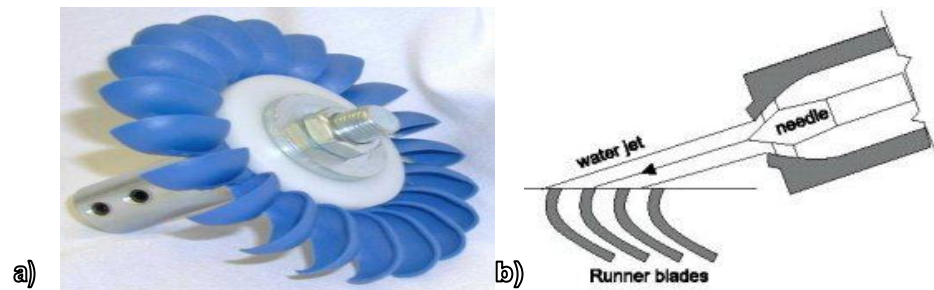
Rango funcional de las diferentes turbinas hidráulicas, de color rojo la turbina tipo Turgo o flujo cruzado con caudal y cabeza menor a la Francis y Peltón. [3].

Debido a sus particularidades, la Turgo compite con la Peltón Multichorros hasta la Francis Normal. Comparada con la Peltón Multichorros presenta las siguientes ventajas:

- Debido a la posición del chorro, la turbina Turgo puede asumir diámetros hasta la mitad de la rueda Peltón para las mismas condiciones.
- Como la Peltón, la Turgo puede tener hasta tres inyectores.
- Debido a los mayores caudales admisibles en los inyectores de la rueda Turgo, se presenta una disminución del número de inyectores, y consecuentemente, hay una simplificación en el sistema de control de velocidad.
- Con la disminución del diámetro hay un aumento en la rotación, por lo tanto, con caídas menores, es posible obtener rotaciones adecuadas al generador.

## **FUNCIONAMIENTO DE UNA TURBINA TURGO**

El agua no cambia de presión. La energía potencial del agua se convierte en energía cinética en el inyector. El agua sale con muy poca energía. Pueden tener un rendimiento por encima del 90%. El rodete se parece al de una Peltón partido por la mitad. Para la misma potencia, tiene la mitad del diámetro y dobla la velocidad específica. Puede manejar un mayor flujo de agua que el Peltón porque el agua que sale no interfiere con las paletas.



Imágenes de una turbina Turgo → a) Alabes y eje, b) Boquilla y ángulo de inclinación del inyector.

Las turbinas Turgo a veces se puede conectar directamente a un generador en lugar de tener una cara de velocidad mayor de transmisión. La Turgo opera en un rango donde la cabeza de la Peltón y Francis se superponen. Aunque hay muchas instalaciones Turgo grandes, son especialmente populares también para aplicaciones de micro generación de potencia.

## PROCEDIMIENTO

Para realizar las pruebas es necesario contar con los siguientes implementos de laboratorio y medición:

- Multímetro (Se encuentra en el banco)
- Cronómetro (Se encuentra en el banco)
- Tacómetro digital

Seguido se deben tener en cuenta las tres condiciones en las que se evaluara la turbina para llenar la tabla (A).

**Nota:** Todas las pruebas deben realizarse a 3 aperturas de las válvulas para variar el caudal y tres toma de datos por abertura para que su promedio este en el orden del 90% de confiabilidad de los datos. Para las condiciones **2 y 3** trate de encender el mayor número de bombillos posible, pero antes de cada prueba recuerde apagarlos.

**Condición 1 → PRUEBAS SIN CARGA O EN VACIO:**

*Para esta primera prueba se tomaran los valores de tiempo y volumen (Tanque N°2 -10 cm aproximadamente de llenado) para determinar el caudal aforando, el voltaje y las RPM.*

En esta prueba **no** se usara la batería ni el tablero de carga, por consiguiente el interruptor ubicado en la caja de control no debe estar en funcionamiento. *Ver grafico del sistema eléctrico del banco para identificar como conectar los instrumentos.*

**Condición 2 → PRUEBAS CON CARGA DIRECTA (BOMBILLAS DE 12 VDC-15 W):**

*Para esta segunda prueba se tomaran los valores de tiempo y volumen (Tanque N°2 -10 cm aproximadamente de llenado) para determinar el caudal aforando, el voltaje, **corriente (Tomarla del tablero de carga)** y las RPM.*

En esta prueba ***no debe conectarse aun la batería*** pero ***si*** se usara el tablero de carga por consiguiente se encenderá el interruptor de la turbina ubicado en la caja de control, este interruptor a su vez encenderá el controlador de voltaje (24 – 12 VDC y 25 Am).

**Importante:** Abrir lentamente las válvulas hasta las posiciones determinadas por su monitor ó profesor pero sin exceder los 24 voltios para lo cual está diseñado el controlador de voltaje, si no se ha logrado abrir la válvula hasta donde se es necesario, encienda una bombilla del tablero de carga para evitar que el voltaje suba rápidamente.

**Condición 3 → PRUEBAS CON CARGA Y BATERIA:**

Para esta tercera prueba se tomaran los valores como se hizo en la condición 2. Se deberá encender el interruptor de la turbina ubicado en la caja de control. **Para esta prueba si se conectara la batería a la salida del regulador de voltaje.**

## ACTIVIDADES

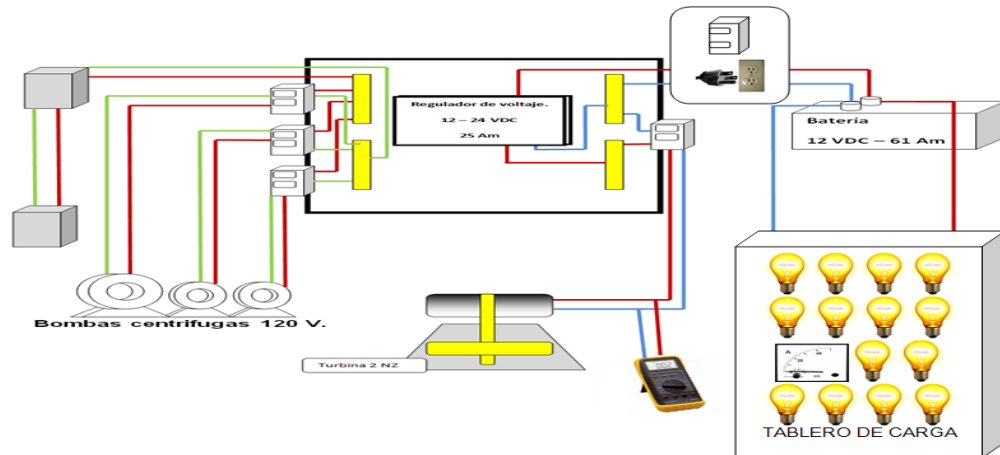
a). Toma de datos → Presión =

PRUEBAS SIN CARGA O EN VACIO					
Posición de la válvula	RPM	Voltaje (V)	Tiempo (sg)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Amperios (AMP)
<b>Promedio</b>					
<b>Promedio</b>					
<b>Promedio</b>					
PRUEBAS CON CARGA DIRECTA (BOMBILLAS DE 12 VDC-15 W)					
<b>Promedio</b>					
<b>Promedio</b>					
<b>Promedio</b>					
PRUEBAS CON CARGA Y BATERIA					
<b>Promedio</b>					
<b>Promedio</b>					
<b>Promedio</b>					

b) Realizar graficas y análisis para cada una y determinar el fenómeno involucrado para la diferencia de eficiencias en cada prueba. En cada grafica mostrar los valores para las tres condiciones (carga y batería, carga directa, sin carga ó vacío).

- Voltaje vs RPM
- Caudal vs RPM
- Corriente vs RPM
- Potencia eléctrica vs RPM
- Potencia hidráulica vs RPM
- Eficiencia vs RPM

## PLANO ELÉCTRICO DEL BANCO DE PRUEBAS



Características de los implementos mostrados en la figura:

— Línea Positiva, Cable calibre 10 a 120 VAC.

— Línea negativa, Cable calibre 10 a 120 VAC.



Interruptor on/off completamente cerrado.

— Línea Negativa, Cable calibre 10 a 12 - 48 VDC.

— Línea Positiva, Cable calibre 10 a 12- 48 VDC.



Bombillas 12 VDC – 15 W.

Clavijas en cobre.

Bombas 120 V - 30 Am

### BIBLIOGRAFÍA.

The Mini Hydro Power Group MHPG. Micro Peltón Turbine. Volumen 9. Página 2.