

ENSAYO Y ESTUDIO DE UNA TURBINA PELTON

JORGE ELIECER ALARCON RAMIREZ

JAIME ARLEY SANDOVAL DELGADO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BUCARAMANGA

2008

ENSAYO Y ESTUDIO DE UNA TURBINA PELTON

JORGE ELIECER ALARCON RAMIREZ

JAIME ARLEY SANDOVAL DELGADO

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero mecánico

Director

EMIL HERNANDES ARROYO

Ingeniero Mecánico.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BUCARAMANGA

2008

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bucaramanga 21 de Agosto de 2008**

En primer lugar doy gracias a Dios, a la SANTISIMA VIRGEN, por permitirme terminar mis estudios. A mi madre Cenith Ramírez Gutiérrez, por apoyarme incondicionalmente durante el transcurso de mi carrera, permitiéndome ser un profesional con buenos principios morales y sociales. A mi tío Luís Felipe Ramírez, porque en el transcurso de mi carrera siempre ha estado conmigo ofreciéndome lo mejor de si para salir adelante.

Jorge Eliécer Alarcón Ramírez

A mis padres Ana Dolores Delgado jerez  
y Jaime Sandoval Barajas con todo mi cariño, a  
mis hermanos a Leidy Natalia Sierra y a cada  
de los profesores que tuvieron que ver con mi logro.

Jaime Arley Sandoval Delgado

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que colaboraron con este proyecto.

A la universidad pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y al departamento de investigaciones

Emil Hernández Arroyo, Ingeniero Mecánico y director del proyecto, quien por su capacidad de liderazgo, orientación y seguimiento continuo, nos ha permitido culminar con éxito este proceso.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	21
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	22
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
2.1 JUSTIFICACION.....	22
3. OBJETIVOS.....	23
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	23
4. MARCO TEORICO.....	24
4.1 TURBOMAQUINAS.....	24
4.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS.....	24
4.1.1.1 TURBOMAQUINAS MOTRICES.....	24
4.1.1.2 TURBOMAQUINAS GENERATRICES.....	24
4.1.1.3 TURBOMAQUINAS REVERSIBLES.....	25
4.1.1.4 GRUPOS DE TRANSMISION O ACOPLAMIENTO.....	25
4.1.2 TURBINA HIDRAULICA.....	25
4.1.2.1 TURBINA DE REACCIÓN.....	25
4.1.2.2 TURBINADEACCIÓN.....	25
4.1.3 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS.....	26
4.1.3.1 AXIALES.....	26
4.1.3.2 RADIALES.....	27

4.1.3.3 MIXTAS.....	27
4.1.3.4 TANGENCIALES.....	27
4.2 PARTES DE UNA TURBINA PELTON.....	28
4.2.1 DISTRIBUIDOR.....	28
4.2.2 RODETE.....	28
4.2.3 CARCAZA.....	29
4.2.4 CUCHARAS.....	29
4.2.5 TABLERO DE CARGA.....	30
4.3 GENERADORES.....	31
4.3.1 GENERADORES SINCRONOS.....	31
4.3.1.1 ROTOR.....	32
4.3.1.2 TIPOS CONSTRUCTIVOS.....	32
4.3.1.2.1 EXCITACIÓN INDEPENDIENTE.....	32
4.3.1.2.2 EXCITATRIZ PRINCIPAL Y EXCITATRIZ PILOTO.....	32
4.3.1.2.3 ELECTRÓNICA DE POTENCIA.....	32
4.3.2 GENERADORES ASÍNCRONOS.....	33
4.4 FACTORES A TENER EN CUENTA EN UNA TURBINA.....	34
4.4.1 GOLPE DE ARIETE.....	34
4.4.2 CAVITACION.....	34
4.4.3 TRIANGULO DE VELOCIDADES.....	35
4.4.3.1 ALTURA NETA.....	35
4.4.3.2 POTENCIA TEORICA.....	37
4.4.3.3 EFICIENCIA.....	38



4.5 CENTRAL HIDROELECTRICA.....	38
4.5.1 PLANTAS CONVENCIONALES.....	39
4.5.2 PLANTAS DE ALMACENAJE Y BOMBEO.....	39
4.5.2.1 CLASIFICACION DE LAS CENTRALES HIDRAULICAS.....	40
5. DISEÑO METODOLOGICO.....	41
5.1 ETAPA DE DOCUMNTACION BIBLIOGRAFICA.....	41
5.1.1 REVISION DE CONCEPTOS BASICOS.....	41
5.1.2 ESTUDIO DE DISEÑOS DE TURBINAS PELTON.....	41
5.2 PLANEACION.....	41
5.2.2 IDENTIFICACION DE FUENTES DE INFORMACION.....	42
5.3 EJECUCION.....	42
5.4 ANALISIS.....	42
5.5 INFORME FINAL.....	42
6. ESQUEMA TEMATICO.....	43
6.1 PRUEBA UNO.....	43
6.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
6.2 PRUEBA DOS.....	48
6.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
6.3 PRUEBA TRES.....	54
6.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
6.4 PRUEBA CUATRO.....	60
6.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
6.5 PRUEBA CINCO.....	65

6.5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
6.6 PRUEBAS DE EFICIENCIA.....	70
6.6.1 ANALISIS DE RESULTADOS PRUEBAS DE EFICIENCIA.....	98
6.7 CURVA CARACTERISTICAS DE UNA TURBINA PELTON.....	99
6.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS (COMPARACIO TURBINA PELTON).....	106
7. PERSONAS QUE PARTICIPARON EN EL PROYECTO.....	107
8. CONCLUSIONES.....	108
9. RECOMENDACIONES.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	111
ANEXOS.....	112

## TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las centrales hidráulicas.....	40
Tabla 2. Clasificación de las centrales hidráulicas Según su caída.....	40
Tabla 3. Medición de Tiempo y Caudal.....	43
Tabla 4. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades.....	44
Tabla 5. Datos del comportamiento de la turbina sin carga.....	44
Tabla 6. Medición de Tiempo y Caudal.....	48
Tabla 7. Datos obtenidos del tablero de carga.....	48
Tabla 8. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades.....	49
Tabla 9. Datos del comportamiento de la turbina para una carga de 175 W.....	49
Tabla 10. (Medición de Tiempo y Caudal).....	54
Tabla 11. Datos obtenidos del Tablero de Carga.....	54
Tabla 12. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades.....	55
Tabla 13. Datos del comportamiento de la turbina para una carga de 375 W.....	55
Tabla 14. (Medición de Tiempo y Caudal).....	60
Tabla 15. (Datos obtenidos del tablero de carga).....	60

Tabla 16. Datos del comportamiento de la turbina.....	61
Tabla 17. (Medición de Tiempo y Caudal).....	64
Tabla 18. (Datos obtenidos del tablero de Carga).....	64
Tabla 19. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades.....	65
Tabla 20. Datos obtenidos del comportamiento de la turbina.....	65
Tabla 21. (Medición de tiempo Promedio).....	70
Tabla 22 (Medición de Caudal y Velocidad).....	70
Tabla 23. (Potencia Eléctrica).....	71
Tabla 24. (Eficiencia para una presión de 15 Psi).....	72
Tabla 25. (Medición de tiempo Promedio).....	74
Tabla 26. (Medición de Caudal y Velocidad).....	74
Tabla 27. (Potencia Eléctrica para una presión 20 Psi).....	75
Tabla 28. (Eficiencia para una presión 20 Psi).....	76
Tabla 29. (Medición de tiempo Promedio).....	78
Tabla 30. (Medición de Caudal y Velocidad).....	78
Tabla 31. (Potencia Eléctrica para una presión 22 Psi).....	79
Tabla 32. (Eficiencia para una presión 22 Psi).....	80

Tabla 33. (Medición de tiempo Promedio).....	82
Tabla 34. (Medición de Caudal y Velocidad).....	82
Tabla 35. (Potencia Eléctrica para una presión 26 Psi).....	83
Tabla 36. (Eficiencia para una presión 26 Psi).....	84
Tabla 37. (Medición de tiempo Promedio).....	86
Tabla 38. (Medición de Caudal y Velocidad).....	86
Tabla 39. (Potencia Eléctrica para una presión 30 Psi).....	87
Tabla 40. (Eficiencia para una presión 30 Psi).....	88
Tabla 41. (Medición de tiempo Promedio).....	90
Tabla 42. (Medición de Caudal y Velocidad).....	90
Tabla 43. (Potencia Eléctrica para una presión 35 Psi).....	91
Tabla 44. (Eficiencia para una presión 35 Psi).....	92
Tabla 45. (Medición de tiempo Promedio).....	94
Tabla 46. (Medición de Caudal y Velocidad).....	94
Tabla 47. (Potencia Eléctrica para una presión 40 Psi).....	95
Tabla 48. (Eficiencia para una presión 40 Psi).....	96
Tabla 49. (Datos de turbina comparativa).....	99

Tabla 50. (Datos de turbina comparativa) ..... 101

Tabla 51. (Datos de turbina comparativa)..... 105

## FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Turbina de acción.....	26
Figura 2. Turbina de reacción.....	26
Figura 3. Turbina de axial.....	27
Figura 4. Turbina radial.....	27
Figura 5. Turbina tangencia.....	27
Figura 6. Turbogenerador.....	28
Figura 7. Rodete.....	28
Figura 8. Carcaza.....	29
Figura 9. Cucharas.....	30
Figura 10. Tablero de carga.....	30
Figura 11. Generador.....	31
Figura 12. Triangulo de velocidades.....	35
Figura 13. Gráfica (Caudal vs Velocidad de giro).....	45
Figura 14. Gráfica. (Caudal vs altura neta).....	45
Figura 15. Gráfica (Velocidad de giro vs altura neta).....	46
Figura 16. Gráfica (Caudal vs Velocidad de giro).....	50
Figura 17. Gráfica (Caudal vs Altura Neta).....	50
Figura 18 Gráfica (Velocidad de giro vs altura neta).....	51
Figura 19 Gráfica (Potencia vs Presión).....	51

Figura 20. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro).....	52
Figura 21. Gráfica (Caudal vs Velocidad de giro) .....	56
Figura 22. Gráfica (Caudal vs Altura Neta).....	56
Figura 23. Gráfica (Velocidad de giro vs altura neta).....	57
Figura 24 Gráfica (Potencia vs Presión).....	57
Figura 25. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro).....	58
Figura 26. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	60
Figura 27. Gráfica (Velocidad de Giro vs Presión).....	62
Figura 28 Gráfica (Velocidad de Giro vs Altura Neta).....	62
Figura 29. Gráfica (Potencia vs Altura Neta).....	63
Figura 30. Gráfica (Potencia vs Presión).....	66
Figura 31. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro).....	66
Figura 32. Gráfica (Presión vs Velocidad de Giro).....	67
Figura 33. Gráfica (Numero de Bombillos vs Velocidad de Giro).....	67
Figura 34. Gráfica (Numero de Bombillos vs Potencia).....	68
Figura 35. Gráfica (Caudal vs Velocidad de Giro).....	68
Figura 36. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	73
Figura 37. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia).....	73
Figura 38. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	77
Figura 39. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia).....	77
Figura 40. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	81



Figura 41. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia).....	81
Figura 42. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	85
Figura 43. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia).....	86
Figura 44. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	89
Figura 45. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia).....	89
Figura 46. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	93
Figura 47. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia).....	93
Figura 48. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	97
Figura 49. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia).....	97
Figura 50. Gráfica (caudal vs Velocidad de Giro).....	100
Figura 51. Gráfica (caudal vs Altura Neta).....	100
Figura 52. Gráfica (Velocidad de Giro vs Altura Neta).....	101
Figura 53. Gráfica (Caudal vs Velocidad de Giro).....	102
Figura 54. Gráfica (Caudal vs Altura Neta).....	102
Figura 55. Gráfica (Velocidad de Giro vs Altura Neta).....	103
Figura 56. Gráfica (Potencia vs Presión).....	103
Figura 57. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro).....	104
Figura 58. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia).....	105

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A (Planos de la turbina pelton).....	112
Anexo B (Plano hidráulico de la instalación).....	118
Anexo C (Circuito eléctrico del tablero de carga).....	120
Anexo D (Fotos de la instalación).....	121
Anexo E (Guías de Laboratorio).....	122
Anexo F (Cronograma de Actividades).....	140
Anexo G (Cálculos).....	141
Anexo I (Análisis Estadístico de la Toma de Datos).....	147
Anexo J (Manual del Tacómetro).....	158

## RESUMEN

La facultad de ingeniería mecánica, comprometida con la investigación científica y el desarrollo de nuevas tecnologías implementó una micro central hidráulica, para realizar un estudio a una turbina pelton, con el fin de analizar el comportamiento de los diferentes parámetros que intervienen en su funcionamiento. Servirá como laboratorio de maquinas hidráulicas, y como un banco de pruebas para turbinas hidráulicas.

Las turbinas pelton convierten la energía cinética del agua en energía mecánica siendo aprovechado este movimiento por un generador el cual convierte la energía mecánica entregada por la turbina en energía eléctrica. Una turbina consta de los siguientes elementos: distribuidor o boquilla, rodete, alabes o cucharas y carcaza.

El análisis de los resultados, nos proporcionó el comportamiento de la turbina teniendo en cuenta distintos parámetros los cuales nos permitieron hacer una comparación con otros estudios de turbinas pelton, esto fue muy importante debido a que por medio de la comparación se validaron los estudios realizados a nuestra turbina.

El estudio de la turbina, el montaje y diseño de las pruebas fue supervisado por el ingeniero Emil Hernández Arroyo.

## **ABSTRACT**

The faculty of mechanical engineering is committed with scientific investigation and development of new technologies has implemented an hydraulic micro central, and thus study a pelton turbine, with the propose of analyze the performance of the different parameters that take part in its operation. The study will serve as laboratory of hydraulic machines and as a test bank for hydraulic turbines.

The pelton turbines convert the kinetic energy of the water in mechanical energy; this movement is used by a generator that converts the mechanical energy delivered by the turbine in electric energy. A turbine has: a distributor or jet, bucket, paddle or spoon, frame.

The analysis of the results, provide us the performance of the turbine using different parameters, which allow us to make a comparison with another pelton turbine, this was very important because by means of the comparison we could corroborate the studies carried on to our turbine.

The study of the turbine, the assembly and the design of the test was supervised by the engineer Emil Hernandez Arroyo.

## INTRODUCCION

Una máquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), las cuales modifican la energía total del agua que las atraviesa. En el estudio de las turbomáquinas hidráulicas no se tienen en cuenta efectos de tipo térmico. [4]

Este trabajo es un estudio que se hizo a una turbina pelton, con el fin de generar las curvas características, comparar y verificar su funcionamiento bajo distintos parámetros entre los cuales se encuentra presión, caudal y velocidad de giro.

Muestra todas las pruebas realizadas a la turbina pelton, y la metodología con la que se llevó a cabo las pruebas; también se encuentran de forma detallada los datos obtenidos, las curvas características y los resultados que arrojaron las pruebas, esto es lo que nos permite conocer y comparar su funcionamiento, además de todo lo mencionado anteriormente queda el espacio físico de la instalación donde funciona la turbina.

## **1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO**

ENSAYO Y ESTUDIO DE UNA TURBINA PELTON.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Uno de los problemas de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, es que carece de módulos didácticos en los laboratorios de maquinas hidráulicas, que permitan la simulación en el campo de generación de energía.

La propuesta que se llevo a cabo fue la de instalar una turbina tipo **Pelton**, generar las curvas de desempeño de esta con el fin de analizar el comportamiento de los diferentes parámetros que intervienen, entre los cuales están (caudal, presión, salto neto, eficiencia), mediante el análisis de los resultados obtenidos se estructuraron las pruebas de laboratorio que los estudiantes podrán desarrollar.

Con la turbina se pretende proveer de elementos y equipos que sirvan para las prácticas de laboratorio de mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Así como la determinación de curvas de eficiencia de esta.

### **2.1 JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto busca principalmente brindar una nueva alternativa de generación de energía limpia mediante el aprovechamiento de los recursos renovables con los que cuenta la universidad y que hasta el momento no se están aprovechando.

Servirá como un banco de pruebas para turbinas hidráulicas, que en un futuro los estudiantes de ingeniería mecánica y otras ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana podrán realizar las prácticas de laboratorio.

Se origina con el motivo de innovar e implementar una microcentral hidráulica para el estudio y análisis de las turbinas pelton, donde los estudiantes puedan reforzar los conocimientos adquiridos en la asignatura de máquinas hidráulicas.

En la Universidad Pontificia Bolivariana No se tiene ninguna clase de antecedentes ya que en la facultad de ingeniería mecánica no se ha realizado ninguna propuesta relacionada con este proyecto.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Analizar el comportamiento de una turbina pelton bajo ciertos parámetros que influyen en su funcionamiento, mediante el diseño y la construcción de la instalación que permita hacer las pruebas, verificar y estudiar a las turbinas pelton frente a otras de mayor o menor capacidad.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar el montaje que permita desarrollar las pruebas a la turbina pelton.
- Construir un tablero de carga que sirva de freno a la turbina para las pruebas.
- Diseñar y realizar las diferentes pruebas a la turbina con el fin de obtener los datos para su respectivo estudio y análisis.
- Generar las curvas de desempeño de la turbina que permitan hacer la comparación con otras turbinas.
- Verificar la cabeza estática.

- Determinar la potencia y eficiencia del sistema bajo cierta presión.
- Diseñar y elaborar las prácticas de laboratorio para los estudiantes de máquinas hidráulicas.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 TURBOMAQUINAS

Una turbomáquina es un aparato en el cual el movimiento de un fluido no confinado se altera y transmite potencia desde o hacia un eje, o crea un empuje de propulsión.

Considerando las máquinas que transmiten potencia desde un eje hacia el fluido son:

- Bomba
- Compresor
- Ventilador
- Soplador

Las que transfieren potencia del fluido al eje se denominan turbinas. [9]

#### 4.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMAQUINAS HIDRÁULICAS

Una primera clasificación de las turbomáquinas hidráulicas, (de fluido incompresible), se puede hacer con arreglo a la función que desempeñan, en la forma siguiente:

**4.1.1.1 Turbomáquinas 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. [4]



**4.1.1.2 Turbomáquinas generatrices** que aumentan la energía del fluido que las atraviesa bajo forma potencial, (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen es suministrada por un motor, pudiendo ser:

*Bombas de álabes*, entre las que se encuentran las bombas centrífugas y axiales

*Hélices marinas*, cuyo principio es diferente a las anteriores; proporcionan un empuje sobre la carena de un buque [4]

**4.1.1.3 Turbomáquinas reversibles**, tanto generatrices como motrices, que ejecutan una serie de funciones que quedan aseguradas, mediante un rotor específico, siendo las más importantes:

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

*Grupos Bulbo*, utilizados en la explotación de pequeños saltos y centrales mareomotrices. [4]

**4.1.1.4 Grupos de transmisión o acoplamiento**, que son una combinación de máquinas motrices y generatrices, es decir, un acoplamiento (bomba-turbina), alimentadas en circuito cerrado por un fluido, en general aceite; a este grupo pertenecen los cambiadores de par. [4]

## **4.1.2 TURBINA HIDRÁULICA**

La turbina hidráulica es una máquina que transforma la energía potencial cinética del agua en energía mecánica de rotación. Se clasifican según su funcionamiento, en turbinas de acción y reacción, las de acción son aquellas que aprovechan solo la velocidad del agua para poder girar, mientras que las de reacción son aquellas que utilizan la presión y la velocidad para poder desempeñar el trabajo de rotación. [8]

**4.1.2.1 TURBINA DE REACCIÓN:** El agua entra a presión y en los conductos móviles del rodete cambia de dirección y aceleración. En ella la presión estática disminuye entre la entrada y la salida del rodete. [7]

**4.1.2.2 TURBINA DE ACCIÓN:** El agua entra sin presión (a presión atmosférica) y cambia solamente de dirección mas no de aceleración. En ella, la presión estática permanece constante entre la entrada y la salida del rodete. [7]

Las turbinas de acción aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua, mientras que las de reacción aprovechan además la pérdida de presión que se produce en su interior

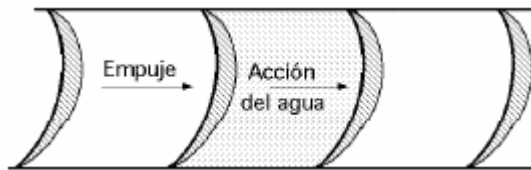
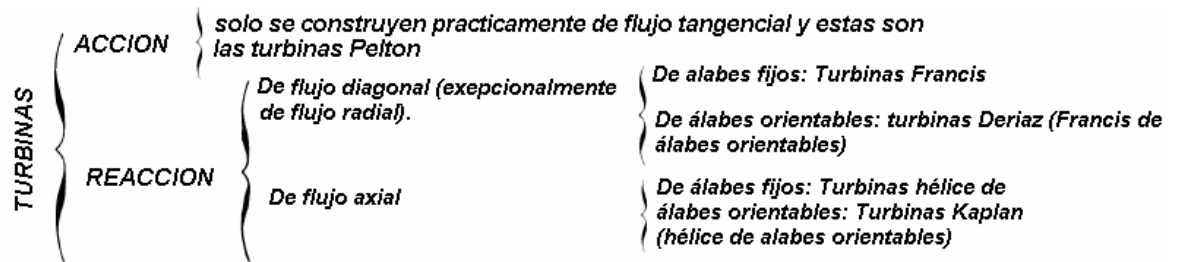


Figura1. Turbina de acción. Pedro Fernández Díez. Turbinas Hidráulicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética: Universidad de Cantabria.

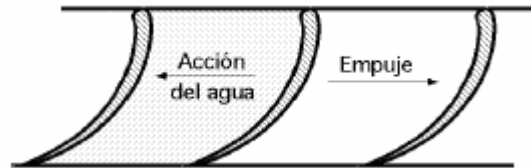


Figura2. Turbina de reacción. Pedro Fernández Díez. Turbinas Hidráulicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética: Universidad de Cantabria.

### 4.1.3 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

El tipo de turbina de acción más conocido es la turbina Pelton, que se emplea generalmente para caídas de agua de gran altura y caudales pequeños, pero existen otros tipos de turbina. [4]

En función del sentido en que se mueve el agua dentro de las turbinas, estas se clasifican en:

**4.1.3.1 Axiales:** (Kaplan, hélice, Bulbo), el agua entra paralelamente al eje, tal como se muestra en la Figura 3

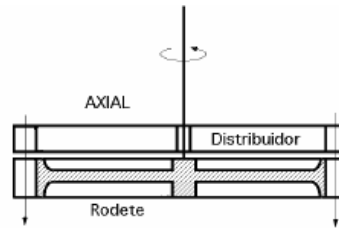


Figura 3. Turbina axial. Pedro Fernández Díez. Turbinas Hidráulicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética: Universidad de Cantabria.

**4.1.3.2 Radiales:** el agua entra perpendicularmente al eje, Figura 4, siendo centrífugas cuando el agua vaya de dentro hacia afuera, y centrípetas, cuando el agua vaya de afuera hacia adentro. (Francis). [4]

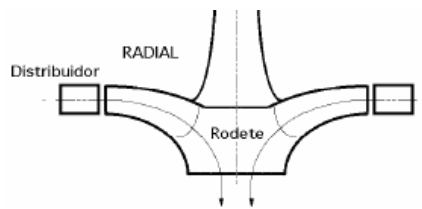


Figura 4. Turbina radial. Pedro Fernández Díez. Turbinas Hidráulicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética: Universidad de Cantabria.

**4.1.3.3 Mixtas:** se tiene una combinación de las anteriores. [4]

**4.1.3.4 Tangenciales:** El agua entra lateral o tangencialmente (Pelton) contra las cucharas del rodete, Figura 5 [4]

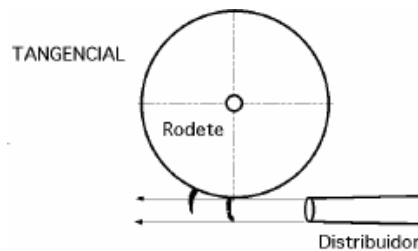


Figura 4. Turbina tangencial. Pedro Fernández Díez. Turbinas Hidráulicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética: Universidad de Cantabria.

## 4.2 PARTES DE UNA TURBINA PELTON

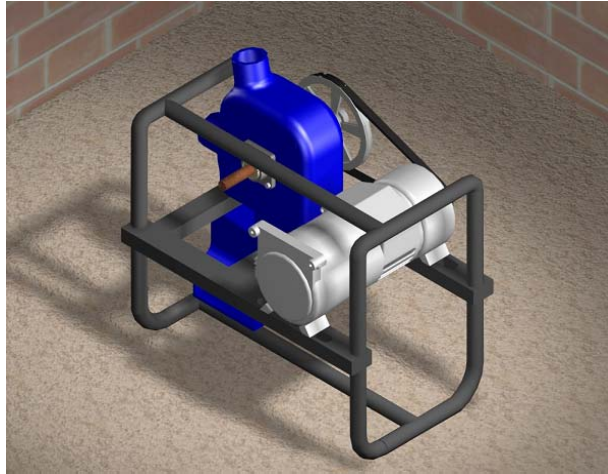


Figura 6. Turbogenerador. Elaborado por Jorge Alarcón y Arley Sandoval

### 4.2.1 DISTRIBUIDOR (BOQUILLA)

Es un elemento estático que no posee velocidad angular y en el no se produce trabajo mecánico. Sus funciones son:

- Acelerar el flujo al transformar total (turbinas de acción) o parcialmente (turbina de reacción) la energía potencial del agua en energía cinética y energía de presión.
- Dirigir el agua hacia el rodete, siguiendo una dirección adecuada, actuar como un órgano regulador de caudal. [4]

### 4.2.2 RODETE



Figura 7. Rodete. Elaborado por Jorge Alarcón y Arley Sandoval

Llamado también rotor de rueda. Este elemento es el órgano fundamental de las turbinas hidráulicas. Consta en esencia de un disco provisto de un sistema de alabes paletas o cucharas, el cual gira con cierta velocidad angular.

La transformación de la energía hidráulica del salto en energía mecánica se produce en el rodete, mediante la aceleración y desviación o por la simple desviación del flujo de agua a su paso por los alabes. [4]

#### 4.2.3 CARCAZA



Figura 8. Carcaza. Elaborado por Jorge Alarcón y Arley Sandoval

Este elemento tiene la función general de cubrir y soportar las partes que componen la turbina Pelton.

#### 4.2.4 CUCHARAS

El elemento más importante de una turbina Pelton es la cazoleta, la cual posee forma de doble cuchara elíptica (**ver figura 3**). Esta recibe el chorro exactamente en su arista media, donde se divide en dos, circulando por su cavidad y recorriendo hasta la salida casi un ángulo de 180°. De esta manera, se contrarrestan los empujes axiales por cambio de dirección de los dos chorros. El agua, una vez que sale de la cazoleta, cae libremente una cierta altura, pasando al cauce inferior (aguas abajo de la turbina).

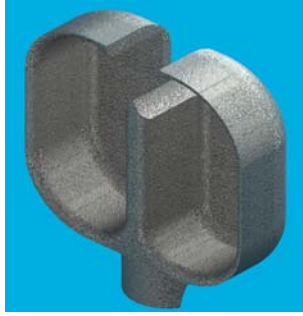


Figura 9. Cucharas. Elaborado por Jorge Alarcón y Arley Sandoval

El recorte en las cazoletas tiene como objetivo permitir la colocación del inyector más próximo al rodete y que el chorro impacte el alabe en la dirección más conveniente.

La colocación de las cazoletas puede ser fundida junto al rodete (una sola pieza), con lo cual en caso de desgaste o fractura de una de las cazoletas hay que cambiar el conjunto completo, o de manera independiente fijadas mediante pernos, lo cual permite reemplazar cada cazoleta de manera individual.

Las cazoletas son generalmente fabricadas mediante fundición en coquilla (con molde metálico). Los materiales de las cazoletas deben resistir fatiga debido a acciones mecánicas, corrosión por acción química del agua, erosión debido a partículas sólidas en suspensión y cavitación. Cuando estas acciones son moderadas se puede utilizar fundición laminar. Para condiciones mas severas de erosión se pueden utilizar aceros con 0,7 a 1% en peso de níquel y 0,3% de molibdeno. [7]

#### 4.2.5 TABLERO DE CARGA



Figura 10. Tablero de carga. Imagen tomada por Jorge Alarcón y Arley Sandoval

Es un tablero metálico que contiene una cantidad determinada de interruptores, generalmente empleados para la protección y desconexión de pequeñas cargas eléctricas y alumbrado. En el caso de que en el tablero se concentre exclusivamente interruptores para alumbrado, se conoce como "tablero de alumbrado"

### 4.3 GENERADORES

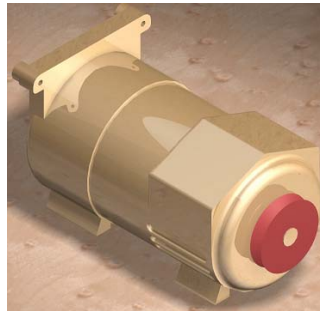


Figura 11. Generador. Elaborado por Jorge Alarcón y Arley Sandoval

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 generadores trifásicos de corriente alterna. En función de la red se pueden seleccionar.

**4.3.1 GENERADORES SÍNCRONOS:** es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica.

El generador síncrono está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator.

El rotor gira recibiendo un empuje externo desde (normalmente) una turbina. Este rotor tiene acoplada una fuente de "corriente continua" de excitación independiente variable que genera un flujo constante, pero que al estar acoplado al rotor, crea un campo

magnético giratorio (por el teorema de Ferraris) que genera un sistema trifásico de fuerzas electromotrices en los devanados estatóricos. [5]

#### **4.3.1.1 Rotor**

También conocido como inductor, pues es la parte que induce el voltaje en el estator. El núcleo del rotor es construido de lámina troquelada de acero al silicio, material de excelentes características magnéticas, con la finalidad de evitar pérdidas por histéresis y corrientes parasitas.

El yugo es una pieza continua con zapata polar, para así eliminar la dispersión del flujo por falsos contactos magnéticos. En la zapata polar se hacen barrenos para alojar el devanado amortiguador en jaula de ardilla, diseñado con el objeto de reducir armónicas en la forma de onda que entrega el generador.

El rotor gira concéntricamente con una velocidad síncrona de 3600 revoluciones por minuto, generando 110V a una frecuencia de 60Hz. [5]

#### **4.3.1.2 TIPOS CONSTRUCTIVOS**

La principal diferencia entre los diferentes tipos de generadores síncronos, se encuentra en su sistema de alimentación en continua para la fuente de excitación situada en el rotor.

**4.3.1.2.1 Excitación Independiente:** Excitatriz independiente de continua que alimenta el rotor a través de un juego de anillos rozantes y escobillas. [5]

**4.3.1.2.2 Excitatriz principal y excitatriz piloto:** La máquina principal de continua tiene como bobinado de campo otra máquina de excitación independiente, accionada por el mismo eje. [8]

**4.3.1.2.3 Electrónica de potencia:** Directamente, desde la salida trifásica del generador, se rectifica la señal mediante un rectificador controlado, y desde el mismo se alimenta directamente en continua el rotor mediante un juego de contactotes (anillos y escobillas).



El arranque se efectúa utilizando una fuente auxiliar (batería) hasta conseguir arrancar. Sin escobillas, o diodos giratorios: la fuente de continua es un rectificador no controlado situado en el mismo rotor (dentro del mismo) alimentado en alterna por un generador situado también en el mismo eje y cuyo bobinado de campo es excitado desde un rectificador controlado que rectifica la señal generada por el giro de unos imanes permanentes situados en el mismo rotor (que constituyen la excitatriz piloto de alterna).[5]

**4.3.2 GENERADORES ASÍNCRONOS:** Simples motores de inducción con rotor en jaula de ardilla, sin posibilidad de regulación de tensión, que giran a una velocidad directamente relacionada con la frecuencia de la red a la que están conectados. De esa red extraen su corriente de excitación y de ella absorben la energía reactiva necesaria para su propia magnetización. Esta energía reactiva puede compensarse, si se estima conveniente mediante bancos de condensadores. No pueden generar corriente cuando están desconectados de la red ya que son incapaces de suministrar su propia corriente de excitación. Se emplean siempre que la potencia sea inferior a 500 kw.

Los alternadores síncronos son más caros que los asíncronos y se utilizan, para alimentar redes pequeñas, en las que su potencia representa una proporción sustancial de la carga del sistema, o en todo caso, cuando la potencia de la turbina supera los 5.000 Kw.

Los asíncronos se utilizan en grandes redes, en las que su potencia representa un porcentaje insignificante de la carga del sistema. Su rendimiento, en todo el campo de funcionamiento es de un dos a un cuatro por ciento inferiores al de los alternadores síncronos. [5]

## **4.4 FACTORES A TENER EN CUENTA EN UNA TURBINA**

### **4.4.1 GOLPE DE ARIETE**

Son ondas que se originan en el instante que se cierra la directriz de la turbina. El agua que circula se detiene y la energía cinética que trae se convierte en presión, como el resultado del aumento de presión, el líquido se comprime y las paredes del tubo se expanden, lo que permite que entre al tramo una cantidad adicional antes de que se detengan. Luego sucede lo mismo con el tramo inmediatamente mas arriba y el aumento de presión se prolonga hasta el reservorio en donde el proceso se detiene. Al no haber movimiento de agua esta comienza ahora a dilatarse y la tubería a contraerse. Este proceso es inverso que el anterior y comienza en el reservorio y termina en la válvula. [9]

### **4.4.2 CAVITACION**

La cavitación no constituye un fenómeno inevitable, sino un efecto que debe ser juzgado y evaluado desde el punto de vista económico. En el caso de las turbo máquinas hidráulicas la cavitación es un factor determinante, marcando el límite más bajo para el tamaño de la máquina y también el límite más alto para la velocidad del flujo medio (velocidad periférica del rotor). Para una cierta altura y un caudal la turbo máquina con la más alta velocidad específica tendrá menores dimensiones, menor peso y más bajo costo sin embargo la cavitación marca un límite superior para la velocidad específica que no debe ser excedido. La cavitación se divide en el proceso de formación de burbujas y en el de implosión de las mismas. Cabe aclarar que para este estudio que se realizo a la turbina pelton no se tuvo en cuenta este fenómeno. [9]

#### 4.4.3 TRIANGULO DE VELOCIDADES

En la realización del estudio teórico se hacen dos aproximaciones principales, las cuales conducen a resultados bastante aceptables en la práctica. Estas son: [6]

1. La cazoleta esta constantemente atacada por el chorro completo.
2. El chorro siempre ataca en dirección perpendicular a la arista media de la cazoleta.

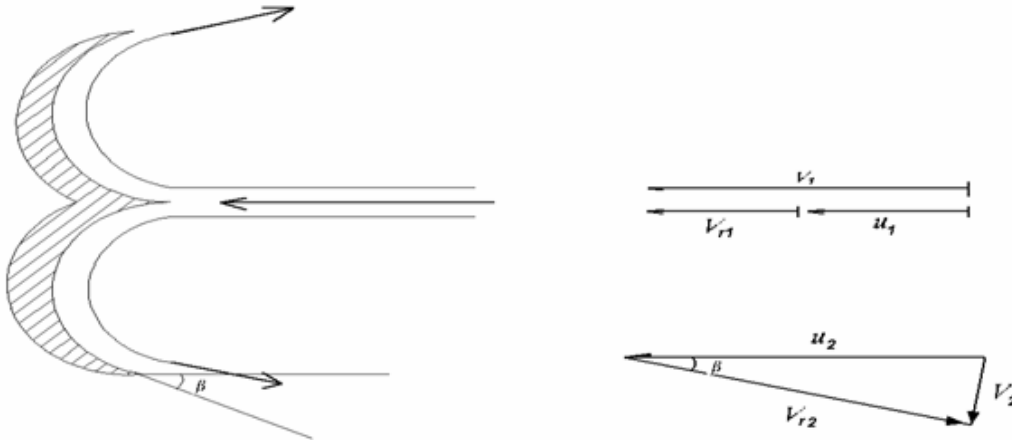


Figura 12. Triangulo de velocidades. D'croz Torres Néstor Raúl. Ensayo de un modelo de turbina pelton. Bucaramanga Universidad Industrial de Santander 1983.

El chorro con velocidad  $V_1$  ataca al alabe en la arista media de la doble cucharita lo cual lo divide en dos porciones iguales de agua que recorren el alabe en dirección axial. Se considera a la velocidad  $V_{r1}$  en la misma dirección de la velocidad tangencial  $U_1$  del alabe en cuya dirección es también la velocidad absoluta  $V_1$  de acuerdo a lo anterior se puede afirmar [6]

$$V_1 = U_1 + V_{r1} \quad (1)$$

Respecto al triangulo de velocidades la trayectoria de una partícula de agua en la cuchara es tangencial de manera que en las turbinas pelton se verifica siempre, ya que se trata de una maquina axial. [6]

$$U_2 = U_1 = U \quad (2)$$

Idealmente se considera que no hay rozamiento entre el agua y la cuchara por lo que

$$V_{r2} = V_{r1} \quad (3)$$

Pero en realidad  $V_{r2}$  es un poco menor a  $V_{r1}$ .

Si no hay pérdidas en el inyector el chorro sale de este a la atmósfera a una velocidad  $V_1$  que según la ecuación de Torrecelli idealmente será

$$V_1 = \sqrt{2gH} \quad (4)$$

Prácticamente la velocidad real es algo más pequeña y aproximadamente: [6]

$$V_1 = 0,97 \sqrt{2gH} \quad (5)$$

Idealmente se demuestra que la turbina pelton alcanza su rendimiento optimo cuando [6]

$$u_1 = 1/2 V_1 \quad (6)$$

Pero el rendimiento óptimo suele alcanzarse a una velocidad mas baja, aproximadamente [6]

$$u_1 = 0,45 \sqrt{2gH} \quad (7)$$

#### 4.4.3.1 ALTURA NETA

Es la altura puesta a disposición de la turbina [6]

$$H = \frac{p_E - p_S}{\rho g} + z_E - z_S + \frac{v_E^2 - v_S^2}{2g} \quad (8)$$

La altura neta es igual al incremento de altura que absorbe la turbina en forma de presión más la que absorbe en forma de altura geodesica más la que absorbe en forma de altura cinética.

Cabe anotar que en toda turbina  $p_S/\rho g = 0$  y  $z_S = 0$  si se toma como plano de referencia el plano de salida.

En toda turbina  $v_S^2/2g$  es muy pequeña por lo que este valor puede despreciarse.

$p_E/\rho g$  se calcula leyendo adecuadamente el manómetro que se encuentra instalado a la entrada de la turbina;  $v_E^2/2g$  se calcula midiendo el caudal y conociendo el diámetro de la tubería. [6]

Teniendo en cuenta las consideraciones vistas anteriormente se tiene que la ecuación para hallar la altura neta es: [6]

$$H_n = \frac{P}{\gamma} + \frac{v_r^2}{2g} + z^{\text{cte}} \quad (9)$$

Hay que recordar que esta altura neta no es la altura útil aprovechada por la turbina, esta es la altura teórica que hubiera aprovechado si no hay pérdidas. [6]

#### 4.4.3.2 POTENCIA TEORICA

$$\gamma * Q * Hn \quad (10)$$

Esta es la potencia hidráulica puesta a disposición de la turbina. [6]

#### 4.4.3.3 EFICIENCIA

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100 \quad (11)$$

### 4.5 CENTRAL HIDROELECTRICA

Una **central hidroeléctrica** es aquella que utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica, el objetivo de una "Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH), como el de cualquier otro aprovechamiento hidroeléctrico, es convertir en electricidad, o eventualmente en energía mecánica, la energía potencial de una masa de agua, que fluye por un río, un arroyo o un canal. Con una cierta caída conocida como salto.

Este tipo de planta de generación de electricidad utiliza la energía del agua para impulsar una turbina que a su vez hace girar el generador eléctrico. La generación de electricidad a partir de la energía contenida en el agua es quizá la más antigua de las conversiones de energía.

Las centrales de tipo hidroeléctrico son preferidas, debido a su bajo costo en la producción de la energía, características que son siempre atractivas. Existen dos tipos de plantas, Plantas Convencionales, Plantas de Almacenaje y Bombeo. [4]

#### 4.5.1 PLANTAS CONVENCIONALES

Las plantas convencionales usan de una sola vez el flujo para generar electricidad. Los dos tipos convencionales de plantas son: Plantas de río (Run-of-River Plants) y las plantas de almacenamiento (Storage Plants). Las plantas de río usan muy poca o casi ningún almacenamiento de agua y por ello no requiere de represas o reservorios, por lo que son menos costosas que las plantas de almacenamiento. [8]

#### 4.5.2 PLANTAS DE ALMACENAJE Y BOMBEO

Las plantas de almacenaje y bombeo, reutilizan el agua que ellas requieren. Estas están diseñadas específicamente para suplir energía durante los picos de demanda Como las plantas convencionales. Una planta de almacenaje y bombeo usa el flujo de agua natural cayendo a través de su entrada para producir electricidad, pero una pequeña parte del agua usada es bombeada durante las horas fuera del pico desde el tanque, lago o arroyo para reutilizarse. [8]

##### 4.5.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDRÁULICAS

De acuerdo con la potencia instalada, la Organización Latinoamericana de Energía OLADE ha clasificado de la siguiente forma: [8]

Potencia	Tipo
0 – 50 Kw	Microcentral
50 – 500 Kw	Mini central
500 – 5000 Kw	Pequeña central

Tabla 1. Clasificación de las centrales hidráulicas. Ortiz Florez Ramiro. Pequeñas Centrales Hidráulicas McGraw Hill 2001

<b>Caída en metros</b>			
	<b>Baja(m)</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
<b>Micro</b>	H < 15	15 < H < 50	H > 50
<b>Mini</b>	H < 20	20 < H < 100	H > 100
<b>Pequeña</b>	H < 25	25 < H < 130	H > 130

Tabla 2. Clasificación de las centrales hidráulicas Según su caída. Ortiz Florez Ramiro. Pequeñas Centrales Hidráulicas McGraw Hill 2001



## **5. DISEÑO METODOLOGICO**

En el marco del proyecto se diseñara, construirá y se pondrá en funcionamiento una micro central hidráulica para realizar pruebas a turbinas pelton.

De manera general el trabajo estará enmarcado en cuatro grandes etapas: la primera etapa es de investigación teórica, la segunda etapa son los primeros pasos que se dan hacia el desarrollo del proyecto, concretando la información y revisando con qué herramientas realmente se puede contar, la tercera etapa es el montaje de la instalación y pruebas a la turbina pelton, finalmente se tiene una cuarta etapa de análisis de los resultados y entrega de un informe final el cual resume la aplicación del proyecto y las conclusiones que se extrajeron del mismo.

### **5.1 ETAPA DE DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En esta etapa se realiza un proceso de adquisición y filtrado de información base para la investigación a realizar.

#### **5.1.1 Revisión de conceptos básicos relacionados con el tema del proyecto.**

Revisión bibliográfica general del tema y áreas de interés, con el fin de establecer un marco de referencia.

#### **5.1.2 Estudio de diseños de turbinas pelton.**

Revisar los factores que se ven involucrados en el diseño de las turbinas pelton, determinar la estructura básica de una micro central y determinación de la potencia

### **5.2 PLANEACIÓN**

En esta etapa, se realizará la adquisición de información, enfocada al objetivo de la investigación de las turbinas pelton. Se hará un estudio de con qué recursos materiales y humanos cuenta el proyecto para la realización del mismo, además se diseñarán las pruebas para estudiar el comportamiento de las turbinas pelton

### **5.2.2 Identificación de fuentes de información**

Se pueden tener gran cantidad de fuentes de información, pero de las cuales solo algunas ofrecen información verídica y actualizada. Es por esto, que se hace necesario verificar cuales de estas son las más adecuadas para el estudio y comparación de las turbinas pelton.

### **5.2.3 DISEÑO**

Se realizara el estudio para llevar a cabo la construcción de la microcentral así como los cálculos necesarios para determinar el comportamiento de la turbina pelton.

### **5.3 EJECUCIÓN**

En esta etapa se realizará el montaje de la instalación que permita desarrollar las pruebas ya diseñadas a la turbina pelton para su respectivo estudio.

### **5.4 ANÁLISIS**

En esta etapa se realizará la interpretación de los datos obtenidos en la etapa de prueba, revisando todos los parámetros que intervienen en el funcionamiento de una turbina pelton. Con la información obtenida se procede a generar las curvas de desempeño de la turbina para poder comparar nuestros resultados con otros ya existentes con el fin de corroborar el funcionamiento de la turbina.

### **5.5 INFORME FINAL**

La última etapa del proyecto está dirigida a la documentación de los desarrollos obtenidos, y la divulgación de los resultados, conclusiones, y propuestas para nuevos proyectos.

## 6. ESQUEMA TEMATICO

### 6.1 Prueba 1 Análisis de la turbina sin carga

Instrumentos utilizados:

- Recipiente  $h = 34\text{cm}$   
 $D = 30\text{cm}$

- Tacómetro



**Nota:** Las características técnicas del instrumento se encuentran en los anexos.

- Cronometro

P(psi)	Tiempo(seg)	Tiempo Promedio	Q (m <sup>3</sup> /s)
15	t1=8,88; t2=9,13	9,005	2.6e-3
20	t1=7,79; t2=7,90	7,845	3.05e-3
22	t1=8,20; t2=7,24	7,72	3.1e-3
26	t1=7,37; t2=6,76	7,065	3.39e-3
30	t1=6,18; t2=6,49	6,335	3.78e-3
35	t1=5,37; t2=5,30	5,335	4.49e-3
40	t1=4,69; t2=4,77	4,73	5.07e-3

Tabla 3. Medición de Tiempo y Caudal

P (Psi)	U <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	Vr <sub>2</sub> (m/s)
15	8.15	2.28	5.9
20	9.43	2.67	6.8
22	10.28	2.71	7.61
26	13.67	2.97	10.7
30	14.19	3.31	10.9
35	17.5	3.93	13.6
40	19.47	4.44	15.1

Tabla 4. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades

Nota: los cálculos de la tabla anterior se encuentran en los anexos.

Presión(psi)	Caudal(lt/min)	N (Rpm)	Hneto (m)
15	156	1128	12.2
20	183	1306	16.4
22	186	1423	18.4
26	203,4	1893	24.1
30	226.8	1965	27.1
35	269,4	2426	34
40	304,2	2696	39.7

Tabla 5. Datos del comportamiento de la turbina sin carga.



Figura 13 Gráfica. (Caudal vs Velocidad de giro)

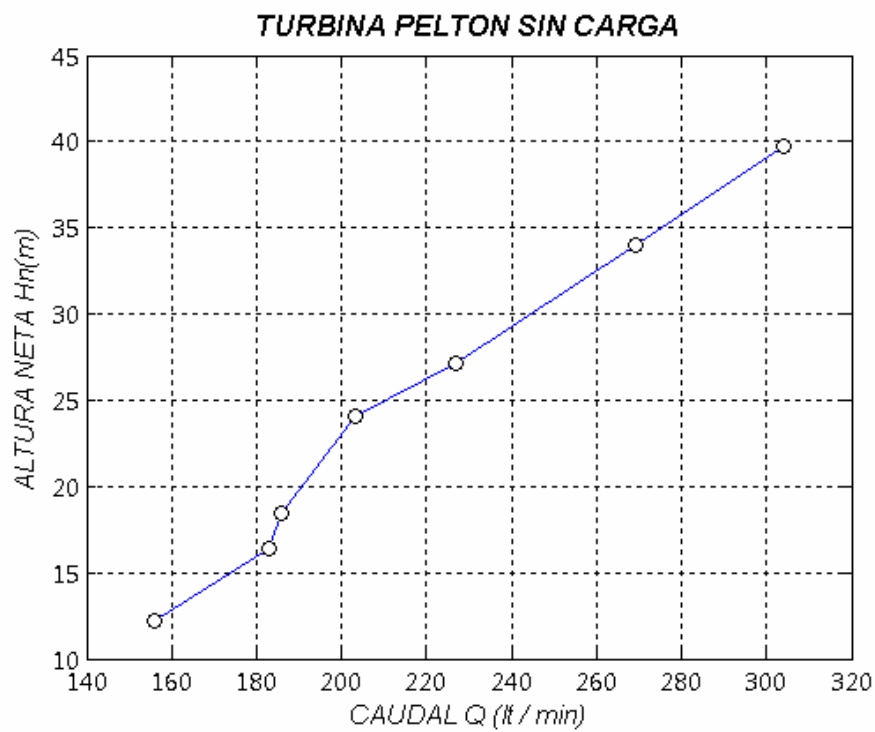


Figura 14 Gráfica. (Caudal vs altura neta)

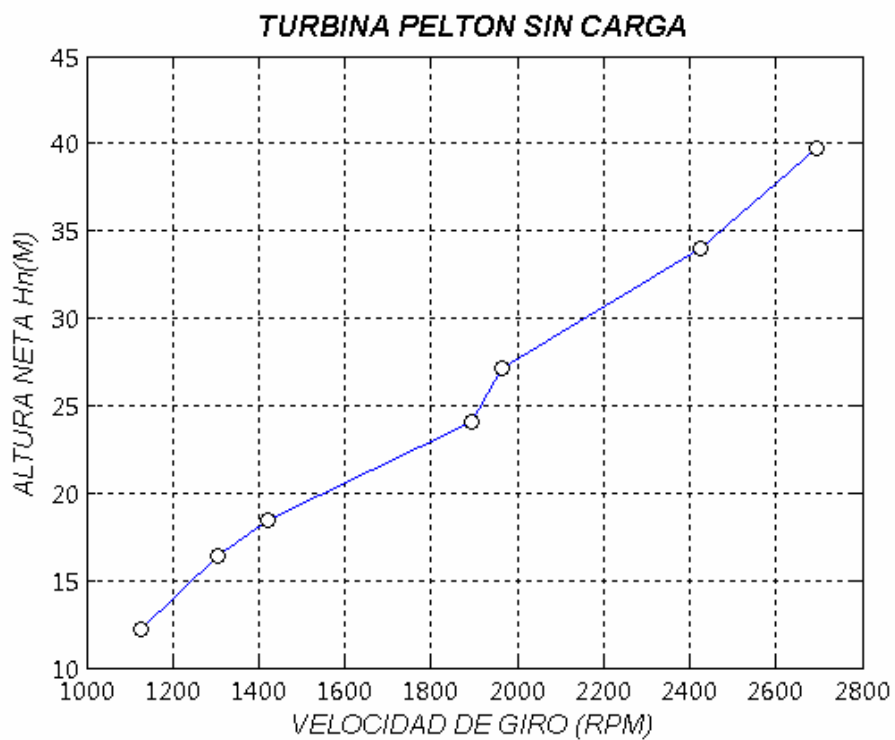


Figura 15 Gráfica (Velocidad de giro vs altura neta)

### 6.1.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Esta prueba se basó en analizar el comportamiento de la turbina sin carga esto es muy importante porque nos permite determinar los valores de velocidad límite puesto que sin carga la turbina gira libremente sin ninguna restricción.

De esta prueba se obtuvieron los siguientes valores máximos y mínimos:

Presión(psi)	Caudal(It/min)	N (Rpm)
15	156	1128
40	304,2	2696

Estos datos son importantes para conocer el funcionamiento de la turbina, esta prueba tenía como finalidad determinar los valores máximos y mínimos de rotación y caudal a diferentes presiones.

Analizando las gráficas obtenidas se puede ver que las variables:

- Caudal
- Velocidad de giro
- Altura neta

Son directamente proporcionales a la presión, para cada dato tomado. Esto significa que estas variables mencionadas anteriormente no tienen un comportamiento uniforme.

## 6.2 Prueba 2.

Funcionamiento de la turbina para una carga constante (175 W)

P(psi)	Tiempo(seg)	Tiempo Promedio	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
15	t1=8,25; t2=8.72	8.48	2.83E-3
20	t1=7.31; t2=7.28	7.29	3.29E-3
22	t1=7.42; t2=7.05	7.13	3.36 E-3
26	t1=6.98; t2=6.86	6.92	3.46 E-3
30	t1=6.25; t2=6.14	6.19	3.87 E-3
35	t1=5.45; t2=5.28	5.36	4.47 E-3
40	t1=4.76; t2=4.63	4.69	5.11 E-3

Tabla 6. Medición de Tiempo y Caudal

Presión (Psi)	Voltaje (V)	Corriente (A)
15	50	1
20	80	1,3
22	85	1,5
26	90	1,7
30	95	1,8
35	100	2
40	105	2,1

Tabla 7. Datos obtenidos del tablero de carga



P (Psi)	U <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	Vr <sub>2</sub> (m/s)
15	3.75	2.48	1.35
20	6.22	2.88	3.4
22	6.67	2.94	3.7
26	7.33	3.03	4.36
30	8.49	3.39	5.16
35	9.84	3.92	5.99
40	11.4	4.48	7

Tabla 8. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades

Presión (Psi)	N (Rpm)	Potencia(W)	Hn(m)	Q(lt/min)
15	519	50	10.59	169.8
20	862.1	104	14.65	197.4
22	923.4	127.5	16.1	201.6
26	1015	153	19.2	207.6
30	1175.1	171	22.4	232.2
35	1362.5	200	26.4	268.2
40	1579.6	220.5	30.6	306.6

Tabla 9. Datos del comportamiento de la turbina para una carga de 175 W.

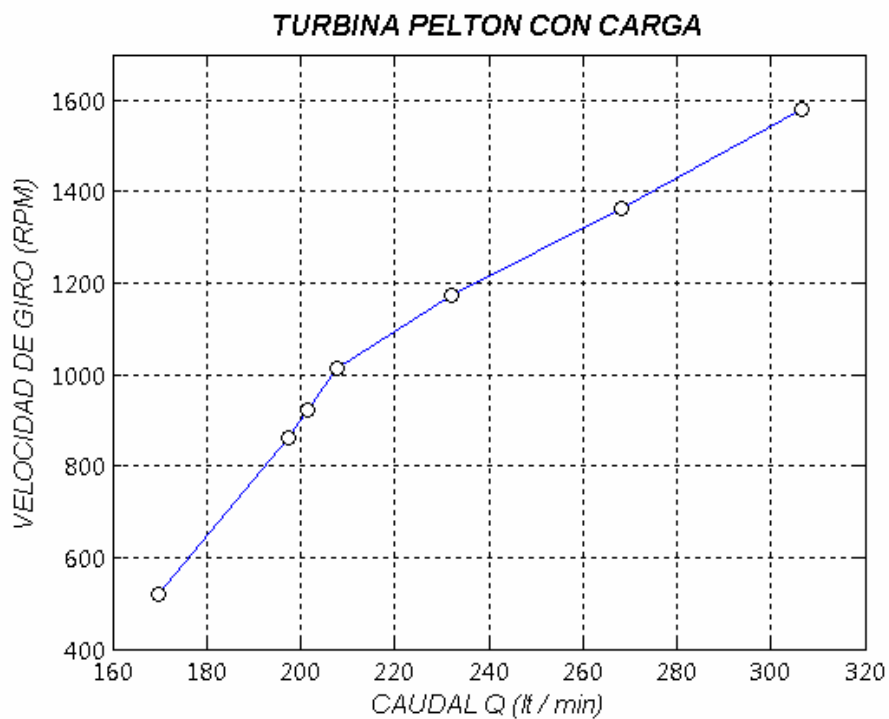


Figura 16. Gráfica (Caudal vs Velocidad de giro)

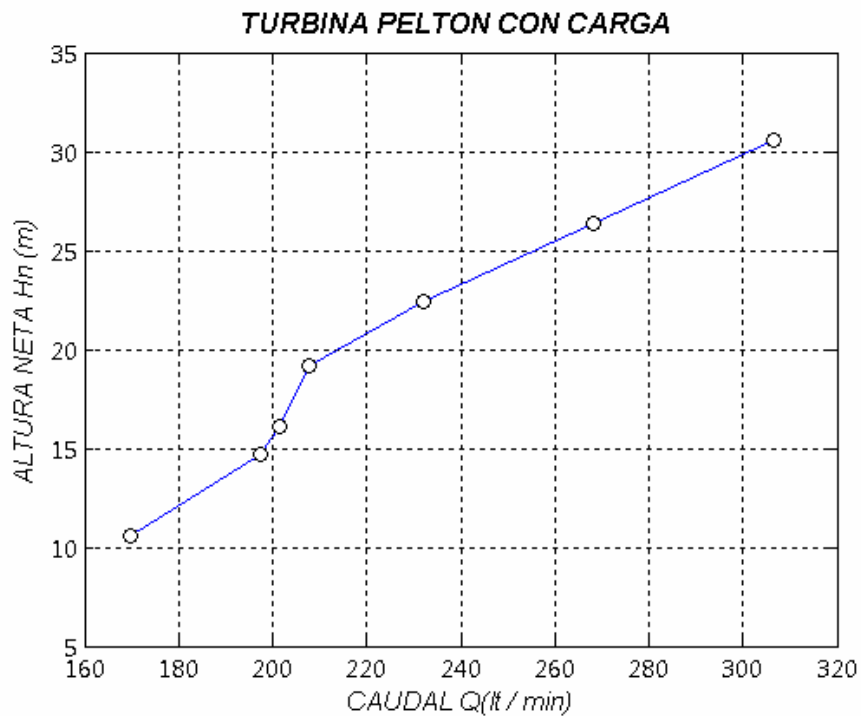


Figura 17. Gráfica (Caudal vs Altura Neta)

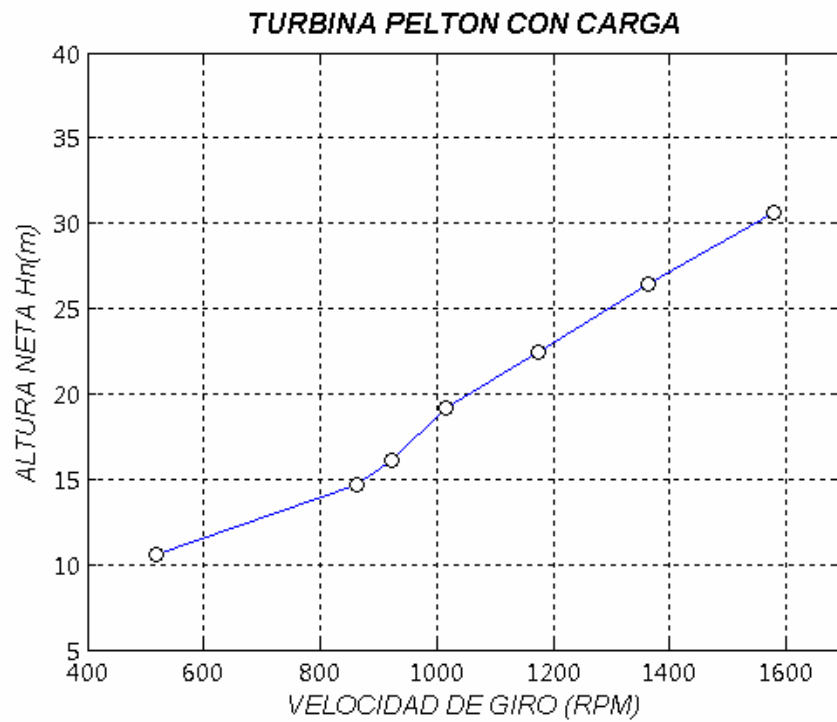


Figura 18. Gráfica (Velocidad de giro vs altura neta)

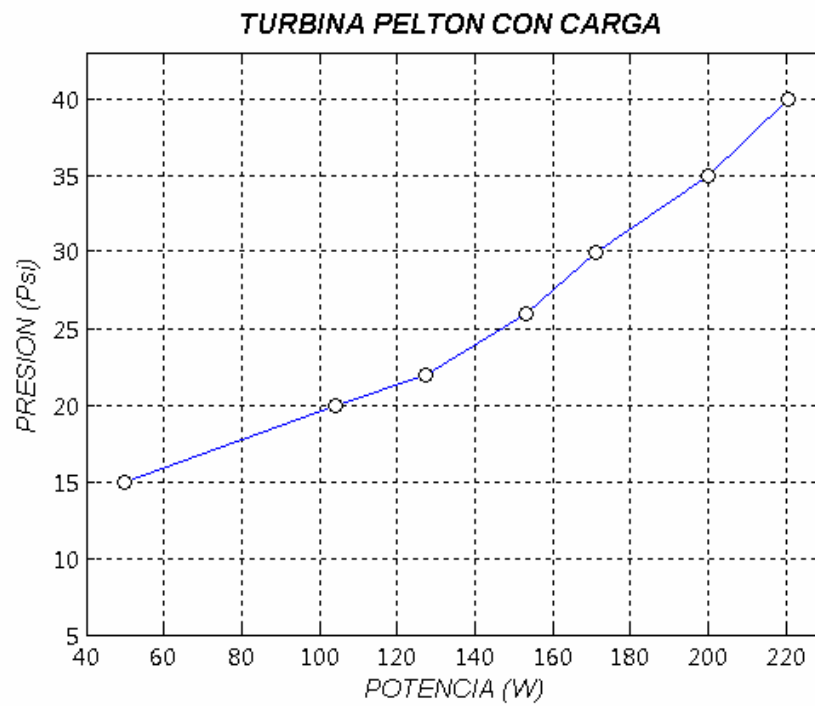


Figura 19. Gráfica (Potencia vs Presión)

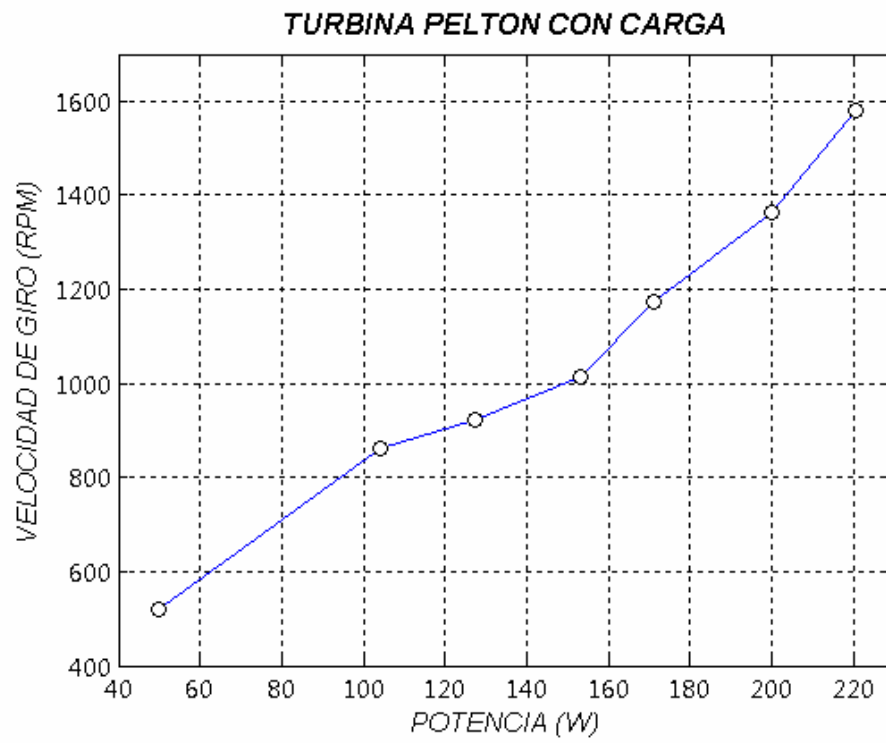


Figura 20. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro)

### 6.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Esta prueba consistió en analizar el comportamiento de la turbina para una carga constante de 175 W, variando la presión.

Como se puede observar en los datos tabulados y realizando una comparación del funcionamiento de esta sin carga se ve una gran disminución en la velocidad de giro debido a que esta carga de 175 W actúa como un freno hacia el sistema.

Presión (Psi)	N (Rpm)	Potencia(W)	Hn(m)	Q(lt/min)
15	519	50	10.59	169.8
40	1579.6	220.5	30.6	306.6

Esta velocidad de giro es una variable muy importante por que se relaciona directamente con la generación de energía. Debido a que a mayor velocidad de giro de la turbina mayor velocidad tendrá el generador, por lo tanto la potencia generada es mayor.

Analizando las gráficas se puede concluir que:

1. Para un caudal entre 200 (lt/min) y 220 (lt/min) la altura neta aumenta significativamente como se observa en la figura 17. Este incremento equivale a 8m, estos valores corresponden para un rango de presión de 22 psi y 30 psi.
2. Haciendo un análisis de estas curvas se puede observar que la turbina se comporta similar forma cuando no tiene ninguna carga, la gran diferencia esta en sus valores de velocidad de giro.
3. La potencia esta relacionada directamente con la presión, ya que como se ha mencionado antes al aumentar la presión aumenta la velocidad de giro y por esta razón la potencia incrementa.

### 6.3 Prueba 3

Funcionamiento de la turbina para una carga constante (375W)

P(psi)	Tiempo(seg)	Tiempo Promedio	Caudal (m3/s)
15	-----	-----	-----
20	t1=7.25; t2=7.15	7.2	3.33 E-3
22	t1=7.05; t2=7.10	7.07	3.39 E-3
26	t1=6.85; t2=6.90	6.87	3.49 E-3
30	t1=6.18; t2=6.26	6.22	3.85 E-3
35	t1=5.36; t2=5.28	5.32	4.51 E-3
40	t1=4.70; t2=4.65	4.67	5.13 E-3

Tabla 10. (Medición de Tiempo y Caudal)

Presión (Psi)	Voltaje (V)	Corriente (A)
15	-----	-----
20	40	1.3
22	45	1.4
26	50	1.5
30	55	1.8
35	60	2
40	70	2.1

Tabla 11. Datos obtenidos del Tablero de Carga

P (Psi)	$U_2$ (m/s)	$V_2$ (m/s)	$V_{r2}$ (m/s)
15	-----	-----	-----
20	3.79	2.92	1.01
22	4.13	2.97	1.28
26	5.17	3.06	2.2
30	5.63	3.37	2.36
35	6.32	3.95	2.49
40	7.83	4.5	3.45

Tabla 12. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades

Presión (Psi)	N (Rpm)	Potencia(W)	Hn(m)	Q(lt/min)
15	-----	-----	-----	-----
20	525.2	52	14.1	199.8
22	572.5	63	15.5	203.4
26	716.4	75	18.5	209.4
30	780.3	99	21.3	231
35	875.6	120	24.9	270.6
40	1084.1	147	28.7	307.8

Tabla 13. Datos del comportamiento de la turbina para una carga de 375 W



Figura 21. Gráfica (Caudal vs Velocidad de giro)

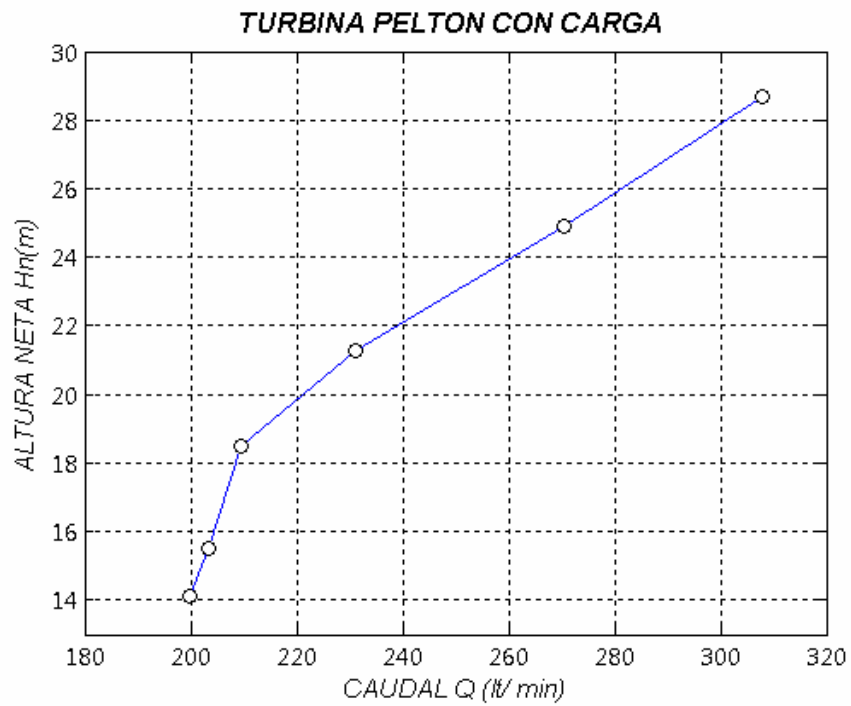


Figura 22. Gráfica (Caudal vs Altura Neta)



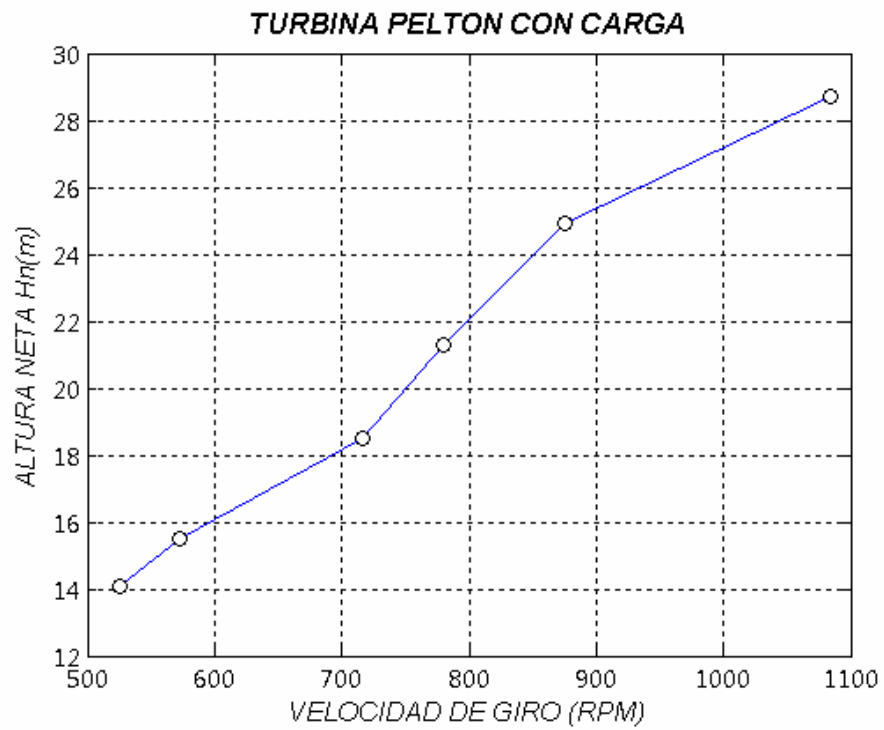


Figura 23. Gráfica (Velocidad de giro vs altura neta)

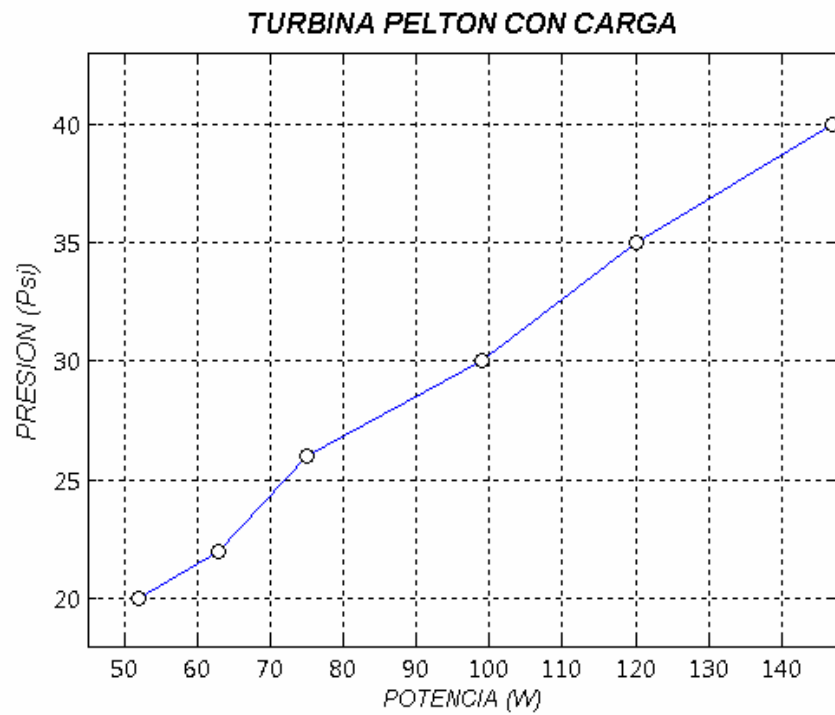


Figura 24 Gráfica (Potencia vs Presión)

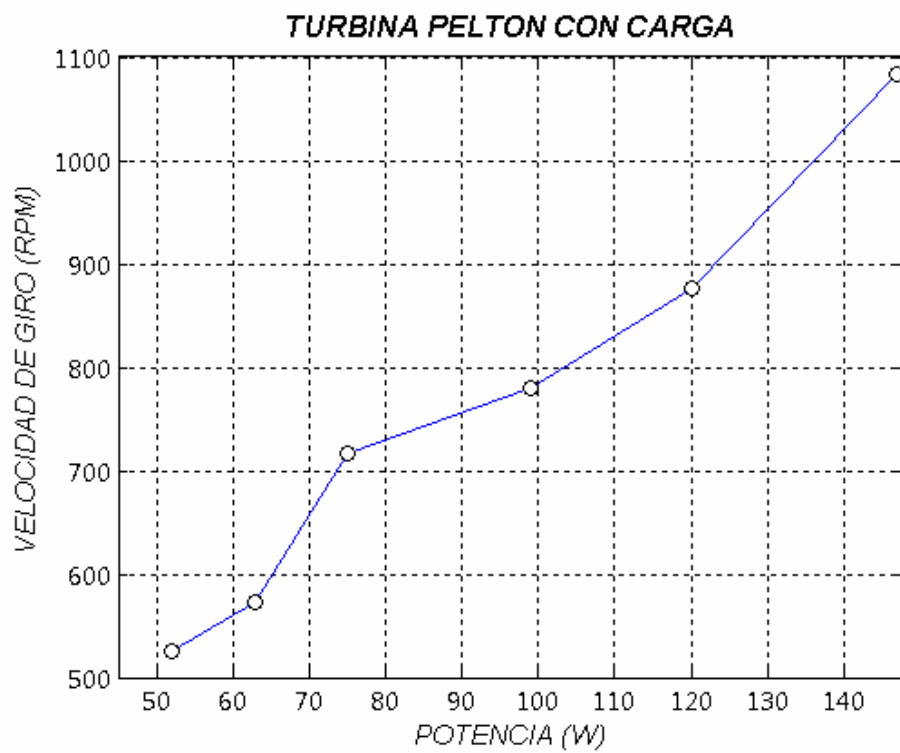


Figura 25. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro)

### 6.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Analizando el comportamiento de la turbina para un valor constante de 375 W y según las gráficas obtenidas se puede afirmar que:

El caudal, la altura neta, la velocidad de giro, la potencia son directamente proporcional a la presión ya que esta es la variable manipulable.

Esta prueba arrojo como resultados los siguientes valores.

N (Rpm)	Potencia(W)	Hn(m)	Q(lt/min)
1084.1	147	28.7	307.8

Estos valores se obtuvieron para una presión de 40 Psi cabe anotar que estos son los más altos alcanzados en esta prueba.

Para una presión de 15 Psi no se tomaron valores ya que la turbina no es capaz de soportar esta carga y tiende a pararse.

La potencia presenta una caída comparada con la prueba anterior la cual fue de 220.5(w), y para esta prueba se obtuvo una potencia de 147 (w), pero este es un comportamiento normal ya que la velocidad de giro disminuye.

#### 6.4 Prueba 4

Comparación del funcionamiento de la turbina para carga completa y media carga

P(psi)	Tiempo(seg)	Tiempo Promedio	Q(m <sup>3</sup> /s)
15	t1=8.30; t2=8.45	8.37	2.86 E-3
20	t1=7.18; t2=7.13	7.15	3.35 E-3
22	t1=7.06; t2=7.20	7.13	3.36 E-3
26	t1=6.76; t2=6.84	6.8	3.52 E-3
30	t1=6.20; t2=6.15	6.17	3.88 E-3
35	t1=5.60; t2=5.42	5.51	4.35 E-3
40	t1=4.65; t2=4.53	4.59	5.22 E-3

Tabla 14. (Medición de Tiempo y Caudal)

Presión (Psi)	Voltaje (V) (175 W)	Corriente (A) (175 W)	Voltaje (V) (375 W)	Corriente (A) (375 W)
15	50	1	-----	-----
20	80	1,3	40	1.3
22	85	1,5	45	1.4
26	90	1,7	50	1.5
30	95	1,8	55	1.8
35	100	2	60	2
40	105	2,1	70	2.1

Tabla 15. (Datos obtenidos del tablero de carga).

Presión (Psi)	Hneto (m)	N rpm (175 W)	Potencia (175 W)	N rpm (375 W)	Potencia ()
15	12.2	648.3	50	-----	-----
20	16.4	826.4	104	515.3	52
22	18.4	908	127.5	562.6	63
26	24.1	1032.7	153	732.8	75
30	27.1	1226.3	171	796.4	99
35	34	1341.8	200	857	120
40	39.7	1621.1	220.5	1062.4	147

Tabla 16. (Datos del comportamiento de la turbina)

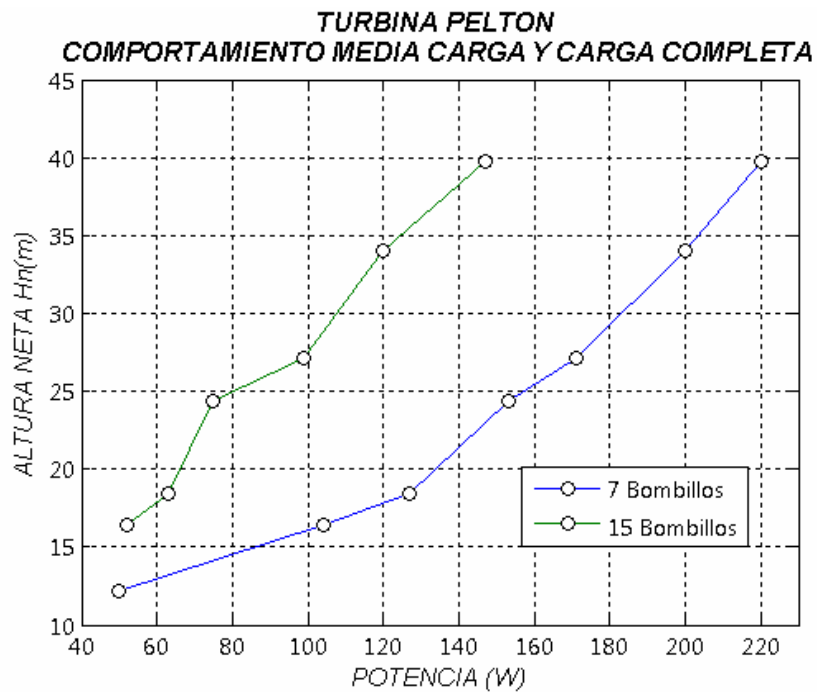


Figura 26. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

**TURBINA PELTON  
COMPORTAMIENTO PARA MEDIA Y CARGA COMPLETA**

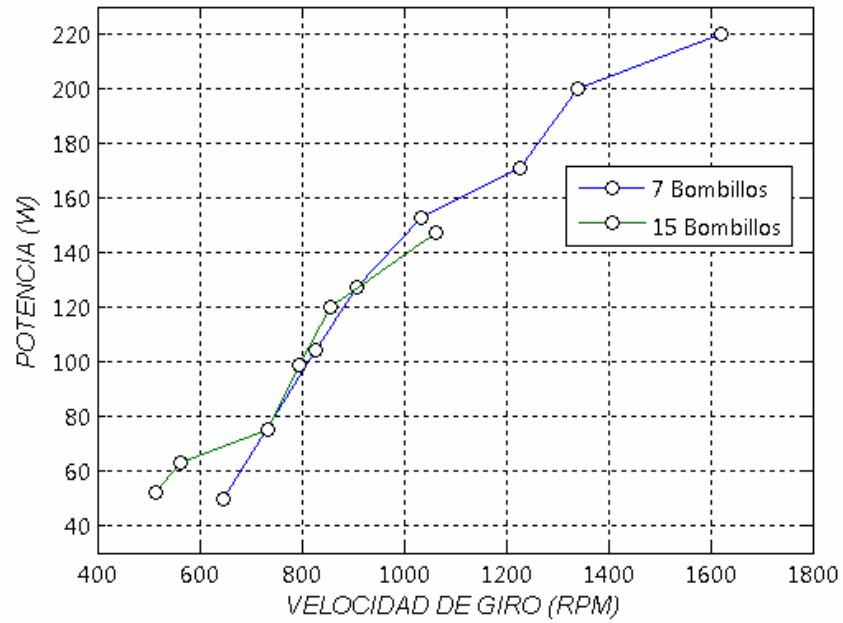


Figura 27. Gráfica (Velocidad de Giro vs Presión)

**TURBINA PELTON  
COMPORTAMIENTO MEDIA CARGA Y CARGA COMPLETA**

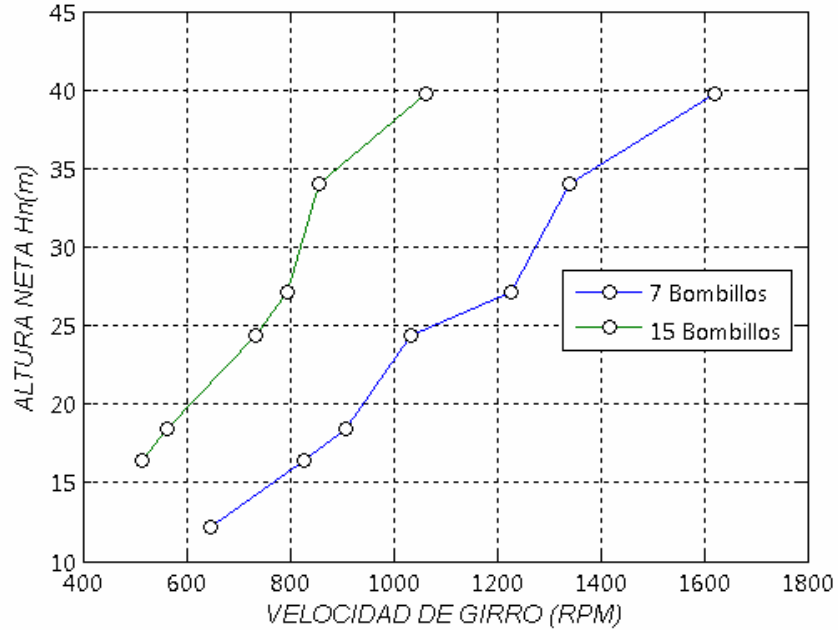


Figura 28 Gráfica (Velocidad de Giro vs Altura Neta)

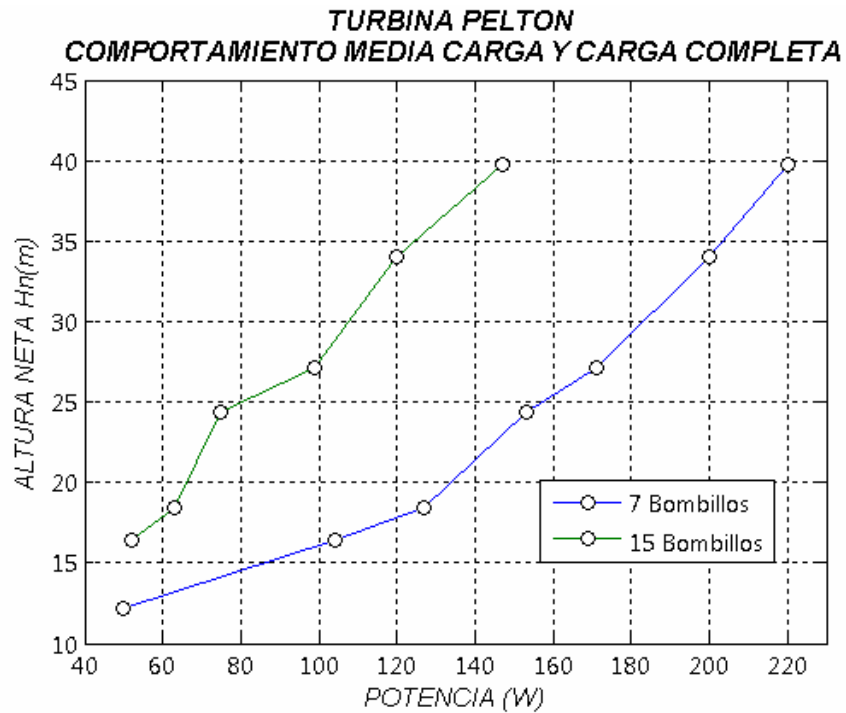


Figura 29. Gráfica (Potencia vs Altura Neta)

#### 6.4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Esta prueba es muy importante ya que por medio de esta se logra comparar el funcionamiento de la turbina sometida a diferentes cargas, para esta comparación se tomó media carga y carga completa. Según las graficas obtenidas en las pruebas se puede notar que a pesar de contar con la misma altura neta de 40 m la turbina genera mas potencia para media carga que para una carga alta, se puede ver que la potencia para 15 bombillos es casi la mitad que para 7 bombillos.

Se puede ver que la velocidad de giro a medida que aumenta la carga y la potencia disminuye esto ocurre porque la carga funciona como un freno hacia la turbina, como datos máximos variando la presión se obtuvieron:

Presión (Psi)	Hneto (m)	N rpm (175W)	Potencia (175W)	N rpm (175W)	Potencia (175W)
40	312	1621.1	220.5	1062.4	147

## 6.5 Prueba 5

Funcionamiento de la turbina con saltos de características variables

P(psi)	Tiempo(seg)	Tiempo Promedio	Q (m3/s)
15	t1=8.56; t2=8.63	8.59	2.79 E-3
20	t1=7.10; t2=7.32	7.2	3.32 E-3
22	t1=7.21; t2=7.16	7.07	3.34 E-3
26	t1=6.93; t2=6.74	6.87	3.51 E-3
30	t1=6.08; t2=6.21	6.22	3.9 E-3
35	t1=5.39; t2=5.45	5.32	4.42 E-3
40	t1=4.71; t2=4.51	4.67	5.20 E-3

Tabla 17. (Medición de Tiempo y Caudal)

Presión (Psi)	# Bombillos	Voltaje (V)	Corriente (A)
15	2	80	0.2
20	4	95	0.7
22	6	88	1.7
26	8	85	1.8
30	10	87	2.1
35	12	90	2.6
40	15	87	3.5

Tabla 18. (Datos obtenidos del tablero de Carga)



P (Psi)	U <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	Vr <sub>2</sub> (m/s)
15	5.95	2.44	3.5
20	6.88	2.91	4.03
22	6.99	2.92	4.1
26	7.05	3.07	4.04
30	6.94	3.42	3.6
35	6.84	3.87	3.07
40	7.11	4.56	2.7

Tabla 19. Datos obtenidos del Triangulo de Velocidades

Presión (Psi)	# Bombillos	Hn (m)	RPM	Potencia(W)	Q(lt/min)
15	2	11.1	824.2	16	160.4
20	4	14.8	952.6	66.5	199.2
22	6	16.3	968.3	149	200.4
26	8	19.1	976	153	210.6
30	10	21.7	961.5	182.7	234
35	12	25.3	947.3	234	265.2
40	15	28.5	985.3	304.5	312

Tabla 20. (Datos obtenidos del comportamiento de la turbina)

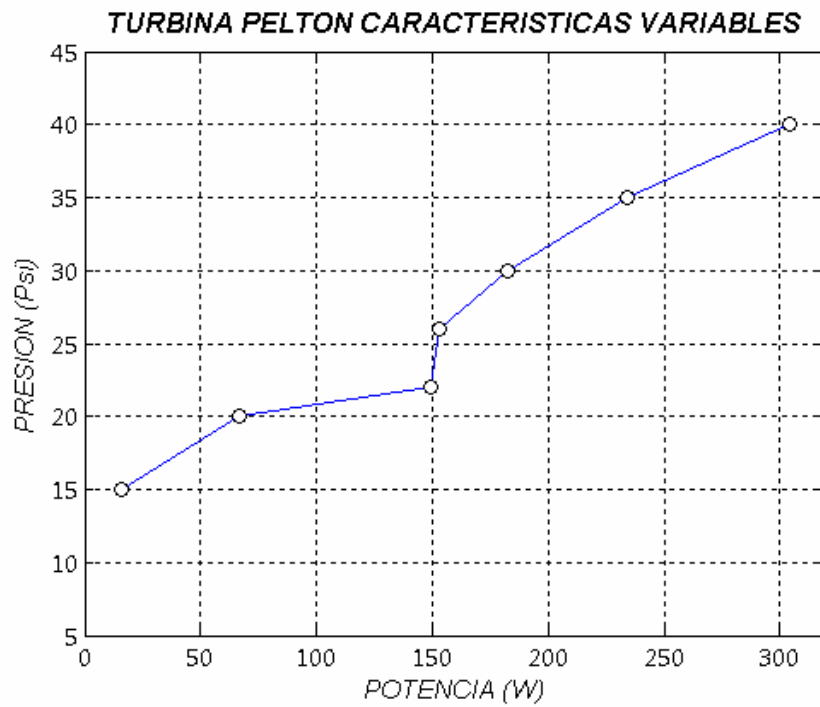


Figura 30. Gráfica (Potencia vs Presión)

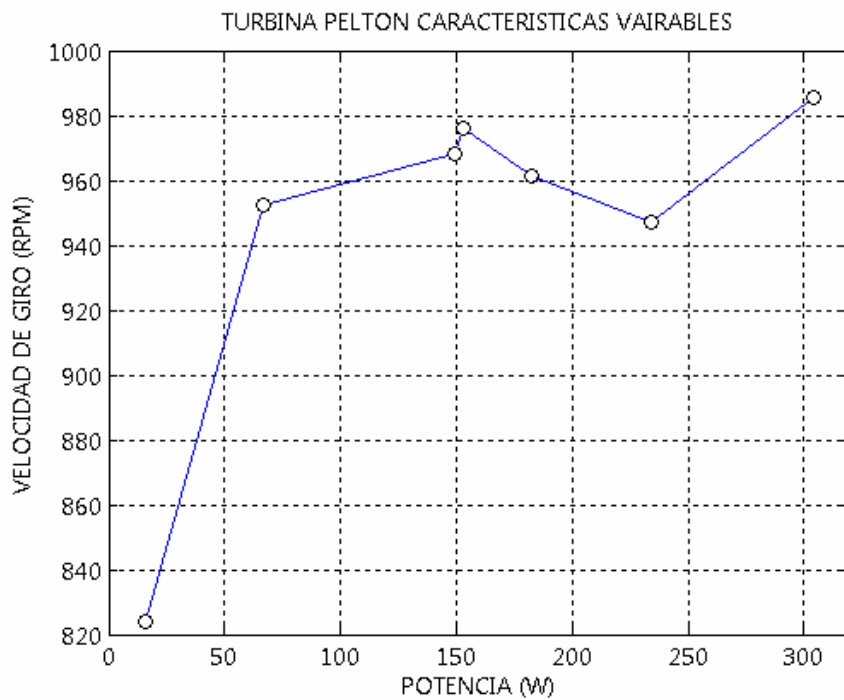


Figura 31. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro)

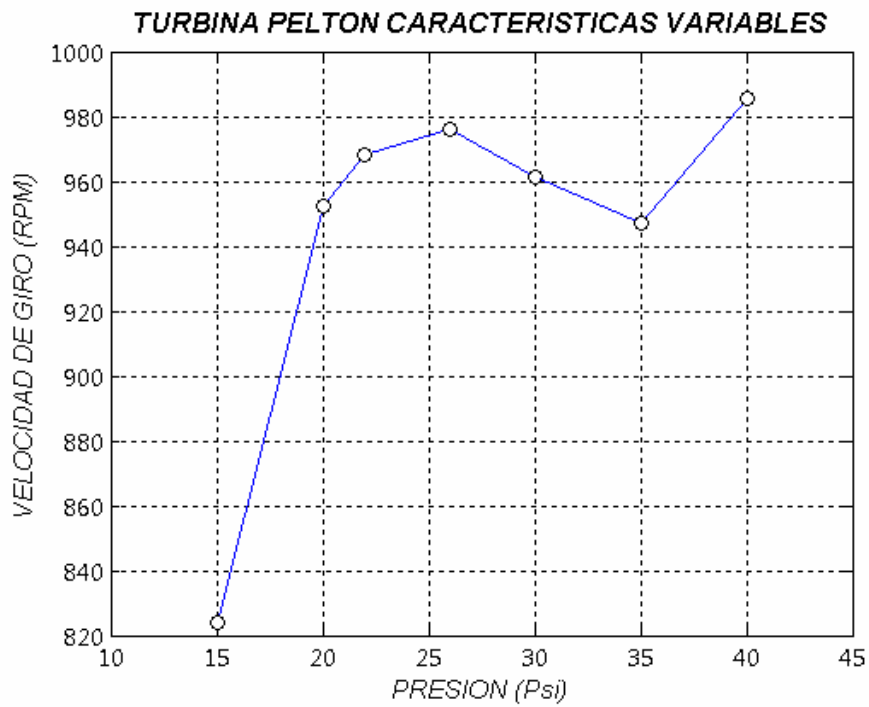


Figura 32. Gráfica (Presión vs Velocidad de Giro)

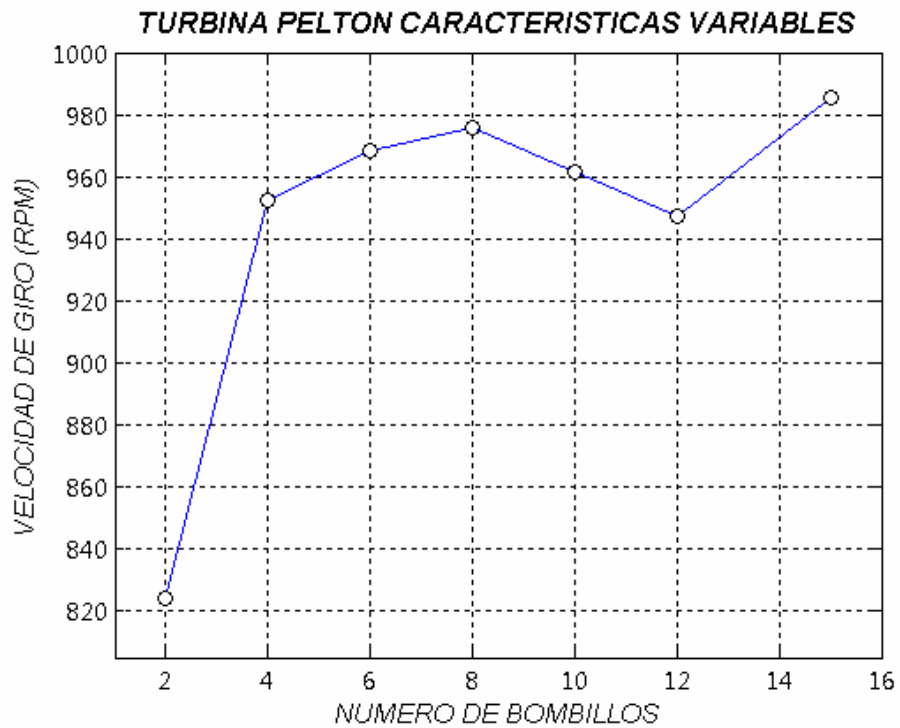


Figura 33. Gráfica (Numero de Bombillos vs Velocidad de Giro)

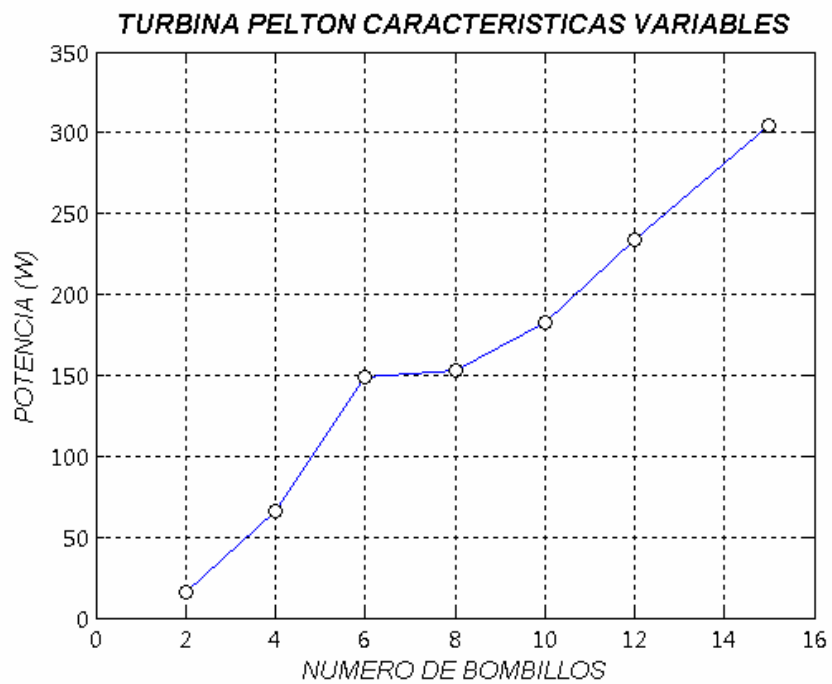


Figura 34. Gráfica (Numero de Bombillos vs Potencia)

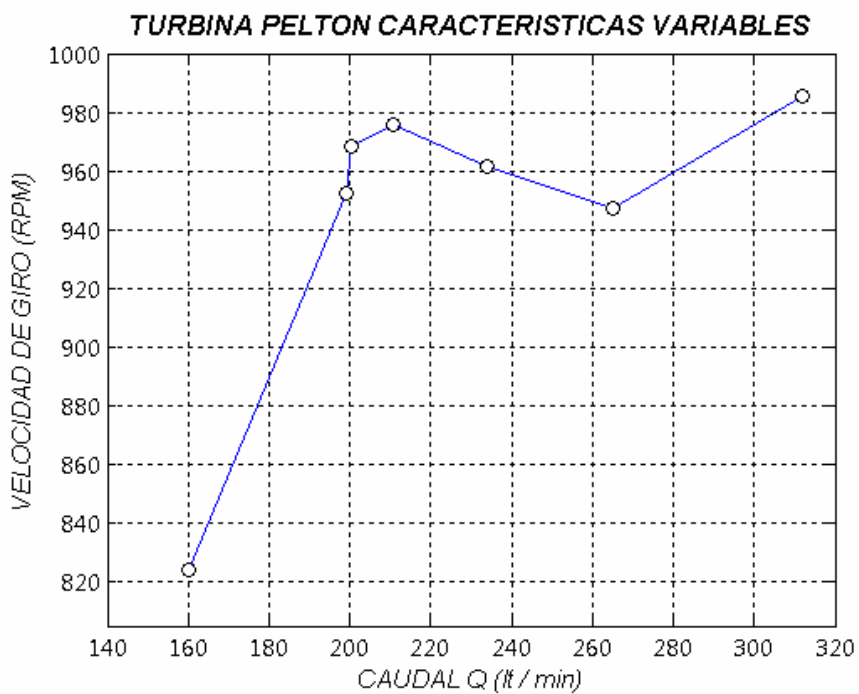


Figura 35. Gráfica (Caudal vs Velocidad de Giro)

### 6.5.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Esta prueba se realizó variando presión y carga esto con el fin de observar el comportamiento de la turbina con estas condiciones ya que anteriormente esta carga siempre había permanecido constante, según los resultados obtenidos en esta prueba la potencia va aumentado a medida que la presión lo hace, los resultados más significativos se encuentran en la velocidad de giro ya que para una carga de 10 bombillos y una presión de 30 psi la velocidad cae en un valor significativo pero al aumentar la presión esta recupera su velocidad, sabiendo que esta velocidad de giro va relacionada con la potencia generada.

También se observa que el número de bombillos encendidos es directamente proporcional a la potencia generada, esto se observa en la tabla 20.

Para esta prueba los valores máximos fueron a una presión de 40psi

Presión (Psi)	# Bombillos	Hn (m)	RPM	Potencia(W)	Q(lt/min)
40	15	28.5	985.3	304.5	312

## 6.6 Prueba. 6 PRUEBAS DE EFICIENCIA

### Tabulación de datos # 1

**Presión: 15 Psi**

<b>t1(s)</b>	<b>t2(s)</b>	<b>t promedio(s)</b>
8,53	8,1	8,315

Tabla 21. (Medición de tiempo Promedio)

<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (lt / min)</b>	<b>V2 (m/s)</b>
2,88e-3	172,8	2.52

Tabla 22. (Medición de Caudal y Velocidad)

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * Hn$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100$$

RPM	# Bombillos	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica(W)
875.8	1	90	0.1	9
816.3	2	80	0.2	16
800.2	3	78	0.3	23.4
705.8	4	70	0.5	35
658.2	5	68	0.6	40.8
603.7	6	60	0.6	36
545.2	7	50	0.6	30
410.8	8	50	0.7	35
371.4	9	50	0.8	40
339.6	10	49	0.9	44.1
323.7	11	40	0.9	36
168.2	12	39	0.7	27.3
-----	13	-----	-----	-----
-----	14	-----	-----	-----
-----	15	-----	-----	-----

Tabla 23. (Potencia Eléctrica)

RPM	U2 (m/s)	Vr2 (m/s)	Hn (m)	Potencia T (W)	Eficiencia (%)
875.8	6.32	3.8	11.2	316.1	2.84
816.3	5.89	3.4	11	310.4	5.1
800.2	5.7	3.2	11	310.4	7.5
705.8	5	2.54	10.8	304.8	11.4
658.2	4.7	2.2	10.7	301.9	13.5
603.7	4.3	1.85	10.6	299.1	12
545.2	3.9	1.4	10.6	299.1	10
410.8	2.9	0.5	10.5	296.3	11
371.4	2.6	0.4	10.5	296.3	13
339.6	2.4	0.4	10.5	296.3	14
323.7	2.3	0.4	10.5	296.3	12
168.2	1.2	1.3	10.5	296.3	9
-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 24. (Eficiencia para una presión de 15 Psi)



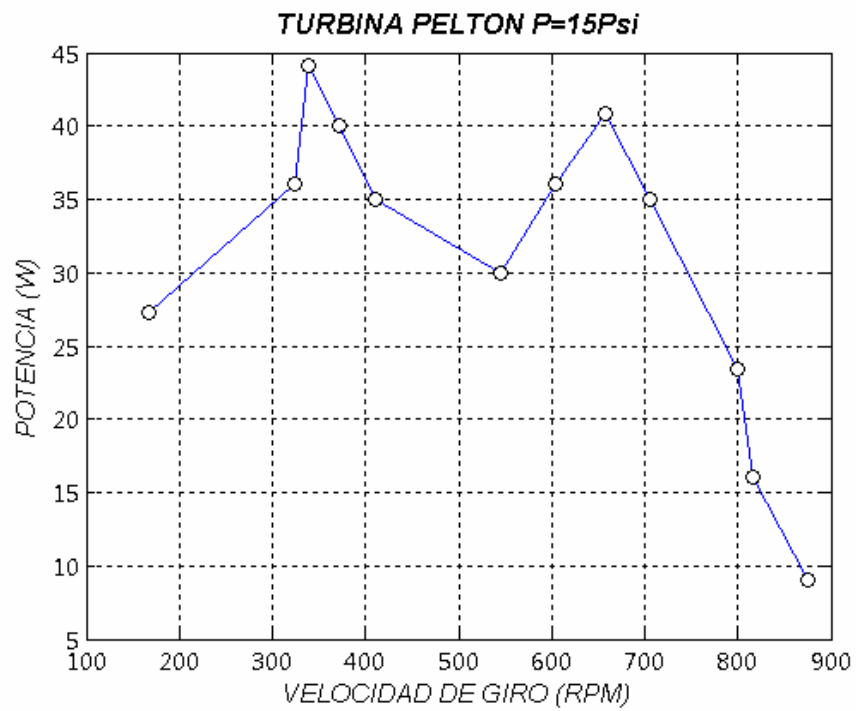


Figura 36. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

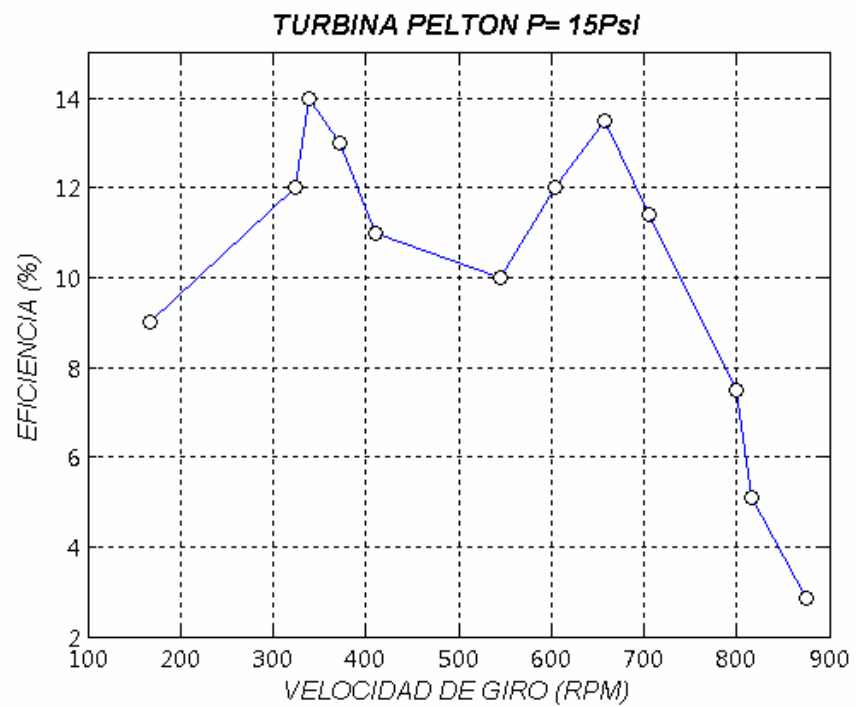


Figura 37 Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia)

**Tabulación de datos # 2**

**Presión: 20 Psi**

<b>t1(s)</b>	<b>t2(s)</b>	<b>t promedio(s)</b>
7.43	7.98	7.705

Tabla 25. (Medición de tiempo Promedio)

<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (lt / min)</b>	<b>V2 (m/s)</b>
3.11e-3	186.6	2.72

Tabla 26. (Medición de Caudal y Velocidad)

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * Hn$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100$$

RPM	# Bombillos	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica(W)
1120	1	110	0.1	11
1078	2	105	0.3	31.5
985.4	3	100	0.5	50
978.9	4	95	0.7	66.5
906.2	5	90	1	90
873.7	6	82	1.1	90.2
835.4	7	80	1.3	104
781.7	8	73	1.4	102.2
715.3	9	70	1.5	105
659.1	10	65	1.5	97.5
616.8	11	60	1.7	102
604.5	12	55	1.8	99
555.1	13	52	1.9	98.8
525.6	14	50	2	100
506.9	15	40	2.1	84

Tabla 27. (Potencia Eléctrica para una presión 20 Psi)

<b>RPM</b>	<b>U (m/s)</b>	<b>Vr (m/s)</b>	<b>Hn (m)</b>	<b>Potencia T (W)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
1120	8	5.3	15.50	472.4	2.3
1078	7.7	5.05	15.37	468.4	6.7
985.4	7.1	4.45	15.08	459.6	10.87
978.9	7.07	4.42	15.06	458.9	14.4
906.2	6.5	3.85	14.82	451.6	19.9
873.7	6.05	3.40	14.65	446.5	20.2
835.4	6.03	3.38	14.65	446.5	23.2
781.7	5.64	3.0	14.52	442.5	23
715.3	5.16	2.52	14.39	438.5	23.7
659.1	4.76	2.13	14.30	435.8	22.3
616.8	4.45	1.83	14.24	434	23.5
604.5	4.36	1.66	14.21	433	22.8
555.1	4.01	1.40	14.17	431.8	22.8
525.6	3.79	1.20	14.14	430.9	23.2
506.9	3.6	1.02	14.12	430.3	19.5

Tabla 28. (Eficiencia para una presión 20 Psi)

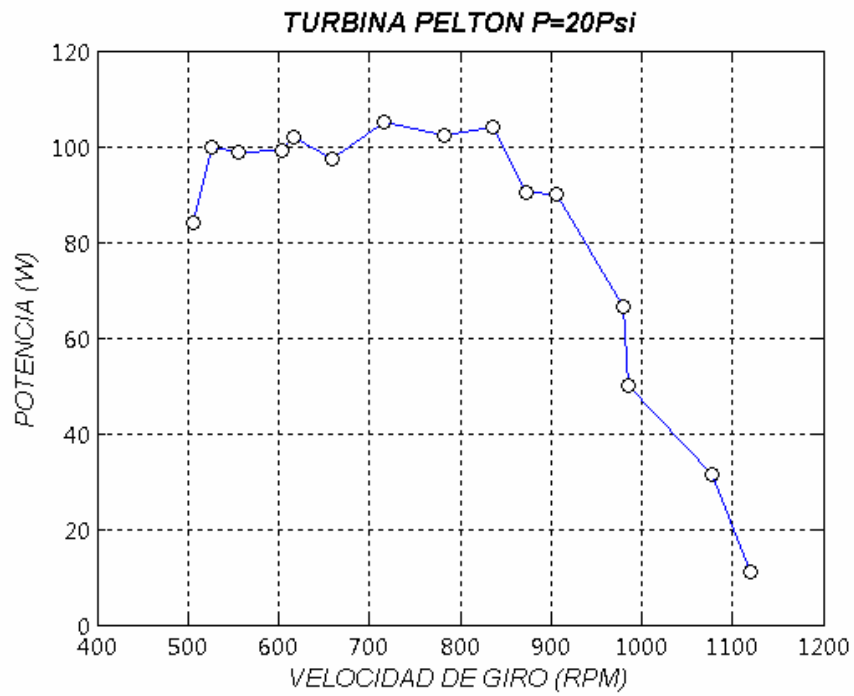


Figura 38. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

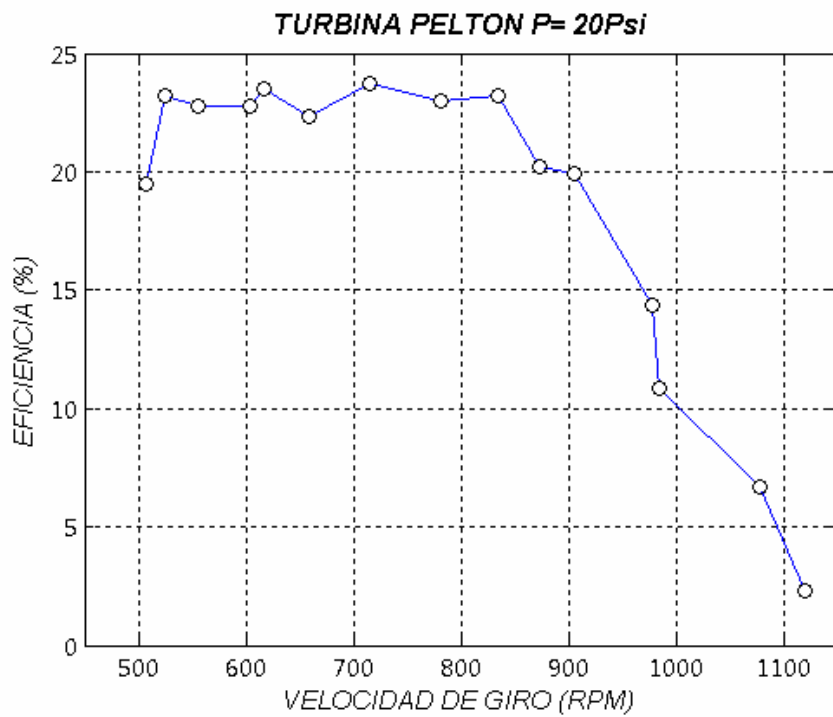


Figura 39. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia)

### Tabulación de datos # 3

**Presión: 22 Psi**

<b>t1(s)</b>	<b>t2(s)</b>	<b>t promedio(s)</b>
7.18	7.05	7.11

Tabla 29. (Medición de tiempo Promedio)

<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (lt / min)</b>	<b>V2 (m/s)</b>
3.37e-3	202.2	2.9

Tabla 30. (Medición de Caudal y Velocidad)

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * Hn$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100$$

RPM	# Bombillos	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica(W)
1328	1	110	0.1	11
1245.4	2	105	0.3	31.5
1162.8	3	100	0.5	50
1080.3	4	98	1.1	107.8
983.7	5	92	1.3	119.6
933.5	6	88	1.4	123.2
915.2	7	85	1.5	127.5
864.1	8	76	1.7	129.2
812.6	9	72	1.8	129.6
761.5	10	68	1.9	131.1
710.4	11	65	2	130
673.2	12	60	2	120
600.2	13	55	2.1	115.5
581.6	14	50	2.5	125
557.3	15	48	2.5	120

Tabla 31. (Potencia Eléctrica para una presión 22 Psi)

<b>RPM</b>	<b>U2 (m/s)</b>	<b>Vr2 (m/s)</b>	<b>Hn (m)</b>	<b>Potencia T (W)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
1328	9.5	6.65	17.72	585.2	1.87
1245.4	8.99	6.14	17.39	574.3	5.48
1162.8	8.40	5.55	17.04	562.76	8.8
1080.3	7.80	4.95	16.72	552.19	19.5
983.7	7.10	4.25	16.39	541.2	22
933.5	6.74	3.9	16.24	536.3	22.9
915.2	6.61	3.77	16.19	534.6	23.8
864.1	6.24	3.40	16.05	530	24.3
812.6	5.87	3.03	15.93	526.1	24.6
761.5	5.50	2.67	15.83	522.8	25
710.4	5.13	2.31	15.74	519.8	25
673.2	4.86	2.09	15.69	518.1	23.1
600.2	4.33	1.59	15.59	514.8	22.4
581.6	4.20	1.47	15.58	514.5	24.2
557.3	4.02	1.31	15.55	513.5	23.3

Tabla 32. (Eficiencia para una presión 22 Psi)



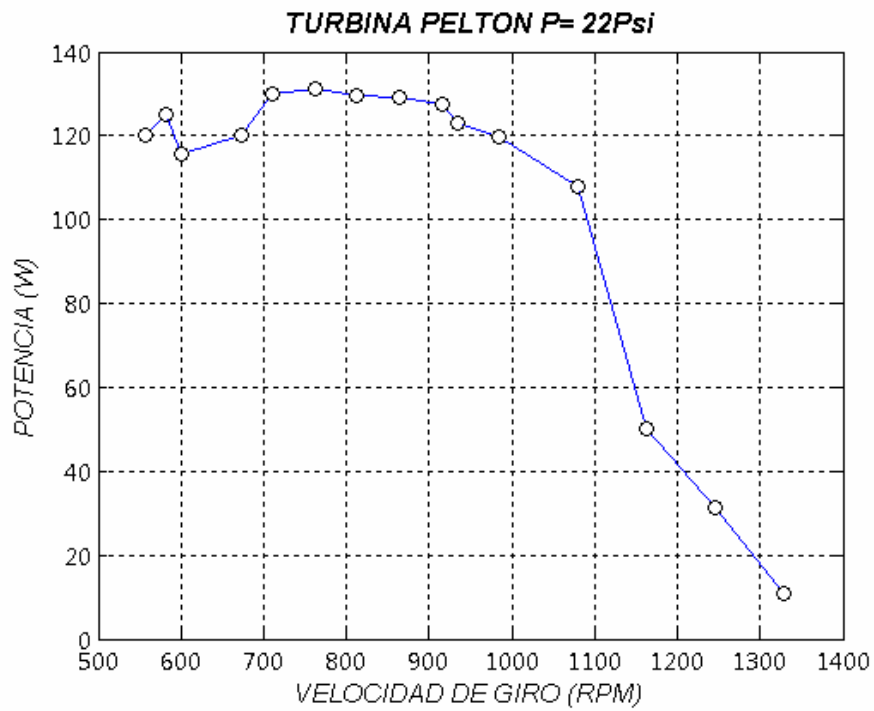


Figura 40. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

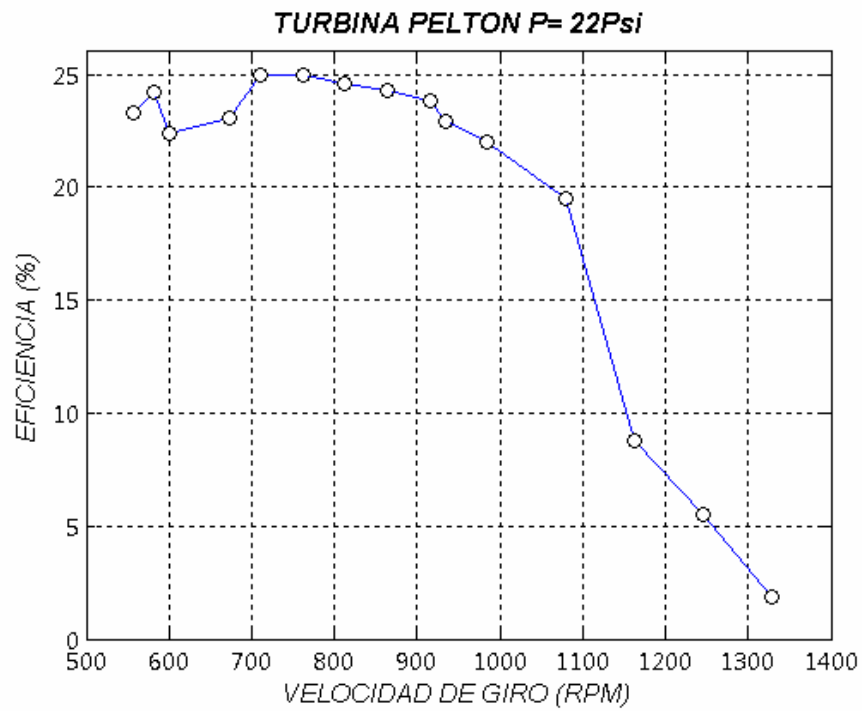


Figura 41. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia)

#### Tabulación de datos # 4

**Presión: 26 Psi**

<b>t1(s)</b>	<b>t2(s)</b>	<b>t promedio(s)</b>
7.08	6.93	7.05

Tabla 33. (Medición de tiempo Promedio)

<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (lt / min)</b>	<b>V2 (m/s)</b>
3.4e-3	204	2.98

Tabla 34. (Medición de Caudal y Velocidad)

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * Hn$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100$$

RPM	# Bombillos	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica(W)
1745	1	110	0.1	11
1597.5	2	105	0.7	73.5
1439.9	3	100	0.9	90
1317.4	4	98	1	98
1107	5	95	1.3	123.5
1074.3	6	92	1.5	138
1032.7	7	90	1.7	153
965	8	85	1.7	153
927.6	9	80	1.8	152
898.9	10	75	1.9	150
833.2	11	70	2	140
765.5	12	65	2.1	136.5
737.8	13	62	2.2	142.6
705.4	14	58	2.3	145
698.2	15	55	2.5	154

Tabla 35. (Potencia Eléctrica para una presión 26 Psi)

<b>RPM</b>	<b>U2 (m/s)</b>	<b>Vr2 (m/s)</b>	<b>Hn (m)</b>	<b>Potencia T (W)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
1745	12.6	9.6	22.9	763	1.44
1597.5	11.54	8.6	22	733	10
1439.9	10.4	7.5	21.1	703	12.8
1317.4	9.51	6.61	20.5	683	14.3
1107	7.99	5.1	19.6	653	18.9
1074.3	7.76	4.87	19.5	649	21.2
1032.7	7.46	4.57	19.3	643	23.7
965	6.97	4	19.1	636	24
927.6	6.70	3.82	19	633	24
898.9	6.49	3.61	18.9	629	23.8
833.2	6.02	3.1	18.7	623	22.4
765.5	5.53	2.67	18.6	619	22
737.8	5.33	2.48	18.6	619	23
705.4	5.09	2.24	18.5	616	23.5
698.2	5.04	2.2	18.5	616	25

Tabla 36. (Eficiencia para una presión 26 Psi)

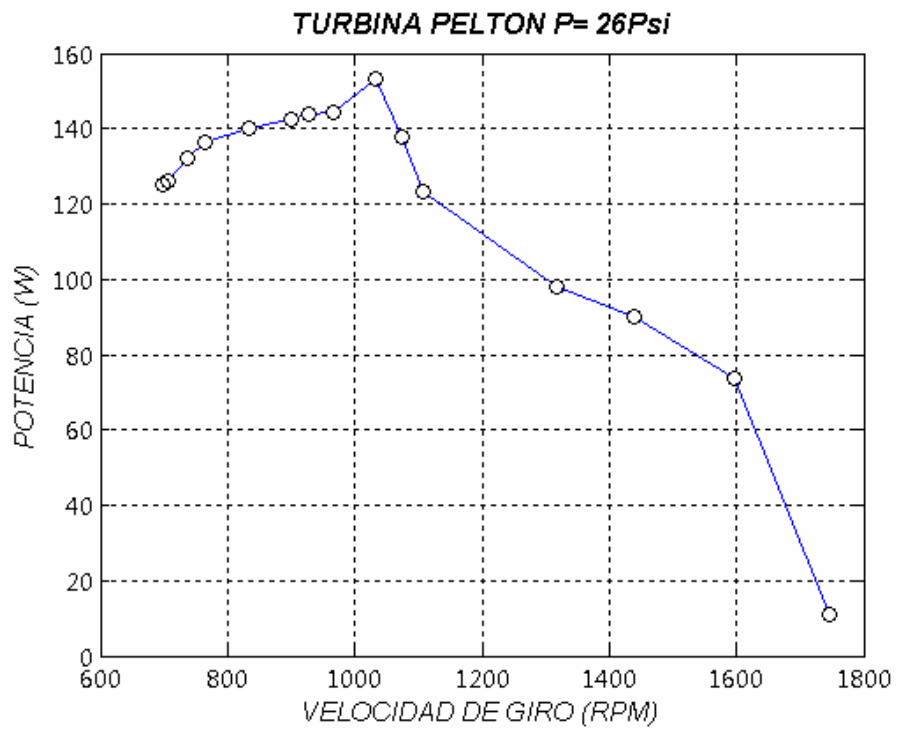


Figura 42. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

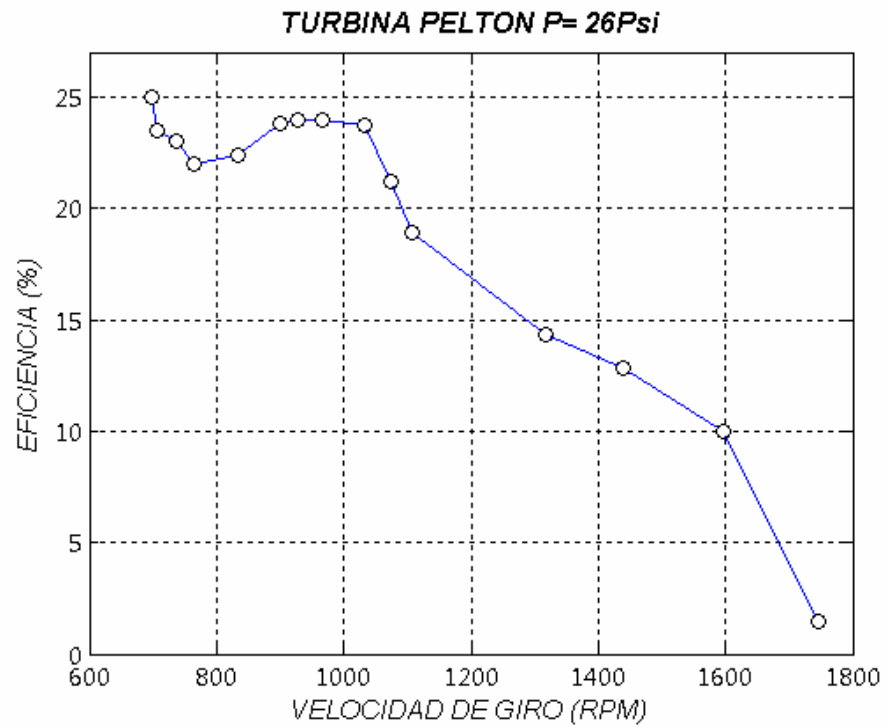


Figura 43. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia)

**Tabulación de datos # 5**

**Presión: 30 Psi**

<b><i>t1(s)</i></b>	<b><i>t2(s)</i></b>	<b><i>t promedio(s)</i></b>
6.26	6.19	6.22

Tabla 37. (Medición de tiempo Promedio)

<b><i>Q (m3/s)</i></b>	<b><i>Q (lt / min)</i></b>	<b><i>V2 (m/s)</i></b>
3.85e-3	231	3.3

Tabla 38. (Medición de Caudal y Velocidad)

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * Hn$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100$$

<b>RPM</b>	<b># Bombillos</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Potencia Eléctrica(W)</b>
1908.2	1	110	0.3	33
1741.1	2	110	0.6	66
1566.2	3	105	1	105
1435	4	102	1.4	142.8
1263.4	5	101	1.5	151.5
1194.7	6	98	1.7	160
1103	7	95	1.8	171
1060.5	8	92	1.9	174.8
1008	9	90	2	180
953.5	10	88	2.1	184.8
910.3	11	85	2.1	178.5
857.7	12	80	2.2	176
804.3	13	70	2.4	168
799.2	14	65	2.5	162.5
763.5	15	55	2.7	148.5

Tabla 39. (Potencia Eléctrica para una presión 30 Psi)

<b>RPM</b>	<b>U2 (m/s)</b>	<b>Vr2 (m/s)</b>	<b>Hn (m)</b>	<b>Potencia T (W)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
1908.2	13.7	10	26.2	988	3.3
1741.1	12.5	9.2	25.4	958	6.8
1566.2	11.3	8	24.3	916	11.4
1435	10.3	7	23.6	890	16
1263.4	9.1	5.9	22.8	860	17.6
1194.7	8.6	5.4	22.5	848	18.8
1103	7.9	4.7	22.2	837	20.4
1060.5	7.6	4.4	22	830	21
1008	7.2	4	21.9	826	21.7
953.5	6.8	3.6	21.7	818	22.5
910.3	6.5	3.3	21.6	814	21.9
857.7	6.1	2.9	21.5	811	21.7
804.3	5.8	2.6	21.4	807	20.8
799.2	5.7	2.5	21.4	807	20.1
763.5	5.5	2.3	21.3	803	18.4

Tabla 40. (Eficiencia para una presión 30 Psi)



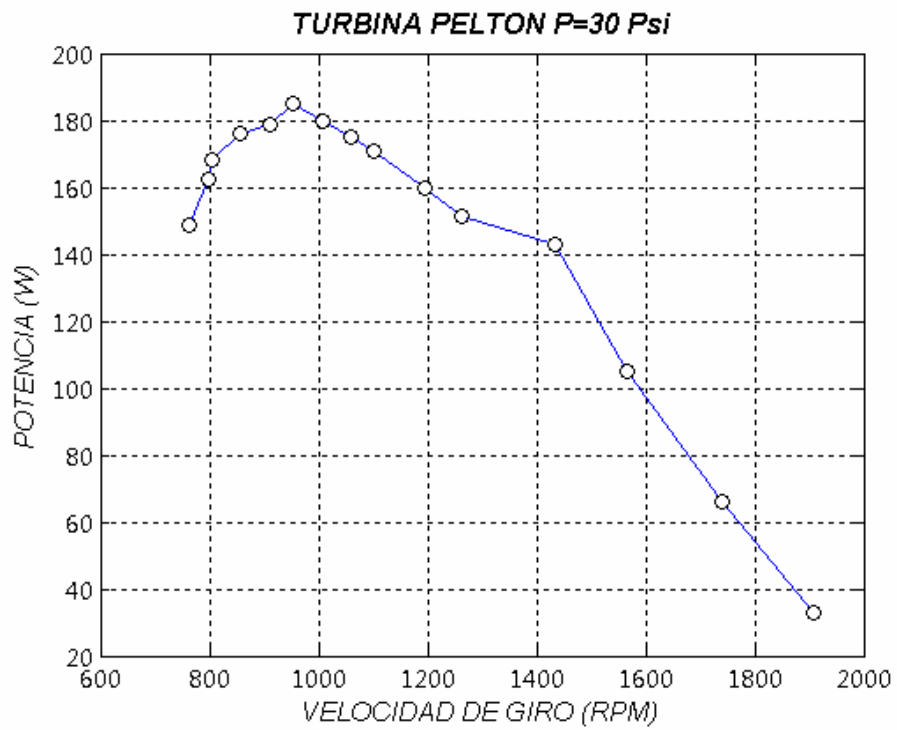


Figura 44. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

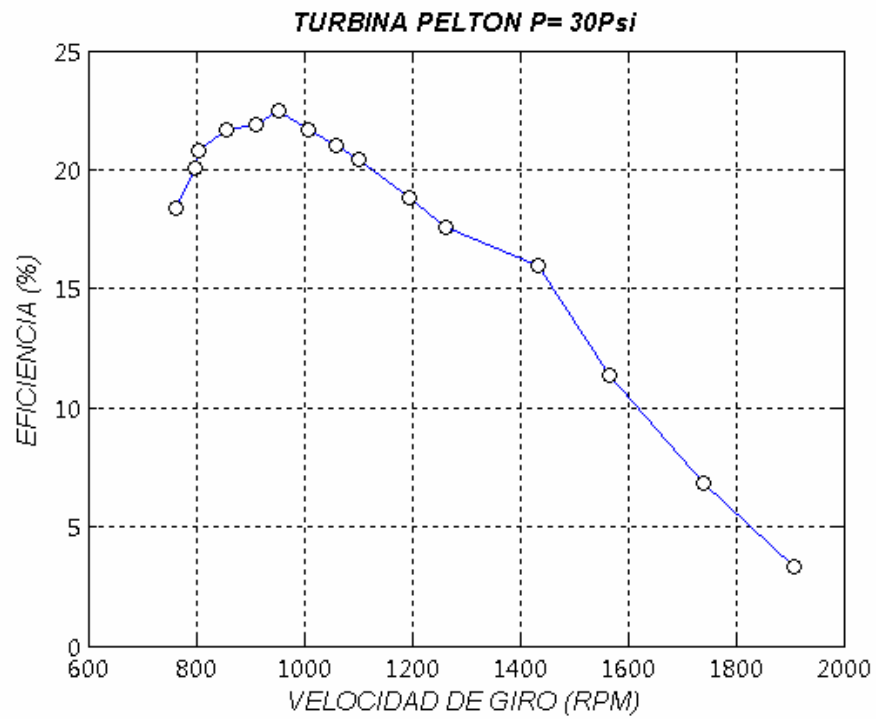


Figura 45. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia)

**Tabulación de datos # 6**

**Presión: 35 Psi**

<b>t1(s)</b>	<b>t2(s)</b>	<b>t promedio(s)</b>
5.42	5.28	5.35

Tabla 41. (Medición de tiempo Promedio)

<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (lt / min)</b>	<b>V2 (m/s)</b>
4.48e-3	268.8	3.92

Tabla 42. (Medición de Caudal y Velocidad)

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * Hn$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100$$

RPM	# Bombillos	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica(W)
2533	1	110	0.3	33
2375.4	2	107	0.7	74.9
2205.8	3	105	1.3	136.5
2013.2	4	103	1.5	154.5
1794.6	5	101	1.6	161.6
1533	6	101	1.8	181.8
1297.3	7	100	2	200
1203.4	8	90	2.1	189
1163	9	85	2.2	187
1106.3	10	80	2.3	184
1009.6	11	75	2.4	180
943.5	12	70	2.5	175
889.1	13	65	2.6	169
863.7	14	62	2.7	167
826.8	15	60	2.7	162

Tabla 43. (Potencia Eléctrica para una presión 35 Psi)

<b>RPM</b>	<b>U2 (m/s)</b>	<b>Vr2 (m/s)</b>	<b>Hn (m)</b>	<b>Potencia T (W)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
2533	18.3	14.5	35.3	1549	2.1
2375.4	17.1	13.3	33.6	1475	5
2205.8	15.9	12.1	33.2	1457	9.3
2013.2	14.5	10.7	30.4	1334	11.5
1794.6	12.9	9.1	28.8	1264	12.7
1533	11	7.2	27.2	1194	15.2
1297.3	9.3	5.5	26.1	1145	17.4
1203.4	8.6	4.8	25.7	1128	16.7
1163	8.4	4.6	25.6	1123	16.6
1106.3	7.9	4.1	25.4	1115	16.5
1009.6	7.2	3.4	25.2	1106	16.2
943.5	6.8	3.1	25.1	1101	15.8
889.1	6.4	2.7	24.9	1093	15.4
863.7	6.2	2.5	24.9	1093	15.2
826.8	5.9	2.2	24.8	1088	14.8

Tabla 44. (Eficiencia para una presión 35 Psi)

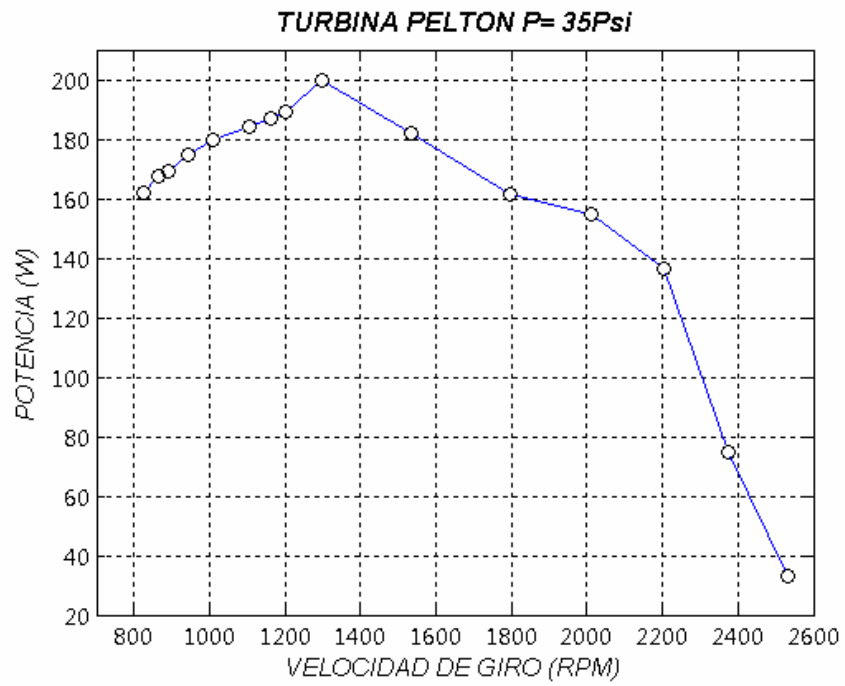


Figura 46. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

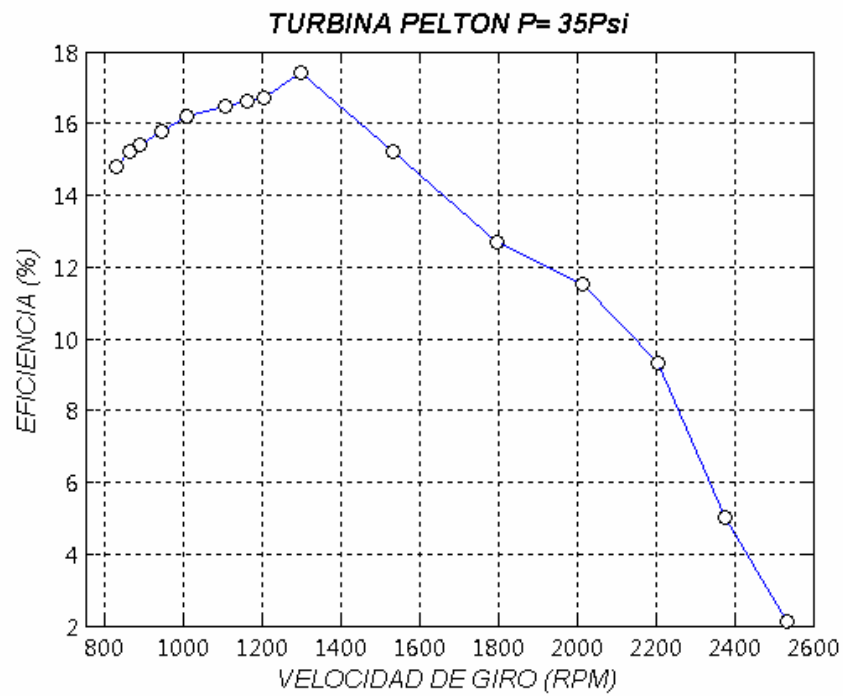


Figura 47. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia)

**Tabulación de datos # 7**

**Presión: 40 Psi**

<b>t1(s)</b>	<b>t2(s)</b>	<b>t promedio(s)</b>
4.93	4.62	4.77

Tabla 45. (Medición de tiempo Promedio)

<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (lt / min)</b>	<b>V2 (m/s)</b>
5.02e-3	301.2	4.4

Tabla 46. (Medición de Caudal y Velocidad)

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * H_n$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * H_n} * 100$$

RPM	# Bombillos	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica(W)
2654.2	1	110	0.7	99
2461.3	2	110	1	110
2239.8	3	109	1.3	141.7
2026	4	108	1.5	162
1873.4	5	107	1.8	192.6
1697.3	6	106	2	212
1497.5	7	105	2.1	220.5
1425.9	8	100	2.3	230
1371.6	9	95	2.5	237.5
1306.1	10	90	2.6	234
1257	11	85	2.7	229.5
1203.9	12	80	2.8	224
1154	13	75	2.9	217.5
1098.1	14	72	3	216
1033.6	15	70	3	210

Tabla 47. (Potencia Eléctrica para una presión 40 Psi)

<b>RPM</b>	<b>U2 (m/s)</b>	<b>Vr2 (m/s)</b>	<b>Hn (m)</b>	<b>Potencia T (W)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
2654.2	19.1	14.8	39.3	1933	5.1
2461.3	17.7	13.4	37.3	1835	5.9
2239.8	16.1	11.8	35.2	1731	8.1
2026	14.6	10.3	33.5	1648	9.8
1873.4	13.5	9.2	32.4	1593	12.3
1697.3	12.2	7.9	31.3	1539	7.8
1497.5	10.8	7.8	31.2	1534	14.3
1425.9	10.3	6.0	29.9	1470	15.6
1371.6	9.9	5.6	29.7	1461	16.2
1306.1	9.4	5.1	31	1525	15.3
1257	9.0	4.7	29.2	1436	15.9
1203.9	8.6	4.3	29	1426	15.7
1154	8.3	4.0	28.9	1421	15.3
1098.1	7.9	3.6	28.8	1416	15.2
1033.6	7.4	3.2	28.6	1407	14.9

Tabla 48. (Eficiencia para una presión 40 Psi)



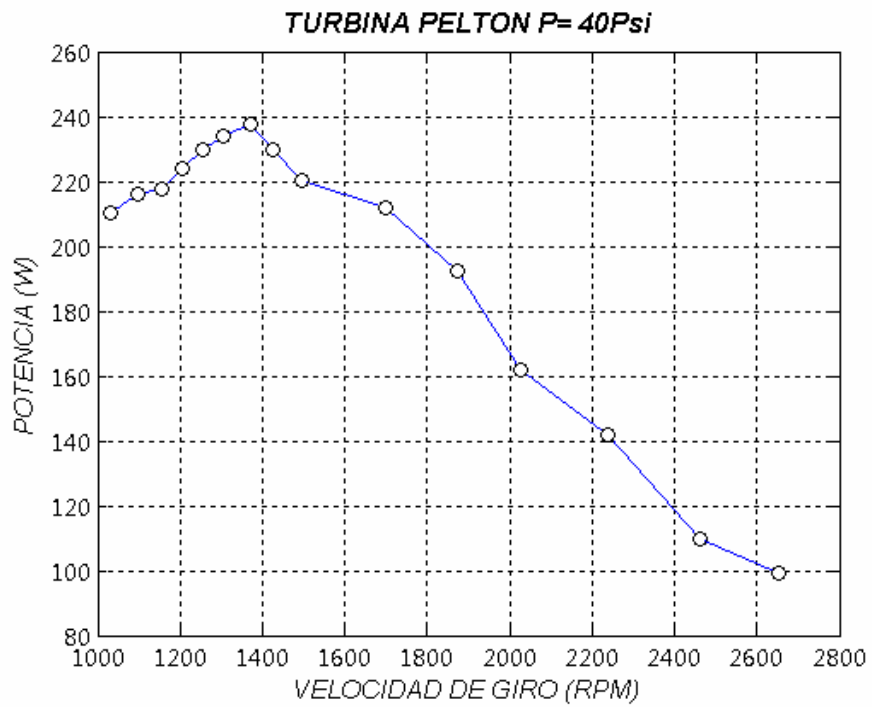


Figura 48. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

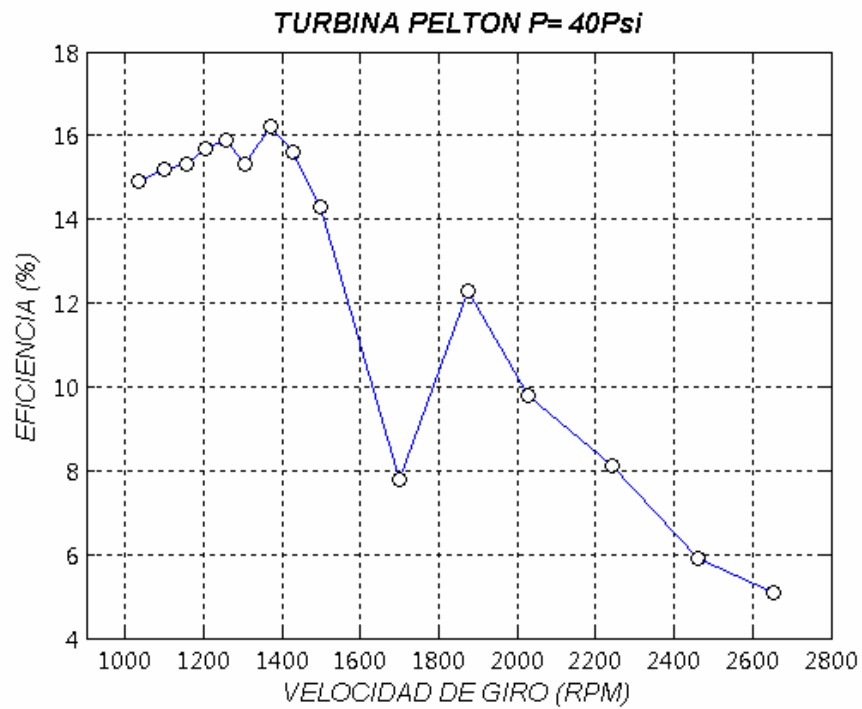


Figura 49. Gráfica (Velocidad de Giro vs Eficiencia)

### 6.6.1 ANALISIS DE RESULTADOS (PRUEBAS DE EFICIENCIA)

Esta prueba se realizó manteniendo la presión constante y variando la carga esto quiere decir que se hicieron 7 pruebas en total ya que en la instalación que se hizo la presión varia entre 15 Psi y 40Psi, el objetivo principal de esta prueba es determinar y demostrar a qué presión la turbina tiene mayor eficiencia.

Haciendo un estudio detallado del funcionamiento de la turbina para cada presión y haciendo una comparación entre estas.

Presión (Psi)	Eficiencia (%)
15	13,5
20	23,7
22	25
26	24
30	22,5
35	14,4
40	16,2

Se llego a la conclusión que la mayor eficiencia se obtiene para una presión de 22Psi y según las graficas del comportamiento de la turbina se puede observa que para presión baja como lo es 15 Psi y para una presión alta como 40 Psi la turbina tiene muchos saltos en su comportamiento por lo que esto afecta directamente la eficiencia. Estos saltos son debido al generador ya que a una presión de 15psi, el generador no alcanza la velocidad requerida para tener un comportamiento estable. Para una presión de 40psi ocurre lo contrario la velocidad del generador es muy alta lo cual hace que este tienda a salirse de los parámetros de funcionamiento normales.

Se demostró que a pesar de que la presión sea alta la eficiencia de la turbina no es alta. Esto se debe que al aumentar la presión se pone a disposición de esta un valor mayor de potencia hidráulica lo cual no es aprovechado por el sistema.

## 6.7 CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA TURBINA PELTON

Características de la turbina pelton: [3]

- Diámetro del rotor: 13.6 cm
- Numero de cucharas: 14
- Angulo de salida ( $\beta = 17^\circ$ )
- Diámetro de la boquilla de la tobera = 4.76 mm
- Numero de boquillas = 1

Presión (Psi)	RPM	Q (lt/min)	Hn (m)
4	750	8,1	3,05
5	880	8,8	3,76
5,5	970	9,35	4,126
6	1050	9,8	4,486
7	1150	10,7	5,21
8	1250	11,4	5,927
9	1320	12,2	6,65
10	1380	12,6	7,36
11	1440	13,2	8,082
12	1475	13,75	8,8
12,5	1500	14,1	9,16
13	1520	14,3	9,52
13,5	1540	14,6	9,876
14	1600	14,9	10,24
15	1640	15,5	10,96
15,5	1660	15,8	11,32
16	1700	16,35	11,69
17	1750	16,6	12,4
17,5	1800	16,9	12,75

Tabla 49. Datos de turbina comparativa. D'croz Torres Néstor Raúl. Ensayo de un modelo de turbina pelton. Bucaramanga Universidad Industrial de Santander 1983.

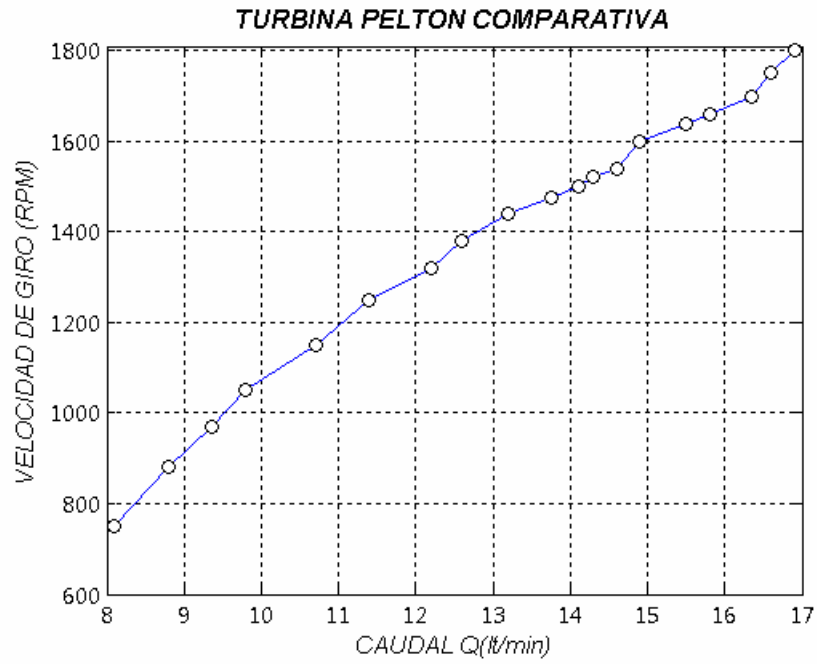


Figura 50. Gráfica (caudal vs Velocidad de Giro)

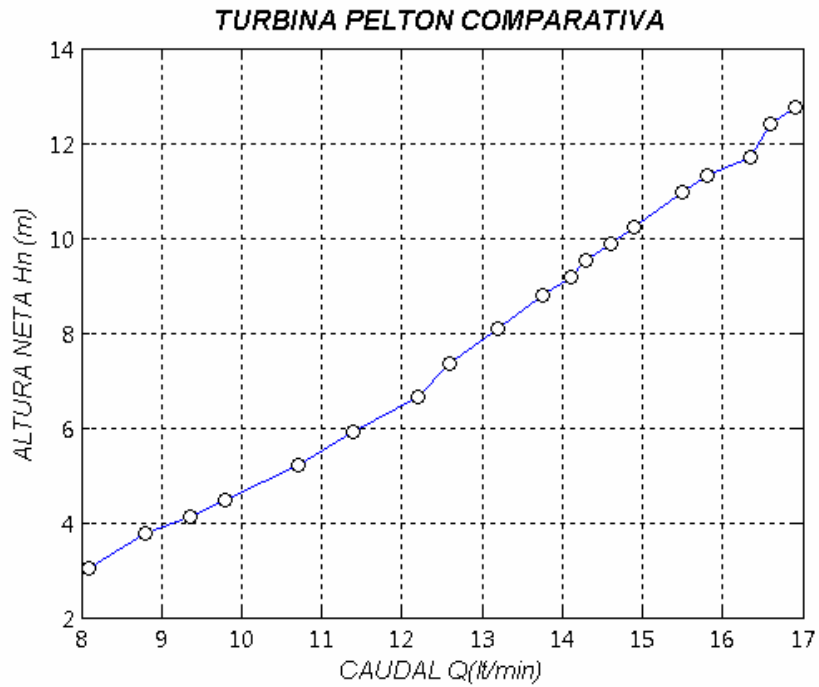


Figura 51. Gráfica (caudal vs Altura Neta)

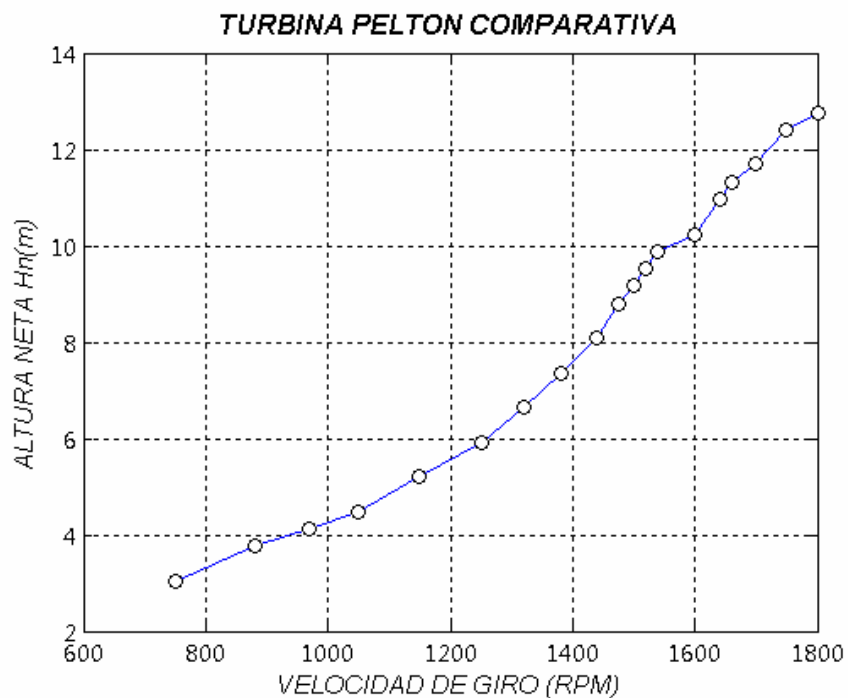


Figura 52. Gráfica (Velocidad de Giro vs Altura Neta)

**Datos de la turbina pelton comparativa con carga de 300g [3]**

Presión (Psi)	Q(lt/min)	N (RPM)	Hn(m)	Potencia(HP)
4	8	275	3,05	0,02895
6	9,75	565	4,49	0,0594
10	12,6	1020	7,36	0,1076
11	13,2	1120	8,1	0,1179
12,5	14,03	1165	9,16	0,1218
13	14,35	1265	9,52	0,137
13,5	14,6	-----	9,88	-----
15,5	15,7	1380	11,32	0,1453
17,5	16,8	1520	12,76	0,16
20	17,3	1575	14,2	0,166

Tabla 50. (Datos de turbina comparativa). D'croz Torres Néstor Raúl. Ensayo de un modelo de turbina pelton. Bucaramanga Universidad Industrial de Santander 1983.

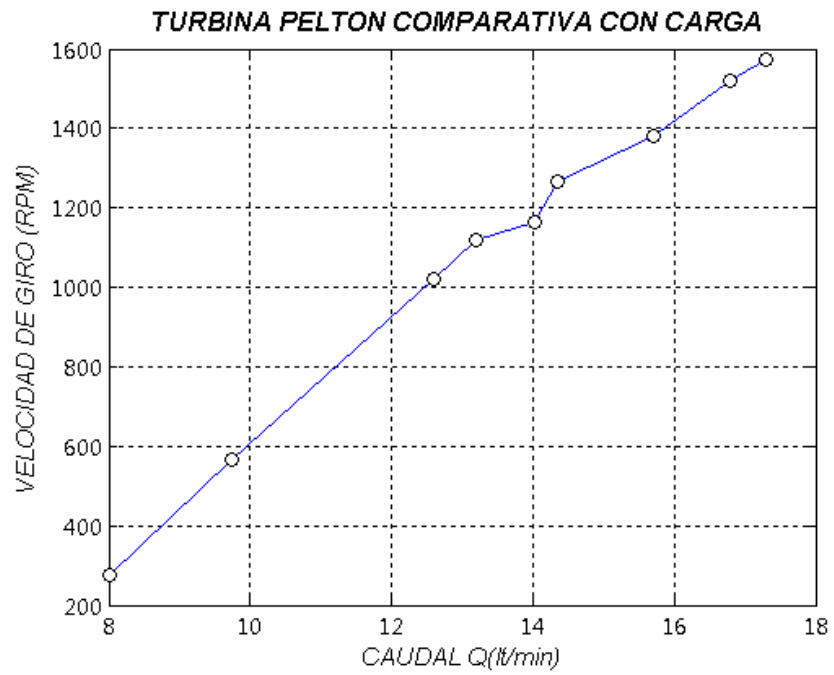


Figura 53. Gráfica (Caudal vs Velocidad de Giro)

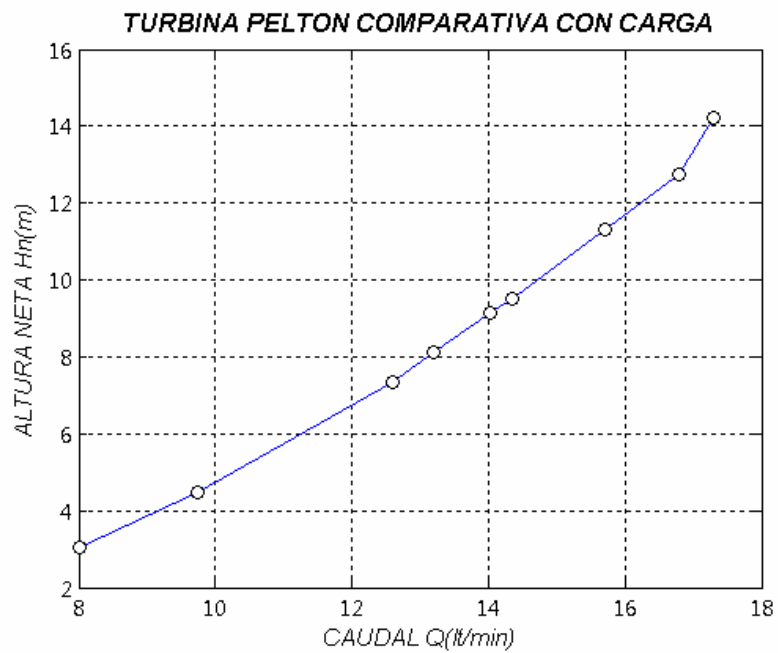


Figura 54. Gráfica (Caudal vs Altura Neta)

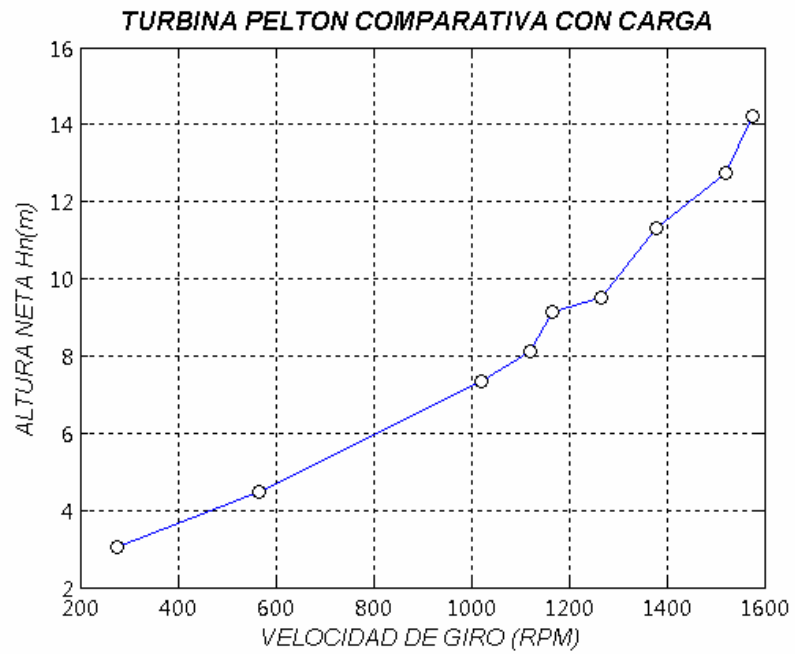


Figura 55. Gráfica (Velocidad de Giro vs Altura Neta)

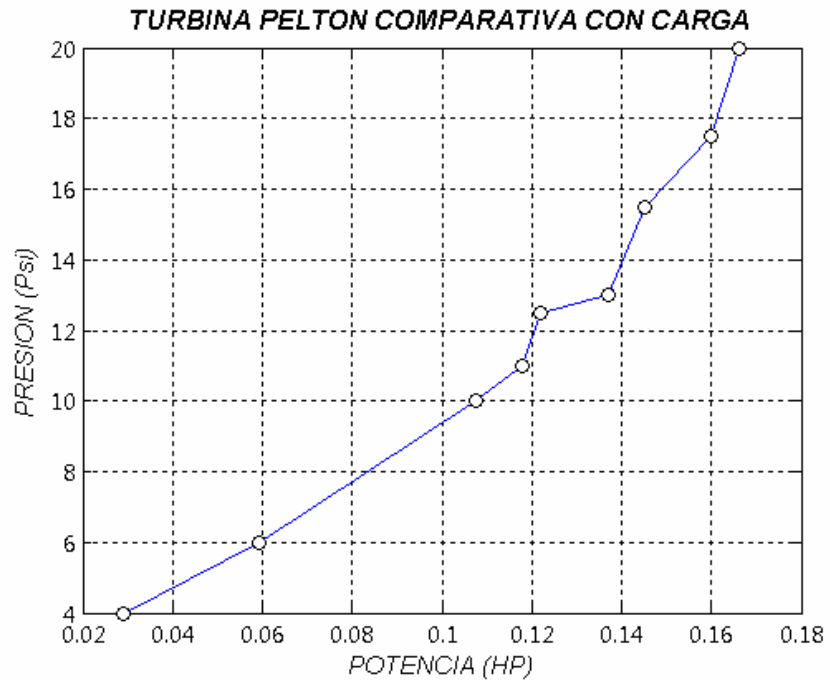


Figura 56. Gráfica (Potencia vs Presión)

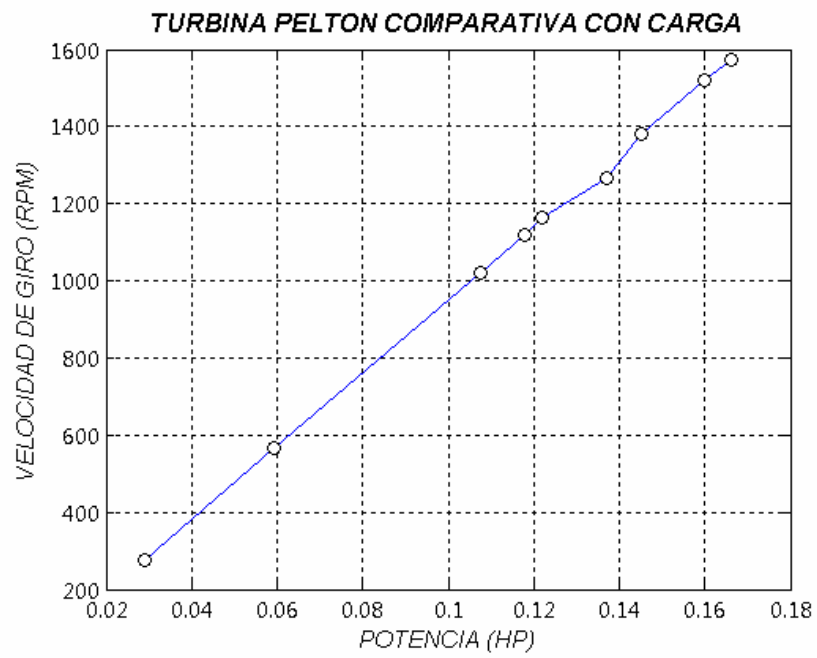


Figura 57. Gráfica (Potencia vs Velocidad de Giro)



Datos de la turbina pelton comparativa para hallar eficiencia.

N (RPM)	F (Gramos)	POTENCIA (HP)
860	0	0
800	50	0,014
740	75	0,01947
680	100	0,02386
640	125	0,02807
600	150	0,03158
550	175	0,03377
480	200	0,03368
415	225	0,03276
360	250	0,03158
320	275	0,03088
275	300	0,02895
220	325	0,02509
165	350	0,02026

Tabla 51. Datos de turbina comparativa. D'croz Torres Néstor Raúl. Ensayo de un modelo de turbina pelton. Bucaramanga Universidad Industrial de Santander 1983.

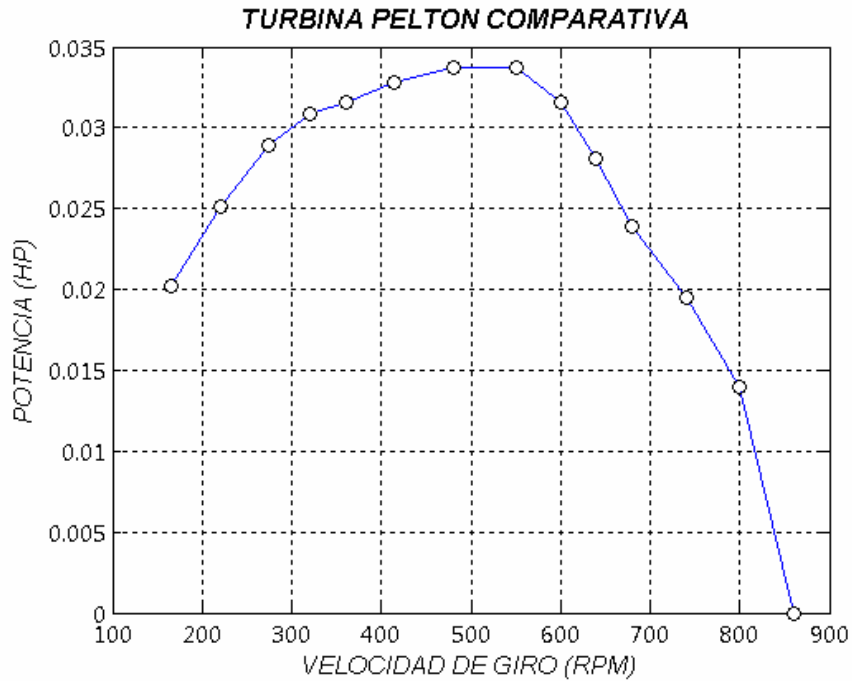


Figura 58. Gráfica (Velocidad de Giro vs Potencia)

### **6.7.1 ANALISIS DE RESULTADOS (COMPARACION DE TURBINA.)**

Estas curvas son de gran ayuda ya que nos permitieron corroborar los estudios realizados a nuestra turbina, haciendo una comparación de los datos y graficas obtenidas en las diferentes pruebas concluimos que las tendencias de las graficas son similares.

Sin importar que los parámetros de operación de cada turbina sean diferentes, el comportamiento de las variables presenta una gran similitud.

Analizando y comparando cada gráfica de la turbina que se comparó se llego a la conclusión que la turbina sin importar a que carga este sometida sea eléctrica o mecánica (fuerza de frenado), la velocidad de giro varia de similar forma.

Otra variable muy importante a tener en cuenta es la presión con respecto a las otras variables (caudal, potencia, Velocidad de Giro, Altura Neta), estas como en los estudios realizados se puede observar que estas son directamente proporcionales con respecto a la presión.

## **7. PERSONAS QUE PARTICIPARON DEL PROYECTO**

- Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga – UPB
- Departamento de Investigaciones
- Facultad de Ingeniería Mecánica
- Juan Carlos Forero
- Emil Hernández Arroyo
- Héctor Horacio Sierra (construcción del tablero de carga)
- Alberto Lázaro Bacca (proveedor de la turbina)

## 8. CONCLUSIONES

El montaje del sistema para realizar las pruebas a la turbina se diseñó a partir de las condiciones iniciales que contábamos. Altura Neta de 30m la cual tenía lugar en el tanque que está ubicado en la cancha de fútbol actualmente parqueadero de la universidad. Por inconvenientes de construcción en la instalación de la microcentral nos vimos en la obligación de realizar el montaje en el laboratorio de fluidos del bloque A de la Universidad Pontificia Bolivariana. Los accesorios (codos de PVC, Válvulas de PVC, miples Galvanizados, T de PVC) utilizados en el montaje fueron los necesarios para llevar el fluido desde el tanque hacia la turbina pelton. Aclarando que el diseño de la tubería estaba muy limitado y solo teníamos dos puntos para realizar la conexión los cuales fueron utilizados. El plano de la instalación como los cálculos de la selección de la tubería se encuentran en los anexos. Este montaje que se hizo fue el más económico y rápido sin alterar el funcionamiento del laboratorio.

De acuerdo al fabricante del equipo (turbogenerador) la capacidad de generación es de 900W, de acuerdo a este dato se diseñó el tablero de carga variable el cual cuenta con 15 plafones, para instalar bombillos de 60W, los cuales nos da una carga de 900W. El tablero de carga es una parte importante de la instalación ya que este aprovecha la energía generada y a su vez es parte fundamental para el estudio de la turbina. Este cuenta con indicadores de voltaje, corriente, frecuencia para determinar la potencia generada.

Con los datos obtenidos a través de las pruebas realizadas a la turbina pelton se puede observar el funcionamiento bajo ciertos parámetros estos datos permiten predecir que el comportamiento de la turbina es similar sin importar en que condiciones de carga trabaje (En vacío, carga media, carga completa), las variables de caudal velocidad de giro y altura son directamente proporcional a cada dato de presión tomado.

El estudio a la turbina que se planteo en este proyecto se realizo con el fin de determinar su comportamiento real. Aclarando que el fabricante no suministro información de las curvas características (eficiencia), recurrimos a un estudio ya realizado a una turbina pelton, con el propósito de comparar las tendencias de las curvas características. Esta comparación fue muy importante debido a que corroboramos el estudio que se realizo a la turbina, para tener mayor confiabilidad de los datos del estudio realizado se tuvo en cuenta otros modelos de turbinas como los que especifica en el libro (Mecánica de fluidos de Claudio Mataix.)

La eficiencia de la turbina pelton presenta valores relativamente bajos, y haciendo un estudio detallado se puede observar que esto se debe al regular funcionamiento del generador.

## 9. RECOMENDACIONES

Realizando un detallado análisis a los resultados obtenidos, detectamos ciertos parámetros que se deben tener en cuenta en la turbina pelton con el fin de incrementar su rendimiento, y así lograr el optimó funcionamiento del sistema.

Los factores a mejorar son los siguientes:

- Sustituir el generador ya que con el que cuenta la máquina no esta funcionando adecuadamente y se eliminaría la excitación externa con la fuente variable.
- Mejorar algunos tramos de la tubería de succión con el fin de garantizar un caudal uniforme en las boquillas de la turbina pelton.
- Cambiar las válvulas de cierre rápido (1,2) con el fin de regular adecuadamente el caudal.

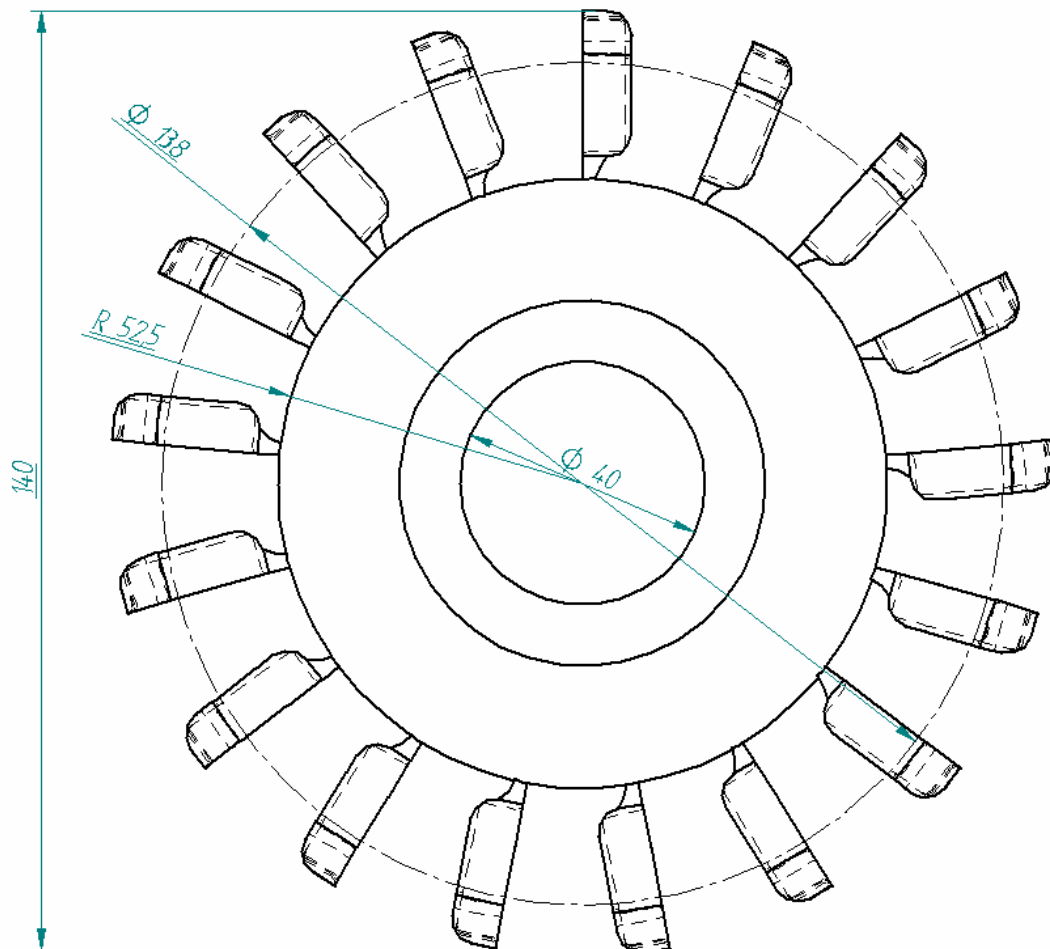
## BIBLIOGRAFIA

- [1]. Brizuela Eduardo Dr. Ing. Apuntes de Clase para Turbomaquinas. UBA 2003
- [2]. Creus Sole Antonio. Instrumentación Industrial 7 ed. Alfaomega marcombo 2005.
- [3]. D'croz Torres Néstor Raúl. Ensayo de un modelo de turbina pelton. Bucaramanga Universidad Industrial de Santander 1983.
- [4]. Diez Pedro Fernández. Turbinas Hidráulicas. Departamento de Ingeniería Electrica y Energética: Universidad de Cantabria.
- [5] Harter Enriques Gilberto. Libro practico de los generadores, transformadores y motores. 1 ed. Limusa 2001 México.
- [6]. Mataix Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas 2 ed. Ediciones del Castillo.
- [7]. Murchegiani Ariel R Ing. Turbinas Pelton. Universidad Nacional de Comahue.
- [8] Ortiz Florez Ramiro. Pequeñas Centrales Hidráulicas McGraw Hill 2001
- [9]. Shmaes Irving H. Mecánica de Fluidos 3 ed. McGraw Hill 1995.

**ANEXOS**

**ANEXO A. PLANOS TURBINA PELTON**

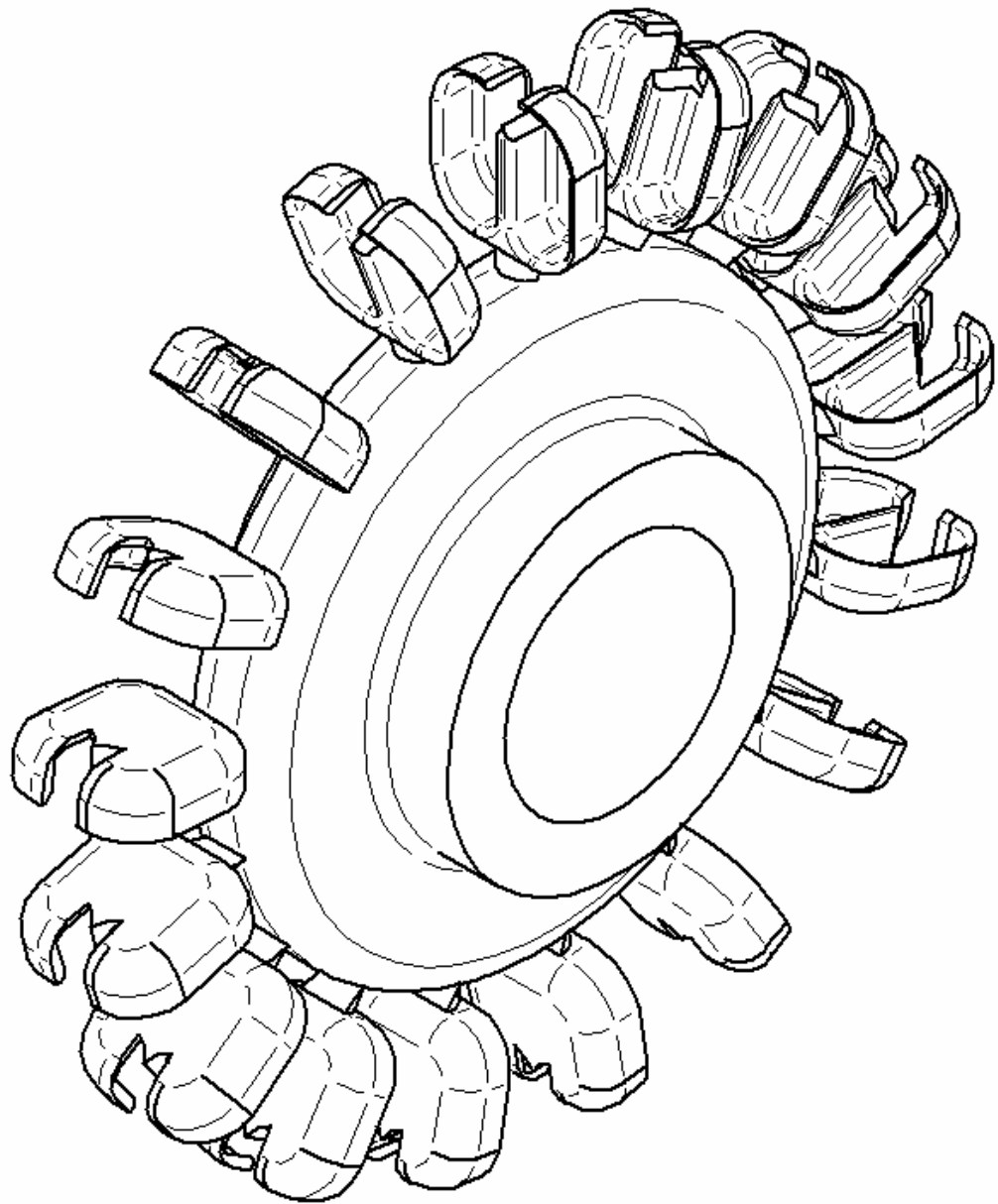
**RODETE**



***ESCALA 2:1***

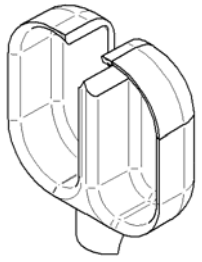
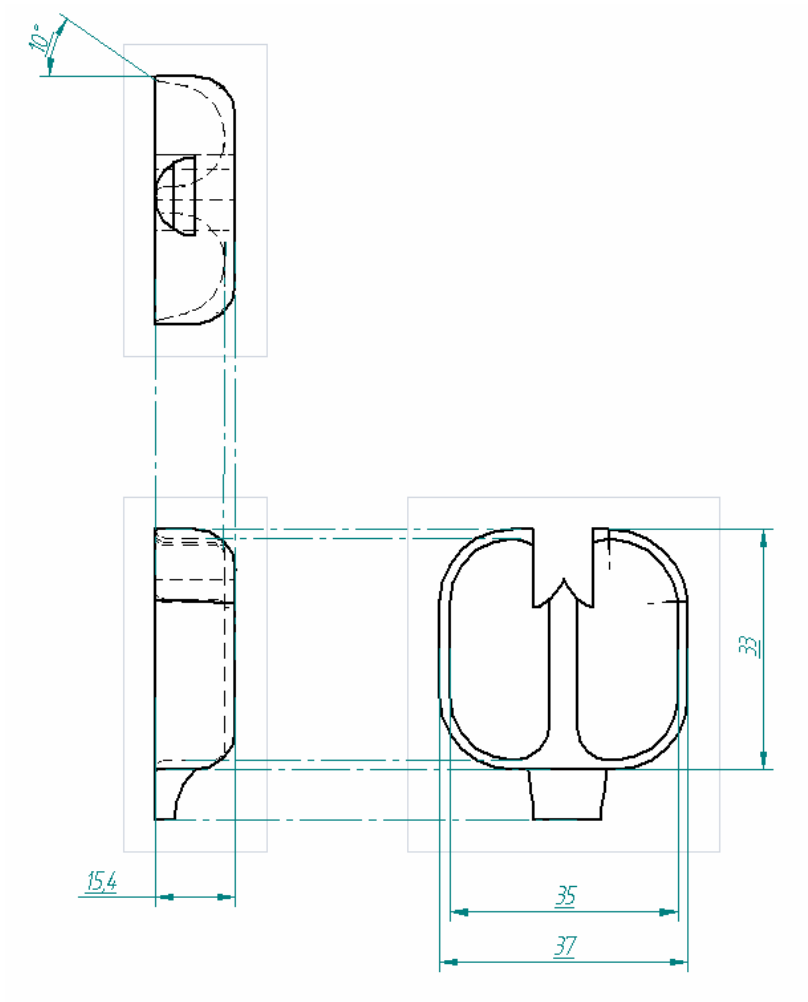
***Medidas en milímetros***





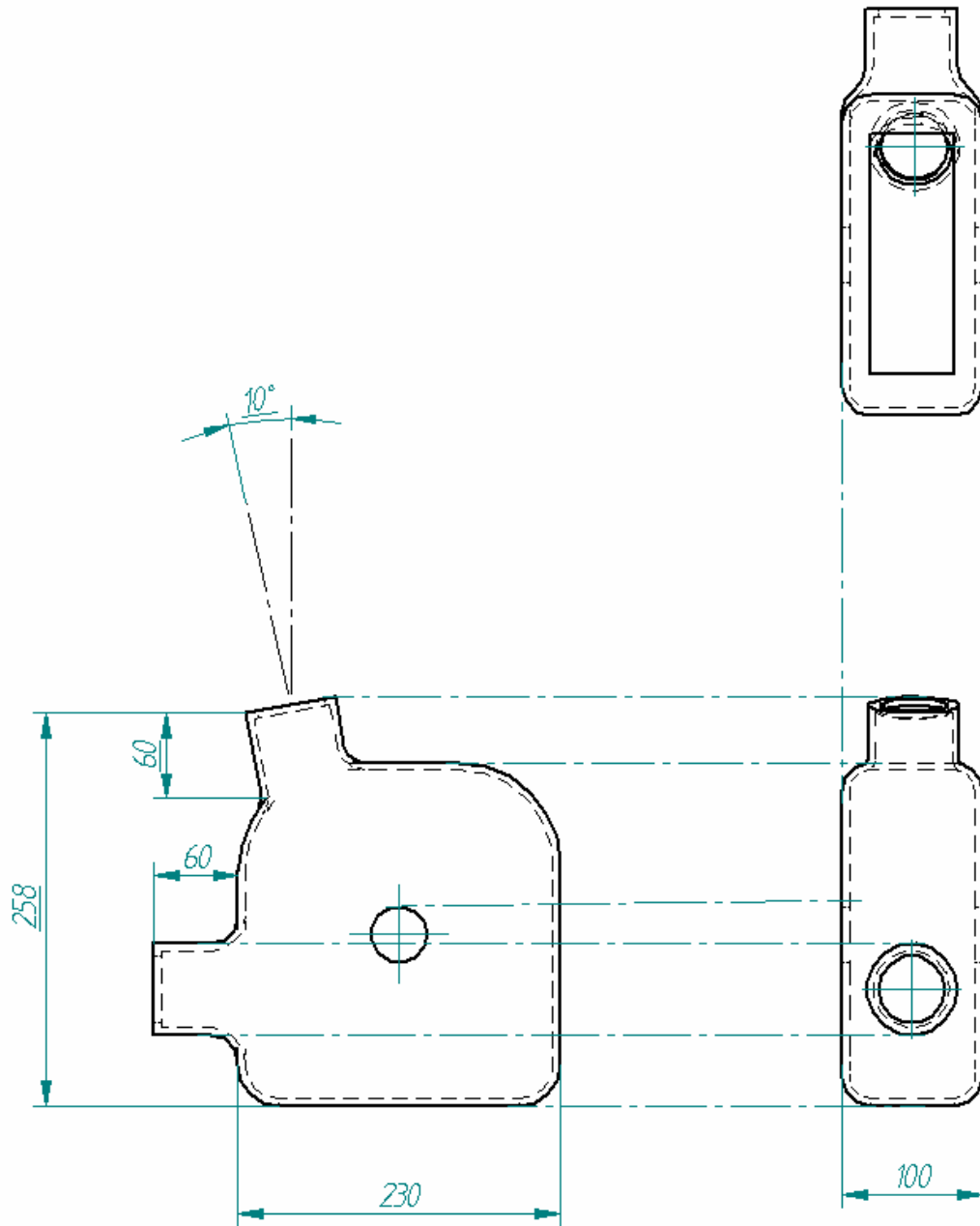
***ESCALA 2:1***

**ALAVES**



**ESCALA 2:1**

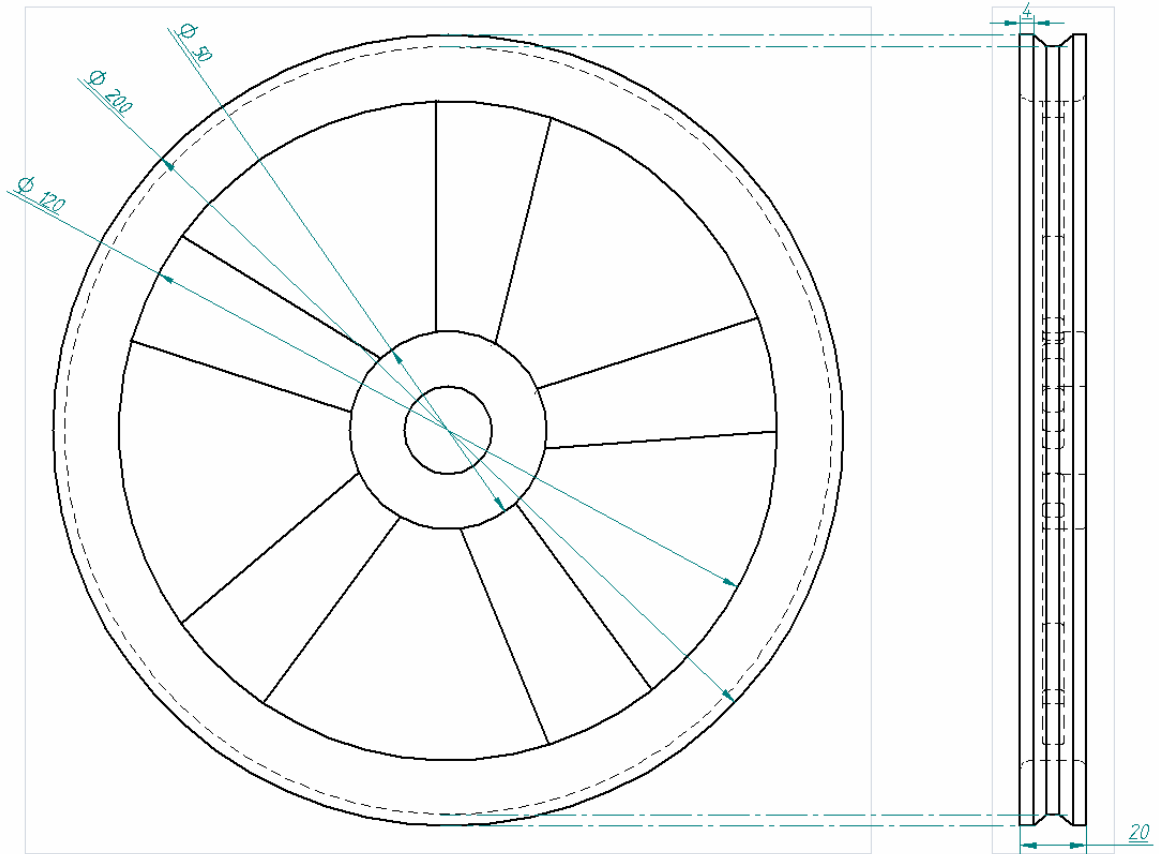
**CARCAZA**



***ESCALA 2:1***

***Medidas en milímetros***

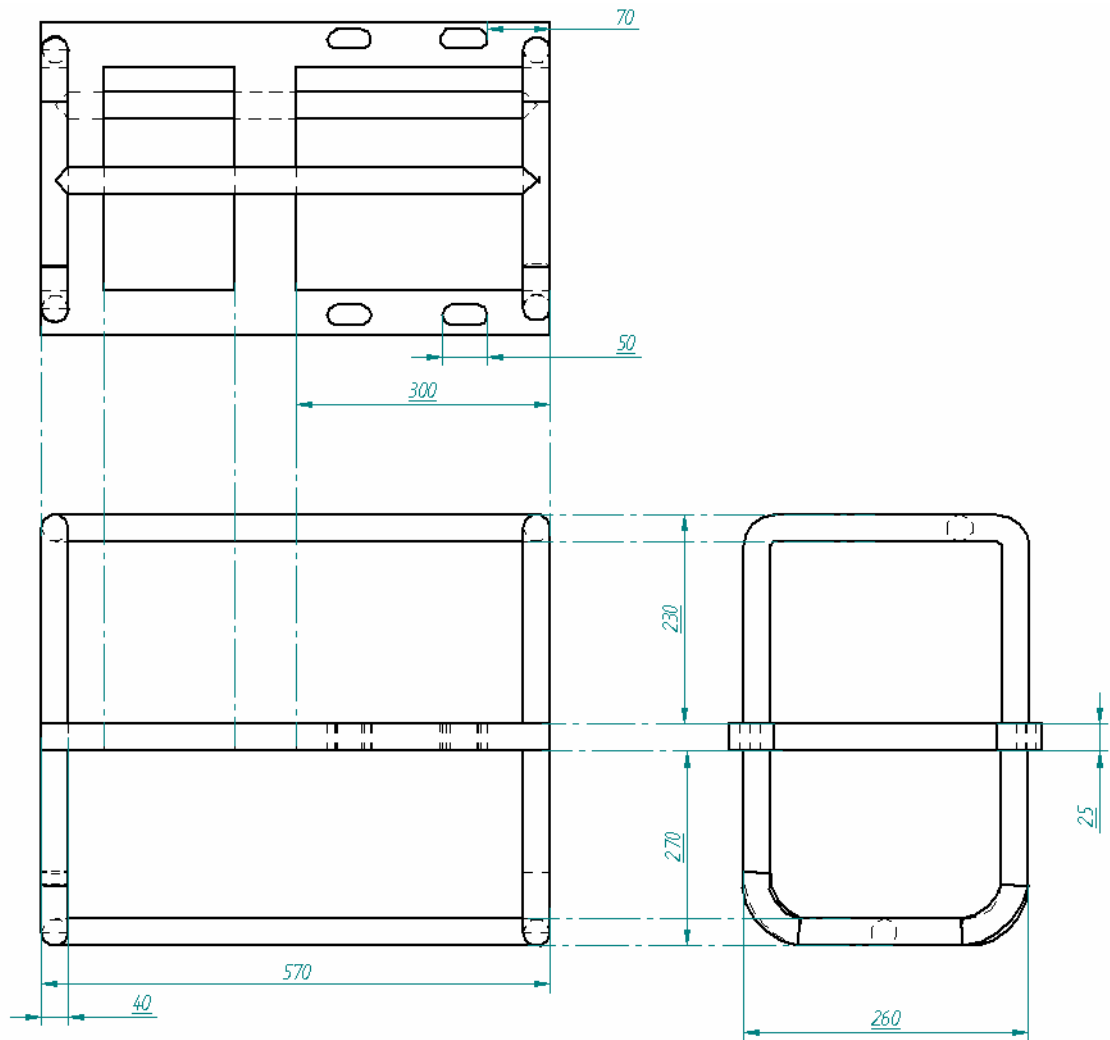
**VOLANTE**



***ESCALA 2:1***

***Medidas en milímetros***

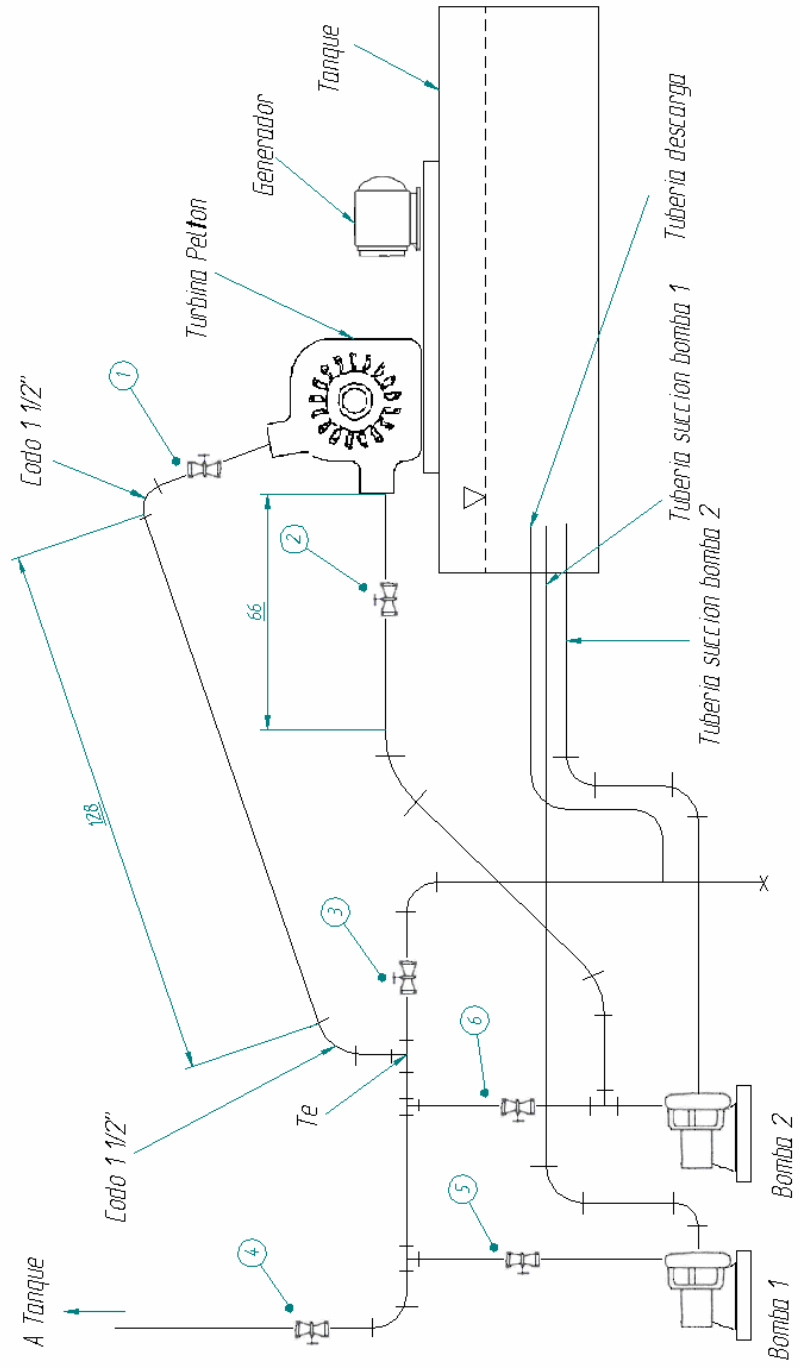
**BASE**



***ESCALA 2:1***

***Medidas en milímetros***

## ANEXO B. PLANO HIDRAULICO

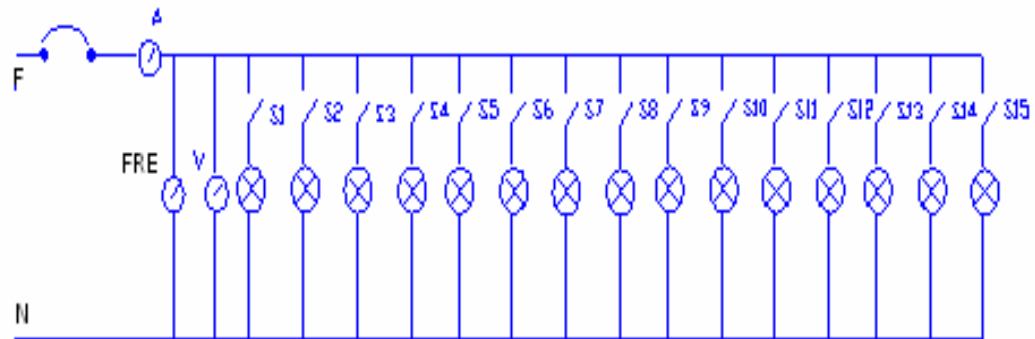


- ① *Valvula de bola 1 1/2" (PVC)*
- ② *Valvula de bola 1 1/2" (PVC)*
- ③ *Valvula de compuerta 1 1/2" (Bronce)*
- ④ *Valvula de bola 2" (PVC)*
- ⑤ *Valvula de compuerta 1 1/2" (Bronce)*
- ⑥ *Valvula de compuerta 1 1/2" (Bronce)*

Nota: las medidas del plano hidráulico están en centímetros.

## ANEXO C. CIRCUITO ELECTRICO DEL TABLERO DE CARGA.

### CIRCUITO ELECTRICO DE TABLERO DE CONTROL



Donde:

- A = Amperímetro
- FRE = Frecuencímetro
- V = Voltímetro
- N = Neutro
- F = Fase
- La carga que se utilizó en las pruebas fueron bombillos de 25W



**ANEXO D. FOTOS DE LA INSTALACION.**



## **ANEXO E. GUIAS DE LABORATORIO.**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Laboratorio: Maquinas Hidráulicas.

Docente: Ing. Emil Hernández Arroyo

### *EXPERIENCIA N° 1*

#### ***FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA PELTON SIN CARGA***

##### ***Objetivo:***

➤ Analizar el comportamiento de los diferentes parámetros que intervienen en la turbina pelton sin carga.

➤ Construir las curvas de comportamiento:

Caudal  $Q$  (lit/ min) vs.  $N$  (RPM)

Altura neta  $H_n$  (m) vs.  $N$  (RPM)

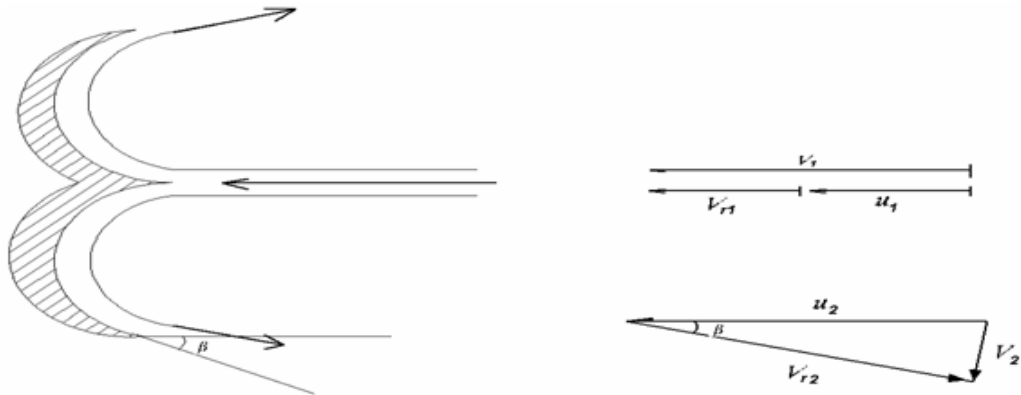
Altura neta  $H_n$  (m) vs. Caudal  $Q$  (lit/ min)

**Instrumentos utilizados:**

- Turbina pelton
- Recipiente (el cual hay que tomar sus medidas para conocer su volumen)
- Tacómetro digital
- Cronometro

**Marco Teórico:**

Triángulos de Velocidades.



El chorro con velocidad  $V_1$  ataca al alabe en la arista media de la doble cuchara lo cual lo divide en dos porciones iguales de agua que recorren el alabe en dirección axial. Se considera a la velocidad  $V_{r1}$  en la misma dirección de la velocidad tangencial  $U_1$  del alabe en cuya dirección es también la velocidad absoluta  $V_1$  de acuerdo a lo anterior se puede afirmar [5]

$$V_1 = U_1 + V_{r1} \quad (1)$$

Respecto al triangulo de velocidades la trayectoria de una partícula de agua en la cuchara es tangencial de manera que en las turbinas pelton se verifica siempre, ya que se trata de una maquina axial.[5]

$$U_2 = U_1 = U \quad (2)$$

Idealmente se considera que no hay rozamiento entre el agua y la cuchara por lo que

$$V_{r2} = V_{r1} \quad (3)$$

Pero en realidad  $V_{r2}$  es un poco menor a  $V_{r1}$ .

Si no hay pérdidas en el inyector el chorro sale de este a la atmósfera a una velocidad  $V_1$  que según la ecuación de Torrecelli idealmente será

$$V_1 = \sqrt{2gH} \quad (4)$$

Prácticamente la velocidad la velocidad real es algo más pequeña y aproximadamente:

$$V_1 = 0,97 \sqrt{2gH} \quad (5)$$

Idealmente se demuestra que la turbina pelton alcanza su rendimiento optimo cuando

$$u_1 = 1/2 V_1 \quad (6)$$

Pero el rendimiento óptimo suele alcanzarse a una velocidad mas baja, aproximadamente

$$u_1 = 0,45 \sqrt{2gH} \quad (7)$$

#### 4.6 ALTURA NETA

Es la altura puesta a disposición de la turbina

$$H = \frac{p_E - p_S}{\rho g} + z_E - z_S + \frac{U_E^2 - U_S^2}{2g} \quad (8)$$

La altura neta es igual al incremento de altura que absorbe la turbina en forma de presión más la que absorbe en forma de altura geodesica más la que absorbe en forma de altura cinética.

Cabe anotar que en toda turbina  $P_s/\rho g = 0$  y  $Z_s = 0$  si se toma como plano de referencia el plano de salida.

En toda turbina  $V_s^2/2g$  es muy pequeña por lo que este valor puede despreciarse.

$P_e/\rho g$  se calcula leyendo adecuadamente el manómetro que se encuentra instalado a la entrada de la turbina;  $V_e^2/2g$  se calcula midiendo el caudal y conociendo el diámetro de la tubería.[5]

Teniendo en cuenta las consideraciones vistas anteriormente se tiene que la ecuación para hallar la altura neta es:

$$H_n = \frac{P}{\gamma} + \frac{V_r^2}{2g} + z^{\text{cte}} \quad (9)$$

Hay que recordar que esta altura neta no es la altura útil aprovechada por la turbina, si no la altura teórica que hubiera aprovechado si no hay pérdidas. [5]

#### 4.7 POTENCIA TEORICA

$$\gamma * Q * H_n \quad (10)$$

Esta es la potencia hidráulica puesta a disposición de la turbina. [5]

#### 4.8 EFICIENCIA

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100 \quad (11)$$

##### ***Procedimiento:***

Antes de encender la turbina pelton hay que tener en cuenta los siguientes cuidados para evitar accidentes. De acuerdo al plano hidráulico hay que verificar lo siguiente.

La válvula 1, y 2 deben estar abiertas

La válvula 3 debe estar abierta, esta se encarga de regular la presión.

La válvula 4 verificar que este cerrada.

La válvula de la bomba 1 debe estar abierta.

En el tablero de encendido manipulamos la bomba 1 (on), Tomamos las medidas del recipiente para hallar su volumen y procedemos con la práctica teniendo en cuenta la presión a utilizar.

Se selecciona una presión de 15 psi, la cual es regulada por la válvula 3 y se verifica la presión en el manómetro.

Medimos el tiempo de llenado del recipiente para calcular el caudal.

Con el tacómetro medimos las RPM y se procede a tabular y realizar los cálculos para analizar el comportamiento de la turbina pelton.

P(psi)	Tiempo(seg)		Tiempo Promedio	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
15				
20				
22				
26				
30				
35				
40				

Presión (psi)	Caudal (lt/min)	N (Rpm)	Velocidad (m/s)	Hneto (m)
15				
20				
22				
26				
30				
35				
40				

P (Psi)	U2 (m/s)	V2 (m/s)	Vr2 (m/s)

Datos hallados del triangulo de velocidades

ANALISIS.

CONCLUSIONES.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Laboratorio: Maquinas Hidráulicas.

Docente: Ing. Emil Hernández Arroyo

*EXPERIENCIA N° 2*

***FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA PELTON CON CARGA  
(7BOMBILLOS)***

***Objetivo:***

- Analizar el comportamiento de los diferentes parámetros que intervienen en la turbina pelton cuando utilizamos una carga de 7 bombillos.
- Determinar cada una de las velocidades que rigen el sistema, de acuerdo al triangulo de velocidades.
- Determinar el punto óptimo de funcionamiento de la turbina pelton.
- Construir y analizar las curvas de comportamiento:
  - Caudal Q (lit/ min) vs. N (RPM)
  - Altura neta  $H_n$  (m) vs. N (RPM)
  - Altura neta  $H_n$  (m) vs. Caudal Q (lit/ min)
  - Potencia (w) vs. Presión (psi)
  - Potencia (w) vs. N (RPM)

***Instrumentos a utilizar.***

- Turbina pelton
- Recipiente (el cual hay que tomar sus medidas para conocer su volumen)
- Tacómetro digital
- Cronometro
- Fuente
- Tablero de carga
- bombillos
- Fuente Variable
- 4 Caimanes eléctricos

**ANÁLISIS**

**CONCLUSIONES**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Laboratorio: Maquinas Hidráulicas.

Docente: Ing. Emil Hernández Arroyo

*EXPERIENCIA N° 3*

***FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA PELTON CON CARGA***

***(15 BOMBILOS)***

**Objetivos**

- Determinar el punto óptimo de funcionamiento de la turbina pelton cuando aplicamos una carga máxima de 15 Bombillos.
  
- Analizar y Construir las curvas de comportamiento de la turbina pelton entre las cuales están.
  - Caudal  $Q$  (lit/ min) vs.  $N$  (RPM)
  
  - Altura neta  $H_n$  (m) vs.  $N$  (RPM)
  
  - Altura neta  $H_n$  (m) vs. Caudal  $Q$  (lit/ min)
  
  - Potencia ( $w$ ) vs. Presión (psi)
  
  - Potencia ( $w$ ) vs.  $N$  (RPM)

**Instrumentos a utilizar:**

- Turbina pelton
- Recipiente (el cual hay que tomar sus medidas para conocer su volumen)
- Tacómetro digital
- Cronometro
- Fuente
- Tablero de carga
- bombillos
- Fuente Variable
- 4 Caimanes eléctricos

P(psi)	Tiempo(seg)		Tiempo Promedio	Caudal (m3/s)
15				
20				
22				
26				
30				
35				
40				

Cálculos del Caudal (m3/s)

Presión (Psi)	Voltaje (V)	Corriente (A)
15		
20		
22		
26		
30		
35		
40		

P (Psi)	$U_2$ (m/s)	$V_2$ (m/s)	$V_{r2}$ (m/s)

Datos calculados del triangulo de Velocidades

Presión (Psi)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	N (Rpm)	Potencia(W)	V(m/s)	Hn(m)	Q(lt/min)
15						
20						
22						
26						
30						
35						
40						

Datos calculados para graficar

**ANÁLISIS**

**CONCLUSIONES**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Laboratorio: Maquinas Hidráulicas.

Docente: Ing. Emil Hernández Arroyo

*EXPERIENCIA N° 4*

**COMPARACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA PARA MEDIA CARGA Y CARGA COMPLETA**

**Objetivo:**

- Determinar y comparar la potencia de la turbina pelton cuando se aplica media y la carga completa.
  
- Hallar las velocidades del sistema de acuerdo al triangulo de velocidades.
  
- Construir y analizar las curvas de comportamiento:
  - Caudal  $Q$  (lit/ min) vs.  $N$  (RPM)
  
  - Altura neta  $H_n$  (m) vs.  $N$  (RPM)
  
  - Altura neta  $H_n$  (m) vs. Caudal  $Q$  (lit/ min)
  
  - Potencia ( $w$ ) vs. Presión (psi)
  
  - Potencia ( $w$ ) vs.  $N$  (RPM)

**Instrumentos:**

- Turbina pelton
- Recipiente (el cual hay que tomar sus medidas para conocer su volumen)
- Tacómetro digital
- Cronometro
- Fuente
- Tablero de carga
- bombillos
- Fuente Variable
- 4 Caimanes eléctricos

*EXPERIENCIA N° 5*

**FUNCIONAMIENTO DEL MODELO EN SALTOS DE CARACTERISTICAS VARIABLES**

**Objetivo:**

- Analizar el comportamiento de la potencia generada cuando variamos la carga a la mitad y cuando es carga máxima.
  
- Determinar las velocidades del sistema teniendo en cuenta los parámetros del triangulo de velocidades.
  
- Construir y analizar las curvas de comportamiento de la turbina pelton entre las cuales están:  
Potencia (w) vs. Presión (psi)  
  
Potencia (w) vs. N (RPM)  
  
Presión (Psi) vs. N (RPM)  
  
N° de Bombillos vs. N (RPM)  
  
N° de Bombillos vs. Potencia (w)  
  
Caudal Q (lit / min) vs. N (RPM)

***Instrumentos:***

- Turbina pelton
- Recipiente (el cual hay que tomar sus medidas para conocer su volumen)
- Tacómetro digital
- Cronometro
- Fuente
- Tablero de carga
- bombillos
- Fuente Variable
- 4 Caimanes eléctricos

*EXPERIENCIA N° 6*

***CURVAS COMPARATIVAS PARA MAXIMA EFICIENCIA P= 15Psi***

***Objetivo:***

- Determinar la máxima eficiencia de la turbina pelton para una presión constante de 15 PSI.
- Hallar las velocidades del sistema teniendo en cuenta los parámetros del triangulo de velocidades.
- Hallar la potencia eléctrica de la turbina.
- Construir las curvas de comportamiento:  
N (RPM) vs. Potencia (W)



**Instrumentos:**

- Turbina pelton
- Recipiente (el cual hay que tomar sus medidas para conocer su volumen)
- Tacómetro digital
- Cronometro
- Fuente
- Tablero de carga
- bombillos
- Fuente Variable
- 4 Caimanes eléctricos

<i>t1(s)</i>	<i>t2(s)</i>	<i>t promedio(s)</i>

Tiempo promedio

<i>Q (m3/s)</i>	<i>Q (lt / min)</i>	<i>V2 (m/s)</i>

Caudal (*lt/min*)





**ANEXO F. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.**

ACTIVIDADES	TIEMPO EN SEMANAS																											
	Segundo semestre 2007														Vacaciones				Primer semestre 2008									
	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Planeación																												
Documentación Bibliografica																												
Busqueda de proveedores																												
Compra de equipo (Turbina) y materiales																												
Montaje de la turbina																												
Realización de Pruebas																												
Recopilación de Datos																												
Interpretación de datos obtenidos																												
Informe																												

## ANEXO G CÁLCULOS.

Para la selección de la tubería se utilizaron los siguientes cálculos

$$Q = 0.02248 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V = \sqrt{2gH}$$
$$V = 24.2$$

$$Q = V \cdot A$$

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

$$A = 0.0009290 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = 0.03048 \text{ m}$$

$$d = 1.2''$$

En la parte comercial no se consigue diámetro de tubería de 1.2" por lo que recurrimos a comprar de 1.5"

Los siguientes cálculos son de la prueba del análisis de la turbina sin carga y para una presión de 15 psi.

Hallamos caudal:

$$Q = \frac{V_{\text{olumen}}}{t_{\text{promedio}}}$$

Para hallar el caudal debemos conocer el volumen:

$$h = 34\text{cm} = 0.34\text{m}$$

$$D = 30\text{cm} = 0.3\text{m}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi d^2}{4} * H$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi (0.3)^2}{4} * 0.34$$

$$\text{Volumen} = 0.024 \text{ m}^3$$

El tiempo promedio para 15 psi = 9.005 seg.

$$Q = \frac{0.024 \text{ m}^3}{9.005 \text{ s}}$$

$$Q = 2.6 \text{ e}^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Con este caudal se puede hallar la velocidad del fluido en la tubería de la siguiente forma:

$$Q = V * A$$

El diámetro de la tubería es de 1 ½" con este valor podemos conocer el área el cual es de 1.14 e-3 por lo que la velocidad es:

$$V = 2.28 \text{ m/s}$$

Del triángulo de velocidades hallamos los siguientes valores

$$\mathbf{U} = \mathbf{W} * r_m$$

$$\mathbf{N} = \frac{\mathbf{rpm}}{60} = \mathbf{rps}$$

$$\mathbf{U} = 2\pi * \mathbf{N} * r_m$$

Nota: el radio medio es de 69 mm este valor se encuentran en los planos.

$$\mathbf{U} = 8.15 \text{ m/s}$$

Para hallar la velocidad tangencia del fluido hay dos formas:

- Por construcción se determina el valor de esta velocidad
- Utilizando la ley del coseno

Sabiendo que  $\beta = 10^\circ$

$$\mathbf{Vr} = 5.9 \text{ m/s}$$

Con este valor podemos conocer la altura neta  $H_n$

$$H_n = \frac{P}{\gamma} + \frac{Vr^2}{2g} + z^{\text{cte}}$$

Donde:

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Utilizando los valores que hallamos anteriormente se obtiene:

$$H_n = 12.2 \text{ m}$$

Nota: los cálculos que se mostraron anteriormente es la forma como se obtienen los datos que aparecen en las tablas, a continuación se ilustra las formulas necesarias para determinar otros datos importantes para conocer el comportamiento de la turbina.

En las pruebas que se utilizo el tablero de carga para determinar la potencia se hizo de la siguiente forma:

$$P_{\text{electrica}} = V_{\text{(voltaje)}} * I_{\text{(corriente)}}$$

De la prueba numero dos para una presión de 22 psi y utilizando el tablero de carga obtuvimos que Voltaje= 85v y corriente I= 1.5A

$$P = 85_{(v)} * 1.5_{(A)} = 127.5 \text{ (W)}$$



Para las pruebas de eficiencia los cálculos realizados fueron los siguientes

$$\text{Potencia Teórica} = \gamma * Q * Hn$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

Eficiencia (%)

$$\eta = \frac{V * I}{\gamma * Q * Hn} * 100$$

Nota: el caudal, la altura neta y la potencia eléctrica se calcula como se mostró anteriormente.

A continuación se ilustra como se calculo estos valores para una presión de 26 psi

Datos:

$$T_{\text{promedio}} = 7.05\text{s}$$

$$Q = 3.4\text{e-}3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 2.98 \text{ m/s}$$

$$N = 965 \text{ rpm}$$

$$V = 85\text{v}$$

$$I = 1.7\text{A}$$

$$P(\text{electrica}) = 153 \text{ W}$$

$$U = 6.97 \text{ m/s}$$

$$Vr = 4 \text{ m/s}$$

$H_n = 19.1 \text{ m}$

$$\text{Potencia Teórica} = 9800 \text{ N/m}^3 * 3.4 \text{ e}^{-3} \text{ m}^3/\text{s} * 19.1 \text{ m} = 636 \text{ W}$$

Luego se halla la eficiencia:

$$\eta = \frac{153 \text{ W}}{636 \text{ W}} * 100$$

$$\eta = 24 \%$$

## ANEXO I (ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TOMA DE DATOS)

La media aritmética o promedio de los valores esta dado por la formula:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum (X_i) \text{ con } X_i \quad (i= 1,2,3,\dots,n)$$

La varianza esta dada por:

$$S^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

Error: El error de la medida es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso.

$$e = \frac{S}{\sqrt{n-1}}$$

Porcentaje de error:

$$(\%)e = \frac{\frac{S}{\sqrt{n-1}}}{\bar{X}} * 100$$

### **PRUEBA 1 (Análisis de la turbina sin carga)**

*Determinación del porcentaje de error en la toma de tiempos.*

P= 15psi

t1 = 8.88seg; t2= 9.13seg

$$\bar{X} = 9.005\text{seg}$$

$$S = 0.17$$

$$e = 0.17$$

$$(\%)e = 1.88\%$$

P= 20psi

t1=7,79; t2=7,90

$$\bar{X} = 7.845\text{seg}$$

$$S = 7.7 e^{-2}$$

$$e = 7.7 e^{-2}$$

$$(\%)e = 0.98\%$$

P= 22psi

t1=8,20; t2=7,24

$$\bar{x} = 7,72 \text{ seg}$$

$$S = 0.6$$

$$e = 0.6$$

$$(\%)e = 8.7\%$$

P= 26psi

t1=7,37; t2=6,76

$$\bar{x} = 7,065 \text{ seg}$$

$$S = 0.4$$

$$e = 0.4$$

$$(\%)e = 5.5 \%$$

P= 30psi

t1=6,18; t2=6,49

$$\bar{x} = 6,335 \text{ seg}$$

$$S = 0.2$$

$$e = 0.2$$

$$(\%)e = 3.4\%$$

P= 35psi

t1=5,37; t2=5,30

$$\bar{x} = 5,335 \text{ seg}$$

$$S = 4.9 e^{-2}$$

$$e = 4.9 e^{-2}$$

$$(\%)e = 0.92\%$$

P= 40psi

t1=4,69; t2=4,77

$$\bar{x} = 4,73 \text{ seg}$$

$$S = 5.65 e^{-2}$$

$$e = 5.65 e^{-2}$$

$$(\%)e = 1.19\%$$

*Determinación del porcentaje de error para los datos de velocidad de giro (rpm)*

➤ P= 15psi

<b>N (rpm)</b>	1145	1206	1195	1132	962
----------------	------	------	------	------	-----

$$\bar{x} = 1128 \text{ rpm}$$

$$S = 98$$

$$e = 49$$

$$(\%)e = 4.3\%$$

➤ P= 20psi

<b>N (rpm)</b>	1095	1352	1418	1321	1344
----------------	------	------	------	------	------

$$\bar{x} = 1306 \text{ rpm}$$

$$S = 123$$

$$e = 61$$

$$(\%)e = 4.7\%$$

➤ P= 22psi

<b>N (rpm)</b>	1496	1238	1461	1502	1418
----------------	------	------	------	------	------

$$\bar{x} = 1423 \text{ rpm}$$

$$S = 108.7$$

$$e = 54$$

$$(\%)e = 3.8\%$$

➤ P= 26psi

<b>N (rpm)</b>	1815	1909	1943	1871	1927
----------------	------	------	------	------	------

$$\bar{x} = 1893 \text{ rpm}$$

$$S = 51.1$$

$$e = 25.5$$

$$(\%)e = 1.35\%$$

➤ P= 30psi

<b>N (rpm)</b>	1869	1986	2018	1951	2001
----------------	------	------	------	------	------

$$\bar{x} = 1965 \text{ rpm}$$

$$S = 59.07$$

$$e = 29.5$$

$$(\%)e = 1.5\%$$

➤ P= 35psi

<b>N (rpm)</b>	2419	2508	2491	2398	2314
----------------	------	------	------	------	------

$$\bar{x} = 2426 \text{ rpm}$$

$$S = 77.9$$

$$e = 38.9$$

$$(\%)e = 1.6\%$$

➤ P= 40psi

<b>N (rpm)</b>	2582	2913	2703	2613	2669
----------------	------	------	------	------	------

$$\bar{x} = 2696 \text{ rpm}$$

$$S = 130.1$$

$$e = 65$$

$$(\%)e = 2.41\%$$

Nota: el porcentaje de error mostrado anteriormente incluye el error al tomar los datos por la persona y el error del equipo utilizado.



**PRUEBA 2 (Funcionamiento de la turbina para una carga constante 175 W)**

*Determinación del porcentaje de error en la toma de tiempos.*

P= 15psi

t1=8,25; t2=8.72

$$\bar{x} = 8.48 \text{ seg}$$

$$S = 0.33$$

$$e = 0.33$$

$$(\%)e = 3.9\%$$

P= 20psi

t1=7.31; t2=7.28

$$\bar{x} = 7.29 \text{ seg}$$

$$S = 0.02$$

$$e = 0.02$$

$$(\%)e = 0.3\%$$

P= 22psi

t1=7.42; t2=7.05

$$\bar{x} = 7.13 \text{ seg}$$

$$S = 0.3$$

$$e = 0.3$$

$$(\%)e = 4.2\%$$

P= 26psi

t1=6.98; t2=6.86

$$\bar{x} = 6.92 \text{ seg}$$

$$S = 8.48 e-2$$

$$e = 8.48 e-2$$

$$(\%)e = 1.2\%$$

P= 30psi

t1=6.25; t2=6.14

$$\bar{x} = 6.19 \text{ seg}$$

$$S = 7.1 e-2$$

$$e = 7.1 e-2$$

$$(\%)e = 1.26\%$$

P= 35psi

t1=5.45; t2=5.28

$$\bar{x} = 5.36 \text{ seg}$$

$$S = 0.12$$

$$e = 0.12$$

$$(\%)e = 2.2\%$$

P= 40psi

t1=4.76; t2=4.63

$$\bar{x} = 4.69 \text{ seg}$$

$$S = 9.21 e-2$$

$$e = 9.21 e-2$$

$$(\%)e = 1.9\%$$

*Determinación del porcentaje de error para los datos de velocidad de giro (rpm)*

➤ P= 15psi

<b>N (rpm)</b>	533	498	507	547	510
----------------	-----	-----	-----	-----	-----

$$\bar{x} = 519 \text{ rpm}$$

$$S = 20.2$$

$$e = 10.1$$

$$(\%)e = 1.95\%$$

➤ P= 20psi

<b>N (rpm)</b>	806.5	896	845	857	906
----------------	-------	-----	-----	-----	-----

$$\bar{x} = 862.1 \text{ rpm}$$

$$S = 40.2$$

$$e = 20.1$$

$$(\%)e = 2.3\%$$

➤ P= 22psi

<b>N (rpm)</b>	946.3	854.1	971	913.6	932
----------------	-------	-------	-----	-------	-----

$$\bar{x} = 923.4 \text{ rpm}$$

$$S = 44$$

$$e = 22$$

$$(\%)e = 2.38\%$$

➤ P= 26psi

<b>N (rpm)</b>	1028	1008	962	1036	1041
----------------	------	------	-----	------	------

$$\bar{x} = 1015 \text{ rpm}$$

$$S = 32.1$$

$$e = 16.0$$

$$(\%)e = 1.5\%$$

➤ P= 30psi

<b>N (rpm)</b>	1132.8	1206.4	1198.3	1152	1186
----------------	--------	--------	--------	------	------

$$\bar{x} = 1175.1 \text{ rpm}$$

$$S = 31.4$$

$$e = 15.7$$

$$(\%)e = 1.33\%$$

➤ P= 35psi

<b>N (rpm)</b>	1283.2	1407.2	1396	1341.1	1385
----------------	--------	--------	------	--------	------

$$\bar{x} = 1362.5 \text{ rpm}$$

$$S = 50.9$$

$$e = 25.4$$

$$(\%)e = 1.86\%$$

➤ P= 40psi

<b><i>N (rpm)</i></b>	1595.3	1618.1	1559	1520.4	1605.2
-----------------------	--------	--------	------	--------	--------

$$\bar{x} = 1579.6 \text{ rpm}$$

$$S = 39.72$$

$$e = 19.8$$

$$(\%)e = 1.25\%$$

## ANEXO J (MANUAL DE INSTRUCCIONES DEL TACOMETRO)



## MANUAL DE INSTRUCCIONES

### TACÓMETRO COMBINADO CONTACTO Y FOTO Modelo 461895

#### 1. INTRODUCCIÓN

Felicitaciones por su compra del Tacómetro combinado de contacto y foto Modelo 461895 de Extech. El tacómetro combinado es un diseño patentado que permite la medición de rpm con o sin contacto. Además, se pueden medir las velocidades de superficie en f/min. O en m/min. El modelo 461895 mide a través de un anillo de velocidad como tacómetro de contacto y mide con una rueda de superficie cuando se usa para determinar velocidades lineares de superficie.

#### 1.2 Características

- El uso de un exclusivo circuito microprocesador LSI y reloj basado en cristal ofrece una alta precisión 0.05% y rápido tiempo de medición.
- Las mediciones de rpm. abarcan una amplia escala: 5 a 99,999 rpm. para foto tacómetro y 0.5 a 20,000 rpm. para el tacómetro de contacto
- La supresión de ceros no significativos en la gran pantalla LCD de 5 dígitos provee las rpm. exactas mientras que ahorra energía de la batería
- Automáticamente se guardan el último valor de lectura y última lectura max/min y son llamadas por el botón de Memoria.



## 2. ESPECIFICACIONES

### 2-1 Especificaciones Generales

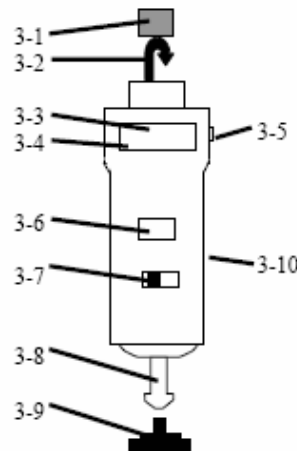
Circuito	Circuito microprocesador de un chip LSI.
Base de tiempo (reloj int.)	Cristal de cuarzo
Pantalla	Pantalla LCD de 5 dígitos, 10 mm (0.4") con anunciador de función
Medición	Foto Tacómetro - 5 a 99,999 rpm. Tacómetro de contacto - 0.5 a 19,999 rpm. Velocidad de superficie - 0.05 a 1,999 m/min. Velocidad de superficie - 0.2 a 6,560 ft/min.
Memoria	Ultimo valor, última lectura máx, última lectura mín.
Tiempo de muestreo	Foto tacómetro - 1 sec. (sobre 60 rpm.) Tacómetro de contacto - 1 sec. (sobre 6 rpm.)
Distancia de detección – Foto tacómetro.	50 a 150 mm (2 a 6 pulgadas) dependiendo de la luz ambiental
Temp. de operación	0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F).
Fuente de poder	Batería 4x 1.5 V AA (UM 3)
Peso	300 g / 0.66 lbs (incluyendo las baterías)
Dimensiones	215 x 65 x 38 mm (8.5 x 2.6 x 1.5")
Accesorios	Manual de instrucciones, Cinta reflejante (23"), adaptador de cono para rpm., adaptador de embudo para rpm., rueda para prueba de velocidad de superficie, estuche portátil

### 2-2 Especificaciones eléctricas

Medición	Escala	Resolución	Precisión (% rdg)
Foto tacómetro	5 a 99,999 rpm.	0.1 rpm (0.5 a 999.9 rpm.) 1 rpm (sobre 1000 rpm.)	± (0.05% + 1d)
Tacómetro de contacto	0.05 a 19,999 rpm.	0.1 rpm (0.5 a 999.9 rpm.) 1 rpm (sobre 1000 rpm.)	
Velocidad de superficie	0.2 a 6560 ft/min.	0.1 ft/min. (0.1 a 999.9 ft/min.) 1 ft/min. (sobre 1000 ft/min.)	± (1% rdg + 1d)
Velocidad de superficie	0.05 a 1999.9 m/min.	0.01 m/min. (0.05 a 99.99 m/min.) 0.1 m/min. (sobre 100 m/min.)	

## 3. DESCRIPCIÓN DEL PANEL FRONTAL

- 3-1 Cinta reflectora
- 3-2 Señal del haz de luz
- 3-3 Indicador del monitor
- 3-4 Pantalla
- 3-5 Botón de medición
- 3-6 Botón de memoria
- 3-7 Interruptor de función
- 3-8 Anillo giratorio
- 3-9 Anillo de velocidad de circunferencia
- 3-10 Compartimiento de batería



## **4. OPERACIÓN**

### **4.1 Foto tacómetro**

- a) Deslice el interruptor de función a la posición «rpm PHOTO».
- b) Aplique un trozo cuadrado de 12 mm (0.5") de cinta reflejante al objeto que se va a medir.
- c) Presione el botón de medición y alinee el haz de luz visible con el objeto que se va a medir. Revise que el indicador del monitor se ilumine cuando la cinta reflejante pase a través del haz de luz. Suelte el botón de medición cuando la lectura se estabilice (aproximadamente 2 segundos).  
Para obtener mejores resultados, sostenga la fuente de luz del medidor a 15—30 cm del objeto que se va a medir, bajo condiciones de baja iluminación ambiental.
- d) Si las rpm son menores a 50, aplique cuadros adicionales de cinta reflejante. Divida la lectura de la pantalla entre la cantidad de cuadros de cinta para obtener la rpm reales.

NOTA: La luz ambiental brillante puede interferir con el reflejo del haz de luz. En algunos casos puede ser necesario sombrear el área del objetivo.

PRECAUCIÓN: Los objetos giratorios pueden ser peligrosos. Tenga cuidado extremo cuando sostenga el medidor cerca de cualquiera de dichos objetos.

### **4.2 Tacómetro de contacto**

- a) Deslice el interruptor de función a la posición «rpm CONTACT».
- b) Presione el botón de medición mientras que ejerce una ligera presión con el anillo giratorio contra la apertura central de una flecha en rotación. Suelte el botón de medición cuando la lectura se estabilice (aproximadamente 2 segundos).

### **4.3 Medición de velocidad de superficie**

- a) Deslice el interruptor de función a la posición «SURFACE SPEED ft/min.» o «m/min.».
- b) Instale la rueda de velocidad de superficie en el eje.
- c) Presione el botón de medición mientras que sostiene la rueda de velocidad contra el dispositivo que se va a medir. Suelte el botón de medición cuando la lectura se estabilice (aproximadamente 2 segundos).

### **4.4 Llamado de memoria**

La última lectura y los últimos valores, máximo y mínimo obtenidos antes de soltar el botón de medición son automáticamente memorizados. Los valores memorizados pueden ser llamados presionando el botón de memoria la cantidad apropiada de veces.

- a) Presione y sostenga – se muestra el último valor seguido por «LA».
- b) Presione de nuevo y sostenga – se muestra el valor máximo seguido de «UP».
- c) Presione de nuevo y sostenga – se muestra el valor mínimo seguido por «dn».

## **5. REEMPLAZO DE LA BATERÍA**

5.1 El indicador de batería baja aparece como «LO» en la pantalla.

5.2 Para reemplazar la batería:

- a) Afloje el tornillo en la cubierta de la batería (3-10, Fig. 1) y retire.
- b) Reemplace con 4 baterías de 1.5V AA (UM-3) y reemplace la cubierta.

## **6. SERVICIOS DE REPARACIÓN Y CALIBRACIÓN**



En Extech ofrecemos servicios completos de reparación y calibración para todos los productos que vendemos. Llame al departamento de servicio a clientes para obtener mayor información acerca de los servicios disponibles sobre calibración periódica, certificación NIST o reparación de cualquiera de los productos Extech. Para asegurar la integridad de la medición, Extech recomienda realizar anualmente la calibración.

#### **7. GARANTÍA**

EXTECH INSTRUMENTS CORPORATION garantiza este instrumento para estar libre de defectos en partes o mano de obra durante un año a partir de la fecha de embarque (se aplica una garantía limitada a seis meses para los cables y sensores). Si fuera necesario regresar el instrumento para servicio durante o después del periodo de garantía, llame al Departamento de Servicio a Clientes al teléfono (781) 890-7440 para solicitar autorización. Se debe emitir un número de Autorización de Retorno (RA) antes de regresar cualquier producto a Extech. El remitente es responsable por los cargos de envío, flete, seguro y empaque adecuado para prevenir daños en tránsito. Esta garantía no se aplica a defectos que resulten por acciones del usuario como mal uso, alambrado inapropiado, operación fuera de las especificaciones, mantenimiento o reparaciones inapropiadas o modificaciones no autorizadas. Extech específicamente rechaza cualquier garantía implícita o aptitud o facilidad de venta para un propósito específico y no será responsable por cualesquiera daños directos, indirectos, incidentales o consecuentes. La responsabilidad total de Extech está limitada a la reparación o reemplazo del producto. La garantía precedente es inclusiva y no hay otra garantía ya sea escrita, oral, expresa o implícita.

Copyright © 2001 Extech Instruments Corporation. Todos los derechos reservados, incluyendo el derecho de reproducción total o parcial en cualquier manera.