



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECÁNICA

TÍTULO

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO A LA BOMBA CENTRIFUGA DEL
BANCO DE ENSAYO DE LA TURBINA PELTON, UBICADA EN EL
LABORATORIO DE TURBOMAQUINAS DE LA FTI-UNI**

AUTORES

Br. Jorge Luis Lezama Altamirano
Br. Orlando José Barreda Jarquín

TUTOR

Msc. Mary Triny Gutiérrez Mendoza

Managua, Junio 2022.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

LEZAMA ALTAMIRANO JORGE LUIS

Carné: **2011-37508** Turno: **Nocturno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECANICA**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y dos días del mes de febrero del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

BARREDA JARQUIN ORLANDO JOSE

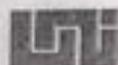
Carne: **2012-42217** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y cinco días del mes de enero del año dos mil veinte y uno.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





La Comisión de Revisión de Culminación de Estudios
de la carrera de Ingeniería Mecánica

Hace constar que el tema del trabajo monográfico:

**Mantenimiento correctivo a la bomba centrífuga del banco de ensayo de la
turbina Pelton, ubicada en el Laboratorio de Turbomáquinas de la FTI-UNI.**

Propuesto por el (la) (los) o (las) bachiller(es):

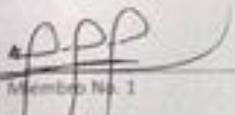
1. Orlando Jose Barreda Jarquín
2. Jorge Luis Lezama Altamirano

Tutor: MSc. Mary Triny Gutiérrez Mendoza

Ha sido:

Aprobado: /

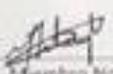
Debe(n) reformularlo:



Miembro No. 1



Coordinador



Miembro No. 2

Managua, 23 de noviembre de 2020

Dedicatoria

Jorge Luis Lezama Altamirano

El presente trabajo de culminación de estudios, lo dedico principalmente a Dios por ser el inspirador, bendecir mi vida, guiarme, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Estrella Altamirano y Jorge Lezama, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me inculcaron.

Gracias a mi amigo Carlos Padilla, que me ayudo de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda tu ayuda y buena voluntad.

Agradezco a mis docentes de la Facultad de Tecnología de la Industria, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión de manera especial a la Msc Mary Triny Gutiérrez Mendoza tutora de nuestra tema de culminación de estudio quien ha guiado con paciencia y su rectitud como docente.

Finalmente, a mi esposa e hija por ser mis pilares y motivarme a ser mejor cada día, quienes me motivan a alcanzar mis metas, con su amor.

Gracias a todos!!

Orlando José Barreda Jarquín

Primeramente doy gracias a Dios por haber permitido llegar hasta este momento y haberme dado salud, por ser el manantial de vida y darme lo necesario, para seguir adelante.

A mis padres Aarón Jiménez y Claudia Barreda por haberme apoyo incondicionalmente en todo momento, por sus consejos, sus valores y motivaciones constante que me permitieron ser una persona de bien y más que todo por su amor incondicional y sus ejemplos de perseverancia y constancia y sobre todo por mostrarme el camino para salir siempre adelante.

Resumen

El presente trabajo monográfico consiste en el mantenimiento correctivo a la bomba centrífuga del banco de ensayo de la turbina Pelton, ubicada en el laboratorio de turbomaquinas de la facultad de tecnología de la industria – UNI.

El mantenimiento correctivo consistió primeramente en una valoración del estado en que se encontraba la bomba centrífuga y el motor, una vez obtenido su diagnóstico en su estado mecánico y eléctrico, se procedió a realizar las reparaciones relacionadas a la operación del motor eléctrico y la bomba centrífuga. A la vez, se instaló de cero el sistema eléctrico y de arranque para lograr la operación de la bomba.

Finalizado el mantenimiento correctivo del motor eléctrico y bomba centrífuga se hicieron las pruebas en vacío del motor eléctrico. Una vez, comprobado el arranque del motor eléctrico, validando su funcionamiento, se procedió a realizar el acople del motor eléctrico a la bomba para hacer una prueba real con carga de agua del estanque del banco de ensayo de la turbina pelton, logrando su arranque con éxito, y se logró visualizar la succión y expulsión de agua en las tuberías, esta prueba fue supervisada y validada por nuestra tutora.

Índice de Contenido

I. Introducción	1
II. Antecedentes	2
III. Justificación	3
IV. Objetivos.....	4
V. Marco Teórico	5
5.1 Prueba Megger.....	5
5.2 <i>Motor eléctrico trifásico.....</i>	<i>7</i>
5.3 <i>Fundamentos de operación de los motores eléctricos</i>	<i>8</i>
5.4 <i>Partes fundamentales de un motor eléctrico</i>	<i>8</i>
5.5 <i>Tipos de motores eléctricos y características.....</i>	<i>11</i>
5.6 Control eléctrico de mando.....	13
5.7 <i>Bomba centrífuga</i>	<i>19</i>
5.8 <i>Mantenimiento.....</i>	<i>29</i>
5.9 <i>Mantenimiento preventivo Planificado.....</i>	<i>29</i>
VI. Análisis y Presentación de Resultados	30
6.1 Condiciones de bomba centrífuga para evaluación de su estado previo al mantenimiento correctivo	30
6.1.1 Desmontaje	30
6.1.2 Condición del devanado mediante Prueba Megger	33
6.1.3 Identificación de tipo de voltaje en el panel del laboratorio	35
6.1.4 Partes mecánicas del motor.....	37
6.1.5 Bomba Centrífuga	41
6.2 Aplicación del Mantenimiento correctivo	43
6.2.1 Instalación para alimentar panel eléctrico del motor de la bomba centrífuga	44

6.2.2 Panel de control de mando.....	47
6.2.3. Pintura	50
6.3 Prueba en marcha de la bomba	52
6.4 . Plan de Mantenimiento de la bomba centrifuga.....	54
6.4.1. Bomba centrifuga.....	54
6.5 . Estimación económica.....	64
VII. Conclusión	66
VIII. Recomendaciones.....	67
IX. Bibliografía	68
X. ANEXOS.....	69
Anexo 1. Información técnica aplicada al motor y bomba	70
Anexo 2. Hoja técnica de empaquetadura teflón virgen PTFE	75
Anexo 3. Ficha técnica de alambre conductor THHN.....	76

Índice de Figuras

Figura 1. Prueba de resistencia.....	5
Figura 2. Distribución al azar de las cargas positivas y negativas.....	7
Figura 3. Polarización de las cargas en presencia del campo eléctrico.	7
Figura 4. Movimiento de rotación	8
Figura 5. Partes de un motor eléctrico	9
Figura 6. Estator ranurado	10
Figura 7. Rotor	11
Figura 8. Cojinetes	13
Figura 9. Cojinete de rodamiento	13
Figura 10. Bomba Centrífuga, disposición y esquema	20
Figura 11. Impulsor o rodete	21
Figura 12. Triángulos de velocidades de una bomba centrífuga	22
Figura 13. Alturas a considerar en una instalación con bomba centrífuga	23
Figura 14. Curva característica de una bomba.....	24
Figura 15. Curva de potencia absorbida caudal.....	25
Figura 16. Diagrama de Sankey.....	26
Figura 17. Curva NPSH-caudal.....	27
Figura 18. Curvas de Isorrendimiento	28
Figura 19. Campo de rendimiento.....	28
Figura 20. Motor sin tapa superior.....	31
Figura 21. Desmontaje de devanado	31
Figura 22. Borneras de 6 puntos.....	32
Figura 23. Prueba de continuidad de bobina.....	33
Figura 24. Experto realizando prueba Megger	34
Figura 25. Comprobación de voltaje.....	36
Figura 26. Bobinas internas del motor de 6 puntas.....	37
Figura 27. Conexión delta bajo voltaje 220v	37
Figura 28. Rotor y tapa inferior.....	38
Figura 29. Balinera en mal estado por oxido.....	38

Figura 30. Balinera antes de la instalación.....	39
Figura 31. Características del rodamiento 6308-RZ.....	40
Figura 32. Tapa inferior con bushing de bronce donde va asentado eje de la bomba	41
Figura 33. Impulsor	42
Figura 34. Instalación de empaquetadura de teflón trenzado virgen	42
Figura 35 Placa del motor	44
Figura 36. Capacidad de amperaje de conductores eléctricos según NFPA	45
Figura 37 Seleccionador trifásico de fuerza	47
Figura 38 Panel de control de mando	48
Figura 39 Contactor de fuerza.....	48
Figura 40 Diagrama fuerza y mando	49
Figura 41 Preparación del motor y bomba centrífuga antes de la pintura	50
Figura 42 Preparación de pintura	51
Figura 43 Proceso de pintura	51
Figura 44 Comprobando arranque y giro del motor en vacío	52
Figura 45: Descarga de agua de la bomba centrífuga en el banco de ensayo.....	53
Figura 46: Partes de la bomba	54

Índice de Tablas

Tabla 1 Resultados de prueba Megger	34
Tabla 2 valores recomendados de NETA.....	35
Tabla 3 Dimensiones y especificaciones de los rodamientos en el catálogo SKF	40
Tabla 4 Actividades del mantenimiento correctivo	43
Tabla 5: Formato Hoja de vida	56
Tabla 6: Formato Orden de Trabajo	58
Tabla 7: Formato de registro para actividades de mantenimiento correctivo	60
Tabla 8: Plan de Mantenimiento.....	63

I. Introducción

Bomba centrífuga es también denominada bomba rotodinámica es la máquina más utilizada para bombear fluidos incompresibles (líquidos); estas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible; tienen un uso muy extendido en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier uso (en forma hidráulica).

En condiciones ideales, las bombas pueden funcionar casi indefinidamente. En condiciones adversas, se descomponen a menudo. Si, por ejemplo, el fluido que se bombea es corrosivo o contiene abrasivos, la bomba necesitará un mayor mantenimiento al que se requiere bajo condiciones favorables. Sin embargo, la vida de cualquier bomba se puede extender gracias a procedimientos apropiados de mantenimiento.

Aun bajo las circunstancias más favorables, una bomba tendrá que salir finalmente de servicio para permitir reemplazo de las partes desgastadas o averiadas.

Tal es el caso de la bomba centrífuga en el banco de ensayo de la Turbina Pelton ubicada en el laboratorio de Turbomáquinas de la FTI-UNI que actualmente se encuentra fuera de funcionamiento ya que ha estado por más de 20 años desactivada sin ningún uso, razón por la cual surge la necesidad de su reparación para ser utilizada en el banco de ensayo.

El objetivo de este trabajo es realizar un mantenimiento correctivo en el que se desmontara para realizar limpieza y cambio en partes desgastadas que se presente en la bomba centrífuga y así una prueba Megger para medir el voltaje adecuado y la corriente que circula en el circuito ya esta es una bomba fuera de los estándares o de las normas eléctricas del país con el fin de poner a prueba su correcto funcionamiento en el banco de ensayo.

II. Antecedentes

La primera máquina que podría caracterizarse como una bomba centrífuga es una máquina de elevación de barro que apareció en 1475 en el Renacimiento italiano por el ingeniero Francesco Martini.

Bombas centrífugas verdaderas no se desarrollaron hasta finales del siglo 17, cuando Denis Papin construyó uno con aspas rectas. La aleta curvada se introdujo por el inventor británico John Appold en 1851.

Este tipo de bombas son complejas y de gran utilidad en la industria es por ello, que se requiere realizar un mantenimiento preventivo para su buen funcionamiento.

Actualmente la bomba centrífuga del banco de ensayo de la turbina Pelton ubicada en el laboratorio de Turbomáquinas de la Facultad de Tecnología de la Industria ha estado desactivada desde los años 90' desde que se le realizó un Bobinado y se acopló dicha Bomba a las normativas eléctrica de nuestro país ya Es una Bomba Centrífuga de Alemania que esta posee 50 Hertz y no es adecuada con las de Nicaragua que son de 60 por Hertz y este puede implicar un sobre esfuerzo en la Bomba y una caída en la eficiencia por lo que se produce un mayor Efecto Joule(Recalentado) y esto provoca una decaída en la eficiencia de la bomba y así en el Turbina Pelton en el banco de ensayo del laboratorio de Turbomáquinas del FTI.

III. Justificación

Los trabajos correctivos deben realizarse según los protocolos de montaje y siguiendo las instrucciones del fabricante. Deben tenerse en cuenta las tensiones máximas transmitidas a las bridas de aspiración y descarga.

Al realizar mantenimientos preventivos se conoce la confianza, el estado y el funcionamiento de las bombas, se reduce el tiempo de inactividad debido a fallas mecánicas de la bomba, mayor vida de los equipos e instalaciones, se pueden programar trabajos y sobretodo los bajos costos de relación de las bombas.

En el presente trabajo se pretende proponer un mantenimiento correctivo a la bomba centrífuga del banco de ensayo de la turbina Pelton ubicada en el laboratorio de turbo maquinas, debido que actualmente no está funcionando. Y este permitirá que la Bomba se activada nuevamente para que alimente en banco de ensayo y así permitir a los estudiantes demostrar el funcionamiento y uso de la Turbina Pelton ya que esta bomba brinda la presión suficiente de agua para mover las aspas de dicha bomba.

En este proceso proponemos realizar un desmontaje de la bomba, una prueba Megger, limpieza interior y exterior (pintar) y anexar cable de corriente eléctrica (ya que no posee) para poner en funcionamiento y con esto tenemos de meta proporcionar un mantenimiento completo a la Bomba que será utilizada para futuros estudiantes.

Un cambio Novedoso en este proyecto será lograr que una turbina Pelton sea vista en funcionamiento en un Laboratorio.

El propósito de este mantenimiento es dejar funcionando la turbina para su uso en el laboratorio, de modo que posteriormente se puedan ejecutar solo mantenimientos preventivos.

IV. Objetivos

Objetivo General

Aplicar un mantenimiento correctivo a la bomba centrífuga del banco de ensayo de la turbina pelton para la puesta en marcha del sistema de bombeo, ubicada en el laboratorio turbomáquina de la FTI-UNI.

Objetivos Específicos

- ❖ Realizar las reparaciones pertinentes en los sistemas de la bomba centrífuga mediante la identificación de fallos y pruebas con instrumentos de medición.

- ❖ Proponer plan de mantenimiento a la bomba centrífuga para el óptimo funcionamiento de los sistemas que forman parte del equipo.

- ❖ Estimar los costos de la aplicación del mantenimiento correctivo a la bomba centrífuga para que sea un referente económico.

V. Marco Teórico

En este capítulo se presentan cada una de las definiciones tomadas en cuenta para hacer posible el desarrollo de esta investigación, los temas hacer énfasis están: Prueba Megger, Motor eléctrico, bombas centrifugas, Mantenimiento y tipos de mantenimientos.

5.1 Prueba Megger

La prueba de resistencia de aislamiento consiste básicamente en aplicar voltaje entre los electrodos y medir la corriente que circula por el circuito. El equipo de prueba está integrado por una fuente de corriente directa y un medidor de la corriente que circula por el circuito, como se ilustra en el diagrama de la figura 1.

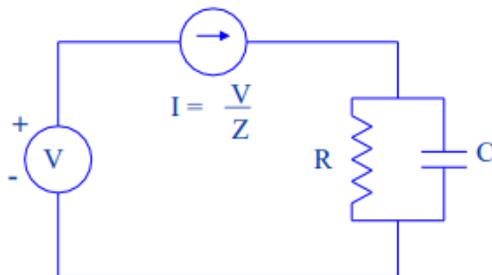


Figura 1. Prueba de resistencia

Es importante observar que el objeto bajo prueba está representado por una resistencia en paralelo con un capacitor. Esto quiere decir que la corriente que circula por el circuito depende tanto de la resistencia del aislamiento y de su capacitancia. Estrictamente hablando, la prueba de resistencia de aislamiento debería llamarse prueba de impedancia de aislamiento, ya que existe también un efecto capacitivo.

En resumen, cuando se realiza la prueba de resistencia de aislamiento, lo que se hace es medir el voltaje y la corriente que circula por el circuito y, por la Ley de Ohm, determinar la impedancia del objeto bajo prueba. En la práctica, no es necesario medir el voltaje y la corriente y luego aplicar la fórmula de la Ley de Ohm. Lo que se hace es que el micro amperímetro, aunque mide corriente, tiene una escala graduada en megaohms para leer directamente la impedancia. (*Prueba de Resistencia de Aislamiento. Intec 2004*)

- **El aislamiento ante la presencia de corriente directa**

Al realizar la prueba de resistencia de aislamiento, el sistema aislante se comporta de acuerdo a dos efectos: el resistivo y el capacitivo. (*Prueba de Resistencia de Aislamiento. Intec 2004*)

-Efecto resistivo:

La parte resistiva del aislamiento se comporta linealmente de acuerdo a la ley de Ohm. Por ejemplo si a un aislamiento se le aplica un voltaje de 2500 Volts y circula una corriente de 10µA, tendrá una resistencia de:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{2500}{10 \times 10^{-6}} = 250 \times 10^6 = 250 \text{ M}\Omega$$

-Efecto capacitivo

Cuando se tiene un aislamiento sin aplicarle voltaje, las cargas eléctricas positivas y negativas se encuentran distribuidas al azar, como se ilustra en la figura siguiente. Al momento de aplicar voltaje, las cargas eléctricas tienden a alinearse como se muestran en las figuras.

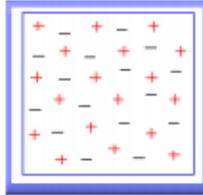


Figura 2. Distribución al azar de las cargas positivas y negativas

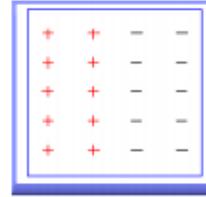


Figura 3. Polarización de las cargas en presencia del campo eléctrico.

Este fenómeno, conocido como polarización, requiere de energía para producirse. La energía requerida para polarizar el aislamiento es suministrada por la corriente que se consume. Al momento de energizar el aislamiento, se necesita un valor mayor de corriente para desplazar las cargas. A medida que pasa el tiempo, la cantidad de corriente va disminuyendo hasta que llega a un punto en donde se mantiene constante, solo para mantener las cargas en nueva posición. Por esta razón, la parte capacitiva del aislamiento no se comporta linealmente.

5.2 Motor eléctrico trifásico

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.

5.3 Fundamentos de operación de los motores eléctricos

En magnetismo se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. En la figura siguiente se muestra como se produce el movimiento de rotación en un motor eléctrico.

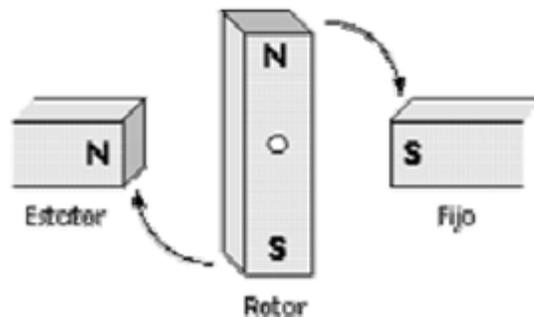


Figura 4. Movimiento de rotación

Un motor eléctrico opera primordialmente en base a dos principios: El de inducción, descubierto por Michael Faraday en 1831; que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y el principio que André Ampère observó en 1820, en el que establece: que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o f.e.m. (fuerza electromotriz), sobre el conductor.

5.4 Partes fundamentales de un motor eléctrico

Dentro de las características fundamentales de los motores eléctricos, éstos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el

estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes. No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y el rotor.

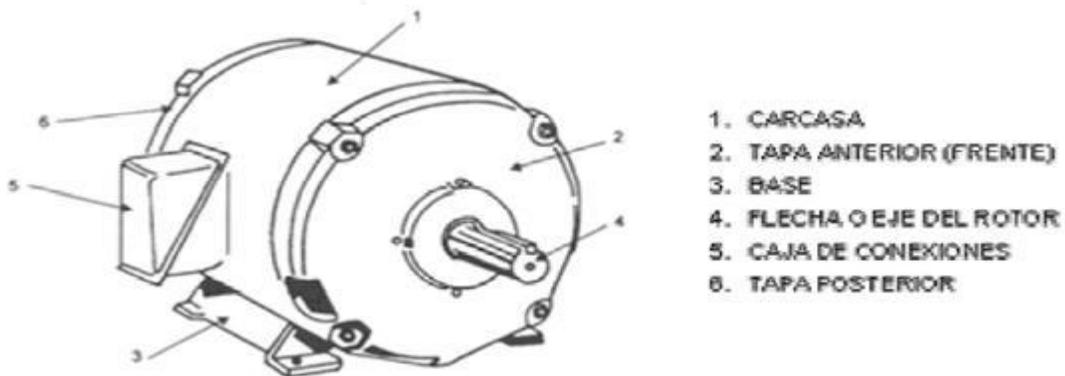


Figura 5. Partes de un motor eléctrico

Estator

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero sí magnéticamente.

En pocas palabras según el concepto del Estator es la parte fija de una máquina dentro de la cual gira un rotor

Existen dos tipos de estatores

a) Estator de polos salientes

Este tipo de Estator presenta expansiones polares que dan lugar a un entre hierro variables.

b) Estator ranurado.

Este tipo de Estator es aquel que el devanado de campo está distribuido en varios segmentos de la misma bobina situados en diferentes ángulos simétricos.

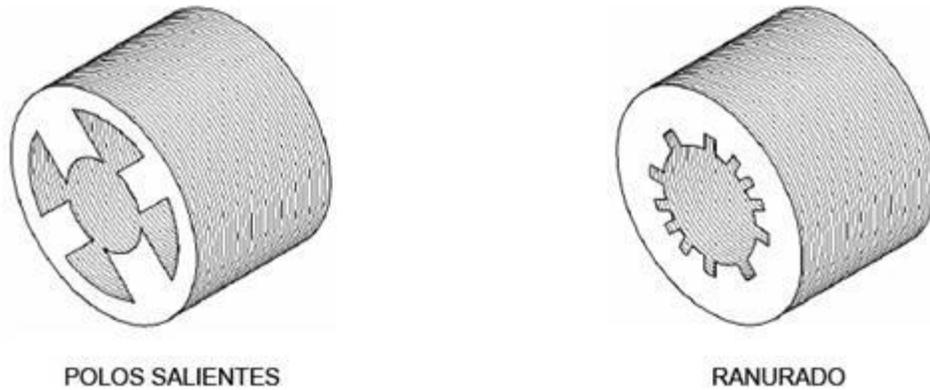


Figura 6. Estator ranurado

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (y se les llama "paquete"), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos.

Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

Rotor

El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos:

- a) Rotor ranurado
- b) Rotor de polos salientes
- c) Rotor jaula de ardilla

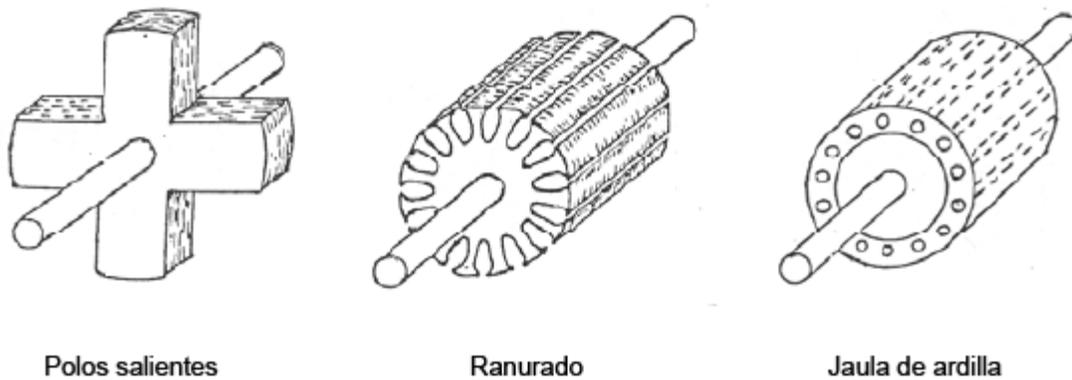


Figura 7. Rotor

5.5 Tipos de motores eléctricos y características

Los Motores de Corriente Directa [C.D.] o Corriente Continua [C.C.]: Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Este tipo de motores debe de tener en el rotor y el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones.

Carcasa

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta
- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible

Base

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

- a) Base frontal
- b) Base lateral

Caja de conexiones

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

Tapas

Son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor.

Cojinetes

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

- a) *Cojinetes de deslizamiento*: Operan la base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo.



Figura 8. Cojinetes

- *b) Cojinetes de rodamiento:* Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:
- Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
- Son compactos en su diseño
- Tienen una alta precisión de operación.
- No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
- Se reemplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares



Figura 9. Cojinete de rodamiento

5.6 Control eléctrico de mando

🚦 El contactor

Elemento básico sobre el cual se fundamenta una lógica de tipo “todo o nada”, la cual corresponde a operaciones del tipo “abierto o cerrado”, “verdadero o falso”, “1 ó 0”, “caliente o frío”, etc. El contactor es un dispositivo compuesto por pares metálicos montados sobre un mecanismo el cual puede mantenerlos en estado de unión o separación, representando así la naturaleza “todo o nada”. En el estado de unión se presentará conducción ya que habrá una resistencia ideal de cero entre

los contactos y en el estado de separación se presentará no conducción por la presencia de resistencia infinita entre los pares metálicos. Lo importante de este accionamiento es la utilización externa del estado en el cual se encuentren los contactos o pares metálicos

El contactor es un dispositivo mecánico de accionamiento mediante electroimán. Cuando la bobina del electroimán se encuentra bajo tensión, el contactor se cierra, estableciendo un camino a través de los pares metálicos entre una red de alimentación y un receptor. El desplazamiento de la parte móvil del electroimán que arrastra las partes móviles de los pares metálicos puede ser rotacional, lineal o combinación de los dos anteriores. Cuando se suspende la alimentación de la bobina, el circuito magnético se desmagnetiza y regresa a su posición de reposo debido a la acción conjunta de resortes que actúan como elementos de reposición tanto en los mismos pares metálicos como en la parte móvil de la armadura, y de la acción de la misma gravedad en determinados equipos.

A continuación se presentan los principales elementos que forman un contactor:

El Electroimán: Se comporta como el elemento proveedor de desplazamiento de los contactos. Se compone principalmente del circuito magnético y la bobina. Su forma depende del tipo de contactor y de si la fuente de alimentación es de corriente continua o alterna. El circuito magnético incluye un entrehierro reducido en posición "cerrado". El recorrido de llamado es la distancia entre la parte fija y la móvil cuando el contactor se encuentra en reposo. Los resortes de reposición se comprimen durante el recorrido de aplastamiento y hasta el final del mismo. El circuito magnético para corriente continua posee chapas de acero al silicio unidas mediante remache o soldadura y circuito laminado para reducir las corrientes de Foucault. Para el circuito magnético en corriente continua se puede emplear dependiendo del caso ya sea el mismo circuito magnético laminado de corriente alterna o específicamente un electroimán para corriente continua de acero macizo.

La Bobina: Es la encargada de generar el flujo magnético requerido para atraer la parte móvil de la armadura. Está diseñada para soportar los choques mecánicos

provocados por los cierres y aperturas del circuito magnético y los choques electromagnéticos que se producen cuando la corriente recorre las espiras.

Pares Metálicos: También denominados como polos, establecen o interrumpen la corriente dentro del circuito de potencia. Se dimensionan para soportar la corriente nominal del contactor en servicio permanente sin presentar calentamientos. Su fabricación se basa en una aleación de plata resistente a la oxidación y al arco. Estos pares metálicos pueden estar dispuestos de tal forma que en estado de reposo permitan o no el paso de la corriente y en estado de accionamiento la operación inversa.

Contactos Auxiliares: Realizan funciones de automantenimiento, esclavización, enclavamiento de contactos y señalización. Se pueden identificar tres tipos básicos, a saber:

- Contactos instantáneos de cierre: se encuentran normalmente abiertos en posición de reposo, NA, y se cierran cuando el contactor está bajo tensión.
- Contactos instantáneos de apertura: se encuentran normalmente cerrados en posición de reposo, NC, y se abren cuando el contactor está bajo tensión.
- Contactos instantáneos NA/NC: Los dos contactos comparten un polo en común. En reposo el contacto NA se encuentra abierto y el NC cerrado. Con la energización de la bobina del contactor ambos cambian de estado.

Contactos Principales: Realizan las operaciones de paso o interrupción de corriente a los receptores.

Control Eléctrico

En los comienzos de la industrialización las máquinas fueron gobernadas esencialmente a mano e impulsadas desde un eje común de transmisión o de línea. El funcionamiento automático de una máquina se obtiene exclusivamente por la acción del mecanismo y del control de la máquina. Este control algunas veces es totalmente eléctrico y otras veces suele combinarse al control mecánico, pero los principios básicos aplicados son los mismos.

Tipos de controles eléctricos

Manual. Este tipo de control se ejecuta manualmente en el mismo lugar en que está colocada la máquina. Este control es el más sencillo y conocido y es generalmente el utilizado para el arranque de motores pequeños a tensión nominal. Este tipo de control se utiliza frecuentemente con el propósito de la puesta en marcha y parada del motor. El costo de este sistema es aproximadamente la mitad del de un arrancador electromagnético equivalente. El arrancador manual proporciona generalmente protección contra sobrecarga y desenganche de tensión mínima, pero no protección contra baja tensión.

Este tipo de control abunda en talleres pequeños de metalistería y carpintería, en que se utilizan máquinas pequeñas que pueden arrancar a plena tensión sin causar perturbaciones en las líneas de alimentación o en la máquina. Una aplicación de este tipo de control es una máquina de soldar del tipo motor generador.

El control manual se caracteriza por el hecho de que el operador debe mover un interruptor o pulsar un botón para que se efectúe cualquier cambio en las condiciones de funcionamiento de la máquina o del equipo en cuestión.

Semi-Automático. Los controladores que pertenecen a esta clasificación utilizan un arrancador electromagnético y uno o más dispositivos pilotos manuales tales como pulsadores, interruptores de maniobra, combinadores de tambor o dispositivos análogos. Quizás los mandos más utilizados son las combinaciones de pulsadores a causa de que constituyen una unidad compacta y relativamente económica. El control semi-automático se usa principalmente para facilitar las maniobras de mano y control en aquellas instalaciones donde el control manual no es posible.

Control Automático. Un control automático está formado por un arrancador electromagnético o contactor, controlado por uno o más dispositivos pilotos automáticos. La orden inicial de marcha puede ser automática, pero generalmente es una operación manual, realizada en un panel de pulsadores e interruptores. En algunos casos el control puede tener combinación de dispositivos manuales y

automáticos. Si el circuito contiene uno o más dispositivos automáticos, debe ser clasificado como control automático.

Paro de emergencia

El botón pulsador de parada de emergencia será tipo “hongo”, de color rojo y con un círculo amarillo en la superficie inferior. Cuando se acciona (pulsa), queda enclavado, y una nueva puesta en servicio (desclavamiento) solo podrá efectuarse manualmente. Los dispositivos de parada de emergencia se deben instalar en todas aquellas máquinas en las cuales existan peligros de tipo mecánico durante las condiciones normales de trabajo. Hay que tener en cuenta que, dependiendo del tipo de máquina, puede ser necesaria la instalación de más de un dispositivo de parada de emergencia; por ejemplo, en máquinas con más de un puesto de mando y control, máquinas de características especiales con varios puntos de peligro separados del puesto de mando y control, etcétera.

La función esencial del dispositivo de parada de emergencia será la de interrumpir (en caso de peligro) el suministro de las fuentes de alimentación de energía (corriente eléctrica, aire a presión, etcétera) y parar la máquina lo más rápidamente posible.

Sin embargo, el dispositivo de parada de emergencia puede, en algunos casos, no interrumpir ciertos circuitos de la máquina que podrían generar, cuando se interrumpen, un peligro para el operario o la máquina como, por ejemplo, los platos magnéticos o circuitos auxiliares (alumbrado, refrigeración, etcétera).

Ciertos movimientos no solo no serán interrumpidos sino que se pondrán en marcha cuando se accione el dispositivo de parada de emergencia sin que ello, claro está, represente un peligro para el operario, por ejemplo: los órganos de frenada de emergencia, para obtener una parada más rápida, la inversión del sentido de giro en los rodillos de una curvadora de chapa, etcétera.

La función principal del dispositivo de parada de emergencia es la de parar la máquina lo más rápidamente posible. Este dispositivo se instalará en las máquinas; se prevén para este fin dos posibilidades: por un lado, un interruptor, accionado

manual o eléctricamente, situado en la línea de alimentación de la máquina; por otro, un auxiliar de mando dispuesto en el circuito auxiliar de modo que, cuando se accione, se desconecten todos los circuitos que puedan originar peligro.

El órgano de mando utilizado como parada de emergencia debe reunir las siguientes características: a) será visible y fácilmente accesible, por lo que se colocará en un lugar al que el operario pueda alcanzar rápidamente; b) será capaz de cortar la corriente máxima del motor de mayor potencia en condiciones de arranque; c) podrá accionarse manualmente y será enclavable en la posición de abierto, y d) puede presentar varias formas: maneta, pedal, cuerda, botón pulsador, etcétera (elegir la conveniente en cada aplicación), pero en todos los casos, el color será rojo (si el órgano de mando es un botón-pulsador, este debe ser del tipo “hongo”, de color rojo y llevará como fondo un círculo de color amarillo).

Los contactos (si se utiliza como órgano de mando un botón pulsador) deberán ser de apertura forzada y completa, entendiéndose como apertura forzada aquella que lleva rígidamente unidos los bloques de contactos con el vástago guía del interruptor (elemento de accionamiento), y por apertura completa, que el interruptor tendrá únicamente dos posiciones de trabajo estables (abierto o cerrado).

En máquinas con más de un puesto de trabajo o de mando, o que por sus dimensiones precisen más de un dispositivo de parada de emergencia, el accionamiento de uno cualquiera de ellos provocará la detención de la máquina y será preciso, para la nueva puesta en marcha, eliminar el bloqueo desde el punto en que se detuvo. (El restablecimiento de las condiciones de puesta en marcha — desbloqueo del paro de emergencia— de la máquina implicaría la actuación de una señal acústica-luminosa perceptible por la totalidad de los operarios; en todo caso, se seguiría el procedimiento normal de puesta en marcha).

Cuando se emplee como paro de emergencia el interruptor principal de la máquina, este elemento de desconexión deberá reunir, además de las características propias de su función, las descritas para el paro de emergencia.

5.7 Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico. Los elementos constructivos de que constan son:

- a) Una tubería de aspiración, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- b) El impulsor o rodete, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que es accionado por un motor, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), adquiriendo una aceleración y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación; en la voluta se transforma parte de la energía dinámica adquirida en el rodete, en energía de presión, siendo lanzados los filetes líquidos contra las paredes del cuerpo de bomba y evacuados por la tubería de impulsión.

La carcasa, (voluta), está dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior; la separación va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión; en algunas bombas existe, a la salida del rodete, una directriz de álabes que guía el líquido a la salida del impulsor antes de introducirlo en la voluta.

Una tubería de impulsión.- La finalidad de la voluta es la de recoger el líquido a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. La voluta es también un transformador de energía, ya que

disminuye la velocidad (transforma parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión), aumentando la presión del líquido a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta.

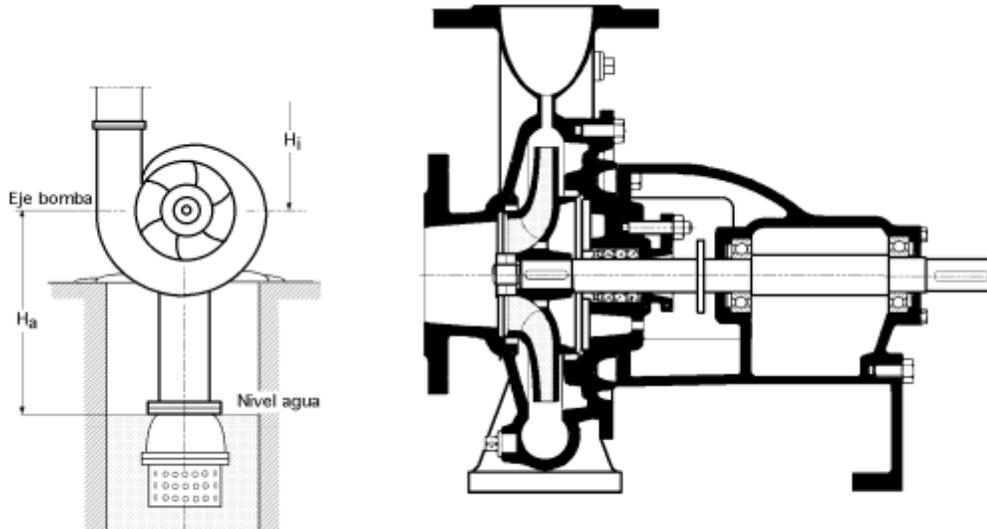


Figura 10 Bomba Centrífuga, disposición y esquema

Los elementos constructivos que la conforman son:

- a) **Una tubería de aspiración**
- b) **El impulsor o rodete**, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba.

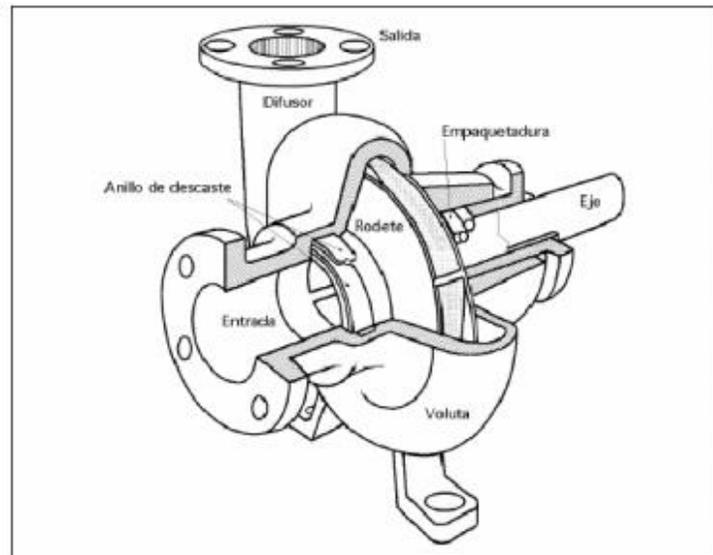


Figura 11. Impulsor o rodete

- c) **Difusor:** El difusor junto con el rodete, están encerrados en una cámara, llamada carcasa o cuerpo de bomba. El difusor está formado por unos álabes fijos divergentes, que al incrementarse la sección de la carcasa, la velocidad del agua irá disminuyendo lo que contribuye a transformar la energía cinética en energía de presión, mejorando el rendimiento de la bomba.

- d) **Eje:** El eje de la bomba es una pieza en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente sobre el impulsor y le trasmite la fuerza del elemento motor. Las bombas centrífugas para agua se clasifican atendiendo a la posición del eje en bombas de eje horizontal y bombas de eje vertical.

Este es, en general, el funcionamiento de una bomba centrífuga aunque existen distintos tipos y variantes. La estructura de las bombas centrífugas es análoga a la de las turbinas hidráulicas, salvo que el proceso energético es inverso; en las turbinas se aprovecha la altura de un salto hidráulico para generar una velocidad de rotación en la rueda, mientras que en las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al líquido se transforma, en parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación.

Alturas a considerar en las bombas centrífugas

El órgano principal de una bomba centrífuga es el rodete que, en la siguiente figura, se puede ver con los álabes dispuestos según una sección perpendicular al eje de la bomba; el líquido llega a la entrada del rodete en dirección normal al plano de la figura, (dirección axial), y cambia a dirección radial recorriendo el espacio o canal delimitado entre los álabes.

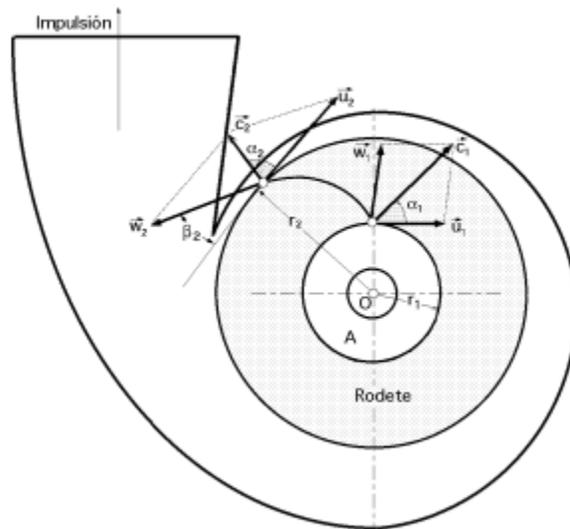


Figura 12 Triángulos de velocidades de una bomba centrífuga

El líquido queda sometido a una velocidad relativa w a su paso por el espacio entre álabes entre la entrada y la salida, y a una velocidad de arrastre u debida a la rotación del rodete alrededor del eje. La suma vectorial de estas velocidades proporciona la velocidad absoluta c . Si llamamos w_1 a la velocidad relativa del líquido a la entrada en la cámara delimitada por un par de álabes, u_1 a la velocidad tangencial, y c_1 a la velocidad absoluta, se obtiene el triángulo de velocidades a la entrada.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Velocidad relativa, } \vec{w}_1 \\ \text{Velocidad tangencial, } \vec{u}_1 \\ \text{Velocidad absoluta, } \vec{c}_1 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 \text{ es el ángulo formado por } \vec{c}_1 \text{ y } \vec{u}_1 \\ \beta_1 \text{ es el ángulo formado por } \vec{w}_1 \text{ y } \vec{u}_1 \end{array} \right.$$

A la salida del rodete se tiene otro triángulo de velocidades determinado por las siguientes velocidades y ángulos:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Velocidad relativa, } \bar{w}_2 \\ \text{Velocidad tangencial, } \bar{u}_2 \\ \text{Velocidad absoluta, } \bar{c}_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \alpha_2 \text{ es el ángulo formado por } \bar{c}_2 \text{ y } \bar{u}_2 \\ \beta_2 \text{ es el ángulo formado por } \bar{w}_2 \text{ y } \bar{u}_2 \end{array} \right.$$

Si se designa por H el desnivel o altura geométrica existente entre los niveles mínimo y máximo del líquido, por H_a la altura o nivel de aspiración, (altura existente entre el eje de la bomba y el nivel inferior del líquido), y por H_i la altura de impulsión, (altura existente entre el eje del rodete y el nivel superior del líquido), se tiene que:

$$H = H_a + H_i$$

Para el caso del agua, la altura teórica de aspiración para un n° infinito de álabes (teoría unidimensional), sería la equivalente a la columna de agua correspondiente a la presión a que se encontrase el nivel inferior; si éste está sometido únicamente a la presión atmosférica, la altura teórica de aspiración sería de 10,33 metros; sin embargo, esta altura es siempre menor, pues hay que tener en cuenta las pérdidas de carga en la tubería, rozamientos a la entrada del rodete, temperatura del líquido a elevar, y sobre todo, el fenómeno de la cavitación, por lo que el límite máximo para la altura de aspiración se puede fijar entre 5 y 7 metros, según el tipo de instalación.

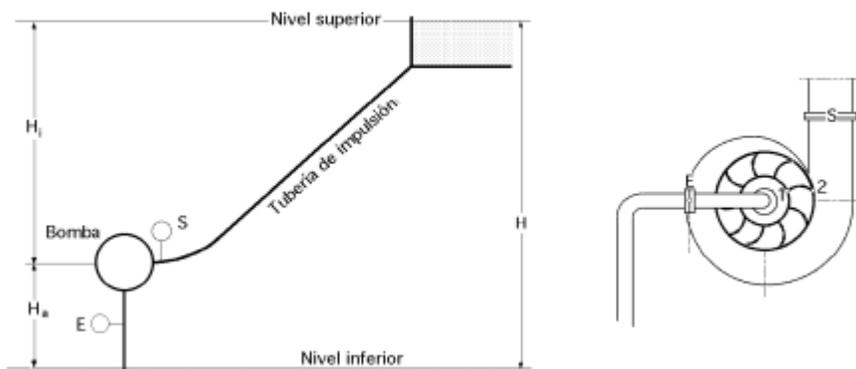


Figura 13 Alturas a considerar en una instalación con bomba centrífuga

Curva característica de una bomba

La curva característica de una bomba describe la relación entre la altura manométrica (caída de presión) y el caudal, datos que permiten escoger la bomba más adecuada para cada instalación. La altura manométrica de una bomba es una magnitud, expresable también como presión, que permite valorar la energía suministrada al fluido, es decir, se trata de la caída de presión que debe de vencer la bomba para que el fluido circule según condiciones de diseño.

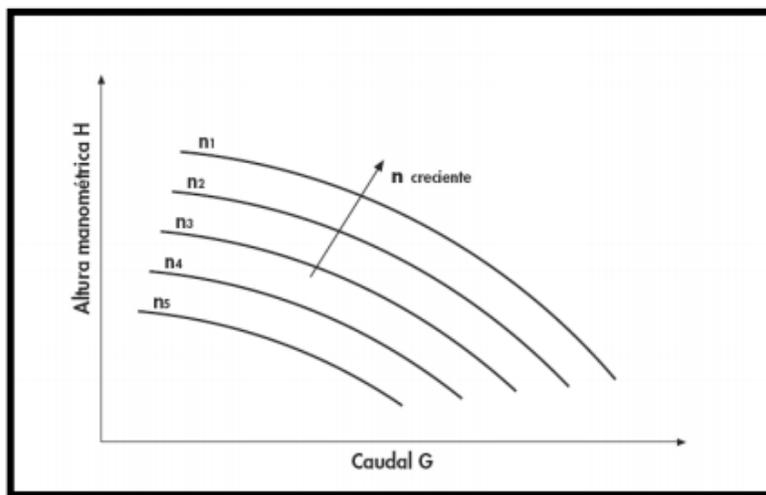


Figura 14. Curva característica de una bomba

Como puede observarse en la figura anterior, para cada velocidad de rotación n , hay una curva característica. Nótese también que, si la velocidad se reduce, también disminuye la altura manométrica, máxima y el caudal máximo.

Otras curvas características

El fabricante también determina experimentalmente, función del caudal, las curvas relativas a otras magnitudes, para dar al proyectista una visión más completa del comportamiento de la bomba en las diferentes condiciones de funcionamiento.

- **Curva de potencia absorbida caudal**

La potencia absorbida depende de las características de trabajo, del caudal y de la altura manométrica de la bomba. Es la potencia que consume la propia bomba para accionar el eje.

$$P_{bomba} = \frac{\rho \cdot q \cdot \Delta p}{\eta_T}$$

Donde:

- P potencia absorbida por la bomba [W]
- ρ densidad [kg/m³]
- \dot{m}_V caudal [m³/s]
- Δp caída de presión en el circuito o altura manométrica [kPa]
- η_T rendimiento total de la bomba [adimensional]

Figura 15. Curva de potencia absorbida caudal

- **Rendimiento total de la bomba**

Cuando un líquido fluye a través de una bomba, solo parte de la energía comunicada por el eje impulsor es transferida al fluido. Existe fricción en los cojinetes y juntas, y no todo el líquido que atraviesa la bomba recibe de forma efectiva la acción del impulsor, y existe una pérdida de energía importante debido a la fricción del fluido. Esta pérdida. Esta pérdida tiene varios componentes:

- Rendimiento del motor: cuantifica las pérdidas energéticas en el motor eléctrico, se obtiene la relación entre la potencia eléctrica consumida y la potencia en el eje.
- Rendimiento volumétrico u orgánico: son pérdidas ocasionadas por el rozamiento del eje con los prensaestopas, los cojinetes o el fluido en las holguras entre el rodete y la carcasa. Todo esto hace que la potencia que se necesita suministrar en el eje de la bomba sea mayor.

-Rendimiento volumétrico: En teoría, una bomba suministra una cantidad de fluido igual al caudal que mueve. En realidad, el caudal desplazado siempre suele ser menor, debido a fugas internas. A medida que aumenta la presión, las fugas también aumentan, y por lo tanto el rendimiento volumétrico disminuye.

-Rendimiento hidráulico o manométrico: Es la relación entre la energía entregada en el eje de la turbina y la hidráulica absorbida por el rodete. Suelen estar asociadas a pérdidas por rozamiento, y cambios de dirección.

A continuación, se muestra el diagrama de Sankey de una bomba.

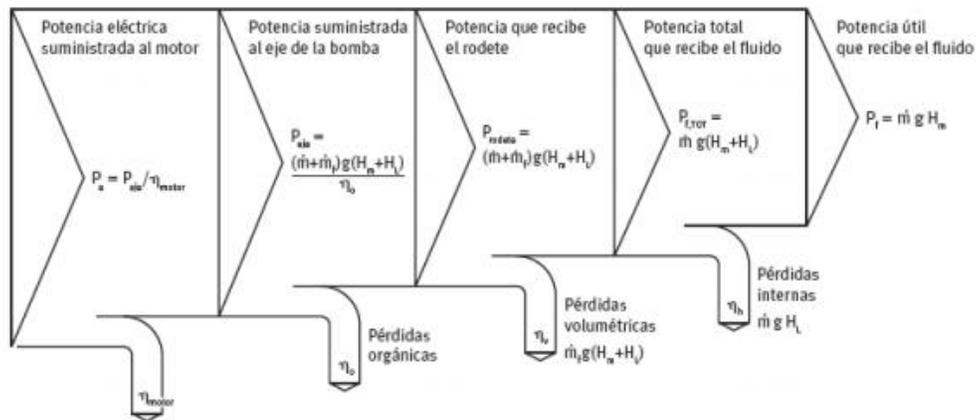


Figura 16. Diagrama de Sankey

Con lo que se obtiene el rendimiento del grupo motor-bomba:

$$\eta_T = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_o \cdot \eta_{\text{motor}}$$

Estos rendimientos mencionados anteriormente pueden reagruparse en dos, las pérdidas ocasionadas mecanismos internos (rendimiento mecánico) y las pérdidas de energía relacionadas con el fluido.

- **Curva NPSH-caudal**

El NPSH (Net Positive Suction Head o altura neta positive en la aspiración) es la presión mínima debe haber en la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación.

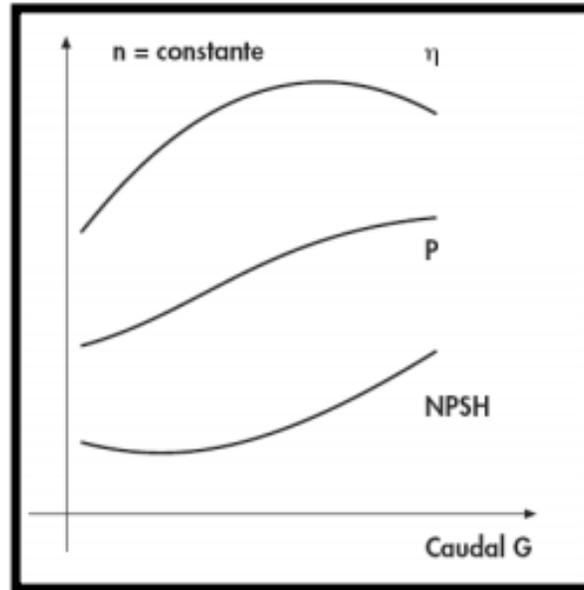


Figura 17. Curva NPSH-caudal

Se puede apreciar que, si la velocidad de rotación n se mantiene constante, la curva de potencia absorbida P aumenta con el caudal m . El rendimiento η , en cambio, tiene un máximo en presión de un determinado caudal m y disminuye cuando el caudal m se hace superior o inferior a dicho valor.

- **Curvas de isorrendimiento**

Puede ser útil representar en un mismo gráfico las curvas características que ilustran la variación del rendimiento de la bomba en función de la velocidad de rotación, del caudal y de la altura manométrica. Estas curvas, denominadas de isorrendimiento, delimitan zonas en las cuales el rendimiento tiene el mismo valor.

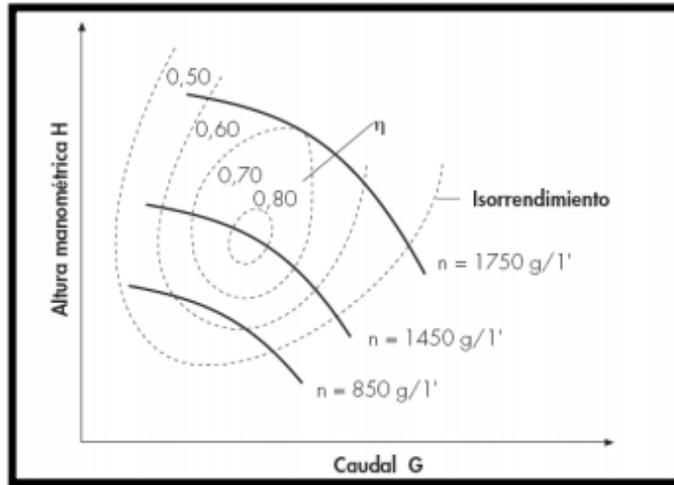


Figura 18. Curvas de Isorrendimiento

Se puede observar que el campo de rendimiento es muy estrecho, y que mínimas variaciones en el caudal, la altura manométrica o la velocidad de giro, provocan grandes variaciones en el rendimiento. En muchos casos, los fabricantes también proporcionan las curvas características de la bomba para distintos diámetros del rodete a igual velocidad de rotación.

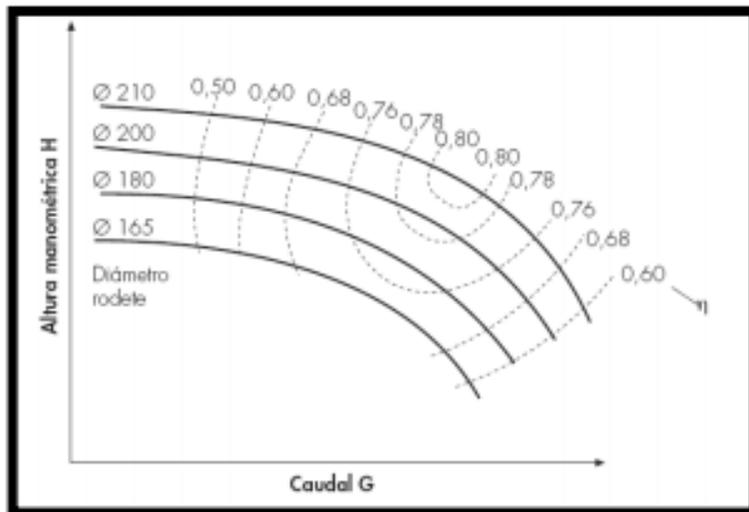


Figura 19. Campo de rendimiento

5.8 Mantenimiento

El mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. Su valor se aprecia en la medida en que estas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos (Mora, 1999). (En la página 35 del libro *mantenimiento Planeación, ejecución y control*, Alberto mora Gutiérrez, Alfaomega grupo editor.)

Tipos de mantenimiento

Citando el libro. *Organización y gestión integral de mantenimiento*, Santiago García Garrido, Pag 17, indica que se pueden distinguir en 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento hard time o cero horas.
- Mantenimiento en uso.

5.9 Mantenimiento preventivo Planificado

La finalidad del mantenimiento preventivo es: Encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por; usuarios, operadores, y mantenimiento. Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta, edificios. Máquinas, equipos, vehículos, etc.

VI. Análisis y Presentación de Resultados

En el presente acápite se mostrará lo concerniente al desarrollo del tema de trabajo monográfico para exponer el diagnóstico, mantenimiento correctivo, componentes añadidos, estudio económico, guía de operación y plan de mantenimiento preventivo de la bomba centrífuga del banco de ensayo de la turbina pelton ubicado en el laboratorio de turbomaquina de la FTI-UNI.

6.1 Condiciones de bomba centrífuga para evaluación de su estado previo al mantenimiento correctivo

En esta fase se revisó el devanado, las borneras del motor eléctrico, el sistema de rodamiento y sello mecánico. A continuación, se detallan las actividades y resultados:

6.1.1 Desmontaje

El primer paso realizado fue desarmar el motor marca SIEMENS de fabricación Alemana de 30 Kw (40 HP), quitándole su tapa superior para observar cómo se encontraba el interior del motor. Ver figura 20.



Figura 20. Motor sin tapa superior



Figura 21. Desmontaje de devanado

El hallazgo encontrado fue que el devanado del motor eléctrico no era el original o de fábrica como se observa en la figura 18, esto quiere decir que el personal de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) que recibió el motor lo rebobinaron, porque la frecuencia (HZ) del motor era de 50 HZ, y esta es la frecuencia utilizada

en Europa, por tal razón, fue necesario realizar el rebobinado para que la bovina trabajara a la frecuencia de 60 HZ.

Así mismo, se trabajó en las borneras para probar la continuidad de las bobinas del motor y probar si estaban a tierra, este procedimiento se realizó con un amperímetro. Los resultados de la medición indican una buena continuidad, buenas condiciones, validando que no había corto circuito en las bobinas, no siendo necesario su reemplazo.

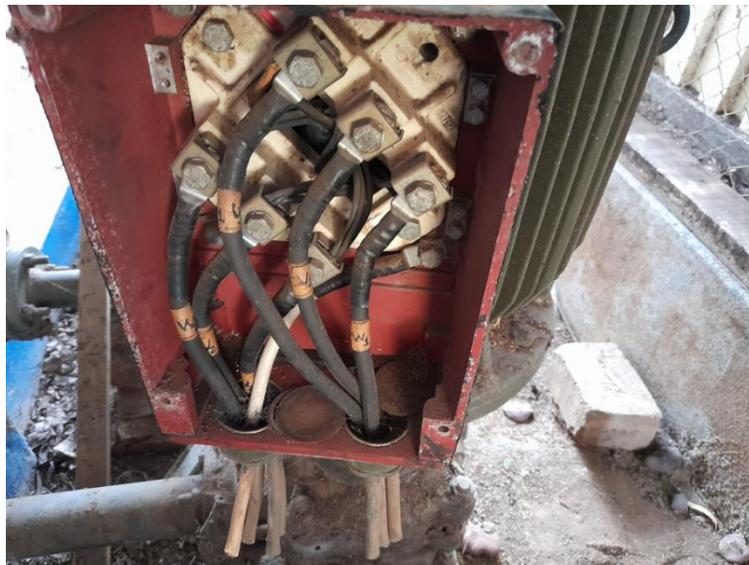


Figura 22. Borneras de 6 puntos

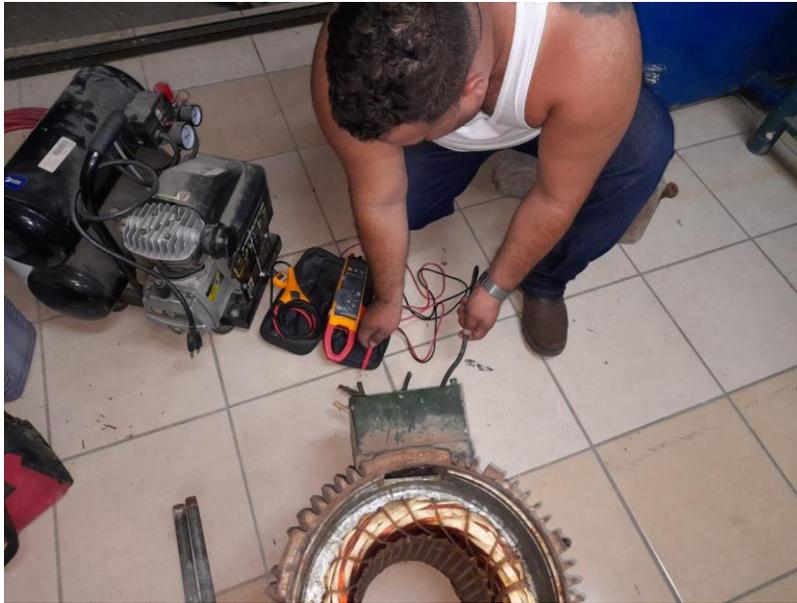


Figura 23. Prueba de continuidad de bobina

Como se muestra en la figura anterior, auxiliándose del amperímetro para la medición de continuidad en la bobina dio como un resultado un sonido como alerta para el aviso del buen funcionamiento de la bobina.

6.1.2 Condición del devanado mediante Prueba Megger

En este paso, se tuvo que subcontratar a un experto externo para realizar la prueba Megger. Esta prueba consiste en probar el aislamiento del motor eléctrico. El equipo utilizado durante las pruebas es el MEGGER 1000 V modelo Extech 380260, tal como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Experto realizando prueba Megger

En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos durante la prueba realizada.

Tabla 1 Resultados de prueba Megger

Línea	Resistencia	Unidad
U1	601	MΩ
V1	639	MΩ
W1	557	MΩ
W2	595	MΩ
U2	568	MΩ
V2	720	MΩ

Como conclusión de la prueba en las bobinas que son de 6 puntos resultó datos favorables, demostrando que se tiene un aislamiento adecuado para tener un buen funcionamiento. Una recomendación dada por el experto fue que se realizara las conexiones de las bobinas de 6 puntos en una conexión Delta para que el motor trabaje al voltaje trifásico 220V, que se encuentra en el panel principal.

Según lo señalado en la norma internacional de equipos de test eléctrico NETA en la especificación de "Maintenance Testing Specification for Electrical power

distribution equipment" se muestra la siguiente tabla para determinar si el aislamiento está correcto.

Tabla 2 valores recomendados de NETA

Nominal Rating of Equipment in Volts	Minimum Test Voltage, DC	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms
250	500	25
600	1,000	100
1,000	1,000	100
2,500	1,000	500
5,000	2,500	1,000
8,000	2,500	2,000
15,000	2,500	5,000
25,000	5,000	20,000
34,500 and above	15,000	100,000

En el caso de esta práctica se utilizó un valor de 250 voltios que es el rango que trabaja el motor trifásico, suministrando durante la prueba 500 voltios como lo demuestra la tabla, dando como resultado valores por encima que solicita la tabla de 25 megaohms.

6.1.3 Identificación de tipo de voltaje en el panel del laboratorio

Sistema eléctrico

Se procedió a identificar el voltaje que se ubica en el panel principal del laboratorio de turbomaquinas del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios UNI.

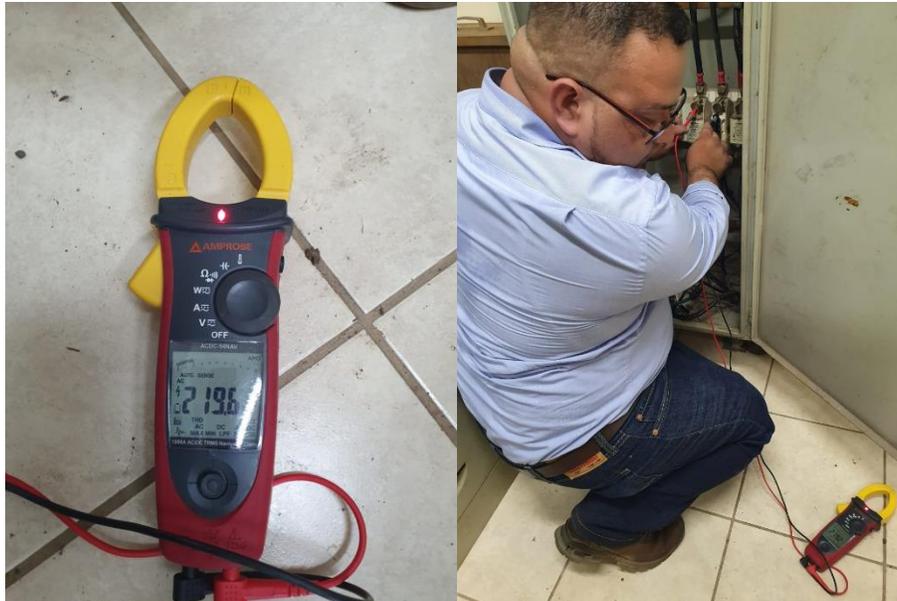


Figura 25. Comprobación de voltaje

Se utilizó un amperímetro marca FLUKE modelo 376 FC para identificar el tipo de voltaje existente, resultando un voltaje trifásico de 220 V. Con el tipo de voltaje que se identifica con el amperímetro podemos tomar la decisión de la conexión que se va ser en los bornes del motor eléctrico, en este caso sería una conexión Delta.

A continuación, se muestra el diagrama de la conexión delta para un motor de bobina de 6 puntos en base a los resultados del voltaje medido en el panel principal. Es necesario mostrar el diagrama para visualizar el tipo de conexión que se realizara en el motor. Ver figura 26 y 27.

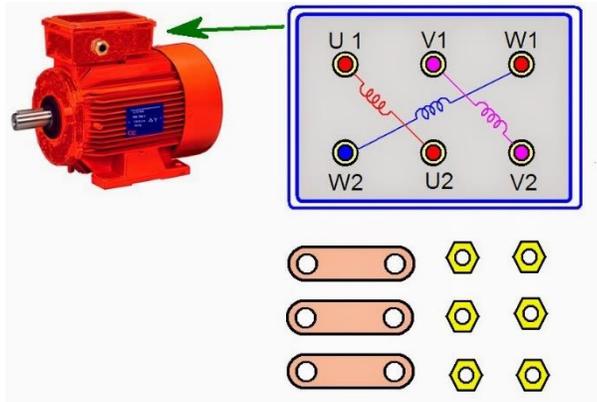


Figura 26. Bobinas internas del motor de 6 puntas

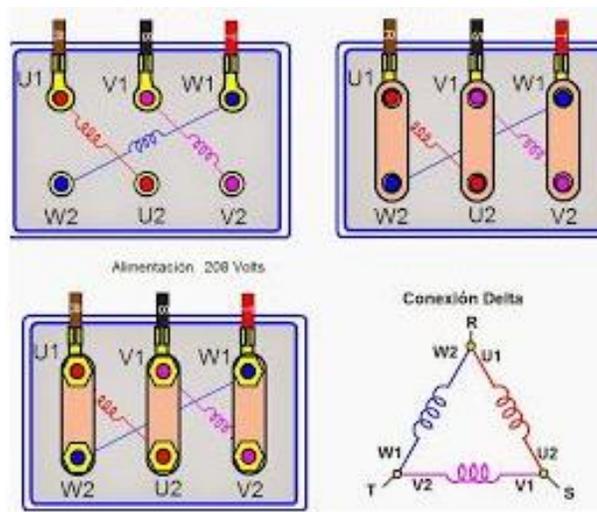


Figura 27. Conexión delta bajo voltaje 220v

Como se visualiza en la figura anterior se propone una conexión delta de bajo voltaje porque es el voltaje que tiene el panel principal donde se alimentara el motor.

6.1.4 Partes mecánicas del motor

Se realizó inspección en el rotor para identificar posibles desgastes. Igualmente, se visualizó el estado de las balinas de ambos extremos del rotor, y se verifico que en las tapas donde van ubicadas las balinas no hubiera desgastes. Ver figura 28 y 29.



Figura 28. Rotor y tapa inferior



Figura 29. Balinera en mal estado por oxido



Figura 30. Balinera antes de la instalación

En ese sentido, se cambiaron las balineras marca SKF 6308 RZ ya lubricadas de fábrica para garantizar la funcionalidad del rotor del motor. El rotor y estator estaban en buenas condiciones. En la siguiente imagen, se muestra las dimensiones de las balineras.

Rodamiento 6308-RZ (SKF)

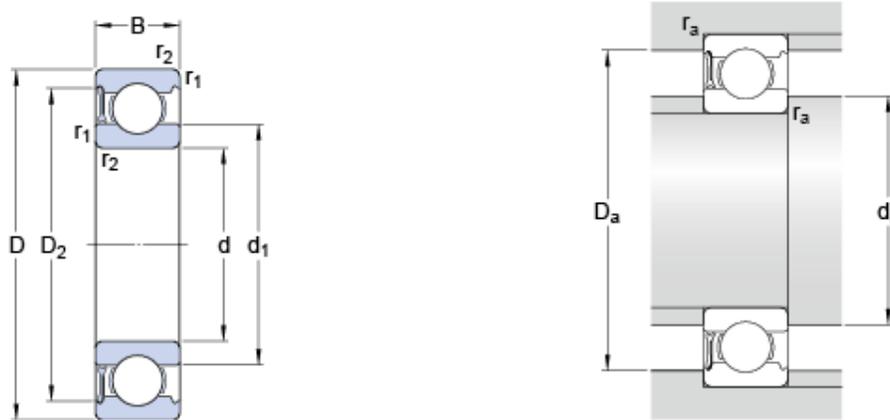


Figura 31. Características del rodamiento 6308-RZ

Tabla 3 Dimensiones y especificaciones de los rodamientos en el catálogo SKF

Número de rodamiento	6308-RZ
Tamaño (mm)	40x90x23
Marca	SKF
Diámetro interior (mm)	40
Diámetro exterior (mm)	90
Ancho	23
Capacidad de carga dinámica básica C	42.3 kN
Capacidad de carga estática básica C_0	24 kN
Límite de carga de fatiga P_U	1 kN
Velocidad de referencia	17000 r/min
Velocidad límite	1100 r/min
Factor de cálculo K_R	0.03
Factor de cálculo f_0	13
Cojinete de masa	0.64 kg
Etiquetas	SKF 40x90x23

Se chequeo los acoples del motor con el eje de la bomba y se encontró que todo estaba en buen estado.

6.1.5 Bomba Centrifuga

Una vez que se desinstalo el motor eléctrico, se procedió a desarmar la bomba para verificar las condiciones de los elementos que conforma la bomba.

Desarmada la bomba se verificaron las tapas laterales donde va asentado el eje de la bomba para verificar si hay algún tipo de desgaste. La tapa superior e inferior tiene un bushing de bronce, se hicieron las respectivas revisiones para conocer su estado, logrando validar que estaban en buen estado.



Figura 32. Tapa inferior con bushing de bronce donde va asentado eje de la bomba

El impulsor de la bomba se le revisaron sus alabes y todo estaba en buenas condiciones, lo único que se encontró defectuoso en la bomba fue su empaquetadura de cordón trenzado de teflón lubricado. Cabe señalar que este tipo

de bomba no usa sello mecánico como lo usan las demás bombas, que es el sello giratorio y el sello estacionario. Se procedió al cambio de empaquetadura de teflón.



Figura 33. Impulsor



Figura 34. Instalación de empaquetadura de teflón
trenzado virgen

A continuación, se muestra una tabla diagnóstica de las actividades realizadas en el mantenimiento correctivo.

Tabla 4 Actividades del mantenimiento correctivo

Revisión	Condición	Actividad
Debanado (prueba Megger)	Buen estado	Se contrató un especialista para que realizara la prueba Megger con el equipo Megger.
Prueba de continuidad de bobina	Buena condición	Se probó con amperímetro Fluk.
Chequeo de estator	Buen estado	Se visualizó el estado físico del estator
Chequeo de rotor	Buen estado	Se chequeo el estado físico del rotor
Rodamiento	Mal estado	Se cambiaron el par de rodamiento superior e inferior
Impulsor	Buen estado	Se visualizó el estado del impulsor de la bomba para determinar si había desgaste en los alabes
Sello de teflón	Mal estado	Se cambiaron tres pies de teflón virgen de 3/8

6.2 Aplicación del Mantenimiento correctivo

El mantenimiento comprende todas las actividades que intervienen en la conservación en buen estado del equipo de un sistema. El objetivo principal es mantener la capacidad del sistema y minimizar los costos totales de mantenimiento.

El mantenimiento en general tiene como objetivo en primer lugar el evitar, reducir y por último reparar las máquinas y equipos. El mantenimiento correctivo, se realiza a penas se produce una falla realizando la reparación de esta. Podría decirse que consta de los siguientes procedimientos: detección de la falla, localización de la falla, desmontaje, recuperación o sustitución, montaje, pruebas y verificación.

6.2.1 Instalación para alimentar panel eléctrico del motor de la bomba centrífuga

El primer paso fue identificar la corriente del motor eléctrico con el objetivo de seleccionar el conductor que será instalado. Debido a que el motor fue rebobinado, la placa que identifica el tipo de corriente que consume ya no es útil, por lo tanto, se procedió a realizar un arranque del motor eléctrico ya con el voltaje que se encuentra en el laboratorio de turbomáquina, se utilizó el amperímetro fluke para poder tomar lectura del consumo del motor eléctrico, dando un resultado de 30 amperios. Ver figura 30.



Figura 35 Placa del motor

A continuación, se muestra la tabla de conductores eléctricos y capacidad de amperaje.

TABLA 310.15(B)(16)

Ampacidades Admisibles de los Conductores Aislados para Tensiones Nominales de 0 a 2000 Voltios y 60°C a 90°C (140°F a 194°F) con No Más de Tres Conductores Portadores de Corriente en Una Canalización, Cable o Directamente Enterrados, Basadas en Una Temperatura Ambiente de 30°C (86°F).

Calibre de los Conductores	Régimen de Temperatura del Conductor						Calibre de los Conductores
	60° C (140°F)	75° C (167°F)	90° C (194°F)	60° C (140°F)	75° C (167°F)	90° C (194°F)	
TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, ML RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2		
AWG/ kcmil	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG/ kcmil
18	---	---	14	---	---	---	---
16	---	---	18	---	---	---	---
14*	20	20	25	---	---	---	---
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0

Figura 36. Capacidad de amperaje de conductores eléctricos según NFPA

Procedimiento de ejercicio para cálculo de caída de tensión en un circuito trifásico

$$U_v = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot \cos\phi}{\%q}$$

$$U_v = \frac{\sqrt{3} \cdot 80 \cdot 15 \cdot \cos\phi \cdot 0.87}{56.21.2}$$

$$U_v = \frac{1,806.12}{1,187.2}$$

$$U_v = 1.5 \text{ Voltios}$$

$$U_{v\%} = \frac{U_v}{U} \cdot 100\%$$

$$U_{v\%} = \frac{1.5}{220} \cdot 100\%$$

$$U_{v\%} = 0.0068 \cdot 100\%$$

$$U_{v\%} = 0.6 \%$$

Del voltaje instalado en el laboratorio siendo de 220v trifásico se tendrá una pérdida de 1.5 voltios, lo cual es una pérdida razonable según la literatura.

En el caso de este estudio, se utilizó el calibre 4 AWG THHN con un amperaje de 95 A. Una vez que se conoció el amperaje del cable procedimos a seleccionar una cuchilla seccionadora de voltaje de 100 A y la tubería conduit PVC de 1 ¼ y sus conectores rectos MT donde serán canalizados los alambres, que sería del panel principal que se encuentra en la oficina del responsable del laboratorio hasta la cuchilla seccionadora.



Figura 37 Seleccionador trifásico de fuerza

6.2.2 Panel de control de mando

El gabinete de control de mando se reciclo para reutilizarlo en el proyecto, para poder hacer las instalaciones de los componentes eléctricos de mando. Los accesorios usados fueron: lumínica de señalización color rojo y verde para identificar la energización del panel y cuando la bomba opere, el cual tiene un selector de 2 posiciones on / off, tiene un paro de emergencia de seguridad y estos son los elementos visibles que se encuentran en la parte frontal del gabinete.



Figura 38 Panel de control de mando

En relación a los accesorios internos solo se encuentra el contactor de fuerza. Este es el que se acciona una vez que se manipula el selector on / off de dos posiciones para anclar el contactor y el motor de la bomba centrífuga pueda girar.

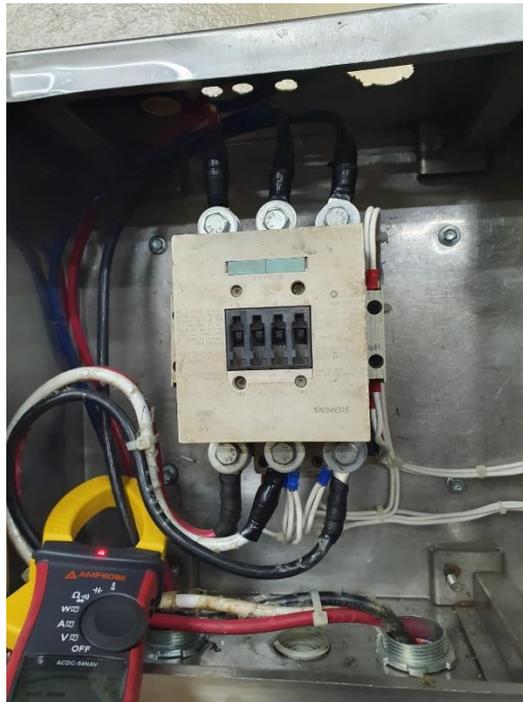


Figura 39 Contactor de fuerza

Las especificaciones técnicas del motor eléctrico 4 0 HP nos indican el voltaje, la corriente de fase y de línea del motor, siendo $V = 208-230V$, $S.F = 80 \text{ Amp}$, parámetros necesarios para la selección del contactor. Utilizando el catálogo

general 2019 de SIEMENS se selecciona el modelo 3RT2045-1AP00 por que la intensidad asignada de empleo es de 80 Amp y la capacidad de carga 240 VAC, condiciones requeridas para proteger el motor eléctrico.

En el siguiente diagrama se refleja las conexiones de fuerza y de mando que utilizamos para dicha instalación.

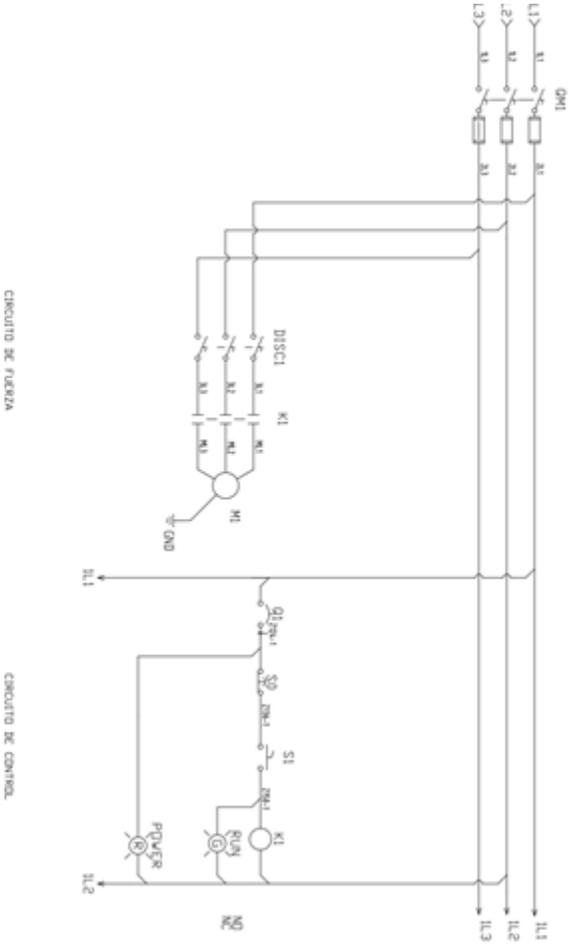


Figura 40 Diagrama fuerza y mando

6.2.3. Pintura

Se procedió a lijar con lija de agua y cepillo de alambre para poder limpiar toda suciedad y oxido en la superficie de las partes externas del motor, como: tapa del ventilador de enfriamiento, tapa superior e inferior y el cuerpo del devanado. Igual se hizo el procedimiento con la bomba, con la tapa superior e inferior y con todo el cuerpo de la bomba, tubería de succión y de descarga.



Figura 41 Preparación del motor y bomba centrífuga antes de la pintura

Todas las piezas fueron pintadas con una pintura fast dry azul marino la que fue preparada utilizando como solvente tinner.



Figura 42 Preparación de pintura

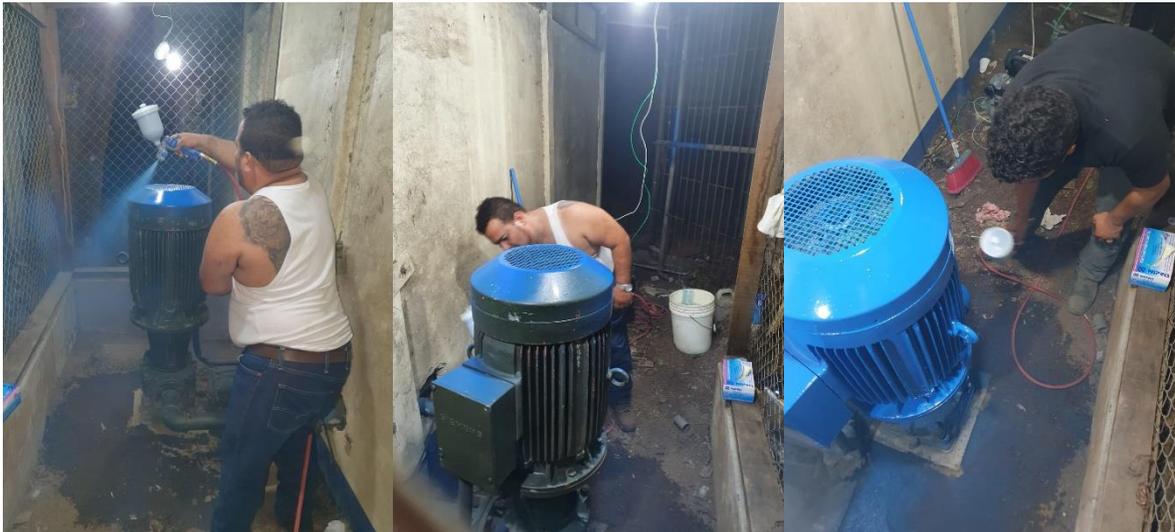


Figura 43 Proceso de pintura

6.3 Prueba en marcha de la bomba

Luego de realizar el mantenimiento correctivo de la bomba se realizó una prueba para validar la efectividad del trabajo realizado. A continuación, se detalla el procedimiento de la prueba:

- 1) Primeramente se realizó un arranque en vacío del motor eléctrico para conocer el comportamiento cuando rompiera inercia lo que permite comprobar algún fallo, a la vez, para probar los giros del motor sean horarios o anti horarios.



Figura 44 Comprobando arranque y giro del motor en vacío

- 2) Seguidamente, se efectuó el arranque de la bomba ya acoplada con el motor eléctrico, luego se llenó de agua el tanque del banco de ensayo de la turbina pelton para hacer la prueba práctica de la bomba centrífuga, ya operando con carga de agua.



Figura 45: Descarga de agua de la bomba centrífuga en el banco de ensayo
Fuente: Propia

Como se observa en la figura anterior, se puede visualizar la descarga del agua en la tubería de salida del tanque del banco de ensayo de la turbina pelton. Es importante señalar que la prueba fue realizada en presencia de nuestra tutora Msc. Triny Gutiérrez, quien superviso la prueba de la bomba centrífuga ya operando con carga de agua.

6.4. Plan de Mantenimiento de la bomba centrífuga

En base al diagnóstico realizado anteriormente se detectarán las fallas correctivas, quienes afectaron la disponibilidad del equipo por mucho tiempo, por tal razón es de real importancia el diseño del programa de mantenimiento preventivo para evitar fallas imprevistas.

6.4.1. Bomba centrífuga

A continuación, se describe gráficamente las partes de la bomba centrífuga donde recurrentemente se presentan inconveniente durante el funcionamiento del equipo.



Figura 46: Partes de la bomba
Fuente: Propia

6.4.2. Hoja de vida del equipo

Para contrarrestar los problemas que ocasionan las fallas, es necesario registrar las actividades realizadas por parte del responsable del laboratorio de turbomáquina y del personal mantenimiento del recinto universitario UNI RUPAP, quienes tienen la responsabilidad de asegurar que todos los trabajos de mantenimiento, inspección y

ensamble sean realizados por personal capacitado y autorizado, que esté familiarizado adecuadamente con todo el conocimiento de esta máquina. Cualquier trabajo en la máquina, solo debe ejecutarse cuando esta se encuentre detenida. Al terminarse el trabajo, se deben reinstalar todos los dispositivos de seguridad y protección y dejar la máquina en modo operativo.

Antes de iniciar trabajos en la bomba, tómense las medidas necesarias para impedir un arranque incontrolado. Ponga un aviso en el dispositivo de arranque que diga: "Máquina en curso de reparación: no tocar este dispositivo de arranque".

Con equipos eléctricos de accionamiento, enclave el interruptor principal en abierto y saque los fusibles. Ponga un aviso en la caja de fusibles o en el interruptor principal que diga: "Máquina en curso de reparación: no conectar este dispositivo".

No limpiar nunca los equipos con solventes inflamables o tetracloruro de carbono. Al usar agentes limpiadores, protéjase contra gases tóxicos. Se recomienda aplicar las actividades listadas en la hoja de vida del equipo, como se muestra a continuación:

		HOJA DE VIDA DE BOMBA CENTRIFUGA			
NOMBRE DEL EQUIPO		Bomba centrifuga			
CODIGO DE INVENTARIO		LABORATORIO	Turbomaquina		
DESCRIPCIÓN GENERAL					
<p>La bomba centrifuga ubicada en el laboratorio de Turbomaquina es utilizada para practicas de laboratorio de la asignatura de Plantas Hidroelectrica.</p> <p>El equipo es el componente que permite la succión y descarga del agua para ser distribuida en los conductos del banco con el proposito de hacer girar el rodete de la turbina pelton</p>					
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA			TIEMPO PROYECTADO POR ACTIVIDAD (min)
		M	T	A	
Gabinete eléctrico	Ajustar bornes de contactor	1		1	15
	Ajustar bornes de cuchillas de seguridad	1		1	15
	Ajustar selector de dos posiciones	1		1	15
	Ajustar borner y lubricar resorte del botón de emergencia	1		1	15
	Ajustar terminales de la luminaria on / verde	1		1	15
	Ajustar terminales de la luminaria off/ roja	1		1	15
Motor eléctrico	Revisar tapa superior de motor		1	1	5
	Revisar tapa inferior de motor		1	1	5
	Lubricar rodamiento superior		1	1	10
	Lubricar rodamiento inferior		1	1	10
	Limpieza con dieléctrico del devanado		1	1	20
	Limpieza con dieléctrico del estator		1	1	20
	Limpieza con dieléctrico del rotor		1	1	20
	Medir parametros electricos del motor		1	1	15
Ajuste en la brida sin fin del ventilador		1	1	5	
Bomba Centrifuga	Limpiar interior de housing			1	20
	Pulir superficie de bushing de tapa superior			1	20
	Pulir superficie de bushing de tapa inferior			1	20
	Pulir superficie de eje principal			1	20
	Limpieza de impulsor			1	20
	Chequeo de sello de teflón virgen			1	20
	Chequeo de acople flexible de motor y bomba			1	20
	Revisión del rodamiento del motor			1	20
	Reemplazo de piezas desgastadas			1	20
OBSERVACIONES					
_____			_____		
Firma y nombre realizo mtto			Firma y nombre del responsable		

Tabla 5: Formato Hoja de vida

Esta hoja de vida tiene registrados los procedimientos de mantenimiento preventivo que, actualmente se llevan a cabo de manera operativa, pero sin registro de información, esta hoja de vida describe cada paso y etapa para el desarrollo de la intervención al equipo.

6.4.3. Instructivo de la Hoja de vida

El formato Hoja de vida del equipo requiere ser llenado con los siguientes datos:

- ❖ Nombre del equipo: Detalla el nombre con el cual se conoce técnicamente el equipo.
- ❖ Código de Inventario: De acuerdo con la codificación asignada por la Institución.
- ❖ Laboratorio: Especifica el área en la cual se encuentra ubicado el equipo.
- ❖ Descripción general: Especifica las funciones que cumple el equipo, el objetivo de su funcionamiento.
- ❖ Imagen: Describe gráfica y generalmente el equipo para tomar como referencia a la hora de realizar el trabajo o intervención.
- ❖ Actividad: Esta columna especifica brevemente las acciones a realizar de manera generalizada en las áreas específicas del equipo.
- ❖ Frecuencia: En estas casillas se encuentra consignado el tiempo en el cual se deben intervenir periódicamente el equipo de acuerdo con cada actividad, está clasificado en M: Meses, T: Trimestral y A: Años.
- ❖ Tiempo Proyectado: Se detalla el tiempo propuesto para el desarrollo de cada actividad, asumiendo condiciones normales de intervención sin novedades, este tiempo puede ser mucho mayor dependiendo de las complicaciones imprevistas de cada actividad, se registra en minutos.

6.4.4. Formato Orden de Trabajo

E formato orden de trabajo permite llevar un control de las acciones ejecutadas de cada mantenimiento, describiendo la situación del problema, los materiales requeridos, la fecha de ejecución y el tiempo transcurrido en la reparación, a continuación, se propone el siguiente formato:

				ORDENES DE TRABAJO (OT)			
NÚMERO OT				TIPO DE MANTENIMIENTO			
RESPONSABLE				MP		MC	
EQUIPO				CÓDIGO			
CLASE DE MANTENIMIENTO:		MECÁNICO		ELÉCTRICO		CIVIL	
DESCRIPCION DEL PROBLEMA							
MATERIALES REQUERIDOS							
UNIDAD	CANTIDAD	MATERIAL					
MANO DE OBRA							
ACTIVIDAD							TIEMPO(min)
TOTAL (min)							
<p>Fecha </p> <p style="margin-top: 20px;"> Firma y nombre realizo mtto Firma y nombre del responsable </p>							

Tabla 6: Formato Orden de Trabajo

6.4.5. Instructivo Orden de Trabajo

El formato Orden de Trabajo contempla casillas para ser rellenas de acuerdo a las siguientes descripciones:

- ✓ Número de OT: Corresponde a un consecutivo de números que indica la cantidad de órdenes de trabajo.
- ✓ Tipo de mantenimiento: Aparecen dos tipos de mantenimiento MP programa de mantenimiento preventivo o MC que significa mantenimiento correctivo, se debe señalar con un x al tipo de mantenimiento que corresponda.
- ✓ Responsable: Nombre de la persona a la cual fue asignada la actividad.
- ✓ Equipo: Nombre del equipo a intervenir.
- ✓ Código: Numero interno del equipo a intervenir.
- ✓ Clase de mantenimiento: Aparecen 4 casillas donde se relaciona las clases de mantenimiento mecánico, eléctrico, soldadura, obra civil, se debe seleccionar uno con una.
- ✓ Descripción del problema: Especifica los daños que ha sufrido la maquina y una breve recomendación por parte de planeación para solucionar la falla.
- ✓ Materiales requeridos: en esta casilla se agrega el material requerido para la intervención.
- ✓ Mano de obra: En las casillas de mano de obra se describe el procedimiento que se realizó en el equipo con el fin de atender la falla o el mantenimiento preventivo con los tiempos gastados en cada uno de ellos y al final un sumatorio total del tiempo de intervención.
- ✓ Fecha y firma: Se diligencia la fecha en la cual se ejecutó el mantenimiento y la firma del técnico que realizo la intervención

6.4.6. Registro de actividades para mantenimiento correctivo

En las programaciones de mantenimiento es importante llevar un registro de acciones emergentes e imprevistas que llegan a catalogarse como acciones correctivas (tabla 7). Por tal motivo, el hecho de llevar un registro permite que se han prevenidas al ser integradas dentro de acciones preventivas con una desviación de frecuencia más conveniente.

Tabla 7: Formato de registro para actividades de mantenimiento correctivo

CONTROL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
FECHA	DESCRIPCION DE LA ACCION	REALIZADO POR	TIEMPO DE DURACIÓN (h)	CAUSAS
Enero				
		TOTAL MES	0	
Febrero				
		TOTAL MES	0	
Marzo				
		TOTAL MES	0	
Abril				
		TOTAL MES	0	
Mayo				
		TOTAL MES	0	
Junio				
		TOTAL MES	0	
Julio				
		TOTAL MES	0	
Agosto				
		TOTAL MES	0	
Septiembre				
		TOTAL MES	0	
Octubre				
		TOTAL MES	0	
Noviembre				
		TOTAL MES	0	
Diciembre				
		TOTAL MES	0	

6.4.7. Planificación de mantenimiento a la bomba centrífuga

En la presente tabla 8 contiene los distintos trabajos que se requieren para la realización de práctica de laboratorio en el banco de bombas centrífugas además se recomienda la realización del mantenimiento periódico ya que la sustancia manipulada es agua, la misma debe ser predispuesta por personas con conocimiento de la utilización del banco.

El mantenimiento consiste en revisar el buen o mal estado de los componentes y colocar las observaciones identificadas durante el mantenimiento.

En conclusión, el plan propuesto permite ser una guía de las acciones necesarias para conservar el equipo en buenas condiciones y el seguimiento conlleva como resultado el historial de fallas para un eventual estudio de confiabilidad.

PLAN DE MANTENIMIENTO

Laboratorio de turbo máquina

Componentes	Actividades	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
		S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4				
Gabinete eléctrico	Resocar bornes de contactor																																																
	Resocar bornes de cuchillas de seguridad																																																
	selector de dos posiciones																																																
	Resocar borner y lubricar resorte del botón de emergencia																																																
	Resocar terminales de la luminaria on / verde																																																
	Resocar terminales de la luminaria off/ roja																																																
Motor eléctrico	Revisar tapa superior de motor																																																
	Revisar tapa inferior de motor																																																
	Lubricar rodamiento superior																																																
	Lubricar rodamiento inferior																																																
	Limpieza con dieléctrico del devanado																																																
	Limpieza con dieléctrico del estator																																																

PLAN DE MANTENIMIENTO

Laboratorio de turbo máquina

Componentes	Actividades	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
		S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4				
	Limpieza con dieléctrico del rotor																																																
	Ajuste en la brida sin fin del ventilador																																																
Bomba Centrifuga	Limpia interior de housing																																																
	Pulir superficie de bushing de tapa superior																																																
	Pulir superficie de bushing de tapa inferior																																																
	Pulir superficie de eje principal																																																
	Limpieza de impulsor																																																
	Chequeo de sello de teflón virgen																																																
	Chequeo de acople flexible de motor y bomba																																																
	Reemplazo de piezas desgastadas																																																
Observaciones																																																	

Tabla 8: Plan de Mantenimiento

Inspección Rutinaria (M)	
Inspección Trimestral (T)	
Inspección Anual (A)	

6.5. Estimación económica

En este acápite se abordara la estimación de los recursos necesarios para este proyecto de reactivación de la bomba centrífuga del banco de ensayo de la turbina pelton.

En base a las pesquisas realizadas en el sector hidráulico se estima que el costo de una bomba centrífuga asciende a los **\$12, 000 USD**.

➤ Inversión

En la inversión en este proyecto se muestran los costos asociados para el mantenimiento correctivo del motor eléctrico y la bomba centrífuga.

Ítem	Costo C\$
Mecánica	
Rodamiento	1 600
Grasa roja de uso general	450
Pintura fast dry azul marino	380
Tinner	290
Empaque de teflón virgen 3/8	2 300
Desengrasante	640
Total	5 660
Eléctrica	
Contratación de especialista en devanado de motores	1 500
Alambre thhn #4	5 600
Terminales de ojo para cables #4	240
Tuberías 1 ¼ contry pvc	330

Interruptor nema de 80 amperios	8 500
Selector de dos posiciones	280
Contactador de 150 amperios siemens	13 000
Gabinete de acero para control de mando	2 300
Lumínica roja	140
Lumínica verde	140
Paro de emergencia	320
Alambre para sistema de mando #16	1 200
Total	31 250

Del estudio económicos obtuvimos un total de gastos de C\$ 36 910 equivalentes a \$ 1 021.87 USD, como se muestra en la tabla a continuación.

Desglose	Costos C\$
Mecánico	5 660
Eléctrico	31 250
Total de gasto	36 910

En base a los resultados obtenidos del análisis económico en este proyecto, se demuestra la viabilidad técnica de realizar un mantenimiento correctivo a la bomba centrífuga ya que los costos asociados al manteamiento se encuentran por debajo del monto estimado para la compra de un equipo nuevo.

VII. Conclusión

1. Se aplicó un mantenimiento correctivo a la bomba centrífuga del banco de ensayo de la turbina pelton ubicada en el laboratorio de turbo máquina, logrando poner en marcha el sistema de bombeo, lo que será de utilidad para los estudiantes de ingeniería mecánica ya que podrán realizar prácticas de laboratorio.
2. El enfoque fundamental de este tema fue identificar que los elementos eléctricos son los principales factores que inciden en el funcionamiento del motor. Se encontró que la bomba centrífuga no contaba con ningún tipo de componente eléctrico como de mando y fuerza, por lo tanto, se tuvo que hacer de cero todas las conexiones eléctricas y a la vez conseguir los elementos eléctrico para lograr arrancar con éxito el motor eléctrico de la bomba centrífuga.
3. Es imperativo un plan de mantenimiento de la bomba centrífuga donde se definan claramente las actividades necesarias para el mantenimiento del equipo, de modo que se sostenga el rendimiento a lo largo del tiempo, de modo que se evite el deterioro del equipo. El plan de mantenimiento propuesto en esta tesis, es una herramienta para la guía y toma de decisión del personal de mantenimiento de la universidad.
4. Con el tipo de arranque que se logró construir determinamos que en tema de costos operativos sería un monto considerable debido al factor energético ya que el tipo de arranque que se propuso fue un arranque directo, utilizando un solo contactor y un selector on / off, se validó con los equipos de medición amperímetros que el motor incrementa el amperaje al momento que rompe inercia, debido a las dimensiones del motor (30 KW / 40 HP) con una conexión delta en sus borneras.

VIII. Recomendaciones

1. Antes de usar la bomba centrífuga verificar que el banco de ensayo se encuentre limpio, sin tierra o cualquier elemento que pueda dañar la bomba. Una vez verificado la limpieza se procederá a llenar de agua hasta el nivel que permita el banco de ensayo para poder hacer el uso de la bomba centrífuga, de este modo se garantiza el éxito de funcionamiento y la protección del impulsor y las cunas de bronce que son las partes más vulnerables a dañarse.
2. Instalar el sistema de arrancador suave ya que los autores tuvimos que utilizar un método deficiente por tema económico, teniendo que utilizar un arrancador directo. Este sistema se considera deficiente debido a que el amperaje se incrementa cuatro veces a la corriente nominal que de 80 amperios cuando rompe inercia a 300 amperios. En cambio, con el arrancador suave se va a garantizar una eficiencia en el devanado del motor porque la rampa de encendido será de cero a su corriente nominal que serían 80 amperios.
3. Los autores consideramos que se requiere a nivel de tesis una reactivación del banco de ensayo para que todo el conjunto que conforma la bomba centrífuga y el banco de ensayo trabaje en óptimas condiciones y para que los futuros estudiantes de Ingeniería Mecánica gocen de un laboratorio completo.

IX. Bibliografía

- Andrés Videla Flores Ingeniero Civil Eléctrico. Manual de Motores Eléctricos.
- Bombas Centrifugas Alemanas SA de CV Kaiserslautern University of Applied Sciences.
- Crane. Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberías.
- Fluideco. Manual para Bombas centrifugas.
- Growing technologies. Prueba de resistencia de aislamiento.
- Gutiérrez, A. M. (2009). Mantenimiento, Planeación, ejecución y control. En A. M. Gutiérrez, *Mantenimiento, Planeación, ejecución y control* (pág. 38). Mexico, D.F: Alfa Omega Grupo Editor, S.A.
- INATEC 2004. Prueba de Resistencia de Aislamiento.
- Karassik, R. Carter. Bombas Centrifugas-Selección Operación y Mantenimiento, I, Editorial C.E.C.S.A..
- Miguel Ángel Rodríguez Pozuela (s.f). Constitución de las Maquinas Eléctricas.
- Merle C. Potter, David C Wiggert (s.f) MECANICA DE FLUIDOS.
- Veritas Liberarit Vos Ing. José H. Rosales Fernández Motores Eléctricos para la Industria Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización. Bombas centrifugas.

X. ANEXOS

Anexo 1. Información técnica aplicada al motor y bomba

INFORMACIÓN TÉCNICA

ESMALTE FAST DRY

507-10000-000



DESCRIPCIÓN

El ESMALTE FAST DRY está formulado sobre una base de resinas alquídicas de excelente calidad. Posee alta resistencia a la abrasión, secado rápido, buen rendimiento, excelente dureza y gran poder cubriente. Ofrece una excelente resistencia y durabilidad a la intemperie, inclusive en ambientes industriales.

USO

El producto puede ser aplicado en interiores y exteriores sobre superficies de hierro negro.

Estructura Elementos estructurales (columnas, cerchas, etc.), Estructura metálica, Puertas, Tubería aérea, Portones

Interior/Exterior Exterior, Exterior protegido, Interior

Superficie Acero al carbono (Hierro negro), Concreto, Ladrillo

Línea Línea Industrial/Profesional

CARACTERÍSTICAS

PROPIEDADES ESPECIALES

Cubrimiento	● ● ● ● ○
Resistencia Exterior	● ● ● ● ●
Brillo	● ● ● ● ●

PROPIEDADES FÍSICAS

DATOS

Sólidos por peso (%)	64 - 66
Peso por galón (kg/gal)	4,8 - 4,9
Sólidos por Volumen (%)	51 - 53
Viscosidad Stormer Krebs (Ku)	80 - 83
Rendimiento teórico (m ² /galón)	78 m ² a 1 mil
Brillo especular a 60° (GU)	> 90

Estos datos técnicos fueron calculados bajo condiciones controladas de laboratorio, pero SUR QUÍMICA no tiene ningún control sobre las condiciones, las herramientas, la mano de obra utilizada ni la selección, preparación o compatibilidad de los productos utilizados, por lo tanto solo da garantía de la calidad del producto, la idoneidad de sus características y cualidades, pero no es responsable de los resultados obtenidos en condiciones imposibles de comprobar una vez hecho el trabajo. SUR QUÍMICA ha hecho lo razonablemente posible para garantizar la veracidad de la información proporcionada aquí, pero no asume responsabilidades por ningún error, omisión o inexactitud de ella.

Versión 2.0 del: Jan 1/15/2021
11:2021 9:52AM



INFORMACIÓN TÉCNICA

ESMALTE FAST DRY

507-10000-000



Resistencia Temperatura máxima (°C)	Max 80 °C
VOC (compuestos orgánicos volátiles) (g/l)	462

Definición de rendimiento teórico: Máxima superficie que puede cubrirse con una pintura en condiciones ideales. El rendimiento práctico varía dependiendo del tipo de superficie, herramienta utilizada, experiencia del aplicador y otros factores. 1 mil = una milésima de pulgada (0,0254 mm).

Nota: Valores referidos al color blanco.

Nota: la escala es de 1 a 5, donde 5 es el mejor valor.

PRESENTACIÓN

PRESENTACIONES DISPONIBLES

Envase metálico de 0,946 Litros = 1/4 de Galón
Envase metálico de 3,785 Litros = 1 Galón
Envase metálico de 18,925 Litros = Balde (Cubeta) de 5 galones

COLOR(ES) DISPONIBLE(S)

Blanco 000
Disponible en colores de cartilla
Colores especiales sólo por pedido

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

CONDICIÓN

INSTRUCCIÓN

Limpieza de la superficie

Antes de aplicar el producto elimine toda suciedad, como polvo, grasa u otro contaminante, pues afectará la adherencia o desempeño del acabado a utilizar. Retire la pintura mal adherida con espátula, lija, escobas o aire comprimido y alise las irregularidades (gradas) de la zona donde se eliminó la pintura.

Concreto

Las áreas nuevas deben estar totalmente curadas por 28 días (período de fragua), secas y limpias. Sobre la superficie curada aplique una capa de SELLADOR BLANCO 522-000. Finalmente aplique este acabado.

Hierro negro nuevo

Lave y desengrase la superficie, deje secar completamente y luego aplique una capa del primario anticorrosivo CORROSTOP TIPO MINIO ROJO II 9000-351. Finalmente aplique este acabado.

Estos datos técnicos fueron calculados bajo condiciones controladas de laboratorio, pero SUR QUÍMICA no tiene ningún control sobre las condiciones, las herramientas, la mano de obra utilizada ni la selección, preparación o compatibilidad de los productos utilizados; por lo tanto solo da garantía de la calidad del producto, la idoneidad de sus características y cualidades, pero no es responsable de los resultados obtenidos en condiciones imprevistas de comprobar una vez hecho el trabajo. SUR QUÍMICA ha hecho lo razonablemente posible para garantizar la veracidad de la información proporcionada aquí, pero no asume responsabilidades por ningún error, omisión o inexactitud de ella.

Versión 2.0 del: Jan 11/1/2021
11 2021 952AM



INFORMACIÓN TÉCNICA

ESMALTE FAST DRY

507-10000-000



Hierro Negro con Corrosión	Las superficies con focos de corrosión, deben limpiarse con cepillo de acero o lija para remover el óxido. Elimine el polvo residual (no use agua). Si existen áreas que no se puedan preparar adecuadamente por su difícil acceso, debe aplicar una capa de CORROSTOP CONVERTIDOR DE ÓXIDO 375-013 por parcheo (sólo en las áreas afectadas). Deje actuar por 4 horas y después aplique una capa del primario anticorrosivo CORROSTOP TIPO MINIO ROJO II 9000-351. Finalmente cubra con un acabado SUR apropiado para el tipo de superficie.
Nota	En caso de humedad por capilaridad, pulverización, eflorescencia, alcalinidad, hongos, fisuras y grietas, solicite la valoración de nuestro servicio técnico quienes indicarán el proceso adecuado a seguir.
Hierro galvanizado nuevo:	Este producto no debe utilizarse directamente sobre hierro galvanizado nuevo.
Áreas con brillo o satinada	Limpie y desengrase bien toda la superficie. Aplique una capa de SELLADOR UNIVERSAL 524-000 para garantizar la adherencia de cualquier tipo de pintura base agua o solvente. Finalmente aplique este acabado.

PREPARACIÓN DEL PRODUCTO

COMPONENTE	RELACIÓN DE MEZCLA	INSTRUCCIONES DE MEZCLA
Producto : 507-10000-000 ESMALTE FAST DRY	100%	Agite bien antes de usar:
Diluyente : 510-00456-900 DILUYENTE ODORLESS	15% máximo	Si se aplica con brocha o rodillo
Diluyente : 510-00457-900 DILUYENTE 457	25% máximo	Si se aplica con pistola convencional

APLICACIÓN DEL PRODUCTO

PUEDEN SER APLICADOS CON

Estos datos técnicos fueron calculados bajo condiciones controladas de laboratorio, pero SUR QUÍMICA no tiene ningún control sobre las condiciones, las herramientas, la mano de obra utilizada ni la selección, preparación o compatibilidad de los productos utilizados; por lo tanto sólo da garantía de la calidad del producto, la idoneidad de sus características y cualidades, pero no es responsable de los resultados obtenidos en condiciones imposibles de comprobar una vez hecho el trabajo. SUR QUÍMICA ha hecho lo razonablemente posible para garantizar la veracidad de la información proporcionada aquí, pero no asume responsabilidades por ningún error, omisión o inexactitud de ella.

Versión 2.0 del: Jan 11/1/2011
11 2011 950AM



INFORMACIÓN TÉCNICA

ESMALTE FAST DRY

507-10000-000



Brocha	Pistola convencional (gravedad o succión)	Rodillo
Aplicación con brocha		
Verifique que la brocha esté en buen estado y no desprenda cerdas.		
Puede utilizar de cerdas naturales o sintéticas.		
Aplicación con rodillo		
La felpa puede ser de microfibra o antigoteo.		
Superficie lisa: felpa de 3/8" o de 1/2".		
Superficie rugosa: felpa de 3/4".		
Aplicación con pistola convencional		
Boquilla	1,3 mm	
Presión	35 psi	
Condiciones de aplicación		
Nunca pinte superficies muy calientes o directamente expuestas al sol, la pintura se evaporará muy rápido y eso perjudicará su adherencia y duración.		
No aplique el producto cuando la humedad relativa supere el 85 %, con lluvia o con amenaza cierta de que lloverá en poco rato, pues alteraría algunas características de la aplicación o el desempeño del producto.		
Cantidad de capas y espesor		
Espesor seco por capa	1,5 mil	
Cantidad de capas:	Mínimo 2	
Tiempo de secado		
Tiempo de secado al tacto	15 minutos	

Estos datos técnicos fueron calculados bajo condiciones controladas de laboratorio, pero SUR QUÍMICA no tiene ningún control sobre las condiciones, las herramientas, la mano de obra utilizada ni la selección, preparación o compatibilidad de los productos utilizados; por lo tanto solo da garantía de la calidad del producto, la idoneidad de sus características y cualidades, pero no es responsable de los resultados obtenidos en condiciones imposibles de comprobar una vez hecho el trabajo. SUR QUÍMICA ha hecho lo razonablemente posible para garantizar la veracidad de la información proporcionada aquí, pero no asume responsabilidades por ningún error, omisión o inexactitud de ella.

Versión 2.0 del: Jan 11/1/2021
11 2021 9:52AM



INFORMACIÓN TÉCNICA

ESMALTE FAST DRY

507-10000-000



Tiempo de secado para repinte	El repinte es húmedo sobre húmedo, dando 2 horas como máximo después de aplicar la última capa.
Tiempo de secado total	7 a 10 días

Los tiempos de secado mencionados son bajo condiciones óptimas (entre 22 - 28 °C de temperatura y 50 - 80 % de humedad relativa). Estos tiempos dependen de la temperatura, humedad, espesor de la película de pintura y dilución.

Instrucciones de aplicación

Una vez aplicada la primera capa, no debe transcurrir más de dos horas para aplicar la segunda. Esto debido a su rápido secado, ya que el solvente de la segunda capa puede causar remoción del producto.

OBSERVACIONES

- Si va a utilizar más de un envase, es preferible mezclarlos antes.
- El envase debe permanecer cerrado, para evitar la pérdida de sus propiedades.
- No lave una superficie pintada con detergentes abrasivos, es mejor el detergente líquido con abundante agua y esponja suave.
- Si necesita otra información, uno de nuestros Técnicos le atenderá con gusto. Llámenos al 800-SUR-2000 o envíenos un correo a servicioalcliente@gruposur.com
- Almacene el producto en su envase original entre 20 °C y 30 °C en un lugar seco y ventilado, fuera del alcance de los niños.

SALUD

- El usuario de este producto puede necesitar el adecuado Equipo de Protección Personal, como se describe en la respectiva Hoja de Seguridad (MSDS), la cual está disponible en la web <http://www.gruposur.com>
- Si necesita disponer de los envases vacíos de nuestros productos en Costa Rica, acuda a su tienda Sur Color o a nuestro complejo industrial en La Uruca, San José.

Estos datos técnicos fueron calculados bajo condiciones controladas de laboratorio, pero SUR QUÍMICA no tiene ningún control sobre las condiciones, las herramientas, la mano de obra utilizada ni la selección, preparación o compatibilidad de los productos utilizados; por lo tanto solo da garantía de la calidad del producto, la idoneidad de sus características y cualidades, pero no es responsable de los resultados obtenidos en condiciones imposibles de comprobar una vez hecho el trabajo. SUR QUÍMICA ha hecho lo razonablemente posible para garantizar la veracidad de la información proporcionada aquí, pero no asume responsabilidades por ningún error, omisión o inexactitud de ella.

Versión 2.0 del Jan 11/1/2021
11 2021 9:52AM



Anexo 2. Hoja técnica de empaquetadura teflón virgen PTFE

PLÁSTICOS TÉCNICOS

PTFE (TEFLÓN)

Duraflon®  **emacin** CORPORATION

PTFE (Politetrafluoroetileno) o conocido como teflón; químicamente inerte, excelente aislante eléctrico, resistente a altas temperaturas, posee un coeficiente de fricción bajo y propiedades antiadherentes.

Aplicación: sellos, aislantes, empaquetaduras y otros.

Propiedades Físicas	Valor	Unidad	Comentario
Gravedad específica	2.13-2.19	g / cm ³	ASTM D792
Absorción de Agua	<0.01	%	Sumergido, 24/96hr; ISO 62
	<0.01	%	Saturación en Aire (23°C / 50 % HR)
	<0.01	%	Saturación en Agua (23°C)

Propiedades Mecánicas (23°C)	Valor	Unidad	Comentario
Dureza	54-59	Shore D	ASTM D2240
Esfuerzo de tracción	25-40	MPa	ASTM D1457
Alargamiento de rotura	280-450	%	ASTM D1708
Esfuerzo de flexión	490	MPa	ASTM 790
Deformación	12-13	%	14.2 MPa(1 hr), ASTM D621
	14-15	%	14.2 MPa(24 hr), ASTM D621
Ensayo de impacto Izod con entalle	185	J/m	ASTM D256 23°C
Ensayo de impacto Izod con entalle	107	J/m	ASTM D256 -54°C
Coeficiente de fricción estática	0.05-0.08		ASTM D1894
Coeficiente de fricción dinámica	0.1		ASTM D1894
Factor K (desgaste)	0.5-2 E-3	mm ³ /N.m	PIN en DISCO
Maquinabilidad	2		Rango 1-10, 1 fácil de maquinar

Propiedades Térmicas	Valor	Unidad	Comentario
Coeficiente de expansión	90	µm/m°C	ASTM E831
Conductividad	0.24	W/m.K	ASTM C177
Fusión	327	°C	Máximo cristalino, ASTM D3418
Máxima temperatura de servicio	260	°C	Temperatura del aire continuo
Mínima temperatura de servicio	-260	°C	
Inflamabilidad	94 V-0		UL-94

Nota: 1 g/cm³ = 1000 kg/m³; 1 MPa = 1 N/mm²

Anexo 3. Ficha técnica de alambre conductor THHN



CONDUCTOR THHN/THWN-2

E C O P L U S



Descripción

- El EcoPlus THHN/THWN-2 es un conductor eléctrico de cobre suave solido o cableado Clase B o C, aislado con termoplástico de cloruro de polivinilo (PVC) y con una cubierta externa termoplástica de nylon.

Especificaciones Estándar

- El conductor EcoPlus THHN/THWN-2 está respaldado por las siguientes normas: **ASTM B3, ASTM B8, ASTM B767 y UL 83.**

Características

- El conductor EcoPlus THHN/THWN-2 se fabrica en un rango desde 14 AWG (2.08mm²) hasta 1000 kcmil (507 mm²) en cableado Clase B o C.
- Diseñado para operar en ambientes secos, húmedos y mojados a una temperatura mínima de operación de 90°C y un voltaje máximo de 600 V.
- La cubierta de nylon proporciona al conductor eléctrico protección mecánica y resistencia a los derivados del petróleo, agentes químicos y aceites.
- El bajo índice de fricción del nylon le permite un mejor desfilamiento, lo cual facilita su instalación.
- Estos productos se fabrican en los colores negro, rojo, blanco, azul y verde en calibres desde 14 AWG (2.08 mm²) hasta 1 AWG (62.4 mm²).
- El EcoPlus THHN/THWN-2 en calibres 1/0 (53.5 mm²) y mayores, se fabrica solamente en color negro y es resistente a las rayas ultravioleta.
- Por su aislamiento de PVC no propaga flama en caso de incendio.
- El aislamiento termoplástico de PVC, no contiene plomo, lo cual hace al conductor EcoPlus THHN/THWN-2 más amigable con el medio ambiente.
- Cumple con la regulación RoHS (Restriction of Hazardous Substances).
- El conductor puede ser grabado con una serie de leyendas, de acuerdo a sus características, que se interpretan de la siguiente manera:

GRABADO	INTERPRETACIÓN
THHN	Para ambientes secos e interiores, a temperatura máxima en el conductor de 90°C
THWN-2	Para ambientes secos, húmedos e interiores a temperatura máxima en el conductor de 90°C
MTW	Para ambientes de temperatura eléctrica
AWW	Para ambientes de alta temperatura
GRG & UL 955 II	Resistencia a los hidrocarburos y al aceite
PVC FT 204	Para ser instalado en ambientes interiores y exteriores
SAW 955	Resistencia a los gases atmosféricos de la luz solar
HW 2	Conformar al estado de flama








CONDUCTOR THHN/THWN-2

E C O P L U S



Aplicaciones

- Por su menor diámetro exterior, su alta capacidad de corriente y su facilidad para ser empujado, el conductor EcoPlus THHN/THWN-2 es adecuado para instalaciones eléctricas fijas en edificios residenciales, comerciales e industriales, para acometidas eléctricas y para el alambrado de los circuitos ramales y alimentadores de energía e iluminación.
- Por su cubierta protectora de nylon, puede ser instalado en plantas petroquímicas o estaciones de servicio. Su aislamiento de alta temperatura de operación (90°C) es adecuado para usos industriales, en la conexión de motores y tableros de control, así como en el alambrado interno de electrodomésticos.
- El calibre 1/0 AWG (33,5 mm²) y mayores pueden ser instalados en bandejas (chavilas o canastos) o al aire, con mensaje de soporte.

Información Técnica

Dimensiones y Características

Calibre	Área de Sección Transversal Nominal		Wires	Construcción	Espesor de Aislamiento Nominal		Espesor de Cubierta Nominal		Diámetro Exterior Nominal		Peso Total Aprox.	Resistencia Eléctrica C.B. Máx. 90°C
	mm ²	cmil			in.	mm	in.	mm	in.	mm		
14	4.110	2.88	7	S	0.015	0.38	0.014	0.10	0.102	3.29	22.47	0.42
12	6.530	3.37	7	S	0.015	0.38	0.014	0.10	0.119	3.02	36.76	0.37
10	10.380	5.26	7	S	0.020	0.51	0.014	0.10	0.158	3.81	54.35	0.34
8	16.510	8.37	7	S	0.020	0.76	0.025	0.13	0.199	5.04	89.87	0.18
14	4.110	2.88	7	C.B.	0.015	0.38	0.014	0.10	0.111	2.81	25.38	0.42
12	6.530	3.37	7	C.B.	0.015	0.38	0.014	0.10	0.130	3.39	35.29	0.43
10	10.380	5.26	7	C.B.	0.020	0.51	0.014	0.10	0.144	4.17	54.18	0.47
8	16.510	8.37	7	C.B.	0.020	0.76	0.025	0.13	0.216	5.49	101.38	0.14
6	26.530	13.37	7	C.B.	0.030	0.76	0.025	0.13	0.254	6.45	148.68	0.12
4	47.530	21.7	19	C.B.	0.040	1.02	0.034	0.15	0.318	8.08	272.78	0.08
3	62.670	26.7	19	C.B.	0.040	1.02	0.034	0.15	0.344	8.79	275.66	0.075
2	86.340	33.6	19	C.B.	0.040	1.02	0.034	0.15	0.378	9.40	367.87	0.076
1	101.490	42.4	19	C.B.	0.050	1.27	0.037	0.18	0.425	11.05	437.28	0.070
1/0	135.000	53.5	19	C.B.	0.050	1.27	0.037	0.18	0.474	12.84	542.47	0.065
2/0	170.000	67.4	19	C.B.	0.050	1.27	0.037	0.18	0.518	14.14	676.37	0.064
3/0	197.000	85.8	19	C.B.	0.050	1.27	0.037	0.18	0.548	14.43	859.58	0.071
4/0	211.000	107	19	C.B.	0.050	1.27	0.037	0.18	0.614	15.85	1068.13	0.067
250	250.000	127	37	C.C.	0.060	1.52	0.039	0.20	0.694	17.43	1262.39	0.142
300	300.000	152	37	C.C.	0.060	1.52	0.039	0.20	0.747	18.91	1479.83	0.119
350	350.000	177	37	C.C.	0.060	1.52	0.039	0.20	0.797	20.26	1717.67	0.118
400	400.000	202	37	C.C.	0.060	1.52	0.039	0.20	0.842	21.38	1948.14	0.0805
500	500.000	251	37	C.C.	0.060	1.52	0.039	0.20	0.925	23.58	2421.49	0.0789
600	600.000	304	41	C.C.	0.070	1.78	0.039	0.23	1.004	24.81	2923.89	0.0590
750	750.000	388	41	C.C.	0.070	1.78	0.039	0.23	1.135	28.40	3666.18	0.0577
1000	1.000.000	507	41	C.C.	0.070	1.78	0.039	0.23	1.275	32.39	4548.78	0.0564

*Nota: Los datos propuestos pueden variar de acuerdo a las especificaciones de fabricación.



Adquiera nuestros productos a través de nuestra red de distribuidores especializados

La información contenida en esta ficha técnica pretende ser una ayuda para los usuarios de nuestros productos. Se recomienda contar con la asesoría de un profesional calificado y acatar los requisitos definidos por las autoridades reguladoras del país.

www.generalcable.com
 Guatemala: (502) 2325-1680
 El Salvador: (503) 2534-4543
 Honduras: (504) 2281-4900

info.centroamerica@generalcable.com
 Nicaragua: (505) 2254-7795
 Costa Rica y Caribe: (504) 2298-4800
 Panamá: (507) 638-5449

© 2017 General Cable, Phelps Dodge International Corp., Strohly & Carl Brand are
 trademarks of General Cable Company. Model 14 01 02/17/17