



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“TURBINA KAPLAN MODELO GH 74-2-H
(REHABILITACIÓN)”**

DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

NEFTALI GUILLERMO CORTÉS GONZÁLEZ

DIRECTOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ

San Juan de Aragón, Edo. de México, Marzo de 2016.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ÍNDICE GENERAL

Introducción.

Objetivo.

Alcances.

I. SITUACIÓN ACTUAL Y DIAGNÓSTICO.

1.1 Antecedentes.

1.2 Descripción teórica.

1.3 Descripción física del equipo.

1.4 Evaluación de las condiciones de operación existentes.

1.5 Problemática.

II. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

III. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.

3.1 Procedimientos de rehabilitación.

3.2 Ejecución de trabajos.

3.3 Puesta en marcha y pruebas.

3.4 Recomendaciones generales.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA.



Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme permitido estudiar en esta máxima casa de estudios de la cuál siempre estaré orgulloso de pertenecer.

Y a todas las personas involucradas de alguna u otra forma en este proyecto:

M. en I. Patrocínio Arroyo Hernández

Ing. Sabino Henry Escamilla Toloza

Técnico Académico Antonio González Montaña

Técnico Académico Rosendo Méndez Gallo

Ing. José Luis Ramírez Cruz

A todos, gracias por su apoyo.



Dedicatorias

Para mis hermanos (Omar Cortés González, Diana Cortés González y Claudia Cortés González), porque no nos ha importado que tan sinuoso ha sido el camino y los obstáculos encontrados, hemos salido adelante y hemos forjado las bases de algo que hoy nos enorgullece...

...A mi padre (Neftalí Cortés Fernández) por enseñarme que las cosas tienen un mayor valor cuando las conseguimos con nuestro propio esfuerzo y que sí, sí se puede a pesar de todo y contra todos...

...Y en especial a mi madre (Ma. Teresa González Hernández) que sin tu majestuoso apoyo y aliento, no hubiera llegado hasta aquí, siempre confías en todo lo que sueño y has sabido dirigir el barco por el que navegamos en la vida, gracias infinitas, este logro también es tuyo...Te amo.

Con ustedes para todo y con todo.



INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo el lector podrá encontrar todo lo referente a las condiciones iniciales de la turbina Kaplan, así como las problemáticas, procedimientos y ejecución de las tareas a realizar para la rehabilitación de la misma.

Por otro lado, se darán a conocer las alternativas de solución aplicadas a las problemáticas halladas y, en algunos de los casos en donde se propusieron más de una, se explicará porque fue tomada solo una opción, fundamentada en las ventajas y desventajas que cada una presentaba.

Se podrán ver fotografías y pequeños informes conforme al desarrollo y avance de todos los progresos alcanzados. Finalmente y con base a la experiencia obtenida y puntos de vista tomados, se darán a conocer recomendaciones generales en cuanto a operación y mantenimiento; adicionalmente se podrá encontrar la bitácora propuesta en donde se tendrá que registrar cualquier actividad o intervención al equipo, lo anterior bajo la supervisión del jefe del laboratorio y/o los técnicos académicos correspondientes al área.

OBJETIVO

Restaurar la Turbomáquina de Flujo Axial para su uso eficiente en el desarrollo de prácticas por parte de los alumnos de la carrera de ingeniería, contribuyendo de esta manera a la formación integral de los mismos.

ALCANCES

Para el progreso de esta propuesta de trabajo, se implementarán métodos y procesos que ayuden a resolver de manera eficaz, duradera y factible, todas las problemáticas que surjan inicialmente, así como en el desarrollo y final.

Por otra parte se creará evidencia por medio de fotografías y reportes que detallen el avance obtenido en dichas tareas. De igual manera y tomando en cuenta la importancia actual de conocer cómo se ejecutan algunos procesos, se tomarán diversos



puntos de vista de técnicos académicos y profesores en turno, que aporten grandes beneficios a favor de lograr el objetivo general.

Cabe señalar que aún que el lector podrá hallar aquí algunos conceptos teóricos en las materias de hidráulica, mecánica de fluidos y /o alguna otra a fin, esto no sustituirá de ninguna manera los conocimientos adquiridos en el salón de clases por parte de los alumnos.

Finalmente, con base a la experiencia personal recabada a lo largo del tiempo destinado a este proyecto, se pretenden dar a conocer aportes y propuestas que ayuden al buen manejo y uso del equipo, las cuales se integraran y se evidenciaran de manera total al presente.



CAPÍTULO I

SITUACIÓN ACTUAL Y DIAGNÓSTICO



1.1 Antecedentes

El equipo *Aparato Universal de Maquinas de Flujo Axial (Universal Axial Flow Machines Apparatus)* que como se mencionó en la introducción, nos referiremos a él con las siglas AUMFA; se encuentra localizado en la Facultad de Estudios Superiores Aragón, de la UNAM (Figura 1) en el Laboratorio L2 Térmica y Fluidos, ubicado en el área de hidráulica de dicho inmueble (Imagen 1 y Plano 1).



Figura No. 1.- Mapa del Campus Aragón, Disponible en: <http://www.aragon.unam.mx/campus/visita>, 10/09/2015.

- | | |
|---|--|
| 1 -- Salón Usos Múltiples | 10 -- Servicio Médico y Comedor. |
| 2 -- Gimnasio | 11 -- Módulo de Extensión Universitaria. |
| 3 -- Pesas y Regaderas. | 12 -- Estacionamiento Techado. |
| 4 -- Adquisiciones. | 13 -- Clínica Iztacala. |
| 5 -- Inst. Académicas y Equipo Audiovisual. | 14 -- Esculturas. |
| 6 -- Centro de Cómputo. | 15 -- Edificio de Gobierno. |
| 7 -- Centro de Lenguas Extranjeras (CELE). | 16 -- Torres de la Facultad. |
| 8 -- Centro Tecnológico. | 17 -- La Plaza del Estudiante. |
| 9 -- Biblioteca. | |

Edificios: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7, A-8, A-9, A-10, A-11, A-12.

Laboratorios: L-1, L-2, L-3, L-4.

Canchas: Basquetbol, Fútbol, Béisbol, Fútbol Rápido y Voleibol Playero.



Fue adquirido por la institución el 01 de Abril de 1980 y dada la antigüedad de compra, el costo real no está disponible en forma clara, e incluso el fabricante dejó de producirlo en esta versión junto con sus accesorios y refacciones. Con la finalidad de poner de manifiesto dicha antigüedad, se anexa como Figura 2 el reporte de inventario. Para conocer dichos datos nos dirigimos al departamento de Adquisiciones (No. 4, Figura 1) donde se nos proporcionó toda la información.

Imagen 2.- Aparato Universal de Maquinas de Flujo Axial (Turbina Kaplan).

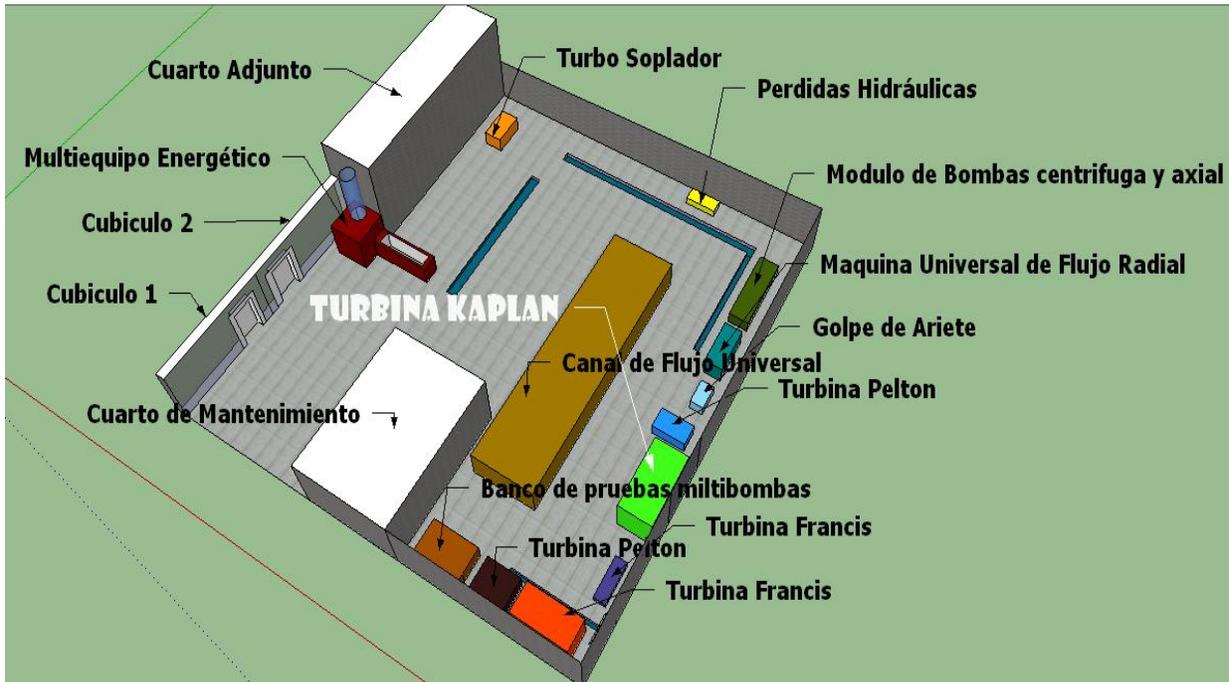
PATRONATO UNIVERSITARIO										FECHA: 16/MAY/2014	
DIRECCIÓN GENERAL DE PATRIMONIO UNIVERSITARIO										HORA: 13:07	
Sistema Integral de Control Patrimonial (SICOP)											
Reporte de Bienes Asignados a la Dependencia.											
Dependencia: 444.01 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ARAGON"											
Responsables : EDUARDO RAMIREZ ARANDA y JOSE F BOTELLO PADILLA, ARTURO D.AREVALO											
Del Número de Inventario 00313255 al 00313255											
Bienes Con Número de Inventario.											
Num. de Inventario	Folio	Nombre del Bien	Tpo. Adq.	Doc. de Adq.	Fec. de Adq.	Costo Bien	Marca	Serie	Modelo	Fec. de Proc.	Estatus
00313255	DCI/BX/015771	APARATO DE MAQUI	OTROS	SD	01/ABR/1980	1.000	SM	41909	GH71-2	02/OCT/2001	BAJAS
Total 1											

Figura No. 2.- Reporte de inventario, datos importantes: número de inventario (00313255), fecha de adquisición (01/Abril/1980) y estatus (Bajas). [Fecha de consulta: 16/Mayo/2015]

Dado a que el equipo cuenta con una clavija trifásica (la cual requiere de un contacto de su tipo), además de que posee ruedas que facilitan su desplazamiento y,



principalmente con la necesidad de descarga del fluido (agua) por parte del sistema, se propone la siguiente ubicación dentro del laboratorio para optimizar su trabajo (Plano 2).



Plano 2.- Muestra de forma general la ubicación del AUMFA dentro del Laboratorio de Hidráulica, así como del resto de los equipos. *SketchUp - Software.

El sitio propuesto se basa fundamentalmente debido a las dimensiones con las que cuenta el AUMFA (ver apartado 1.2 Descripción Física del equipo); además es importante señalar que a 1 metro del sitio propuesto (plano 2) se encuentra una coladera de desagüe y un contacto que éste necesita. Conjuntamente es importante señalar que el laboratorio alberga a otros equipos y dado a que ya se tienen asignados sus lugares, se concluye que el mejor espacio que se le puede asignar al equipo es el propuesto.

1.2 Descripción teórica

Turbina Kaplan

El nombre se le atribuye a su inventor Viktor Kaplan (Mürzzuschlag, 27 de noviembre de 1876 - 23 de agosto de 1934) ingeniero Austriaco. En 1912 publicó su trabajo: *Las Turbinas Kaplan*. Es a partir de entonces cuando se empezaron a desarrollar estas turbinas con más auge y se fueron posicionando principalmente en



pequeñas centrales eléctricas. El primer modelo productivo de una turbina Kaplan se alojó en empresas textiles en Austria en 1918¹.

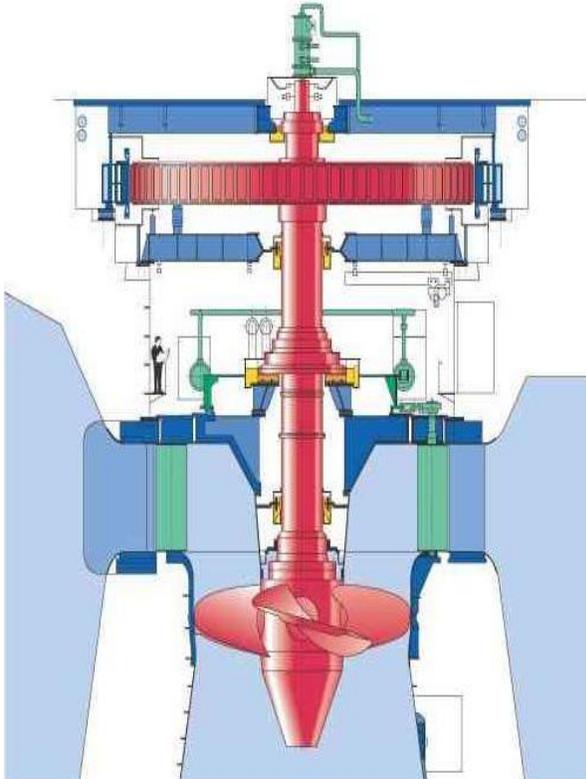


Figura No. 3.- Turbina kaplan en eje vertical,
Recuperada de:

<http://www.brighthubengineering.com/fluid-mechanics-hydraulics/27426-hydraulic-turbines-kaplan-turbine/>, 09/09/2015.

La Kaplan (Figura 3) es una turbina de reacción de tipo axial, con álabes ajustables, los cuales son regulables para reducir o aumentar el caudal, dependiendo de la potencia requerida. Se emplean en saltos de pequeña altura (alrededor de 50 m y menores), con caudales medios y grandes (aproximadamente de 15 m³/s en adelante). Este tipo de turbina permite obtener gran cantidad de energía eléctrica en pequeños desniveles de agua. Normalmente son instaladas con el eje en posición vertical. Si bien se pueden de igual forma colocar en posición horizontal (llamadas turbinas tipo Bulbo) o inclinada².

Los alabes del rodete en una turbina Kaplan deben de ser siempre regulables, mientras que los alabes o palas directrices, pueden ser fijos o regulables. Si ambos son regulables se puede decir que es una verdadera turbina Kaplan, mientras que si sólo son regulables los del rodete se dice que es una semi-Kaplan³.

La turbina Kaplan está constituida principalmente por un eje o flecha, servomotor (mecanismo de orientación de los álabes), cojinete de empuje, palas directrices, rodete, álabes (el número de éstos se selecciona dependiendo de la altura, no excediendo a un número mayor de 8), y un tubo de aspiración o difusor (véase figura 4).

¹ *Biography and developments of Viktor Kaplan*, en: Das Land Steiermark [en línea] <<http://www.steiermark.at/cms/beitrag/10036536/1550/>> [Consulta: 05 de Mayo 2014].

² Claudio Mataix Plana, "Turbinas Kaplan", en: Turbomáquinas Hidráulicas, bombas y ventiladores, págs. 36, 41, 42.

³ Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica, ESHA-2006, [en línea] <http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_ES_02.pdf> p. 177, [Consulta: 28/11/2015]



Eje o flecha: Vincula directamente al generador-motor y al rodete, a su vez gobierna el sentido de giro que éste efectúe de acuerdo a la función de trabajo, ya sea como turbina o bomba (Figura 4).

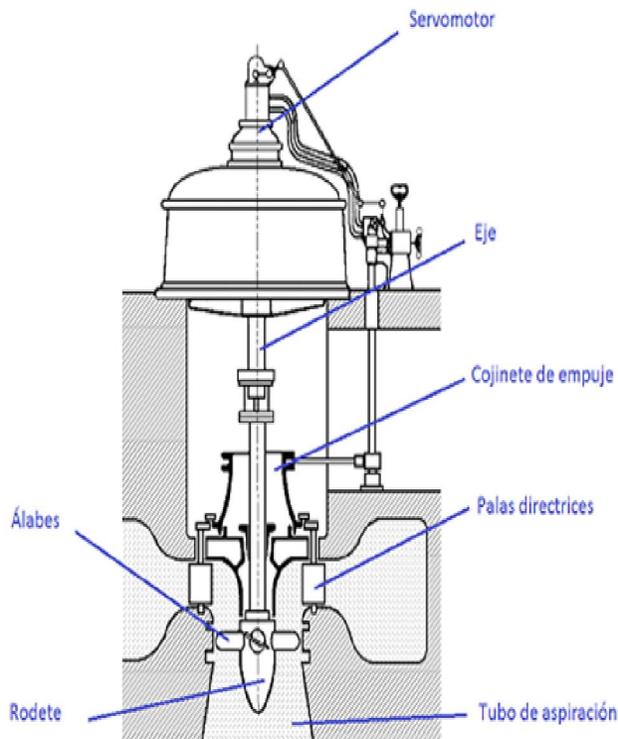


Figura No. 4.- Vista general de los componentes de la Turbina Kaplan, Recuperada de [http://www.sapiensman.com/ESDictionary/K/Technic al vocabulary Spanish\(K1\).htm](http://www.sapiensman.com/ESDictionary/K/Technic%20al%20vocabulary%20Spanish(K1).htm), 09/09/2015

3.-Núcleo: este en particular se encuentra alojado en el núcleo del rodete. En la figura 6 se puede apreciar con detalle el mecanismo, así mismo se identifican cada uno de los elementos que lo conforman.

Cojinete de empuje: Se localiza respecto al eje de la turbina, cuya función primordial, es proporcionar al generador el impulso necesario para que este trabaje, por medio de zapatas o segmentos conocidos como patine (figura 7).

Servomotor: Se encarga de darle la orientación a los álabes, existen tres tipos de mecanismos de servomotor, los cuales se mencionan a continuación:

1.-En cabeza: está instalado en el extremo superior del eje, en la zona del alternador y, de acuerdo a la figura 4, este mecanismo está localizado donde se encuentra el servomotor.

2.-Intermedio: situado en la zona de acoplamiento (Figura 5) de los ejes de la turbina y del alternador.

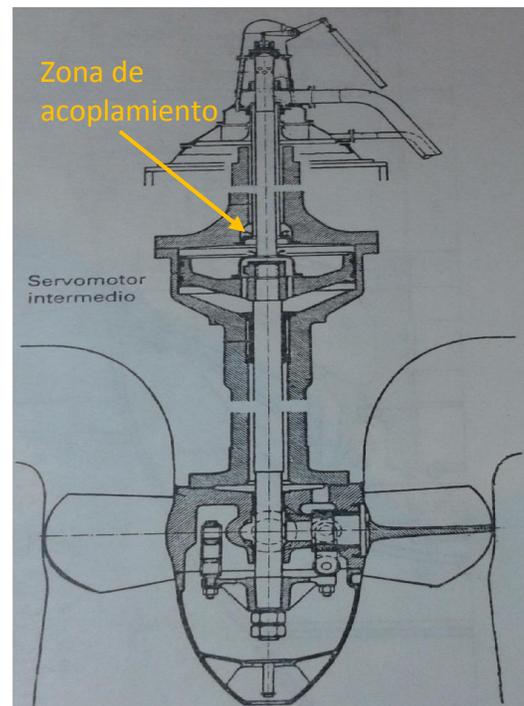


Figura No. 5.- Servomotor intermedio, Recuperado de: Claudio Mataix Plana, "Turbinas Kaplan", en: *Turbomáquinas Hidráulicas, turbomáquinas hidráulicas, bombas y ventiladores*, p. 41. 24/04/2014



Palas directrices o distribuidores: Dividen y dirigen el agua al rodete sin que ésta llegue con efecto de golpe (vea figura 4). Otra función peculiar de estos, es la apertura y cierre del caudal cuando el flujo y salto no son constantes en el tiempo; evidentemente se refiere a la temporada del año y del sitio en donde se encuentre la turbina, con el único fin de mantener un rendimiento aceptable de trabajo cuando estos factores varían.

Rodete: Constituido por un número determinados de álabes dependiendo del flujo del caudal y del salto. Es aquí donde se hace el intercambio de energía cinética a energía mecánica

(véase figura 8). Para su regulación, los álabes del rodete giran alrededor de su eje, accionados por unas manijas; depende en buena medida del tipo del servomotor con el que cuente. El rodete es el órgano principal de una turbomáquina y, en la gran mayoría de los casos el rodete está construido de materiales de aleaciones ya que, una vez instalada la turbina Kaplan en una central hidroeléctrica, o cual sea su sitio final, se tiene que tomar en cuenta que se deben de reducir en lo más mínimo los costos por reparación y tiempos muertos que ésta generará al tener que ser reparada si se presentase el caso. Algunos de materiales más comunes son

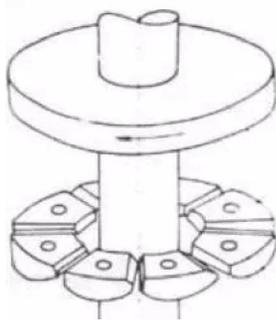


Figura No. 7.- Muestra cojinete de empuje con sus elementos, Recuperada de <https://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/>, 28/11/2015.

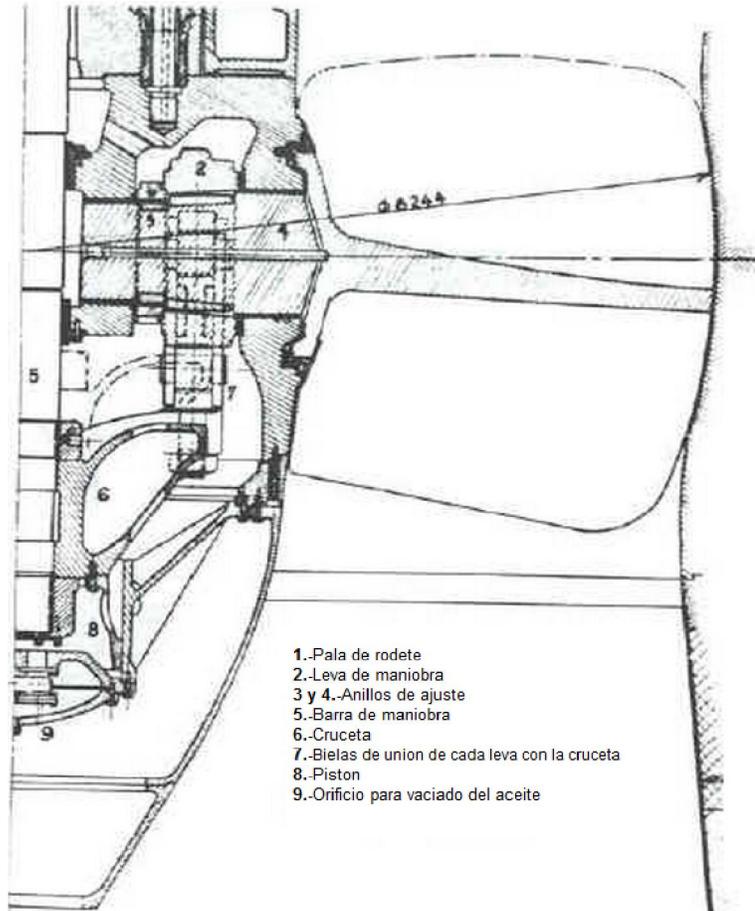


Figura No. 6.- Rodete con servomotor de núcleo de una turbina, Recuperado de: Claudio Mataix, "Turbo máquinas Hidráulicas, turbo máquinas hidráulicas, bombas y ventiladores, p. 42. 24/04/2014



el bronce marino, el bronce SAE 62 y el acero inoxidable; esto es con el fin de disminuir el deterioro por los efectos de corrosión causados a lo largo del tiempo.

Álabes: El número de álabes con los que una turbina Kaplan debe de contar para que está trabaje en óptimas condiciones, está regido con base a tres aspectos fundamentales; relación del cubo “v”, altura “H” (a la que trabajará la turbina) y el número específico de revoluciones “n_o”. De las principales razones por las que el número de álabes se limita, es sencillamente para reducir en menor proporción el principio de cavitación. En lo que se refiere a la altura, cuanto mayor es ésta, el número de álabes aumentará, teniendo como máximo 8, ya que su rendimiento disminuye.

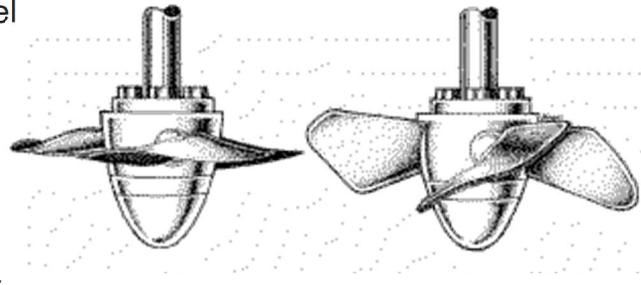


Figura No. 8.- Rodete de una turbina Kaplan

Recuperado de:

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia40/HTML/articulo07.htm>, 13/04/2014.

La correlación que se debe de considerar para determinar el número de álabes en un rodete se muestra con la siguiente tabla:

Salto neto H (m)	5	20	40	50	60	70
Número de álabes, z	3	4	5	6	7	8/10
Relación de cubo, v	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7

Tabla 1.- Número de álabes y relación del cubo de las Turbinas Kaplan en función de la altura de salto. Recuperado de Claudio Mataix, “Turbomáquinas Hidráulicas, turbomáquinas hidráulicas, bombas y ventiladores”, p. 871. 24/04/2014

¿Qué es la relación de cubo?

Seguramente es algo que se preguntará el lector al no tener una idea clara a lo que se refiere dicho concepto. Sencillamente y, en términos generales se le llama relación de cubo a la proporción que se le da al rodete de acuerdo al número de álabes, tomando en cuenta que entre mayor sea el salto neto, mayor serán los esfuerzos que tendrán que soportar los álabes.

La aplicación principal en donde se emplea una turbina de tipo Kaplan, es en las centrales hidroeléctricas (figura 9). Éstas funcionan generalmente utilizando la energía



del agua convirtiéndola, en una primera fase, en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas se consideran como sistemas de captación de energía limpia, ya que es amigable con el medio ambiente, no requiere de

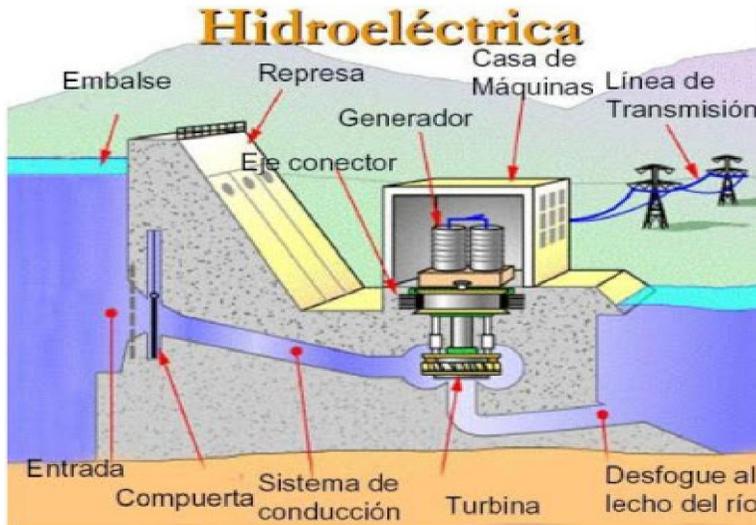


Figura No. 9.- Central Hidroeléctrica. Recuperado de: <http://biogeomundo.blogspot.mx/2012/03/centrales-hidroelectricas-ecologicas-o.html>, 09/09/2015.

combustible para su funcionamiento y no contamina el agua ni el aire. Existen desventajas mínimas como por ejemplo; el costo de la obra puede ser elevado y el tiempo para su construcción conlleva en muchos de los casos un largo tiempo. El aprovechamiento y captación de la energía dependerá de la época y del sitio en dónde estas se construyan.

Por otro lado las turbinas están expuestas a diversos esfuerzos mecánicos y efectos hidráulicos que desfavorecen su rendimiento, los cuales llevan consigo consecuencias negativas de desgaste y/u otras derivaciones. Dos de los efectos que se procuran reducir al máximo son la cavitación y golpe de ariete.

Cavitación:

Este fenómeno se produce cuando el fluido en uso se mueve a grandes velocidades, generando burbujas de vapor o gas. La variación de la presión en el caso de las turbinas o la hélice de un barco (Figura 10) juega un papel muy importante ya que, es la responsable de que se suscite dicho fenómeno, el cual en un campo de acción continuo genera las burbujas con una frecuencia de 25 000 ciclos por segundo, con un tiempo de duración de 2 milisegundos por cada burbuja que se produce.



Figura No. 10.- Hélice de un barco.

Recuperado de:

<http://www.darkroastedblend.com/2011/11/worlds-largest-ship-propellers.html>,

Propela de 75 toneladas, ARCO PUBLISHING, 29/04/2014.



Un par de ejemplos claros y sencillos para qué el lector pueda asociar el concepto, lo encontramos al hervir el agua, ya que ésta generará burbujas a consecuencia de su exposición al calor. Otro ejemplo se puede apreciar al momento de diluir una pastilla efervescente en un vaso con agua, en este ejemplo, básicamente las burbujas que se generan representan a menor escala y a manera experimental, el efecto de cavitación. Los dos ejemplos anteriores muestran una forma simple de apreciarlo y sólo se pueden utilizar como experimentos visuales, ya que en ninguno de los casos asemeja o representa de manera real dicho fenómeno.

Golpe de ariete:

Al interrumpir drásticamente el paso del fluido en un sistema se genera una variación de presión en las paredes del conducto (válvulas, compuertas, tuberías etc.), trayendo como consecuencia deformaciones, desperfectos e inclusive rupturas en el mismo.

Se le llama golpe de ariete (figura 11) a la acción que se genera debido al cierre repentino en una tubería donde está circulando fluido a una velocidad y caudal constante, al hacer dicha acción, el líquido tiende a comprimirse hasta cierto punto y en consecuencia, posteriormente tiende a expandirse, generando sobrepresión y dilatación en el punto donde se produjo el cierre.

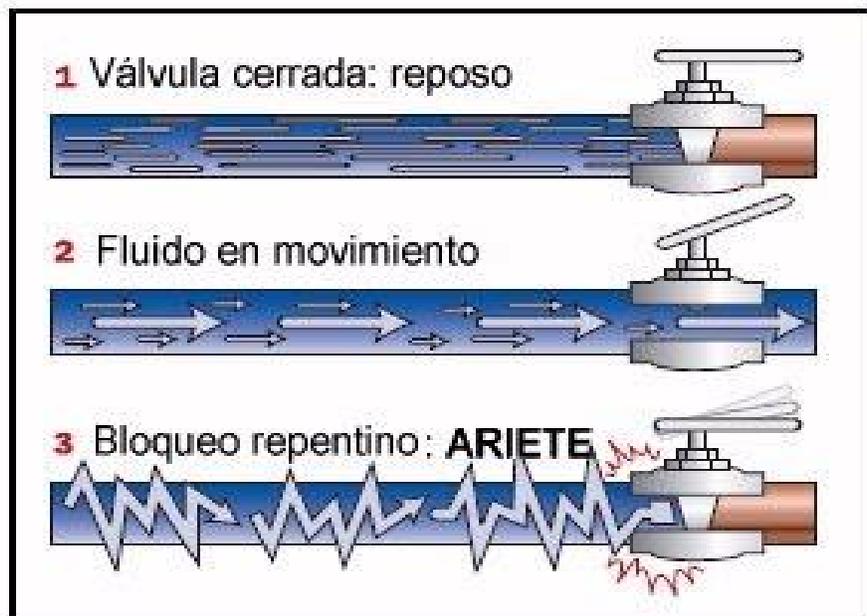


Figura No. 11.- Muestra el golpe de ariete en fases, Recuperado de: <http://notaculturaldeldia.blogspot.mx/2010/09/golpe-de-ariete-la-onda-de-presion-que.html>, 09/09/2015.



1.3 Descripción física del equipo

Dimensiones

El AUMFA cuenta con una **altura** de 2.30 metros (imagen 3- A), desde el borde superior derecho (dónde se encuentra el cabezal de la tubería para el llenado del sistema) hasta la parte inferior de la base del equipo.

Tiene un **largo** de 1.80 metros, que va de extremo a extremo, la medida cubre el soporte metálico del lado izquierdo e incluye la tubería que se encuentra del lado derecho (imagen 3-B).

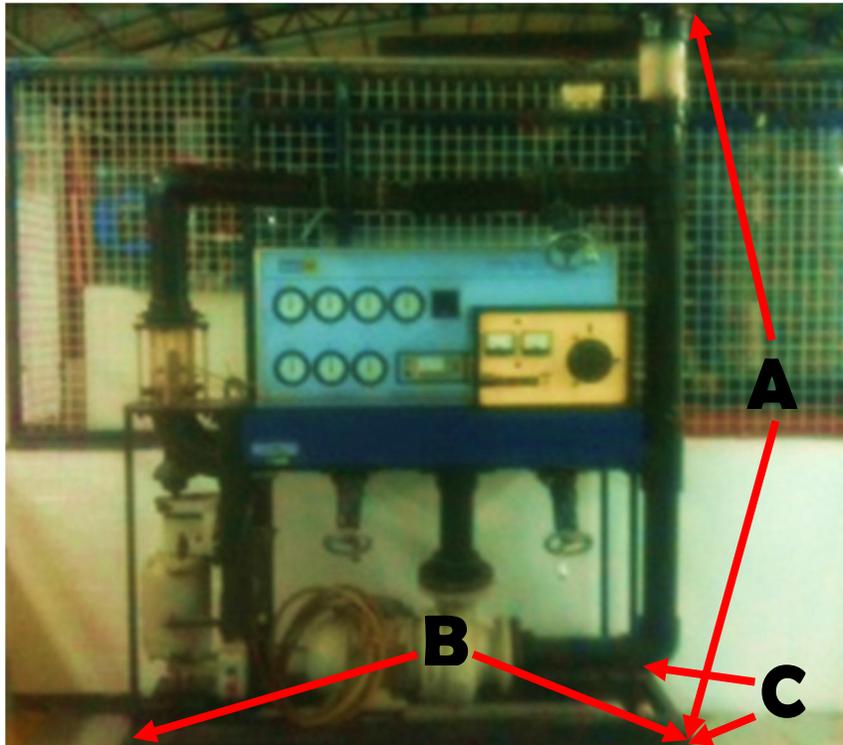


Imagen 3 (A, B, C) - Vista frontal y general del equipo.

Por último el **ancho** que ocupa es de 0.80 metros, ésta medida es con respecto a la base del equipo, y puesto a qué es la parte de mayor proporción (imagen 3-C).

Elementos constitutivos

Para una mayor comprensión de la operación del AUMFA, éste se dividió en tres sistemas:

- Hidráulico, • Mecánico, • Eléctrico.



Los anteriormente citados generalizan totalmente los instrumentos y componentes con los que cuenta el equipo. A continuación se dará una descripción de los mismos con el propósito del uso práctico y de la localización inmediata de fallas o averías que se pudiesen presentar en un futuro, ayudando al técnico o al profesor encargado de su operación a actuar con rapidez y, bajo un procedimiento de reparación, poder solucionar los inconvenientes. Todos los procedimientos que se lleven a cabo deben de estar supervisados y aprobados por el encargado del laboratorio, para evitar incidentes mayores en el AUMFA.

Sistema Hidráulico.- Es el encargado de la distribución del fluido (en este caso el equipo opera con agua), lo constituye una tubería con un largo de 6 metros distribuidos uniformemente como se muestra en la imagen 4, esta medida incluye a los 2 codos a 90° y al acrílico transparente que se encuentra en la parte superior en el cabezal del sistema (tanto la tubería así como los codos están hechos de Cedula 40 PVC; se agrega la tabla 1 para detallar sus características).

DIAMETRO NOMINAL (PULG.)	DIAMETRO EXTERIOR		DIAMETRO INTERIOR		ESPESOR DE PARED		PRESTIÓN A 23°C		PESO APROX KG/M
	(PULG)(OD)	(MM)	(PULG)(ID)	(MM)	(PULG)(T)	(MM)	(PSI)	(KG/CM2)	
½"	0.840	21.3	0.609	15.5	0.109	2.8	600	42.0	0.24
¾"	1.050	26.7	0.810	20.6	0.113	2.9	480	33.6	0.32
1"	1.135	33.4	1.033	26.2	0.133	3.4	450	31.5	0.47
1¼"	1.680	42.2	1.363	34.6	0.140	3.6	370	25.9	0.63
1½"	1.900	48.3	1.593	40.5	0.145	3.7	330	23.1	0.76
2"	2.375	60.3	2.049	52.0	0.154	3.9	280	19.6	1.01
2½"	2.875	73.0	2.455	62.1	0.023	5.2	300	21.0	1.60
3"	3.500	88.9	3.042	77.3	0.216	5.5	260	18.2	2.10
4"	4.500	114.3	3.989	101.5	0.237	6.0	220	15.4	2.98
6"	6.625	168.3	6.031	153.2	0.280	7.1	180	12.6	5.26
8"	8.625	219.1	7.942	201.7	0.322	8.2	160	11.2	7.89
10"	10.750	273.1	9.976	253.4	0.365	9.3	140	9.8	11.20
12"	12.750	323.9	11.889	302.0	0.406	10.3	130	9.1	14.80
14"	14.000	355.5	13.073	332.1	0.437	11.1	130	9.1	17.56
16"	16.000	406.4	14.940	379.5	0.500	12.7	130	9.1	22.93
18"	18.000	457.2	16.809	426.9	0.552	14.3	130	9.1	29.91
20"	20.000	508.0	18.743	476.1	0.593	15.1	120	8.4	35.13
24"	24.000	609.6	25.544	572.6	0.687	17.4	120	8.4	48.89

Tabla 2.- Características de la tubería Cedula 40 (recuadro rojo), Recuperado de <http://www.tuberiadepvc.mx/Tuberia-Hidraulica-de-PVC-Cedula-40.html>, 01/04/2014.

El sistema también cuenta con un codo a 45° hecho de hierro fundido, el cual está localizado por debajo del cilindro transparente de acrílico que resguarda a la turbina Kaplan (imagen 4).



Imagen 4 – Se puede observar el codo de hierro fundido a 45° acoplado al sistema hidráulico.

Siguiendo con los componentes que integran el sistema hidráulico, se consideran de igual forma los siguientes elementos:

a) Válvulas: Cuenta con 3 válvulas de control de tipo mariposa (imagen 5). Una de ellas localizada del lado derecho en la parte superior, y las otras dos restantes localizadas horizontalmente por debajo de la base de la unidad de control (diríjase a la imagen 3 sino recuerda su ubicación). Cabe señalar que la apertura total de las mismas se da en el giro número 28, mientras que para la apertura

media es a los 14 giros, lo anterior en relación cuando se tienen las válvulas totalmente cerradas. Cada válvula cuenta con dos mirillas de cristal en donde se puede observar su apertura total o cierre.

b) Manómetros: Estos están localizados en el panel principal (imagen 6) y existen 7 de ellos. Cada uno representa una lectura específica en un punto de presión diferente, 5 provienen del cilindro de acrílico, y las otras 2 se localizan tanto en la entrada, así como en la salida del flujo en la turbina, las cuales son:

1. Presión 1.- Succión de la bomba axial o descarga de la turbina.
2. Presión 2.- Entrada de la bomba axial o salida de la turbina.
3. Presión 3.- Succión de los álabes de la bomba axial o descarga en los álabes de la turbina.
4. Presión 4.- Centro de los álabes.
5. Presión 5.- Descarga de los álabes de la bomba axial o succión en los alabes de la turbina.



Imagen 5- Muestra una de las tres válvulas fuera del sistema hidráulico después de su rehabilitación.



6. Presión 6.- Succión en el difusor de la bomba axial o descarga de los álabes de entrada de la turbina.

7. Presión 7.- Descarga de la bomba o succión de la turbina⁴.

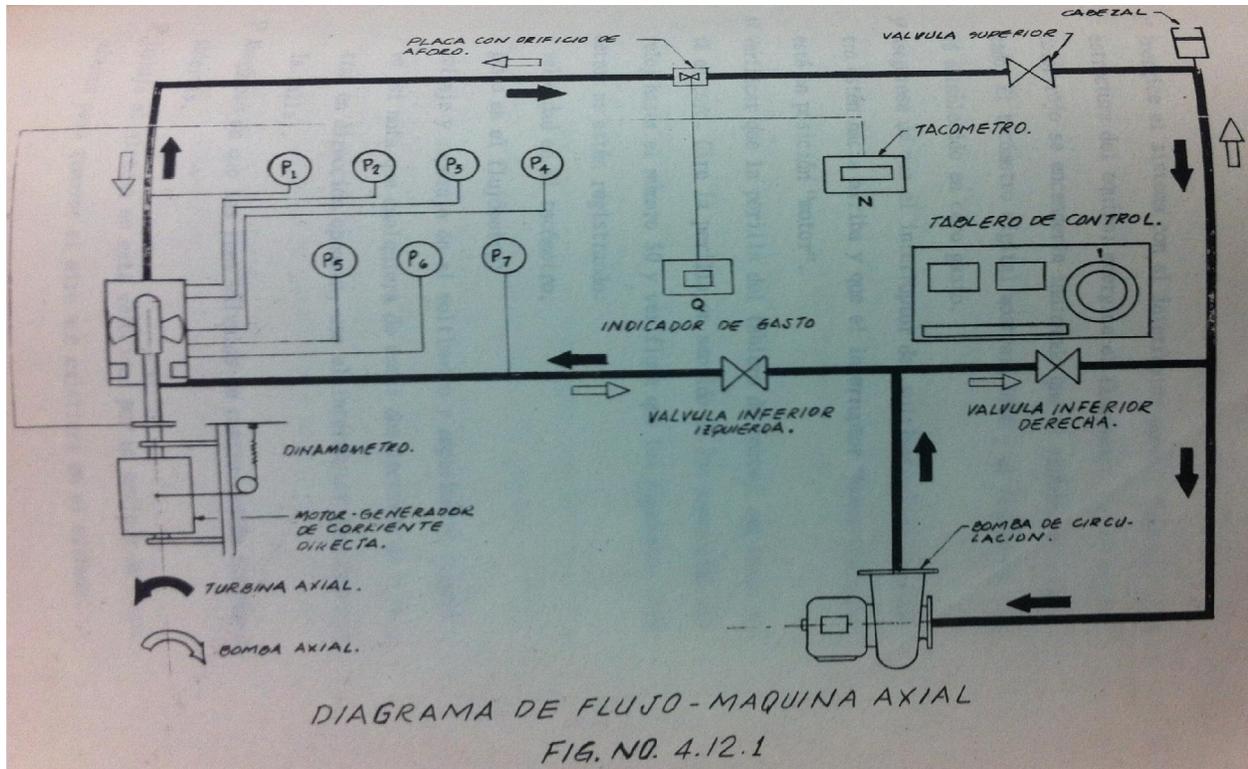


Figura 12 – Se puede observar el diagrama de flujo del AUMFA, así como la dirección del flujo de acuerdo si se está operando como turbina o bomba axial respectivamente. Recuperado de: Alarcón Hernández, A. (1983). *Manual de prácticas para el laboratorio de hidráulica y mecánica de fluidos para las carreras de ingeniería de la ENP Aragón*, Tesis profesional de ingeniería, UNAM, p. 224, 20/11/2015.



Imagen 6 – Se observan de forma física los manómetros en el panel principal.

⁴Texto relacionado a las presiones tomado de: “Manual de prácticas para el laboratorio de hidráulica y mecánica de fluidos para las carreras de ingeniería de la ENP Aragón, Tesis profesional, por Alberto Alarcón Hernández”, p. 235, [Consulta: 20/11/2015].



c) Indicador de gasto: Se encuentra localizado en la parte inferior derecha del panel principal. Este registra (imagen 7) el paso de agua en el sistema hidráulico, el cual con la ayuda del *medidor de flujo* crean las lecturas en la tubería en un punto específico por medio de la placa de aforo (diríjase a la figura 12 para localizar su ubicación en el sistema). Las lecturas son en litros por segundo (L.P.S.) y van de 0 a 20/ 0 a 40, cuenta además con dos botones, uno de ellos sirve para el encendido (a la izquierda) y el otro (a la derecha) indica el rango de caudal, el cual va de simple a doble (flow range / flow range x 2).

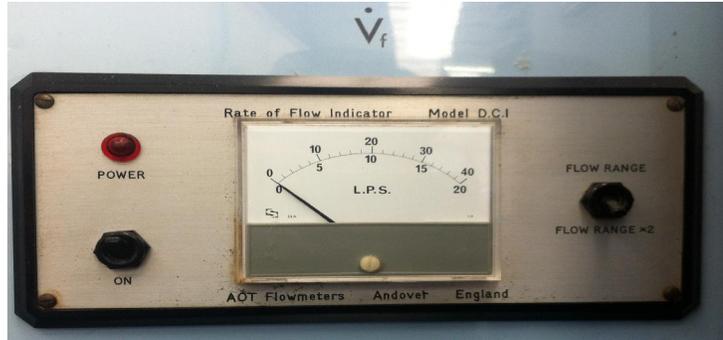


Imagen 7 – Muestra el indicador de gasto con sus características.

d) Medidor de flujo: Localizado en la tubería horizontal superior, está acoplado (imagen 8) con la placa de aforo (para su ubicación diríjase a figura 12) para generar las mediciones pertinentes y los resultados se ven reflejados en el *indicador de gasto*.



Imagen 8 – Se observa al medidor de flujo desacoplado de la placa de aforo.

e) Rodete y álabes: Es la parte más esencial del AUMFA, es por medio de estos elementos (imagen 9 y 10) que se puede visualizar el fenómeno de *cavitación*. Se encuentran dentro del cubo o cilindro de acrílico, por encima del codo a 45°. La apertura y el cierre de los álabes (que va de 0° a 30°), se da por medio de un mecanismo de servomotor de núcleo. Para comprender el funcionamiento del servomotor diríjase al apartado **1.1.1 Descripción teórica** y, en donde a su vez también podrá encontrar las características recomendadas a tomar en cuenta en el uso y aplicación funcional del rodete.



Imagen 9 – Muestra los álabes desmontados del rodete y del eje de la turbina.



Imagen 10 – Se puede observar el rodete y álabes (círculo rojo) dentro del cubo de acrílico.

f) Flujómetro: Algunas de las mediciones que se requieren hacer relacionadas al sistema es la velocidad del flujo, la cual se lleva a cabo por medio de este dispositivo, el cual se encuentra alojado en la parte posterior del equipo (imagen 11 y 12).



Imagen 11 – Tipo, no. de serie y Modelo.



Imagen 12 – Sistema electrónico del Flujómetro.

g) Cilindro de acrílico: Debido a que también es parte del sistema, y de características específicas, como lo son: 1" (pulgada) de grosor, por un diámetro de 7", y cuenta con 9 orificios, de los cuales 5 de ellos, van conectados por medio de mangueras (imagen 13) a los manómetros que se encuentran en el panel principal, esto con el fin de medir las presiones que se generan en los diferentes puntos de incidencia del flujo con respecto a la abertura del ángulo de los álabes de la turbina, y el resto (4 orificios) alojan a cuatro álabes manuales que se desplazan de igual manera a más (+) / menos (-) 20°, en ambos sentidos (tomando un plano cartesiano como referencia, podemos decir que el desplazamiento se da en el eje X, tanto de manera positiva y negativa).



Imagen 13 – Muestra al cilindro de acrílico en condiciones iniciales junto con el resto de sus elementos.

Sistema Mecánico.- En este apartado tomamos en cuenta tres tipos principales de fuentes mecánicas que trabajan conjuntamente en el equipo. Así mismo cada una de ellas desempeña una función específica para la cual fue diseñada. Su trabajo dependerá si el equipo se está operando como turbina o bomba. A continuación sólo se mencionarán las características de los elementos que lo conforman.

h) Dinamómetro.- Con capacidad de hasta 50 N (Néwtones), el cual (imagen 14) mide el torque que proporciona el motor / generador cuando el equipo está en operación. Recordemos que el equipo tiene la capacidad de asemejar el trabajo de una central hidroeléctrica, por lo cual se pueden medir diferentes torques a distintos flujos de caudal.



Imagen 14 – Dinamómetro de 50 Néwtones.

i) Motor / generador.- Tiene una potencia de 3 HP (caballos de fuerza), y un rango límite de 3000 rpm (revoluciones por minuto). En las siguientes fotografías (imagen 15 y 16) se observa la posición en el equipo y características. Cabe señalar que el acoplamiento a la turbina se hace por medio un cojinete de empuje y zapatas.



Imagen 15 – Motor vertical de la turbina.



Imagen 16 – Características del motor.



j) Bomba.- Principalmente trabaja impulsando el fluido en el sistema, esto con el fin de convertir la energía cinética del flujo, en energía mecánica. Al igual que en el motor, se agrega una fotografía con sus características y en la posición en donde se encuentra.



Imagen 17 – Muestra la bomba acoplada al sistema hidráulico.

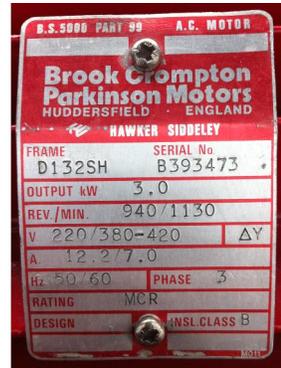


Imagen 18 – Se aprecian las características de la bomba.

Sistema Eléctrico.- Lo conforman los elementos que básicamente hacen que pueda operar el AUMFA y, aún que todos los sistemas antes mencionados son importantes, éste en particular, hace que funcionen correctamente y en conjunto. Sí llegase a haber algún problema o avería en el equipo, se tendría que empezar por revisar en primera instancia esté sistema, ya que es fácil el acceso a todos sus elementos.

k) Módulo de interconexión.- Éste se encuentra localizado debajo de aislador principal. Cuenta con una interface de conexión entre el motor y la unidad de control. Siempre debe de estar completamente cerrado o podría ocasionar algún corto circuito.



Imagen 19 – Se muestra el módulo de interconexión rehabilitado.

l) Unidad de Control.- Interviene en las funciones primordiales del equipo, mandando las señales tanto al motor, así como a la bomba para que estos trabajen de acuerdo a lo que se requiera. Consta de un Voltímetro (izquierda) y un Amperímetro (derecha) que mide la corriente y los amperes respectivamente, en correlación al tipo de

operación. Un LED que indica que el equipo esta encendido (izquierda al centro), de igual se puede encontrar el control de encendido y apagado (inferior izquierda), tres switches (de izquierda a derecha: voltaje reversible, motor/generador, amperaje



reversible), fusible de 3 Amperes (para protección de la unidad en caso de algún corto circuito) y por último cuenta con una perilla (color negro derecha) que se encarga del incremento o disminución del voltaje de entrada que va de 0 a 110 voltios.



Imagen 20 – Se observa la unidad de control rehabilitada.

m) Sensores de velocidad.- Se encargan del registro de las revoluciones por minuto (rpm), tanto del motor, así como las de la turbina (imagen 21), los datos se ven reflejados en el tacómetro digital que se encuentra en el panel principal del

AUMFA.

n) Tacómetro digital.- Registra la velocidad de giro generada entre motor y turbina al estar en funcionamiento (imagen 22), por medio de los dos sensores que se encuentran posicionados a un costado en el punto de unión entre ellos.



Imagen 21 – Sensores de velocidad en semi círculo verde.

o) Botonera.- Enciende la bomba (imagen 23), cuenta con dos botones; uno de paro (en color rojo) y el de arranque (en color verde). En dado caso de que llegara a haber un mal manejo del equipo o alguna situación de peligro, se podría parar en su totalidad el equipo, reduciendo en gran medida algún tipo de daño en el AUMFA o en el personal que lo esté operando (alumnos o profesores en turno respectivamente).



Imagen 22 – Tacómetro digital.



Imagen 23 – Botonera del AUMFA.



p) Aislador Principal (Main Isolator).- Cuenta con tres fusibles de 3 KW cada uno, además cuenta con un mecanismo que permite el paso de la corriente eléctrica para el encendido de la bomba, el cual es manual y se activa por medio de una manija. Cuenta además con una insignia la cual permite observar cuando se encuentra encendida (on) y apagada (off).



Imagen 24 – Aislador principal.



Imagen 25 – Se puede observar el Interior del aislador con fusibles.

1.4 Evaluación de las condiciones de operación existentes

En primer lugar cabe mencionar que el AUMFA tiene una inactividad de aproximadamente 20 años, por lo tanto en la inspección física y visual que se llevó a cabo al momento en el que se me asignó este proyecto existieron inconvenientes en algunas de sus partes mecánicas, eléctricas e hidráulicas. Debido a los deterioros y desgastes encontrados, se inspeccionó y revisó la totalidad del equipo, para tener un panorama más exacto de las condiciones del equipo y, con ello planear los procesos y las tareas a seguir para su rehabilitación.



Imagen 26.- Muestra la suciedad acumulada.

Una vez llenado el sistema con el fluido que requiere el equipo para la operación (en este caso agua), se procedió al arranque del AUMFA para evaluar la operación inicial, la cual en una primera etapa presentó una suciedad excesiva en el fluido (Imagen 26), resultado de la inactividad a lo largo del tiempo, por lo que inmediatamente se llegó a la conclusión



que todo el sistema hidráulico estaba en un pésimo estado, generado por la impureza y corrosión acumulada.

Siguiendo en operación el equipo, se detectó una fuga de agua en la cuerpo que aloja al balero, el cual viene acoplado con el codo de hierro fundido (véase Imagen 27).



Imagen 27.- Localización de la fuga de agua.

Posteriormente se determinó que la filtración del fluido provenía de un retén que se encuentra en el interior del codo el cuál aloja al eje vertical del rodete.

Por otra parte cuando se energizo la bomba desde la unidad de control, se presentó la no respuesta (eléctricamente hablando) de la misma. Con el fin de llevar a cabo la función de operación como turbina, no se detectó ningún movimiento o giro al momento aplicarle corriente y tratar de que esta funcionara de acuerdo al trabajo que

estábamos realizando. Algunos de los primeros supuestos que se pensó que tenía la bomba era el atascamiento en las hélices que la conforman en interior, debido al tiempo sin que está se pusiera en marcha. Esto por obvias razones se descubriría al desmontar por completo la bomba.

Indagando y siguiendo con la inspección al problema anterior, se encontró que la falla provenía de uno de los tres fusibles que se encuentran en el aislador principal (Imagen 28), dado a que uno de ellos presentaba un desprendimiento del hilo de continuidad que va de polo a polo (véase imagen 29).



Imagen 28.- Caja del aislador principal



Imagen 29.- Muestra en círculo rojo el hilo de continuidad desprendido.



Una vez cambiando el cable de continuidad que podemos apreciar en la imagen 26, se dio paso a energizar y posteriormente, a encender de nueva cuenta el equipo. En dicho momento se obtuvo una respuesta favorable, pero solo basto con un par de segundos después para que volviera a suceder lo anterior, uno de los cables en los fusibles se volvió a desprender, generando que se apagara el equipo. Esto naturalmente se debe a la protección con la que cuentan la mayoría de los equipos de su clase. Por lo que, como habíamos supuesto en un principio; existía ahora una gran posibilidad que las alabes de la bomba estuvieran atascadas, y estas al estar en esas condiciones, calentaba en exceso los fusibles, lo que provocaba la ruptura del cable. Y no fue sino hasta que se desmonto la bomba, que pudimos concertar que efectivamente se presentaba un atascamiento. Los detalles y el procedimiento que se realizó se mencionarán en el **Capítulo III**, en el punto: **3.1 Procedimientos de reparación**.

Siguiendo con la inspección general del AUMFA, pudimos percatarnos que en la unidad de control, la perilla que regula el incremento del voltaje (Imagen 17- en color negro) presenta un desperfecto al no marcar correctamente el aumento o disminución cuando se está girando la misma.



Imagen 30 - Cubo de acrílico y turbina

En la imagen 30 se aprecia que el cilindro de acrílico se encuentra sumamente sucio, y dado a que en este segmento se visualiza el efecto de cavitación (se dio breve explicación concerniente a dicho efecto en el **Capítulo I**, apartado **1.1.1 Descripción teórica**), no podemos observar de manera clara que es lo que sucede en el interior del mismo. De igual manera dentro de este elemento se encuentra alojada la turbina Kaplan.

Tanto el panel principal (y cada uno de los elementos que lo conforman), así como en el sistema hidráulico y la unidad de control, presentan desgastes leves en cuanto a pintura y mantenimiento (Imagen 31). En lo que concierne a los elementos que requieren de un movimiento manual, se pretende mejorar el giro adecuado para la apertura y cierre, en el caso de



las válvulas y, para la perilla de la unidad de control, se ajustará para su correcto desempeño.

Como ya lo mencionamos el sistema hidráulico lo conforman varios elementos (ver apartado **1.2 Descripción física del equipo**, punto *Elementos constitutivos*) entre los que destaca el medidor de flujo de la imagen 32 (explicación de la función que éste desarrolla en: **Sistema**



hidráulico, letra *E*) el cual presenta un ligero desgaste en su exterior, no afectando en lo absoluto a su funcionamiento dentro del equipo.

Imagen 31.- Muestra las condiciones del panel principal, sistema hidráulico y unidad de control.



Imagen 32 – Medidor de flujo acoplado a la placa de aforo. .

Terminando con la muestra total de los elementos que conforman el AUMFA, y debido a que en este apartado hacemos una valoración del equipo en general y en las condiciones que se nos entregó; tenemos que mencionar a uno de los elementos más importantes, nos referimos al motor/generador (Imagen 33, las características se pueden observar en el apartado **Sistema mecánico**, letra *I*), el cual no presento ningún inconveniente en cuestión de arranque y mucho menos de funcionalidad.



Imagen 33.- Motor/generador en condiciones iniciales.

Finalmente podemos decir que el AUMFA (imagen 34) no se encuentra en las mejores condiciones para que se realice alguna práctica o trabajo, por lo tanto se concluyó que se tendría que hacer una rehabilitación total y, de la mejor manera posible, para lograr que el equipo pueda operar sin ningún contratiempo y sin ninguna falla. Los trabajos y todos los procedimientos



que se utilizaron serán detallados en el **Capítulo III – Desarrollo de la solución**, apartado **3.1 Procedimientos de reparación y 3.2 Ejecución de los trabajos**.



Imagen 34 – Vista general del AUMFA en condiciones iniciales.

1.5 Problemática

Uno de los principales obstáculos que se presentaron en primera instancia y de manera general, fue el no funcionamiento correcto y óptimo del equipo cómo ya se mencionó en el apartado anterior y, cómo es evidente, las afectaciones que se mencionan impiden directamente a que el equipo no trabaje de manera adecuada. En este apartado se hará mención cada una de ellas, así como algunos otros percances que se llegasen a presentar a lo largo del proceso de la rehabilitación del AUMFA.

Puntualizando en los inconvenientes que tiene el equipo, podemos realizar el siguiente listado en el cual se incluyen todos los elementos y los problemas detectados:

1.-Pintura: ya que es un equipo con un cierto tiempo de antigüedad, presenta desgastes en la pintura y en los elementos que lo comprenden. Por lo que se pretende mejorar su aspecto en su totalidad.

2.-Problema mecánico: se pretende generar un plan de trabajo para que el sistema mecánico tenga la funcionalidad correcta en cada una de los elementos que lo conforman, los cuales son los siguientes:



a) Turbina: Debido a las condiciones en las cuales se encontró el equipo, se decidió desacoplar la turbina para darle el mantenimiento pertinente, pero ya que no se contaba con ningún croquis o plano el cual pudiera tener información acerca de la manera en la que se puede desmontar del lugar en dónde se encuentra ésta. Se comenzó por buscar la forma más sencilla en la que se pudiera hacer dicho trabajo, pero se tenía un problema mayor, ya que en el sitio en donde se encuentra la turbina alojada, se tiene un cilindro de acrílico (imagen 35), lo cual dificultaba la manera de poder desacoplarla del sitio de dónde está. Se comenzó por retirar la tubería del sistema hidráulico que ésta en la parte superior del acrílico y posteriormente se desatornilló el aro de metal y las varillas que están alrededor de él.



Imagen 35 – Cilindro y turbina en condiciones iniciales.

Aislado esto, se intentó sacar por la parte superior la turbina pero no se obtuvo ningún resultado favorable; por lo cual ahora se optó por desacoplar la parte inferior del eje de la turbina que se une con el motor, debajo del codo de hierro fundido. Al retirar los elementos que unen el eje de la turbina con el motor (imagen 36 y 37) se presentó el desprendimiento de un segmento de la tapa que aloja al balero (imagen 38), por lo que decidió de inmediato que tenía que ser remplazada, ya que es una pieza importante y, al romperse ésta, el balero no tendrá un buen cierre en su alojamiento.



Imagen 36 – Se observa al sujetador (arriba) y alojamiento de balero (en medio), acoplamiento entre eje y motor (abajo).



Imagen 37 – Muestra la posición de los componentes en el equipo, así como la guarda que protege al acoplamiento.



Se continuó con el desmontaje del resto de los componentes y del codo de hierro fundido, el cual por su tamaño y peso, ocasiono que se doblara el eje de la turbina (imagen 39), en ese momento ya se presentaba otro problema, pues ahora se tendría que idear otro plan de trabajo para restaurar el eje, y dejarlo en las mejores condiciones en las que puede trabajar con el resto de los elementos del AUMFA.



Imagen 38 – Tapa rota del alojamiento del balero (izquierda) y el sujetador.



Imagen 39 – Muestra el eje doblado por el peso del codo, al momento de desmontarla.

Cómo se puede apreciar en la imagen 39, se logró desacoplar la turbina del lugar de donde ésta se encuentra. Siguiendo con el procedimiento de desarmar toda la turbina y con el fin de darle el mantenimiento adecuado, se analizó cómo es que estaba constituida la turbina y, se llegó a la conclusión de que ésta estaba armada por secciones, lo que facilito el trabajo y se fue desarmando sección por sección, pero al desmontar los 4 alabes y el rodete se presentó otro inconveniente al momento del



Imagen 40 – Muestra la localización de las rupturas en los alabes y la turbina desacoplada.

desacoplamiento, pues dos de ellos sufrieron una ruptura en la parte frontal superior, en donde se aloja un perno que sujeta al alabe para que gire de acuerdo al ángulo de incidencia que maneja por medio de una cruceta, el cual va de 0° a 30°, cómo ya se mencionó en el apartado de la descripción del equipo.

b) Balero: El mecanismo de su rodamiento con la que debe contar un accesorio de su tipo, ya no se encontraba en las mejores condiciones, y debido



a ello, se buscará alguna solución ya sea cambiándolo por uno nuevo con las mismas características o dándole algún tipo de mantenimiento. En dado caso del cambio Se solicitara dentro de las cosas que se necesitaran para la rehabilitación. Para desacoplarlo del lugar en donde se aloja se requiere de un extractor de rodamientos o extractor de valeros (como también es conocido). En la siguiente imagen se puede observar a dicha herramienta.



Imagen 41 - Extractor de rodamientos, en semi círculo verde.

c) Motor / generador: Este elemento no presenta ningún problema en cuestión de funcionamiento. Sólo se le dará el recubrimiento de pintura pertinente y las tapas que de cierta manera lo conforman, se cromaran evitando así en un futuro, el desgaste que con el tiempo se pudiera presentar (imágenes 42 y 43).



Imagen 42 – Guarda en el acoplamiento entre la turbina y el motor.



Imagen 43 – Tapa superior en motor.

d) Dinamómetro: A pesar del tiempo sin la operación del AUMFA, éste se conserva en buen estado y no es necesario su reemplazo. Se desconoce si fue sustituido con anterioridad, ya que es una pieza de fácil remoción y dada a su universalidad, se puede conseguir sin tanta dificultad. Debido a que no se conocen este y otros datos importantes, se propone al final de este trabajo incorporar una bitácora en dónde queden registrados los periodos de mantenimiento y sustitución de algunos de



sus elementos si se llegase a presentar el caso, a manera de tener un mejor control en el equipo.

e) Bomba: El problema principal en este elemento fue el atascamiento de las aspas que se encuentran dentro del caracol de la bomba, que hacen que se dirija el flujo en un cierto sentido. Como se mencionó en el punto anterior **1.3 Evaluación de las condiciones de operación existentes** el problema a esto se resolverá al desacoplar la bomba e intervenir directamente en su mecanismo, el cual se detallara en el desarrollo de las soluciones en el Capítulo III del presente.

3.- Mantenimiento hidráulico: vista la suciedad excesiva que se presentó cuando se encendió el equipo para determinar las condiciones de operación, se ha determinado desmontar en su totalidad todo el sistema que lo conforma, dándole el mantenimiento preventivo como lo son:

a) Válvulas: poniendo a prueba el mecanismo de giro (apertura y cierre) que las conforma a cada una de ellas, y debido a que se encuentran en buen estado, solo se procederá a limpieza por la parte interior y a pintura por la parte exterior.

b) Manómetros y panel principal: de las 7 las lecturas que se pueden medir en el sistema por medio de los manómetros, sólo se ajustaran si es que lo requiere y, se les dará el mantenimiento preventivo en las conexiones de las mangueras. Con lo que respecta al resto de los elementos que conforman el panel como lo son; el Flujómetro y el tacómetro digital, se valora que no tiene ningún tipo de problema ya que se encuentran en perfectas condiciones de operación (imagen 44).



Imagen 44 – Vista posterior del panel frontal y sus elementos desmontados en el panel.



c) Alabes manuales: Son elementos constitutivos de este sistema y lo conforman 4 de ellos (imagen 45), se encuentran montados en el cilindro de acrílico transparente (imagen 46) mismo en donde se encuentra la turbina. La funcionalidad, así como sus características están descritas en el apartado **1.2 Descripción del equipo**, apartado: **Elementos constitutivos, sistema hidráulico, letra g) Cilindro de acrílico**. No presentan ningún tipo de problemática y sólo se les dará el mantenimiento estético para dejarlos en las mejores condiciones posibles.



Imagen 45 – Se observa a uno de los 4 alabes manuales en condiciones iniciales.



Imagen 46 – Muestra los alabes situados en su sitio en el cilindro de acrílico.

d) Cubo de acrílico: Es aquí donde se aprecia el fenómeno de cavitación y es de suma importancia que se encuentre en buen estado, por tal motivo la única problemática que se presentó es la impureza y la suciedad, dado a que es de un material transparente se propondrá contratar un servicio externo para que se pueda pulir tanto interiormente, así como exteriormente, ya que en esta Facultad no se cuenta con alguna máquina para trabajar con este tipo de materiales. Para tener una imagen más clara de las condiciones iniciales del cilindro, se puede apoyar en la imagen anterior (46) o bien diríjase a la imagen 13, en dónde también encontrará sus características.

e) Tubería de PVC: El sistema cuenta con este tipo material que conforma el sistema hidráulico (las características se pueden encontrar en la descripción del equipo apartado 1.2) y dado a la cantidad de suciedad que mostró en la operación inicial, se decidió desmontarla en su totalidad para profundizar en la limpieza. Debido a un



incidente ajeno a mí y que se desconoce la causa, una parte de la tubería “colapso” según versiones del personal académico, lo cual ocasiono un daño mayor (imagen 47 y 48) lo cual requerirá que se repare en su totalidad y se busque un material adecuado para resarcir lo anterior mencionado; además de reemplazar la sección de la tubería destruida. Luego que también se rompiera en su totalidad el cilindro superior de acrílico (imagen 49), se tendrá que reemplazar por uno nuevo. El procedimiento y la solución al problema se podrán consultar en el **Capítulo III, Desarrollo de la solución.**



Imagen 47 – Vista horizontal de la tubería rota.



Imagen 48 – Vista superior de la parte dañada de la tubería.



Imagen 49 – Se puede observar en el semi círculo rojo la sección de la tubería dañada y el tubo superior de acrílico que será sustituido.

4.- Mantenimiento eléctrico: Parte de los problemas en un inicio en lo que respecta al sistema eléctrico, surgieron en uno de los fusibles que presentó el desprendimiento del hilo de continuidad que va de polo a polo, el cual puede ser reemplazado o en otro caso se cambiara todo el fusible, esto se valorará más adelante en las alternativas de solución como posibles acciones (imagen 50).



Imagen 50 – Muestra en el círculo rojo el fusible con el hilo de continuidad dañado.



Unidad de control: cómo ya lo hemos mencionado el problema principal se encuentra en la perilla que incrementa la incidencia de voltaje al motor, ya que no marca correctamente el voltaje que se le está aplicando (para más detalles del problema diríjase a: ***Evaluación de las condiciones de operación existentes***, y a ***Elementos constitutivos***, apartado ***Sistema eléctrico***, letra L, ***Unidad de control***). Otro detalle está en el interior de la unidad de control, ya que por el tiempo sin actividad, presenta suciedad excesiva, nada que no se pueda remover con un trabajo de limpieza devuelva un aspecto favorable. Cabe señalar que el problema anterior no afecta en la funcionalidad de la unidad.

Estos son los únicos problemas que presenta el sistema eléctrico y, como se podrá dar cuenta, son detalles pequeños a comparación de los encontrados en los otros sistemas que constituyen al equipo.

Por último, las problemáticas que presenta el equipo son cubiertas en su totalidad con lo anteriormente escrito. Se pretende darle el mantenimiento adecuado de forma mecánica, hidráulica y eléctrica para su rehabilitación total. Tanto los desarrollos, así como los proceso de recuperación del AUMFA, serán expuestos y detallados en el ***Capítulo III*** del presente trabajo.



CAPÍTULO II

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN



En este capítulo se darán a conocer alternativas de solución con base a lo descrito en el capítulo anterior, para lo cual me apoyaré y utilizaré un diagrama de causa-efecto (diagrama de Ishikawa), con el propósito de establecer una mayor claridad de todos y cada uno trabajos que se deberán realizar para llegar al objetivo principal.

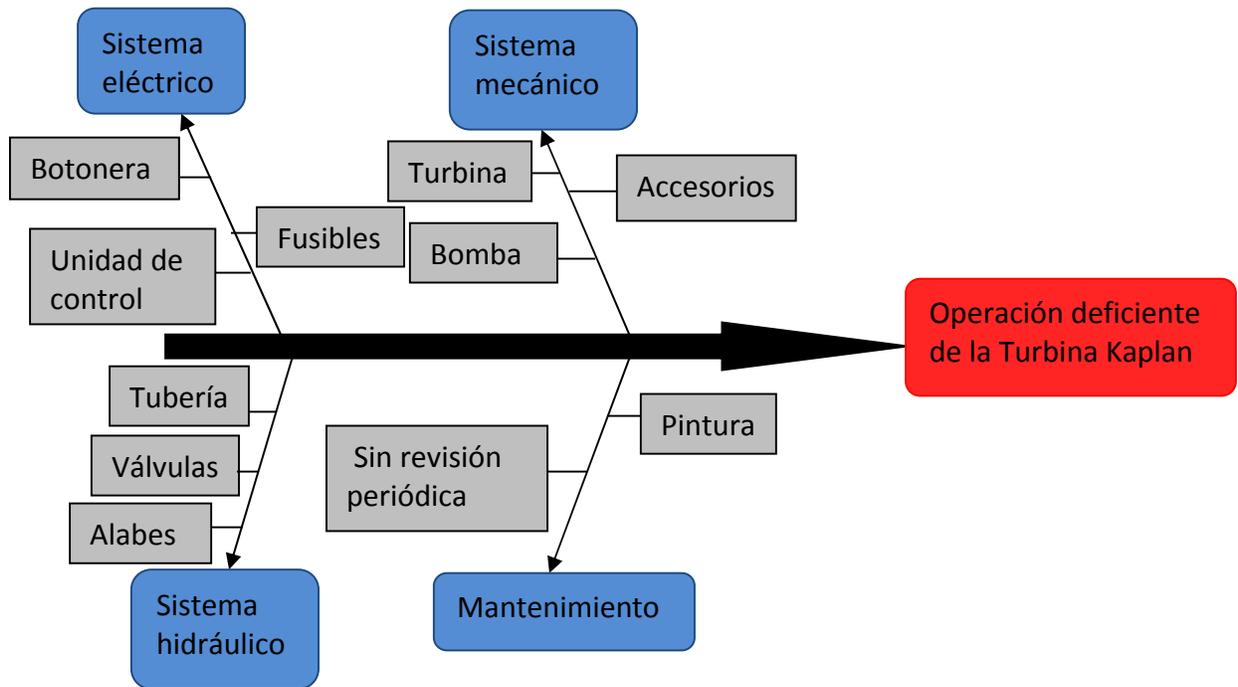


Diagrama 1.- Se observan las 4 principales problemáticas que afectan a una operación adecuada del equipo.

Es importante señalar que puede haber más de una alternativa para algunas de las problemáticas encontradas, por lo que se agregan las ventajas y desventajas de cada una de ellas; esto a su vez, ayudará a determinar cuál es la opción más viable y arroja mejores resultados a la solución de los mismos.

De manera progresiva y ordenada se describe a continuación lo encontrado en los sistemas eléctrico, mecánico e hidráulico y, por otra parte, se expone el resultado de un nulo mantenimiento al AUMFA.

Sistema eléctrico

Botonera:

1.- Problemática encontrada: Aún que su funcionamiento fue correcto, presenta en su interior un poco de corrosión en sus terminales a efecto del tiempo de inactividad que estuvo expuesto. Exteriormente solo presenta desgaste en la pintura (imagen 51).



Imagen 51.- Muestra el interior de la botonera y sus elementos.

2.- Alternativa de solución: Darle el mantenimiento respectivo quitando suciedad, impurezas y mejorando su aspecto exterior.

3.- Ventajas: Se alarga el tiempo funcional de este componente y se evita su reemplazo en un corto y largo plazo.

4.- Desventajas: Perdida de pequeños elementos que la conforman al realizar los trabajos pertinentes, teniendo que reemplazarlos por otros nuevos.

Unidad de control:

En este caso se presentan dos situaciones particulares resultado de la inactividad:

1.- Perilla de incremento:

1.- Problemática encontrada: Este elemento (imagen 52) no marca de manera correcta los intervalos de incidencia de voltaje.

2.- Alternativa de solución: Por medio de una inspección interna a la unidad de control se pretende localizar el tornillo, sujetador o cualquier elemento que ayude a mantener la perilla en el punto adecuado para que realice los correctos incrementos.

3.- Ventajas: Al realizarle el ajuste correcto a la perilla se puede evitar en gran medida un sobre voltaje o un corto circuito que pueda afectar permanentemente a la unidad.

2.- Interior de la unidad:

1.1.- Problemática encontrada: Aquí se presenta una suciedad excesiva, la cual repercute al buen manejo de la misma (imagen 53).

2.1.- Alternativa de solución: Considerando la suciedad excesiva que presenta el interior de la misma, se puede utilizar un líquido no flamable que ayude a limpiar de manera efectiva todos los componentes en su interior.

3.1.- Ventajas: Se garantiza un correcto funcionamiento al término de la tarea, ayudando de manera progresiva su aspecto y mantenimiento.



4.- Desventajas, soluciones 1) y 2): Para ambas tareas no se perciben algunas como tales, ya que las tareas ayudan totalmente al buen desempeño, aspecto y vida útil de la unidad de control.



Imagen 52 – Se observa la perilla de la unidad de control en condiciones iniciales.



Imagen 53 – Se muestra la suciedad en el interior de la unidad de control.

Fusibles:

1.- Problemática encontrada: El cable o hilo conductor que va de polo a polo (para mayor referencia vaya a **1.4 Problemática, 4.- Mantenimiento eléctrico**) en estos elementos es delgado y, al incrementarse la corriente se partían por la mitad. La causa principal como ya se mencionó, fue el atascamiento de las hélices de la bomba.

2.- Alternativa de solución 1): Reemplazo de cada fusible dañado evitará el desperfecto y mal funcionamiento. Cabe señalar que debe contar con las mismas características en cuanto al tipo de material y marca (en dado caso que sea posible). Se desconoce el precio por unidad de cada uno.

3.- Ventajas, solución 1): Al ser un fusible nuevo se puede garantizar que el desperfecto no suceda más y trabaje de manera correcta el sistema.

4.- Desventajas, solución 1): El precio de cada de fusible puede ser alto si lo comparamos con algunos otros accesorios eléctricos y, por otra parte, esto no garantiza en su totalidad que no se vuelva a fundir, por lo que se tendrá que tener un stock con varios de estos elementos, en dado caso de la falla de alguno de ellos.

2.1.- Alternativa de solución 2): El cambio del hilo del conductor por uno de mayor diámetro y al realizar la tarea de la mejor manera posible, de igual manera podría resarcir o evitar el daño a cada uno de los fusibles.



3.1- Ventajas, solución 2): Ya que se facilita el cambio del hilo conductor dañado, este se puede cambiar las veces que sea necesario, reduciendo en gran medida la compra de fusibles nuevos, esto ayuda en el costo/beneficio que se puede producir.

4.1.- Desventajas, solución 2): No se encuentran ningunas como tal, debido a que se valora como la mejor opción para resolver el problema.

Sistema mecánico

Turbina:

Como ya es de conocimiento para el lector, ésta presentó 2 situaciones importantes, que en breve se describen:

1) El dobles de la flecha:

1.- Problemática presentada: Sin duda es un factor importante, ya que se tiene que regresar a su posición original, dado a que esta va acoplada por medio de un cojinete de empuje y zapatas al motor/generador para trabajar en conjunto (sino se recuerda la causa y/o el sitio de los elementos antes mencionados, diríjase a **1.4 Problemática** inciso a) y a **Descripción teórica**, apartado **Cojinete de empuje**).

2.- Alternativa de solución 1): Se determina trabajar en el Laboratorio L2, en el área de soldadura y forja, con la ayuda del equipo de oxiacetileno y el personal correspondiente, en el procedimiento de calentar la flecha (o eje) hasta un punto blando donde por medio de golpes ligeros se pueda enderezar hasta su punto original.

3.- Ventajas, solución 1): Se optimiza el tiempo de respuesta al problema, y esto ayuda a avanzar de forma más rápida en el proceso de rehabilitación del equipo.

4.- Desventajas, solución 1): Se corre el riesgo latente de que al momento de calentar el eje y el tubo de bronce, este último sufra deformaciones debido al calor y al golpeteo al momento de realizar la tarea de tratar de enderezarlo.

2.0.- Alternativa de solución 2): De manera manual apoyado de un tonillo de banco y un tubo como herramientas de trabajo, se pretende trabajar de la siguiente manera; montar la flecha en el tornillo de banco y mediante el tubo, hacer una especie de “palanca” para que de manera progresiva se logre regresarla a su posición inicial.

3.0.- Ventajas, solución 2): Se puede trabajar de manera independiente en dado caso que el área del laboratorio se encuentre ocupada por alumnos y profesores en turno.



4.0.- Desventajas, solución 2): El daño que se puede ocasionar en este proceso es aún mayor, pues se pueden presentar rupturas o grietas en el tubo de bronce, ya que al tener un movimiento radial, puede derivar en afectaciones a otros elementos en el acoplamiento de la turbina.

2.0.1.- Alternativa de solución 3): En este caso se piensa desacoplar la flecha del cilindro de bronce, con el fin de trabajar por separado la sección afectada y, una vez logrado esto, realizar un proceso distinto a los anteriores con la ayuda de una máquina y/o herramienta que facilite y genere mejores resultados.

3.0.1.- Ventajas, solución 3): Al separar el eje del tubo de bronce donde se encuentra la parte afectada, permitirá un mejor trabajo y evitara algún otro daño debido al tipo de material con el que está hecho.

4.0.1.- Desventajas, solución 3): De igual manera no se encuentran en esta opción nociones que afecten o dañen a ambas piezas.

2) La ruptura del segmento superior de dos de los alabes:

1.1.- Problemática encontrada: Esto genera un trabajo especial, debido al tipo de material del que están compuestos y del daño ocasionado (para mayor referencia visual y teórica, diríjase a **Capítulo I, 1.4 Problemática**).

2.1.- Alternativa de solución 1): Debido a la particular forma con la que cuentan los álabes, se buscará por medio del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México, obtener las mismas piezas del mismo material y con todas sus características.

3.1.- Ventajas, solución 1): Generándose piezas completamente nuevas e idénticas, la sustitución y acoplamiento en el rodete así como en el resto de las piezas que conforman la turbina, podrá hacerse de manera sencilla y rápida.

4.1 Desventajas, solución 1): El elevado precio y el lapso que se lleve al realizar los alabes completos, afectan directamente al ritmo de trabajo y el presupuesto destinado para la rehabilitación del equipo.

2.1.1.- Alternativa de solución 2): Ya que el material con el que están fabricados los álabes es de uso comercial y se obtiene localmente, se pueden generar las secciones rotas de los mismos. Es de suma importancia señalar que en esta Facultad de Estudios Superiores, se cuenta con máquinas y herramientas necesarias para



efectuar los procesos de manufactura. Lo anterior favorece en gran medida al periodo de tiempo que se lleve en su fabricación.

3.1.1.- Ventajas, solución 2): El proceso para generar las secciones rotas, minimiza el tiempo y el costo económico, que de cierta manera son factores importantes.

4.1.1.- Desventajas, solución 2): Las áreas y los equipos que ahí se encuentran, no siempre pueden tener la disponibilidad necesaria, lo que causaría retrasos en las tareas.

Bomba:

1.- Problemática encontrada: Lo inconveniente principal aquí encontrado fue que sus aspas se encontraban atascadas debido al largo periodo de inactividad y nulo mantenimiento.

2.- Alternativa de solución: Se decreta desacoplar por completo la bomba para profundizar en la rehabilitación del equipo. Además de que en dado caso que hubiese alguna otra falla no detectada en un principio, esta se pueda reparar al momento de dicho trabajo.

3.- Ventajas: Sin duda la alternativa de solución propuesta garantiza el buen funcionamiento de este elemento y, a su vez, evita la generación de futuras fallas cuando el equipo este trabajando al 100 %.

4.- Desventajas: Se corre el riesgo de que uno o más de sus componentes tales como cables, terminales o partes electromecánicas sufran rupturas o desprendimientos repentinos al momento de realizar la tarea.

Accesorios:

Para este punto se consideran tres distintos elementos en los cuales se encontraron defectos, anomalías y rupturas, que si bien no todas se encontraron en un principio, está primera se produjo en el momento de la inspección física:

1.-Tapa del alojamiento del balero:

1.-Problemática encontrada: La ruptura de esta pieza se debió a que se buscaba desacoplar la turbina del equipo y, como es parte del sistema que la conforma, era necesario retirar elemento por elemento. Una vez removidos los tornillos de alrededor



de la tapa, se introdujo un desarmador plano para retirarla; lo cual dio como resultado el desprendió de una sección de la misma (imagen 52).

2.- Alternativa de solución: Por la importancia de este elemento se planteó como única, la sustitución de la misma, fabricándola con el mismo material (aluminio) y características.

3.- Ventajas: Al obtener una pieza totalmente nueva se logra el buen acoplamiento y sellado que la pieza original tenía, ya que por el tipo de material no se podía pegar o unir el pedazo desprendido.



Imagen 52 – Muestra sección de la tapa rota del alojamiento.

4.- Desventajas: Al tener características muy específicas, se corre el riesgo de no poder ajustarse a las medidas reales, esto ocasiona que el proceso se tenga que repetir hasta lograr una pieza igual a la original.

2.- Retén:

1.- Problemática encontrada: Debido a la filtración de agua que se encontró al momento de realizar la prueba inicial de operación, se encontró que ésta provenía de un retén interno alojado en el interior del codo de hierro fundido (imagen 53). Lo anterior se determinó una vez logrado el desacople total de la turbina y el resto de los elementos que la conforman.

2.- Alternativa de solución: Se determina como única; cambiar el mismo con las mismas medidas y características, las cuales se pueden obtener por medio de un pie de rey tomando en cuenta diámetro interior, exterior y espesor.

3.- Ventajas: Se podrá resolver de manera práctica y sencilla el inconveniente encontrado. Esto beneficia en una optimización de tiempo el cual podrá ser destinado a otras tareas referentes a la rehabilitación del AUMFA.

4.- Desventajas: Ya que la procedencia del equipo es inglesa, no se podría encontrar localmente, teniendo que buscar un proveedor exterior o, en otro caso, sustituirlo por otro con características similares, esto último no garantiza la solución al problema inicial.



Imagen 53 – Vista inferior del retén en el interior del codo de hierro.



3.- Balero:

1.- Problemática encontrada: Al ser un elemento esencial del acoplamiento entre la turbina con el motor/generador (si el lector no recuerda su ubicación, diríjase a **1.4 Problemática**, imágenes 36 y 37), y debido a que giran en conjunto, se encontró que éste ya no poseía el rodamiento particular a causa del desgaste y la antigüedad del mismo.

2.- Alternativa de solución 1): Ya que este elemento cuenta con sus características en uno de los bordes y existe la posibilidad de encontrarlo localmente, se puede cambiar por uno nuevo.

3.- Ventajas, solución 1): Al ser un componente totalmente nuevo, se mejora el rendimiento funcional en él y el resto del mecanismo existente entre turbina y motor.

4.- Desventajas, solución 1): Al desacoplarlo del lugar de donde se encuentra se puede dañar el alojamiento y esto repercute en generar algún inconveniente al momento de colocar la pieza nueva.

2.1.- Alternativa de solución 2): Se le puede dar un mantenimiento correctivo para dejarlo en las mejores condiciones de trabajo.



Imagen 54 – Se observa al balero en condiciones iniciales en el alojamiento que lo resguarda.

3.1.- Ventajas, solución 2): Se evita removerlo del alojamiento en donde este se encuentra optimizando tiempo en dicha tarea.

4.1.- Desventajas, solución 2): No favorece la vida útil del balero y se tendría que desacoplar en un corto tiempo.

Sistema hidráulico

Tubería:

En este sistema se encontraron 2 inconvenientes iniciales y dos más a causas ajenas a mi persona, los cuales están descritas en **1.4 Problemática**, letra e) *Tubería de PVC*.

1.- Suciedad excesiva:

1.- Problemática encontrada: Lo que aquí se presenta provoca que el agua al entrar en contacto con las paredes internas, se torne oscura y de mal aspecto, esto debido al tiempo sin la limpieza adecuada y operación.



2.- Alternativa de solución: Se puede desmontar toda la tubería que conforma al sistema hidráulico y tratar de remover toda suciedad ahí alojada.

3.- Ventajas: Se profundiza en la limpieza de todo el sistema, garantizando que el fluido permanezca en las mejores condiciones posibles.

4.- Desventajas: No se encuentran para esta opción.

2.- Cubo de acrílico:

1.- Problemática encontrada: Dado a las malas condiciones tanto interiores, así como exteriores en las que se encuentra (imagen 55), no permite tener una buena imagen de lo que aquí sucede.

2.- Alternativa de solución: Como ya se había hecho mención, para mejorar esto se podría limpiar completamente con un método, producto y herramienta adecuada que permitan devolver su aspecto lo más cercano posible al original.

3.- Ventajas: Se mejora su aspecto y se podrá observar el fenómeno de cavitación.

4.- Desventajas: Si no se hace de la manera correcta, se corre el riesgo de opacar el cilindro, debido al ser de acrílico, se tiene hacer bajo una técnica especial.

3.- Tubería rota:

1.- Problemática encontrada: Como ya se describió, esta sección resulto averiada (imagen 58) a causas ajenas a mí, por lo que la reparación es de suma importancia y se agrega a las tareas que ya se tenían.

2.- Alternativa de solución 1): Debido al daño considerable, se buscará adquirir la "T" dañada y la sección destruida, y por medio de algún tipo de adherente especial pegarla al resto del sistema.

3.- Ventaja, solución 1): Tanto el segmento roto así como la "T" se pueden acoplar de manera sencilla al resto de la tubería, lo cual no presentará fugas adicionales.

4.- Desventaja, solución 1): El costo de cada uno podría ser elevado y/o por la antigüedad del equipo, podría no encontrarse con los proveedores locales.



Imagen 57 – Muestra las condiciones en las que se encuentra el cubo, así como las mangueras y conectores en posición.



2.1.- Alternativa de solución 2): El tipo de material capaz de ser resistente, práctico y de una sencilla aplicación sobre las partes dañadas es la fibra de vidrio, la cual se podría utilizar para resarcir el inconveniente.

3.1.- Ventajas, solución 2): Al trabajar con este material se puede moldear de acuerdo a las necesidades que se presentan, Es importante señalar que es un material relativamente económico y de fácil adquisición.

4.1.- Desventajas, solución 2): Podría no tener un buen sellado al momento de unirlo con el resto de la tubería. Además al no tener los cuidados pertinentes podría causar daño en la piel, ojos o inclusive al sistema respiratorio al momento de inhalar las pequeñas partículas que desprende una vez endurecido el material.



Imagen 58 – Muestra en círculo azul tubo de acrílico y secciones dañadas del sistema.

4.- Tubo de acrílico:

1.- Problemática encontrada: Al momento que la sección colapso, este se destruyó totalmente (imagen 58), y es aquí donde se debe ver hasta qué nivel debe de llenarse el sistema.

2.- Alternativa de solución: Reemplazar este elemento por uno igual en cuanto a medidas y material.

3.- Ventajas: Al sustituirlo y adaptarlo al sistema, se detona un aspecto similar y funcional al original.

4.- Desventajas: No se encuentran para esta opción.

Válvulas:

1.- Problemática encontrada: En relación a estas y como ya se mencionó en el capítulo anterior, solo presentan algunos inconvenientes mínimos con respecto a la apertura y cierre, y de manera exterior el desgaste de la pintura.

2.- Alternativa de solución: Al desmontar las válvulas del sistema se puede dar un mantenimiento preventivo para mejorar el mecanismo manual que las conforma y, por la parte exterior, pintarlas para renovar su aspecto físico.

3.- Ventajas: Se amplía la funcionalidad para las que están diseñadas, además de alargar su vida útil.



4.- Desventajas: No se consideran, salvo a que alguna sufra algún daño al momento de ser desacoplada del sistema.

Alabes manuales:

1.- Problemática encontrada: El único inconveniente en estos es que se muestran viejos y con un poco de desgaste ocasionados por el paso del tiempo.

2.- Alternativa de solución: Por medio de un químico o lijas de muy bajo grano, remover la apariencia que los 4 álabes muestran.

3.- Ventajas: Ayuda a mejorar el aspecto en cada uno de ellos.

4.- Desventajas: Un mal procedimiento o contacto con el químico a utilizarse podría ocasionar repercusiones al no tener las precauciones adecuadas.

Mantenimiento

Pintura:

1.- Problemática encontrada: Debido a la antigüedad del equipo, la pintura se denota vieja y en algunas secciones del AUMFA se aprecia que no es el mejor resultado del paso del tiempo.

2.- Alternativa de solución: Pintar todos y cada uno de los sistemas (a excepción de algunos elementos que no lo requieren) con la ayuda del equipo y protección adecuada.

3.- Ventajas: Mejora su aspecto por completo y prolonga la vida útil del mismo.

4.- Desventajas: Al no hacerse con un procedimiento adecuado, la pintura no podrá fijarse en el equipo, ocasionando el desperdicio de la misma.

Sin revisión periódica:

1.- Problemática encontrada: Este punto en especial es de suma importancia ya que si se hubiera hecho una inspección periódica independientemente si el equipo estaba o no en constante operación, se hubieran evitado muchos de los problemas existentes que se han mencionado en este trabajo.

2.- Alternativa de solución: Se propone elaborar una tabla o bitácora que incluya a todos los elementos del equipo para ir monitoreando en ciertos lapsos de tiempo, afectaciones que puedan surgir, así como establecer fechas de mantenimiento. Además en el caso de la sustitución de algún elemento o componente, este se pueda registrar en la misma.



3.- Ventajas: Se tiene un mayor control del equipo en todos los sentidos y, adicionalmente se generan planes de trabajo bajo una inspección académica.

4.- Desventajas: De igual manera, no se presentan inconvenientes ya que es algo con lo que no cuenta el equipo y favorece a una mejora para su conservación.

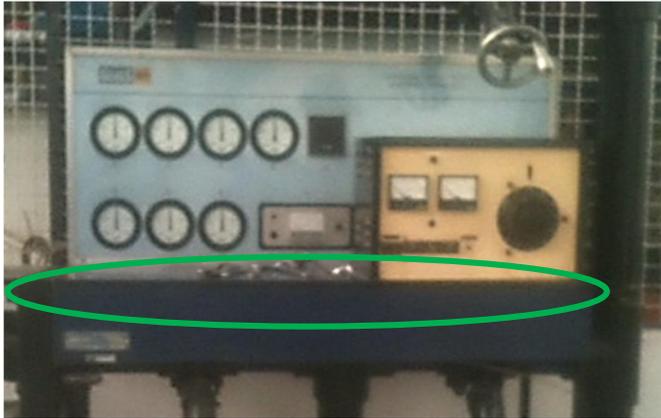


Imagen 59 – Se muestra en semi círculo verde el marco a reemplazar.

Mejoras adicionales:

Aún que no se catalogan como problemáticas y no se hace mención anteriormente de estas, se pretende renovar su aspecto por medio de tareas o procedimientos que ayuden para obtener el resultado deseado.

1.- Marco: Ya que el panel de control cuenta con un espacio de apoyo

en el cual se puede colocar instrumentación adicional, cuadernillo de prácticas o algún otro objeto y este cuenta con un marco de plástico (imagen 59) el cual presenta ruptura en algunas zonas, se pretende cambiarlo por uno de aluminio que repare el daño y evite un nuevo cambio más adelante.

2.- Varillas de soporte: El acabado que tienen se torna opaco y desgastado, por lo que se tratara de someterlo al mismo recubrimiento (cromado) que le devuelva la apariencia original.



Imagen 60 – Se observan las 4 varillas en condiciones iniciales.

3.- Guarda y tapas de motor: El material con el que están fabricadas se presta para poder aplicarles un mejor acabado. En este caso al igual que en las varillas, se someterán al mismo acabado.



Imagen 61 – Muestra la guarda desacoplada de su lugar de origen.



Imagen 62 – Se observa a una de las tapas del motor en condiciones iniciales



Lo anteriormente descrito da a conocer las alternativas de solución para cada una de las problemáticas encontradas en todo el equipo. En algunos de los casos se proponen más de una solución, por lo que en el siguiente capítulo se darán a conocer cuáles fueron las más adecuadas, así como la razón de la elección, sustentada en las ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas.

De igual manera se abordaran temas relacionados con los procedimientos de reparación, ejecución de los trabajos, puesta en marcha y adicionalmente, se agregan recomendaciones generales con base a la experiencia de este trabajo para mejorar el desempeño del equipo y evitar fallas futuras.



CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN



3.1 Procedimientos de reparación

Para comenzar con todas las tareas y tener una mejor referencia de lo que fue solicitado, se agrega el siguiente listado:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
SECRETARÍAS Y UNIDADES ADMINISTRATIVAS
BIENES Y SUMINISTROS
SOLICITUD INTERNA DE COMPRA



FOLIO: _____

ÁREA SOLICITANTE: JEFATURA LABORATORIOS L-1 L-2

FECHA DE SOLICITUD: **13** / **02** / **2014**
DIA MES AÑO

SOLICITANTE: M. en I. FERNANDO MACEDO CHAGOLLA
NOMBRE Y FIRMA

NOMBRE DEL USUARIO: ING. JOSÉ LUIS RAMÍREZ

TELÉFONO: 56231076

No.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DE LOS BIENES E INSUMOS REQUERIDOS	UNIDAD MEDIDA	PRECIO POR UNIDAD	IMPORTE
1	3	Praimer de color gris, marca Dupont	litros		
2	1	Pintura (aislador principal y botonera) color gris	litro		
3	2	Pintura (motor) color Rojo	litros		
4	2	Pintura (estructura) color azul mora	litros		
4	1	1/4 Pintura (volantes de las valvulas y unidad de control) color dorado	litro		
5	2	Pintura color negro (tubería)	litros		
6	4	Removedor de pintura	litros		
7	1	Balero L J 1 3/4" marca o equivalente	pza		
8	1	Reten (con resorte) 31 X 47 mm de buena calidad	pza		
9	1	Placa de aluminio 12X12 cm y 1 cm de espesor	pza		
10	1	Perfil de aluminio de 2 X 2 a 45 grados	pza		

Tabla 3 – Requerimientos de consumibles, accesorios y materiales para la rehabilitación del equipo. 13/02/2014.

De acuerdo a las alternativas de solución descritas en el Capítulo II, en la tabla 3 se puede observar todo lo que es requerido y, una vez que arriba lo solicitado al departamento, se retomaron los trabajos de rehabilitación para el AUMFA, por lo que a continuación y como parte de este apartado, se expondrán los procedimientos a ejecutar para cada una de las soluciones. En el caso de las problemáticas que tienen



más de una alternativa, se explicará por qué se eligen estas con base a las ventajas y desventajas que presentan.

Siguiendo con el orden establecido en el capítulo anterior, se comenzará con el sistema eléctrico, posteriormente el sistema mecánico y finalmente el hidráulico.

Sistema eléctrico:

Botonera: Ya que no se presentaron desperfectos o algún aspecto de falla importante, se define como procedimiento de reparación el realizar un mantenimiento preventivo:

- a) Interior: se le aplicara alcohol isopropilico en aerosol, pues es el producto idóneo para su limpieza, el cual es utilizado de igual forma en la limpieza de tableros electrónicos, computadoras, transformadores eléctricos, entre otros y no daña ningún componente que los conforma.
- b) Exterior: se someterá a un baño de pintará junto con el resto del equipo, pero se conservará su tono (gris), dado a que es su color y aspecto original.

Unidad de control:

1.- Perilla: Por medio de una inspección interna se determina hallar el elemento que ayude a mantener los incrementos correctos, los cuales van de 0 a 110 volts. Se utilizará la herramienta adecuada y se presentará una imagen en donde se señale el sitio que de alguna manera ayude a solucionar la problemática si es que se presentase de nueva cuenta en un futuro.

2.- Interior de la unidad: Al igual que en la botonera se utilizará el mismo producto para su limpieza (alcohol isopropilico en aerosol). La ejecución de dicha tarea se detallará en el siguiente punto (3. 2) y a su vez se mostrarán los resultados obtenidos para cada uno de ellos.

Fusibles: Como se mencionó anteriormente para este caso se contemplan dos alternativas de solución:

- 1^{ra}.- Reemplazo de fusible dañado.
- 2^{da}.- Sustitución del hilo conductor.

Opción seleccionada: Se toma como la mejor solución a la segunda, ya que la principal ventaja es que el hilo conductor puede ser cambiado las veces que sea



necesario por medio de un tramo de cobre del cual se obtienen las secciones a 34 y cumplen perfectamente con la función. Cabe señalar que la razón por la que se descarta la primera opción es el costo de cada fusible (\$209 MXN aproximadamente) y se tendría que contar con un stock para cuando se presente la falla.

Sistema mecánico

Turbina: Dado que este elemento es el pilar fundamental del equipo, se fueron eliminando las alternativas propuestas para las dos problemáticas encontradas aquí (A y B, respectivamente) y se tomaron las mejores opciones.

A).- El dobles de la flecha: Retomando brevemente las soluciones descritas en el capítulo anterior tenemos:

1^{ra}.- Con el equipo de oxiacetileno, calentar la flecha y por medio de golpes ligeros regresarla a su posición original.

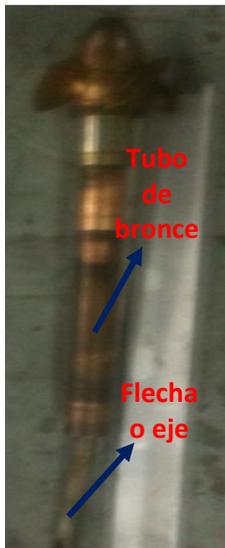


Imagen 63 – Se ve el eje y turbina en condiciones iniciales.

2^{da}.- Sujetada en un tornillo de banco y un tubo como herramientas de trabajo, enderezarla de manera manual.

3^{ra}.- Desacoplar la flecha del tubo de bronce, para realizar un trabajo independiente que no dañe el elemento en donde está alojado.

Opción seleccionada: Tras un largo y exhaustivo análisis junto con el personal técnico involucrado en este proyecto, se llegó a la conclusión que la tercera alternativa presenta mejores resultados y a su vez se no se corre ningún riesgo. Una vez desmontado el rodete y los álabes de la turbina, se buscará enderezarla primero, de manera manual y posteriormente con un rectificado montada en el torno que se encuentra en el laboratorio de manufactura (L1).

B) La ruptura del segmento superior de dos de los alabes: Con el apoyo del CCADET y como opción tomada en primera instancia, procedí a dirigirme al departamento de Micromecánica y Mecatrónica coordinada por el Dr. Leopoldo Ruiz Huerta de dicha institución, en el cual se sometió a uno de los álabes a un levantamiento de imágenes por medio de un software llamado VX Element (imagen 64) y el aparato Handy Scan 3D (imagen 65), para determinar si era viable, tanto económicamente, así como elaborable.



Una vez analizado lo anterior se determinó por medio del Dr. Ruiz, que no era una buena alternativa de solución al problema, ya que el costo (del cual no se obtuvo información) y el tiempo que tomaría fabricar los álabes (alrededor de 3 a 4 meses), eran los factores principales que no hacían realizable el procedimiento que se había propuesto, por lo que se descartó de manera inmediata esta alternativa y se optó por la segunda opción.

Es de suma importancia señalar que en el CCADET se encuentran los registros (archivos digitales, imágenes, etc.) de esta opción, ya que por parte del Dr. Ruiz se dejó abierta la posibilidad de realizar tanto los álabes, así como alguna otra parte de la turbina en un polímero especial, esto sólo para fines didácticos y no prácticos (o de repuesto), pues no es un material que resista las condiciones de operación reales.

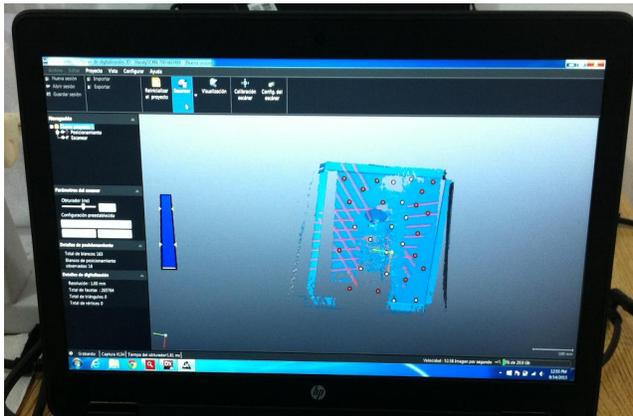


Imagen 64 – Digitalización en software.

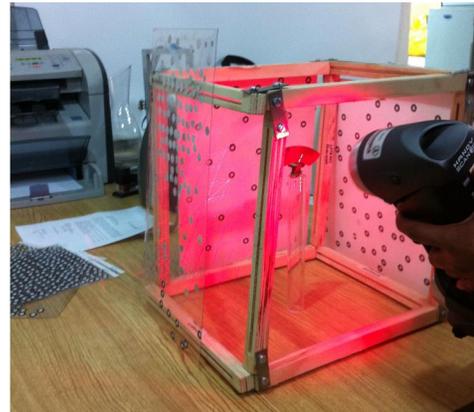


Imagen 65 – Alabe en captura de imagen.

Esta segunda alternativa nos da un mayor panorama a la solución, ya que después de inclusive considerar una tercera, se decretó que esta tiene un mayor grado de probabilidades para ser exitosa.



Básicamente consta de incorporar el segmento faltante a los álabes del material del cual están hechos, por lo que se obtendrán las secciones a unir a partir de bronce S.A.E. 62, el cual cumple con las aplicaciones adecuadas y es el ideal para lograr la manufactura deseada. Se agrega la siguiente tabla (numero 4) en la que se muestra tanto su composición química, así como sus propiedades físicas.

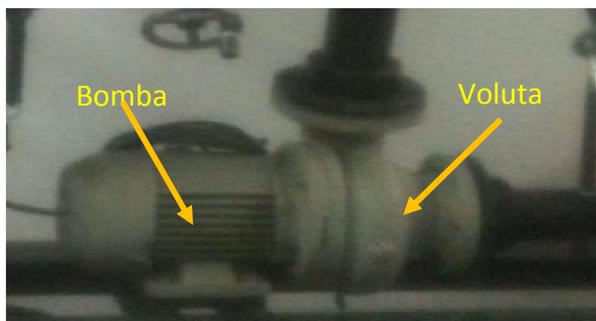
COMPOSICION QUIMICA			PROPIEDADES FISICAS		
ELEMENTO	MAXIMO	MINIMO	CONCEPTO	MAXIMO	MINIMO
COBRE	86	89	BRINELL	80 10/100/30	86 10/1000/30
ESTAÑO	9	11	ESFZO. CORTANTE	1300 KG/MC2	1800 KG/CM2
PLOMO	**	0.30	ESFZO. TENSION	3000 KG/MC2	4000 KG/CM2
ZINC	1	3	ESFZO. COMPRESION	5500 KG/MC2	6000 KG/CM2
NIQUEL	**	1.0	ESZO. TORSION	2000 KG/MC2	2300 KG/CM2
HIERRO	**	0.3	DENSIDAD	8.75	8.76
ALUMINIO	**	**	% ALARG. EN 5.08 CM	20	35
MANGANESO	**	**	CONDUCTIVIDAD	**	**
ANTIMONIO	**	**			
FOSFORO	**	0.05			
IMPURESAS	**	**			

Tabla 4 – Muestra características del cobre S.A.E. 62, Recuperado y disponible en <http://broncesfranco.com/bronze/62.html>, 25/11/15.

Dado a que son trabajos con una complejidad peculiar, se pedirá el apoyo a los técnicos en el área de soldadura y manufactura del laboratorio L1, por lo que el procedimiento y los avances en la ejecución las tareas, dependerá en cierta medida del tiempo disponible por parte de los técnicos y las áreas a utilizar.

Bomba: Las aspas (o hélices) se encuentran atascadas y ya que no se puede reparar de forma exterior se piensa realizar lo siguiente:

Separar la bomba de la voluta (imagen 66) para profundizar en la reparación;



además se debe de desacoplar parte del sistema hidráulico conectado a la succión y descarga de la misma. Este procedimiento tendrá que llevarse a cabo bajo un control detallado, ya que uno o más de sus elementos podrían dañarse.

Imagen 66 – Se muestra a la bomba centrífuga en condiciones iniciales.



Accesorios:

1.- Tapa del alojamiento del balero: Ya que se tiene el material (imagen 67), se puede trabajar en el área de manufactura del laboratorio 1, en el cual se plantea utilizar el torno y las herramientas adecuadas para lograr la pieza idéntica a la que se sufrió el daño. Así mismo, se buscará no intervenir en los horarios escolares para agilizar la fabricación de la misma.



Imagen 67 – Se observa la pieza rota y el material con el que se fabricará (aluminio).

2.- Retén: El cambio se puede realizar una vez desmontada la turbina por completo y es necesario retirar el retén antiguo con suma precaución, pues las paredes en donde se aloja podrían dañarse, lo que provocaría que el agua pueda filtrarse.

Existen tres tipos de materiales con los que está hecho el retén; viton (para altas temperaturas), plástico (trabajo mecánico) y silicón (para aislamiento o menor fricción). En este caso se optó por uno de plástico y con movimiento axial.

3.- Balero: Aún que en su momento se consideraron dos alternativas de solución, se decidió incluirlo en la lista de materiales (tabla 3), ya que la principal desventaja que tenía la segunda opción al no sustituirlo y darle sólo un mantenimiento correctivo, afectaba directamente al resto de la turbina, la cual tendría que ser de nueva cuenta desacoplada en dado caso que se decidiera reemplazarlo.



Imagen 68 – Se observa a la tapa y balero a reemplazar dentro del elemento que lo aloja (derecha).

Por lo anterior se determina sustituirlo por uno nuevo, ya que se tiene desmontada la turbina y solo se debe de desacoplarlo (imagen 68). Se utilizará la herramienta adecuada y se evitará dañar el alojamiento el cual está hecho del mismo material que la tapa (aluminio).

Sistema hidráulico

Tubería: En lo que corresponde a la suciedad excesiva, se tendrá que desmontar todo el sistema,



para que tanto a la tubería, así como al cubo de acrílico (problemática 2) reciban la limpieza adecuada. Para este último, dado a que no se cuenta con equipos y/o herramientas en la facultad que mejoren su aspecto, se consideró desde un inicio realizar el trabajo por medio de un servicio externo, por lo que me di a la tarea de buscar alguna persona que garantice el trabajo. Encontré a una persona de confianza dedicada al trabajo con acrílico, la cual me explicó que por medio de ligas de muy bajo grado y una maquina especial, le devolverá el aspecto lo más apegado al original.

En lo que respecta a la sección de la tubería rota se consideró su compra, pero al indagar con los proveedores y a que solo se necesita un tramo de 35 centímetros, se obtuvo que el costo del tubo de PVC de las mismas características (cedula 40) con un largo de 3 metros fue de \$3,500 MXN. La “T” no se consiguió con ningún de ellos; la razón fue que es una pieza muy cara y de nula venta comercial.

Con base a lo anterior y dado a que en el almacén del laboratorio (L1) se cuenta con fibra de vidrio y es posible reparar el daño ocasionado tanto en la tubería, así como en la “T”, se designa trabajar con este tipo de material. Se aplicará de manera uniforme y se tratará de cubrir los espacios faltantes, esto puede ser posible ya que es un



Imagen 69 – Se señalan el tubo a sustituir y las secciones a reparar.

material que puede ser moldeado y de fácil aplicación, esto ayuda a darle la forma requerida. No obstante, es importante señalar que se tienen que tomar medidas de precaución obligatorias ya que se considera un producto toxico y nocivo para la salud.

Por último el tubo de acrílico superior que resultó destruido, será elaborado totalmente nuevo con la persona que realizará la limpieza del cubo de acrílico, por lo que se le tomaron las medidas a las que se debe de fabricar. Posteriormente se unirá a la tubería aplicando de igual manera fibra de vidrio.

Válvulas: Siendo parte del sistema hidráulico y como parte de la alternativa de solución propuesta a los inconvenientes en apertura y cierre, se desarmarán cada una de ellas y se le dará



un mantenimiento preventivo limpiando y engrasando posteriormente su sistema mecánico. Por la parte exterior se someterán al baño de pintura al igual que todos los componentes en el AUMFA.

Álabes manuales: Para mejorar su aspecto inicial se utilizará ácido clorhídrico, ya que este químico remueve las impurezas impregnadas en ellos. Se deberán proteger manos y ojos para evitar el contacto con éste.

Pintura: Para prolongar la vida útil y ofrecer un semblante de rehabilitación en el AUMFA, se someterá a un baño de pintura general, no sin antes despintar la estructura de metal que lo conforma, así como el sistema eléctrico y mecánico.

Los colores destinados para cada elemento que conforman al equipo quedarán como se describe a continuación:

- A) Gris: botonera y aislador principal.
- B) Negro: tubería de PVC, cuerpo de válvulas, codo de hierro fundido y tapa de tubo de acrílico superior.
- C) Rojo: motor/generador y bomba.
- D) Azul: estructura de metal, carcasa de la bomba, tapa de la unidad de control, tablero principal y alojamiento de balero.
- E) Oro: volantes de válvulas y unidad de control.

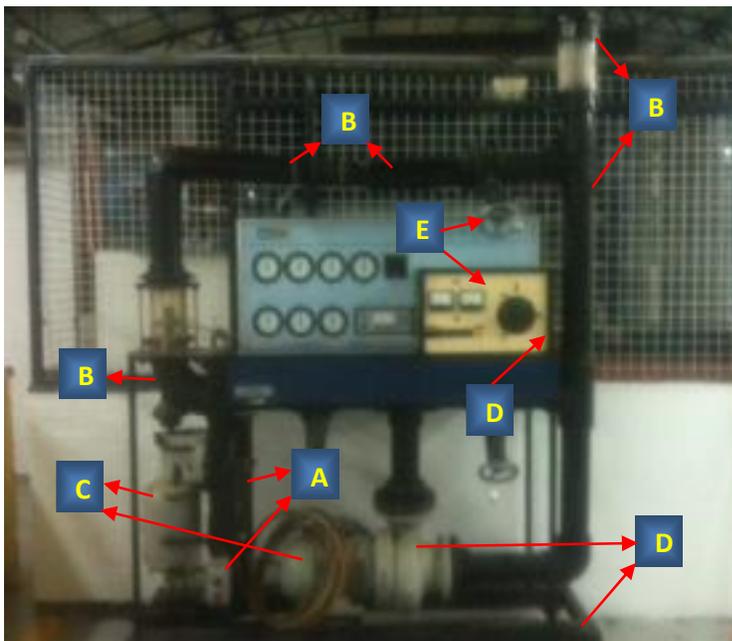


Imagen 70 – Muestra las secciones a pintar de acuerdo a los colores de los incisos correspondientes.

Estos dos últimos en alusión a los colores universitarios que representan a esta casa de estudios.

Sin revisión periódica: En este punto se propone contar con la siguiente tabla (no. 4) que engloba a la mayoría de los elementos, la cual ayudará en la elaboración de reportes, diagnósticos y mantenimientos oportunos, ayudando al monitoreo y control directo del equipo.



CHECK LIST DE MANTENIMIENTO PARA TURBINA KAPLAN					
Elemento	Condición Buena / Mala	Irregularidades	Fecha de inspección	Elabora	Observaciones
Tubería PVC					
Válvulas					
Indicador de gasto					
Manómetros					
Turbina					
Dinamómetro					
Motor / generador					
Bomba					
Unidad de control					
Tacómetro digital					
Botonera					
Aislador principal					
Fusibles					
Otros					

Tabla 5 – Se registran a la mayoría de los elementos que conforman al AUMFA con el fin de tener un control de todas las actividades a realizar.



SEGUIMIENTO A MANTENIMIENTO DE TURBINA KAPLAN			
SEMESTRE:	RESPONSABLE ACADÉMICO:	SUPERVISA:	COLABORA:
Elemento:	Fecha inicial:	Fecha final	Sustitución Mantenimiento Reparación
PROBLEMÁTICA DETECTADA:		PROCEDIMIENTO A REALIZAR:	
Estatus final:		Comentarios:	

Tabla 6 – Registra las tareas a ejecutar en el caso de alguna irregularidad detectada.



Mejoras adicionales:

1.- Marco: Ya que se cuenta con el perfil de aluminio solicitado y con la ayuda de un tornillo de banco y herramientas adecuadas, se sustituirá por el de plástico realizando los cortes de las secciones a reemplazar.

En lo que respecta a las varillas de soporte (2), la guarda y a las tapas del motor/generador (3), el acabado (cromado) se hará con un servicio externo, que en este caso, el Ing. Arroyo (mismo quien dirige este trabajo) ya conoce.

3.2 Ejecución de los trabajos

Proponiendo un ritmo de trabajo estable y de grandes avances, y con base a las ideas establecidas en los procedimientos de reparación (3.1), se detallan a continuación todas y cada una de las actividades realizadas para la rehabilitación.

Botonera:

De forma **interna** y una vez desacoplados los elementos que la conformar (imagen 71), se le aplicó el alcohol isopropilico en aerosol por medio de una brocha que ayudo a retirar el óxido acumulado resultado del paso del tiempo.

De modo **externo**, primeramente se despinto aplicando removedor para pintura, y posteriormente se pintó del color asignado, no sin antes aplicar una capa de praimer (o primer, en inglés). Se utilizó una pistola neumática para pintura y el compresor que se encuentra en el laboratorio (L1).



Imagen 71 – Se observa el interior de la botonera después del procedimiento de limpieza.

Unidad de control:

Se localizó en su interior (imagen 72) el tornillo, en este caso, que hace que se mantenga fija la perilla, se apretó con un desarmador de cruz y se verifico que se marcaran los intervalos correctos.

Para la suciedad alojada se utilizó de igual manera el alcohol isopropilico en aerosol y con la ayuda de una

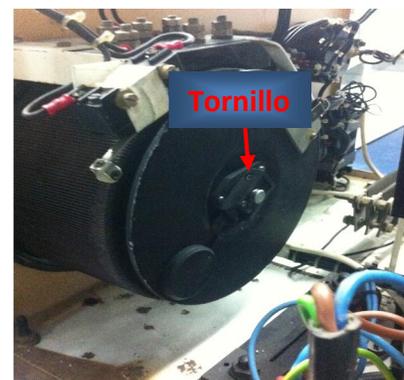


Imagen 72 – Localización del tornillo en el interior de la unidad.



brocha se fue quitando el polvo y suciedad impregnada. Se tuvo cuidado de no alterar, desprender o dañar alguna conexión o elemento en su interior. Una vez culminado el trabajo se puede hacer una comparativa tal como se muestra en las siguientes imágenes (73 y 74) dejando ver los resultados favorables al aplicar este procedimiento.



Imagen 73 – Se observa el interior de la unidad de control en condiciones iniciales.



Imagen 74 – Interior de la unidad de control después de aplicar el procedimiento seleccionado.

Fusibles:

Una vez que ya se tenía el hilo conductor de cobre, el cual se obtuvo por medio de pelar una sección de cable (del No.12), se generaron los tres tramos requeridos a reemplazar, utilizando unas pinzas de corte y un desarmador plano como herramientas de trabajo, se cortó y posteriormente se reemplazó el conductor como se muestra en la imagen 75.

Cabe señalar que las características de estos fusibles son de 20 amperios a 500 voltios, y están hechos de porcelana industrial. En dado caso que se decida sustituirlos deben de ser de las especificaciones anteriores.

Turbina:

Como se señaló en el procedimiento de reparación, se desacoplo el eje del tubo de bronce, dando pequeños golpes desde la parte superior con un martillo de bronce, el cual absorbe el impacto más que un martillo convencional. Esto se realizó de manera totalmente manual apoyado por los técnicos académicos en el laboratorio (L1).



Imagen 75 – Muestra a los tres fusibles con el hilo conductor reemplazado.



Imagen 76 – Muestra al eje de la turbina montada en el torno aplicando el proceso señalado.

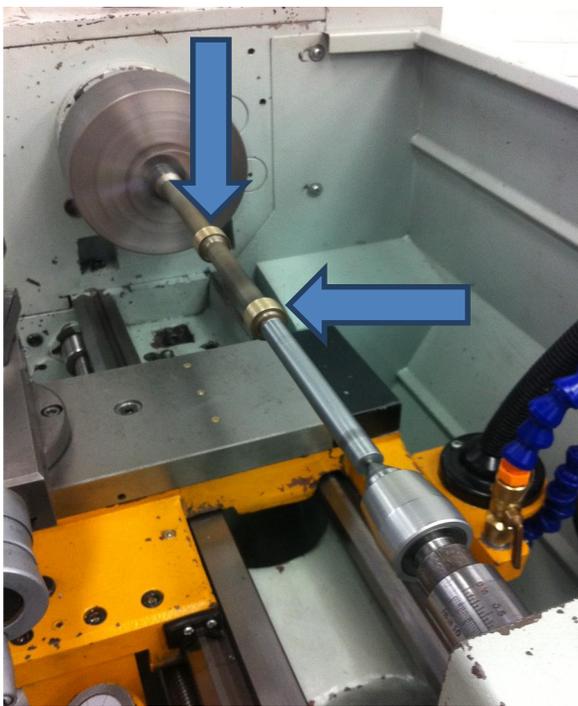


Imagen 77 – Se señalan los puntos concéntricos con los que cuenta el eje de la turbina.

Posteriormente teniendo la flecha desmontada, me dirigí al laboratorio 1, al área de manufactura, donde apoyado por el técnico académico Antonio González Montaña se comenzaría con el proceso seleccionado.

Se montó la pieza al torno Titanium (imagen 76) y por medio de un rectificado solo en la parte afectada, se logró devolverle la verticalidad original. Este proceso no afectaba en lo más mínimo al acoplar de nueva cuenta la pieza, ya que cuenta con dos puntos concéntricos (imagen 77) que ayudan a mantener el centro del eje en su lugar. Esto es demasiado importante, debido a que el cuerpo del rodete y el resto de las piezas que conforman a la turbina, deben permanecer en su punto de origen, por lo cual se debe de tener una exactitud invariable.

Como es evidente la herramienta que se utilizó para esta tarea fue:

- Equipo para torno Titanium
- Butil de corte
- Micrómetro

A excepción del butil, lo anterior fue facilitado por personal de almacén en el laboratorio por medio de una papeleta donde se describen las máquinas y/o herramientas a emplear.

Una vez terminada la tarea anterior, se



volvió a acoplar el eje al tubo de bronce; posteriormente se montó de nueva cuenta en el torno y por medio de lijas de muy bajo grado se le dio un acabado superficial evitando que se quedarán grietas o rayones que pudieran filtrar agua, sobre todo en la zona donde se ajusta el retén que evita que se presenten éstas (imagen 78).

Continuando con la problemática de la ruptura de la parte superior de los álabes, de nueva cuenta me dirigí al laboratorio 1 de manufactura, pero esta vez con la ayuda del Técnico Académico Rosendo Méndez Gallo, se unieron las piezas obtenidas a partir del bronce adquirido.

Fue en el área de soldadura y forja donde con el equipo de oxiacetileno se soldaron las secciones faltantes en los álabes; primeramente se montó cada álabe en el tornillo de banco (imagen 79) calentándolos casi hasta punto de fusión que es cuando, por medio de soldadura de plata, se unieron ambas partes.

Teniendo unidas las piezas se les dio la forma original con base a las medidas con las que cuentan el resto de los álabes, para ello se utilizó un arco con segueta para recortar el excedente del material y posteriormente por medio de una lima musa se le fue dando el acabado final (imagen 80).



Imagen 78 – Se observa al eje y tubo de bronce montados en el torno y el área del retén.



Imagen 79 – Se puede ver el proceso de soldadura en uno de los álabes.



Imagen 80 – Se observa a los álabes reparados.



Bomba:

Para no dañar algún tipo de conexión o elemento de la bomba se desacoplo la tubería hidráulica, tanto en la succión, así como en la descarga de la misma, por lo que se utilizó una llave española y un dado con matraca de 1 “ (pulgada) para quitar los tornillos que sujetan a ambas secciones.

Después de quitar el ventilador, se removió la cubierta posterior de la bomba (imagen 81) y se retiró la base de la misma junto con el estator (imagen 82). Como se puede ver en la imagen 83, se quedó aislado el rotor y el eje para poder desatascar las hélices.

Se utilizó un químico en aerosol llamado WD-40, que entre una de sus tantas aplicaciones, es útil para liberar elementos trabados, que este caso eran las hélices; se fue aplicando uniformemente y, de forma manual se fue girando el mecanismo que poco a poco fue cediendo hasta quedar en condiciones de uso favorables.

Subsecuentemente se volvieron a acoplar todos los elementos que conforman a la bomba teniendo cuidado de no doblar el eje o dañar algún otro elemento en el estator. Ya solucionada la problemática, quedaba lista para pasar al siguiente procedimiento de pintura, el cual mejoraría su aspecto inicial.

Accesorios:

1.- Tapa del alojamiento del balero: Ya obtenido el material y, como se planteó en el punto anterior (3.2), se trabajó en el área de manufactura con el trono Pinacho



Imagen 81 – Carcaza posterior de la bomba.



Imagen 82 – Se observa a la base y estator desacoplado.



Imagen 83 – Muestra a la voluta y rotor en la etapa de mantenimiento correctivo.



que se encuentra en la sección de máquinas 2, por lo que de nueva cuenta se solicitó al almacén lo siguiente (imagen 84):

- Equipo para torno Pinacho
- Aceitera
- Un pie de rey o vernier (con caratula)
- Cabezal de 4 mordazas
- Un buril de corte

Al no ser tan empleado el cabezal de 4 mordazas en el torno, este se sustituyó por el de 3 mordazas, pues éste era el óptimo para fabricación de la pieza (imagen 85).

Dado a que el segmento de aluminio no era totalmente uniforme, se sacó el centro y se cortaron los excedentes, empleando un arco con segueta, lo cual delimitaba de cierta manera el área a trabajar (imagen 85). Posteriormente se montó en el torno y se comenzó a fabricar.

Aún que en lo personal ya tenía conocimiento de cómo manejar el torno y con base a su experiencia, el Ing. Sabino Henry Escamilla Toloza, estuvo al margen aportando ideas y puntos de vista que ayudaron a la fabricación de la pieza de la mejor manera posible.

Por lo anterior se planteó que primero se tenía que comenzar desde el exterior del material, dándole forma de acuerdo a las medidas de su diámetro y, tomando en cuenta el espesor final que requería, se fueron marcando avances de corte y profundidad de acuerdo al perfil de la tapa.

A carácter general se describe el proceso a seguir para su manufactura:



Imagen 84 – Mesa con los elementos a utilizar para la fabricación de la pieza.



Imagen 84 – Se observa al cabezal de 4 mordazas montado en el torno.



Imagen 85 – Corte del material excedente y centro en la pieza de aluminio.



Imagen 86 – Muestra el comienzo de la manufactura de la pieza.



Imagen 87 – Se realiza el corte interno bajo las medidas específicas.



Imagen 88 – Se define el diámetro exterior en la pieza.



Imagen 89 – Se observa a la tapa parcialmente terminada.

1.- Tomando las dimensiones respectivas se definió preliminarmente el diámetro exterior como se puede observar en la imagen 86, por lo que la profundidad de corte fue aumentando progresivamente a lo ancho de la pieza.

2.- Terminado el corte exterior, se utilizó el vernier para tomar las medidas específicas referentes al espesor de la pieza; es importante señalar que la tapa cuenta con dos volúmenes distintos, por lo que primeramente éstos se definieron antes de comenzar con el corte interno.

Se dirigió el buril al centro de la pieza y se fue desplazado hacia afuera, lo cual fue desbastando el material rápidamente bajo las velocidades definidas (2500 rpm aproximadamente). Con la aceitera se fue lubricando la herramienta de corte para que el trabajo fuera más fino y no se dañara la misma (imagen 87).

3.- Como se puede observar en la imagen 88 se precisó el diámetro exterior, por lo que se utilizaron las mordazas invertidas para poder sujetar la pieza.

4.- Finalizado el procedimiento anterior y una vez terminada parcialmente la tapa (imagen 89) se utilizó la fresadora vertical Bridgbort para generar los orificios donde se colocan los tornillos. Por lo que de nueva cuenta se solicitó al almacén lo siguiente:

- Equipo para fresadora vertical Bridgbort
- Broca de $\frac{1}{4}$
- Aceitera
- Juego de paralelas

Se colocó el equipo en la fresadora y se ajustó la velocidad de giro (600 rpm aproximadamente), en



seguida se posicionaron las paralelas bajo la tapa y se marcaron los orificios a realizar tomando como referencia a la tapa dañada (imagen 90 y 91).



Imagen 90 – Se observa a la tapa montada en la fresadora vertical y herramientas de trabajo.



Imagen 91 – Muestra parte del procedimiento para marcar los orificios.

Realizados todos los procedimientos anteriores, se finaliza con la manufactura de la tapa (imagen 92 y 93) y pasa al último procedimiento de aplicación de pintura junto a todos los elementos que conforman el equipo.



Imagen 92 – Vista exterior de la tapa y comparativa final.



Imagen 92 – Vista interior de la pieza dañada (izquierda) y tapa fabricada (derecha).

2.- Retén: Como se menciona anteriormente, éste fue solicitado en la lista de materiales y una vez retirado el retén viejo que ya no cumplía con su función, se sustituyó de la siguiente manera:



Estando la turbina desmontada de su sitio y siendo la única forma de colocarlo, se le aplico un poco de grasa industrial a efecto que no se maltratara y fuera más fácil su posicionamiento en el lugar donde éste tiene que estar.

Como se puede observar en la imagen 93, la zona en donde este se encuentra es en el interior del codo de hierro fundido, por lo que si se llegase a presentar de nueva cuenta una fuga de agua proveniente de aquí, se tendrá que desmontar por completo para poder reemplazarlo.

3.- Balero: Ya contando con este elemento nuevo, se reemplazó por el desgastado utilizando el extractor de rodamiento como el que se mostró en el **Capítulo I** y posteriormente se lubrico dentro de su sitio. Como se puede observar en la imagen 94, éste cuenta con un retenedor interno, por lo que se utilizaron unas pinzas especiales para ponerlo.



Imagen 93 – Muestra el sitio y la forma de colocarlo.



Imagen 94 – Se observa al balero nuevo en su alojamiento y la herramienta de trabajo.

En relación a los trabajos correspondientes al sistema hidráulico éste se desmonto en su totalidad y se ejecutaron las tareas en tubería, válvulas y reparación de la sección dañada como a continuación se describe:

Para desacoplar todo el sistema se utilizó una llave española de 1“(pulgada) ya que cuenta con tonillos y tuercas de esta medida tanto para ensamblar las válvulas, así como para unirla en la aspiración y descargar de la bomba.

Debido a la simplicidad de la labor, la limpieza de la tubería se llevó a cabo solo utilizando agua y jabón en polvo, y por medio de una escobilla se removió la suciedad impregnada en las paredes y en las secciones de unión.



Válvulas:

Profundizando en el trabajo que estas requieren, se desarmaron y se les aplicó grasa industrial en el interior de su sistema mecánico, esto mejoró notablemente el giro en la apertura y cierre en cada una de ellas, ya que la problemática inicial señala que este procedimiento fue consecuencia de un nulo mantenimiento. Se utilizó una llave española de 9 mm (milímetros) para remover los tornillos con los que cuentan. Concluido lo anterior se pintaron completamente con base a los colores designados anteriormente.



Imagen 95 – Se observa a una de las válvulas en la etapa de mantenimiento.

Como se señaló en el punto 3.1, se empleó fibra de vidrio para rehacer la sección de la tubería dañada, no sin antes tomar en cuenta las siguientes medidas de seguridad para su manejo:

- Cubre bocas
- Guantes de protección
- Bata de trabajo
- Lentes de protección
- Área de trabajo ventilada

Se aplicaron varias capas en las zonas a reparar, pero debido a que la resina que endurece a este material tarda en fijar, se utilizó una pistola de calor para acelerar de cierta forma el proceso y tomara menos tiempo terminar el trabajo.

El cilindro de acrílico superior destruido se elaboró con la persona encargada de pulir el cubo de acrílico y, una vez que se me entregó, se incorporó a la tubería del sistema hidráulico por medio de fibra de vidrio aplicando el mismo procedimiento.



Imagen 96 – Se aprecian las condiciones finales de ambos trabajos.



Álabes manuales:

Tomando las debidas precauciones para el manejo del ácido clorhídrico con el cual se mejoraría su aspecto se consideró trabajar con:

- Vaso de precipitados
- Guantes de protección
- Bata de trabajo
- Gafas de protección
- Cubre bocas

Se vertió el químico en el vaso de precipitados y se esperó de 5 a 10 min a que actuara, posteriormente se enjuagó con agua para retirarle completamente el ácido. Este procedimiento se aplicó para cada álabe y se llevó a cabo en el área de termodinámica del laboratorio 2. Como resultado de esto procedimiento se puede observar la imagen 97.

Concluyendo con todos los trabajos antes descritos y como última tarea a efectuar, se le aplicó el removedor solicitado a toda la estructura de metal, así como la bomba, motor, módulo de interconexión, aislador principal y botonera. Como elementos de trabajo se empleó una brocha y una espátula para retirar la pintura antigua.

Antes de pintar todo los elementos que conforman al equipo, se le aplicó una capa de praimer (imagen 98 y 99) para que la pintura nueva tuviera un mejor agarre; por lo cual se utilizó lo siguiente:

- Mascarilla para pintar
- Bata de trabajo
- Pistola neumática de pintura
- Compresor

Cabe señalar que el compresor utilizado se encuentra en cuarto de mantenimiento del laboratorio 1 y tanto la mascarilla, así como la pistola neumática fue facilitada por parte de la jefatura de este laboratorio.



Imagen 97 – Se observan a los álabes después del procedimiento aplicado y montados en su lugar de origen.



Imagen 98 – Vista frontal del equipo una vez aplicado el praimer.



Imagen 99 – Vista posterior concluido el trabajo primario.

Entre algunas otras piezas que se les aplico este mismo procedimiento se encuentran (vea imagen 100):

Soporte de tubería vertical (1), Tapa y alojamiento de balero (2), Volantes de las válvulas (3), Tapa plástica de la bomba (4) y Placa de acero horizontal (5).

Finalizando con la última etapa de la ejecución de los trabajos, se pintaron la totalidad de los componentes y piezas de acuerdo a los colores designados a cada uno, utilizando los mismos elementos de trabajo que se señalan en el proceso anterior.

En cuanto a las mejoras adicionales como lo son la guarda, las tapas del motor y varillas de soporte del cilindro de acrílico, se

sometieron al acabado establecido en un principio (cromado), esto se efectuó por medio del servicio externo destinado a ejecutar este trabajo.

Concluyendo con todas las tareas anteriores, solo restaba acoplar y ensamblar los componentes en todos los sistemas que conformar al AUMFA, por lo que a continuación se muestran a manera general imágenes del equipo rehabilitado:

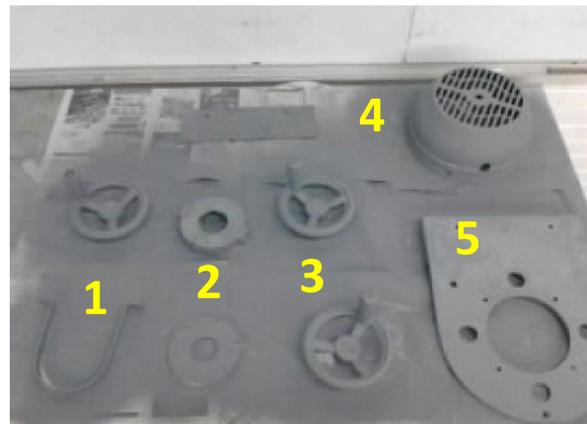


Imagen 100 – Se muestra al resto de los elementos terminado el proceso.



Vista general:



Imagen 101 – Se puede observar a la turbina rehabilitada una vez que se concluyeron todos los procedimientos.



Imagen 102 – Vista posterior del equipo, donde se puede ampliar la visión de los trabajos realizados.

Sistema Hidráulico:



Imagen 103 – Se muestra a la turbina, el cubo de acrílico, álabes y mangueras que van a los manómetros en el tablero principal.



Imagen 104 – Vista del ensamble frontal de la turbina y condiciones finales.



Imagen 105 – Se puede observar a todo el sistema hidráulico (en negro), manómetros y Flujoímetro en panel principal.

Sistema Mecánico:



Imagen 106 – Bomba (en rojo) y carcaza o voluta (en azul) conectada al sistema hidráulico.



Imagen 107 – Motor / generador (en rojo) y tapas y guarda, aplicado el acabado de cromado.

Sistema Eléctrico:



Imagen 108 – Se puede observar a la unidad de control (azul y oro), parte del sistema hidráulico (negro) y el marco de aluminio como mejora adicional.



Imagen 109 – Muestra el sitio del aislador principal en el equipo.



Imagen 110 – Modulo de interconexión entre el motor y la unidad de control.

Teniendo ya al AUMFA totalmente ensamblado, se procedió a realizar la puesta en marcha y pruebas respectivas en el equipo, las cuales se describirán en el siguiente punto. Adicionalmente y como parte también de este trabajo, se agregaran recomendaciones generales en cuanto al mantenimiento del equipo.

3.2 Puesta en marcha y pruebas

En esta sección se desarrolla la correcta operación del equipo, por lo que se procedió a llenar el sistema con agua, para detectar en si existía o se presentaba alguna fuga en los puntos marcados como vulnerables los cuales son:

- Válvulas
- Uniones reparadas (cilindro de acrílico y tubería rota)
- Secciones acopladas por medio de tornillos (codo de hierro fundido, succión y descarga en la bomba, placa de aforo, medidor de flujo y cubo de acrílico)
- De manera interna; retén reemplazado
- Conexiones en las mangueras pertenecientes a los manómetros

Lleno el sistema se detectó una pequeña fuga proveniente del interior del codo de hierro, en un principio se pensó que se originaba en el retén, por lo que se tuvo que desmontar toda la sección de la turbina para reparar el inconveniente.



Es importante mencionar que a manera de generar una referencia visual y dado a que con anterioridad no se contaba con una guía o diagrama que muestre como se debe de desarmar la turbina, se presentan los siguientes pasos con fotografías para que en dado caso que se le necesite efectuar un mantenimiento mayor al AUMFA, el lector o el técnico encargado, sepa como ejecutar estas tareas.

Primeramente se tienen que retirar los tornillos que fijan al codo de hierro a la estructura del equipo y la guarda por encima del motor (imagen 111). Teniendo en cuenta el peso (de 25 a 30 kilos aproximadamente) y debido a que es la forma más adecuada de efectuar esta tarea, se debe de desmontar junto con la placa horizontal y con el resto de los elementos como se muestra en la imagen 112.



Imagen 111 – Se señalan los tornillos y la barra vertical a retirar para desmontar la turbina.



Imagen 112 – Se observa de izquierda a derecha: zapata de acoplamiento, alojamiento de balero, codo, placa horizontal y cubo de acrílico que deben de desacoplarse juntos.

Posteriormente se retirara la zapata, alojamiento de balero y base de rodamiento con guía (para ensamble con eje de la turbina, imagen 113). Retirado esto, se averiguo de donde exactamente provenía la fuga.

Verificando que la fuga no era causada por un mal posicionamiento o daño del retén, se descubrió que esta se originaba desde el cuerpo de la turbina a causa de que en el interior del eje y el tubo de bronce., existe un empaque que evita que se trasmine el agua. Se desacoplo totalmente la turbina y se reacomodo éste.



Imagen 113 – Se señala a la base del rodamiento y muestra la forma de acople.



Imagen 114 – Se muestra la forma de incorporar la turbina en el cubo de acrílico.



Imagen 115 – Se observa la forma en la que tiene que salir el eje en la parte inferior.

Se volvió a acoplar el eje y tubo de bronce y se aseguró que este inconveniente no volviera a suceder haciendo pruebas externas; se vertió agua en la zona del desperfecto y se verificó que se había resarcido el mencionado problema.

Para poder incorporar la turbina al cubo de acrílico, se debe introducir por la parte superior del cubo hasta que esta salga por debajo del codo de hierro, para mayor referencia dirijase a las imágenes 114 y 115.

Por otro lado y teniendo de nueva cuenta la turbina desmontada, se fijó y ajustó la apertura y cierre de los álabes que inicialmente iban de 10 a 30 grados quedando en 20 grados; esto no afecta en lo absoluto en el enfoque y fin educativo que tiene el equipo, pues el objetivo central es de mostrar el comportamiento de una sub estación hidroeléctrica, reforzando lo aprendido de manera teórica en el salón de clases.

Para volver a montar la turbina en la estructura del equipo, se tienen que rehacer en sentido inverso todos los pasos anteriores. Se recomienda auxiliarse de la herramienta y equipo de trabajo adecuado.

Cotejando que no existieran otras fugas en el equipo se volvió a llenar el sistema y se realizó de nueva cuenta una inspección física en válvulas, conexiones, placa de aforo (imagen 115) y secciones acopladas por medio de tornillos, arrojando como resultado la no filtración, goteo o fuga de agua todas las áreas mencionadas.



En lo que respecta a la prueba del sistema eléctrico y con la ayuda del Ing. Abel Cruz Verde, se detectó una falla en la botonera, la cual no operaba de manera adecuada y no cumplía con la función de paro y arranque.

Lo anterior dio pauta a verificar todo el sistema, desde el aislador principal, hasta una revisión exhaustiva de la unidad de control. El problema consistía básicamente en que una vez



Imagen 116 – Se observa a la placa de aforo y las uniones en el sistema hidráulico.

conectada la clavija a la corriente, y encendiendo el equipo por medio de la palanca del aislador principal, la bomba se energizaba directamente y no por medio de presionar el botón de arranque.

Se volvió a desarmar y revisar las conexiones internas con las que cuenta ésta, pero al profundizar en los elementos que la conforman, se detectó que el botón de paro de emergencia no realizaba más su función, además de que el equipo trabaja con una corriente trifásica a 220 Voltios, se detectó que la botonera era para la operación en dispositivos a 120 Voltios.

Por lo anterior se determinó su reemplazo (imagen 117) y con esto se resolvía el problema repentino que se generó en las pruebas de operación. Se desconoce si con anterioridad, fue reemplazada, manipulada o se le dio un mal uso al elemento anterior; por tal motivo y como ya se expuso en el punto 3.1 de este capítulo, se propuso y se dio a conocer la bitácora en la que se deben de registrar todos los trabajos, usos y mantenimientos que se le hagan al AUMFA.



Imagen 117 – Muestra el control de paro y arranque que se reemplazó.

Finalizando en la realización de las pruebas de operación del equipo, no se encontró ningún inconveniente más en los sistemas (hidráulico, mecánico y eléctrico) por lo que se concluye la rehabilitación y puesta en marcha exitosamente y, se presenta este trabajo como fiel testigo del desarrollo de todos los procedimientos que para solucionar las problemáticas iniciales.



3.3 Recomendaciones generales

En un contexto de buen manejo y operación del equipo, se exponen algunos consejos y recomendaciones con base a la experiencia generada a través de todo el tiempo que le dedique a la rehabilitación de este equipo.

1.- En dado caso de una falla en el sistema eléctrico **REVISE** que el hilo conductor de los fusibles no se encuentra quemado o roto; en caso afirmativo, reemplácelo y compruebe que todos se encuentran en buen estado. Estos se localizan en el aislador principal y bastará con remover la tapa para encontrarlos.

2.- **POR NINGÚN MOTIVO** remueva o quite la tapa de la unidad de control cuando se esté operando el equipo, o inclusive llenando de agua, ya que el contacto con ésta podría ocasionar un corto circuito y las consecuencias serían de mayor gravedad.

3.- **NO TRATE BAJO NINGÚNA CIRCUNSTANCIA** hacer reparaciones o experimentos en el sistema eléctrico sin antes asegurarse que la clavija esta desconectada del suministro eléctrico. Recuerde que el voltaje requerido para este equipo es a una corriente trifásica de 220 Voltios, lo que podría causarle daños importantes en su cuerpo e inclusive la muerte por electrocución.

4.- Si se presentase alguna fuga o filtración de agua en cualquier parte del sistema hidráulico, póngase en contacto con el jefe de laboratorio para coordinar las tareas de solución.

5.- **NO MUEVA O ALTERE** el medidor de flujo localizado en la placa de aforo (diríjase a la imagen 115) ya que podrían dañarse las conexiones internas, lo que traería como consecuencia que no se registre el gasto en el indicador de gasto localizado en el panel principal.

6.- **ASEGURECE** que el agua vertida en el sistema sea totalmente limpia y que el nivel del agua llegue a la mitad del cabezal de llenado (acrílico transparente superior).

7.- Independientemente del número



Imagen 117 – Se señala la localización de la válvula de drenaje.



de prácticas que se efectúen a lo largo de los semestres, **SE RECOMIENDA** expulsar toda el agua del sistema (aproximadamente de 60 a 70 litros), por medio de la válvula de drenaje de agua (imagen 117) localizada por debajo de la voluta de la bomba. Con esto se evitara que se empiecen a oxidar partes metálicas y en algunas otras secciones se comience a generar moho.

8.- En lo que corresponde al sistema mecánico; aunque el rotor, los álabes y la misma turbina se pueden desmontar y son parte del sistema mecánico, **NO SE RECOMIENDA** desacoplar estos elementos de su sitio original, ya que los desgastes y un mal manejo de éstos, pueden dañar las piezas y eso implicaría que el equipo quede de nueva cuenta inactivo. Solo en caso de que se presenten problemáticas mayores y se decida ejecutar algún tipo de tarea, se deberán tomar como guía los pasos y procedimientos expuestos en este trabajo.

9.- Ampliando y con base a la bitácora hecha en este trabajo, se propone que todos y cada uno de los trabajos, sean elaborados por personal académico y deben de ser supervisados por el jefe del laboratorio, lógicamente deben de quedar registrados y justificados de acuerdo al protocolo establecido por ambas partes, para evitar trabajos inconclusos o perdida de algún elemento incorporado al AUMFA.

10.- Los periodos de mantenimiento deben de realizarse por lo menos una vez al semestre, y básicamente consiste en:

- Lubricar el rodamiento con el que cuenta el equipo (balero)
- Verificar que cada uno de los sistemas se encuentre en buenas condiciones
- Y en periodo vacacional, cubrir por completo el AUMFA con alguna cubierta

CONCLUSIONES

- Debido al tiempo que estuvo deshabilitado y las características que ofrece para la formación de los alumnos, valía la pena involucrarse en el proyecto y recuperar de cierto modo la funcionalidad que éste tenía.
- Primeramente se puede señalar que la perspectiva presentada en un comienzo, no fue la misma que se generó al finalizar todas y cada una de las actividades, ya que como se describió anteriormente, surgieron imprevistos que demandaban de un actuar rápido y eficaz; con ello se



fortaleció la toma de decisiones que en la escuela se nos enseña y forma como parte del perfil profesional.

- En lo que concierne al tiempo en que se llevó este proyecto se puede decir que el alumno debe de tener la completa disposición de involucrarse totalmente en la reparación del equipo, pues si no se tienen periodos continuos de trabajo, se pierde el ritmo de la ejecución de los mismos y esto a su vez afecta directamente en un aplazamiento mayor del tiempo estimado para concluir con todos los procesos y desarrollos que este involucra.
- Dado a que el costo de los mantenimientos a este tipo de equipos es muy elevado, valía la pena involucrarse y realizar el proyecto, ya que de una estimación de entre 50 mil a 60 mil pesos, se redujo a menos de 5 mil pesos aproximadamente, en darle el mantenimiento pertinente al AUMFA, con lo que finalmente denota una gran diferencia en cuanto a recursos monetarios.
- Las dificultades técnicas que se presentaron fueron realmente importantes, ya que no se contaba con un manual de desensamble para algunas de las secciones en las que se requerían desacoplar, se tuvieron que idear formas de trabajo que permitieran realizar dichas tareas, lo cual no fue nada fácil, puesto que se corría el riesgo de dañar el equipo. Finalmente se logró implementar un método de trabajo eficaz para realizar todas las tareas.
- La implementación de cada uno de los procesos a ejecutar se basaron en las ventajas y desventajas que estos ofrecían, por lo que se tomaron en cuenta los aportes de profesionistas en las ramas de procesos de manufactura, electricidad, soldadura y forja, hidráulica, entre otros; lo cual le da un valor agregado al presente.
- La aportación principal a este trabajo es mantener una constante verificación y mantenimiento, no solo a este equipo, sino a todos los equipos que se encuentran en el área de hidráulica, pues muchos de los problemas que se generan, surgen a partir del manejo no adecuado, la



vida útil y un nulo mantenimiento que tienen estos equipos. Por lo anterior, se crearon bitácoras en las que se podrán registrar todas las acciones relacionadas a la turbina Kaplan; y podrá servir como base para la implementación de nuevos esquemas de conservación del resto de los equipos dentro del laboratorio.

- La última etapa del proceso trajo consigo varios puntos de vista que, de cierto modo, fueron plasmados como recomendaciones generales para no permitir que el equipo vuelva a caer en la misma problemática inicial y se prolongue aún más su vida útil.
- Es importante recalcar que las reparaciones se deben ejecutar por personal calificado junto con la coordinación del jefe del laboratorio o el personal académico responsable del área.
- Así mismo, el resultado de este proyecto se ve reflejado en el buen aspecto interior y exterior que denota el esfuerzo y paciencia para ejecutar, aplicar y desarrollar algunos de los conocimientos adquiridos a lo largo de mi etapa estudiantil.
- Finalmente se deja al AUMFA en las mejores condiciones de operación y uso y se espera que se mantenga por un periodo de 15 años o más, aplicándole debidamente los mantenimientos estipulados.
- Estoy dispuesto a tener la apertura de un criterio de asesoramiento al personal responsable sin fines de lucro o algún otro, en dado caso que se presenten problemáticas mayores y se requiera de mi intervención, puesto a que me involucre demasiado en el equipo y lo conozco a fondo.
- Considero que la rehabilitación fue un éxito y se cumplió con el objetivo de devolver la funcionalidad que éste tiene e incorporarlo de nueva cuenta para la formación de los alumnos de ingeniería de esta Facultad.



BIBLIOGRAFÍA.

1. García Héctor, 2006, *Apuntes de Selección de Turbinas Hidráulicas*, Facultad de Ingeniería, ed. UNAM.
2. Mataix Plana Claudio; 2009, *Turbomáquinas Hidráulicas, Turbomáquinas hidráulicas, bombas y ventiladores*, 2ª edición. Madrid, ed. Universidad Pontificia Comillas, págs. 1720.
3. Rama S. R. Gorla, Aijaz A. Khan; 2003, *Turbomachinery, Design and Theory*, The Ohio State University, Columbus Ohio, págs. 424.

REFERENCIAS.

1. "Biography and developments of Viktor Kaplan", en: Das Land Steiermark [en línea] <<http://www.steiermark.at/cms/beitrag/10036536/1550/>> [Consulta: 05 de Mayo 2014].
2. Características del bronce S.A.E. 62, [en línea] <http://www.broncesfranco.com/bronce/62.html> [Consultado el: 25 de Noviembre de 2015].
3. Figura No. 6.- Central Hidroeléctrica [en línea] <http://biogeomundo.blogspot.mx/2012/03/centrales-hidroelectricas-ecologicas-o.html> [Consultado el: 25 de Abril de 2014].
4. Figura 7.- Hélice de barco, ARCO PUBLISHING, [en línea] <http://www.darkroastedblend.com/2011/11/worlds-largest-ship-propellers.htm> [Consultado el: 29 de Abril de 2014].
5. GILKES COMPANY, <http://www.gilkes.com/>
6. ³ La turbina de OSSBERGER, "Distribuidor", [en línea] <<http://www.ossberger.de/cms/es/hydro/la-turbina-ossberger>> [Consulta: 13 de Mayo 2014].
7. ²Mataix Plana Claudio, "Turbinas Kaplan", en: *Turbomáquinas Hidráulicas, bombas y ventiladores*, págs. 36, 41, 42.



-
8. Muestra cojinete de empuje con sus elementos, Recuperada de <https://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/>, 28/11/15.
 9. Tabla 1. *Características de la tubería Cedula 40*, [en línea] <<http://www.tuberiadepvc.mx/Tuberia-Hidraulica-de-PVC-Cedula-40.html>> [Consultado el: 01 de Abril de 2014)].