



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudio de Postgrado

Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE
COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA
CERVECERA**

Ing. Hamilton Nicolas Cos Chanquín

Asesorado por el Mtro. Ing. Otto Fernando Guzmán González

Guatemala, agosto de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE
COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA
CERVECERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. HAMILTON NICOLAS COS CHANQUÍN
ASESORADO POR EL MTRO. ING. OTTO FERNANDO GUZMÁN GONZÁLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, AGOSTO 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO (a.i.)	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorete
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

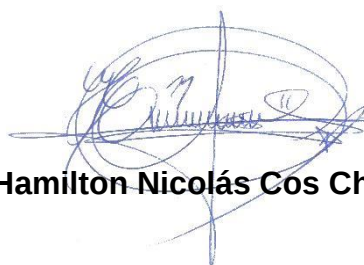
DECANO (a.i.)	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Roció Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Jaime Rodolfo Chocoy
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE
COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA
CERVECERA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 28 de agosto de 2021.



Ing. Hamilton Nicolás Cos Chanquín



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.445.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA**, presentado por: **Hamilton Nicolas Cos Chanquin** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Autorización de entrega de trabajo de graduación
Fecha: 27/08/2024 08:40:36
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, agosto de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 445 CUI: 2301347690108

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad



Guatemala, agosto de 2024

LNG.EEP.OID.2.2024

En mi calidad de DIRECTORA de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA"

presentado por **HAMILTON NICOLAS COS CHANQUIN** correspondiente al programa de **MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MAESTRA Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTORA
Escuela de Estudios de Postgrado

Oficina Virtual





Guatemala 29 de abril 2022.

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** titulado: **“MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA”** del estudiante **Ing. Hamilton Nicolas Cos Chanquín** quien se identifica con número de carné **200117666** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinadora
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 26 octubre 2020

Ingeniero Mtro.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Hamilton Nicolás Cos Chanquín, carné número 999003358, cuyo título es '**MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA**', para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Hamilton Cos, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



OTTO FERNANDO GUZMÁN G.
INGENIERO CIVIL
COL. 11,070

Ing. Otto Fernando Guzmán González
Mtro. Administración de Proyectos de Construcción
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la bendición de la vida.
Mi esposa	Rebeca por haberme brindado su apoyo incondicionalmente en todo momento.
Mis hijos	Nathaly y Derek Cos con mucho cariño dedicado a ellos.
Mis hermanos	Saulo, Jimena y Osbelia Cos, por su apoyo muy agradecido.
Mis padres	Oscar Daniel Cos y Ana Osbelia Chanquín, por su muestra de cariño e incondicional muestras de apoyo.
Diego, Sofía, Allison, Daniela y Génesis Cos	Como una muestra de cariño y ejemplo para su vida en un futuro.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Cervecería	Por haberme brindado la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación.
Mis compañeros	Por su amistad y apoyo en los cursos recibidos durante la maestría.
Mi asesor	Mtro. Ing. Otto Fernando Guzmán González, por su amistad y por haberme guiado durante el trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Filtro de tratamiento de agua.....	3
2.2. Tornillería.....	5
2.3. Tornillo.....	6
2.3.1. Tuercas.....	7
2.3.2. Roldanas	8
2.3.3. Roldana de presión.....	9
2.3.4. Calibrador de roscas.....	9
2.3.4.1. Calibrador de rosca milimétrico	10
2.3.4.2. Calibrador de rosca americana.....	10
2.4. Brida	11
2.4.1. Brida de cuello alto	12
2.4.2. Brida ciega.....	13
2.4.3. Brida Slip on	14

2.4.4.	Brida de enchufe	15
2.5.	Válvula	16
2.6.	Estado de condición	18
2.6.1.	Monitoreo	19
2.6.2.	Monitoreo físico de condición.	19
2.6.2.1.	Técnica no destructiva	20
2.6.2.2.	Ensayos no destructivos.....	22
2.6.2.3.	Líquidos penetrantes	22
2.7.	Torque.....	23
2.7.1.	Torquímetro.....	24
2.7.2.	Multiplicador de torque	26
2.7.3.	Multi-torque	26
2.7.4.	Torquímetro electrónico.....	26
2.7.5.	Torquímetro de carátula	26
2.7.6.	Torquímetro de trueno.....	26
2.7.7.	Torquímetro pre-ajustado	27
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1.	Visita de reconocimiento	29
3.2.	Toma de datos y muestras en campo	31
3.3.	Ensayos no destructivos	33
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	35
4.1.	Termografía.....	35
4.2.	Ensayo de torque	42
4.3.	Riesgos de operación.....	52
4.4.	Precio estimado	53

5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
5.1.	Fase de reconocimiento	57
5.2.	Correlación con antecedentes	58
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	63
	REFERENCIAS	65
	APÉNDICE.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Esquema filtro de agua.....	4
Figura 2.	Filtro de agua y juego de bridas.....	5
Figura 3.	Tornillería.....	6
Figura 4.	Tornillo	7
Figura 5.	Tuerca hexagonal	8
Figura 6.	Roldana	9
Figura 7.	Calibrador de roscas.....	10
Figura 8.	Brida	12
Figura 9.	Brida de cuello alto	13
Figura 10.	Brida ciega.....	14
Figura 11.	Brida Slip on	15
Figura 12.	Brida de enchufe.....	16
Figura 13.	Válvula marca BRAY	17
Figura 14.	Empaque de válvula BRA	18
Figura 15.	Vernier en centímetros y pulgadas	20
Figura 16.	Micrómetro	21
Figura 17.	Micrómetro midiendo diámetro exterior de tornillo	22
Figura 18.	Set de líquidos penetrantes	23
Figura 19.	Torquímetro	25
Figura 20.	Escala del torquímetro	25
Figura 21.	Vista de ubicación de filtro de agua	30
Figura 22.	Cámara Flir One Pro.....	31
Figura 23.	Torquímetro manual de aguja.....	32

Figura 24.	Copa de profundidad estriada	32
Figura 25.	Termografía en cada elemento nuevo	37
Figura 26.	Primera lectura de termografía de tornillos.....	38
Figura 27.	Imagen de los tornillos usados sucio.....	39
Figura 28.	Grasa Jet-Lube NSF H1 MP Silicone	40
Figura 29.	Juego de bridas seleccionas A, B, C y D.....	42
Figura 30.	Torque de bridas en juegos A, B, C y D	43
Figura 31.	Juegos de bridas seleccionada A.....	44
Figura 32.	Torque inicial en brida A.....	44
Figura 33.	Torque recomendado brida A.....	45
Figura 34.	Juego de bridas seleccionada B.....	46
Figura 35.	Torque inicial en brida B.....	46
Figura 36.	Torque recomendado brida B.....	47
Figura 37.	Juego de bridas seleccionada C	48
Figura 38.	Torque inicial brida C.....	48
Figura 39.	Torque recomendado brida C.....	49
Figura 40.	Juego de bridas seleccionada D	50
Figura 41.	Torque Inicial brida D	50
Figura 42.	Torque recomendado brida D.....	51
Figura 43.	Gráfica circular para tornillo M16X2X120	52
Figura 44.	Gráfica de flujo constante	55
Figura 45.	Set point, valor ideal	55

TABLAS

Tabla 1.	Torque medio por brida	33
Tabla 2.	Juego de tornillería para la termografía.....	35
Tabla 3.	Juego de tornillería después del cambio	36
Tabla 4.	Valor nominal del tornillo	41

Tabla 5.	Valores obtenidos en la medición de los tornillos	41
Tabla 6.	información de diámetro del tornillo en juego de bridas A	43
Tabla 7.	Información de diámetro del tornillo en juego de bridas B	45
Tabla 8.	Información de diámetro del tornillo en juego de bridas C	47
Tabla 9.	Información de diámetro del tornillo en juego de bridas D	49
Tabla 10.	Juego de bridas con media N-m y porcentaje.....	51
Tabla 11.	Precio estimado	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área de sección de contacto
m	Cinta métrica, metro
END	Ensayo no destructivo
PSI	Libras por pulgada cuadrada
n-m	Newton metro

GLOSARIO

AISC	American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de la Construcción en Acero).
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas de Materiales).
ASTM A563	Requisitos mecánicos y químicos para las tuercas de acero y otras aleaciones utilizadas en barras roscadas, espárragos y pernos.
ASTM F436	Cubre los requisitos mecánicos y químicos para roldanas endurecidas en diámetros que van de ¼ a 4”.
A325	Pernos de cabeza hexagonal pesada con diámetro de cuerpo completo que normalmente son cortos en longitud ya que están conectados acero con acero.
A490	Tornillo fabricado de acero aleado en lugar de acero al carbono medio, lo que este resultado da una mayor resistencia como sujetador.

Brida	Es un elemento mecánico que une 2 tuberías, y que están unidas por medio de soldadura, de esa manera pueden ser desmontadas para limpieza o bien darle mantenimiento a alguna válvula que esté entre ellas.
Calibrador de roscas	Es una herramienta que se utiliza para medir la distancia entre los hilos de rosca en la parte exterior de un tornillo o en la parte interna de una tuerca.
DIN 272	Especifica las características de los tornillos milimétricos de cabeza hexagonal con pasos de rosca desde diámetros de M2 hasta M100.
EPDM	Caucho de etileno propileno dieno es un termopolímero elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste.
Filtro de grava	Tiene la forma de un tanque y que en su interior contiene 5 capas de grava de diferente medida y que además en la parte superior contiene una capa de arena sílice y que trabaja a una presión de 5 bar.
Grava	Son las que conforman una capa de diferente medida en la parte interna del tanque, por lo general presentan una forma de piedra que va desde la mas gran de 1" hasta las más pequeña de 1/8".

Micrómetro	Es una herramienta utilizada para medir exclusivamente diámetros o espesor externos, van de 0 a 1" o de 1" a 2" dependiendo del diámetro a medir.
Roldana	Es un elemento mecánico de forma circular y que su centro tiene un orificio por el cual pasa el tornillo, por lo general un tornillo completo lleva dos de esta, un en la cabeza del tornillo y la otra junto con la tuerca, en el otro extremo.
RCSC	American Institute of Steel Construction (Consejo de investigación sobre conexiones estructurales), cubre el diseño de uniones atornilladas y la instalación e inspección de conjunto de sujetadores en conexiones estructurales de acero.
SAP	Es uno de los principales productos mundiales de <i>software</i> para gestión de procesos de negocios, y desarrolla soluciones que facilitan el procesamiento eficaz de datos y el flujo de información entre las organizaciones.
Tornillo	Por lo general tiene cabeza hexagonal, y en su bastado tiene mecanizados los hilos que a su vez hacen la rosca; este tornillo se utiliza para la unión de piezas mecánicas como las bridas.

Torquímetro

Herramienta digital o análoga que se utiliza para medir el torque en los tornillos o tuercas que están en las bridas y compuertas de los filtros.

Tuerca

Elemento mecánico que tiene forma hexagonal y que en la parte interna tiene machuelada o torneada en su longitud hilos que forman la rosca que a su vez ajusta perfectamente con un tornillo de su mismo diámetro y paso de rosca.

Vernier

Herramienta utilizada para medir diámetro interno, diámetro externo y profundidades en muchas piezas o elementos mecánicos.

RESUMEN

Se propone un procedimiento para el monitoreo de estado de condición a los elementos de unión de un filtro de agua. Sus componentes son tornillos, tuercas, roldadas y bridas excéntricas, el equipo tiene aproximadamente 30 años de estar trabajando y ha estado expuesto a diferentes cargas.

El monitoreo consta en verificar el torque de los tornillos, ya que mantener una buena condición constituye un elemento clave para determinar tendencias de un cambio o ajuste y, así continuar con su operación o bien para sacarlo de proceso.

Se tiene conocimiento que por las condiciones de operación los tornillos pueden presentar corrosión, golpes, desgaste en la cabeza hexagonal y fatiga en el paso de rosca, lo que al momento de dar un torque inadecuado se puede barrer la rosca, quebrarse el tornillo y terminar de deteriorar el paso de rosca interno de la tuerca y el paso de rosca externo del tornillo.

La investigación presenta los parámetros a seguir en función de los elementos seleccionados, con ello se presenta una base para determinar el cambio mediante la toma de datos por medio del torque y la condición de la rosca, contando con los valores por norma DIN 272 tendríamos una eficiencia óptima para el filtro de agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la planta cervecera se cuenta con 2 baterías de filtros, cada una conformada por 6 filtros haciendo una cantidad total de 12 de estos, cada batería trabaja de forma individual y alternativamente se programa su filtración, por los golpes de ariete que eventualmente se presentan y por la presión que manejan estos en la parte interna se va generando paulatinamente fugas de agua por las compuertas como por las líneas de carga y sus bridas en las cuales se conectan las válvulas de mariposa, cada tornillo hasta la fecha de investigación solamente es ajustado de forma calculada, por tal razón en función del diámetro, largo, tipo de rosca y tipo de tornillo se propone un torque general para la compuerta como para los tornillos que sujetan las válvulas.

- Descripción y delimitación del problema

En el área de purificación de agua pura de una fábrica de cerveza, se tienen dos baterías con 6 filtros cada una. La operación manual que se tiene crea ciertos desajustes en ellas, lo cual genera más desgaste de lo común, por lo cual genera fugas. El efecto de no tener un plan de mantenimiento preventivo en todas las válvulas genera fugas, desgaste y mala apariencia, esto genera que la producción se detenga o que los indicadores en el cuarto de control no sean los que se presentan físicamente. Dado que es un equipo muy antiguo los efectos se acarrean desde hace varios años.

Las causas del problema son: los filtros trabajan la mayor parte del año, por tal razón algunas válvulas cuando presentan algún inconveniente se reparan sobre la marcha (de forma correctiva), además este equipo es del que se entregó

junto con los suavizadores por tal razón son muy antiguas las válvulas, por la alta demanda tanto de cerveza, gaseosas y agua pura la apertura y cierre que se tiene programado en cada filtro no se puede establecer un tiempo programado para su mantenimiento.

De no implementar el mantenimiento preventivo en las válvulas puede surgir el paro de producción ya que se tendría que intervenir de manera correctiva por una sola válvula, afectando la producción tanto de cerveza, agua pura y gaseosas.

- ¿De qué manera se evalúan los parámetros de sujeción de la tornillería en la línea de proceso y se optimiza la continuidad de la producción?
- ¿Qué elementos mecánicos se utilizan para el montaje y desmontaje de los tornillos en toda la línea de tubería al momento de realizar la investigación?
- ¿Cuáles son las tareas y condiciones necesarias para el monitoreo del estado de condición de la tornillería del filtro en una industria cervecera?
- ¿Qué procedimiento es el adecuado para el monitoreo de condición del estado de los tornillos y tuercas?

OBJETIVOS

General

Establecer un procedimiento para el monitoreo del estado de condición de la tornillería utilizada en las bridas en un filtro de agua de una industria cervecera.

Específicos

1. Identificar los parámetros y condiciones de toda la tornillería del juego de válvulas utilizado para la filtración de agua cruda del proceso de producción en una industria cervecera.
2. Enlistar los elementos mecánicos para el montaje y sustitución de tornillería deteriorada del juego de válvulas utilizado para la filtración de agua cruda del proceso de producción en una industria cervecera.
3. Determinar las tareas y condiciones para la inspección del torque y deterioro superficial de la tornillería del juego de válvulas utilizado para la filtración de agua cruda del proceso de producción en una industria cervecera.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

La investigación realizada está bajo la ruta cuantitativa, en un alcance descriptivo y de tipo experimental. Debido a que se tomaron valores de torque a un inicio, elaborando tendencias y datos estadísticos, realizando termografía a cada tornillo con que se compone el juego de bridas, con el alcance descriptivo se logró establecer un procedimiento para realizar el monitoreo de estado de condición de la tornillería del filtro de agua a partir de su planteamiento, con ello se generó una recopilación de información.

La investigación es de tipo experimental debido a que se apretaron los tornillos y tuercas después de revisarlos y ver su estado de condición para tener una condición inicial de medición, además de tomarles termografía y el cambio de piezas para realizar ensayos no destructivos con líquidos penetrantes.

El trabajo se inició con una revisión documental. En dicha documentación se identificó que la tornillería de unión se ve sometida a varios esfuerzos durante su tiempo de vida útil. Se evidenció que la composición del filtro de agua en cuanto a sus componentes difieren ya que no son de una sola constitución metálica, lo cual se evidencia con presencia de corrosión galvánica. De igual manera, visualmente en la práctica no se evidencia un tipo de lubricación para proteger o disminuir el efecto de la corrosión, ya que los mismos elementos se ven alterados por el tiempo y exposición a diferentes condiciones de operación y medio circundante. En los filtros de agua por el medio circundante se puede tener presencia de diferentes tipos de corrosión según su evento o presencia de operación. De igual manera se evidenció que existen diferentes técnicas manuales para la medición del torque; como lo es el torque de aguja y así realizar

la misma medición de forma manual obteniendo la lectura de forma visual según su escala. En análisis de laboratorio se realizan END como la aplicación de líquidos penetrantes para determinar visualmente su estado de condición.

Después de la contextualización, se realizó una visita de campo al área de tratamiento de agua que es donde exactamente está ubicado el filtro de agua. El filtro de agua que está autorizado para el estudio por parte de la empresa cervecera se encuentra localizada en la zona dos de la ciudad de Guatemala, área que a su lado tiene ubicado el cuarto de calderas. Por muchos años el filtro de agua ha tenido la presencia de hollín en su superficie, además que éste pertenece a una de dos baterías, cada batería de filtros de agua se compone de seis de ellos.

Además el filtro trabaja bajo una presión de 2.5 bar compuesto por 4 capas de grava, empezando por la primera con una dimensión de 1.0" con una altura de 12.0", arriba de ella otra capa de 0.5" con una altura de 2.5", posterior a esa otra capa de ¼" con una altura de 2.5" y una capa superior final de grava de 1/8" con una altura de 2.5", para finalizar con una capa de arena sílice con una altura de 38.0" teniendo en capas de grava y arena sílice una altura total de 49.5" y finalmente teniendo una altura de agua dentro del filtro de 29.5".

Con los resultados obtenidos tanto por END, termografía y torque se pudo evidenciar que no existe una alteración determinante visualmente en el tornillo, ni un cambio significativo de calor, sin embargo, el torque sí varió en la medición, por tal razón se realizó la propuesta de gestión con una orden de trabajo el ajuste correspondiente de torque o cambio del tornillo para garantizar el buen funcionamiento y disponibilidad de operación del filtro de agua y un registro para evidenciar los mantenimientos realizados.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación define una sistematización para el monitoreo y acondicionamiento de los tornillos y tuercas que unen las líneas de suministro de agua, como lo son las bridas, válvulas y sello lateral de un filtro de grava para un filtro de tratamiento de agua que trabaja a una presión de 2.5 bar.

Para la unificación de la línea de ingreso de agua como de salida además de la sujeción de la puerta lateral del filtro de grava para tratamiento de agua, se utiliza tornillo, tuerca, roldana y roldana de presión. Debido al ambiente circundante como lo es la humedad y la cercanía a las calderas, precipitación de hollín, las uniones mecánicas realizadas por los tornillos y tuercas sufren oxidación y deformación en su longitud como en los hilos de la rosca.

Además el golpe de ariete que en su momento puede sufrir por parte de la bomba centrífuga es peligroso toda vez que la tubería pueda tener sobre esfuerzos a los cuales no está diseñada, esto puede ser transmitido a los tornillos y tuercas, generando que entre ellos se aflojen y que no presionen entre las bridas la válvula, ocasionando fugas y pérdidas de presión, por lo tanto un paro en la producción.

Al momento de evaluar el estado físico de los elementos roscados interna y externamente se daría el inicio de un dictamen confiable e idóneo, ya que con lo anterior se eliminaría algún paro en el proceso. Observando los elementos roscados de sujeción el equipo es evaluado para que su estado de operación sea apto para reinstalarlo o si requiere de un cambio de empaque o cambio de pieza completa.

En el capítulo I, desarrollo del marco teórico, se describió la teoría con que se complementará el desarrollo de los siguientes capítulos. Se describen los elementos mecánicos para comprender los términos como la función y objetivo de la filtración de agua, para que ésta llegue en condiciones adecuadas para el proceso de producción de elaboración de cerveza.

En el capítulo II, se desarrollará la presentación del reconocimiento del filtro de agua en el área en la cual se ubica, cuantificación de tornillería, tuercas, roldanas y en cuanto se subdividen, además de la lectura del torque para cada juego de bridas utilizando herramienta manual, así como el recambio en sitio de piezas para realizar el ensayo no destructivo.

La recopilación de datos independiente del estado de la tornillería a la fecha de la investigación sienta un precedente inicial en cuanto al historial de monitoreo de condición de la tornillería en la unión de las bridas para el filtro de agua.

En el capítulo III, se representan los resultados obtenidos mediante la termografía en cada elemento evaluado, aunado a la condición de torque en cada juego de tornillería y el medio en el cual se encuentra el filtro de agua; con los resultados obtenidos se evidencia que ninguno cumple con el torque ideal. Por tal razón al no tener torque ideal provoca que se mojen los demás equipos ocasionando corrosión, lo anterior genera datos y tendencia a tomar en consideración.

En el capítulo IV, se hará la discusión de resultados.

1. ANTECEDENTES

Guerra-Fernández, Ordoñez y Gonzáles (2019) investigaron las causas más probables del fallo de una parte de los pernos de fijación de 5 de las 10 zapatas polares de un generador perteneciente a un sistema motor diésel-generador de 2,5 Mw de potencia. Para esta investigación seleccionaron pernos que pudieron ser recuperados después de una avería y a los cuales se le realizaron análisis químico espectral, ensayos de resistencia mecánica y dureza. Mediante el análisis de fallas mecánicas se pudo concluir que la causa primaria del fallo de los pernos de fijación de las zapatas pilares del generador se debió probablemente a la pérdida de pretensión inicial de uno o varios pernos. El acero DIN34 CrNiMo6 tratado térmicamente es adecuado para la fabricación de los pernos que fijan las zapatas polares del rotor del grupo electrógeno.

Soto, Cruz, Armenta, Hernández, Ruíz, Moreno y Luna (2017) realizaron un análisis de envejecimiento de los pernos de cierre de la tapa de una vasija de un reactor nuclear. Realizaron un análisis de los pernos de cierre de la vasija del reactor identificando componentes, normativas aplicables, lineamientos y recopilación de información de los parámetros de diseño. Los pernos de cierre de la vasija del reactor se ven afectados por agrietamiento, por corrosión bajo esfuerzo y agrietamiento intergranular por corrosión bajo esfuerzo. Los pernos de cierre de la tapa de la vasija del reactor son componentes que requieren un AMP y un TLAA en el proceso de renovación de la licencia de operación.

Santa María (2008) realizó un análisis de falla de un perno de sujeción de una unidad de bombeo mecánico. Para identificar la causa real de la falla, se inició con un análisis visual macroscópico del perno fracturado. Uno de los

extremos fallados del perno se encontró enroscado en la tuerca y presenta desgaste excesivo cerca de la zona de fractura, además se distingue presencia de corrosión incipiente. Existe evidencia sólida para afirmar que la falla se dio por fractura frágil, el mecanismo de falla es una combinación de esfuerzos de tensión con esfuerzos de corte generados por carga de tensión.

Domínguez, Wojcik y Cruz, (2006) realizaron una medición de la fuerza de apriete en un ensamble, utilizando tornillo autoroscante. Esto se hace tomando como referencia el tamaño del tornillo, el valor del par de apriete que se estima aplicar y el tipo de herramienta que se utiliza para el ensamble, ya sea eléctrica o neumática. El valor de transductor de par de apriete debe ser mayor al par de apriete aplicado. Cuando un ensamble hecho a través de un tornillo autoroscante presenta excesiva fricción, es recomendable aplicar al tornillo algún tipo de lubricante en las cuerdas con la finalidad de reducir la pérdida de tensión por fricción.

Sánchez, León y Collazos (2001) aplicaron técnicas experimentales para determinación de fallas en juntas por tornillos. En el caso de estudio, como los tornillos están sometidos a cargas variables, es conveniente realizar un análisis elástico que incluya el valor de la precarga. Con el objeto de reunir datos acerca del comportamiento de las uniones por tornillo se diseñaron y construyeron sensores a partir de tornillos, estos elementos fueron instrumentos con deformímetros para determinar la fuerza axial en diferentes posiciones de las bridas y en unos de los casos se colocó una roseta. Los resultados de resistencia en tracción de probetas obtenidas de tornillos de diferentes materiales, utilizados en la construcción de estos, muestran diferencias bastantes grandes.

2. MARCO TEÓRICO

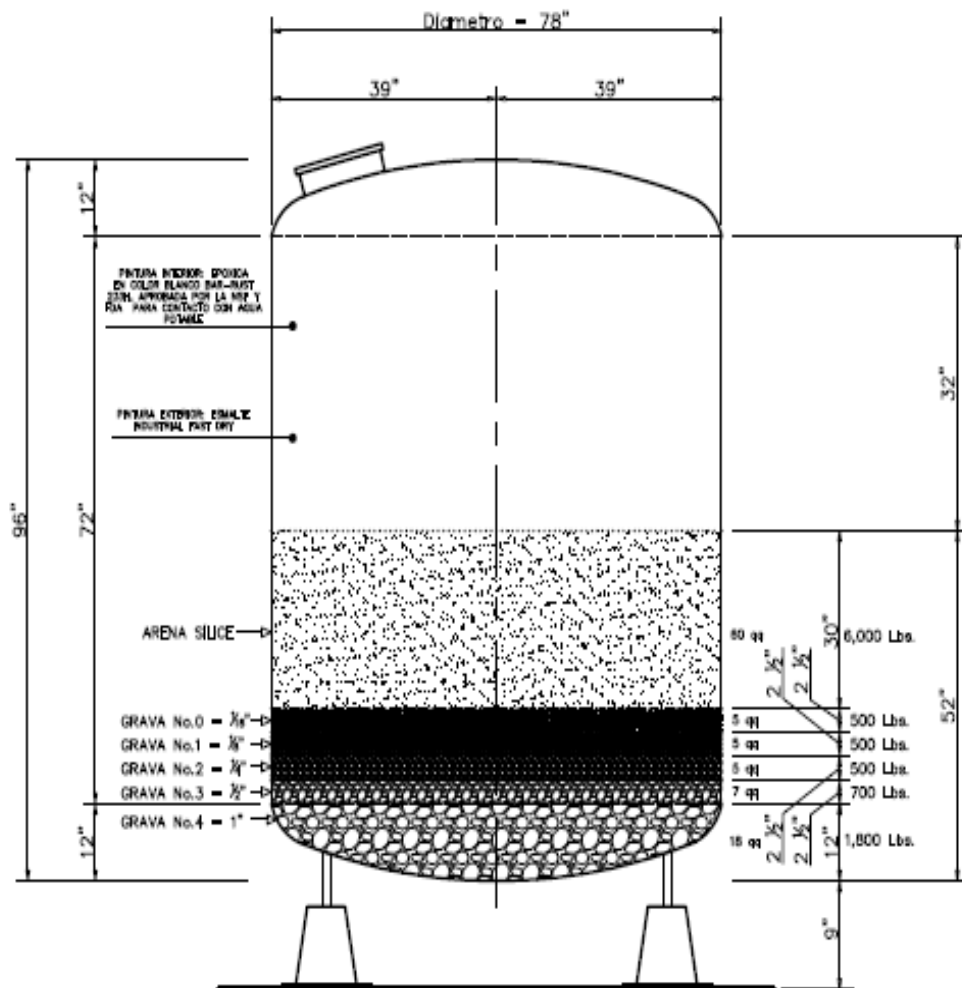
En este apartado se mostrará la información recabada de los diferentes equipos y elementos que conforman los filtros de tratamiento de agua, así como términos generales de torsión, tornillería, roldanas, roldana de presión, estado de condición, válvula, tubería y bridas.

2.1. Filtro de tratamiento de agua

El filtro de tratamiento de agua tiene cuatro capas de grava que van desde 1/8" con un espesor de 4", seguidamente de otra capa de 1/4" con un espesor de 4" y una capa de 1/2" con un espesor de 4" para finalizar con una capa de arena sílice de 10" de espesor, esto con la finalidad de atrapar todos los minerales disueltos que trae el agua no tratada (agua dura) al pasar por estas capas de grava ya se le denomina agua tratada (ya no tiene muchos minerales disueltos).

Figura 1.

Esquema filtro de agua



Nota. Detalle del filtro de agua con alturas de capas de grava internamente y dimensiones externas. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 2.

Filtro de agua y juego de bridas



Nota. Juego de Bridas y válvulas manuales. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.2. Tornillería

Compuesto por el tornillo, la tuerca, la roldana y la roldana de presión que a su vez forma parte de la unión entre las bridas que además sujetan la válvula manual, la unión mecánica de todos estos elementos hace que la línea de sujeción de ingreso de agua al filtro esté unificada, de igual manera a la salida del mismo para su distribución a los puntos requeridos.

Perno arandela y tuerca en conjunto, están especificados dentro de los códigos emitidos por la AISC, RCSC, los cuales a partir de estudios previos han demostrado ser la normativa adecuada para usarse como guía de diseño al momento de requerir juntas empernadas.

Figura 3.

Tornillería



Nota. Tornillería y Bridas en ingreso al filtro. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.3. Tornillo

Es una pieza cilíndrica por lo general metálica, que tiene en su longitud rosca externa y que se sujeta a una pieza móvil con rosca interna ya sea de paso milimétrico o americano, ambos sistemas se miden por los hilos que hay por pulgada o por la distancia que hay entre la cresta de los hilos. Puede ser aplicado para unir o fijar dos o más elementos mecánicos.

Figura 4.

Tornillo



Nota. Tornillo de rosca corrida en acero inoxidable. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.3.1. Tuercas

Es una pieza mecanizada de igual manera que el tornillo, solo que este tiene la particularidad de que la rosca es interna y se fabrica según su tamaño con machuelo y maneral o en el torno convencional con una barra que tenga un buril soldado o atornillado en la punta con la forma del hilo, para que pueda tener la misma forma que la original o la que se puede ver en el calibrador de roscas.

Según Vinnakota (2006), los elementos con rosca interna que se utiliza con los tornillos de alta resistencia están bajo la norma ASTM A563 en grado C como los elementos de rosca externa A325, mientras que los elementos de rosca interna ASTM A563 es la recomendada a utilizarse con los elementos de rosca externa A490 de igual manera que los elementos de rosca externa existen elementos de rosca interna tipo uno y tres.

Figura 5.

Tuerca hexagonal



Nota. Tuerca hexagonal de rosca interna. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.3.2. Roldanas

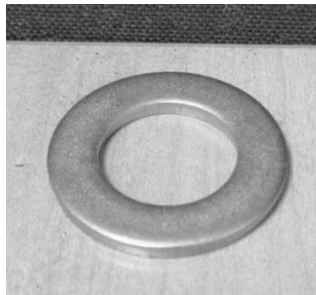
La roldana tiene la particularidad de que presenta en su parte interna un orificio de un diámetro ligeramente mayor que el tornillo con la intención de que este llegue hasta la cabeza cuadrada o hexagonal, para poder hacer sujeción al momento de darle torque ya sea a la cabeza del elemento con rosca externa o al elemento de rosca externa que se encuentra en el extremo opuesto.

Para Vinnakota (2006), el tipo de roldana que se usan en conjunto con los elementos de rosca externa de alta resistencia están bajo la especificación ASTM F436, y su función fundamental es la de aportar una superficie endurecida no abrasiva bajo la cabeza del elemento con rosca externa o elemento con rosca interna de trabajo pesado. Las roldanas trabajan con la finalidad de proteger la superficie exterior del material juntado a fin de evitar las consecuencias de desgaste de este material por el giro de la tuerca en la instalación con el elemento con rosca externa, además de ayudar a optimizar la fuerza de sujeción

en la instalación del elemento con rosca externa y para proporcionar superficies de dureza consistentes.

Figura 6.

Roldana



Nota. Roldana con ligero mayor diámetro que la del tornillo. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.3.3. Roldana de presión

Esta presenta la particularidad de tener un ligero agujero de mayor diámetro que el del tornillo en el cual se instalará, además de tener forma circular está roldana tiene un corte transversal en el cual presenta una desalineación (forma de resorte) que mecánicamente realiza una presión inversa a la que hace la tuerca al momento de ajustarla, esto hace que se ejerza una unión más firme.

2.3.4. Calibrador de roscas

Estos elementos presentan dos secciones en las cuales tienen diferentes muestras de los pasos que tiene en cada extremo, ya sea en paso ordinario o fino, vienen en diferentes representaciones para todos los tipos de roscas.

Figura 7.

Calibrador de roscas



Nota. Calibrador de rosca de 3 puntas. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.3.4.1. Calibrador de rosca milimétrico

Consiste que es una serie de muestras en forma de peine en la cual viene grabado la distancia que hay entre la cresta de un hilo al otro, y con ello se define en el torno que engranajes sincronizar para que tenga ese paso o bien si se pudiera mecanizarlo manualmente con machuelo y maneral.

2.3.4.2. Calibrador de rosca americana

Al igual que el calibrador de rosca milimétrica, éste tiene la misma función y forma física, con la salvedad que este mide la cantidad de hilos que hay en una pulgada, y de esa manera se puede sincronizar los engranajes en el torno o de igual manera en un machuelo; ambos se puede utilizar tanto en el torno o en un trabajo manual ya que todo dependerá del tamaño que se tenga que mecanizar,

si fuesen esparragaos por ejemplo lo recomendable es fabricarlo en el torno, por su longitud, diámetro y tiempo de fabricación.

2.4. Brida

La brida es un elemento mecánico con el cual se unen dos tuberías o en el caso de este trabajo de investigación tienen una válvula entre ellas y que tiene a su alrededor una serie de agujeros en los cuales los tornillos atraviesan y sujetan una válvula, estas bridas pueden ir sujetadas en la tubería de forma fija por medio de soldadura, proceso de soldadura que puede ser eléctrica o por medio de proceso TIG o Smaw.

La ventaja de tener válvulas entre bridas tiene la facilidad de poder realizar un cambio o en todo caso realizar un mantenimiento preventivo a la válvula que está entre ellas, otra ventaja es que con las bridas se puede desmontar y revisar internamente si no existe incrustación en la tubería de cualquier material por medio de una inspección visual o en el mejor de los casos con una cámara para ver longitudes considerables que no alcance el ojo humano.

Figura 8.

Brida



Nota. Brida de 8 agujeros. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.4.1. Brida de cuello alto

Esta brida tiene un cuello alto o cuello resaltado al que se le suelda a uno de los extremos de la tubería, muy probablemente es la mejor en su área debido a la altura que tiene el cuello además de que es pesado. Por lo general se usa para la conexión de unión de soldadura sólida.

Figura 9.

Brida de cuello alto



Nota. Brida soldable de cuello alto de 8 agujeros. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.4.2. Brida ciega

Es un círculo sólido perforado en su circunferencia externa para que pueda ser sujeta por los tornillos con una brida complementaria, por lo general para uso en extremos donde se requiera sellar o cerrar una tubería, también pueden quedar al extremo de una válvula.

Figura 10.

Brida ciega



Nota. Brida ciega o tapadera de final de línea. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.4.3. Brida Slip on

Esta brida tiene un diámetro desbastado menor que el diámetro más grande de la línea de suministro donde se va a soldar, la particularidad de esta brida es que esta soldada tanto en el interior como en el exterior de la misma cara, esto para evitar que en las altas presiones genere fugas, por lo general se utiliza en sustitución de los cuellos de soldadura cuando el espacio de esta es de tomar en consideración.

Figura 11.

Brida Slip on



Nota. Brida de cuello corto soldable de 8 agujeros. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.4.4. Brida de enchufe

La brida de soldadura de enchufe se perfora hasta el diámetro interior de la tubería, más grande que el diámetro exterior, para permitir que la tubería se inserte y suelde es una especie de bisel, con ello se gana una buena penetración de soldadura en su lugar.

Figura 12.

Brida de enchufe



Nota. Brida soldable de acero inoxidable de 8 agujeros. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.5. Válvula

En su posición es la encargada de permitir o no el paso del agua tanto hacia la entrada del filtro como a la salida según se requiera por parte del operador del área, esta puede graduarse de forma manual o de forma automática, siempre y cuando el vástago de la misma tenga el elemento mecánico para que se le adapte un actuador neumático de doble efecto o simple efecto.

Figura 13.

Válvula marca BRAY



Nota. Válvula manual, marca BRAY. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Figura 14.

Empaque de válvula BRAY



Nota. Empaque EPDM recomendado para válvula BRAY. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

El empaque EPDM es de material sintético versátil que se utiliza para el sellado y aislamiento ya que resisten el calor, la luz y el ozono. Resiste temperaturas extremas que van desde los -50 °C hasta los 150 °C también puede soportar cargas que varía de 500 a 2500 PSI o de 4 a 25Mpa lo que resulta en una alta tensión a la tracción

2.6. Estado de condición

Se iniciará por primera vez con una inspección visual en la cual se determinará su condición, de cada elemento, desde la soldadura, bridas, tornillos, tuercas, roldanas y válvula, con ello tendríamos evaluados los elementos mecánicos de sujeción. La evaluación inicial se puede realizar como un END.

2.6.1. Monitoreo

Este monitoreo consiste en una inspección que se le realizará a la tornillería en general del filtro que se utilizan para la unión de bridas.

2.6.2. Monitoreo físico de condición.

El monitoreo físico de condición consiste en el desmontaje de al menos unos de los tornillos, tuercas, roldanas y roldanas de presión para analizar su condición inicial. Una vez establecido el cambio de uno o de todos los tornillos inicialmente, se puede hacer de forma de observación analítica.

En el instante de una negativa a la realización de una inspección física dicha revisión se tendrá que efectuar por medio de datos representativos, al momento de montaje de elementos con rosca externa de resistencia gama, se presenta la inspección en forma de cuatro medios o métodos: torque controlado, tensión a control, giro de elemento de rosca interna y tensión fija. El anterior procedimiento se utilizará como una orden de mantenimiento programada semestralmente para verificar su sujeción.

Según Trujillo (2003), el mantenimiento basado en condición de un elemento mecánico se puede regir en el seguimiento físico de la variable mecánica de la máquina, variables que son recibidas como indicadores del estado físico mecánico y que al evaluarlos con los datos primarios que se toman como iniciales, se evalúa su grado de deterioro.

Con el objetivo de prevenir un deterioro en la medición continua y constante de los elementos mecánicos de cualquier equipo o máquina;

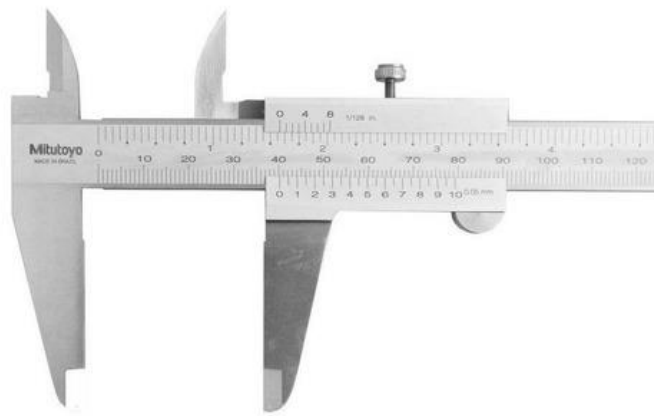
realizando los ensayos no destructivos END solicitados, y apuntado como dato estadístico real y adecuado, para recabar beneficios de activos y predictivos.

2.6.2.1. Técnica no destructiva

Para monitorear el estado actual sin que se desmonte cualquier elemento mecánico es un dato a tomar en cuenta ya que en su etapa de funcionamiento nos puede dar un indicativo de deterioro superficial, para ello podríamos utilizar el vernier y el calibrador de roscas, como al mismo tiempo una inspección visual.

Figura 15.

Vernier en centímetros y pulgadas



Nota. Vernier con escala en pulgadas y centímetros. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Fuentes (1982), indica que:

La condición en sitio se puede realizar con aparatos manejables y de fácil manipulación y así recabar los datos siguientes: toma de longitudes y

diámetro por una escala graduada, mediante un vernier de lectura sencillo y mediante un micrómetro que es un instrumento para obtener una indicación amplificada de las distancias pequeñas. (pp. 25-27)

Figura 16.

Micrómetro

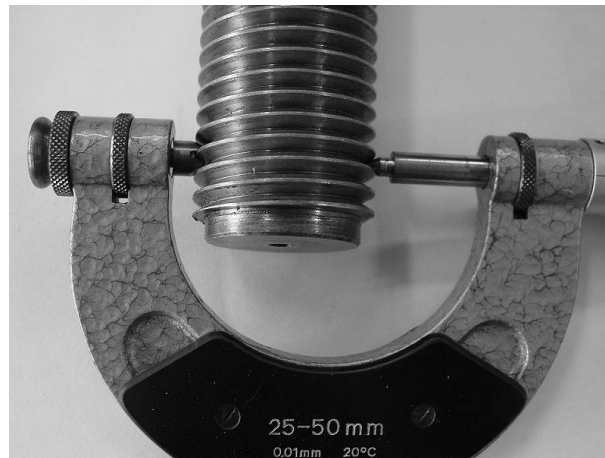


Nota. Micrómetro de 0 a 25 milímetros. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

El uso del micrómetro nos dará una lectura del diámetro exterior del tornillo, como el espesor de la brida, derivado que la escala del micrómetro es en milésimas de pulgada, una pulgada se divide en mil partes fácilmente nos dará un cambio en su lectura si se compararan los tornillos nuevos con uno usado.

Figura 17.

Micrómetro midiendo diámetro exterior de tornillo



Nota. Medición de diámetro de exterior en paso de rosca. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.6.2.2. Ensayos no destructivos

Estos END son aquellos en los cuales los elementos a inspeccionar no sufren ningún tipo de alteración, en su composición interna, ya que solamente uno es el que se aplica en su superficie, como lo es el de líquidos penetrantes, pero en ningún momento éste altera su estado físico, los demás de igual manera no influyen en su composición, y para el caso de análisis de tornillería se aplicará el END de líquidos penetrantes.

2.6.2.3. Líquidos penetrantes

Consiste en la aplicación de tres líquidos sobre la superficie a inspeccionar, cada uno viene en presentación de *spray* líquido comprimido, inicialmente se aplica el limpiador con el objetivo de eliminar toda partícula que

pueda interferir en el análisis, se esperan 20 minutos para que seque el limpiador, posteriormente se aplica el líquido penetrante, que es de color blanco sobre el punto a inspeccionar, se esperan 20 minutos para que este penetre lo más que se pueda y finalmente se aplica el líquido revelador sobre el líquido penetrante, se espera a que actúe por unos 10 minutos hasta que en la superficie se vea una silueta en forma de fisura, de ser así estaríamos revelando un daño en la parte exterior del tornillo. Esto sería un resultado malo y que nos indicaría que es prudente cambiar ese tornillo, aunque no presente óxido o un alargamiento por demasiado torque.

Figura 18.

Set de líquidos penetrantes



Nota. Juego de líquidos penetrantes para END. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.7. Torque

“Es la aplicación de un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes o en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas” (De los Ángeles, 2018, p. 12).

Aplicado a la longitudinal del momento de los elementos constructivos o bien del prisma mecánico, pueden ser eje o elementos donde sobresale de otros, sin importar de qué manera normal aplicarla en diferentes situaciones.

2.7.1. Torquímetro

Esta herramienta de exacta medición, sirve para una fuerza requerida por el fabricante de una máquina en sus accesorios mecánicos. Se usan donde los elementos o accesorios mecánicos necesitan una precisión específica. Es muy común localizarlos en los talleres automotrices, ya que a la culata compuesta por diez y seis tornillos necesita que cada uno de ellos tenga una fuerza específica, como también en otra diversidad de aplicaciones de equipo robusto y no robusto.

También se puede encontrar una gama en la cual se encuentran torquímetros para ensamble de equipos electrónicos o eléctricos que requieren de igual manera una fuerza en sus componentes, como lo son los tornillos y/o tuercas. También son utilizados por los fabricantes de equipo pesado en donde su uso por lo general es el de multiplicadores de torque para aplicar fuerza de torque en lugares de difícil acceso y de medidas demasiado pequeñas

Esta herramienta es llamada de alta precisión como los micrómetros o vernier porque son fabricados y ensamblados con exactitud y con componentes de la más alta calidad, o al menos los de marca, ya que también hay una gama de imitaciones y de marcas de mala calidad.

Figura 19.

Torquímetro



Nota. Torquímetro con raíz de ½". Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Figura 20.

Escala del torquímetro



Nota. Escala de golpe de 75 a 332 N-m. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

2.7.2. Multiplicador de torque

Se utilizan para aumentar la relación previamente requerida como valor de torque aplicado en la pieza mecánica.

2.7.3. Multi-torque

Es una herramienta portátil que se ajusta a un sistema de recopilación de datos que puede utilizarse para matracas y extensiones, también en cualquier otra combinación anteriormente mencionada.

2.7.4. Torquímetro electrónico

Es una herramienta de las más avanzadas en el mercado, y con ella se puede contar para varias funciones que incluyen los torques de exactitud en fijaciones críticas y arranque de calidad.

2.7.5. Torquímetro de carátula

Esta herramienta es muy práctica para la medición inicial y así saber de cuánta fuerza se contaba en dicho elemento mecánico.

2.7.6. Torquímetro de trueno

A esta herramienta se le gradúa inicialmente el torque requerido para después aplicarlo en el elemento mecánico, ya sea tornillo o tuerca.

2.7.7. Torquímetro pre-ajustado

Esta herramienta cuenta con la particularidad de que se puede graduar para realizar operaciones repetitivas, como por ejemplo en una línea de ensamblaje automotriz o una línea de ensamble de televisores.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron visitas de campo para el reconocimiento del filtro de agua, iniciando con la medición de torque en ocho tornillos compuestos por dos bridas y una válvula intermedia, además es de mencionar que son en total cuatro juegos de bridas, revisión y recambio de elementos según inspección visual del filtro de agua, inspección térmica con cámara *Flir one Pro* para teléfonos inteligentes en cada tornillo.

3.1. Visita de reconocimiento

Para esta fase se contó con el aval de la empresa interesada para la toma de datos y evaluación del equipo al área en la cual está instalado, el cual ocupa el lugar uno de la batería uno, como filtro de agua utilizado para la realización de la investigación.

El filtro de agua es un equipo de hierro negro, fabricado y montado en los años 1970 y 1980, anclado sobre cuatro bases de concreto y cuatro pernos por cada soporte que tiene el filtro de agua. Dicho filtro de agua está ubicado en la zona dos de la ciudad de Guatemala.

Figura 21.

Vista de ubicación de filtro de agua



Nota. La imagen muestra la ubicación del área en la que se encuentra el filtro de agua. Obtenido del Google Maps (2021). *Vista de ubicación de filtro de agua 2021* [Mapa]. (<https://www.google.com/maps/@14.6553432,-905146887,18.71z?entry=ttu>), consultado el 4 de octubre de 2021. De dominio público.

La recopilación de resultados más relevantes en sitio se muestra en las tablas siguientes de los sub temas adjuntados, como son los valores de los torques iniciales, las temperaturas, cantidad de tornillería en cada juego de bridas, la presión y flujo óptimo para su distribución general.

Alrededores del filtro de agua se encuentran dos reactores de agua cruda en los cuales se les agrega cal y floculantes además dos *bufer* en los cuales se almacena agua y cal que es bombeado a los filtros de agua, también a un costado de donde se ubica el filtro de agua se encuentra la sala de calderas, que a su vez por el mismo proceso desprenden hollín que muchas veces se precipita y cae en el filtro de agua provocando en la superficie de los tornillos corrosión superficial,

además del fenómeno anterior se tiene programado la limpieza del área cada dos días, este proceso es de limpiar con agua lo que también provoca el deterioro de los tornillos y elementos en común.

Se tiene identificado sin fechas exactas ni una programación como tal, el cambio de tornillos (medidos desde el piso 1.20 y 1.40 m), algunas veces se han puesto de hierro negro, otras de acero inoxidable y en ocasiones una mezcla de ambas, también se observó que hay tornillos que están en contra, la cabeza hexagonal de un lado y de ese mismo lado el otro tornillo tiene la tuerca.

3.2. Toma de datos y muestras en campo

Como ensayo no destructivo se utilizó en sitio la inspección visual, medición de las longitudes de los tornillos entre bridas, torque y termografía. Para la realización de esta fase se contó con el aval de la empresa/gerencia interesada para la visita en campo en el cual se midió el torque a las cuales se les realizó la termografía con la cámara *Flir One PRO*.

Figura 22.

Cámara Flir One Pro

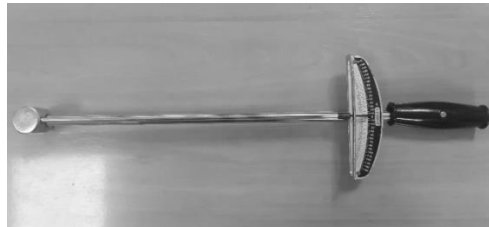


Nota. Cámara termográfica para uso en Celular con entrada USBC. Guatemala, Guatemala.
Elaboración propia.

En la visita se contó con personal mecánico de la empresa interesada, el procedimiento previamente se le explicó para tener una mejor referencia ya que no era necesario que el filtro de agua estuviera en uso. Se utilizó un torquímetro manual de aguja con raíz de media pulgada con copa estriada de profundidad de 24 milímetros con raíz de media pulgada.

Figura 23.

Torquímetro manual de aguja



Nota. Torquímetro con raíz de 1/2" de aguja para medir el torque inicial de los tornillos, Guatemala, Guatemala Elaboración propia.

Figura 24.

Copa de profundidad estriada



Nota. Copa de profundidad para el desmontaje de los tornillos. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Tabla 1.

Torque medio por brida

Brida	Media torque N-m
A	88.125
B	87.5
C	90
D	88.75

Nota. Se muestra el resumen de los datos obtenidos en cuanto a los torques, además de la inspección visual de la tornillería del filtro de agua. Elaboración propia, empleando Excel.

En la figura 2 se muestra la identificación de cada par de bridas en las cuales se realizó la medición de torque, de los elementos evaluados que fueron ocho cada uno con un diámetro de 16 milímetros M16, corresponden a los mismos tornillos de cabeza hexagonal.

3.3. Ensayos no destructivo (END)

Con los elementos identificados en la tabla I se practicó una inspección no destructiva en los ocho tornillos, realizando para cada uno de ellos lo siguiente:

- Limpieza del área, longitud de tornillo, cabeza del tornillo y tuerca hexagonal.
- Medición de diámetro de tornillos, longitud de tuerca, longitud de cabeza hexagonal del tornillo, paso de hilos por milímetro.
- Toma de termografía en cada punto en el que se encontraba cada tornillo.
- Inspección visual, toma de fotografías de la superficie de los tornillos en condiciones de operación.

- Toma de torque inicial.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Posteriormente a la evaluación técnica para la inspección y monitoreo de estado de condición de la tornillería en función de lo presente en el mercado además de la revisión de la documentación como historial del filtro de agua, se presenta la información recopilada para generar el monitoreo respectivo.

4.1. Termografía

En la visita de campo aun estando montada la tornillería, se procedió a realizar el ensayo no destructivo de termografía, la tabla # 2 muestra un resumen de un juego de bridas compuesta por ocho tornillos.

Tabla 2.

Juego de tornillería para la termografía

No. de elemento seleccionado	Temperatura (C °)
1	24.4
2	25.1
3	25.6
4	25.8
5	24.6
6	24.4
7	25.4
8	25.6

Nota. Detalle del número de tornillos analizados y el grado de temperatura de cada tornillo antes del cambio, Elaboración propia, realizado con Excel.

En cada elemento seleccionado se le realizó una primera inspección de su temperatura y torque, y seguidamente la misma termografía solo que ahora con el cambio del tornillo de hierro negro con rosca corrida y de acero inoxidable con las mismas dimensiones que el de hierro negro. La tabla 3 muestra la temperatura en cada elemento bajo las nuevas condiciones posterior al cambio:

Tabla 3.

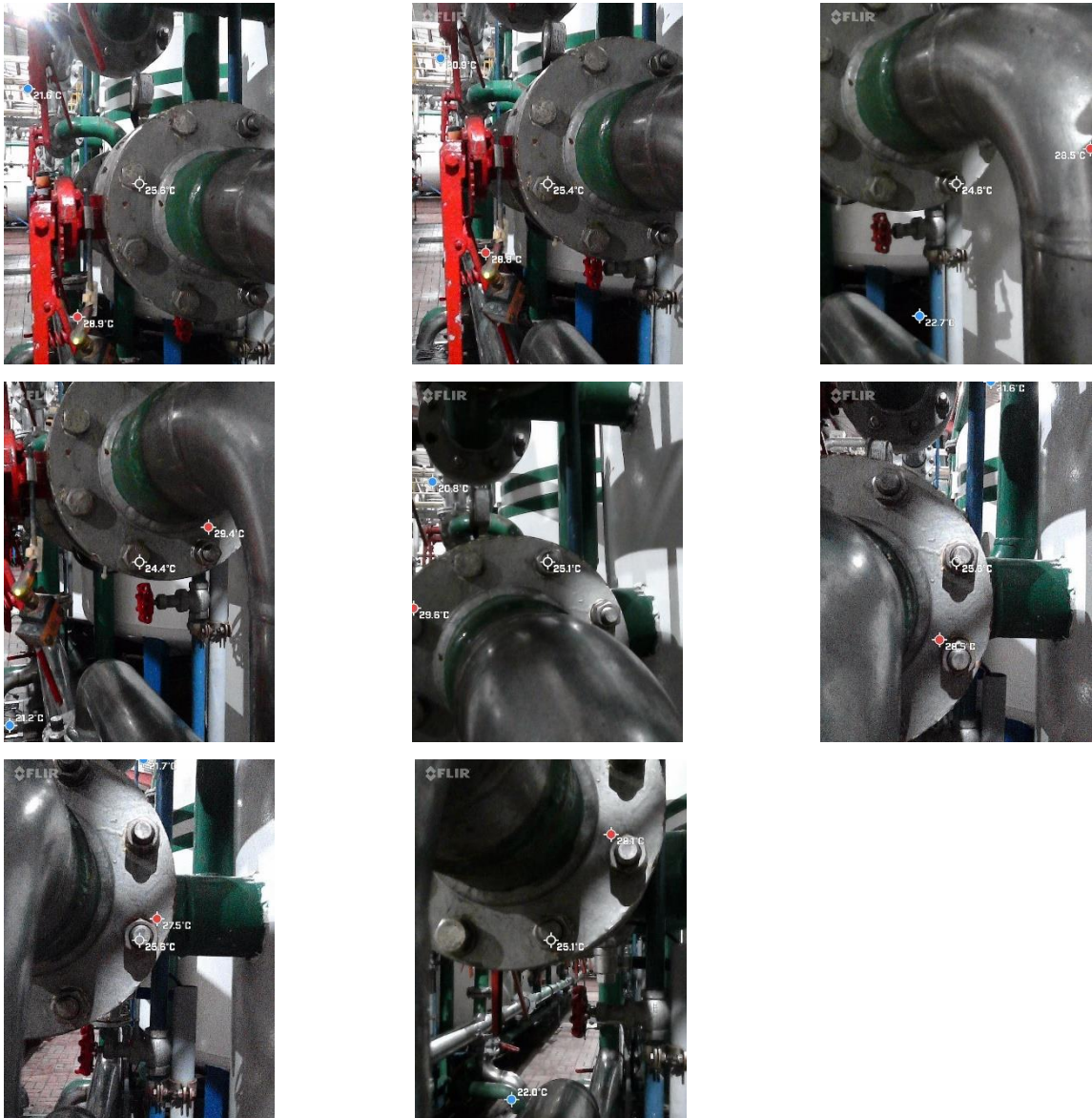
Juego de tornillería después del cambio

No. de elemento seleccionado	Temperatura (C °)
1	24.7
2	25.2
3	25.1
4	25.2
5	24.9
6	24.2
7	25.5
8	25.1

Nota. Detalle del número de tornillos analizados y el grado de temperatura de cada tornillo después del cambio, Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 25.

Termografía en cada elemento nuevo

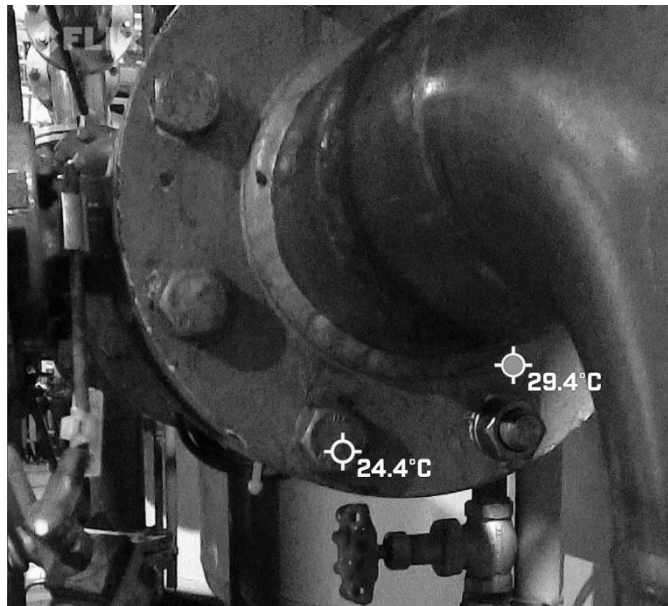


Nota. Toma de la temperatura de los 8 tornillos en un juego de bridas. Guatemala, Guatemala.
Elaboración propia.

La figura 26 muestra las primeras temperaturas en uno de los ocho tornillos que estaban instalados en las bridas. Las mismas se encuentran montadas bajo las condiciones de operación del filtro de agua, también se muestra un punto alterno siempre al contorno de línea, otra lectura de termografía solo que con una diferencia mayor.

Figura 26.

Primera lectura de termografía de tornillos



Nota. Temperatura del primero tornillo, mostrando la temperatura más alta a un costado. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Las figuras 27 y 29 muestran las vistas de los tornillos al momento del desmontaje, la primera muestra el tornillo al momento del desmontaje y la segunda muestra su superficie sucia y con desgaste, aparentemente no sufrió un daño considerable en su superficie.

Figura 27.

Imagen de los tornillos usados sucio



Nota. Estado en que se encontró uno de los tornillos. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia,

Las piezas que se evaluaron tenían inicialmente 95 N-m, 70 N-m, 55 N-m, 70 N-m, 85 N-m, 110 N-m, 110 N-m y 110 N-m. Los mismos presentaban corrosión galvánica. Superficialmente presentaban pintura deteriorada, agua y se evidenciaba deterioro en su rosca como varios golpes superficiales por la reinstalación de los mismos.

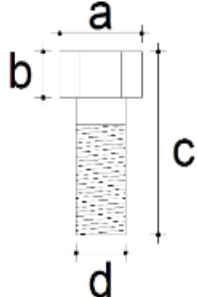
Figura 28.

Grasa Jet-Lube NSF H1 MP Silicone



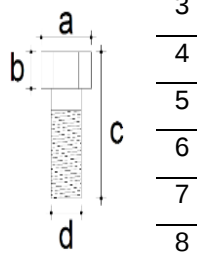
Nota. Grasa recomendada para lubricación y prevenir oxidación. Guatemala, Guatemala.
Elaboración propia,

Es una grasa de silicona grado alimenticio resistente al agua, no tóxico de amplio rango de temperatura, presentando una pasta traslúcida altamente resistente a la oxidación y al corte, puede usarse como un agente de liberación y lubricante para piezas de plástico y metal.

Tabla 4.*Valor nominal del tornillo*


No.	a	b	c	d
1	24	10	120	16
2	24	10	120	16
3	24	10	120	16
4	24	10	120	16
5	24	10	120	16
6	24	10	120	16
7	24	10	120	16
8	24	10	120	16

Nota. Valores iniciales que debería medir cada tornillo, Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 5.*Valores obtenidos en la medición de los tornillos*


No	a	b	c	d	Observaciones
1	23.8	9.9	121	15.8	Golpes y desgaste en superficie
2	23.9	10.1	121.1	15.6	Corrosión galvánica y golpes
3	23.5	10	120.3	15.9	Golpes y corrosión, galvánica
4	23.9	10.2	120.1	16.0	Golpes y pintura deteriorada
5	23.9	10	119.8	15.8	Golpes y desgaste en superficie
6	23.8	10.2	120	15.7	Corrosión escasa en la superficie
7	23.8	10	120.4	15.9	Corrosión y desgaste en la rosca
8	23.9	9.9	120.1	15.9	Golpes y desgaste en la rosca

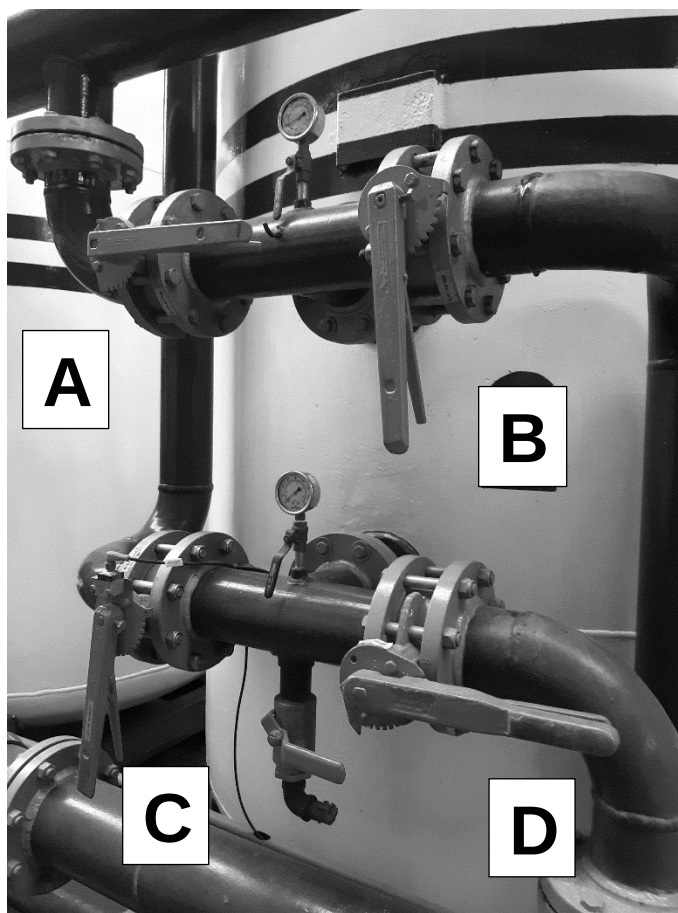
Nota. Valores medidos en sitio al momento del desmontaje de los tornillos, Elaboración propia, realizado con Excel.

4.2. Ensayo de torque

De la obtención de la medición de los torques recopilados en sitio durante la visita, se agrupó los datos con análisis estadístico para los 4 juegos de bridas, seleccionadas por A, B, C y D, los cuales consta de ocho tornillos.

Figura 29.

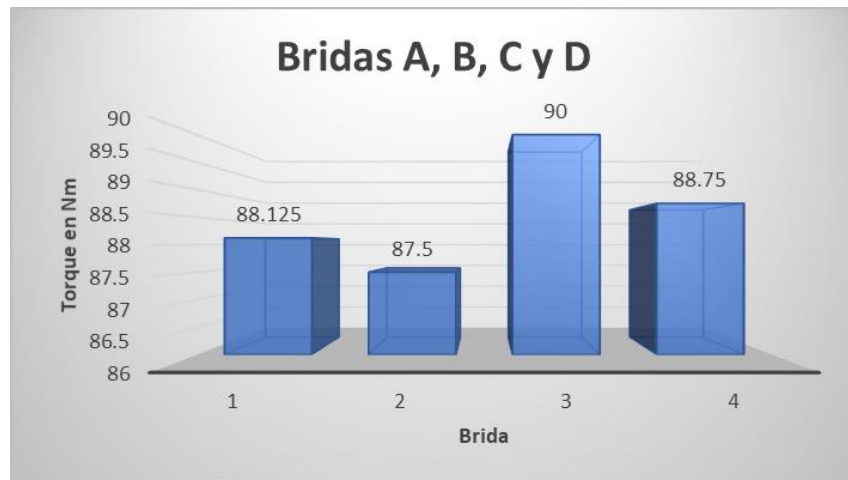
Juego de bridas seleccionas A, B, C y D



Nota. Señalización de los juegos de bridas seleccionadas. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Figura 30.

Torque de bridas en juegos A, B, C y D



Nota. Descripción de los valores de torque en cada juego de bridas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Conforme el diámetro del tornillo se realizó una clasificación en un grupo para el tornillo estudiado: M16X2X120 para el juego de bridas A

Tabla 6.

información de diámetro del tornillo en juego de bridas A

Diámetro (mm)	Cantidad	Porcentaje	Media (N-m)	Torque	Desviación Estándar
16	8	100,0 %	88.125		38.77
Total	8	100,0 %	88.125		

Nota. Descripción de torque medio en juego de bridas A. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 31.

Juegos de bridas seleccionada A



Nota. Juego de bridas seleccionado A. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Figura 32.

Torque inicial en brida A



Nota. Torque en cada tornillo analizado en brida A. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 33.

Torque recomendado brida A



Nota. Descripción del torque en gráfica de barras de 115 N-m. Elaboración propia, realizado con Excel.

Conforme el diámetro del tornillo se realizó una clasificación en un grupo para el tornillo estudiado: M16X2X120 para el juego de bridas B.

Tabla 7.

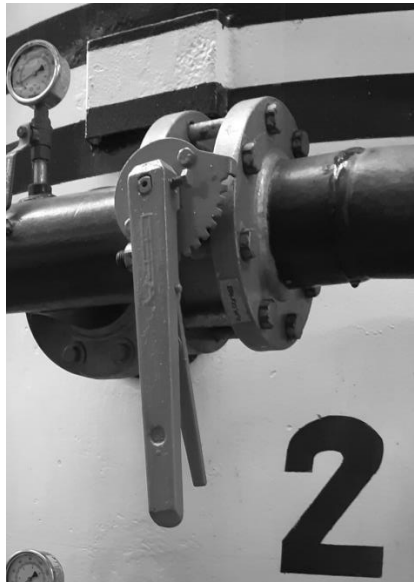
Información de diámetro del tornillo en juego de bridas B

Diámetro (mm)	Cantidad	Porcentaje	Media (N-m)	Torque	Desviación Estándar
16	8	100,0 %	76.75		18.99
Total	8	100,0 %	76.75		

Nota. Descripción de torque medio en juego de bridas B. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 34.

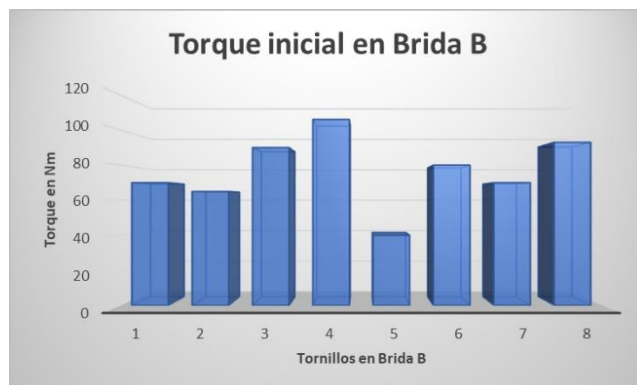
Juego de bridas seleccionada B



Nota. Juego de bridas seleccionado B. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Figura 35.

Torque inicial en brida B



Nota. Descripción de torque medio en juego de bridas B. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 36.

Torque recomendado brida B



Nota. Descripción del torque en gráfica de barras de 115 N-m. Elaboración propia, realizado con Excel.

Conforme el diámetro del tornillo se realizó una clasificación en un grupo para el tornillo estudiado: M16X2X120 para el juego de bridas C.

Tabla 8.

Información de diámetro del tornillo en juego de bridas C

Diámetro (mm)	Cantidad	Porcentaje	Media (N-m)	Torque	Desviación Estándar
16	8	100,0 %	70.12		31.50
Total	8	100,0 %	70.12		

Nota. Descripción de torque medio en juego de bridas C. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 37.

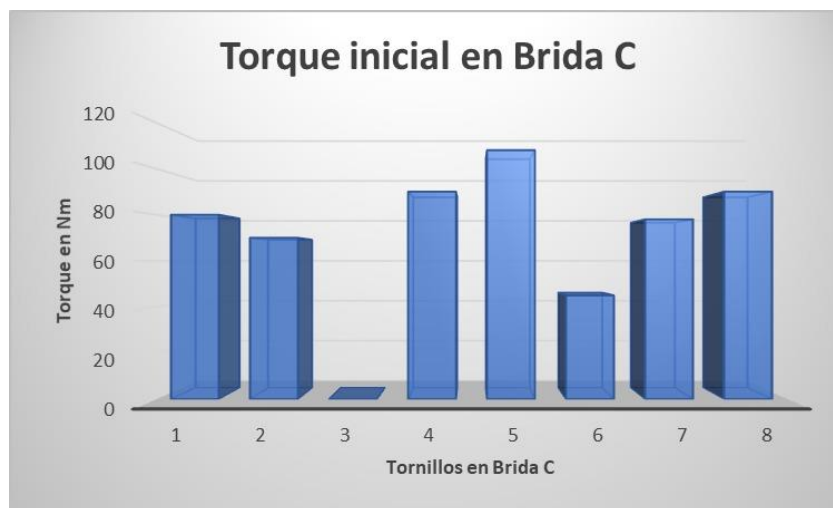
Juego de bridas seleccionada C



Nota. Juego de bridas seleccionado C. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Figura 38.

Torque inicial brida C



Nota. Descripción de torque medio en juego de bridas C, Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 39.

Torque recomendado brida C



Nota. Descripción del torque en gráfica de barras de 115 N-m. Elaboración propia, realizado con Excel.

Conforme el diámetro del tornillo se realizó una clasificación en un grupo para el tornillo estudiado: M16X2X120 para el juego de bridas D

Tabla 9.

Información de diámetro del tornillo en juego de bridas D

Diámetro (mm)	Cantidad	Porcentaje	Media (N-m)	Torque	Desviación Estándar
16	8	100,0 %	84.12		16.03
Total	8	100,0 %	84.12		

Nota. Descripción de torque medio en juego de bridas D. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 40.

Juego de bridas seleccionada D



Nota. Juego de bridas seleccionado C. Guatemala, Guatemala. Elaboración propia.

Figura 41.

Torque inicial brida D



Nota. Descripción de torque medio en juego de bridas D. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 42.

Torque recomendado brida D



Nota. Descripción del torque en gráfica de barras de 115 N-m. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la siguiente gráfica se hace el comparativo de los torques de los tornillos como media en N-m de cada juego de bridas: A, B, C y D.

Tabla 10.

Juego de bridas con media N-m y porcentaje

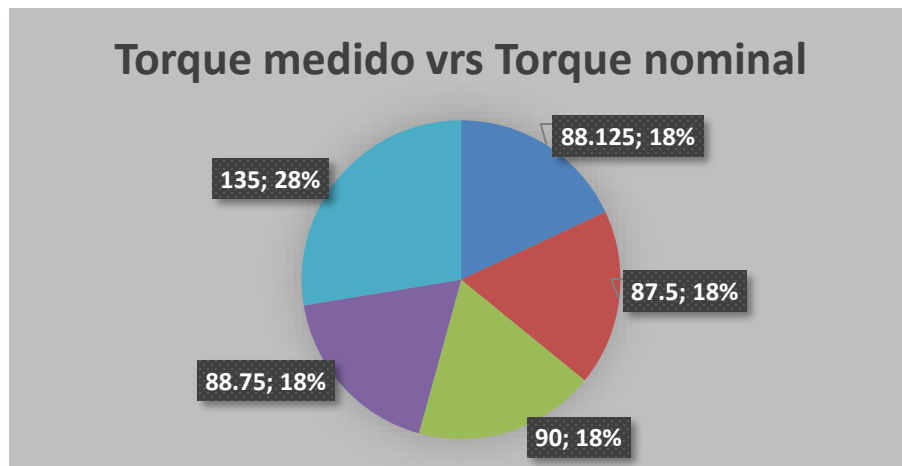
Juego de bridas	Media N-m	Porcentaje
A	88.125	18 %
B	76.75	18 %
C	70.12	18 %
D	84.12	18 %
Torque nominal	115	28 %
Total		100.0 %

Nota. Descripción del torque en los 4 juegos de bridas A, B, C y D. Elaboración propia, realizado con Excel.

Como referencia se tiene en la gráfica circular el torque nominal de 135 N-m, con sus porcentajes de apriete por juego de brida.

Figura 43.

Gráfica circular para tornillo M16X2X120



Nota. Descripción en gráfica circular del torque medido en cada brida. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.3. Riesgos de operación

Para el presente trabajo de investigación, el riesgo que se puede describir es el que en plena operación un tornillo, tuerca o roldana puedan quebrarse al momento de aplicar el torque requerido o bien para cambiar el mismo.

Conforme se realizó el desmontaje y montaje de los tornillos el riesgo identificado es que por una mala aplicación del mecánico en cuanto a la fuerza y por lo húmedo del área éste pueda resbalarse y sufrir un golpe.

Previamente a lo descrito, se comunica con el operador para saber si el filtro de agua no tiene presión y también se realiza una inspección visual del área en la que se realizará el monitoreo.

Propuesta para el monitoreo de estado de condición y sustitución de tornillería utilizada en uniones para línea de ingreso y salida en un filtro de agua

La información obtenida por el filtro de agua de cada juego de bridas en las cuales están los tornillos, por medio de una orden de trabajo establecida, con la finalidad de crear un dato estadístico para generar tendencias, puede ser importante para establecer así un periodo considerable en cuanto a la vida útil de la tornillería en general colocada en las bridas, por tal razón se sugiere el monitoreo de estado de condición recolectando información de torque, inspección visual y así accionar en el cambio de la tornillería que así lo requiera.

4.4. Precio estimado

La tabla 11 muestra el resumen de precios estimados de los elementos cambiados por los que se tenían al momento del monitoreo, cabe mencionar que se instalaron tornillos de acero inoxidable serie 70 con sus tuercas y roldanas del mismo material en mención. El desglose de los precios no incluye el pago del personal técnico que realizará la investigación.

Tabla 11.*Precio estimado*

RESUMEN DE PRECIO		
No.	ELEMENTO	PRECIO
1	Tornillo	Q 120.00
2	Tuerca	Q 35.00
3	Roldana	Q 6.50
	TOTAL	Q 161.50

Nota. Detalle del presupuesto para la realización del cambio de un solo tornillo en el proyecto de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para el monitoreo de estado de condición que en esta ocasión se realizó al filtro de agua se contó con la autorización de cambiar todos, siendo un total de 32 tornillos completos, haciendo un gasto total de un solo filtro de Q 5,168.00 (cinco mil ciento sesenta y ocho quetzales exactos), dicho gasto se toma como base para futuros mantenimientos que contemple el cambio total de tornillería, justificando la continuidad en la operación del filtro de agua, y así alargado su tiempo de vida como equipo de proceso.

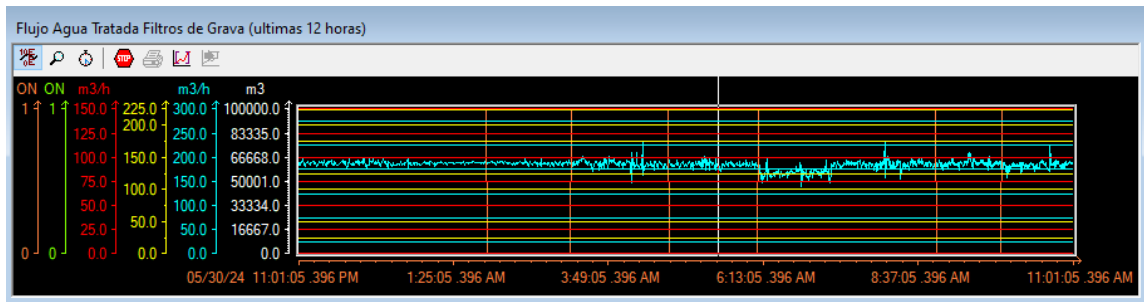
En la tabla 4 están los valores nominales, en la tabla 5 se encuentran los valores reales medidos en sitio de la tornillería, comparando medidas se observa que la diferencia no varía de 10 décimas de milímetro, se realizó el cambio de tornillería de hierro galvanizado a acero inoxidable ya que las condiciones de este último presentan mayor resistencia a la corrosión y al desgaste, además que resisten a la reacción del hollín.

4.5. Eficiencia de flujo de agua en el filtro

Después de realizados los cambios o ajustes pertinentes en la tornillería del filtro se observa gráficamente una estabilidad en flujo de agua.

Figura 44.

Gráfica de flujo constante



Nota. En esta gráfica se observa un flujo constante de agua tratada ya en operación. Elaboración propia.

Figura 45.

Set point, valor ideal

Flujo Agua Tratada Filtros de Grava (ultimas 12 horas)	
Trend	Value
Agitador Reactor 1	0
Agitador Reactor 2	1
Flujo_Vertedero	0.0
Conductividad	470.0
Flujo Agua Tratada	180.000000
Produccion Agua Tratada	126805.000000

Nota. Valor ideal de operación esperado para la operación en áreas circundantes. Elaboración propia.

.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el desarrollo de la investigación, los resultados presentados en cada una de las fases, se obtienen datos para ser tomados en consideración para la elaboración del procedimiento propuesto además que se denotan limitantes de los alcances de la investigación.

5.1. Fase de reconocimiento

Durante la visita de reconocimiento se evidenció en el filtro de agua analizado:

- La herramienta propuesta valida la información para el reconocimiento del área donde se desea realizar el trabajo. Se consideran los equipos cercanos, así como áreas vecinas con más equipo, además del medio circundante que lo afecte.
- En el estudio, se evidencia un deterioro no radical pero que muestra signos de desgaste como signos de corrosión, debido a que el área presenta en diferentes puntos el uso de agua, ya sea para limpiar o lavar algunos equipos aledaños, haciendo que le caiga a los tornillos analizados.
- Se observa que el filtro de agua a pesar de tener más de 30 años de estar montado y en operación no ha tenido serios cambios. Y los equipos aledaños además del medio circundante le favorece estar bajo techo y que cuando se le cambia la grava a este se le elimina la pintura epóxica por nueva aplicando en seco un espesor de película de 8 a 10 milésimas.

- El filtro de agua se encuentra localizado en un área específica de la cervecería, haciendo que su localización y llegada al punto sea de fácil acceso. Esto a la larga representa una gran ventaja ya que se puede ingresar desde diferentes puntos para realizar el monitoreo de estado de condición.
- El filtro de agua sirve, tal cual lo dice su nombre, para filtrar agua por medio de 4 capas de grava de diferente medida y una última capa de arena sílice, esto conforma las capas por las cuales pasa el agua cruda y en las mismas se quedan sólidos y minerales que no se desea para el proceso de elaboración.

5.2. Correlación con antecedentes

Según Juliá (2019), realizó ensayos experimentales sobre uniones atornilladas para analizar el efecto que tienen sobre la vida a fatiga el hecho de desplazar la rosca una vez completada la mitad de la vida de la unión modificando entre si el punto crítico entre roscas. En el trabajo realizado, se utilizó una metodología discreta, mediante el uso de un torquímetro de aguja. Aunque para Juliá todo ensayo experimental requiere una gran cantidad de operaciones previas debidas a sucesos inesperados que suelen ocurrir, como el que la totalidad de los tornillos estén en diferentes direcciones las cabezas hexagonales y como que todos estén en una misma dirección o que sean de rosca corrida o no, como de también de qué estén fabricados, hierro colado, acero inoxidable o hierro galvanizado.

En su proyecto Macías (2017), pretendió abordar el problema económico que surge al cambiar todos los tornillos de un equipo en especial debido a la rotura de alguno de ellos o de todos según el análisis. Estudió la vida residual de

una pala para aerogeneradores en función de su operación, los resultados que obtuvo le permitieron conocer el estado aproximado en que se encontraban en su momento, y con ello tener la posibilidad de cambiarlos o no según el resultado. Para el trabajo de investigación algunos también a primera inspección visual y de líquidos penetrantes no se les veía mayor deterioro, se podían utilizar, sin embargo se contó con el aval de la cervecería de poder realizar el cambio de todos los tornillos del filtro de agua completamente por unos de acero inoxidable serie 70 grado 6.

Para Domínguez, Wojcik y Cruz (2006) dice que generalmente la medición de torque se determina por medio de un laboratorio utilizando técnicas y métodos diferentes, dependiendo del tipo de prueba y resultado que se puedan obtener, pero con el pasar del tiempo estos métodos han ido evolucionando y han dado paso a nuevas tecnologías. Aunque para Domínguez existen diversos métodos de medición como lo son: la comparación de ensambles, cálculos matemáticos, medición de elongación, determinación de falla en el tornillo y la realización de falla y apriete, en la investigación se utilizó el método del torque por medio de agua, ya que éste a pesar de ser un instrumento ya poco utilizado por su poca exactitud, para el desarrollo de esta investigación aportó una serie de datos con los cuales se pudo realizar tablas y gráficos estadísticos.

Realizó Juliá (2019), un análisis de convergencia en el cual se observa que el punto en el cual la tuerca da su máxima presión, empieza a haber unas deformaciones en la parte más profunda de la rosca del tornillo, pero es muy puntual, ya que en el resto de la rosca no se presenta ninguna falla a considerar a menos que se haya utilizado con una mayor o menor longitud. En la presente investigación no se realizó dicho análisis, pero es relevante mencionarlo o al mismo tiempo mencionar que se pueda realizar un análisis más profundo para

verificar si no se presentan pequeñas fisuras que puedan perder la geometría de la rosca.

En su representación de roscas, Del Águila (2018), menciona que dependiendo la representación de la rosca esta puede tener dos aplicaciones, ya sea como elemento de sujeción o bien como elemento de transformación de movimiento. En la investigación por ser un filtro de agua el equipo y que está fijado al piso aplicaría la primera denominación que hace Del Águila, elemento de sujeción y que aplica a los tornillos utilizados. Además Del Águila menciona que hoy en día todos los tornillos están normalizados, lo que es una ventaja porque nos permite sustituirlos.

CONCLUSIONES

1. Los parámetros de la tornillería del juego de válvulas utilizado para la filtración de agua cruda del proceso de producción en una industria cervecera son diámetro 16 mm, longitud 120 mm, paso 2 mm, de fabricación AISI 304 acero inoxidable. La condición clave de operación es la presión, la cual es 2.5 bar $\pm$ 0.3. El filtro trabaja durante 8 horas continuas y después se somete a un retro lavado de 10 minutos. En la medición de campo se identificó torque medio de 88.25 N-m en el juego de bridas A; un torque medio de 76.75 N-m en el juego de bridas B; un torque medio de 70.12 N-m en el juego de bridas C; un torque medio de 84.12 N-m en el juego de bridas D. Ninguno de los torques en los juegos de bridas están en un rango aceptable conforme la norma DIN 272.
2. Se enlistaron los elementos mecánicos para montaje y desmontaje, la existencia de piezas de tornillería, uso de herramienta copa de profundidad, maneral con raíz de $\frac{1}{2}$ ", torquímetro de golpe, llave cola corona de 24 mm y matraca con raíz de $\frac{1}{2}$ ".
3. Lanzar una orden de trabajo por medio SAP, asignar el personal interno, comunicar al operario del área que se intervendrá el equipo, verificar que el filtro no esté en operación, proceder con la inspección visual, verificar que cumpla con los 115 N-m como valor nominal y por último validar si es necesario el cambio del elemento.

4. El procedimiento para el monitoreo del estado de condición de la tornillería fue considerado en la investigación partiendo del medio circundante como primera etapa; inspección visual de los ocho elementos que componen cada juego de brida que fueron factibles a evaluar, tomando en cuenta la medición de torque, en el que se verificó su valor inicial y sustitución del elemento y en segunda etapa evaluación con END.

RECOMENDACIONES

1. Considerar en las condiciones de tornillería los puntos y fuentes de corrosión que pudieran existir en el filtro de agua. Los filtros de agua tienen una presión de operación y limpiezas sin control de suministro de agua y en el peor de los casos alguna fuga o grieta que presenten los demás equipos, y las piezas se ven sometidas a un ambiente propenso a corrosión. La edad de los filtros de agua también es un factor clave, ya que se han sometido a esfuerzos que no se detectan con END, por lo que puede considerarse la realización de un ensayo de tensión en las piezas. Considerar periodos de lubricación en la orden de trabajo con grasa grado alimenticio Jet Lube mp silicone Grease NSF H1, ya que puede existir corrosión galvánica en los puntos de unión entre las bridas y piezas de tornillería.
2. Realizar las inspecciones de condición de torque, estado superficial y estado interno de piezas de tornillería en los cuatro juegos de bridas que compone el filtro de agua durante los periodos de paro de servicio programado o incluso en operación. Para dicha inspección se debe utilizar herramienta manual y tornillería completa en acero inoxidable 304 para extender su vida útil.
3. Someter a consideración la validación y reestructuración del procedimiento planteado y de la orden de trabajo para la recopilación de información. La misma puede cambiarse hacia un formato de tipo virtual para generar gráficas ligadas al ingreso de información en forma automática, y con ello establecer los alertivos necesarios para validar la

frecuencia de inspección, apriete y/o sustitución de piezas de tornillería cuando el estado de condición lo amerite.

4. Realizar la medición mediante diferenciales de potencia eléctrica, y tener gráficas continuas del torque en las piezas de tornillería. Sin embargo, en cada realización de visita de campo se debe validar las condiciones climatológicas y de medio circundante para establecer posibles cambios en la tipología de ambiente que influyan en las piezas. El procedimiento y sus componentes son susceptibles de modificarse conforme la experiencia lo enmarque o requiera. En la revisión de literatura se identificó que la medición puede ser continua. El ejercicio elaborado fue en forma discreta.

REFERENCIAS

- De los Ángeles, C. (2018). *Restauración y pruebas de máquina de ensayo de torsión y Torsiómetro Tecquipment No. SM1/2 del laboratorio de Metales de la Facultad de Tecnología de la Industria de la Universidad Nacional de Ingeniería*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería de Managua de Nicaragua]. Archivo digital. <http://ribuni.uni.edu.ni/3184/1/94592.pdf>
- Del Águila, R. (8 de octubre de 2018). *Representación de roscas*. Ramon del Aguila. http://dibujo.ramondelaquila.com/?page_id=2699
- Domínguez, A., Wojcik, J., y Cruz, M. (2006). Medición de la fuerza de apriete en un ensamble, utilizando tornillo autorroscante. *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, 2(2), 53-62.
- Fuentes, F. (1982). *Ensayos Metálicos en Metales* [Tesis de maestría, Universidad de Ingeniería de México]. Archivo digital. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/5993>
- Guerra, Y., Ordoñez, U. y González, V. (2019). Análisis de la falla de pernos de fijación de las zapatas polares de un motogenerador. *IM Ingeniería Mecánica*, 22(3), 156-160.
- Juliá, J. (2019). *Estudio experimental de la vida a fatiga en uniones atornilladas*. Alfaomega. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/71485/fichero/TFM-1485+JULI%C3%81+LERMA.pdf>

Macías, Á. (2017). *Procedimiento para la determinación de la vida residual de tornillos en aerogeneradores*. [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla de España]. Archivo digital. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91509/fichero/%C3%81lvaro+Romero+Mac%C3%ADas.pdf>

Sánchez R., León, A., y Collazos P. (2001). Aplicación de Técnicas Experimentales para Determinación de Fallas en Juntas por Tornillo. *Ingeniería y Competitividad*, 3(2), 15-23.

Soto, G., Cruz, J., Armenta, A., Hernández, L. Ruiz, P. Moreno, N., y Luna, A. (2017). Análisis de envejecimiento de los pernos de cierre de la tapa de una vasija de un reactor nuclear tipo BWR. *Científica*, 21(1), 35-41.

Trujillo, G. (2003). *Monitoreo de Condición - Una Estrategia de Integración de tecnologías*. Noria Latín America .

Vinnakota, S. (2006). *Estructura de Acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill.

APÉNDICE

Apéndice 1.

Matriz de consistencia

MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA		
Objetivo general	Conclusión	Recomendación
Desarrollar un procedimiento para el monitoreo de estado de condición de tornillería de unión de un filtro de agua para una industria cervecera.	Se desarrolló un procedimiento para el monitoreo de estado de condición de tornillería que se utiliza en la unión de bridas para un filtro de agua, el cual tiene como finalidad eliminar el agua cruda por medio de capas de grava y con ello tener agua suave para diferentes procesos. Para el procedimiento se incluye la transmisión por parte de los encargados hacia los operadores y técnicos que tendrán asignada la orden de trabajo, además contarán con la herramienta adecuada para realizar la orden de trabajo para la actividad. El procedimiento se sometió a experimentación y validación durante el desarrollo del trabajo, generando así la línea base inicial para realizar el monitoreo.	En la revisión de literatura se identificó que la medición puede ser continua. El ejercicio elaborado fue en forma discreta. Se puede realizar la medición mediante diferenciales de potencia eléctrica, y tener gráficas continuas del torque en las piezas de tornillería. Sin embargo, en cada realización de visita de campo se debe validar las condiciones climatológicas y de medio circundante para establecer posibles cambios en la tipología de ambiente que influyan en las piezas. El procedimiento y sus componentes son susceptibles de modificarse conforme la experiencia lo enmarque o requiera.

Continuación del Apéndice 1

Objetivo específico	Conclusión	Recomendación
1 Establecer las condiciones de las piezas de tornillería de unión de bridas de un filtro de agua a la fecha de investigación.	Las condiciones clave de las piezas de tornillería son torque, estado superficial, estado interno y análisis de medio circundante. Al inicio el torque promedio de los tornillos entre bridas tenía 88.6 N-m. El 40 % de los tornillos mostraban corrosión, además de golpes por haberlos utilizados más de una vez. Se sustituyeron todas piezas, a las cuales se les realizó END y termografía al inicio; no se encontró fisuras internas superficiales. El filtro de agua estudiado esta expuesto a humedad y al hollín que generan las calderas aledañas.	Considerar en las condiciones de tornillería los puntos y fuentes de corrosión que pudieren existir en el filtro de agua. Los filtros de agua tienen una presión de operación y limpiezas sin control de suministro de agua y en el peor de los casos a alguna fuga o grito que presenten los demás equipos, y las piezas se ven sometidas a un ambiente propenso a corrosión. La edad de los filtros de agua también es un factor clave, ya que se han sometido a esfuerzos que no se detectan con END, por lo que puede considerarse la realización de un ensayo de tensión en las piezas. Considerar periodos de lubricación, ya que puede existir corrosión galvánica en los puntos de unión entre las bridas y piezas de tornillería.

Continuación del Apéndice 1

Objetivo específico	Conclusión	Recomendación
Identificar los parámetros para poder realizar una inspección, es necesario que el filtro de agua no esté en operación ya que este de tornillería en trabaja a una presión de 2.5 bar. 2 un filtro de agua. Además, se debe contar con piezas bajo parámetros de tornillería para sustitución y de trabajo de utilizar un torquímetro. El trabajo se realiza a nivel del suelo por lo que es recomendable que el piso no esté mojado para que no se resbale y pueda ocasionar un accidente.	Se determinaron los parámetros de ajuste de toda la tornillería en un filtro de agua. Se identificó qué para poder realizar una inspección, es necesario que el filtro de agua no esté en operación ya que este de tornillería en trabaja a una presión de 2.5 bar. Además, se debe contar con piezas bajo parámetros de tornillería para sustitución y de trabajo de utilizar un torquímetro. El trabajo se realiza a nivel del suelo por lo que es recomendable que el piso no esté mojado para que no se resbale y pueda ocasionar un accidente.	Realizar las inspecciones de condición de torque, estado superficial y estado interno de piezas de tornillería en los cuatro juegos de bridas que compone el filtro de agua durante los periodos de paro de servicio programado o incluso en operación. Durante el programa de mantenimiento de las baterías de los filtros, se puede incluir el monitoreo de tornillería, y dejarlo como un complemento anexo del mismo. Además, se podría incluir la inspección de superficie e interna de la tubería de entrada y salida del agua en los filtros.

Continuación del Apéndice 1

Objetivo específico	Conclusión	Recomendación
3 Establecer los parámetros, evaluaciones y recopilación de información que se debe llevar a cabo para el monitoreo de estado de condición de las piezas de tornillería de unión de bridas de un filtro de agua para una industria cervecera.	Para realizar el monitoreo de estado de condición del filtro de agua se deben considerar los parámetros de estado de operación, consideraciones de trabajo a nivel de piso, existencia de piezas de tornillería para sustitución, uso de herramienta, copa de profundidad y maneral. La evaluación se debe realizar en el torque del tornillo montado con un torquímetro de aguja y registrar los datos en la orden de trabajo. La evaluación se debe realizar cada 6 meses y registrar tendencias en una base de datos que estará en la orden de trabajo. Si presentara golpes en la rosca o algún indicio de corrosión, después de una evaluación se debe considerar si con una limpieza superficial aún funciona o en todo caso realizar el cambio.	Someter a consideración la validación y reestructuración del procedimiento planteado y de la orden de trabajo para la recopilación de información. La misma puede cambiarse hacia un formato de tipo virtual para generar gráficas ligadas al ingreso de información en forma automática, y con ello establecer las notificaciones necesarias para validar la frecuencia de inspección, apriete y/o sustitución de piezas de tornillería cuando el estado de condición lo amerite.

Nota. Monitoreo de estado de condición de tornillería de sellado de compuerta y bridas en un filtro de tratamiento de agua en una industria cervecera. Elaboración propia, realizado con Word.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.445.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN DE TORNILLERÍA DE SELLADO DE COMPUERTA Y BRIDAS EN UN FILTRO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA**, presentado por: **Hamilton Nicolas Cos Chanquin** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Autorización de entrega de trabajo de graduación
Fecha: 27/08/2024 08:40:36
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, agosto de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 445 CUI: 2301347690108

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad