



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE COMPUESTO ANAERÓBICO EN LOS ELEMENTOS ROSCADOS DE UN REDUCTOR PLANETARIO DE DOS ETAPAS, DE MOLINO VERTICAL EN LA PLANTA SAN MIGUEL DE CEMENTOS PROGRESO, A TRAVÉS DE LA EJECUCIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO BASADO EN LAS NORMAS ASTM 5363-03, ISO 10964-1, ISO 10123, ASTM 4562 Y UN ANÁLISIS FMEA**

**Juan Carlos Davi Jiménez**

Asesorado por el MSc. Ing. Carlos Salvador Wong Davi

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE COMPUESTO ANAERÓBICO EN LOS ELEMENTOS ROSCADOS DE UN REDUCTOR PLANETARIO DE DOS ETAPAS, DE MOLINO VERTICAL EN LA PLANTA SAN MIGUEL DE CEMENTOS PROGRESO, A TRAVÉS DE LA EJECUCIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO BASADO EN LAS NORMAS ASTM 5363-03, ISO 10964-1, ISO 10123, ASTM 4562 Y UN ANÁLISIS FMEA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN CARLOS DAVI JIMÉNEZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. CARLOS SALVADOR WONG DAVI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Miguel Coy
EXAMINADOR	Ing. Alexander Serovic Folgar
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alay
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

## **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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE COMPUESTO ANAERÓBICO EN LOS ELEMENTOS ROSCADOS DE UN REDUCTOR PLANETARIO DE DOS ETAPAS, DE MOLINO VERTICAL EN LA PLANTA SAN MIGUEL DE CEMENTOS PROGRESO, A TRAVÉS DE LA EJECUCIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO BASADO EN LAS NORMAS ASTM 5363-03, ISO 10964-1, ISO 10123, ASTM 4562 Y UN ANÁLISIS FMEA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha noviembre de 2015.

**Juan Carlos Davi Jiménez**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



AGS-MIMPP-0001-2016

Guatemala, 25 de enero de 2016.

Director:  
Ing. Juan José Peralta Dardón  
Escuela de Ingeniería Industrial  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Juan Carlos Davi Jiménez** con carné número **8612788**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría de Ingeniería en Mantenimiento.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Asesor (a)

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
COLEGIADO. NO. 561

Msc. Inga. Alba Maritza Guerrero Espinola  
Coordinadora de Área  
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO DE LOPEZ  
INGENIERA INDUSTRIAL  
COLEGIADA No. 4611

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado

ESCUELA DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

Cc: archivo  
/ec



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE ASEGURAMIENTO DEL COMPUESTO ANAERÓBICO EN LOS ELEMENTOS ROSCADOS DE UN REDUCTOR PLANETARIO DE DOS ETAPAS, DE MOLINO VERTICAL EN LA PLANTA SAN MIGUEL DE CEMENTOS PROGRESO, A TRAVÉS DE LA EJECUCIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO BASADO EN LAS NORMAS ASTM 5363-03, ISO 10964-1, ISO 10123, ASTM 4562 Y UN ANÁLISIS FMEA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos David Jiménez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Ing. Juan José Peralta Dardón**  
**DIRECTOR**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**



Guatemala, marzo de 2016.

/mgp

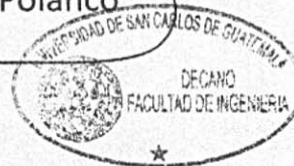


DTG. 103.2016

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 Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE COMPUESTO ANAERÓBICO EN LOS ELEMENTOS ROSCADOS DE UN REDUCTOR PLANETARIO DE DOS ETAPAS, DE MOLINO VERTICAL EN LA PLANTA SAN MIGUEL DE CEMENTOS PROGRESO, A TRAVÉS DE LA EJECUCIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO BASADO EN LAS NORMAS ASTM 5363-03, ISO 1964-1, ISO 10123, ASTM 4562 Y UN ANÁLISIS FMEA,** presentado por el estudiante universitario: **Juan Carlos Davi Jiménez,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, marzo de 2016

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por darme sabiduría, salud y la oportunidad de poder llegar a concluir esta meta.

**Mis hijos**

Diego Andrés y Ana Sofía Davi Méndez, tesoros invaluable que han sido mi motivación para luchar en la vida.

**Mis padres**

Que siempre me han apoyado y guiado en el camino del bien y del amor.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme fuerzas, sabiduría y poner en mi camino la inspiración para culminar con esta meta.
<b>Ana María Méndez</b>	Un maravilloso y único ser humano quien siempre me mostró su amor, apoyo y comprensión, desde que le conocí.
<b>Karla Lucrecia de Aguilar</b>	Quien con sus consejos y cariño marcó mi vida.
<b>Carlos Méndez Pinelo</b>	Por brindarme ejemplo de lucha, constancia y apoyo para concluir mi carrera.
<b>María de Méndez</b>	Baluartes de cariño en todo momento.
<b>Claudia Paola de Cuellar y Glenda Méndez</b>	Por ser hermanas y amigas.
<b>Sergio O. Aguilar</b>	Hermano y amigo.
<b>Mi familia</b>	Por su cariño y apoyo en todo momento.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la formación profesional y los conocimientos adquiridos a lo largo de mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
3. JUSTIFICACIÓN .....	5
4. OBJETIVOS .....	7
5. ALCANCES .....	9
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	11
6.1. Adhesivo .....	11
6.2. Fraguado .....	11
6.3. Preparación de superficies .....	11
6.4. Catalizador .....	12
6.5. Compuestos anaeróbicos .....	12
6.6. Polimerización .....	13
6.6.1. Superficie activa .....	13
6.6.2. Superficie pasiva .....	13

6.7.	Mantenimiento predictivo .....	14
6.8.	Mantenimiento preventivo .....	14
6.9.	Mantenimiento de clase mundial .....	14
6.10.	Normas ASTM.....	15
	6.10.1. Norma ASTM 5363-03.....	15
	6.10.2. Norma ASTM 4562.....	15
6.11.	Normas ISO .....	16
	6.11.1. Norma ISO 10964-1 .....	16
	6.11.2. Norma ISO 10123 .....	17
6.12.	FMEA .....	17
6.13.	Torque de argumentación .....	17
7.	HIPÓTESIS.....	19
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE.....	21
9.	MARCO METODOLÓGICO .....	25
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	29
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	31
12.	RECURSOS NECESARIOS .....	33
13.	BIBLIOGRAFÍA .....	35

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

I.	Cronograma de actividades .....	31
II.	Recursos necesarios.....	33



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
km	Kilómetro
%	Porcentaje
Q	Quetzales
+	Suma





## GLOSARIO

<b>Activador</b>	Material con carga negativa, acelerador del proceso de cura de un adhesivo.
<b>Adhesión</b>	Conjunto de fuerzas o mecanismos que mantienen unidos el adhesivo con el sustrato en el que se ha aplicado.
<b>Capilaridad</b>	Propiedad de atraer un cuerpo sólido y hacer subir por sus paredes, hasta cierto límite, al líquido que las moja, como el agua, y de repeler el líquido que no las moja.
<b>Catalizador</b>	Substancia química simple o compuesta que modifica la velocidad de una reacción química, interviniendo en ella pero sin llegar a formar parte de los productos de la misma.
<b>Cizallamiento</b>	Esfuerzo interno resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un cuerpo.
<b>Cohesión</b>	Fuerza de atracción entre partículas adyacentes.
<b>Corrosión</b>	Ataque destructivo de un metal producido por una reacción química o electroquímica con su entorno.

<b>Cura</b>	Tiempo de polimerización o fraguado de un adhesivo.
<b>Esfuerzo axial</b>	Esfuerzo que es perpendicular al plano sobre el que se aplica una fuerza de tracción o compresión y que es distribuido uniformemente en toda la superficie.
<b>Fatiga</b>	Fenómeno por el cual la rotura o quiebre de materiales se produce más fácilmente bajo cargas dinámicas que bajo cargas estáticas.
<b>Granulometría</b>	Medición de los granos de una formación sedimentaria con el objetivo de determinar su origen, propiedades mecánicas y abundancia.
<b>MTBF</b>	Tasa media entre fallas.
<b>Oxidación</b>	Reacción química donde un metal o un no metal pierde electrones, provocando su deterioro progresivo.
<b>Polimerización</b>	Isomería de los cuerpos formados por la reunión de varias moléculas en una sola, como ocurre en los ácidos ciánicos y cianúrico.

<b>Resina</b>	Substancia viscosa, untuosa, inflamable, insoluble en agua y soluble en el alcohol y los aceites esenciales, que naturalmente o por incisión, fluye de varias plantas. Se obtiene por destilación.
<b>TDS</b>	Hoja de datos técnicos.
<b>Torque</b>	Conocido también como momento, es la fuerza necesaria para producir un giro o rotación en un punto determinado.
<b>Vulcanización</b>	Proceso de cura mediante el cual se aplica temperatura al caucho en presencia de azufre para incrementar su dureza y resistencia a las bajas temperaturas.



## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es validar el resultado de aseguramiento de elementos roscados a través de un compuesto anaeróbico en un molino vertical de dos etapas, este último es un equipo de alta criticidad en las operaciones de trituración en planta San Miguel de Cementos Progreso.

Fenómenos generados en el funcionamiento de un reductor planetario de dos etapas de molino vertical, como vibración, temperatura, contaminación, entre otros, pueden llegar a provocar desajustes en sus elementos roscados.

Al ser el compuesto anaeróbico una herramienta química de mantenimiento, es necesario conocer las características de su composición y desempeño, las cuales brindarán la adherencia y fuerza estructurales en el aseguramiento de los elementos roscados.

Con la utilización de un formato de consulta, monitoreo, registro y prueba se generarán los datos necesarios, los cuales serán sometidos a evaluación a través de normas ASTM e ISO para selección y resistencia de compuestos anaeróbicos, finalizando con un análisis de forma de fallo y sus efectos FMEA.

Los resultados obtenidos determinarán si el del método actual de aseguramiento de elementos roscados posee los argumentos técnicos necesarios para garantizar la disponibilidad y confiabilidad del reductor planetario de dos fases de molino vertical o, por el contrario, están sujetos a mejoras.



## INTRODUCCIÓN

Fundada en 1899, Cementos Progreso es una empresa con un alto desarrollo y especialización en la fabricación de cal hidratada, cemento Portland, cemento hidráulico y algunos agregados para la construcción. El cuidado de equipos productivos se basa en prácticas de mantenimiento de clase mundial. Se cuenta con una estructura especializada de técnicos que atienden diversas áreas, practicándose el mantenimiento correctivo, preventivo, y predictivo.

El tipo de organización de la Unidad de Mantenimiento permite la eficiente distribución de órdenes de trabajo, optimizando los tiempos de entrega. El alto conocimiento de los equipos y una capacitación constante brindan las herramientas ideales de mejora continua.

Los reductores planetarios de dos fases forman parte de un conjunto estructurado de elementos pertenecientes a los molinos verticales, utilizados en en planta San Miguel de Cementos Progreso para la molienda de distintos tipos de materiales provenientes de una cantera, obteniéndose así la granulometría requerida para posteriores procesos.

Acoplado a un motor eléctrico, soporta diferentes tipos de esfuerzos axiales y cargas producidas por el molino que son transmitidos a sus elementos, como cojinetes, engranajes, empaques y elementos roscados. Estos últimos tienen un nivel de impacto severo debido a que mantienen unida la carcasa del reductor evitando cualquier desajuste, debiendo, en paralelo, proporcionar un sello para mantener los niveles del sistema de lubricación.

Mantener un nivel de ajuste y sello adecuados en los elementos roscados es clave para lograr la eficiencia esperada del reductor. La condición incluye los pernos, tornillos y otros pertenecientes al acople que comunica al motor eléctrico, fuente de potencia, hacia el mismo reductor. El diseño de anclajes del reductor también debe estar asegurado.

En el mantenimiento programado a los reductores planetarios de dos fases de los molinos verticales en la planta San Miguel de Cementos Progreso se establece que la alternativa de aplicación de un compuesto anaeróbico, como elemento de aseguramiento y prevención de desajustes, colabora a que el equipo mantenga un buen nivel de disponibilidad y confiabilidad, contribuyendo a que indicadores, como tiempo medio entre fallas (MTBF), se vean beneficiados.

El método de aplicación del compuesto anaeróbico a los elementos roscados del reductor planetario de dos fases posee varios puntos de análisis a validar, siendo algunos de los más críticos: preparación de superficies, tipo y clase del compuesto anaeróbico empleado, nivel de resistencia, tiempos de fraguado, área superficial de aplicación y composición de las roscas.

Hasta el 2015, el método de aplicación del compuesto anaeróbico a los elementos roscados del reductor planetario de dos etapas de la planta San Miguel de Cementos Progreso no ha sido sometido a un estudio técnico de aplicación que pueda proporcionar una guía con puntos de validación específicos. Los resultados del estudio contribuirán a los estándares del procedimiento de mantenimiento a los reductores planetarios de dos fases en la planta San Miguel de Cementos Progreso.



En el primer capítulo se describirá la naturaleza y composición de los compuestos anaeróbicos, historia y desarrollo.

En el segundo capítulo se describirá el proceso de cura o fraguado de los compuestos anaeróbicos.

En el tercer capítulo se analizarán los métodos de aplicación recomendados a nivel industrial, tomando como referencia la selección del compuesto anaeróbico según escenario y necesidades como niveles de impacto, vibración, presión, temperatura, así como clasificación y composición del material del elemento roscado.

El cuarto capítulo se enfocará en la descripción del funcionamiento de un reductor planetario de dos fases de un molino vertical y sus puntos de mantenimiento.

En el quinto capítulo se analiza si el adhesivo para ese compuesto anaeróbico es el adecuado para la aplicación en el reductor, por medio de las normas ASTM 5363-03 (*Clasificación de adhesivos anaeróbicos adecuados para el bloqueo y sellado de componentes roscados*), ISO 10964-1 (*Determinación de la resistencia del par de adhesivos anaeróbicos en los sujetadores roscados*), ISO 10123, ASTM 4562 (*Determinación de la resistencia a la cizalladura en componentes roscados*) y de la matriz FMEA, para lograr conseguir medir el impacto que tiene el actual método de aplicación y sus posibles puntos de mejora a través de un segundo método propuesto.

El sexto capítulo se concentra en un enfoque económico del método actual de aplicación de compuestos anaeróbicos, cuyas bases de análisis son costos de compra, mano de obra, tiempos muertos y cantidad de material

utilizado. El análisis resultante será enfrentado a un segundo método propuesto.

Al finalizar los seis capítulos del presente trabajo de investigación se presentarán las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

## 1. ANTECEDENTES

Los compuestos anaeróbicos son sustancias químicas adherentes que proporcionan ventajas en las uniones estructurales necesarias en las tareas de mantenimiento, ingeniería y diseño, entre otros elementos de sujeción. Una de las principales aplicaciones de los compuestos anaeróbicos se basa en el aseguramiento de elementos roscados sometidos a presión en los equipos de trabajo. Los equipos que producen o transmiten energía están sujetos a vibraciones que, a su vez, transmiten a los elementos roscados relajaciones, provocando un par inducido de autoaflojamiento por el escaso contacto en los flancos de la rosca. El falso contacto es debido a las holguras o longitud de paso de hilo en cualquier elemento roscado (Clarínich, 2012).

El torque inducido puede ser controlado a través de la aplicación de un compuesto anaeróbico entre los hilos de las roscas. Al realizar el montaje en cualquier rosca metálica, el compuesto aplicado desplaza el oxígeno dando inicio a una reacción química denominada polimerización radical. La reacción de polimerización se produce cuando un monómero endurecedor de la resina posee radicales libres que la convierten en un polímero (*Los adhesivos*, 2011).

Las reacciones de cura o secado poseen reacciones químicas como los fenómenos de polimerización y las reacciones físicas como las que pasan de un estado líquido a altas temperaturas a uno sólido en temperatura ambiente (Madrid, 1997).

Generalmente, los compuestos anaeróbicos enfocados al aseguramiento de roscas poseen una alta capilaridad, lo que los hace penetrar en lugares

donde son necesarios para llenar los espacios entre los flancos de las roscas, proporcionando un buen sello para evitar la corrosión (Soluciones químicas, 2015).

Algunas de las ventajas de los adhesivos, frente a otro tipo de uniones estructurales, se pueden resumir en: mejor resistencia a la fatiga, corrosión minimizada, disminución del peso y mejor distribución del peso. La resina o compuesto anaeróbico es poco permeable, poseyendo una alta resistencia a las altas temperaturas (Uck, 1995).

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aplicación de un compuesto anaeróbico en los elementos roscados del reductor previene y controla desajustes, este método es utilizado con regularidad en los mantenimientos programados. Los procedimientos actuales utilizados para llevar a cabo la aplicación no han experimentado una revisión, de tal manera que los beneficios finales que ofrece este tipo de tecnología puedan reflejarse de mejor forma en el mantenimiento y vida útil del equipo.

La eficiencia de la metodología de aplicación está sujeta a cuatro aspectos básicos de referencia: preparación de superficies, análisis de condiciones de operación, selección del compuesto anaeróbico y superficie tratada.

En la tecnología de compuestos anaeróbicos se encuentra disponible una buena cantidad de información referente a las aplicaciones industriales a elementos roscados en industria. Sin embargo, ningún escenario puede resultar exacto para la utilización de esta tecnología en un reductor planetario de dos fases de un molino vertical de molienda sometido a variados y muy particulares fenómenos mecánicos.

Reducir la probabilidad de una condición de falla en un equipo de criticidad tan alta genera una oportunidad para el desarrollo de un análisis bajo un concepto investigativo de campo, considerando, en complemento, la creciente demanda de disponibilidad de molienda para la producción de cal en la planta San Miguel de Cementos Progreso.

Cuando se aplica un compuesto anaeróbico a un elemento roscado es necesario seguir una metodología para garantizar resultados. Es importante recordar que un compuesto anaeróbico es un producto químico que actúa por reacciones fisicoquímicas. Cualquier alteración o desconocimiento en la aplicación afectará sus propiedades.

- Pregunta general

¿La selección y aplicación de un compuesto anaeróbico a través de una metodología adecuada contribuye a un mejor aseguramiento de los elementos roscados del reductor planetario de dos fases en la planta San Miguel de Cementos Progreso, S. A.?

- Preguntas específicas

- ¿Podrían las normas ISO 10964-1, 10123, ASTM 5363-03 y un estudio FMEA ser suficientes herramientas de análisis para lograr determinar la resistencia a la cizalladura y par de ajuste de un compuesto anaeróbico en los elementos roscados de un reductor planetario de dos fases de un molino vertical?
- ¿Es correcto considerar que el empleo de un activador y una correcta preparación de superficies influye de manera notable en los tiempos de fraguado de un compuesto anaeróbico?
- ¿Puede un método proponer los criterios para evaluar y dar seguimiento a un compuesto anaeróbico empleado en el aseguramiento de elementos roscados en un reductor?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Cementos Progreso cultiva, alienta y reconoce todo lo que conlleva a una mejora continua de sus procesos. La filosofía en el desarrollo constante de nuevos proyectos da como resultado cambios constantes.

Los elementos roscados del reductor planetario de molino de trituración de la planta San Miguel de Cementos Progreso están sujetos a condiciones de operación como vibración e impacto, que pueden generar una condición de falla. El nivel de criticidad del reductor planetario del molino vertical en el proceso de producción promueve que una reparación pueda ocasionar el paro total de la línea de producción de cal.

La aplicación de un compuesto anaeróbico es un método de aseguramiento de roscas empleado ampliamente en la industria guatemalteca desde hace más de 20 años. El método de aplicación ha comprobado su versatilidad en diversos escenarios de mantenimiento en equipos industriales, siendo utilizado en diversas tareas de mantenimiento con múltiples alternativas de fuerza de aseguramiento, proporcionadas por los grandes fabricantes a nivel mundial.

La eficiencia de la metodología de aplicación está sujeta a cuatro aspectos básicos de referencia: preparación de superficies, análisis de condiciones de operación, selección del compuesto anaeróbico y superficie tratada.

Los compuestos anaeróbicos en el aseguramiento de elementos roscas son parte de un modelo de trabajo que Cementos Progreso practica desde hace

muchos años atrás, cuyo estatus es susceptible de mejora. La aplicación de compuestos anaeróbicos es una técnica en la solución de problemas de aseguramiento de roscas altamente reconocida y valorada en el mantenimiento de clase mundial.



## 4. OBJETIVOS

### General

Determinar la metodología de selección y aplicación del compuesto anaeróbico utilizado en el aseguramiento de elementos roscados del reductor tipo planetario de dos etapas en la planta San Miguel de Cementos Progreso, S. A.

### Específicos

1. Establecer estudio técnico, considerando recomendaciones de fabricantes de compuestos anaeróbicos, Normas ISO 10964-1 y 10123, ASTM 5363-03 y 4562, y análisis FMEA, enfocados a esfuerzos de resistencia de cizalla para adhesivos anaeróbicos, así como especificaciones de par de ajuste en los elementos roscados del reductor planetario de dos fases de molino vertical de planta San Miguel.
2. Analizar los tiempos de fraguado del compuesto anaeróbico a través de un procedimiento correcto de preparación de superficies y aplicación de un catalizador.
3. Establecer un método de seguimiento para el aseguramiento de elementos roscados basado en dos criterios: contramarca y medición de torque, que colabore con las labores de mantenimiento predictivo y preventivo, para aplicaciones en reductores similares presentes en las diferentes plantas de Cementos Progreso, S. A.



## 5. ALCANCES

El estudio técnico a realizar se basa en ensayos de prueba tomando como referencia las normas ASTM 5363-03 y 4562 e ISO 10964-1 y 10123, que puedan tener como escenario la planta San Miguel de Cementos Progreso. El estudio de los compuestos anaeróbicos, como un elemento de aseguramiento en los elementos roscados del reductor planetario de dos fases, involucrará como primer paso, determinar si el compuesto anaeróbico utilizado es el correcto de acuerdo a los fenómenos mecánicos producidos por el mismo reductor. Posteriormente, el análisis de procedimientos de mantenimiento, en el cual se puedan estudiar elementos de aplicación y recomendaciones del fabricante para lograr el grado de ajuste necesario.

Las opiniones vivenciales y de experiencia del personal de área encargado del mantenimiento del reductor planetario de dos fases serán canalizadas a través del análisis de FMEA, que contribuya con el análisis de una posible condición de falla.

La investigación de un estudio técnico de aplicación de compuestos anaeróbicos enfocados al reductor planetario de dos etapas de un molino vertical tendrá su sede en la planta San Miguel de Cementos Progreso y contará con la ayuda y experiencia del personal asignado por la gerencia de la planta para evaluar y constatar cada paso en el tema.

El análisis, interpretación y validación del estudio podrá contribuir a la confiabilidad y disponibilidad del reductor planetario de dos etapas. El período de investigación contemplado es de 12 meses. La programación del

tiempo permitirá tener la menor interferencia en la actividad productiva del molino vertical y, al mismo tiempo, podrá coordinarse de mejor manera con las programaciones de mantenimiento de la planta San Miguel de Cementos Progreso.

## **6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **6.1. Adhesivo**

Es toda aquella substancia que, aplicada entre las superficies de dos materiales que estén en contacto, da como resultado una unión firme llamada adhesión. Para obtener el resultado adecuado de adhesión se necesitan dos sustratos o adherentes. A la fuerza resultante interna se le denomina cohesión. El área de contacto entre el sustrato y adhesivo se le denomina interfase.

### **6.2. Fraguado**

Una serie de transformaciones fisicoquímicas en las cuales el adhesivo desarrolla su fuerza. El desarrollo de las características físicas puede tener lugar por varios fenómenos entre los cuales están: hidratación, enfriamiento y evaporación de los componentes volátiles. En cuanto a las reacciones químicas se pueden generar por medio de polimerización, reticulación, oxidación y vulcanización.

### **6.3. Preparación de superficies**

Procedimiento bajo el cual los sustratos son tratados a través de la eliminación de impurezas que puedan interferir en la calidad del fraguado. En el caso particular de los compuestos anaeróbicos se recomienda una limpieza profunda de tal manera que se eliminen contaminantes como grasa, fluidos

hidráulicos, aceites, hidrocarburos, polvo, productos químicos entre otros. Esta limpieza se logra a través de solventes.

#### **6.4. Catalizador**

Es toda aquella sustancia que acelera o estimula el proceso de fraguado, puede presentarse en forma química, térmica, entre otras. La selección de un catalizador para compuestos roscados dependerá del tiempo necesario con que se pretenda manipular el acople de dichos elementos.

#### **6.5. Compuestos anaeróbicos**

Son resinas de carácter orgánico y sintético que poseen cierto grado de viscosidad. El concepto de compuesto anaeróbico de aseguramiento químico de un solo componente para los elementos roscados nace en Connecticut, EUA, en la Universidad de Trini, en 1953. El Dr. Vernon Krieble, a través de sus estudios, encuentra el remedio casi perfecto para dar solución al problema de aflojamiento de elementos roscados. Por medio de sus investigaciones logra indagar que los desajustes generados en las uniones roscadas son producto de los microespacios una vez se realizado el ensamble. Cuando una fuerza externa afecta al ensamble, este genera una fuerza inducida denominada torque de relajación.

Los compuestos anaeróbicos proporcionan una película de aseguramiento que rellena los microespacios, evitando que se aflojen. Los compuestos anaeróbicos tienen la particularidad de fraguar a través de la ausencia del oxígeno. En este caso, la presencia de superficies metálicas, como la mayoría de elementos roscados, produce un efecto catalizador, favoreciendo su fraguado a través de un proceso denominado polimerización.

## **6.6. Polimerización**

Es el proceso fisicoquímico de fraguado de los compuestos anaeróbicos. El proceso de polimerización posee dos factores claves de fraguado. El primero lo constituye la ausencia del oxígeno atmosférico, el cual sucede cuando los elementos roscados son acoplados. El segundo elemento es el contacto del compuesto anaeróbico con metal. Este último factor actúa como un estimulante o catalizador. La polimerización tendrá efecto más inmediato dependiendo de los iones metálicos presentes en la superficie, los cuales reaccionarán con el peróxido presente en la formulación del compuesto anaeróbico, resultando en una superficie activa o pasiva.

### **6.6.1. Superficie activa**

Es todo aquel substrato rico en iones metálicos que favorecen la polimerización al reaccionar con los peróxidos presentes como componente del compuesto anaeróbico. Algunas superficies activas son acero, latón, bronce, cobre o hierro.

### **6.6.2. Superficie pasiva**

Son los substratos pobres en iones metálicos. Este tipo de superficies necesitan de la ayuda de un activador que pueda compensar la no presencia de iones. Entre las superficies pasivas están aceros de alta aleación, aluminio, níquel, zinc, plata, oro o acero inoxidable.

### **6.7. Mantenimiento predictivo**

Está basado en la condición del equipo en operación. En este modelo de mantenimiento se considera que los equipos darán un indicio de condición de falla antes de que esta pueda mermar la disponibilidad del mismo. Una de sus principales herramientas se basa en la aplicación de ensayos no destructivos, los cuales proporcionan un buen diagnóstico antes de que el equipo pueda tener una falla y de esta manera tomar decisiones de reparación, parada cercana o reemplazo.

### **6.8. Mantenimiento preventivo**

Son todas aquellas actividades de mantenimiento que se programan bajo un formato predictivo, programado o de oportunidad, que llevan por objetivo evitar condiciones de falla antes de que estas ocurran. Su característica principal llevar implícito un carácter de diagnóstico temprano a cualquier condición de falla. Se ejecuta por una programación de actividades depurada a través de órdenes de trabajo.

### **6.9. Mantenimiento de clase mundial**

Es una actividad con visión de negocio que genera ahorros significativos a la empresa a través de adelantos tecnológicos, trabajo en equipo, desarrollo de competencias del personal, aporte de valor agregado a la actividad productiva de la empresa, y fomento de las actividades de mantenimiento por medio de una estricta planificación.



## **6.10. Normas ASTM**

Establecida desde 1898, la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) propone una serie de procedimientos para verificar la calidad de muchos tipos de materiales a través de diferentes clases de pruebas. Estas pruebas pueden abarcar ensayos destructivos y no destructivos.

### **6.10.1. Norma ASTM 5363-03**

Esta especificación establece los requisitos para adhesivos anaeróbicos de un solo componente adecuados para el bloqueo y sellado, y retener ensamblajes roscados o cilíndricos. Se pretende que sea un medio de clasificar los adhesivos y no se ocupa de los propósitos del diseño de ingeniería. Los adhesivos se curan a un estado sólido cuando está confinado entre superficies metálicas activas de cerca de ajuste.

Los materiales deberán someterse a procedimientos de prueba y ajustarse de acuerdo a los siguientes requisitos: fluorescencia ultravioleta, color y mano de obra, punto de inflamabilidad, estabilidad durante el almacenamiento, toxicidad, resistencia a los disolventes, resistencia al calor, envejecimiento por calor, fortaleza frío, lubricidad, estanqueidad a los fluidos, mecha, viscosidad, velocidad de curado, fuerza de torsión prevaleciente (resistencia en condiciones estándar) y calificación de cebadores.

### **6.10.2. Norma ASTM 4562**

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia al cizallamiento de los adhesivos de curado líquido utilizados para bloquear y

sellar componentes roscados. Su interpretación indica que los valores indicados en unidades pulgada-libra deben ser considerados como el estándar. Los valores entre paréntesis son solo para información.

## **6.11. Normas ISO**

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés) ha desarrollado una serie de normas y regulaciones internacionales para la manufactura de diversidad de productos que garanticen su calidad, la seguridad de los procesos y la protección del medio ambiente.

### **6.11.1. Norma ISO 10964-1**

Norma que mide la resistencia de un adhesivo anaeróbico. Utiliza la terminología siguiente:

- Ton: es el torque máximo requerido para atornillar la tuerca en un perno prerrevestido con adhesivo.
- Tin: es el torque aplicado para aumentar la carga axial en el ensamblaje. Se utiliza para superar la fricción en el hilo de la rosca y debajo de la cabeza del perno.
- TBA: es el torque inicial requerido para romper el enlace medido en el primer movimiento entre la tuerca y el perno al desenroscar un conjunto armado.

### **6.11.2. Norma ISO 10123**

Especifica un método para la determinación de la resistencia al cizallamiento de los adhesivos anaeróbicos líquidos de curado, utilizados para bloquear y sellar componentes roscados.

### **6.12. FMEA**

La matriz de análisis de forma de falla y sus efectos (*failure mode and effects analysis*, FMEA) es una herramienta de calidad en la ingeniería que colabora para detectar los puntos débiles de un proceso, permitiendo tomar acciones antes de que una posible condición de falla o calidad se vuelva crítica. Para ello utiliza algunas técnicas entre las que destacan: diagrama Ishikawa de causa-efecto, diagrama de árbol, control estadístico, diagrama de operaciones, diagrama de flujo, entre otros.

### **6.13. Torque de argumentación**

Se interpreta como el par normal de aflojamiento de un perno UNC (pernos de rosca unificada corriente), equivaldrá aproximadamente a un 70 % del par inicial de apriete y, en el caso de pernos de rosca unificada fina, hasta un 80 %. Cuando se aplica un compuesto anaeróbico a las roscas se incrementa el par normal de aflojamiento. El par sumado se conoce como par de argumentación. El par de argumentación tiene relación con el par de quiebre (par necesario inicial de aflojamiento) (Loctite Corporation, 1987).

La relación resultante establece de 70 hasta 140 % equivalente al par de quiebre. Muchos elementos roscados se encuentran apretados a un mínimo del 75 % de su límite elástico. Para evitar cizallamiento en un elemento roscado

asegurado que se encuentre sometido a aflojamiento, un material de bloqueo debe ser empleado, el cual proporcionará un aumento de fuerza estructural. Este incremento puede utilizar el torque de argumentación que dé como resultado un bloqueo igualando casi exactamente el par de quiebre con el par de apriete (Loctite Corporation, 1987).

## 7. HIPÓTESIS

La aplicación de un compuesto anaeróbico en el aseguramiento de elementos roscados de un reductor planetario de dos fases de un molino vertical proporciona una alternativa confiable que cumple, bajo condiciones controladas como área de contacto, preparación de superficies, resistencia, composición del elemento roscado, dosificación, tiempo de curado y procedimientos adecuados, al conservar un par de resistencia capaz de evitar cualquier posible condición de falla generada por su propio funcionamiento, siendo económicamente eficiente.

- Variables
  - Preparación de superficies
  - Par de resistencia
  - Composición del elemento roscado
  - Dosificación de compuesto anaeróbico
  - Tiempo de curado
  
- Variables independientes
  - Preparación de superficies
  - Par de resistencia
  - Composición del elemento roscado

- Variables dependientes
  - Dosificación del compuesto anaeróbico
  - Tiempo de curado

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

ALCANCE

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

HIPÓTESIS

### 1. COMPUESTOS ANAERÓBICOS

- 1.1. Historia
- 1.2. Definición de compuesto anaeróbico
- 1.3. Aplicaciones industriales
- 1.4. Ventajas/desventajas

### 2. PROCESO DE CURA O FRAGUADO

- 2.1. Adherencia
  - 2.1.1. Fenómenos físicos
  - 2.1.2. Fenómenos químicos
  - 2.1.3. Fenómenos mecánicos
- 2.2. Cura o fraguado de un compuesto anaeróbico
- 2.3. Activadores

### 3. MÉTODOS DE APLICACIÓN

- 3.1. Preparación de superficies

- 3.2. Selección de tolerancia y torque
  - 3.3. Automatización de aplicación
  - 3.4. Normas de seguridad
4. FUNCIONAMIENTO DE UN REDUCTOR PLANETARIO DE DOS FASES
- 4.1. Uso en industria de manufactura de cal
  - 4.2. Características técnicas
  - 4.3. Componentes
  - 4.4. Mantenimiento
5. PRUEBAS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS A TRAVÉS DE NORMAS ASTM, ISO Y FMEA
- 5.1. Aplicación de Norma ASTM 4562
  - 5.2. Aplicación de Norma ASTM 5363-03
  - 5.3. Aplicación de Norma ISO 10123
  - 5.4. Elaboración de matriz FMEA
    - 5.4.1. Obtención de variables críticas a través de encuesta
    - 5.4.2. Depuración y análisis de datos
  - 5.5. Método propuesto con base en resultados
6. ANÁLISIS COMPARATIVO
- 6.1. Comparación de costos entre método actual y método propuesto
  - 6.2. Oportunidades de mejora
  - 6.3. Guía de aplicación sugerida

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



BIBLIOGRAFÍA  
ANEXOS



## 9. MARCO METODOLÓGICO

El análisis actual del método de aplicación del compuesto anaeróbico en el aseguramiento de elementos roscados del reductor planetario de molino vertical plantea mejorar el conocimiento técnico en la tecnología de adhesivos, cuyas directrices principales son entender el procedimiento, establecer las variables críticas de medición, generar los datos, evaluar los datos y proponer.

La línea de investigación es descriptiva cuantitativa, que contempla tres fases:

- La primera fase consiste en obtener información de tipo puntual que proporcione los datos necesarios de la selección y aplicación del compuesto anaeróbico. Esta fase toma en cuenta el manual de operación del reductor para determinar las variables de seguridad requeridas en el aseguramiento de sus elementos roscados.

Los registros de órdenes de trabajo se analizarán para determinar las frecuencias de los mantenimientos programados y cualquier tipo de reparación o desajustes en los elementos roscados del reductor. Se consultará el material técnico del compuesto anaeróbico que deberá incluir: color, viscosidad, dosificación, área superficial a aplicar, resistencia a cizalla, resistencia a torque de quiebre, temperatura y tamaño de rosca recomendada.

Se consultarán experiencias y opiniones de resultado de aseguramiento a través del compuesto anaeróbico a los elementos roscados del

reductor, así como el manual del fabricante, para alcanzar una inspección preliminar que genere posibles puntos críticos.

Esta etapa servirá como herramienta de apoyo en la investigación, la cual permitirá construir un modelo de procedimiento de la forma de aplicación del compuesto anaeróbico a los elementos roscados del reductor.

- La segunda fase se concentrará en la medición de torques de aseguramiento con el compuesto anaeróbico utilizado, actividad en la que se establecerán testigos para evaluar resistencias. El número de testigos establecidos tendrá que poseer representatividad de acuerdo a normas de mantenimiento y operación del reductor.

Se coordinará con el Departamento de Mantenimiento de la planta San Miguel de Cementos Progreso para desarrollar los ensayos necesarios de acuerdo al plan de mantenimiento preestablecido del reductor planetario de dos fases. Se determinará el nivel de aseguramiento o torque de común acuerdo a las normas establecidas en el programa de mantenimiento de Cementos Progreso y recomendaciones de fabricante.

- La tercera fase interpreta los datos generados, tratando de establecer la confiabilidad del aseguramiento de sus elementos roscados a través la aprobación de las normas ASTM e ISO establecidas para el análisis.

Contempla el examen final sobre un criterio de aceptación basado en las normas ISO y ASTM consideradas en esta investigación. De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomendará la posible utilización de

herramientas químicas auxiliares que aceleren y refuercen el proceso de tiempo de fraguado, y aumento de resistencia.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En la primera fase se empleará la norma ASTM 5363-03 (*Selección de compuesto anaeróbico*) y hoja técnica (TDS) del compuesto anaeróbico para determinar la elección adecuada del compuesto anaeróbico, para la aplicación requerida en los elementos roscados del reductor.

En la segunda fase se realizarán mediciones del aseguramiento de roscas de acuerdo al procedimiento preestablecido en los elementos roscados del reductor, utilizando para el efecto lecturas de torque. Los testigos seleccionados serán examinados de forma primaria con marca de huella. La lectura de torque se llevará a cabo con la frecuencia establecida en el programa de mantenimiento de clase mundial en planta San Miguel de Cementos Progreso. Para una lectura correcta de las mediciones se deberá tomar en consideración el error estimado del torquímetro empleado.

La interpretación de los datos, como parte de una tercera fase, establecerá un criterio de pasa o no pasa, de acuerdo a los parámetros establecidos en las normas ASTM 4562, ISO 10123 (*Esfuerzo de cizalla para elementos roscados*) e ISO 10964-1 (*Torque de ruptura para eliminar ajuste de compuesto anaeróbico*).

El análisis FMEA estimará una posible condición de falla entre de las variables contempladas en el estudio. No constituirá una conclusión de peso, sin embargo, puede revelar posibles puntos de mejora en cuanto al aseguramiento de los elementos roscados a través de un compuesto anaeróbico.

Tomando como referencia los resultados obtenidos en todas las fases de la metodología y el modelo FMEA, se propondrá una guía de aplicación del compuesto anaeróbico en los elementos roscados del reductor.



## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se presenta en la tabla I la descripción de las tareas a ejecutar y el período programado para su inicio y finalización.

Tabla I. **Cronograma de actividades**

FASE	Actividad	mes 1				mes 2				mes 3				mes 4				mes 5				mes 6			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	Planificación mantenimiento reductor	■																							
	Manual mantenimiento reductor		■																						
	TDS compuesto anaeróbico		■																						
	ASTM 5363-03 clasificación		■																						
	Análisis hoja técnica		■																						
	Encuentra personal de mantenimiento			■																					
	Medición torquímetro				■																				
	Análisis de aplicación					■																			
2	Desarme reductor					■	■																		
	Medición torquímetro					■	■																		
	Selección testigo (s)						■																		
	Marca huella-contrahuella							■																	
	Armado reductor								■	■															
	Ordenar y clasificar datos									■															
	Establecer variables										■														
	Método actual											■													
3	Validación												■												
	ISO 10123 (resistencia)													■	■										
	ISO 10964-1 (resistencia)														■	■									
	ASTM 4562 (resistencia)															■	■								
	FMEA																■	■							
	Análisis																	■	■						
	Metodo propuesto																			■	■				

Fuente: elaboración propia.



## 12. RECURSOS NECESARIOS

Para llevar a cabo la investigación, se debe tomar en consideración ciertos desembolsos durante los meses de ejecución de la investigación. Los montos asignados constituyen una estimación, estos pueden variar de acuerdo a condiciones de economía nacional y otras variables. Algunas de las normas empleadas para la realización del estudio (ASTM e ISO) tienen un costo asociado que también se contempla en esta investigación.

Tabla II. Recursos necesarios

CANTIDAD	RUBROS	COSTO UNITARIO (Q)	COSTO TOTAL (Q)
<b>Herramientas para medición</b>			
	Tinta marca huella –contra huella	40,00	40,00
2	Normas ASTM 5363, 4562	450,00	900,00
2	Normas ISO 10964-1, 10123	450,00	900,00
<b>Seguridad (ingreso a planta, Finca San Miguel, Sanarate)</b>			
	Guantes de seguridad		90,00
	Tapones industriales contra ruido		40,00
	Lentes protectores		100,00
	Botas de seguridad punta acero		450,00
	Casco		150,00
	Chaleco refractivo		75,00
<b>Transporte y alimentación (planta San Miguel, km 45 Sanarate, El Progreso)</b>			
85 km (ida y vuelta)	Combustible/depreciación	100,00	
10	Número de viajes proyectados necesarios, entonces es Q 100,00 x 10		1 000,00
10	Almuerzos	40,00	400,00
	Imprevistos		300,00
Otros (papelería, dispositivo de almacenamiento)			150,00
Asesor tesis ( <i>ad honorem</i> )			
<b>Total</b>			<b>4 595,00</b>

Fuente: elaboración propia.



### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Adhesivos (2011). Recuperado el 25 de agosto de 2015 de <<http://www.clarinich.com>>.
2. ASTM International Standards & Publications. (1996) Recuperado el 4 de septiembre de 2015 de: <<http://www.astm.org>>.
3. Ayala, V. (2010). *Guía de mantenimiento preventivo, desarme y armado de reductores de velocidad tipo AMP marca Flender utilizados en el accionamiento de molinos verticales para la fabricación de cemento*. Tesis licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
4. Elementos de máquinas. (2014). Recuperado el 12 de septiembre de 2015 de <<http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/carreras/elementosdemquinas/cap04-02.pdf>>.
5. International Organization for Standardization. ((2015). Recuperado el 2 de septiembre de 2015 de <<http://www.iso.org>>.
6. Parsons, Kenny. (2009). *Torque y torquímetros: más que apretar tornillos*. Recuperado el 8 de octubre de 2015 de <[http://www.metalactual.com/revista/21/herramientas\\_torquimetro.pdf](http://www.metalactual.com/revista/21/herramientas_torquimetro.pdf)>.

7. Limpieza de superficies. (2012). Recuperado el 25 de agosto de 2015 de < <http://www.clarinich.com>>.
8. Loctite Corporation. (1987). *Manual de especificaciones técnicas*. Threadlocking adhesive/sealant 222, 242, 262, 271, 277, 290.
9. Loctite (Henkel Argentina). (2015). *Trabajo en conjunto con los clientes en cada etapa*. Recuperado el 4 de septiembre de 2015 de <<http://www.loctite.com.ar>>.
10. Madrid, Mario. (1997). *Tecnología de la adhesión*. Recuperado el 9 de septiembre de 2015 de <[http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/cur\\_sodeadhesivos.pdf](http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/cur_sodeadhesivos.pdf)>.
11. Oliva, Yoseba. (2015). *Los adhesivos: más allá de tornillos y soldaduras*. Recuperado el 10 de septiembre de 2015 de <<http://ingeniero-adhesivos.blogspot.com>>.
12. Soluciones químicas a problemas de mantenimiento. (2015). Recuperado el 28 de agosto de 2015 de <<http://tcielsalvador.com>>.
13. Tite Brand Threadlockers, Sealants, Adhesives & More. (2015). Recuperado el 4 de septiembre de 2015 de < <http://www.vibratite.com>>.

14. Zetina, M. (1995). *Los adhesivos con base de cianoacrilato y sus aplicaciones industriales*. Tesis licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

