

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN
GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS
ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE
MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Cesar Augusto Cruz Sotomayor

Asesor:

Mg. Ing. Lucía Rosario Padilla Castro
<https://orcid.org/0000-0002-9937-2458>

Lima - Perú

2023

INFORME DE SIMILITUD

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
2	doi.org Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

En especial para mi hija Luana Belén y mi esposa Gina Olortegui, aun mi princesa esta pequeña, pero en un corto tiempo juntos revisaremos la tesis, y le explicaré que en la vida nunca debemos darnos por vencido para poder cumplir nuestras metas, habrá muchas dificultades, pero esto nos servirá de experiencia y seremos cada vez más fuertes.

Mi esposa Gina Olortegui, que siempre está ahí motivándome en cada momento, ayudándome a tomar mejores decisiones, somos amigos, novios. Seguimos aprendiendo a ser mejores padres y mejores personas.

A mi madre Estelina Sotomayor, que siempre me apoyo en todo momento para poder cumplir mis objetivos y ella es parte de todos estos logros que he tenido, fue la persona que me llevo a la academia y desde ahí empezó toda esta linda etapa Técnica e Ingeniería, en estos años entendí que esta iniciativa fue la mejor decisión que pude tomar.

A mi padre Benedicto Cruz que él está muy orgulloso en el cielo y siempre está presente cuidándome en cada momento.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Privada de Norte, a todos sus excelentes profesores, y a mi asesora de tesis, por los conocimientos impartidos y su orientación.

Tabla de contenidos

INFORME DE SIMILITUD	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	21
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	60
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de participación de servicios que brinda empresa en estudio.....	17
Tabla 2. Mantenimientos atendidos en el año 2021.....	43
Tabla 3. Comprobación geométrica en hornos rotatorios año 2022.....	44
Tabla 4. Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) de Servicio de medición de horno rotatorio empresa en estudio.....	54
Tabla 5. Flujograma del proceso de Servicio de medición de horno rotatorio empresa en estudio.....	55
Tabla 6. Instrucciones y controles proceso de medición de horno rotatorios.....	56
Tabla 7. Histórico de la disponibilidad de hornos rotatorios en el año 2021.....	61
Tabla 8. Histórico de la disponibilidad con la técnica de comprobación geométrica año 2022.....	62
Tabla 9. Histórico de disponibilidad año 2021 y 2022.....	65
Tabla 10. Histórico de disponibilidad antes de la comprobación geométrica.....	67
Tabla 11. Histórico de disponibilidad con la comprobación geométrica.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama funcional empresa en estudio.....	15
Figura 2. Mapa de procesos empresa en estudio.....	18
Figura 3. Distorsión radial.....	32
Figura 4. Fórmula Ovalidad del horno rotatorio.....	32
Figura 5. Juego teórico del anillo de rodadura.....	33
Figura 6. Ovalidad del anillo de rodadura.....	33
Figura 7. Leyenda de datos.....	34
Figura 8. Partes del horno rotatorio.....	36
Figura 9. Certificado en técnicas de comprobación geométricas en hornos rotatorios.....	42
Figura 10. Medición de diámetros en aro.....	46
Figura 11. Medición de diámetros en rodillos.....	47
Figura 12. Resultados de medición de diámetros de rodillos y aro.....	47
Figura 13. Resultados de medición de ejes de hornos rotatorio.....	48
Figura 14. Resultados de distancia y ángulos de rodillos.....	48
Figura 15. Control de temperaturas en horno rotatorio.....	49
Figura 16. Calibración de taquímetro.....	50
Figura 17. Medición de deformaciones en Shell del horno.....	50
Figura 18. Resultados de deformación del horno.....	51
Figura 19. Resultados de excentricidad del horno.....	51
Figura 20. Medición de ovalidad en aro.....	52
Figura 21. Resultados en diagrama de ovalidad	53
Figura 22. Resultados de ovalidad por estaciones.....	53
Figura 23. Comparación de disponibilidad de hornos rotarios años 2021 y 2022, empresa en estudio.....	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para calcular la disponibilidad.....	29
Ecuación 2. Fórmula para calcular la confiabilidad.....	29
Ecuación 3. Fórmula para calcular la mantenibilidad.....	30
Ecuación 4. Fórmula de distorsión radial.....	32
Ecuación 5. Fórmula de ovalidad del horno rotatorio.....	32
Ecuación 6. Fórmula de juego teórico del anillo de rodadura.....	33
Ecuación 7. Fórmula de ovalidad del anillo de rodadura.....	33

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de aplicación de técnicas de comprobación geométrica tiene por objetivo determinar el efecto de esta técnica de mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los hornos rotatorios al tener un informe más exacto de su estado. El problema que afronta la industria del cemento con su activo más crítico “Hornos rotatorios” son las diferentes presiones de contacto no uniforme en las superficies de rodadura, desgaste en diámetros de rodillos, llantas, deformaciones plásticas en shell del horno, ovalidades, temperaturas fuera de rango; por la cual es necesario realizar una detención del equipo cada 15 días. Se determinó la disponibilidad de los hornos rotatorios de 7 cementeras en el lapso en el año 2021 sin emplear la técnica de comprobación geométrica, luego se implementó esta técnica en el mantenimiento preventivo calculándose nuevamente su disponibilidad en el año 2022, mediante un diseño pre-experimental. El estudio permitió determinar que con la aplicación de técnicas de comprobación geométrica en el mantenimiento preventivo se mejoró la disponibilidad del horno rotatorio a un 94%, debido a que esta técnica permite realizar el mantenimiento preventivo con equipo en funcionamiento, a plena carga sin el proceso productivo.

La aplicación de esta técnica requiere contar con 2 técnicos especialistas calificados entre los cuales mi persona es el líder técnico, instrumentos de medición calibrados, software para el análisis en tiempo real. Mis competencias como técnico especializado sumado a los logros durante mi formación académica de ingeniero industrial no solo me han permitido ejecutar con éxito el mantenimiento preventivo en los hornos de los clientes sino también liderar el equipo de trabajo y hacer un uso eficiente de los recursos asignados.

Palabras claves: Comprobación geométrica, mantenimiento preventivo, horno rotatorio, cementeras, disponibilidad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y la construcción de las infraestructuras de la nación están fundamentalmente influenciados por la industria del cemento en Perú. La Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (2015) estima que la brecha de infraestructuras a largo plazo en el territorio de Perú asciende a 159.549 millones de dólares. La industria del transporte representa el 36% del total, de los cuales la brecha vial representa el 55%. Al conectar las ciudades y proporcionar infraestructura a las personas necesitadas, utilizando el cemento como materia prima, es evidente que los esfuerzos para promover el desarrollo económico van en aumento. El objetivo de la implementación de técnicas de comprobación geométrica en “Los hornos rotarios” de las empresas cementeras, es mejorar la disponibilidad de estos y con ello la continuidad de la producción.

1.1. Realidad Problemática

Según la Asociación de Productores de Cemento del Perú (ASOCEM), (2019) los cuatro mayores actores del negocio del cemento se unieron para crear dos nuevas megacorporaciones. Al mismo tiempo, las principales empresas nacionales están iniciando un proceso de internacionalización (Chereque, 2019).

Por otro lado, la industria cementera en su proceso demanda grandes cantidades de energía para su funcionamiento; por ello, parte de su competitividad depende de su uso eficiente, que no solo le genere utilidad económica sino también tenga un manejo más responsable de las emisiones al Medioambiente (Ministerio de Energía y Minas, 2019). Se tiene conocimiento que la industria del cemento es la que utiliza mayor energía en el mundo y son también los segundos más responsables de las emisiones por la quema de combustibles fósiles; por otro lado, sus emisiones de CO₂ depende del tipo de combustibles fósiles que se consuman y de los combustibles alternativos que manejen, así como del horno dónde se realice la descomposición térmica del CaCO₃; por ello se debe investigar estrategias para

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

disminuir el consumo de energía y sus emisiones contaminantes (Aristizábal y González, 2021). Esta tendencia tiende a incrementarse con el tiempo, la industria cementera demanda grandes cantidades de energía para su funcionamiento; por ello, parte de su competitividad depende de su uso eficiente, que no solo le genere ganancias económicas sino también tenga una utilización más responsable de las emisiones al Medioambiente (Ministerio de Energía y Minas, 2019). Para limitar el consumo de energía y las emisiones contaminantes de la población mundial, así como la expansión de las áreas metropolitanas y las infraestructuras, hay que poner en marcha iniciativas. Satisfacer la demanda mundial y reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂ son los dos principales problemas de la industria cementera.

La industria del Cemento por su alta complejidad considera necesario la implementación de nuevas tecnologías para ser más competitiva; en ella se cuenta en su línea de producción con diferentes equipos consumidores de energía eléctrica o térmica; En su proceso de producción procesa la materia prima compuesta de piedra, caliza, arcilla y hierro moliéndola, posteriormente se realiza el proceso de pre calcinación; esta combinación ingresa luego a un horno rotativo en el cual se realizan reacciones físico químicas que a través de altas temperaturas en punto fundente da origen al Clinker, para mantener su proceso de formación del cemento. En cuanto a la eficiencia energética se presenta oportunidades de mejora y de esta forma se reduce las pérdidas por convección, radiación en la superficie del horno y del precalentador (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

A escala mundial, los productores de cemento se han fijado un objetivo de reducción del CO₂ del 24% para el año 2050. Para ello, están pensando, entre otras cosas, en formas de mejorar la eficiencia energética, utilizar combustibles alternativos, emplear materiales más resistentes al desgaste y la corrosión y optimizar su proceso de trituración. Sin embargo, para aplicar estas estrategias y alcanzar sus objetivos, deben cumplirse ciertos requisitos de eficiencia. Estos requisitos incluyen aumentar la disponibilidad de la planta y la producción de cemento, reducir el consumo de energía y las paradas de producción no programadas, disminuir el tiempo, la frecuencia y los costes de mantenimiento, aumentar el intervalo de desgaste de las piezas, solucionar nuevos problemas de corrosión y desgaste,

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

controlar y predecir los momentos en los que la planta no funcionará a pleno rendimiento y reducir los costes y los pagos prorrateados. (Comunicarse, 2020)

La importancia de disponer de activos en la fábrica de cemento ayuda a prevenir y eliminar los accidentes laborales, potenciando la seguridad de los trabajadores en todo el proceso de fabricación. Previene daños irreparables en las instalaciones industriales, alarga la vida útil de los equipos, reduce costes, mantiene los equipos en buen estado y mejora la calidad de los productos en la actividad industrial cementera. También evita y reduce las pérdidas causadas por las paradas de producción. También permite hacer referencia a una documentación y seguimiento del mantenimiento necesario para cada equipo. (Álvaro, 2019)

Los equipos y maquinaria se adquieren con una adecuada gestión de mantenimiento cuyos objetivos son mantener la capacidad de trabajo de las máquinas, reducir las paradas imprevistas, ayudar al aumento de la productividad y mantener los mecanismos de producción en perfecto estado con el mínimo gasto. A través de los planes de mantenimiento industrial, buscamos aumentar el nivel de utilización de la capacidad productiva, conservar o sustituir los equipos e instalaciones para que cumplan la función productiva para la que fueron concebidos, maximizar la eficiencia de las máquinas con el menor desgaste y alargar al máximo la vida útil de las máquinas. (Lifeder, 2019)

La gestión del mantenimiento a evolucionado en el tiempo, conviviendo entre ellos:

La primera generación se clasifica como mantenimiento correctivo total, en el que se anticipa una avería antes de pasar a la reparación adecuada. Se distingue por los elevados costes de mano de obra y el aumento de los costes de oportunidad. La degradación de la calidad causada por el desgaste progresivo de los equipos, la posibilidad de que no se pueda acceder a las piezas de repuesto, lo que supondría un gasto elevado, el tiempo de inactividad por averías inesperadas y la posibilidad de que se produzcan otros sucesos simultáneamente son algunos de los inconvenientes más notables. Las sustituciones preventivas empiezan a realizarse en la segunda generación de trabajos de mantenimiento preventivo, a medida que se hace evidente la relación entre la vida útil del equipo y la probabilidad de avería. Existen varias formas de mantenimiento preventivo, incluidos los procesos que deben seguirse. (Lifeder, 2019)

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

En los últimos años en el Perú se ha generado una competencia de productores de Cemento por la alta demanda de cemento; por lo cual deben investigar el manejo eficiente de sus recursos y entre ellos está el de sus equipos para garantizar el funcionamiento de su proceso productivo en óptimas condiciones; dentro de estos el activo más crítico es el horno rotatorio, una parada de éste generaría retraso de las entregas de pedidos, riesgo que clientes importantes cambien de proveedor, costos elevados por reparaciones de emergencia y detención total de la línea de cemento. Por esta razón es muy importante asegurar la disponibilidad de la maquinaria. La razón de la organización por contratar especialistas en servicios de mantenimiento preventivos es para que el proceso de cemento pueda desarrollarse de forma continua. (Polysius, 2009)

El estudio se realizó en una empresa que brinda servicios para la industria Cementera en: mantenimiento, Supervisión de Proyectos, venta de repuestos y participación de Ingeniera a detalle.

El servicio de mantenimiento preventivo es el que representa el 30% de participación de los negocios de la empresa. Para diferenciarse de la competencia la empresa contempló como estrategia el análisis de la necesidad de la industria cementera en ofrecer servicios especializados de comprobación geométrica en los hornos rotatorios de cemento, pues se llegó a determinar que en el medio sus competidores no cuentan con estos tipos de herramientas, experiencia profesional y técnicos calificados que apliquen la comprobación geométrica en el manteamiento preventivo de los hornos rotatorios. La técnica de comprobación geométrica ayuda a mejorar un proceso continuo de operación de cemento, los resultados serán entregados a tiempo real a los supervisores de la planta, la seguridad del personal y confiabilidad de proceso serán fundamental. Por esta razón la empresa de servicios de cemento decide formar un departamento de Ingenieros de Field Service, poniendo como requisito experiencia de personal mayor a 5 años en la industria de Cemento, capacitarlos por 6 meses en Europa con los diseñadores de estas herramientas.

La comprobación geométrica en los hornos rotatorios significa en analizar el estado térmico, mecánico en su proceso de operación, el precalentador alcanza internamente del horno una temperatura de 1450°C, es por esta razón que es un

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

activo muy crítico dentro del proceso. Una parada no planificada demanda un enfriamiento de 2 días para su atención. La puesta en marcha del horno rotatorio demanda 3 días de calentamiento, por ello el presente informe pretende demostrar la pertinencia de esta técnica en el mantenimiento preventivo de los hornos rotatorios de las industrias cementeras.

1.2. Descripción de la empresa

La Empresa en estudio se dedica a la prestación de servicios de mantenimiento para el sector cementero e industrial.

Fue fundada en febrero del año 2014 por su Gerente Técnico, cuenta con 10 años de experiencia en atención a la industria cementera de diferentes mercados, en el norte y sur del Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia. Sus necesidades de expandirse es llevar su Know How a todo Sudamérica con el soporte de sus socios estratégicos.

La empresa en estudio cuenta con 24 colaboradores entre 3 ejecutivos, 8 administrativos y 13 técnicos

1.3. Organigrama funcional

La empresa en estudio se organiza en el siguiente organigrama funcional:

- Gerencia técnica, tiene como responsabilidad conducir la organización de una empresa, Para alcanzar los objetivos estratégicos fijados por la organización, hay que dirigir diferentes disciplinas de trabajo y coordinar las acciones de otros departamentos.
- La distribución, preventa, venta y postventa de bienes y servicios, así como su entrega, son los objetivos del área de ventas. El objetivo principal es tener un impacto financiero favorable en el negocio.
- El responsable de mantenimiento se encarga de gestionar el mantenimiento general de la empresa, trabajando con un equipo de profesionales cualificados para realizar diversas tareas, y supervisando los planes de mantenimiento preventivo y predictivo de todas las instalaciones de la empresa (tanto

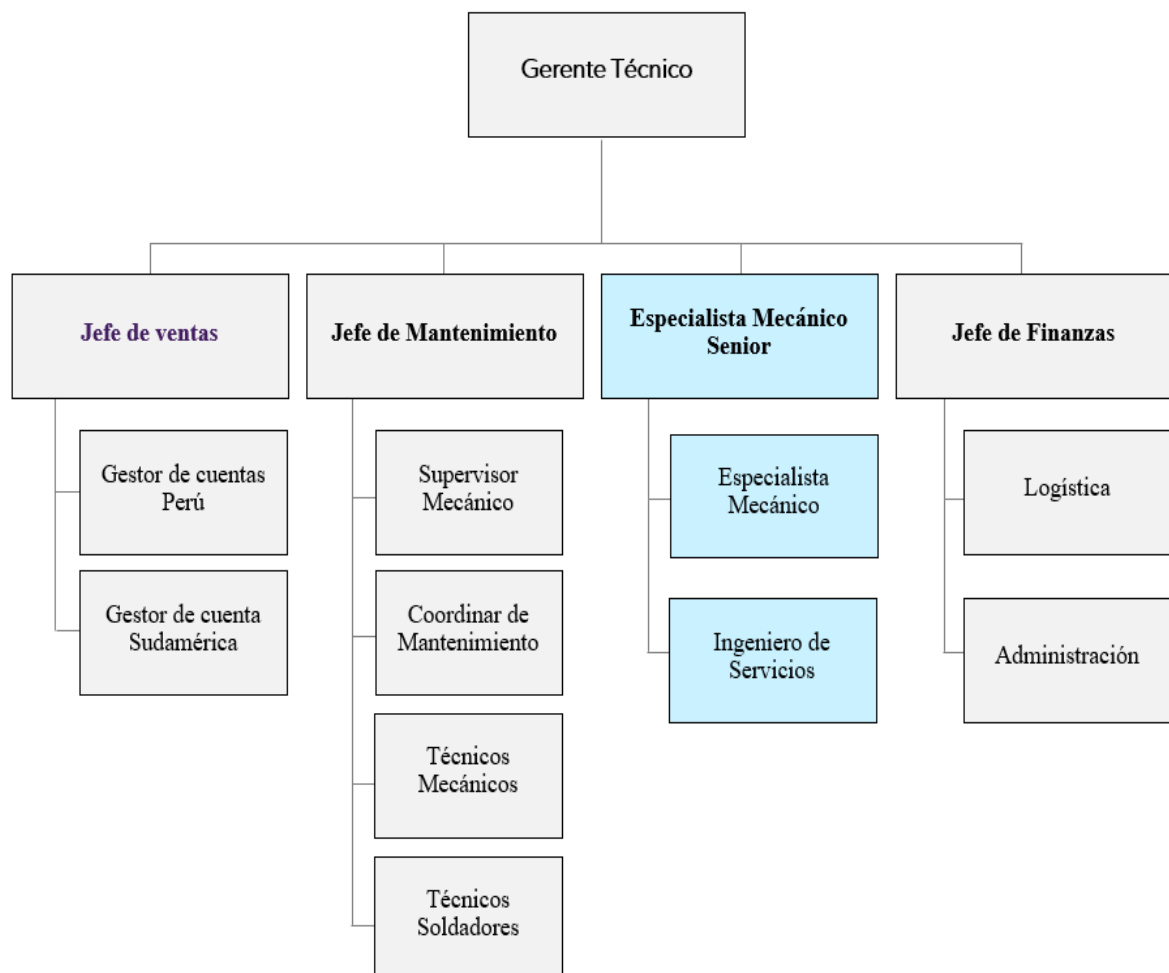
“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

productivas como no productivas), garantizando su correcto funcionamiento y tratando de evitar paradas no programadas. Supervisará el desarrollo continuo de prácticas y procedimientos.

- Especialista mecánico, dar soporte en el campo a los clientes y usuarios, durante la operación, mantenimiento de los equipos industriales, apoyar en el monitoreo de actividades de la competencia. Manejar a detalle la parte técnica de los diferentes equipos de planta.
- El director Financiero debe evaluar y crear directrices para la gestión financiera de la empresa. Supervisar la recopilación y el análisis de los datos financieros. Calcular gastos e ingresos para alcanzar objetivos predeterminados.

Figura 1:

Organigrama funcional empresa en estudio.



Nota: tomado de la empresa en estudio

1.4. Direccionamiento estratégico

- **MISIÓN**

“Al llevar a cabo la gestión completa de todos los servicios de mantenimiento, reparación y otros servicios auxiliares que necesiten, queremos ser un activo importante para nuestros clientes. En todos los lugares donde operamos, disponemos de representantes con personal propio cualificado, lo que proporciona la proximidad al consumidor que requiere nuestro servicio. Estamos comprometidos con la excelencia en la calidad y el servicio”.

- **VISIÓN**

“Consolidar nuestra posición de líderes del mercado y seguir expandiéndonos tanto geográficamente como lanzando nuevas líneas de negocio para satisfacer la creciente demanda de servicios de nuestros clientes”.

- **VALORES**

Integridad, excelencia y cercanía al Cliente.

1.5. Servicios que se brinda

Los tipos de servicio que se brinda son: asesoría técnica, Supervisión de mantenimiento, venta de repuestos, mantenimiento preventivo, asistencia remota 24/7, puesta en marcha de maquinarias industriales, los cuales tienen los siguientes objetivos:

- **Asesoría técnica:** Transmitir conocimientos técnicos en diferentes equipos del proceso de cemento. Asegurar el correcto funcionamiento del activo con las recomendaciones del fabricante
- **Supervisión de mantenimiento:** Asegurar que en las intervenciones mecánicas se cumpla con el procedimiento de desmontaje y montaje.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

- **Venta de repuestos:** Asesorar los repuestos necesarios del activo de la planta de cementos, asesorar una gestión correcta de OPEX.
- **Mantenimiento preventivo:** Ejecutar actividades de mantenimiento programado, ayudar a prevenir posibles fallos en el futuro
- **Asistencia remota:** Asistir técnicamente en el proceso, monitorear parámetros de operación del cemento.
- **Puesta en marcha de máquinas industriales:** Realizar el arranque de equipos del proceso de cemento, hornos rotatorios, chancadoras, previa supervisión de Precomisionado, identificar tolerancias del fabricante.

Tabla 1:

Porcentaje de participación de servicios que brinda empresa en estudio

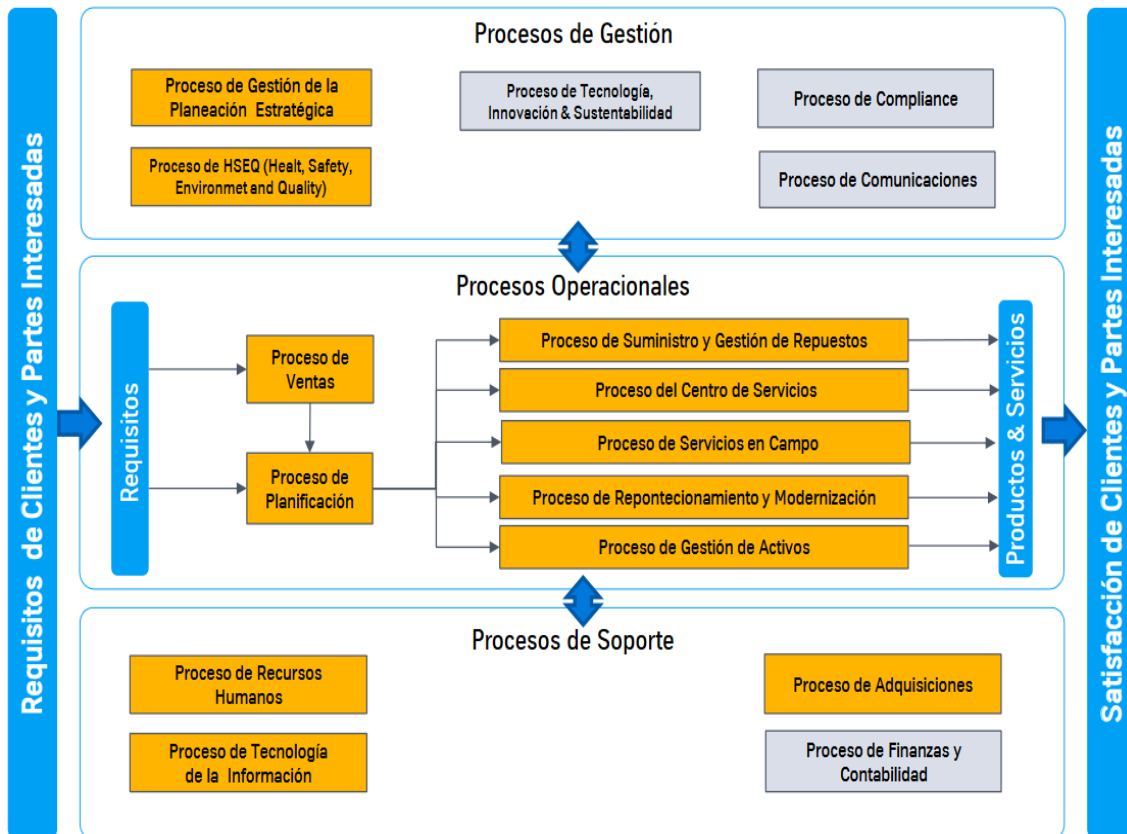
SERVICIOS EN CEMENTOS	
ACTIVIDAD	% PARTICIPACIÓN
Asesoría técnica	10%
Supervisión de mantenimiento	15%
Venta de repuestos	35%
Mantenimiento preventivo	30%
Asistencia remota	5%
Puesta en marcha	5%

Nota: tomado de la empresa en estudio

1.6. Mapa de procesos General

Figura 2:

Mapa de procesos empresa en estudio.



Nota: tomado de la empresa en estudio

1.7. Procesos operacionales

- Gestor de ventas:**
 Realiza visita técnica en clientes cementeros, informa los beneficios del servicio de comprobación geométrica en los hornos rotatorios.
- Cliente Cementero:**
 Genera una solicitud de pedido, mediante un correo electrónico o llamada telefónica.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

- **Proceso de ventas:**

Genera una oferta técnica y/o comercial, en la cuales especifica las responsabilidades que tiene la empresa ejecutora y empresa de cemento.

- **Cliente Cementero:**

Emite una orden de compra para el área de ventas, gestiona disponibilidad del servicio

- **Gestor ventas:**

Recepción de la Orden de compra e informa a las áreas de Especialistas mecánicos, planificación, Finanzas.

- **Departamento de Planificación:**

Genera un centro de costo para el control de gastos generados por el servicio, luego compra los boletos de viaje, recepción de hotel, alquiler de camionetas, generación de pases de ingreso a planta de cementos

- **Departamento de Especialistas:**

Prepara documentación técnica, gestiona procedimientos de seguridad, gestión de examen médico, solicita viáticos.

- **Departamento de Logística:**

Prepara traslado de instrumentos y herramientas, gestiona documentos para la importación temporal de mercancía, informa al área de servicios que las herramientas se encuentran en el almacén del cliente cementero.

- **Departamento de Especialistas:**

Especialista mecánico viaja al cliente Cementero, coordina actividades con Supervisión, explica detalles de ejecución del servicio de comprobación geométrica, Especialista realiza una inspección de área de trabajo, instala sus instrumentos, registra datos de diámetros, deformaciones, ovalidad del horno rotatorio. Presenta informe preliminar, cierre del servicio con firmas de hoja de tiempo.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

- **Departamento de Logística:**

Retorna las herramientas al almacén.

- **Departamento de finanzas:**

Recepción de gastos por el servicio generado, envía facturas, hoja de tiempo, informe técnico al área financiera de la empresa de cementos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

MARCO EMPÍRICO

Galleguillos (2019), tenía como objetivo identificar los parámetros operativos en un horno piloto y su impacto en el proceso de producción de clínker. Con el fin de crear futuros servicios para las empresas cementeras, para el desarrollo de este proyecto se realizaron pruebas preliminares de los factores operativos con el fin de comprender su impacto en el horno y analizar las distintas variables operativas del mismo. Con los resultados se calcularon las pruebas de flexión y compresión, la temperatura del material a 40 centímetros de la llama y las variables operativas del horno rotatorio.

Segura y Cruz (2015), se centra en el planteamiento para desarrollar este tipo de plan de mantenimiento con esta filosofía, las ventajas, beneficios, y pretende determinar los aspectos generales del mantenimiento y, en particular, el centrado en la confiabilidad. Además, se afirma que el mantenimiento debe tener en cuenta las piezas de repuesto y su almacenamiento. Como resultado, se estableció un estudio de caso de mantenimiento "centrado en la confiabilidad" en el negocio del cemento. Debido a la intensa competencia que exige la actual globalización del mercado, las empresas deben aumentar constantemente la productividad de sus procesos para garantizar la rentabilidad y la viabilidad a largo plazo. Los resultados nos ayudarán a gestionar mejor las comparaciones de resultados antes de su aplicación, a fin de adoptar medidas correctivas y evaluar el éxito del enfoque de mantenimiento.

Valdez (2008), en la industria metalúrgica es importante contar con equipos que sean rentables en términos de productividad, ya que los materiales utilizados para reparar estos equipos son muy costosos, por lo que se buscó establecer una metodología para determinar los factores que afectan el refractario del horno rotatorio, para optimizar su vida útil. Los siguientes componentes integran esta metodología: adquisición de información sobre el proceso del horno rotatorio, como las dimensiones constructivas del equipo, la composición y análisis químico de la mezcla (horno largo que incluye concentrados metálicos, fundentes y proceso secundario) y el análisis químico de la grasa o escoria del horno rotatorio, así como información

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

operativa como temperatura de operación, carga por día, volumen de carga y días promedio de operación. Los resultados del experimento se apoyan en un estudio de análisis costo-beneficio para seleccionar el más rentable para el equipo.

Chacón (2015), examinó los efectos de los parámetros de funcionamiento del horno rotatorio sobre las características superficiales del aditivo carbonoso a base de coque utilizado en los reactores de hidro conversión en fase fangosa. Para ello realizó un experimento utilizado en los reactores de hidro conversión en fase fangosa con el fin de determinar los parámetros de funcionamiento ideales para mejorar la capacidad de producción de la maquinaria. En la primera parte se probó la velocidad del tornillo alimentador del horno, la velocidad de rotación del cilindro y el ángulo de inclinación en condiciones de frío. Luego se hicieron pruebas térmicas, modificando las temperaturas de la zona de reacción y el caudal de aire en contracorriente. Determinando que el tratamiento térmico para producir un porcentaje de carga en el horno debería estar entre 5 y 7% como máximo, el tiempo de residencia en la zona de calentamiento efectivo entre 18 y 32 min., y una temperatura entre 540°C y 560°C.

Mancilla (2019) pretende aumentar el rendimiento y reducir los costes de la producción de cemento concentrándose únicamente en el proceso de generación de calor. El cemento especial se produce utilizando puzolana, que entra en el proceso con un 20% de humedad y es el origen de todo el problema porque actualmente es incapaz de mantener la energía térmica necesaria para completar el proceso de secado. El generador de calor utiliza mucho combustible y realiza un gran esfuerzo para funcionar al máximo de su capacidad mientras intenta mantener la estabilidad para satisfacer la demanda impuesta por el proceso de secado. Dos aspectos clave son las actuales limitaciones de capacidad del equipo y los gastos relacionados con esta cuestión, como ajustes del material refractario, mantenimiento frecuente, ajustes de las herramientas relacionadas con el proceso, entre otros. Los resultados demuestran que existe una ventaja económica, ya que el precalentador de aire evita que el generador funcione a pleno rendimiento. Esto aumenta la producción, reduce el consumo de combustible, mejora el rendimiento y la eficiencia del equipo, minimiza el tamaño de la llama para evitar un menor desgaste. Esto reduce el precio de mantenimiento o sustitución de los mismos componentes del generador de calor. Con

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

la ayuda del análisis porcentual, es más fácil entender todo esto. El coste de consumo de combustible se reduce un 12% anual, es decir, \$ 80.485.186, y los costes de explotación se reducen un 25%, es decir, \$ 3.637.418. Además, suponiendo un aumento del 2% en la producción, que se replica en 6.000 tn, se obtendría un beneficio (sin realizar un análisis de mercado previo) de \$ 572.700.000, anuales. Además, suponiendo un aumento del 2% en el rendimiento y la eficiencia de los equipos -que, como ya se ha dicho, depende del generador de calor y puede llegar hasta el 92%- se obtendría un beneficio. se centró únicamente en el proceso de generación de calor en un esfuerzo por aumentar la producción y reducir los gastos en la fabricación de cemento. Como utiliza puzolana, que entra en el proceso con un 20% de humedad y es la raíz de todo el problema, este producto tiene ahora problemas para retener la energía térmica necesaria para satisfacer las necesidades energéticas del proceso de secado. El generador de calor gasta mucho combustible y ejerce un gran esfuerzo energético para funcionar al máximo rendimiento mientras intenta mantener la estabilidad para satisfacer la demanda impuesta por el proceso de secado.

Zhindón (2015) Aplicó en la gestión del mantenimiento una herramienta informática creada en Matlab en la que periódicamente o de manera continua se hicieron balances de masa y energía en el sistema precalentador-horno-enfriador para facilitar el cálculo y obtención de resultados de calor. Concluyendo que los balances de calor realizados en el horno-reactor de Clinker permite evaluar su funcionamiento y efectividad operativa en la cual se analiza las variables: el poder calorífico del combustible utilizado en la planta, el área de las paredes del horno rotatorio y la eficacia térmica del sistema.

MARCO TEÓRICO

2.1. Mantenimiento

Montilla (2016) explica que el mantenimiento es el proceso de mantener un activo productivo funcionando de forma óptima. Es un componente de la ingeniería que, con su acción, ayuda a preservar los elementos de una empresa, así como a reducir los fallos inesperados, lo que redundará en un aumento del ahorro, la seguridad y la eficacia. El mantenimiento es una actividad dinámica que cambia y se mejora continuamente, no una actividad estática que se planifica y se lleva a cabo perpetuamente. Producción y mantenimiento van de la mano. Todas las dependencias de una empresa están atravesadas por estas disciplinas.

2.2. Tipos de mantenimiento

Montilla (2016) señala que el mantenimiento industrial ha evolucionado en el tiempo sin dejar de coexistir, por lo cual se agrupan en los siguientes:

- **Mantenimiento correctivo:** Para Montilla (2016) y Ros (2010) cuando una máquina necesita mantenimiento tras experimentar un fallo funcional o cuando resulta evidente que está a punto de producirse un fallo importante (fallo potencial). El mantenimiento correctivo puede desglosarse a su vez en las siguientes categorías basadas en los criterios de fallo funcional y fallo prospectivo expuestos anteriormente: **Emergencia** Cuando se produce un fallo funcional de forma inesperada durante la fase de producción de una empresa, se realiza el mantenimiento correctivo y, normalmente, la producción se detiene o se interrumpe. Puede dar lugar a pérdidas de producción, accidentes laborales, pedidos de clientes incumplidos, problemas de calidad y daños medioambientales. Cuando se produce un fallo probable, se recurre al mantenimiento correctivo programado. Como los efectos del fallo no son catastróficos, es posible terminar el turno de trabajo o el ciclo de producción antes de realizar los cambios necesarios.
- **Mantenimiento Predictivo:** Para Montilla (2016) y Sánchez (2006) Examinando y evaluando los cambios en las variables operativas, se pueden examinar las señales de fallo y prever cuándo fallará una máquina. El mantenimiento predictivo

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

es una etapa más avanzada del mantenimiento preventivo. En esta etapa, se prueban las piezas de la máquina y, al mismo tiempo, se miden las variables operativas para determinar su rendimiento a lo largo del tiempo y de acuerdo con el ciclo de mantenimiento predictivo. Se debe especificar el importe del límite de admisión y el valor de la señal de advertencia para el activo que se va a supervisar. La variable se medirá periódicamente, y cuando alcance su señal de alarma, se deberá realizar una intervención programada con el equipo.

- con el fin de restablecer su nivel de rendimiento. El equipo corre el riesgo de sobrepasar el límite admisible y sufrir daños importantes si la señal de alarma no es atendida por profesionales del mantenimiento. Se ofrece una lista de las ventajas e inconvenientes del mantenimiento predictivo, y se apoya en tecnologías y procedimientos específicos como el análisis de vibraciones, la termografía, el análisis del aceite, las pruebas con colorantes penetrantes, los ultrasonidos, los rayos X y las pruebas con partículas magnéticas.
- **Mantenimiento Preventivo:** Pará Montilla (2016) y García (2012) el mantenimiento preventivo es un tipo de mantenimiento cuyo objetivo principal es evitar fallos en un sistema productivo mediante la realización de tareas rutinarias (como observar, inspeccionar, calibrar, ajustar, cambiar, lubricar y reparar) a intervalos regulares relacionados con cada ciclo productivo específico. Cuando se completan las actividades fundamentales, puede ser necesario realizar otros trabajos programados (como mantenimiento correctivo planificado, modificaciones o revisiones). Las grandes empresas de todo el país son las que más recurren al mantenimiento preventivo. El comportamiento del mantenimiento preventivo dependerá del nivel de rendimiento óptimo de la máquina o equipo y del tiempo de funcionamiento. Inspecciones preventivas periódicas de la máquina o equipo; lo ideal es que, basándose en el conocimiento del comportamiento y rendimiento de la máquina o equipo, se ejecute una parada preventiva antes de que se produzca un fallo catastrófico; la parada preventiva tiene un tiempo de duración breve, durante el cual se deben completar las tareas programadas y otras tareas pendientes de acuerdo con los resultados de la inspección mediante el mantenimiento correctivo programado.
- **Mantenimiento Productivo total (TPM):** Para Montilla (2016) y Pérez (2011) el Mantenimiento Productivo Total es una estrategia de mantenimiento que implica la cooperación y el compromiso de todos los niveles de la organización, incluida

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

la dirección, para aumentar la producción. La productividad se define como la capacidad de desarrollar tareas en un tiempo determinado y en relación con los bienes o servicios adquiridos, a partir de un conjunto específico de recursos. En pocas palabras, ser productivo es maximizar la producción minimizando los residuos y manteniendo los estándares de calidad y seguridad. El TPM se originó como un desarrollo del mantenimiento preventivo, al igual que lo hizo el mantenimiento predictivo. Para impulsar la productividad, se puede disociar el término TPM y examinar las contribuciones de cada componente. Mantenimiento: Actividades para mantener las instalaciones en buen estado. como invertir tiempo en estas actividades fundamentales, como mantener, apretar, lubricar y arreglar Productivo: Aspirar a la productividad evitando castigos. Se menciona la eficacia de las tareas de mantenimiento y la mejora continua. consideración de todos los factores relacionados con las máquinas y equipos y la participación de todo el equipo de trabajo de la empresa. El TPM se centra inicialmente en el elemento principal, que son las personas, para sensibilizarlas, formarlas y cambiar para bien su actitud en la realización del trabajo, así como su visión de la vida. Posteriormente, estas personas centrarán mejor su atención en la producción. Esto contrasta con los sistemas de mantenimiento preliminar (Correctivo, Programado, Preventivo y Predictivo). (instalaciones, procedimientos, máquinas y equipos) para aumentar la productividad de la empresa y, en consecuencia, ser más competitivos como individuos y como grupo. A estas alturas, el TPM debería ser más una forma de vida que un método de trabajo.

- **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM:** Para Montilla (2016) y Mora (2009) el mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM es una filosofía de gestión del mantenimiento que maximiza la confiabilidad operativa de un sistema que funciona en condiciones de trabajo específicas, en función de cuándo son vitales sus componentes, teniendo en cuenta las posibles consecuencias de los modos de fallo para la seguridad, el medio ambiente o las operaciones. Un sistema que funciona bajo unas directrices específicas basadas en cuándo son cruciales sus componentes, teniendo en cuenta las consecuencias de los modos de fallo de estos componentes para las operaciones, el medio ambiente y la seguridad. En este enfoque de mantenimiento, el rendimiento total del sistema - en lugar del rendimiento de cada máquina o pieza del equipo por separado- recibe una consideración específica. La importancia de una pieza de maquinaria o

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

equipo depende de la tarea que realiza durante un proceso de producción. La fiabilidad es el concepto central de RCM. El objetivo de RCM es identificar el estado crítico de los activos de cualquier proceso y, utilizando este conocimiento, llevar a cabo el mantenimiento preventivo/predictivo de las empresas. Mientras que el RCM se centra en garantizar la confiabilidad de un proceso o equipo, el TPM busca, en última instancia, aumentar la productividad de una organización. Ambas tácticas han sido combinadas eficazmente por empresas de talla mundial, reduciendo casi a cero las crisis y los fallos y cosechando los beneficios de una mayor capacidad de producción, el desarrollo del trabajo en equipo, la reducción de costes, la mejora continua de los procesos.

- **Mantenimiento Basado en el Riesgo:** Para Salomón y Perdomo (2001) Los equipos que un análisis de probabilidad-riesgo identifica como los de mayor impacto de riesgo son aquellos en los que se centran los recursos de mantenimiento en el sistema de mantenimiento de última actualización. RBM es especialmente adecuado para su uso en operaciones industriales de alto riesgo. El objetivo de los Sistemas Integrados de Seguridad de RBM es reducir el riesgo a niveles que sean aceptables o soportables; no obstante, el riesgo no puede dirigirse a cero. A nivel industrial, equipos profesionales interdisciplinarios crean este modelo de mantenimiento.

El estudio hace referencia al mantenimiento preventivo por lo cual se detalla a continuación este:

2.3. Mantenimiento preventivo

Rodríguez (2003) indica que, los primeros requisitos que se deben exigir al mantenimiento son evitar daños y que los trabajos de mantenimiento no compliquen el proceso productivo, señala, partiendo del principio de que toda máquina o instalación se planifica con las características idóneas para el trabajo a desarrollar. El trabajo de mantenimiento incluye todas las tareas necesarias para asegurar la continuidad de estas características originales y una disponibilidad máxima para el trabajo a desarrollar. Las inspecciones y reparaciones deben realizarse de forma

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

programada para mantener la continuidad de las máquinas. De lo contrario, podrían producirse desgastes y averías.

2.4. Procedimiento

Para la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo con alta calidad, tendrán que incorporar un correcto plan de mantenimiento, utilizar herramientas tecnológicas que faciliten la gestión y su registro de datos.

2.5. Técnicas

Laurival (2007) recomienda que es mejor comenzar el proyecto de recopilación de bases de datos con la identificación de los componentes que integran la instalación industrial o de servicios, su ubicación y su utilidad para establecer un sistema de control del mantenimiento. El inventario es una recopilación de datos que relaciona cada equipo con su campo de uso apropiado, su función futura, su centro de costes y su ubicación en relación con el área de producción. Sirve de apoyo a los empleados de gestión. Identificar la criticidad del equipo, estudiar los manuales del fabricante, los catálogos, las recomendaciones del fabricante, las piezas de repuesto críticas, las solicitudes de compra y los gastos son las estrategias utilizadas para ejecutar el mantenimiento preventivo.

Montilla (2019) sugiere que lo mejor es implementar un registro de máquinas, equipos, codificación de máquinas, creación de fichas técnicas importantes, creación de historial de equipos, lista de requisitos e instrucciones, programación de actividades, desarrollo diario de rutinas básicas de mantenimiento, definición y creación de formatos de apoyo a la gestión del mantenimiento, hojas de vida, órdenes de trabajo, indicadores de mantenimiento y automatización de la información.

La técnica de comprobación geométrica está relacionada con la identificación de criticidad del horno rotatorio, seguir paso a paso las recomendaciones del fabricante.

2.6. Indicadores de mantenimiento

2.6.1. Disponibilidad:

Montilla (2019) indica que la capacidad de una máquina o equipo para llevar a cabo con éxito la tarea para la que ha sido concebida, durante un período de tiempo específico, en circunstancias particulares. Se definen el Tiempo de Producción Programado TPP y el Tiempo de Parada No Programado TPNP.

$$D = 100 \times \frac{TPP - TPNP}{TPP}$$

Donde

D es el porcentaje de disponibilidad;

TPP es el tiempo planeado para la producción;

TPNP es el tiempo de paradas no programadas

2.6.2. Confiabilidad

Probabilidad de que un equipo no falle durante su operación. Se evalúa por intermedio del Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF)

$$TPEF = \frac{Top}{Narr}$$

Donde

TPEF es la confiabilidad o tiempo promedio entre fallas;

Top es el tiempo real de operación de la planta;

Narr es el número de arranques de planta.

2.6.3. Mantenibilidad

Zegarra (2016) explica que el tiempo medio de reparación TPPR se utiliza para calcular la mantenibilidad. Definición 1: Propiedad de un equipo o sistema que refleja la cantidad de trabajo necesario para que todo siga funcionando normalmente o para que todo vuelva a la normalidad tras producirse un fallo. Cuando el trabajo necesario para el restablecimiento es mínimo, un sistema se

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

etiquetará como de alta mantenibilidad. Los sistemas de baja mantenibilidad necesitan más mano de obra, supervisión, piezas de repuesto y consumibles para que sigan funcionando sin problemas. conservarse o recuperarse. la probabilidad de que, tras el mantenimiento, un equipo pueda volver a funcionar en un plazo determinado. de acuerdo con los protocolos establecidos.

$$TPPR = \frac{Tnop}{Narr}$$

Donde

TPPR es el tiempo promedio para reparar

Tnop es el tiempo que duraron las intervenciones de mantenimiento

Narr es el número de arranques de planta.

2.7. Técnica de comprobación geométrica en hornos rotatorios

2.7.1. Finalidad

Con la medición geométrica en hornos rotatorios, fiablemente se diagnostican las desviaciones verticales y horizontales del eje del horno, así como deformaciones, excentricidades y ovalidades de la camisa del Shell. Con ello aumenta notablemente la disponibilidad del horno rotatorio, ya que se detectan preventivamente los daños.

2.7.2. Procedimiento

Holderbank (1993) indica los aspectos mecánicos para el cálculo de medición de hornos rotatorios

Distorsión radial: Todos los hornos rotatorios en servicio, se encuentran sujetos a la distorsión radial, especialmente en el área de los anillos de rodadura. Esto significa que en el curso de una revolución se presentan diversos radios de curvatura de la cubierta del horno. La distorsión puede ser clasificada como: distorsión del anillo de rodadura en el área de los rodillos, distorsión en la carcasa del horno en el punto superior. La distorsión del anillo de rodadura es causada por las dos fuerzas de reacción $Q/2$ que afectan la sección transversal del apoyo de la carga, la distorsión de la carcasa o el aplastamiento en la parte superior es

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

un resultado de las condiciones de ajuste entre el anillo de rodadura y la carcasa del horno, debido a su propio peso, el anillo de rodadura se aplasta también, esta distorsión será considerada cuando la ovalidad se determine matemáticamente.

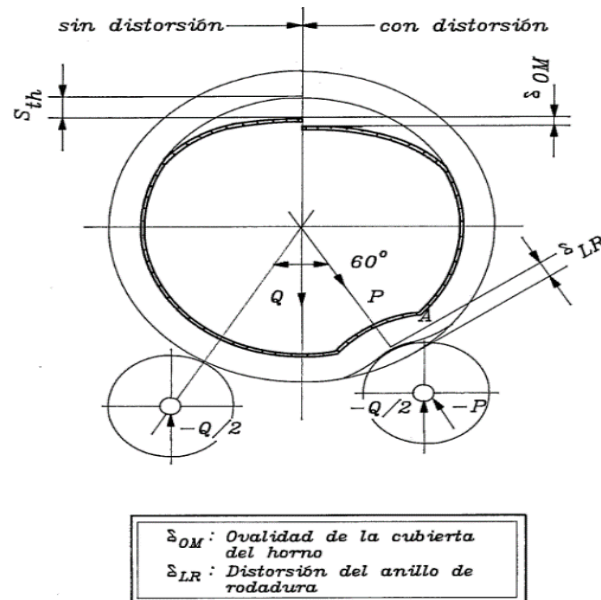
Efectos y medidas: La duración del revestimiento refractario (vida de los ladrillos) se encuentra influenciada sustancialmente por la condición mecánica del horno rotatorio, es decir por distorsión producida. El cambio continuo del radio de curvatura de la carcasa del horno durante su rotación produce una presión superficial excesiva entre los ladrillos. La adhesividad o estabilidad del revestimiento de ladrillos dentro del horno depende del efecto de arqueado. El arco sigue los cambios de curvatura y, como consecuencia de ello, puede conducir a la rotura del revestimiento, lo que equivale a una avería en el revestimiento del ladrillo. Con el fin de impedir la avería del revestimiento de ladrillo, o un consumo excesivamente elevado del mismo, es necesario establecer la importancia de los factores influenciadores, es decir, determinar el grado de distorsión del horno rotatorio a intervalos regulares

Ovalidad del horno rotatorio: La ovalidad del horno rotatorio corresponde a la magnitud o al grado de la distorsión. El cambio del radio de curvatura es un indicador de la distorsión. La ovalidad puede ser expresada por la diferencia máxima entre los radios de curvatura. El elipse como circuito deformado sirve como modelo, la ovalidad de la elipse se expresa como la diferencia entre dos semiejes a y b que son función de Δr_{max} . El diámetro interno de los anillos de rodadura sueltos es siempre algo mayor que el diámetro externo (sobre las zapatas del anillo de rodadura). Debido a este juego del anillo de rodadura, este último se mueve con respecto al horno en la dirección de la circunferencia. Por lo tanto, este juego debería ser controlado por lo menos una vez cada semana y también durante la realización de cada medida de distorsión.

2.7.3. Fórmulas

Figura 3:

Distorsión radial



Nota: tomado de Holderbank, (1993). Aspectos mecánicos de la operación de hornos. Seminario de cemento.

Figura 4:

Fórmula Ovalidad del horno rotatorio

- o Ovalidad ω = grado de distorsión

$$= f(\pi_{max}) = f(r_2 - r_1) = f(a, b)$$
- o Definición $\omega = 2a - 2b = 2(a - b)$
- o Condición:
 Perímetro del círculo $U =$ Perímetro de la elipse U

$$U_K = d \cdot \pi = U_E = (a + b) \cdot \pi$$

$$d = a + b$$

Nota: tomado de Holderbank, (1993). Aspectos mecánicos de la operación de hornos. Seminario de cemento

Figura 5:

Juego teórico del anillo de rodadura

$$S_{th} = D - d$$

D = Diámetro interno del anillo de rodadura

d = Diámetro externo de la carcasa del horno (sobre las zapatas del anillo de rodadura)

D, d corresponden a la sección sin deformación

Nota: tomado de Holderbank, (1993). Aspectos mecánicos de la operación de hornos. Seminario de cemento

Figura 6:

Ovalidad del anillo de rodadura

5.3 Cálculos

Momento de flexión*

$$M_{B2} = M_{Bm\acute{a}x}$$

$$M_{Bm\acute{a}x} = 0.086 Q \cdot R$$

Deformación*

$$\delta_2 = \delta_{m\acute{a}x}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 0.0208 \frac{Q \cdot R^3}{E \cdot J}$$

Esfuerzo de flexión

$$\sigma_{BLR} = \frac{M_{Bm\acute{a}x}}{W} = 0.086 \frac{Q \cdot R}{W} = \left[0.516 \frac{Q(D_A + D)}{b(D_A - D)^2} \right]^{**}$$

(kp/mm²)

Ovalidad*

$$\omega_{LR} \approx \pm 2\delta_3 \approx 4\delta_3 \approx 4\delta_{m\acute{a}x}$$

$$\omega_{LR} = 0.0832 \frac{Q \cdot R^3}{E \cdot J} = \left[0.125 \frac{Q}{b \cdot E} \left(\frac{D_A + D}{D_A - D} \right)^3 \right]^{**}$$


(mm)

Presión de Hertz

$$\sigma_H = -0.418 \sqrt{\frac{P \cdot E}{r \cdot b}} \quad \frac{1}{r} = 2 \left(\frac{D_A + d_R}{D_A \cdot d_R} \right)$$

$$\sigma_H = -0.449 \sqrt{\frac{Q \cdot E}{b} \left(\frac{D_A + d_R}{D_A \cdot d_R} \right)}$$

(kp/mm²)



* de acuerdo con NIES (α = 30°)

** solamente para sección sólida rectangular

Dimensiones: (mm)

Fuerzas: (kp)

Nota: tomado de Holderbank, (1993). Aspectos mecánicos de la operación de hornos. Seminario de cemento

Figura 7:

Leyenda de datos

d_N	=	Diámetro nominal del horno
d	=	Diámetro nominal de la carcasa
t	=	Espesor de la chapa
d	=	$d_N + (2 \cdot t)$
ω_{LR}	=	Ovalidad calculada del anillo de rodadura
J_{LR}	=	Momento de inercia del anillo de rodadura
ω	=	Ovalidad medida con la unidad Shelltest
ΔH	=	Movimiento relativo
s	=	Juego del anillo de rodadura

Nota: tomado de Holderbank, (1993). Aspectos mecánicos de la operación de hornos. Seminario de cemento

2.7.4. Software para calcular la geometría del horno

Para agilizar el cálculo de la comprobación geométrica en el mantenimiento existen dos softwares que ayudan a este propósito. El software Tom Tom permite calcular la ovalidad del aro de rodadura, el software cativate analiza las deformaciones de la camisa del horno rotatorio.

2.8. Información general de la industria cementera

2.8.1. Procesamiento del cemento

Carrasco (2016) muestra que las materias primas que se mezclan trituran, procesan y muelen en la industria del cemento son piedra caliza, arcilla y hierro. La mezcla molida se homogeneiza y, a continuación, se envía a un intercambiador de calor en contracorriente para su precalcación, donde se calcina. La mezcla precalcada se introduce en un horno rotatorio, donde

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

las interacciones fisicoquímicas hacen que la mezcla se calcine hasta el punto de fusión, creando el clínker.

2.8.2. Equipos críticos del proceso del cemento

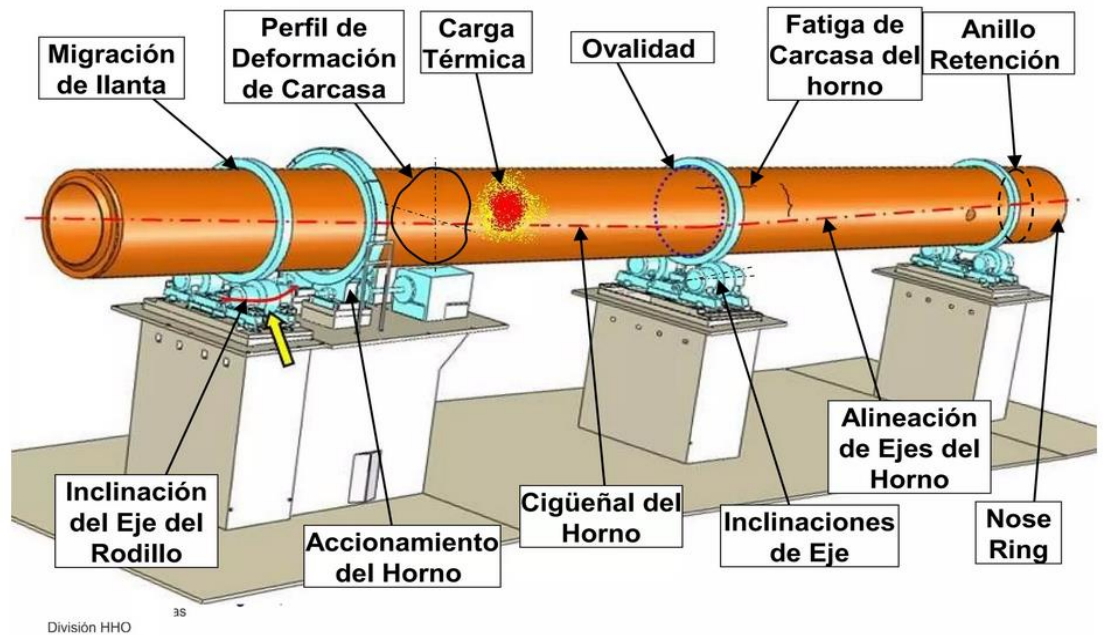
En el 60% de las fábricas de cemento, el mantenimiento correctivo se aplica regularmente para mantener la producción en marcha, según el análisis de criticidad realizado en varias fábricas de cemento. Los equipos utilizados para la producción son propensos a fallar y a dejar de realizar su función cuando es necesario. El horno rotatorio, que es la pieza más importante de la maquinaria y el principal activo de la producción, está formado por un tubo cilíndrico soportado por 2 a 5 estaciones de laminación, tiene una inclinación del 4% respecto a la horizontal, gira a velocidades comprendidas entre 1,5 y 4,0 rpm, y contiene ladrillos refractarios en su interior. El cilindro del horno tiene un diámetro aproximado de 5 metros y una longitud de 80 metros. San Juan (2014) y Chinchón (2014)

2.8.3. Horno rotatorio

Holman (1999) explica que el horno es cilíndrico, tiene una pequeña inclinación horizontal y gira lentamente alrededor de su eje longitudinal. El extremo superior del cilindro se alimenta con la materia prima del proceso. El material se desliza gradualmente hacia el extremo inferior del horno a medida que gira y puede experimentar algunas turbulencias y mezclas. Toda la longitud del horno se utiliza para transportar los gases calientes, a veces en la misma dirección que el material del proceso. La contracorriente suele ser en sentido contrario. Los gases calientes pueden producirse dentro del propio horno o en un horno externo. El tubo del quemador es donde se emite la llama. El combustible alternativo para el proceso, que puede ser gas o petróleo.

Figura 8:

Partes del horno rotatorio



Nota: tomado de Fundamentos sobre hornos rotatorios (p.08), H. Felauto, 2016, Soluciones Mecánicas División HHO.

2.8.4. Mantenimiento del horno rotatorio

El mantenimiento general del horno se lleva a cabo en una única parada anual, durante la cual se sustituye el ladrillo refractario, se realiza el mantenimiento de rodillos, cojinetes, pruebas de ultrasonidos y otros componentes mecánicos, y se cambia la virola en función de la excentricidad y ovalidad del equipo. En los últimos cinco años, sin embargo, se ha observado que los hornos han experimentado múltiples paradas de emergencia, lo que ha costado dinero a las cementeras en concepto de mantenimiento correctivo. Se siguen presentando fallas inesperadas, gastos no planificados de mantenimiento. Con el avance de la ingeniería, los diseñadores de máquinas ejecutaron simulaciones en software a diferentes

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

cargas y velocidades, análisis de los comportamientos térmicos de los materiales, deformaciones plásticas no controladas que se generan en un proceso de operación. Con la aplicación técnicas de comprobación geométrica en los hornos rotatorios planteado se busca garantizar la operatividad del proceso de cemento con la alta precisión, medición rápida y exacta de hornos rotativos durante el funcionamiento, realizando así un diagnóstico seguro. Para lograr una exactitud elevada, todas las secuencias de medición se analizan controladas por ordenador y directamente durante la medición. Para asegurar una disponibilidad lo más elevada posible del horno, resulta necesaria la aplicación de la geometría del horno giratorio durante el estado de funcionamiento en los rangos de tolerancia diseñados y se eviten distribuciones de carga desiguales en las estaciones de rodillos. El objetivo de esta aplicación es reducir los efectos de las averías y las paradas imprevistas de los activos para aumentar la producción y centrarse en la prevención. Esto solucionará los problemas actuales del horno y tendrá un impacto económico positivo en el negocio. Holman (1999) y Labahn (1985).

2.9. Herramientas de análisis

2.9.1. Matriz AMEF

Para Alonso (2016) se ha creado con el objetivo de evaluar la fiabilidad de los equipos, en la medida en que determina los efectos de los fallos de los activos, y demuestra que, en el proceso de comercialización de bienes y servicios y con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes, se ha exigido a las empresas que ofrezcan garantías, es decir, que se comprometan con el cliente durante un periodo determinado a reparar o sustituir la totalidad o parte de los productos que presenten defectos de funcionamiento o de construcción.

2.9.2. Tipos de AMEF

La aplicación del método de los AMEF a un producto actúa como herramienta predictiva para identificar posibles fallos de diseño, lo que aumenta la probabilidad de prever las consecuencias que podrían tener en el usuario o en el proceso de producción. Proceso Cuando se aplica a los procesos, el AMEF

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

actúa como herramienta predictiva para identificar posibles problemas en una fase temprana, lo que aumenta la probabilidad de prever las consecuencias que podrían tener en el usuario o en una fase posterior de cada proceso. Al utilizar sistemas de AMEF en sistemas de software, es más probable identificar posibles fallos de diseño del software y predecir los efectos que pueden tener en la funcionalidad del software. El AMEF también puede utilizarse para analizar cualquier proceso en general en el que sea necesario documentar, ordenar y prevenir fallos mediante el análisis de sus impactos. Alonso (2016)

Ventajas potenciales de AMEF

Varela (2008) sugiere que este método de análisis proporciona una serie de ventajas potenciales dignas de mención, como: Descubrir los fallos potenciales de un sistema, proceso o producto; comprender a fondo el sistema, proceso o producto; determinar las implicaciones que podrían derivarse de cada fallo potencial; calibrar la gravedad (severidad) de los efectos; y determinar las fuentes potenciales de los fallos. Establezca umbrales de fiabilidad para la detección de fallos y evalúe la relación entre dificultad, ocurrencia y detectabilidad utilizando indicaciones específicas. Lleve un registro de sus planes de acción para reducir riesgos, identificar áreas de mejora y generar conocimientos. Calificar el material del AMEF como herramienta de formación para los procesos.

¿Cuándo se debe implementar el AMEF?

El AMEF es un proceso que mejora las organizaciones, por lo que su aplicación no requiere determinadas circunstancias operativas. Sin embargo, se pueden prever escenarios en los que el AMEF es una herramienta de apoyo crucial cuando se analiza el diseño de nuevos productos y procesos, programas de mantenimiento preventivo, el periodo de documentación de procesos y productos, y las etapas de recopilación de información como recurso de formación debido a las exigencias de los clientes. El AMEF es el mejor enfoque disponible para el diagnóstico y la implantación de la fabricación ajustada como mecanismo de acción preventiva. Para detener el desarrollo de problemas, se activa mediante indicadores. Varela (2008)

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Experiencia profesional y estudios

Mis estudios profesionales son Técnico titulado en Mecánica de Mantenimiento, Bachiller en ingeniería Industrial, Especialización en Gestión de mantenimiento, Especialización en monitoreo, mantenimiento de equipos Cementeros.

En mis 10 años de experiencia profesional he brindado servicios de mantenimiento, asesoría técnica especializada en cinco países de Latinoamérica, tres países de Europa, he participado de cuatro proyectos de gran envergadura en Perú, desarrollando funciones de Asesor Técnico, Ingeniero Residente, Especialista mecánico.

3.2. Proceso de ingreso empresa en estudio

En marzo del 2017 ingresé a laboral a la empresa en estudio, la postulación fue a través de un aviso de trabajo en la página web: LinkedIn; en dicho proceso pasé por cuatro filtros: Recursos Humanos, Gestor Comercial, Gerencia Técnica de Servicios y Jefe Financiero, saliendo seleccionado de un grupo de postulantes para el puesto de Especialista en Reductores de Gran Potencia.

Los requisitos para postular a esta oferta fue tener cinco años de experiencia en el rubro de cemento, inglés técnico, profesión ingeniero mecánico o Ingeniero industrial o técnico mecánico; el proceso de postulación duró un mes de las cuales fueron varias etapas del proceso de selección

Mi proceso de inducción contempló lo establecido por ley en cuanto a exámenes médicos, inducción en políticas generales y así como en el puesto de trabajo. Por parte del jefe de servicios recibí una inducción del puesto de trabajo, alcances técnicos, objetivos comerciales, atención a clientes, manejo de documentación internas, mercado cementero.

3.3. Proceso de evolución laboral

En el desarrollo de mi carrera profesional dentro de la empresa en estudio, debido a los logros en mi desempeño he ascendido a los siguientes puestos de trabajo: Especialista en reductores, Ingeniero de servicios y en la actualidad con el cargo de Especialista mecánico Sudamérica.

He participado en proyectos de gran envergadura con manejo de personal siete técnicos, costos mensuales de USD 5000,00, Instalaciones de equipos, puestas en marcha, atención técnica a clientes cementeros importantes en Perú, México, Argentina, Colombia.

3.4. Decisión de necesidad de implementación de la técnica de comprobación geométrica en el mantenimiento preventivo de hornos rotativos

El problema que afronta la industria del cemento en su activo más crítico “Hornos rotatorios” son las diferentes presiones de contacto no uniforme en las superficies de rodadura, desgaste en diámetros de rodillos, llantas, deformaciones plásticas en shell del horno, ovalidades, temperaturas fuera de rango; todo ello genera problemas como: desgaste prematuro en los rodillos, aros, desalineamiento de ejes, calentamiento fuera de rango en las virolas, deterioro prematuro en los ladrillos refractarios, desgaste acelerado en los flancos de los engranajes, piñón, contaminación de aceite entre otros.

Por ello el empleo de la técnica de Comprobación Geométrica en el mantenimiento preventivo ayuda a mejorar la disponibilidad, mejor stock de repuestos calculado por cada año, de manera preventiva se realiza el reemplazo de los componentes.

3.5. Proceso de involucramiento en el proyecto laboral

Con respecto al proyecto laboral de Aplicación de técnicas de comprobación geométricas, indicaré que la empresa en estudio tiene una base instalada del 50% en diferentes mercados cementeros en Sudamérica y Perú.

En el año 2020 la empresa en estudio decide implementar la técnica de comprobación geométrica, el proceso inicia a partir del 02 enero del 2020, con una reunión con la Gerencia técnica en donde se indica que se necesita disponer de equipos locales para poder atender a nuestros principales clientes, con lo cual esperan proporcionar una mayor disponibilidad en su proceso de cemento.

En esta reunión fueron convocados la Gerencia técnica, Jefe de Ventas, después de plasmar objetivos de la empresa en estudio, estrategias de negocio, me solicitaron que participe en la reunión y que exponga la parte técnica de los principales activos en una planta cementera.

Producto de los acuerdos de dicha reunión se aprueban la compra de instrumentos para la medición geométrica, y me proponen que sea el responsable para el manejo de los equipos; para ello se empieza las coordinaciones para poder recibir un entrenamiento fuera del país con los fabricantes de hornos rotatorios, el training tiene una duración de seis meses, dividiéndose en diferentes etapas: La primera etapa consiste en participar en servicios en Europa como aprendiz técnico, la segunda etapa es el manejo de instrumentos, la tercera etapa es el manejo de software de análisis de ovalidad, deformaciones, medición de diámetros, la cuarta etapa es realizar reportes técnicos, la quinta y sexta etapa es desarrollar servicios autónomos. Después de todo este proceso se obtuvo la certificación para la atención de comprobación geométrica.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Figura 9:

Certificado en técnicas de comprobación geométrica en hornos rotatorios



CERTIFICATE

Mr. Cesar Augusto Cruz Sotomayor

has successfully attended the

online-poldrive-qualification training 2022

Key subjects:

- o Diagnostic evaluation of machine vibrations
- o Vibration measurement with VIBXPERT II device
- o poldrive toolbox
- o Drive inspection on site
- o Inspection and analysis at tube mill drives
- o Inspection and analysis at kiln drives
- o Inspection and analysis at vertical roller mill drives
- o Inspection and analysis at separator drives
- o Root cause for vibrations at girth gear drive
- o Measurements at girth gears with Combiflex drives
- o Oil sampling and analysing
- o Alignment
- o Balancing

July 2022



“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Tabla 2:

Mantenimientos atendidos en el año 2021

En los mantenimientos correctivos que se ejecutó en la tabla adjunta 2, he participado como líder de servicio en el reemplazo de rodillos, rectificado de aros, alineamiento de ejes de rodillo. En todo su desarrollo se destinaron 525 horas de trabajo, de las cuales fueron resultados óptimos para la continuación de operación

CLIENTES	CODIGO	ORDEN	MESES DE DETENCION	TRABAJOS
	HORNO	TRABAJO	POR MANTENIMIENTO SIN CG AÑO 2021	
Unacem	1010	N00021	Febrero, abril, Mayo	Reemplazo de rodillos, rectificado de aros
Pacasmayo	2010	N00421	Enero, febrero, septiembre	Reemplazo de aro
Ecocementos	3010	N00521	Marzo, mayo, junio	Reemplazo de virola
Yura	4010	N00621	Julio, septiembre, diciembre	Rectificado de rodillos
Chimborazo	5010	N00721	Julio, septiembre, noviembre	Rectificado de rodillos
Ecebol	6010	N01021	Agosto, octubre, diciembre	Alineamiento de rodillos
Argos	7010	N01121	Agosto, octubre, noviembre	Reemplazo de rodillos, rectificado de aros

Nota: tomado de los registros de mantenimiento del año 2021 empresa en estudio

La participación que he tenido en los servicios de comprobación geométrica, en la tabla adjunta 3, fueron de 12 servicios, atención de 16 hornos rotatorios, se destinaron 950 horas. Con esta técnica se ayudó a tener una mejor disponibilidad en los hornos rotatorios

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Tabla 3:

Comprobación geométrica en hornos rotatorios año 2022

CLIENTES	CODIGO	ORDEN	MESES DE	TRABAJO
	HORNO	TRABAJO	SERVICIO CON CG	
AÑO 2022				
Unacem	1010	N00222	Febrero, abril	Servicio de comprobación geométrica, medición de deformaciones
Pacasmayo	2010	N00722	Febrero	Inspección visual de corona y piñón
Ecocementos	3010	N00522	Abril	Servicio de comprobación geométrica, medición de ejes
Yura	4010	N00622	Junio	Servicio de deformación en shell de horno
Chimborazo	5010	N00822	Agosto	Servicio de ovalidad en aro de horno
Ecebol	6010	N00922	Septiembre	Servicio de medición axial en rodillo de empuje
Argos	7010	N01122	Octubre	Servicio de comprobación geométrica, medición ovalidad y deformación

Nota: tomado de los registros de mantenimiento del año 2021 empresa en estudio

3.6. Problema

¿Qué efecto produce la aplicación de técnicas de comprobación geométrica del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de hornos rotatorios de empresas cementeras, en el año 2022?

Las empresas cementeras tienen el problema de la detención del horno rotatorio cada 15 días, para esta inspección se necesita 24 horas de enfriamiento de componentes del horno, 3 días de inspección y 72 horas de calentamiento del horno para su nuevo arranque. El efecto que produce la aplicación de técnicas de comprobación geométrica es mejorar la disponibilidad del horno rotatorio

3.7. Objetivos

3.7.1. Objetivo General

Aplicar técnicas de comprobación geométrica en el mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de hornos rotatorios de empresas cementeras, en el año 2022

3.7.2. Objetivos específicos

- Determinar el histórico mensual de la disponibilidad de los hornos rotatorios antes del uso de la técnica de comprobación geométrica en un año.
- Determinar el histórico mensual de la disponibilidad de los hornos rotatorios con el uso de la técnica de comprobación geométrica en el año 2022.
- Comparar la disponibilidad histórica de los hornos rotatorios con y sin comprobación geométrica.

3.8. Procedimiento de la comprobación geométrica

3.8.1. Control del eje en horno rotatorio

Determinación del diámetro de rodillo de rodadura (figura 11) y aros de rodadura en cada estación (Figura 10), se analiza de algún desgaste no uniforme en las superficies de rodadura, en operación del rodillo se coloca un disco en la posición entrada, medio y salida del rodillo, se conecta un sensor para que transmita cada giro del rodillo, mediante un datalogger se ejecuta el cálculo matemático e indica el desgaste de diámetro en cada sección del rodillo (Figura 12,13 y 14). De existir desgaste se recomienda al cliente la ejecución de trabajos de rectificado. Se ejecuta el registro de temperaturas en las secciones del shell del horno, cara lateral de aro (Figura15).

Figura 10:

Medición de diámetros en aro



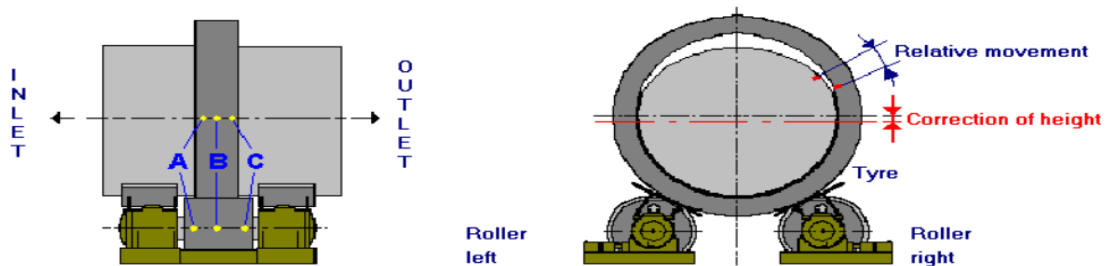
Nota: técnico ejecutando la actividad en el horno rotatorio un cliente de la empresa en estudio

Figura 11:
Medición de diámetros en rodillos



Nota: técnico ejecutando la actividad en el horno rotatorio un cliente de la empresa en estudio

Figura 12:
Resultados de medición de diámetros de rodillos y aro



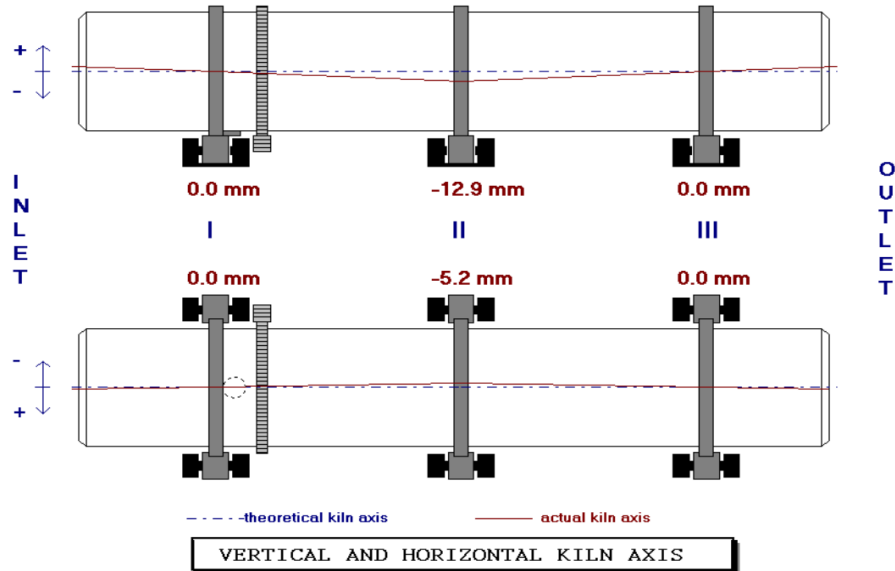
Station		I	II	III
Tyre	[A] Inlet	5226.4	5209.3	5235.9
	[B] Center	5226.6	5209.3	5235.9
	[C] Outlet	5226.6	5210.2	5235.0
	Input value	5226.5	5209.6	5235.6
Roller left	[A] Inlet	1371.7	1347.4	1357.8
	[B] Center	1371.6	1347.9	1357.8
	[C] Outlet	1371.7	1348.3	1358.0
	Input value	1371.7	1347.9	1357.9
Roller right	[A] Inlet	1350.4	1357.0	1370.2
	[B] Center	1350.2	1357.0	1370.3
	[C] Outlet	1349.7	1357.8	1370.0
	Input value	1350.1	1357.3	1370.2
Relative movement		28.0	31.1	26.1
Correction of height		-4.5	-5.0	-4.2

DIAMETER [MM] AND RELATIVE MOVEMENT [MM/R]

Nota: tomado de los registros de mantenimiento del año 2022 empresa en estudio

Figura 13:

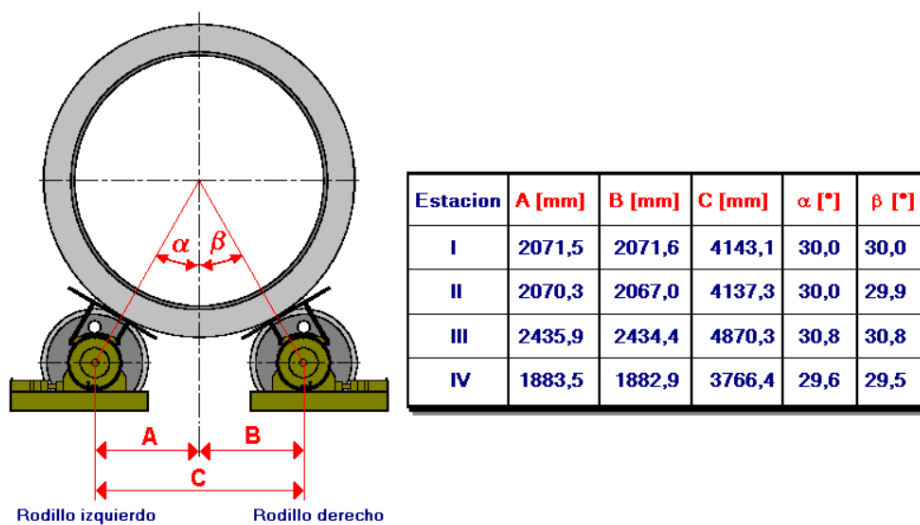
Resultados de medición de ejes de hornos rotatorio



Nota: tomado de los manuales de mantenimiento empresa en estudio

Figura 14:

Resultados de distancia y ángulos de rodillos

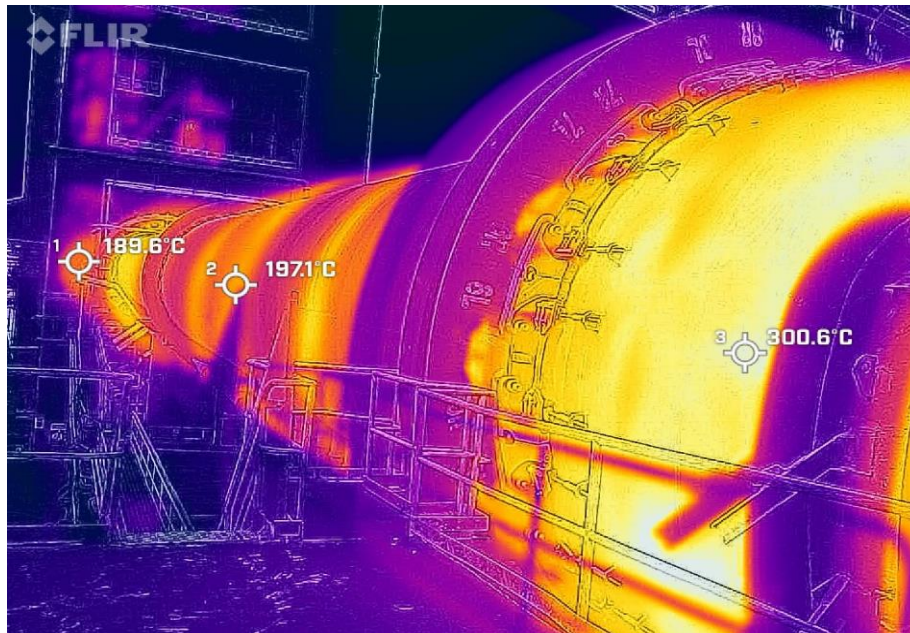


DISTANCIAS & ANGULOS DE LOS RODILLOS

Nota: tomado de los manuales de mantenimiento empresa en estudio

Figura 15:

Control de temperaturas en horno rotatorio



Nota: tomado de los manuales de mantenimiento empresa en estudio

Monitoreo de deformación de la camisa del horno

Con esta medición se puede registrar deformaciones plásticas del cilindro del horno en diferentes secciones, causadas por sobrecalentamiento en la camisa, caídas de refractarios, tensiones incrementadas en la camisa del horno, con el equipo Taquímetro se realiza la medición del Shell (Figura 16), cada un metro del cilindro se identifica si existen deformaciones (Figura 17), el software calcula el cilindro a 360° en toda su longitud, cada giro que emite el horno se forma una amplitud que es registrado a cada segundo, en la interpretación se analiza la deformación y excentricidad del Shell del horno (Figura 18 y 19).

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Figura 16:

Calibración de taquímetro



Nota: técnico ejecutando la actividad en el horno rotatorio un cliente de la empresa en estudio

Figura 17:

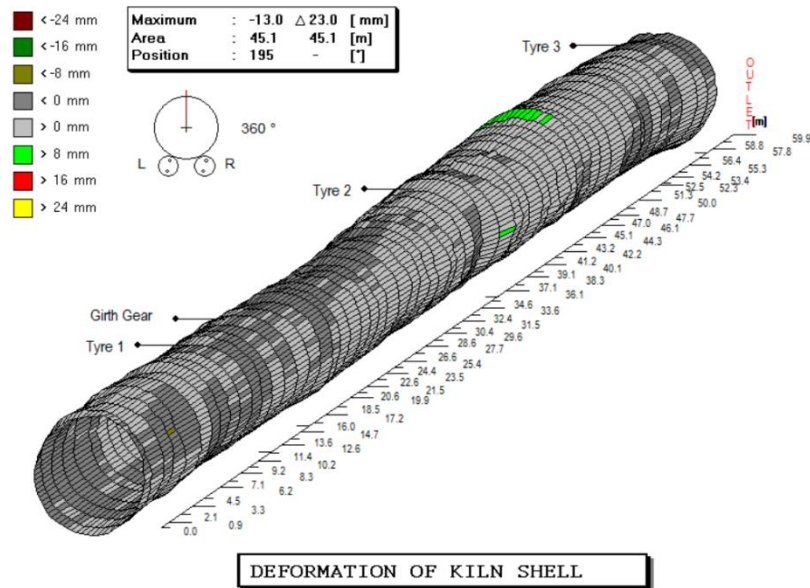
Medición de deformaciones en Shell del horno



Nota: técnico ejecutando la actividad en el horno rotatorio un cliente de la empresa en estudio

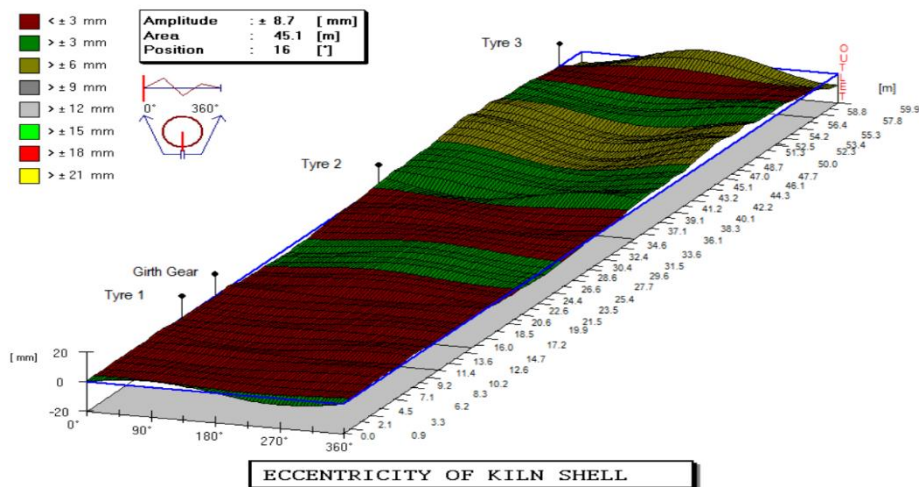
“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Figura 18:
Resultados de deformación del horno



Nota: tomado de los manuales de mantenimiento empresa en estudio

Figura 19:
Resultados de excentricidad del horno



Nota: tomado de los manuales de mantenimiento empresa en estudio

Medición de ovalidad en la camisa del horno

Para la prevención de daños en la camisa del horno y el revestimiento refractario en la zona de los aros, se recomienda un control de ovalidad de la camisa. La medición se registra electrónicamente, todos los datos que son procesados en un datalogger (Figura 20), el resultado de cada giro forma una gráfica, esta medición de ovalidad de la camisa del horno se ejecuta en tres puntos desplazados a 120° del perímetro (Figura 22), la ovalidad es tomada en la entrada y salida del aro. Los valores de ovalidad mínimos mejoran la vida útil del material del revestimiento en la zona de los aros de rodadura (Figura 21).

Figura 20:

Medición de ovalidad en aro

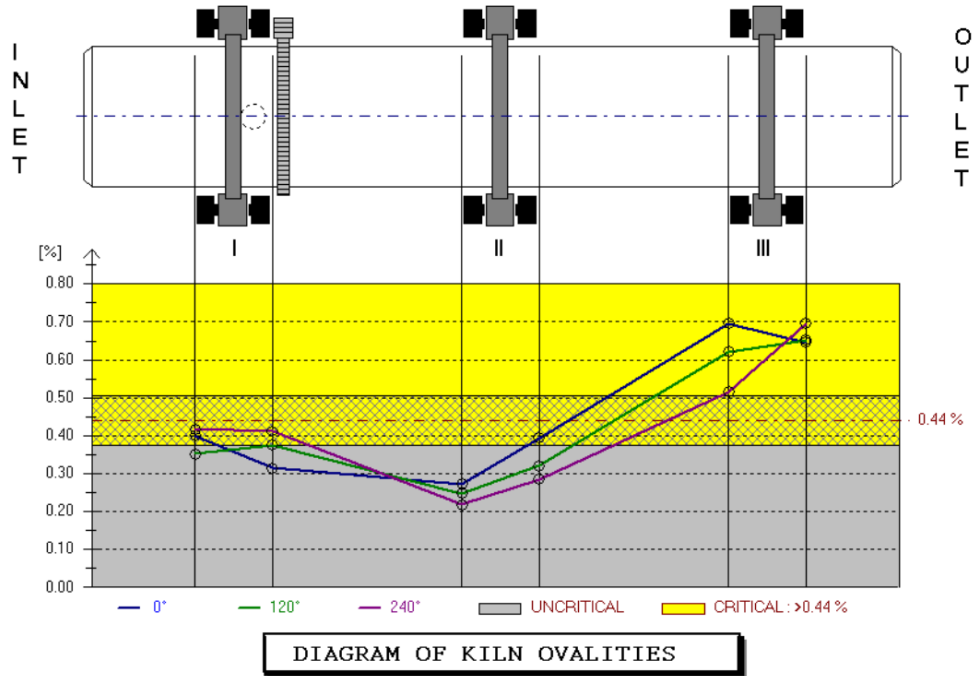


Nota: tomado de un horno rotatorio de clientes empresa en estudio

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Figura 21:

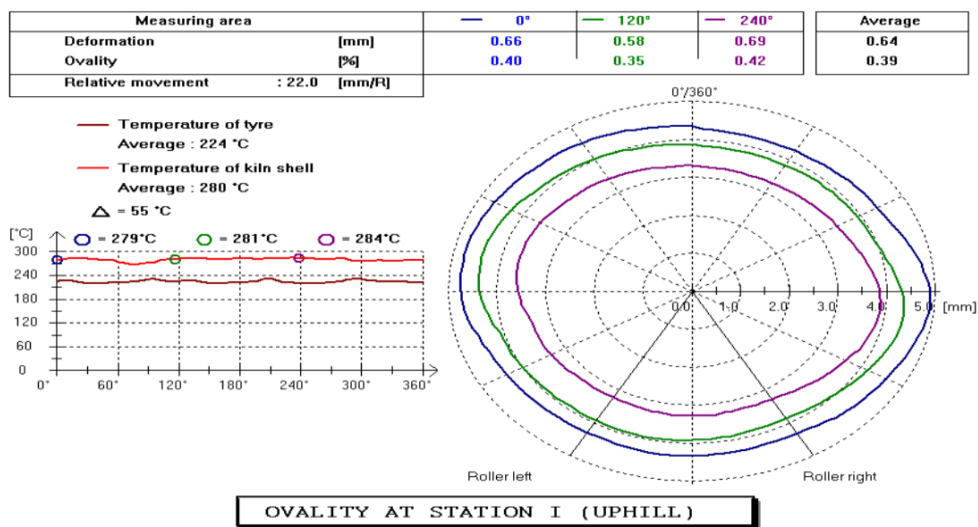
Resultados en diagrama de ovalidad



Nota: tomado de los manuales de mantenimiento empresa en estudio

Figura 22:

Resultados de ovalidad por estaciones



Nota: tomado de los manuales de mantenimiento empresa en estudio

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNO ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Tabla 4:

Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) de Servicio de medición de horno rotatorio empresa en estudio

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS					CODIGO-FS AMEF-001			
					FECHA: 01-04-2023			
Departamento Field Service					AREA: HORNO ROTATORIOS			
ITEM	EQUIPOS	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIAS	Evaluación			
					Nivel de ocurrencia	Nivel de detección	Nivel de severidad	Puntaje
1	RODILLOS	Desgaste de área de rodaduras	Impactos no controlados	Baja disponibilidad de operación del horno rotatorio	9	8	9	26
		Deformaciones cilíndricas	Trabajo mecánico inestable		9	9	9	27
		Fisuras en ejes	Perdida de eficiencia		8	7	9	24
		Degradación de aceite	Deterioro prematuro de partes móviles		9	9	7	25
		Desgaste abrasivo en partes móviles	Contaminación de aceite		8	8	8	24
		Desviaciones en ejes	Consumo mayor de energía		8	7	7	22
		Vibración mecánica fuera de rango	Solturas de pernos y tuercas		8	7	9	24
2	AROS	Desgaste en zonas de rodaduras	Impactos no controlados		9	8	8	25
		Movimiento relativo fuera de rango	Perdida de eficiencia		9	9	8	26
		Fisuras en sistema de calce	Vibraciones mecánicas		9	9	8	26
		Vibración mecánica fuera de rango	Desviaciones axiales fuera de tolerancia		9	8	8	25
3	Shell	Deformaciones plásticas	Torsiones en cilindro		8	8	9	25
		Zonas con alta temperaturas	Consumo mayor de energía		8	9	9	26
		Secciones con caídas de refractarios	Deformaciones en cilindro, pérdida de espesor		8	9	9	26
		Excentricidad elevada	Deterioro prematuro de partes móviles	9	8	9	26	
		Ovalidad fuera de rango	Deformaciones en cilindro	9	9	9	27	
4	CORONA	Vibración mecánica fuera de rango	Runout axial fuera de tolerancia	7	8	9	24	
		Desgaste de zona de contacto	Aumento de temperatura	7	8	7	22	
		Aumento de temperatura en flancos	Desgaste acelerado de partes móviles	7	8	7	22	
5	PIÑÓN	Vibración mecánica fuera de rango	Runout axial fuera de tolerancia	8	8	7	23	
		Desgaste en zona de contacto	Aumento de temperatura	8	7	7	22	
		Aumento de temperatura en flancos	Desgaste acelerado de partes móviles	8	7	8	23	
6	REDUCTOR	Vibración mecánica fuera de rango	Solturas de pernos y tuercas	7	7	8	22	
		Aumento de temperatura en flancos	Perdida de eficiencia	7	7	8	22	
		Fisuras en engranajes	Contaminación de aceite y rodamientos	7	8	8	23	
		Desgaste de acoples	Desalineamiento de ejes	7	8	7	22	

Nota: tomado de los registros de mantenimiento 2021 empresa en estudio

4.0 Proceso del servicio de Mantenimiento preventivo en hornos rotatorios

4.1. Flujograma del servicio mantenimiento preventivo con comprobación geométrica

Tabla 5:

Flujograma del proceso de Servicio de medición de horno rotatorio empresa en estudio.

N.º	DIAGRAMA DE FLUJO	ROL/ RESPONSABLE	REQUERIMIENTO
1	Planificar visita técnica	Jefe de ventas	Según requerimientos de proyectos / servicios, ya sea mediante: - Planes de Inspección, venta de repuestos y servicios.
2	Preparar oferta	Jefe de ventas	Según el plan de visita y requerimiento del cliente se preparará la oferta técnica por el servicio de medición geométrica en hornos rotatorios.
3	Recepción de OC	Jefe de ventas/Planificación	De requerir servicio se coordina documentos para ingresar a planta, exámenes médicos, inducciones, Visa de trabajo, carta de invitación, procedimientos de seguridad, ropa de trabajo requerida.
4	Recepción de correo	Jefe de ventas	Agradece ejecución de OC, coordina las fechas estimadas del servicio.
5	Informar servicio atender	Especialista Senior	Se informa al área de Field Service la próxima atención de servicios, se prepara documentos, protocolos, inspección de instrumentos y disponibilidad de atención de servicio.
6	Trasladar instrumentos	Jefe Logística	Preparar documentos de importación temporal en aduanas, seguro de riesgo. Transporte logístico.
7	Gestionar pasajes	Jefe de Planificación	Comprar pasajes, coordinar taxis, hoteles, coordinar con responsables del área de trabajo.
8	Viaje a cliente	Especialista Mecánico	Coordinación con supervisión de planta, reconocimiento de área de trabajo, preparación de herramientas.
9	Ejecución de servicio	Especialista Mecánico	Preparativos de documentos de seguridad, inicio de servicio de medición de diámetros, calidad y deformación en horno rotatorios.
10	Almacén de instrumentos	Jefe Logística	Cerrar cajas de instrumentos, dejar almacenado o coordinar su traslado.
11	Reunión	Especialista Mecánico	Reunión con usuario, explicación de datos registrados, presentación de protocolos, cierre del servicio con firma de hoja de tiempo.
12	Planificar retorno	Jefe de Planificación/ Especialista Mecánico	Retornar a Lima/ Perú, continuar el siguiente servicio.

Nota: tomado del manual de mantenimiento empresa en estudio

4.2. Instructivo y controles del proceso de medición de hornos rotatorios

Durante la ejecución del servicio de mantenimiento de los hornos rotatorios la empresa tiene diseñado un instructivo que los técnicos deben seguir durante la ejecución del mantenimiento de los hornos rotatorios el cual es el siguiente:

Tabla 6:

Instrucciones y controles proceso de medición de horno rotatorios

PASOS SECUENCIALES	PELIGROS	RIESGO	CONTROLES
1. Inspección visual del horno rotatorio			
1.1. El Field Service recorrerá la zona donde se ubica el horno para verificar los puntos óptimos donde realizará la ejecución de la actividad de monitoreo, en compañía del Supervisor de mantenimiento del cliente.	Transitar en zonas de la planta	Caída a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> - Antes de realizar cualquier actividad el personal debe recibir una charla de 05 minutos y firmar el formato. - Se gestionará los permisos correspondientes con los usuarios del área involucrada. - Transitar por plataformas estables y senderos peatonales. - Prohibido caminar por el borde de una plataforma. - Prohibido correr esto podría ocasionar algún evento
1.2. El Field Service efectuará una observación detallada del equipo con la finalidad de detectar defectos que puedan ser observados a simple vista.	Subir y bajar escaleras fijas en la planta	Caída a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> - Utilice el pasamanos de la escalera. - Uso obligatorio de los “Tres puntos de apoyo”. - Prohibido correr.
1.3. Realizará la coordinación de tiempo de ejecución.	Objetos en movimiento	Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener una distancia mínima de 2 metros. - Prohibido exponer las manos o pie delante de los objetos móviles. - Usar la vestimenta brindada por la empresa.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

PASOS SECUENCIALES	PELIGROS	RIESGO	CONTROLES
			- Prohibido usar joyería como cadenas, brazaletes, collares.
2. Verificación y traslado de instrumentos Polscan.			
<p>2.1. Personal de Field Service verificará visualmente el estado de los instrumentos que se encuentra en el maletín colocados encima de una paleta y/o superficie.</p> <p>2.2. Los instrumentos deben estar ubicados en una zona asignada.</p>	Instrumentos en mal estado	Golpe	<ul style="list-style-type: none"> - Prohibido utilizar instrumentos en mal estado. - Check list de los elementos del instrumento Polscan. - Trasladar los instrumentos con un apoyo mecánico. - Señalización y delimitación de la carga.
3. Medición de diámetros en rodillos y llantas.			
<p>3.1. Field Service instalará los sensores en los rodillos y llantas a una distancia de 10 a 20 cm del rodillo, el cual brindará los datos que serán registrados al computador.</p> <p>3.2. Field Service se instalará en una zona de trabajo a nivel de la plataforma, manteniendo una distancia de 2 metros con relación al horno.</p>	Objetos en movimiento	Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Prohibido aproximarse demasiado a partes en movimiento. - Mantener la distancia mínima de 2 metros. - Colocar los sensores a una distancia no menor de 10 a 20 cm. - Transitar por senderos peatonales. - Uso de respirador con los filtros adecuados.
	Exposición a Temperaturas altas	Quemaduras, deshidratación	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar los EPP indicado al área como los guantes y vestimenta de trabajo. - Realizar Pausas en su actividad de 25 minutos en un rango de cada hora.
	Posición de trabajo	Posturas forzadas	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener la espalda recta. - Colocar el computador en una plataforma estable.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

PASOS SECUENCIALES	PELIGROS	RIESGO	CONTROLES
			<ul style="list-style-type: none"> - Mantener el orden y limpieza de la zona. - Prohibido transitar en el borde de la plataforma.
4. Medición de deformaciones en SHELL del Horno.			
4.1. Fiel Service realiza la medición con el equipo taquímetro, el cual se colocará en la parte inferior del horno a una distancia de 25 metros.	Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener la zona de trabajo limpio y ordenado. - Transitar por zonas de tránsito asignadas. - Realizar Pausas en su actividad de 25 minutos en un rango de cada hora para hidratarse.
4.2. Se registrará los datos del Shell del horno en toda su longitud.	Movimiento del equipo taquímetro	Golpe	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar ayuda mecánica si la carga supera los 25 kg. - Solo mover la maquina a nivel de piso.
5. Medición de ovalidad.			
5.1. Field Service imantará el equipo de medición en la superficie externa del horno.	Objetos en movimiento	Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Prohibido aproximarse demasiado a partes en movimiento. - Mantener la distancia mínima de 3 metros. - Colocar el dispositivo usando exclusivamente sus azas. - Transitar por senderos peatonales. - Uso de respirador con los filtros adecuados.
	Exposición a Temperaturas altas	Quemaduras, deshidratación	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar los EPP indicado al área como los guantes y vestimenta de trabajo. - Realizar Pausas en su actividad de 25 minutos en un rango de cada hora.
6. Retirar equipos del área de trabajo.			

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

PASOS SECUENCIALES	PELIGROS	RIESGO	CONTROLES
<p>6.1. Los equipos se colocarán en sus cajas respectivas para ser trasladado a un área asignado.</p> <p>6.2. Reunión con el equipo de trabajo de la planta.</p>	Traslado de carga mayor de 25 kg.	Golpe	- Utilizar ayuda mecánica si la carga supera los 25 kg.

Nota: tomado del manual de mantenimiento empresa en estudio

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Durante un estudio a diferentes plantas de cemento se analiza que la medición de geométrica del horno rotatorio “Mantenimiento Preventivo” se puede ejecutar con equipo en funcionamiento, a plena carga y no interrumpiendo el proceso productivo. Para la atención del mercado es necesario contar con 2 técnicos especialistas calificados, instrumentos de medición calibrados, software para el análisis en tiempo real, con estas herramientas se determina ciertos parámetros, el correcto cálculo del desplazamiento del eje de rodillo del horno, la cual podrá ser ejecutada en operación del horno. Se evalúa en que sección existen deformaciones plásticas permanentes, el cálculo de desviaciones verticales y horizontales del eje del horno rotatorio, se identifica los diámetros de rodillos, llantas, existencia de desgastes cóncavos o convexos, se identifica la ovalidad en cada estación. Toda esta data es analizada con las tolerancias del fabricante.

La aplicación de técnicas de comprobación geométrica aumenta la disponibilidad del horno rotatorio a un 92%, la proyección de OPEX

A continuación, se muestra la estadística que responde a los objetivos planteados:

4.1. Histórico de la disponibilidad de los hornos rotatorios antes del uso de la técnica de comprobación geométrica en un año.

Se analizo el histórico de 7 clientes importantes, las atenciones por mantenimiento en los hornos sin la aplicación de la técnica de comprobación geométrica sumaron en total 156 días.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Tabla 7:

Histórico de la disponibilidad de hornos rotatorios en el año 2021

CLIENTE	CODIGO HORNO	ORDEN SERVICIO	DÍAS DETENIDO	TRABAJOS
UNACEM	HR 01-C	N00121	8	Desalineamiento de aros
	HR 02-C	N00321	6	Alta temperatura en rodillo
	HR 03-C	N00621	5	Alta temperatura en aros
PACASMAYO	HR 04-C	N01121	6	Caída de refractarios
	HRP 01	N01321	5	Alta temperatura en shell
	HRP 02	N01521	5	Alineamiento de ejes
	HRP 03	N01821	7	Cambio de rodillos
	HRP 04	N01921	7	Cambio de rodillos
YURA	HRP 05	N02121	8	Rectificado de aros
	HRY 01	N02421	10	Cambio de virola
	HRY 02	N02721	9	Cambio de sellos
ECOCEMENTOS	HRY 03	N03021	5	Cambio de rodillos
	HRE 01	N03121	5	Rectificado de aros
	HRE 02	N03421	6	Caída de refractarios
CHIMBORAZO	HRE 03	N03621	12	Cambio de refractarios
	HRC 01	N04121	4	Alta temperatura en aros
ECEBOL	HRC 02	N04421	6	Deformación en shell
	HRB 01	N04721	4	Desalineamiento de ejes
	HRB 02	N04921	4	Desalineamiento de rodillo axial

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

CLIENTE	CODIGO HORNO	ORDEN SERVICIO	DÍAS DETENIDO	TRABAJOS
	HRB 03	N05521	3	Alta temperatura en shell
ARGOS	HRA 01	N06221	6	Rectificado de aros
	HRA 02	N06321	20	Cambio de shell
	HRA 03	N07121	2	Desalineamiento de corona y piñón
	HRA 04	N07821	3	Alta temperatura en aros
TOTAL			156 días	

Nota: tomado de los registros de mantenimiento en el año 2021 de la empresa en estudio

4.2. Histórico de la disponibilidad de los hornos rotatorios con el uso de la técnica de comprobación geométrica en el año 2022.

Tabla 8:

Histórico de la disponibilidad con la técnica de comprobación geométrica año 2022

CLIENTE	CODIGO HORNO	ORDEN SERVICIO	DIAS DETENIDOS	TRABAJOS
UNACEM	HR 01-C	N00322	1	Limpieza de rodillos
	HR 02-C	N00422	2	Alineamiento de rodillos
	HR 03-C	N00622	1	Rotura de soporte
	HR 04-C	N00922	2	Soldeo de tuercas
PACASMAYO	HRP 01	N01222	1	Cambio de aceite
	HRP 02	N01422	2	Alineamiento de motor

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

CLIENTE	CODIGO HORNO	ORDEN SERVICIO	DIAS DETENIDOS	TRABAJOS
	HRP 03	N01722	1	Cambio de acople
	HRP 04	N02022	1	Alineamiento de rodillos
	HRP 05	N02122	1	Cambio de sellos
YURA	HRY 01	N02422	1	Atoro en enfriador
	HRY 02	N02622	2	Cambio motor eléctrico
	HRY 03	N02722	1	Alineamiento de ejes
ECOCEMENTOS	HRE 01	N02922	2	Inspección de piñón
	HRE 02	N03022	1	Cambio de aceite
	HRE 03	N03122	1	Soldeo de pernos
CHIMBORAZO	HRC 01	N03422	1	Cambio de bomba aceite
	HRC 02	N03522	1	Alineamiento ejes reductor
ECEBOL	HRB 01	N03622	1	Cambio de sellos
	HRB 02	N03822	1	Inspección de rodillos
	HRB 03	N03922	2	Atoro en enfriador
ARGOS	HRA 01	N04022	1	Limpieza de rodillos
	HRA 02	N04122	2	Soldeo de tuercas

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

CLIENTE	CODIGO HORNO	ORDEN SERVICIO	DIAS DETENIDOS	TRABAJOS
	HRA 03	N04322	1	Atoro en enfriador
	HRA 04	N04422	1	Cambio de aceite
TOTAL			31 días	

Nota: tomado de los registros de mantenimiento en el año 2022 de la empresa en estudio

Con la Implementación de la técnica comprobación geométrica en los hornos rotatorios, se determinó una disponibilidad del 96%, en las 7 plantas existieron un total de 31 días de parada del horno rotatorio, los motivos fueron ajenos a la operación del horno

4.3. Comparar estadísticamente la disponibilidad histórica de los hornos rotatorios con y sin comprobación geométrica.

4.3.1. Análisis descriptivo

Se determinó que, con la implementación de la comprobación geométrica, mejora la disponibilidad de los hornos rotatorios a un 96%, consiguiendo llegar a la fecha estimada de su parada anual, mejoras en el stock de repuestos críticos y la proyección estimada de su reemplazo.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Tabla 9:

Histórico de disponibilidad año 2021 y 2022

EMPRESA	HORNO	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD	DIFERENCIA
		SIN CG	CON CG	
UNACEM	HR01-C	82%	95%	13%
	HR02-C	84%	99%	15%
	HR03-C	85%	97%	12%
	HR04-C	81%	95%	14%
PACASMAYO	HRP01	80%	91%	11%
	HRP02	81%	96%	15%
	HRP03	82%	96%	14%
	HRP04	83%	96%	13%
	HRP05	82%	97%	15%
YURA	HRY01	81%	95%	14%
	HRY02	84%	97%	13%
	HRY03	83%	97%	14%
ECOCEMENTOS	HRE01	82%	96%	14%
	HRE02	81%	96%	15%

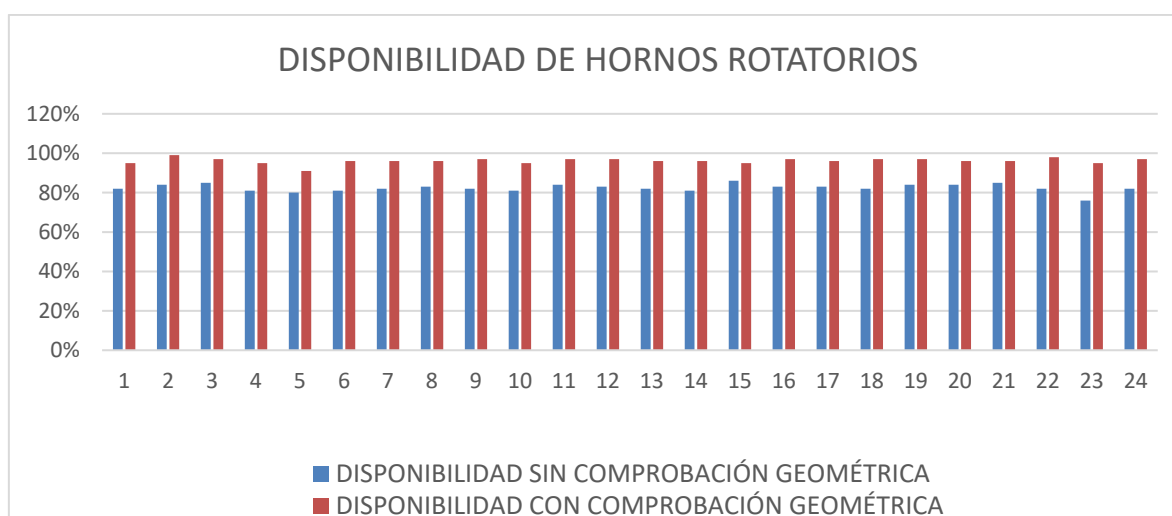
“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

EMPRESA	HORNO	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD	DIFERENCIA
		SIN CG	CON CG	
	HRE 03	86%	95%	9%
CHIMBORAZO	HRC01	83%	97%	14%
	HRC02	83%	96%	13%
ECEBOL	HRB01	82%	97%	15%
	HRB02	84%	97%	13%
	HRB03	84%	96%	12%
ARGOS	HRA01	85%	96%	11%
	HRA02	82%	98%	16%
	HRA03	76%	95%	19%
	HRA04	82%	97%	13%
PROMEDIO		84%	96%	14%
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.020198292	0.014836061	

Nota: tomado de la tabla 7 y tabla 8, disponibilidad hornos rotatorios años 2021 y 2022, empresa en estudio

Figura 23:

Comparación de disponibilidad de hornos rotatorios años 2021 y 2022, empresa en estudio



Nota: tomado de la tabla 9 disponibilidad hornos rotatorios años 2021 y 2022, empresa en estudio

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

4.3.1. Análisis estadístico

Para probar la significancia estadística del impacto de la comprobación geométrica (CG) en la disponibilidad de los hornos rotatorios se usó una prueba estadística de comparación de medias paramétrica dado que la disponibilidad es de datos razón denominada T-Student siempre y cuando se prueba la normalidad de la diferencia de los datos CON LA PRUEBA DE Shapiro Wilk por el tamaño de la muestra, de no darse se emplea la prueba no paramétrica de Wilconxon.

4.3.1.1. Prueba de normalidad

H1: La diferencia de los datos de la disponibilidad de los hornos antes y después de la comprobación geométrica tienen un comportamiento normal.

Ho1: La diferencia de los datos de la disponibilidad de los hornos antes y después de la comprobación geométrica no tienen un comportamiento normal.

Supuesto:

P valor > 0.05 se acepta H1

Tabla 10:

Histórico de disponibilidad antes de la comprobación geométrica

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,936	24	,134

Nota: datos tomados de la tabla 9 disponibilidad hornos rotatorios años 2021 y 2022, empresa en estudio, software SPSS vs 21

De acuerdo al resultado de la tabla 10, el P valor es > 0.05 (0.134) por lo tanto la diferencia de los datos de la disponibilidad de los hornos antes y después de la comprobación geométrica tienen un comportamiento normal; por lo tanto se usa la prueba estadística de T- Student.

4.3.1.2. Prueba inferencial

H2: La disponibilidad de los hornos rotatorios después de la comprobación geométrica es significativamente mayor que cuando no se empleaba esta técnica.

Ho2: La disponibilidad de los hornos rotatorios después de la comprobación geométrica no es significativamente mayor que cuando no se empleaba esta técnica.

Supuesto:

P valor < 0.05 se acepta H2

Tabla 11:

Histórico de disponibilidad con la comprobación geométrica

PRUEBA DE DIFERENCIAS EMPAREJADAS T-STUDENT AL 95% DE CONFIANZA									
ETAPAS	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior	t	gl	Sig. (bilateral)	
SINCG - CONCG	-13,708	196,666	0,40144	1,453,878	1,287,789	-34,148	23	0,000	

Nota: datos tomados de la tabla 9 disponibilidad hornos rotatorios años 2021 y 2022, empresa en estudio, software SPSS vs 21

De acuerdo con el resultado de la tabla 11, el P valor es < 0.05 por lo que se acepta H2; por lo tanto, se puede decir que La disponibilidad de los hornos rotatorios después de la comprobación geométrica es significativamente mayor que cuando no se empleaba esta técnica.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La técnica de comprobación geométrica en el mantenimiento preventivo logró mejorar la disponibilidad de hornos rotatorios de las empresas cementeras en un 14%, en el año 2022, lo cual fue estadísticamente significativo mediante la prueba paramétrica de T-Student al dar un P valor < 0.05, dado que el comportamiento de la diferencia de las disponibilidades fue normal probado con la prueba estadística de Sahpiro Wilk (Pvalor 0.134)

La disponibilidad de los 24 hornos rotatorios en el año 2021 antes de la implementación geométrica tuvo un promedio de 84% al año, 156 días con detenciones no programadas en el horno. Siendo este resultado negativo para su proyección anual.

Con la implementación de la técnica de comprobación geométrica en el año 2022 se logró incrementar la disponibilidad de los 24 hornos rotatorios analizados alcanzando el 96%, y disminuyendo a 31 días las detenciones del horno por trabajos de mantenimientos programadas. La disponibilidad mínima que cada planta cementera debe llegar es al 94%, este resultado es positivo con el cumplimiento de objetivos corporativos

Los resultados de la comprobación geométrica han sido favorables en la disponibilidad del horno, porque de manera preventiva se detectaron anomalías de deformaciones en el shell desalineamientos en el eje, ovalidad en el aro, pérdidas de diámetros en rodillos y aros.

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

La técnica de comprobación geométrica en el mantenimiento preventivo de los hornos aumentó la disponibilidad del horno rotatorio en un promedio de 14%, la cual es muy significativo para el cumplimiento de objetivos corporativos tanto de los clientes como de la empresa en estudio; sino que también, permitió una mejor gestión del mantenimiento pues permitió realizar la proyección de gastos de mantenimiento y stock de repuestos de manera más efectiva, la proyección de mantenimiento anual mejor programado y por lo tanto una mayor efectividad en el mantenimiento. Para los clientes le permite tener hornos rotatorios mejor conservados y alargar el ciclo de vida de estos y una ampliación de su capacidad productiva al disminuir las paradas de planta.

Mi experiencia laboral como técnico especialista certificado en mantenimiento y monitoreo de equipos críticos, con 10 años de experiencia en industrias cementeras en cinco países de Latinoamérica sumado a las competencias adquiridas en mi formación como ingeniero industrial principalmente las de: gestión en mantenimiento industrial, planificación de proyectos, gestión por procesos y sistemas integrados de gestión han permitido materializar la aplicación de la técnica de comprobación geométrica en el servicio de mantenimiento de hornos rotatorios y otros equipos; por otro lado, competencias blandas como liderazgo y trabajo en equipo me han permitido cumplir con efectividad las metas planteadas en los servicios que brinda la empresa materia de referencia de este informe.

5.2. Recomendaciones

Para la empresa en estudio y empresas que prestan este tipo de servicios, respecto a la implementación de técnica de comprobación geométrica en hornos rotatorios, existe algunas carencias de mantenimiento pese a que existe un aumento de disponibilidad del horno rotatorios, las empresas realizan el servicio cada año, por recomendaciones de los manuales del fabricante de hornos rotatorios, lo recomendado sería ejecutar el servicio cada semestre, por lo siguiente: las empresas ahora utilizan combustibles alternativos en el proceso de calentamiento del horno rotatorio, provocando menor disponibilidad, desgastes prematuros en sus partes, aumento de temperaturas en el shell, y variaciones de carga en su

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

operación, es por esta razón que es necesario controlar la geometría del horno dos veces al año, tanto para la empresa en estudio, las cementeras e investigadores.

Para la empresa en estudio se recomienda ejecutar capacitaciones de mantenimiento a las plantas cementeras, ya que es muy importante concientizar al personal mantenedor, operaciones de los cuidados que se deben tener al momento de operar el horno rotatorio.

La empresa en estudio necesita realizar capacitaciones internas a su personal, ya que es muy importante que el manejo de los equipos de comprobación geométrica sea mínimo por tres técnicos calificados.

Los investigadores necesitan ser más minuciosos con los datos que alimentan los indicadores de mantenimiento y no lo hagan solo a través de supuestos, pues deben considerar variables de uso de producción y tiempo de ciclo de vida de los equipos, y por otro lado, si no cuentan con el suficiente tiempo para tomar datos después de la implementación del mantenimiento lo propuesto debería estimar los datos a través de técnicas matemáticas como la simulación y la investigación de operaciones.

REFERENCIAS

- Aristizábal-Alzate, C., y González-Manosalva, J. (2021). Revisión de las medidas en pro de la eficiencia energética y la sostenibilidad de la industria del cemento a nivel mundial. *UIS Ingenierías*, 20(3), 91–110.
<https://doi.bibliotecaupn.elogim.com/10.18273/revuin.v20n3-2021006>
- Alonso Rosales, J. F. (2009). Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF).. El Cid Editor | apuntes.
<https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/lc/upnorte/titulos/31377>
- Álvaro Felix (2019). La transformación digital en la industria de la construcción del Perú. Constructivo. <https://constructivo.com/opinion/la-transformacion-digital-en-la-industria-de-la-construccion-del-peru-1551469891>
- Asociación de productores de cemento (ASOCEM). (2019). Indicadores internacionales de cemento. 1-9.
<http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte%20ASOCEM%20-%20Estad%20C3%20ADstic%20Internacionales%202019.pdf>
- Carrasco, G. y Tadeo, V. (2016). Experiencias comunitarias contra la industria del cemento. Laboratorio de investigación en Desarrollo Comunitario y Sustentabilidad, LIDECS,AC. Astilleros Ediciones Frente de comunidades en contra de la incineración Toluca, Estado de México.
<https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/libro-Cementeras-4.pdf>
- Comunicarse, (2020). La industria del cemento busca ser CO2 neutral en el 2050. Asociación Global de Cemento y Concreto (GCCA)
<https://www.comunicarseweb.com/noticia/la-industria-del-cemento-busca-ser-co2-neutral-en-2050>
- Chacón, V. (2015). Incremento en la capacidad de producción de un horno rotatorio para generar un aditivo carbonoso base coque utilizado en hidro conversión [Tesis de

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

titulación, Universidad Central de Venezuela]

<http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/13521/1/TEG%20Angelica%20Chacon.pdf>

Chereque, B. (2019). Cemento en crecimiento: la industria cementera en el Perú. Cemento Hormigón. (993). https://cemento-hormigon.com/analisis_economico/cemento-en-crecimiento-la-industria-cementera-en-el-peru/

Empresa de Thyssenkrupp Technologies Polysius (2009). Horno rotatorio de Polysius. Pieza central de la técnica de calor. https://ucpcdn.thyssenkrupp.com/legacy/UCPthyssenkruppBAIS/assets.files/products_services/cement_plants_2/polysius_1582_es.pdf

García, G. (2012). Ingeniería de Mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del Mantenimiento Industrial Renovetec. <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>

Holderbank, (1993). Aspectos mecánicos de la operación de hornos. Seminario de cemento. <file:///D:/Aspectos%20Mec%20Hornos.pdf>

Horacio, F. (2016). Fundamentos sobre hornos rotatorios. Soluciones Mecánicas División HHO. <https://es.slideshare.net/HoracioFelauto/fundamentos-sobre-hornos-rotatorios>

Holman. J.P. (1999). Transferencia de calor. Compañía Editorial Continental S.A de C.V México. <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/10/transferencia-de-calor-holman.pdf>

Galleguillos, F. (2019). Estudio de variables operacionales en un horno rotatorio [Tesis de titulación, Universidad de Chile] <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/171021/Estudio-de-variables-operacionales-en-un-horno-rotatorio-piloto-para-la-empresa.pdf?sequence=1>

Lifeder, (3 diciembre 2019). Evolución del mantenimiento industrial: desde origen hasta la actualidad. <https://www.lifeder.com/evolucion-mantenimiento-industrial/>

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Lourival, T (2007). Administración moderna de mantenimiento. Novo Polo Publicaciones-Brasil.

<https://drive.google.com/file/d/174Y9QWRIUmlwx-xneOwNC5rPCRRDW47k/view>

Mansilla, V. (2019). Investigación y desarrollo de una propuesta de mejora para el proceso de generación de Energía Térmica en la Planta de Cemento [Tesis de titulación, Universidad Austral de Chile]

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2019/bpmm269i/doc/bpmm269i.pdf>

Ministerio de Energía y Minas ((06 setiembre 2019). Guía de Orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético – Industrias cementeras. Dirección General de Eficiencia Energética.

https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/publicaciones/guias/12_%20%20guia%20industrias%20cementeras%20DGEE%206-09-19.pdf

Montilla, R. (2016). Fundamentos de mantenimiento industrial. Universidad Tecnológica de Pereira.

<file:///C:/Users/ccesa/Downloads/Fundamentos%20de%20mantenimiento.pdf>

Montilla, R. (2019). Mantenimiento Industrial y su Administración. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. <https://core.ac.uk/download/288157713.pdf>

Mora, G. (2009). Mantenimiento, Planeación, ejecución y control. Contenidos interactivos web. https://www.academia.edu/37071909/Libro_Mantenimiento_Alberto_Mora_1e_d_1

Otto, L. (1985). Prontuario del cemento. Editores técnicos asociados, S.A. Barcelona. <https://books.google.com.pe/books?id=9UO8F9deluwC&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>

Pérez, J. (2011). Confiabilidad y evolución del mantenimiento. Soporte & CIA.LTDA. https://www.academia.edu/7990093/RCM_Articulo_confiabilidad_evolucion_Abr_18_2011

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNO ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Ros, A. (2010). Mantenimiento industrial-I Recopilación.
https://www.academia.edu/16406342/Mantenimiento_Industrial_I

Rodríguez, R (2003). Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora. Centro de estudios innovación y mantenimiento CEIM.
<https://es.scribd.com/document/383529137/Gestion-del-Mantenimiento-Asistido-por-Computadora>

San Juan, B. y Chinchón, Y (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland. Publicaciones de la Universidad de Alicante.
<https://core.ac.uk/download/pdf/32322379.pdf>

Sánchez, M. (2006). Mantenimiento mecánico de máquinas. Colección Treballs Informàtica I Tecnologia. Num.25. [vhttps://kupdf.net/download/mantenimiento-mecanico-de-maquinas_58d1607fdc0d60151ac34686_pdf](https://kupdf.net/download/mantenimiento-mecanico-de-maquinas_58d1607fdc0d60151ac34686_pdf)

Salomón, LI. y Perdomo, O. (2001). Análisis de riesgo industrial. Centro de Estudios Gerenciales ISID. Instituto Superior de Investigación y Desarrollo.
<https://calitassbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-anc3a1lisis-de-riesgo-industrial.pdf>

Segura, M. y Cruz, E. (2015). Aplicación de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa productora de Cementos y Concretos para la industria de la construcción [Tesis de titulación, Instituto Politécnico Nacional]
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15641/I.M.%2009-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valdez, C. (2008). Optimización de la Manufactura de Hornos Rotatorios Mediante la Eficiencia del Recubrimiento Interno [Tesis de titulación, Corporación Mexicana de Investigación en materiales]
<https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/289/1/TESIS-MPICYT-VALDEZ.CUELLAR%20%282%29.pdf>

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNO ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

Varela, M. (2008). Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF Cuarta edición).

Instituto

Politécnico

Nacional.

https://www.academia.edu/8708638/Manual_AMEF_4_2008_Espanol

Zegarra (2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados.

Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas.

<http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/viewFile/1219/1189>

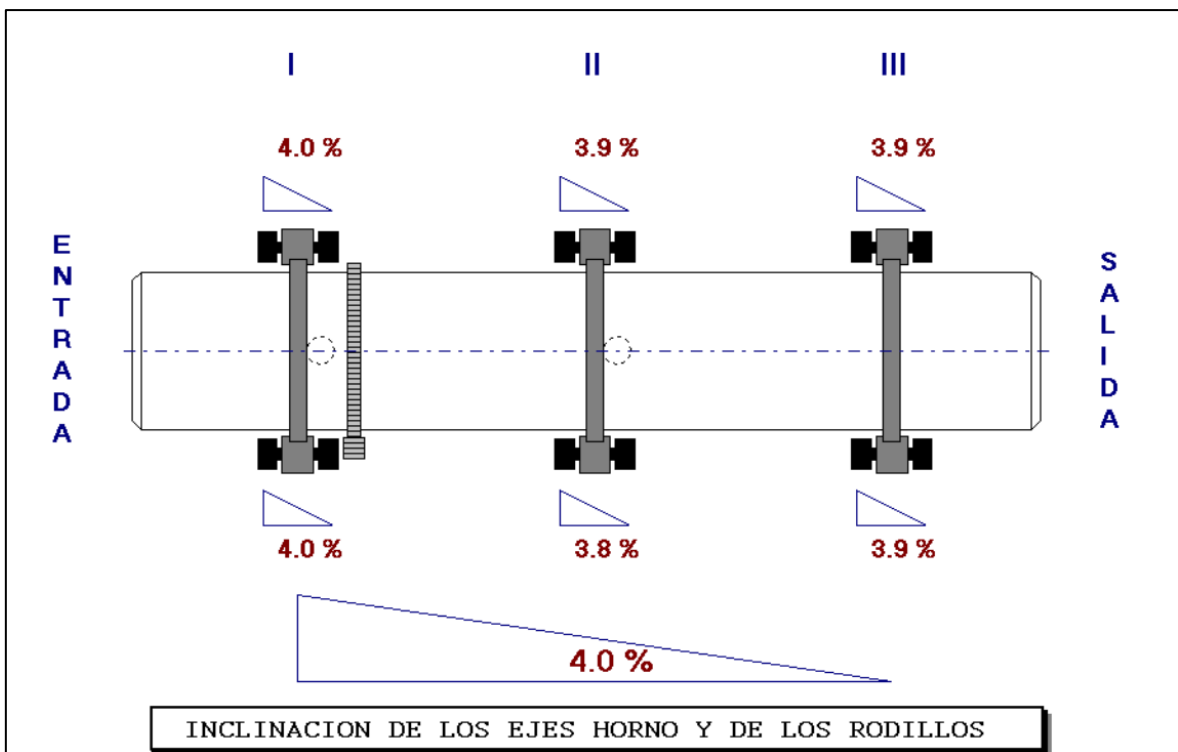
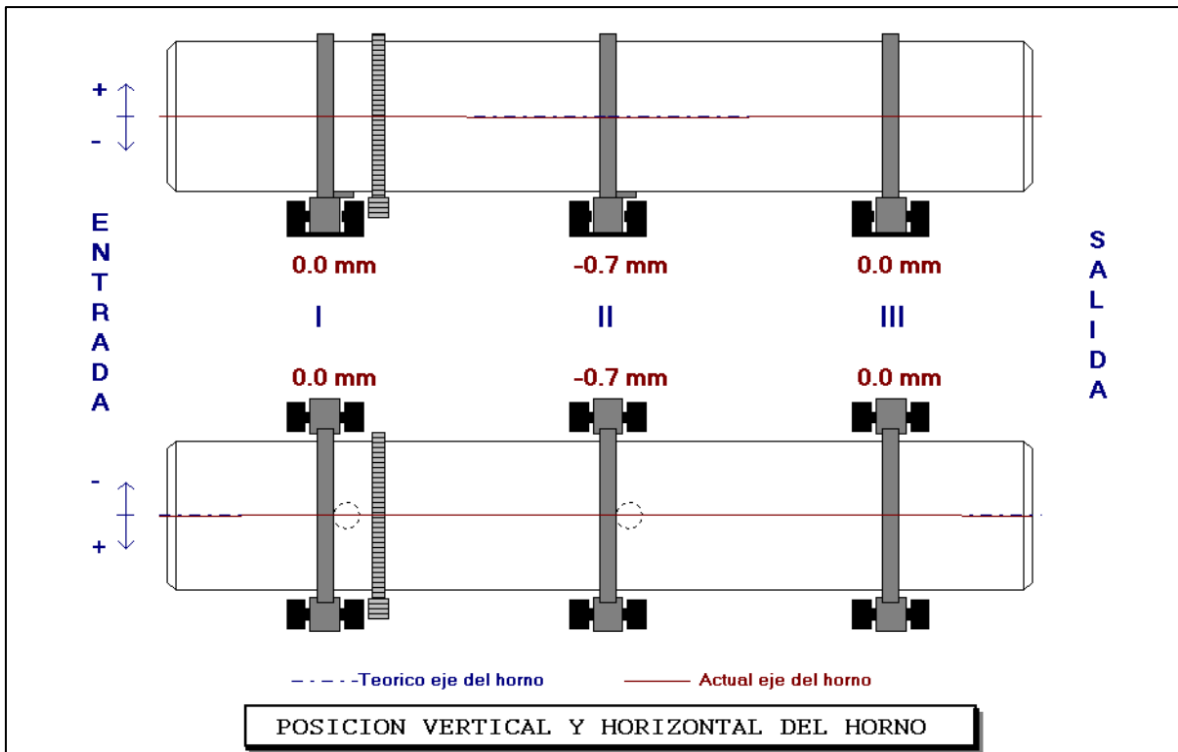
Zhindón, M. (2015). Desarrollo de una herramienta informática para aplicación en balances de masa y energía en el horno rotativo [Tesis de titulación, Universidad de Cuenca]

<http://192.188.48.14/bitstream/123456789/21850/1/Tesis.pdf>

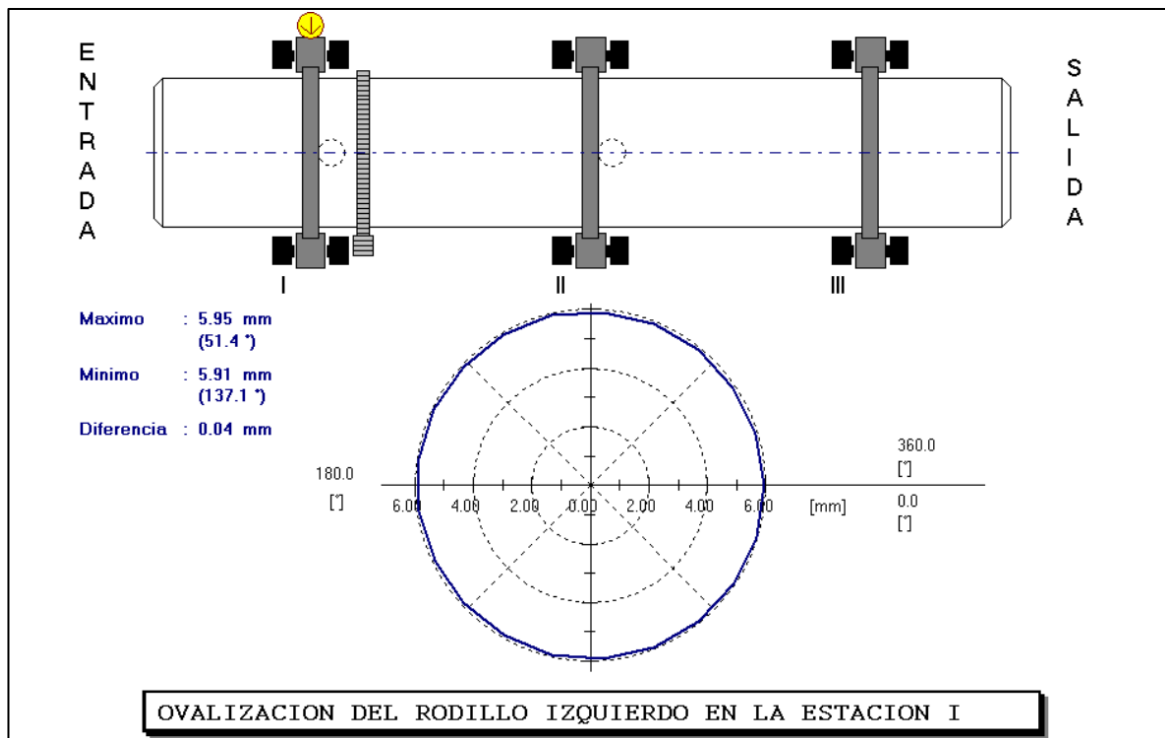
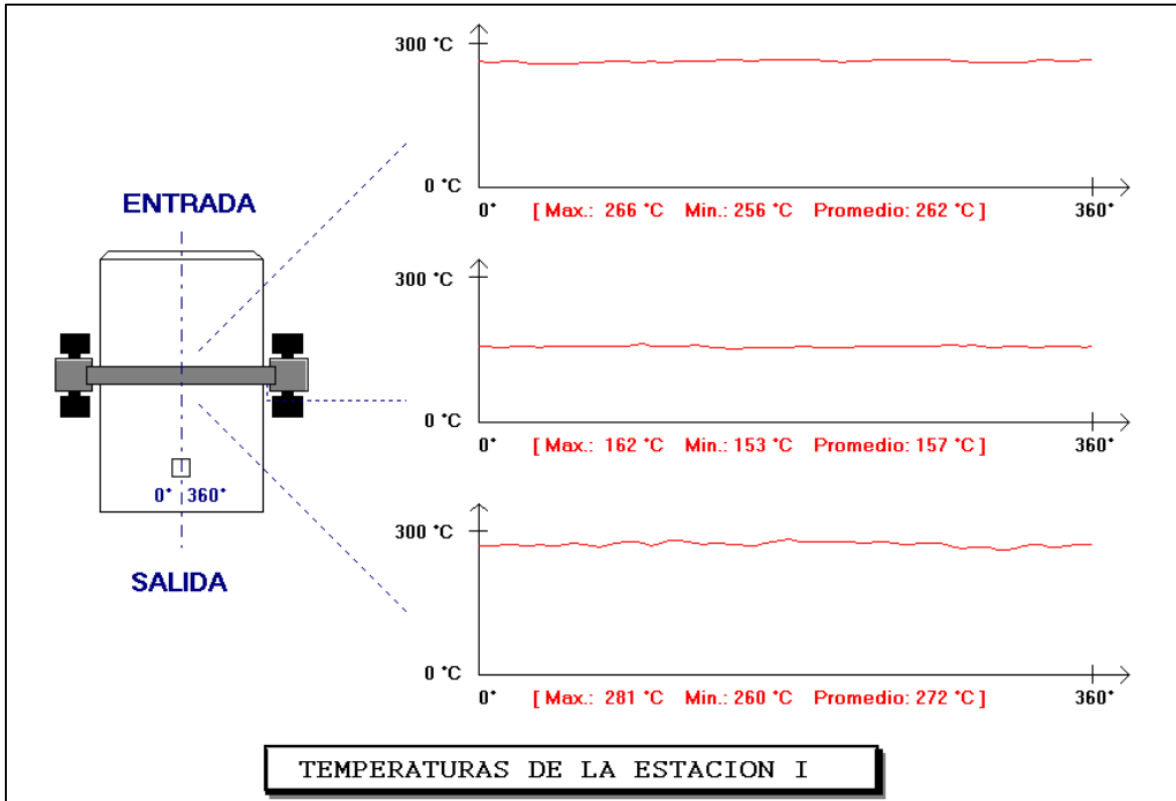
ANEXOS

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

ANEXO 1: Protocolos de medición de un horno rotatorio en un cliente



“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”



“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE COMPROBACIÓN GEOMÉTRICA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE HORNOS ROTATORIOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO A CEMENTERAS”

