

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Suficiencia Profesional

Renovación de virolas del horno rotativo 3 de 2000 ton/día de la empresa Unacem, planta Condorcocha

Ruiz Ricardo Zacarias Alania

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Steve Robert Torres Rojas
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 12 de Mayo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

**Renovación de Virolas del Horno Rotativo 3 de 2000
Ton/Día de la Empresa UNACEM Planta Condorcocha**

Autor:

Ruiz Ricardo Zacarias Alania – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTO

A mi madre, María Alania R., quien me apoyó incondicionalmente y siempre está en los buenos y malos momentos.

A mi padre, Luis Zacarias M., quien me apoyó económicamente para poder estudiar y terminar la carrera que tanto anhelaba.

A Johana Hidalgo R., quien está a mi lado hace más de 15 años con su apoyo emocional, económico y quien, ahora en el lugar de esposa y madre de la personita más querida por nosotros, me apoya y me da fuerzas para seguir adelante.

DEDICATORIA

A mi madre, por su inmenso amor, quien me apoyó incondicionalmente y siempre me enseñó la importancia de la perseverancia y la determinación.

A mi hija, por ser mi inspiración.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice de contenidos	vi
Lista de tablas	ix
Lista de figuras	x
Resumen ejecutivo	xii
Introducción	xiii
Capítulo I	14
Aspectos generales de la empresa	14
1.1. Datos generales de la empresa.....	14
1.2. Actividades principales de la empresa.....	15
1.2.1. Desarrollo y diseño de las ingenierías	15
1.2.2. Carpintería metálica	15
1.2.3. Fabricaciones de estructuras livianas, medianas y pesadas.....	15
1.2.4. Montaje	15
1.2.5. Mantenimiento preventivo y correctivo.....	16
1.2.6. Postventa.....	16
1.3. Reseña histórica de la empresa.....	16
1.5. Visión, misión y propósito	17
1.5.1. Misión.....	17
1.5.2. Visión.....	17
1.5.3. Valores	17
1.6. Bases legales o documentos administrativos	18
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales	18
1.8. Descripción de cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa	18
Capítulo II	20
Aspectos generales de las actividades profesionales	20
2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional	20
2.2. Identificación de oportunidades o necesidad en el área de actividad	23
2.3. Objetivos de la actividad profesional.....	26
2.3.1. Objetivo general.....	26
2.3.2. Objetivos específicos.....	26
2.4. Justificación de la actividad profesional	26
2.4.1. Justificación técnica	27
2.4.2. Justificación económica	27

2.4.3. Justificación social	27
2.4.4. Justificación de medio ambiente.....	27
2.5. Resultados esperados.....	28
Capítulo III.....	30
Marco teórico	30
3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas.....	30
3.1.1. Fundamentos de hornos industriales.....	30
3.1.1.1. Procesos para el cambio de virolas	31
3.1.1.2. Principios de funcionamiento	32
3.1.1.3. Tipos de hornos	33
3.1.1.4. Virolas en hornos industriales.....	35
3.1.1.5. Procesos de montaje y desmontaje	38
3.1.1.6. Normativas y estándares	41
3.2. Tipos de desgastes.....	46
Capítulo IV	47
Descripción de las actividades profesionales	47
4.1. Descripción de las actividades profesionales.....	47
4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales	48
4.1.2. Alcance de las actividades.....	49
4.1.3. Entregables de las actividades profesionales	50
4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	51
4.2.1. Metodología	52
4.2.2. Técnicas	53
4.2.3. Instrumentos.....	54
4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades	55
4.3. Ejecución de las actividades profesionales	57
4.3.1. Cronograma de actividades	58
4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales	59
4.4. Análisis de soportes y verificación de condiciones mecánicas	63
Capítulo V.....	79
Resultados.....	79
5.1. Resultados finales de las actividades realizadas	79
5.2. Logros alcanzados	82
5.3. Dificultades encontradas	84
5.4. Planteamiento de mejoras.....	84
5.5. Aporte del bachiller en la empresa	88
Conclusiones.....	91

Recomendaciones	93
Referencias	94
Anexos.....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cambio de virola 26/mayo/1996	22
Tabla 2. Cambio de virola 23/junio/1998.....	22
Tabla 3. Cambio de virola 22/febrero/2001.....	22
Tabla 4. Cambio de virola 3/setiembre/2003.....	22
Tabla 5. Evaluación de virolas reemplazadas.....	23
Tabla 6. Resultados esperados	29
Tabla 7. Resumen de tipos de hornos industriales según su uso, construcción y fuente de calor	35
Tabla 8. Propiedades de materiales comunes para virolas en hornos industriales	38
Tabla 9. Resumen de las estrategias de montaje y desmontaje de virolas	41
Tabla 10. Resumen de las principales normas internacionales para hornos y virolas	42
Tabla 11. Resumen de los principales estándares de seguridad y calidad para hornos y virolas	45
Tabla 12. Cambio de virolas	79
Tabla 13. Costos operativos	83
Tabla 14. Comparación de indicadores	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa	17
Figura 2. Plano general del horno	21
Figura 3. Plano de evaluación de horno	25
Figura 4. Flujo de cambio de virolas.....	31
Figura 5. Cronograma de actividades.....	58
Figura 6. Evaluación de virola 7	59
Figura 7. Evaluación de virolas 5, 6 y 8	60
Figura 8. Evaluación de virolas 4, 3, 2 y 1	61
Figura 9. Proceso de desmontaje de elementos con camión grúa (3)	62
Figura 10. Instalación de estructuras de soporte.....	62
Figura 11. Estructura de soporte de horno.....	63
Figura 12. Análisis estructural	64
Figura 13. Análisis de Von Mises	65
Figura 14. Verificación del freno antirretorno.....	67
Figura 15. Gráfico de trazos y marcas en la periferia del casco del horno	68
Figura 16. Esquema del proceso de corte con la máquina Gullco, incluyendo la posición de los rieles y la grúa	69
Figura 17. Esquema del desplazamiento de las virolas V1, V2 y V3 para liberar presión.....	70
Figura 18. Desmontaje de virolas.....	71
Figura 19. Vista del horno 3 después del montaje, destacando virolas permanentes	71
Figura 20. Montaje de virola 4	72
Figura 21. Montaje de virola 1, 2 y 3	72
Figura 22. Gramilado virola 4.....	73
Figura 23. Diagrama polar y puntos de gramilado en el horno, juntas de soldadura	74
Figura 24. Proceso de soldadura	75
Figura 25. Limpieza y evaluación por tintes penetrantes	75
Figura 26. Mapa polar y proceso de gramilado general del horno, destacando la corrección de la linealidad y desviaciones radiales.....	76
Figura 27. Juntas para proceso de soldadura	77
Figura 28. Evaluación de gramilado.....	77
Figura 29. Evaluación de gramilado.....	78
Figura 30. Medición de alineamiento del horno con un láser	80
Figura 31. Alineamiento del horno con láser desde quemador hacia lado de la rampa de la cámara.....	80

Figura 32. Evaluación de gramilado.....	81
Figura 33. Comparación de tiempos de ejecución.....	84
Figura 34. Comparación de costos por actividad.....	85
Figura 35. Comparación de defectos de soldaduras	86
Figura 36. Comparación de eficiencia operativa	87
Figura 37. Comparación de duración de actividades.....	88

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se realiza la renovación de virolas del horno rotativo 3 en la empresa Unacem en la planta Condorcocha en la provincia de Tarma, que se realizó bajo la supervisión de la empresa Grumacon S. A. C.

En las diferentes virolas que componen el horno rotativo 3, presentan desgaste por corrosión térmica y desgaste por abrasión, presentando pérdida de espesor mayor al 10 %, presentan deformaciones, presentan un hilo mayor a 2 mm, deformación en el alineamiento, presentan falta de ovalidad, presentan desgaste en el anillo de la llanta, por estos motivos se evaluó cada una de las virolas, encontrándose defectuosas las virolas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Se tiene como objetivo la renovación de las virolas, para esto se procede a la evaluación completa de las virolas, luego se realizan los procedimientos para el corte y desmontaje de las virolas, luego se procede al montaje de cada una de las virolas, por último, se realiza el control dimensional y se verifica el alineamiento de las virolas, la pendiente y el gramilado de estas.

Se cumplió con los estándares y políticas de la empresa Unacem, se logró la renovación completa de las virolas defectuosas, se volvió a realizar un control dimensional del horno 3, donde se pudo evidenciar que este cumple con un perfecto alineamiento, ovalidad y fueron correctamente soldadas.

Palabras clave: virolas, horno rotativo, alineamiento de componentes, control dimensional, mantenimiento industrial, desgaste por abrasión, soldadura estructural, eficiencia térmica, supervisión de montaje, metalmecánica.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, la empresa Grumacon S. A. C. realiza la supervisión de la renovación de las virolas del horno rotativo 3 en la empresa Unacem en la provincia de Tarma, verifica el cumplimiento de los procedimientos, el cumplimiento de las fechas de entrega y la calidad de trabajo realizado.

En el capítulo I, se describen los aspectos generales de la empresa Grumacon S. A. C., describiendo los datos generales de la empresa, la misión y visión, los documentos legales usados en este trabajo, por último, se describen el área de las actividades profesionales y las responsabilidades del bachiller.

En el capítulo II, se describen los aspectos generales de las actividades profesionales, donde se evalúa la situación actual de la empresa, se identifica la oportunidad de la actividad profesional, se plantean los objetivos generales y específicos, las justificaciones y el resultado esperado.

En el capítulo III, se describe el marco teórico usado, las bases teóricas del horno rotativo, presentando un argumento sólido que permite definir los trabajos que se van a realizar en la renovación de las virolas.

En el capítulo IV, se describen las actividades profesionales realizadas por el profesional, se describe el cronograma de actividades, los pasos desde la evaluación, desmontaje y montaje de las virolas y, por último, el control dimensional que se realizó.

En el capítulo V, se describen los resultados finales de las actividades realizadas, los logros alcanzados, las dificultades encontradas y se propone el planteamiento de mejoras y cuál es el aporte del profesional.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

1.1. Datos generales de la empresa

Grumacon S. A. C., con sede en la calle Andrómeda mz. I, lt. 6 A2 en la urbanización La Campiña, Chorrillos, Lima, se presenta como una compañía de prestigio en el sector de construcción y metalmecánica. Desde su fundación en 2015, ha enfocado su visión hacia la innovación, la calidad, y la satisfacción del cliente, aspectos que se reflejan en su misión y sus valores.

Datos

- Fecha de inicio de actividades: 1/9/2015
- Razón social: Grumacon S. A. C.
- Tipo de empresa: sociedad anónima cerrada
- RUC: 20600615221
- Estado del contribuyente: activo
- Condición del contribuyente: habido
- Dirección del domicilio fiscal: viña Picasso 360, dpto. 205, urbanización Los Pinales de Surco (frente al parque Javier Pérez de Cuellar), distrito / ciudad: Santiago de Surco, departamento: Lima, Perú
- Actividades económicas: principal - fabricación de productos metálicos para uso estructural, construcción de edificios completos
- Número de trabajadores: 44
- Tipo de facturación: manual
- Tipo de contabilidad: manual

La empresa ha establecido un fuerte compromiso con la calidad y la excelencia en la ejecución de sus proyectos, garantizando soluciones efectivas y personalizadas que responden a las necesidades específicas de cada uno de sus clientes. Grumacon S. A. C. se distingue por su capacidad para desarrollar servicios integrales de diseño, fabricación, montaje, y obras civiles, basándose en modelos de gestión avanzados y la experiencia acumulada a lo largo de los años. Este enfoque le permite no solo cumplir con los estándares internacionales en términos de seguridad, salud ocupacional, medio ambiente y relaciones laborales, sino también forjar relaciones de confianza a largo plazo con sus clientes, convirtiéndose en un socio estratégico esencial en el mercado peruano.

1.2. Actividades principales de la empresa

Grumacon S. A. C. se enfoca en la entrega de una gama completa de servicios especializados en la industria de la construcción y metalmecánica, asegurando la integración de soluciones de alta calidad que abarcan desde la concepción hasta la ejecución y mantenimiento de los proyectos. Las principales actividades incluyen:

1.2.1. Desarrollo y diseño de las ingenierías

Este servicio es fundamental dentro de la empresa, abarcando desde la arquitectura hasta las instalaciones eléctricas y sanitarias, empleando herramientas de diseño y gestión de vanguardia para asegurar resultados de calidad, tanto visual como funcional.

1.2.2. Carpintería metálica

Grumacon S. A. C. ejecuta proyectos en acero, cumpliendo con los más altos estándares de calidad. La gama de trabajos incluye puertas, portones, rejas, ventanas, celosías, barandas, escaleras, pasarelas, entre otros, coordinando con un equipo técnico calificado y proveedores alineados con las expectativas del cliente.

1.2.3. Fabricaciones de estructuras livianas, medianas y pesadas

La empresa cuenta con infraestructura y equipos de última generación para la fabricación, incluyendo soldadura, corte, perforado, maquinado, y cabinas de granallado automático, garantizando la optimización y calidad en la producción.

1.2.4. Montaje

Los trabajos de montaje se realizan siguiendo estándares internacionales, adaptándose a las necesidades actuales de la industria con personal y maquinaria idónea, enfrentando los desafíos industriales con profesionalismo y capacidad resolutive.

1.2.5. Mantenimiento preventivo y correctivo

Se ofrece mantenimiento en estructuras y equipos electromecánicos e hidráulicos, contando con personal y equipos necesarios para asegurar la continuidad operacional de los proyectos a nivel nacional.

1.2.6. Postventa

Grumacon S. A. C. se compromete a seguir cada detalle del trabajo postejecución, asegurando la entrega del producto en condiciones óptimas y aclarando cualquier duda, manteniendo una relación de confianza y compromiso con el cliente.

Estas actividades destacan el compromiso de Grumacon S. A. C. con la calidad, seguridad, y satisfacción del cliente, reforzando su posición como un proveedor integral de soluciones en el sector de la construcción y metalmecánica.

1.3. Reseña histórica de la empresa

Desde su concepción en 2013, Grumacon S. A. C. fue ideada para ser una empresa líder en diseño y ejecución de proyectos en los sectores de metal-mecánica y obras civiles. Durante su fase inicial, el equipo de Grumacon se enriqueció con la incorporación de profesionales altamente calificados, conformando un grupo de especialistas capaces de asumir los desafíos más complejos del mercado y estableciendo una relación de confianza y solidez con sus clientes.

Oficialmente, fundada en 2015, Grumacon S. A. C. emergió con la visión de consolidarse como referente en la industria de la construcción y metalmecánica. Equipada con la más avanzada tecnología, logística, infraestructura, y maquinaria, Grumacon se ha posicionado para atender las demandas más exigentes del sector, garantizando resultados de la más alta calidad.

La trayectoria de Grumacon S. A. C. refleja un compromiso inquebrantable con la excelencia, la innovación y la satisfacción del cliente, pilares que han guiado a la empresa a lo largo de su historia y que continúan siendo fundamentales para su desarrollo y expansión en el futuro.

1.4. Organigrama de la empresa



Figura 1. Organigrama de la empresa

1.5. Visión, misión y propósito

1.5.1. Misión

Grumacon S. A. C. tiene como misión trabajar con compromiso para atender las necesidades de nuestros clientes, promoviendo el desarrollo de las personas y del país. Este enfoque hacia el servicio y el desarrollo sustentable es fundamental para la empresa, asegurando que cada proyecto no solo cumpla con las expectativas de los clientes, sino que también contribuya al progreso y bienestar general.

1.5.2. Visión

La visión de Grumacon S. A. C. es ser reconocidos como la empresa líder en el sector de Metal-mecánica y construcción en los escenarios y proyectos en los que participemos. Aspiramos a establecernos como el estándar de excelencia y calidad en la industria, garantizando que cada servicio ofrecido refleje nuestra dedicación, innovación y compromiso con la calidad.

1.5.3. Valores

Los valores de Grumacon S. A. C. se centran en la Calidad, Responsabilidad e Innovación con nuestros clientes a partir de nuestros productos, proyectos y obras. Estos principios son la base de nuestra cultura corporativa, asegurando que mantenemos un compromiso inquebrantable con la excelencia, la ética y la mejora continua en todos nuestros procesos y relaciones.

1.6. Bases legales o documentos administrativos

- ASME (American Society of Mechanical Engineers)
- EN (European Standards)
- ISO (International Organization for Standardization):
- ASTM (American Society for Testing and Materials)
- AWS D1.1/D1.1M:2020 Structural Welding Code – Steel.
- AWS B2.1/B2.1M:2014 Specification for Welding Procedure and Performance Qualification.
- ASTM E164 Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments
- ASTM A435/A435M Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates
- ASTM E317 Standard Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse-Echo Testing Instruments and Systems without the Use of Electronic Measurement Instruments
- Ley N.º 29783, Ley de seguridad Salud en el trabajo
- Ley N.º 30222, Ley que Modifica la Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- DS-024-2016-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería.
- DS-005-2012 Reglamento de la Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales

En la empresa Grumacon S. A. C. el área donde laboro se dedica a la realización de proyectos, realizar las planificaciones desde la evaluación inicial de un proyecto, la proyección del tiempo de fabricación y la programación de la ejecución del trabajo, dentro del control de proyectos que se realiza se verifica los trabajos de desmontaje, instalaciones de estructuras de soporte, posicionamiento de grúas, procesos de cotes y soldaduras, montajes, gramilados y alineamientos.

1.8. Descripción de cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa

Dar cumplimiento a la política integrada en lo referente a SSOMA y promover su cumplimiento en el personal bajo su cargo.

- Fomentar y participar en las actividades relacionadas con la SSOMA, incluyendo las realizadas por el cliente.

- Instruir al personal a su cargo para que cumpla con los estándares establecidos en los procedimientos de trabajo y los referidos a la prevención de riesgos.
- Incentivar al personal a participar en las actividades de SSOMA, tanto aquellas que están relacionadas directamente con sus labores, así como de aquellas que son de carácter eventual.
- Supervisar que los trabajadores a su cargo usen correctamente los implementos de seguridad asignados en todas las circunstancias que sean necesarias.
- Instruir a su personal en el procedimiento correcto para realizar los trabajos, explicando con detalle los riesgos existentes y las medidas de prevención a tomar para efectuarlo con seguridad. Asimismo, debe comprobar que sus instrucciones son obedecidas.
- Supervisar que el personal realice su trabajo con seguridad, cuidando su salud y el medio ambiente.
- Solicitar asesoramiento del Supervisor de SSOMA cuando exista duda sobre la aplicación, implementación, mecanismo u otro tema relacionado a la Seguridad, Salud Ocupacional y cuidado del Medio Ambiente durante la realización de los trabajos.
- Detener el trabajo si detecta alguna condición insegura en su desarrollo y comunicar al personal de SSOMA.
- Comunicar al Gerente de Operaciones y al Supervisor de SSOMA los posibles cambios en el alcance de los trabajos, previos al inicio y durante su ejecución, para la evaluación de los peligros y riesgos que dichos cambios impliquen.
- Participar activamente en el desarrollo e implementación de las actividades contempladas en el plan de SSOMA.
- Apoyar y participar en la comunicación al personal en lo referente a SSOMA.
- Participar en las reuniones de revisión del desempeño de la gestión de SSOMA del área respectiva.
- Cumplir las actividades asignadas a través del plan de SSOMA.
- Participar del seguimiento de los planes de acción establecidos en materia de SSOMA.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional

Según el historial que tiene Unacem desde que se instaló el horno en 1985, se puede mostrar el historial de cambio de virolas realizadas desde su puesta en marcha:

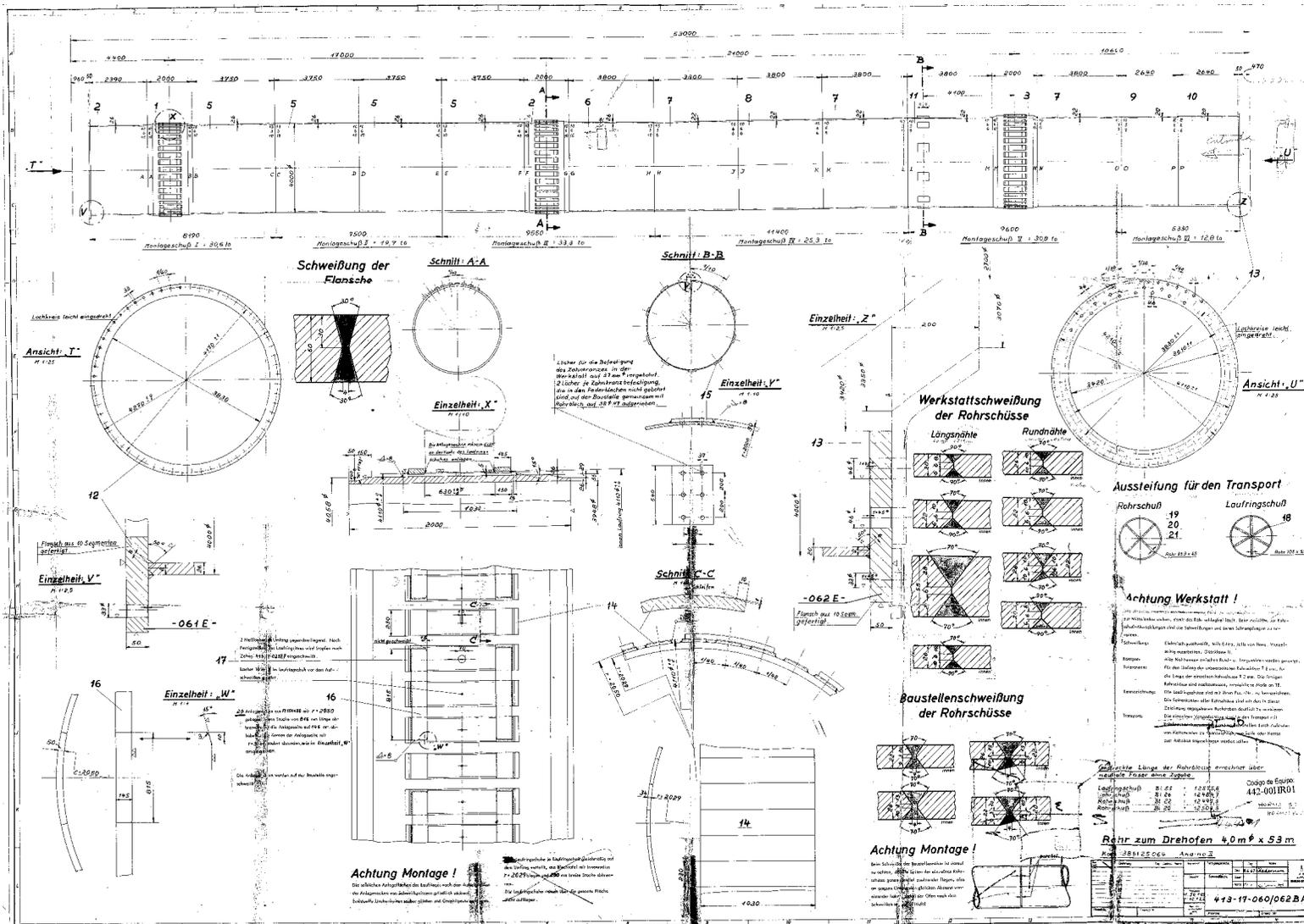


Figura 2. Plano general del horno

Tabla 1. Cambio de virola 26/mayo/1996

Empresa: Graña y Montero			
Ítem	Virola	Longitud (mm)	Espesor (mm)
1	V1	3000	25.4
2	V2	2100	60
3	V3	1505	25.4
4	V4	600	25.4

Tabla 2. Cambio de virola 23/junio/1998

Empresa: MISA – Mantenimiento e instalación ind.			
Ítem	Virola	Longitud (mm)	Espesor (mm)
1.	V5	2000	25.4
2.	V6	5810	25.4

Tabla 3. Cambio de virola 22/febrero/2001

Empresa: MISA – Mantenimiento e instalación ind.			
Ítem	Virola	Longitud (mm)	Espesor (mm)
1.	V7	2100	60
2.	V8	1880	60
3.	V9	4100	35

Tabla 4. Cambio de virola 3/setiembre/2003

Empresa: Procim's Ing.			
Ítem	Virola	Longitud (mm)	Espesor (mm)
1.	V10	830	40
2.	V11	1500	40
3.	V12	2100	60

El proyecto para el cambio de virolas en el horno, encargado a Haug S. A. por Unacem y supervisado por Grumacon S. A. C., se originó a partir de una detallada evaluación situacional. Como supervisores, se encargó de que este análisis cumpliera rigurosamente con las directrices y los estándares técnicos establecidos por Unacem, basados en la documentación técnica suministrada por el fabricante. Esta evaluación diagnóstica puso de manifiesto un avanzado estado de desgaste por corrosión térmica en las virolas, afectando directamente la eficiencia y la seguridad operacional del horno. Dicho desgaste, resultado de la fatiga del material, la constante exposición a elevadas temperaturas y el estrés mecánico, representa un peligro significativo para la continuidad operativa y el logro de los objetivos de sostenibilidad ambiental de la empresa.

La decisión de proceder con la sustitución de las virolas se tomó como una acción estratégica crítica, dictada por la urgente necesidad de preservar la integridad estructural del horno, esencial para asegurar una producción eficaz y segura. Desde nuestra posición en Grumacon, subrayamos la relevancia de esta operación no solo para evitar interrupciones inesperadas, con sus inherentes impactos negativos en la producción y los costes operacionales,

sino también para promover una mayor eficiencia energética y alinear el proyecto con los compromisos de sostenibilidad ambiental de Unacem.

El diagnóstico inicial no solo evidenció la imperiosa necesidad de adoptar medidas correctivas de forma inmediata, sino que también permitió identificar oportunidades para introducir mejoras técnicas y operativas que extiendan la vida útil del horno, incrementen la eficiencia energética y reduzcan el impacto ambiental. De esta manera, Grumacon impulsa la adopción de una estrategia integral que no solo atiende las necesidades de mantenimiento inmediatas, sino que también se proyecta hacia el logro de objetivos de eficiencia y sostenibilidad a largo plazo, reafirmando nuestro compromiso con la excelencia operacional y la responsabilidad ambiental.

2.2. Identificación de oportunidades o necesidad en el área de actividad

El diagnóstico inicial evidenció que hay varias virolas que presentan demasiado desgaste por corrosión térmica los cuales se deben de cambiar inmediatamente y la imperiosa necesidad de adoptar medidas correctivas de forma inmediata, de esta forma mantener el buen rendimiento de los hornos.

El análisis del estado de las virolas se ha basado en inspecciones visuales, mediciones de espesores y análisis de fallas, la evidencia recopilada demuestra que el desgaste es resultado de:

- **Fatiga del material** debido a la exposición prolongada a altas temperaturas.
- **Presencia de grietas y deformaciones** en la estructura de las virolas.
- **Ovalización del casco del horno**, afectando su alineación y eficiencia.
- **Disminución del espesor nominal**, comprometiendo la seguridad operativa.

Se adjunta la tabla con las fechas de cambio, empresa responsable de las virolas reemplazadas:

Tabla 5. Evaluación de virolas reemplazadas

Año	Empresa responsable	Virola reemplazada	Longitud (mm)	Espesor (mm)
1996	Graña y Montero	V1, V2, V3, V4	3000, 2100, 1505, 600	25.4, 60, 25.4, 25.4
1998	MISA	V5, V6	2000, 5810	25.4, 25.4
2001	MISA	V7, V8, V9	2100, 1880, 4100	60, 60, 35
2003	Procim's Ing.	V10, V11, V12	830, 1500, 2100	40, 40, 60

En la siguiente figura se pueden encontrar las virolas detalladas en el cuadro anterior, las cuales necesitan ser cambiadas por presentar desgaste, deformación, grietas u ovalidad y la deformación del axial.

La exhaustiva evaluación de las virolas análisis de los procedimientos de desmontaje y montaje de las virolas del horno 3, realizado bajo la dirección de Haug S. A. y con la supervisión estratégica de Grumacon para Unacem, destaca la imperiosa necesidad de adoptar prácticas avanzadas en ingeniería y gestión de proyectos. Este requerimiento trasciende la mera aplicación de conocimientos técnicos especializados en áreas de la ingeniería mecánica, como la soldadura, el ensamblaje estructural y la operación de maquinaria pesada, e implica una gestión de proyectos robusta y eficaz.

2.3. Objetivos de la actividad profesional

El proyecto liderado por Haug S. A. y supervisado por Grumacon S. A. C., enfocado en el cambio de virolas estructurales del horno a petición de Unacem, define sus objetivos profesionales con la intención de asegurar la continuidad de las operaciones, mejorar la eficiencia productiva y adherirse a los estándares de seguridad y sostenibilidad ambiental. Estos objetivos se establecen para estar en consonancia con las políticas de Unacem y las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante, bajo la supervisión y responsabilidad directa en la elaboración del informe de suficiencia.

2.3.1. Objetivo general

Realizar una renovación de virola 7, virolas 5-6-8, virola 4 y virolas 1-2-3 del horno rotativo 3, bajo la supervisión de Grumacon S. A. C. y validado por los estándares de Unacem.

2.3.2. Objetivos específicos

- Evaluación de la virola 7, virolas 5-6-8, virola 4 y virolas 1-2-3 del horno 3.
- Desmontaje y montaje de virola 7, virolas 5-6-8, virola 4 y virolas 1-2-3 del horno 3.
- Control dimensional durante y después de la instalación.

2.4. Justificación de la actividad profesional

La intervención para el cambio de virolas, en el marco del proyecto de renovación del horno liderado por Haug S. A., con ejecución técnica de Unacem y supervisión por parte de Grumacon S. A. C. siguiendo las normativas de Unacem y basándose en la información técnica del fabricante, se justifica desde múltiples ángulos: técnico, económico, social y profesional. La necesidad de esta actualización y sustitución de componentes críticos se fundamenta en la imperiosa demanda de mantener la operatividad y seguridad del horno, representando una inversión estratégica para la mejora de la eficiencia y la reducción de los costos operativos. Además, refleja el compromiso con la seguridad laboral y la minimización del impacto

ambiental, ofreciendo una plataforma significativa para la aplicación y el enriquecimiento de conocimientos especializados.

2.4.1. Justificación técnica

La justificación técnica subraya la crucial importancia de restablecer la integridad estructural y funcional del horno. Esta acción es vital para mantener los estándares de seguridad, optimizar la eficiencia energética y prolongar la vida útil del equipo. Al alinearse con las directrices de Unacem y las especificaciones técnicas del fabricante, aseguramos que cada intervención cumpla con los más elevados estándares de calidad y rendimiento.

2.4.2. Justificación económica

Desde un punto de vista económico, la renovación de las virolas se presenta como una inversión esencial para evitar paradas no programadas en la producción, eludiendo reparaciones costosas y pérdidas de producción en el futuro, como referencia directa se emite que la capacidad del horno 3 es de 2000 t/día (aprox. S/ 1 506 000.00). Esta iniciativa se justifica por el ahorro a largo plazo en costos de mantenimiento y operación, evidenciando una gestión estratégica de recursos y una eficiente administración de activos en concordancia con las políticas de Unacem.

2.4.3. Justificación social

En el aspecto social, esta iniciativa subraya el compromiso de la empresa con la seguridad de sus trabajadores y la disminución del impacto ambiental de sus actividades. Este compromiso no solo favorece el ambiente laboral sino que también tiene un impacto positivo en la comunidad local y el medio ambiente, destacando la responsabilidad social corporativa de Unacem y fortaleciendo su imagen como una entidad comprometida con el bienestar de sus empleados y la sostenibilidad ambiental.

2.4.4. Justificación de medio ambiente

El proceso de cambio de virolas tiene una considerable importancia ambiental, dado que la renovación de componentes desgastados reduce significativamente el consumo de energía y disminuye la emisión de gases contaminantes al ambiente. Según estudios de la Asociación Mundial del Cemento y el Concreto (GCCA), la mejora en la eficiencia térmica de los hornos puede reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 15 % por tonelada de *Clinker* producido, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático.

Durante la ejecución del proyecto, se adoptaron prácticas sostenibles que incluyeron:

Gestión adecuada de residuos: Los desechos metálicos generados durante el desmontaje de las virolas fueron segregados y dispuestos correctamente, priorizando el reciclaje de materiales ferrosos. Se estima que el reciclaje de acero puede reducir hasta en un 58 % las emisiones de CO₂ en comparación con la producción de acero nuevo, según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA).

Reducción de emisiones contaminantes: La utilización de soldadura automatizada y la optimización de los tiempos de montaje permitieron reducir el consumo de energía y minimizar las emisiones generadas por los equipos utilizados. Esta mejora se traduce en una reducción de hasta un 12 % de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a procesos industriales, según la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

Eficiencia energética: Se implementaron controles para asegurar que los procesos de alineamiento y montaje se realizaran con la mayor precisión posible, reduciendo así el consumo excesivo de energía y evitando retrabajos.

Además, la renovación de las virolas permite prolongar la vida útil del horno y mejorar su eficiencia térmica, lo que contribuye directamente a la reducción del consumo de combustibles fósiles. Esta mejora tiene un impacto positivo, ya que los hornos cementeros representan aproximadamente el 7 % de las emisiones globales de CO₂ en el sector industrial, según datos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

2.5. Resultados esperados

El proyecto supervisado por Grumacon S. A. C., en colaboración con Haug S. A. y bajo la ejecución técnica de Unacem, proyecta alcanzar resultados significativos en el rendimiento operativo del horno. Se anticipa una mejora sustancial en la eficiencia operativa, caracterizada por una notable reducción en el consumo de energía y la optimización de los procesos de producción de cemento. Mediante la incorporación de tecnologías avanzadas y materiales de última generación en la instalación de las nuevas virolas, se prevé una extensión considerable en la vida útil del horno.

Se espera realizar un trabajo oportuno cumpliendo los plazos establecidos por la empresa donde se pueda desarrollar el proyecto con toda conformidad, desde una correcta evaluación de las virolas del horno 3, posteriormente realizar el pedido de estas virolas, cuando lleguen a la unidad realizar una correcta verificación de estas virolas, después se procede al desmontaje de las virolas y luego al montaje de estas virolas, se realiza un control dimensional,

verificando el correcta estado de las virolas, realizamos la unión por soldadura, luego se realiza el alineamiento post trabajos civiles, por último el control de calidad de la instalación.

Se adjunta la siguiente tabla con los resultados esperados después del cambio de virolas del horno 3.

Tabla 6. Resultados esperados

Indicador	Antes del cambio	Después del cambio	Resultados esperados
Producción (t/h)	280 - 300	320 - 340	Aumento de producción en 10-15 % por mejor transferencia de calor y reducción de pérdidas mecánicas.
Consumo energético (kWh/t)	115 - 120	105 - 110	Reducción del 5-10 % por mayor eficiencia térmica y menor resistencia mecánica.
Tiempo de operación (%)	85 %	95 %	Incremento de 10 % en disponibilidad operativa por reducción de paradas no programadas.
Tiempo de paradas no programadas (horas/mes)	50 - 60	15 - 25	Reducción del 50-70 % en fallas imprevistas relacionadas con virolas deformadas o desgastadas.
Migración de llantas (mm/rev)	>20 mm/rev (excesiva)	10 - 20 mm/rev (óptima)	Reducción de ovalidad, menor desgaste del revestimiento refractario.
Ovalidad relativa del casco (%)	>0.5 %	≤0.3 %	Disminución del estrés estructural, mayor vida útil del casco.
Temperatura promedio del casco (°C)	350 - 400	250 - 300	Mejor distribución térmica, menor riesgo de puntos calientes.
Consumo de revestimiento refractario (t/año)	1500 - 1800	1000 - 1200	Reducción de desgaste y menor necesidad de mantenimiento en refractario.
Presión en rodillos de soporte (bar)	60 - 80	40 - 50	Menor carga en rodillos, reducción de desgaste y menor necesidad de rectificación.
Desviación axial del horno (mm)	3 - 5	≤2 mm	Mayor estabilidad y alineación, menor fricción mecánica.
Fugas de aire en juntas (%)	8 - 12 %	3 - 5 %	Mejor eficiencia térmica, reducción de pérdidas de calor.
Temperatura del aceite en rodamientos (°C)	80 - 90	60 - 70	Menor estrés térmico en rodamientos, mayor vida útil.
Nivel de vibración en rodillos (mm/s)	10 - 15	3 - 5	Reducción del impacto en la estructura, menor riesgo de fallas mecánicas.
Tiempo de arranque del horno tras parada (horas)	6 - 8	4 - 5	Reducción del tiempo de puesta en marcha.
Costos de mantenimiento correctivo (USD/año)	Alto (\$500 000)	Bajo (\$250 000)	Reducción del 50 % en costos por fallas imprevistas.
Vida útil esperada del casco (años)	10 - 12	15 - 20	Extensión de la durabilidad estructural del horno.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas

3.1.1. Fundamentos de hornos industriales

Los hornos industriales son equipos versátiles que permiten llevar a cabo procesos térmicos controlados en una amplia gama de materiales. Estos procesos abarcan desde el simple calentamiento hasta la fusión, calcinación, secado y curado, entre muchos otros. Su principal característica radica en su capacidad para alcanzar y mantener temperaturas elevadas con precisión y eficiencia, lo que los convierte en herramientas fundamentales en diversos sectores industriales (1).

Componentes esenciales

- **Cámara:** El corazón del horno, donde se coloca el material a procesar. Fabricada con materiales refractarios que resisten altas temperaturas y aíslan el calor de manera eficiente, creando un ambiente controlado dentro del horno.

- **Sistemas de suministro de calor:** El motor que impulsa el proceso. Dependiendo del tipo de horno, se pueden utilizar diferentes fuentes de calor como combustibles fósiles (gas natural, gasoil, carbón), electricidad, energía solar o incluso biomasa. La elección de la fuente de calor dependerá de diversos factores como la disponibilidad, el costo, la eficiencia energética y las necesidades específicas del proceso.

- **Sistemas de extracción de gases y materiales:** Permiten la evacuación segura y eficiente de los gases y partículas generados durante el proceso. Estos sistemas son cruciales para mantener un ambiente de trabajo seguro y evitar la contaminación del entorno (1).

- Componentes auxiliares: Elementos que complementan y optimizan el funcionamiento del horno. Entre ellos se encuentran los sistemas de control de temperatura, que garantizan la precisión y uniformidad del proceso; los controladores de atmósfera, que permiten ajustar la composición del aire dentro del horno para obtener resultados específicos; y los sistemas de seguridad, que protegen a los operadores y al equipo de posibles riesgos.

3.1.1.1. Procesos para el cambio de virolas

En el proyecto de cambio de virolas se estructura en cuatro fases principales, teniendo primero una fase de planificación y preparación, la fase dos corresponde al proceso de desmontaje de las virolas, fase tres desmontaje de virolas y por último la fase cuatro donde se realiza las pruebas y la puesta en marcha, se adjunta el siguiente diagrama de flujo del cambio de virolas.

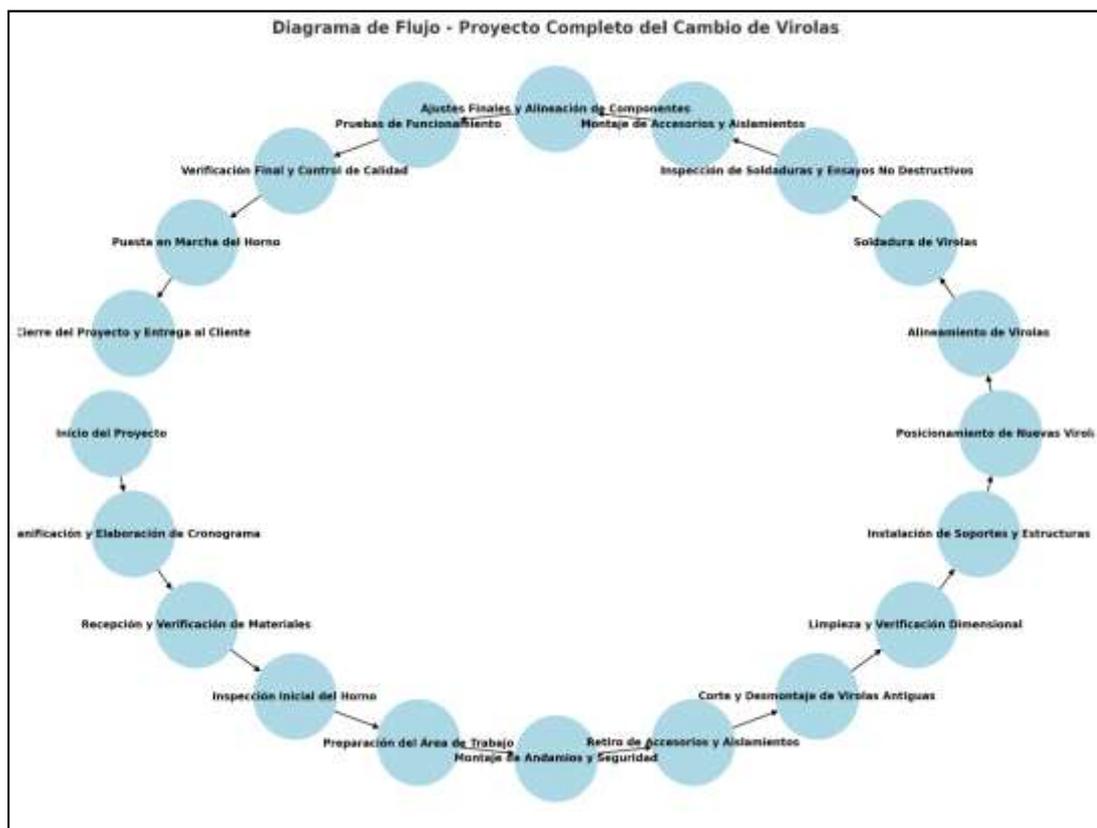


Figura 4. Flujo de cambio de virolas

Planificación y preparación

- Se inicia con la elaboración del cronograma y la planificación detallada.
- Se reciben y verifican los materiales para asegurar calidad.
- Se inspecciona el horno antes de la intervención.

- Se prepara el área con medidas de seguridad y montaje de andamios.

Desmontaje de virolas

- Se retiran accesorios y aislamientos antes del corte.
- Se desmontan las virolas antiguas siguiendo procedimientos controlados.
- Se realiza limpieza y verificación dimensional para garantizar compatibilidad con las nuevas virolas.

Montaje de nuevas virolas

- Se instalan soportes estructurales para alineación.
- Se posicionan y ajustan las virolas nuevas.
- Se lleva a cabo la soldadura con control de calidad mediante ensayos no destructivos.
- Se montan los accesorios y se alinean los componentes.

Pruebas y puesta en marcha

- Se realizan ajustes finales y pruebas de funcionamiento.
- Se lleva a cabo la verificación final y control de calidad.
- El horno se pone en marcha y se documentan los resultados.
- Se cierra el proyecto con la entrega al cliente.

3.1.1.2. Principios de funcionamiento

El corazón del funcionamiento de los hornos industriales reside en la transferencia de calor, un proceso fundamental para elevar la temperatura de los materiales que se procesan. El calor se genera de dos maneras principales (1):

- **Combustión de combustibles:** La quema de combustibles fósiles como gas natural, gasoil o carbón libera energía calorífica que se utiliza para calentar el interior del horno.
- **Aplicación de resistencias eléctricas:** El paso de corriente eléctrica a través de resistencias genera calor por efecto Joule, aumentando la temperatura del horno.
- **Mecanismos de transferencia de calor:**

Una vez generado el calor, este se transfiere al material a procesar por tres mecanismos distintos:

- **Conducción:** El calor se transmite a través del contacto directo entre las moléculas del material y las paredes del horno. Este mecanismo es especialmente eficiente en materiales sólidos con alta conductividad térmica.
- **Convección:** El calor se transfiere por el movimiento de gases calientes dentro del horno. Los gases calientes se elevan y al enfriarse, descienden creando un flujo continuo que permite distribuir el calor de manera uniforme.
- **Radiación:** El calor se transfiere en forma de ondas electromagnéticas desde las paredes del horno al material. Este mecanismo es efectivo para calentar materiales a distancia y aquellos con baja conductividad térmica.
- **Imagen:** Una ilustración precisa y detallada de los tres mecanismos de transferencia de calor en un horno industrial. La imagen debe mostrar las diferentes zonas del horno (cámara, paredes, material), las flechas que representan la dirección del flujo de calor y rótulos que identifican cada mecanismo (1).

3.1.1.3. Tipos de hornos: clasificación según su uso, construcción y fuente de calor

Clasificación según su uso

Los hornos industriales se clasifican en una amplia variedad de tipos según la industria y el proceso específico para el que están diseñados. Algunos ejemplos relevantes son (1):

- **Hornos para la industria cementera:** Los hornos rotatorios son los más utilizados para la producción de *Clinker*, el componente principal del cemento. Estos hornos cilíndricos giran sobre su eje, permitiendo un calentamiento uniforme y eficiente del material.
- **Hornos para la industria calera:** Los hornos de calcinación se emplean para la producción de cal a partir de la caliza. Estos hornos operan a altas temperaturas para calcinar la piedra caliza y convertirla en óxido de calcio.
- **Hornos para la industria cerámica:** La industria cerámica utiliza diversos tipos de hornos, como hornos de túnel y hornos de rodillos, para la producción de ladrillos, azulejos, vajillas y otros productos. Estos hornos se caracterizan por su capacidad para

controlar la temperatura y la atmósfera interna con precisión, lo que es crucial para obtener productos de alta calidad.

- Hornos para la industria del vidrio: Los hornos de cuba son los más comunes para la producción de vidrio. Estos hornos de gran tamaño funden la arena de sílice y otros componentes a temperaturas elevadas para obtener vidrio líquido.
- Hornos para tratamientos térmicos: Los hornos de temple y hornos de recocido se utilizan para modificar las propiedades mecánicas de los metales. Los hornos de temple aumentan la dureza y la resistencia del metal, mientras que los hornos de recocido los ablandan y aumentan su ductilidad.

Clasificación según su construcción

El diseño y la construcción del horno también son factores importantes que determinan su tipo. Entre las principales categorías se encuentran:

- Hornos rotatorios: Cilindros que giran sobre su eje, utilizados principalmente para materiales granulares como el *Clinker* en la industria cementera. La rotación facilita el contacto del material con el calor y la mezcla de los componentes.
- Hornos de solera fija: Poseen una base fija donde se coloca el material a procesar. Son ideales para materiales sólidos que no requieren movimiento durante el proceso de calentamiento.
- Hornos de mufla: Cuentan con una cámara interna que protege el material a procesar de los gases de combustión. Esta característica los hace ideales para materiales sensibles a la oxidación o la contaminación (1).

Clasificación según su fuente de calor:

La fuente de energía utilizada para generar calor es otro factor determinante en la clasificación de los hornos industriales. Los tipos más comunes son:

- Hornos de combustibles fósiles: Utilizan gas natural, gasoil, carbón u otros combustibles fósiles como fuente de energía. Estos hornos son generalmente económicos y eficientes, pero pueden generar emisiones contaminantes.

- Hornos eléctricos: Utilizan resistencias eléctricas para generar calor. Son una opción limpia y eficiente, pero pueden tener un costo operativo más elevado que los hornos de combustibles fósiles.
- Hornos solares: Utilizan la energía solar como fuente de calor. Son una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente, pero su capacidad de producción puede verse afectada por las condiciones climáticas (1).

Tabla 7. Resumen de tipos de hornos industriales según su uso, construcción y fuente de calor

Tipo de horno	Uso	Construcción	Fuente de calor
Hornos rotatorios	Cemento, cal	Rotatorios	Combustibles fósiles, eléctricos
Hornos de calcinación	Cal	Solera fija	Combustibles fósiles
Hornos de túnel	Cerámica	Túnel	Combustibles fósiles, eléctricos
Hornos de rodillos	Cerámica	Rodillos	Combustibles fósiles, eléctricos
Hornos de cuba	Vidrio	Cuba	Combustibles fósiles, eléctricos
Hornos de temple	Tratamientos térmicos	Solera fija, mufla	Combustibles fósiles, eléctricos
Hornos de recocido	Tratamientos térmicos	Solera fija, mufla	Combustibles fósiles, eléctricos

3.1.1.4. Virolas en hornos industriales

A) Definición y funciones

Las virolas son elementos esenciales en la construcción de hornos industriales. Se trata de cilindros metálicos que conforman el revestimiento interior de la cámara del horno, donde se coloca el material a procesar. Las virolas desempeñan funciones vitales para el correcto funcionamiento del horno:

- **Contención:** Las virolas actúan como una barrera robusta que impide que el material y los gases a altas temperaturas escapen del horno. Esta función es crucial para la seguridad del proceso y del personal.
- **Optimización de la transferencia de calor:** La superficie interna de las virolas está específicamente diseñada para maximizar la transferencia de calor del horno al material. Esto reduce el tiempo de procesamiento y aumenta la eficiencia energética del horno, lo que se traduce en ahorros en costos operativos.
- **Protección:** Las virolas actúan como una capa protectora que evita la corrosión y el desgaste de la estructura interna del horno. Esto prolonga la vida útil del horno, reduciendo la necesidad de reparaciones y reemplazos costosos.

Una sección transversal de un horno industrial con las virolas resaltadas. La imagen debe mostrar claramente la ubicación de las virolas dentro del horno, su forma cilíndrica y su conexión con otros componentes.

La importancia de las virolas radica en su capacidad para conjugar la seguridad, la eficiencia y la durabilidad en el funcionamiento de los hornos industriales. La elección del material adecuado para las virolas, así como su diseño y fabricación, son factores determinantes para el éxito del proceso de calentamiento y la rentabilidad del horno (1).

Ampliación del contenido

- **Tipos de virolas:** Existen diferentes tipos de virolas según su diseño y función, como virolas lisas, virolas corrugadas, virolas con aletas, etc.
- **Materiales para virolas:** La elección del material de las virolas depende de diversos factores como la temperatura de operación, la atmósfera del horno, el tipo de material a procesar y la resistencia a la corrosión. Algunos materiales comunes son acero al carbono, acero inoxidable, aleaciones de níquel y aleaciones refractarias.
- **Fabricación de virolas:** Las virolas se fabrican mediante diferentes procesos como laminación, extrusión, fundición y soldadura.

- Inspección y mantenimiento de virolas: Es importante realizar inspecciones periódicas para detectar daños en las virolas y realizar el mantenimiento adecuado para garantizar su correcto funcionamiento (1).

B) Materiales y diseño

Las virolas, debido a su ubicación dentro del horno, están expuestas a condiciones extremas de temperatura, presión y corrosión. Por lo tanto, su material y diseño son aspectos fundamentales para garantizar la seguridad, eficiencia y vida útil del horno.

Materiales:

Aceros especiales resistentes a *creep*

- Aceros CrMo: Ofrecen una excelente resistencia a la fluencia a altas temperaturas. Son una opción económica para hornos con temperaturas moderadas.
- Aceros CrMoV: Combinan alta resistencia a la fluencia con resistencia a la corrosión. Son ideales para hornos con ambientes agresivos.
- Aleaciones níquel-cromo: Ofrecen la mayor resistencia a la corrosión y al *creep* de los materiales mencionados. Son la mejor opción para hornos con condiciones extremas, pero son más costosas.

Diseño

El diseño de las virolas es un proceso complejo que involucra diversos factores:

Factores térmicos: Se debe calcular la conductividad térmica del material para asegurar una transferencia de calor eficiente al material a procesar.

Factores mecánicos: Las virolas deben ser lo suficientemente gruesas para soportar la presión interna del horno.

Resistencia a la corrosión: El material de las virolas debe ser compatible con el tipo de material a procesar y los gases presentes en el horno.

Vida útil: Se debe considerar el desgaste y la fatiga del material para determinar la vida útil estimada de las virolas (1).

Tabla 8. Propiedades de materiales comunes para virolas en hornos industriales

Material	Resistencia a la fluencia	Resistencia a la corrosión	Costo
Acero CrMo	Alta	Buena	Bajo
Acero CrMoV	Muy alta	Excelente	Medio
Aleación níquel-cromo	Muy alta	Excelente	Alto

La elección del material y el diseño de las virolas dependerán de las condiciones específicas de operación del horno, como:

- Temperatura máxima
- Presión interna
- Tipo de material a procesar
- Atmósfera del horno

Ampliación del contenido

- Análisis de esfuerzo-deformación: Se realizan análisis para determinar el espesor necesario de las virolas para soportar las cargas y presiones internas.
- Simulación computacional: Se pueden utilizar simulaciones para evaluar el comportamiento de las virolas bajo diferentes condiciones de operación.
- Ensayos de materiales: Se realizan ensayos para determinar las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión del material de las virolas.
- Normas y estándares: Existen normas y estándares que establecen los requisitos mínimos para el diseño y fabricación de virolas

3.1.1.5. Procesos de montaje y desmontaje

A) Estrategias de montaje

El montaje de las virolas es un proceso crucial en la construcción de hornos industriales. Se trata de una operación compleja que requiere planificación meticulosa, precisión y un enfoque en la seguridad. Las principales etapas que componen este proceso son:

- Posicionamiento: Las virolas se ubican en la cámara del horno utilizando diferentes herramientas, como grúas, gatos hidráulicos, transportadores y sistemas de izaje. La

precisión en la ubicación y la alineación de las virolas es fundamental para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro del horno.

- Alineación: Se realiza una alineación precisa de las virolas para garantizar una unión soldada sin defectos. Se emplean herramientas especiales, como reglas de precisión, niveles y calibres, para asegurar la correcta alineación de las virolas.
- Unión por soldadura: La unión de las virolas se realiza mediante técnicas de soldadura especializadas, como la soldadura por arco eléctrico, la soldadura TIG o la soldadura por plasma. La elección de la técnica de soldadura dependerá del material de las virolas, el espesor del material y las condiciones de operación del horno (2).

Imagen: Montaje de virolas en un horno industrial. La imagen debe mostrar:

Las virolas siendo posicionadas con grúas.

La alineación precisa de las virolas.

La soldadura de las virolas.

- Pruebas y ensayos: Se realizan pruebas y ensayos no destructivos para verificar la calidad de la soldadura y la integridad de las virolas. Estos ensayos pueden incluir radiografías, ultrasonido y pruebas de líquidos penetrantes.

Consideraciones adicionales

- Se deben tomar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores durante el proceso de montaje, como el uso de equipo de protección personal adecuado.

Es importante seguir las normas y estándares de seguridad para el montaje de hornos industriales.

La documentación precisa del proceso de montaje es esencial para garantizar la trazabilidad y la calidad del trabajo.

Ampliación del contenido

- Planificación del montaje: Se realiza una planificación detallada del proceso de montaje, incluyendo la selección de las herramientas y equipos, la secuencia de las operaciones y las medidas de seguridad.

- Preparación de las virolas: Las virolas se preparan para el montaje, incluyendo la limpieza, el biselado y la inspección.
- Soldadura: Se realiza la soldadura de las virolas por soldadores calificados y siguiendo los procedimientos de soldadura especificados.
- Pruebas y ensayos: Se realizan pruebas y ensayos adicionales para verificar la calidad del montaje, como pruebas de presión y pruebas de funcionamiento.
- Mantenimiento del montaje: Se realiza un mantenimiento regular del montaje para asegurar su correcto funcionamiento (2).

B) Desmontaje de virolas

El desmontaje de las virolas es un proceso complejo que requiere precisión, control y cuidado para evitar daños a la estructura del horno. Las principales etapas que lo componen son:

- Corte: Se realizan cortes controlados en las virolas para liberar los tramos que se van a reemplazar. Se emplean técnicas de corte especiales, como el corte por plasma, el corte por láser o el corte por oxicorte. La elección de la técnica de corte dependerá del material de las virolas, el espesor del material y la accesibilidad a la zona de corte.
- Izaje y extracción: Las secciones cortadas de las virolas se izan y extraen de la cámara del horno utilizando grúas o sistemas de izaje. Se debe tener cuidado para evitar daños a las virolas adyacentes y a la estructura del horno.
- Reposición de virolas: Se instalan las nuevas virolas en la posición correcta y se sueldan a las virolas existentes. Se debe realizar una soldadura de alta calidad para asegurar la integridad del horno (2).

El corte de las virolas.

El izaje de las secciones cortadas.

La instalación de las nuevas virolas.

Consideraciones adicionales

- Se deben tomar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores durante el proceso de desmontaje, como el uso de equipo de protección personal adecuado.

Es importante seguir las normas y estándares de seguridad para el desmontaje de hornos industriales.

La documentación precisa del proceso de desmontaje es esencial para garantizar la trazabilidad y la calidad del trabajo.

Resumen de las estrategias de montaje y desmontaje de virolas.

Tabla 9. Resumen de las estrategias de montaje y desmontaje de virolas

Estrategia	Descripción	Consideraciones
Montaje	Posicionamiento, alineación y unión por soldadura de las virolas	Precisión, seguridad, calidad de la soldadura
Desmontaje	Corte controlado, izaje y extracción de las virolas	Precisión, control, seguridad

Nota: La planificación meticulosa y la ejecución cuidadosa de los procesos de montaje y desmontaje de virolas son fundamentales para garantizar la seguridad, la eficiencia y la vida útil del horno industrial.

Ampliación del contenido

- Preparación para el desmontaje: Se realiza una inspección del horno para determinar el estado de las virolas y planificar el proceso de desmontaje.
- Desconexión de equipos: Se desconectan los equipos y sistemas que están conectados a las virolas a reemplazar.
- Protección del horno: Se toman medidas para proteger el horno durante el proceso de desmontaje, como la colocación de mantas protectoras.
- Limpieza: Se realiza una limpieza de la zona de trabajo antes y después del desmontaje.
- Inspección final: Se realiza una inspección final del horno para verificar que no haya daños y que el proceso de desmontaje se haya realizado correctamente.

3.1.1.6. Normativas y estándares

A) Normativas internacionales

Las normativas internacionales para hornos y virolas son un conjunto de requisitos técnicos y de seguridad que deben cumplir estos equipos para garantizar su funcionamiento eficiente, seguro y de calidad. Estas normas son desarrolladas por organismos internacionales reconocidos y son utilizadas por fabricantes, operadores y reguladores en todo el mundo.

Principales Normativas Internacionales

- ASME (*American Society of Mechanical Engineers*): Esta organización estadounidense desarrolla normas para una amplia gama de equipos industriales, incluyendo hornos y virolas. Las normas ASME son ampliamente utilizadas en todo el mundo y se consideran un referente en la industria. Estas normas abarcan el diseño, la fabricación, la inspección, el montaje y las pruebas de hornos y virolas, con el objetivo de garantizar la seguridad, eficiencia y calidad de estos equipos.
- EN (*European Standards*): Son las normas europeas para la fabricación y el diseño de hornos industriales. Las normas EN armonizan los requisitos técnicos en Europa y facilitan el comercio internacional. Estas normas se centran en la armonización de los requisitos técnicos para hornos y virolas en Europa, con el objetivo de facilitar el comercio internacional y la libre circulación de estos equipos.
- ISO (*International Organization for Standardization*): Es una organización internacional que desarrolla normas para una amplia variedad de productos y servicios. Las normas ISO para hornos y virolas se basan en las mejores prácticas internacionales y proporcionan un marco para la gestión de la calidad y la seguridad. Estas normas se basan en las mejores prácticas internacionales y proporcionan un marco para la gestión de la calidad y la seguridad en la fabricación de hornos y virolas.
- ASTM (*American Society for Testing and Materials*): Esta organización estadounidense desarrolla normas para la caracterización de materiales, incluyendo los utilizados en la fabricación de hornos y virolas. Las normas ASTM son utilizadas para asegurar la calidad de los materiales y su conformidad a las especificaciones técnicas. Estas normas se utilizan para asegurar la calidad de los materiales utilizados en la fabricación de hornos y virolas, y su conformidad a las especificaciones técnicas.

Tabla 10. Resumen de las principales normas internacionales para hornos y virolas

Norma	Descripción	Enfoque principal
ASME	Normas para el diseño, fabricación, inspección, montaje y pruebas de hornos y virolas.	Seguridad, eficiencia, calidad
EN	Normas para la fabricación y el diseño de hornos industriales.	Armonización de requisitos técnicos en Europa

ISO	Normas para la gestión de la calidad y la seguridad en la fabricación de hornos y virolas.	Mejores prácticas internacionales
ASTM	Normas para la caracterización de materiales utilizados en la fabricación de hornos y virolas.	Calidad de los materiales

Importancia de las normativas internacionales

- Seguridad: Las normas internacionales ayudan a garantizar la seguridad de los trabajadores que operan los hornos industriales, así como la seguridad de las instalaciones y del entorno.
- Eficiencia: Las normas internacionales promueven la eficiencia energética y la reducción de emisiones contaminantes en los hornos industriales.
- Calidad: Las normas internacionales ayudan a asegurar la calidad de los hornos y virolas, lo que se traduce en una mayor vida útil y un menor mantenimiento.
- Comercio internacional: Las normas internacionales facilitan el comercio internacional de hornos y virolas al armonizar los requisitos técnicos.

Cumplimiento de las normativas internacionales

El cumplimiento de las normas internacionales es fundamental para los fabricantes, operadores y reguladores de hornos y virolas. El cumplimiento de estas normas permite:

- Garantizar la seguridad de los trabajadores, las instalaciones y el entorno.
- Promover la eficiencia energética y la reducción de emisiones contaminantes.
- Asegurar la calidad de los hornos y virolas.
- Facilitar el comercio internacional.

B) Estándares de seguridad y calidad

Los estándares de seguridad y calidad son un complemento fundamental a las normas internacionales. Estos estándares se enfocan en aspectos específicos que son esenciales para garantizar la seguridad, la eficiencia y la calidad de las virolas y los hornos industriales.

Principales estándares de seguridad y calidad

- Seguridad de los operadores: Estos estándares establecen requisitos específicos para la protección de los trabajadores que operan los hornos industriales. Estos requisitos

incluyen medidas para prevenir accidentes, incendios y explosiones. Algunos ejemplos de medidas para la seguridad de los operadores son:

- **Uso de equipo de protección personal adecuado:** El uso de cascos, gafas de seguridad, guantes, ropa ignífuga y otros equipos de protección personal es fundamental para proteger a los trabajadores de los riesgos asociados con la operación de hornos industriales.
- **Señalización de seguridad:** La instalación de señales de advertencia, instrucciones de operación y zonas de seguridad es crucial para prevenir accidentes y comunicar los riesgos a los trabajadores.
- **Capacitación en seguridad:** Es fundamental proporcionar a los trabajadores capacitación regular en seguridad, incluyendo temas como prevención de incendios, manejo de materiales peligrosos y respuesta a emergencias.
- **Sistema de gestión de seguridad de proceso:** Este estándar establece requisitos para la implementación de un sistema formal para la gestión de la seguridad de proceso en los hornos industriales. Este sistema permite identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados con la operación de estos equipos. El sistema de gestión de seguridad de proceso debe incluir:
 - **Análisis de riesgos:** Se debe realizar un análisis exhaustivo para identificar y evaluar los riesgos asociados con la operación del horno industrial.
 - **Medidas de control:** Se deben implementar medidas de control para mitigar los riesgos identificados. Estas medidas pueden incluir medidas de ingeniería, procedimientos de trabajo seguros y capacitación para el personal.
 - **Monitoreo y revisión:** Se debe realizar un monitoreo continuo del sistema de gestión de seguridad de proceso y se debe revisar y actualizar periódicamente.
- **Control de calidad de fabricación y montaje:** Estos estándares establecen requisitos para asegurar la calidad de los materiales, la fabricación y el montaje de las virolas y los hornos industriales. El control de calidad es fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia y la vida útil de estos equipos. El control de calidad de fabricación y montaje debe incluir:

- Control de calidad de materiales: Se deben realizar pruebas y ensayos para verificar que los materiales utilizados en la fabricación de las virolas y los hornos industriales cumplan con las especificaciones técnicas.
- Control de calidad de fabricación: Se deben realizar inspecciones y pruebas durante la fabricación de las virolas y los hornos industriales para asegurar que se cumplan con los requisitos de calidad.
- Control de calidad de montaje: Se deben realizar inspecciones y pruebas durante el montaje de las virolas y los hornos industriales para asegurar que se cumplan con los requisitos de calidad.
- Control ambiental: Estos estándares establecen requisitos para minimizar el impacto ambiental de los hornos industriales. Estos requisitos incluyen la reducción de emisiones contaminantes y el consumo de energía. El control ambiental es fundamental para proteger el medio ambiente y contribuir a la sostenibilidad. El control ambiental debe incluir:
 - Control de emisiones: Se deben implementar medidas para controlar las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
 - Eficiencia energética: Se deben implementar medidas para mejorar la eficiencia energética de los hornos industriales.
 - Gestión de residuos: Se debe realizar una gestión adecuada de los residuos generados por la operación de los hornos industriales.

Tabla 11. Resumen de los principales estándares de seguridad y calidad para hornos y virolas

Estándar	Descripción	Enfoque principal
Seguridad de los operadores	Protección de los trabajadores que operan los hornos industriales.	Prevención de accidentes, incendios y explosiones
Sistema de gestión de seguridad de proceso	Gestión de los riesgos asociados con la operación de los hornos industriales.	Identificación, evaluación y control de riesgos
Control de calidad de fabricación y montaje	Aseguramiento de la calidad de los materiales, la fabricación y el montaje de las virolas y los hornos industriales.	Calidad de materiales, fabricación y montaje
Control ambiental	Minimización del impacto ambiental de los hornos industriales.	Emisión de gases contaminantes, consumo de energía

3.2. Tipos de desgastes

Fatiga del material: Ocurre debido a la constante exposición a elevadas temperaturas y ciclos térmicos, esto provoca microfisuras en la estructura del metal, que con el tiempo pueden derivar en grietas más grandes.

Corrosión térmica: La atmósfera del horno, que puede incluir gases agresivos y partículas abrasivas, causa la degradación del material de la virola. Dependiendo del tipo de combustible utilizado y los materiales procesados, la corrosión puede ser más severa en ciertas áreas.

Deformación mecánica: La presión interna y las cargas mecánicas aplicadas en las virolas pueden generar ovalidad o deformaciones que afectan la alineación y eficiencia del horno.

Desgaste por abrasión: Es causado por el roce continuo de materiales sólidos en la superficie interna de la virola, lo que genera adelgazamiento del material y pérdida de su resistencia estructural.

Expansión y contracción térmica: Las diferencias de temperatura dentro del horno provocan dilataciones y contracciones del metal, lo que puede generar esfuerzos residuales que favorecen la aparición de grietas

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

4.1. Descripción de las actividades profesionales

Esta sección abarcará una visión completa de las tareas implicadas en el proyecto de desmontaje y montaje de virolas para el horno 3, destacando la complejidad técnica y la meticulosidad requerida en cada paso. Se enfocará en la preparación, ejecución y finalización de las actividades, resaltando la importancia de la precisión, la seguridad y el cumplimiento de los estándares industriales.

Las actividades desarrolladas en la obra consistieron en el desmontaje de 8 virolas de un horno de cemento, y el montaje de 8 nuevas virolas reemplazadas, así como la soldadura de sus juntas. Esto con el objetivo de restaurar la integridad estructural del horno para optimizar su operación y prolongar su vida útil (3).

Principalmente se realizaron las siguientes actividades:

- Evaluación de virolas
- Recepción y control de calidad de virolas
- Corte y desmontaje de virolas
- Montaje de virolas
- Gramilado
- Alineado general de horno 3

4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales

El enfoque adoptado en las actividades profesionales para el proyecto de cambio de virolas del horno 3, supervisado por Grumacon S. A. C. y ejecutado en colaboración con Haug S. A. y Unacem, se concentró en asegurar la máxima calidad y seguridad durante todas las fases del proceso. Este compromiso implicó adherirse estrictamente a las normativas de seguridad y salud ocupacional, aplicar tecnología de vanguardia y técnicas avanzadas para el corte, alineación y soldadura de las virolas, y gestionar de manera eficiente tanto los recursos como el equipo humano involucrado. Se puso especial énfasis en la innovación y la mejora continua, con el objetivo de optimizar los plazos de ejecución sin sacrificar la excelencia en la calidad del trabajo entregado.

Como ingeniero mecánico, mis responsabilidades se centraron en garantizar tanto la integridad estructural y operativa del horno como la seguridad durante los trabajos de modificación. Las acciones emprendidas incluyeron:

- La realización de una planificación detallada, utilizando software CAD para el diseño de soportes, selección de equipos de izaje y definición de los procedimientos de trabajo.
- La ejecución de cálculos estructurales para confirmar la resistencia y estabilidad del horno a lo largo de las fases de corte y soldadura.
- El diseño y cálculo de los biseles para las juntas soldadas, especificando los procesos de soldadura, los materiales consumibles y las variables óptimas de soldeo.
- La implementación de un riguroso sistema de aseguramiento de calidad, que abarcó inspecciones visuales exhaustivas, pruebas no destructivas, protocolos de limpieza y técnicas de reparación de soldaduras.
- La supervisión directa en el lugar de los trabajos para garantizar la implementación adecuada de los procedimientos diseñados, resolviendo problemas imprevistos y optimizando el uso de tiempos y recursos.
- La verificación del cumplimiento de estándares internacionales como el AWS D1.1 y las normativas de seguridad a lo largo de todo el proyecto.

- Gracias a la aplicación de conocimientos avanzados y experiencia en ingeniería mecánica, fue posible alcanzar los objetivos establecidos para este ambicioso proyecto, manteniendo altos estándares de calidad y seguridad

4.1.2. Alcance de las actividades

El alcance del proyecto cubre todas las etapas, desde la planificación inicial y la preparación del sitio hasta la ejecución de los trabajos de desmontaje y montaje, así como las pruebas finales para verificar la correcta operatividad del horno. Las tareas específicas incluyen la preparación de las nuevas virolas, el corte preciso, la soldadura siguiendo estándares internacionales, y las rigurosas inspecciones de calidad y seguridad. También se establecen claras metas de cumplimiento en relación con los tiempos, costos y especificaciones técnicas.

Dada la magnitud y complejidad de la modificación estructural de un horno de cemento en funcionamiento, las actividades se planificaron considerando los siguientes aspectos:

- Área de influencia: Las intervenciones abarcaron desde la entrada del horno (cámara de conexión con el precalentador) hasta su salida (campana o chimenea), incluyendo las llantas de soporte en las estaciones 1 y 2.
- Equipos involucrados: Se trabajó con el horno en su totalidad, así como con ventiladores axiales, rodillos de retención, sensores, pasarelas y otros equipos periféricos según se requiriera.
- Mano de obra: Se organizó un equipo multidisciplinario compuesto por ingenieros residentes, especialistas en construcción, seguridad, medio ambiente, y calidad, además de supervisores, capataces, y personal técnico y obrero de las especialidades necesarias.
- Procesos: Se incluyó el desmontaje mecánico, corte con maquinaria semiautomática, el izaje de grandes cargas, montaje utilizando grúas, alineamiento, soldadura, inspecciones y pruebas operativas del horno para su entrega final.
- Seguridad: Se aseguró la protección de todo el personal, incluyendo empleados propios, subcontratistas, representantes del cliente en la obra y público en general, aplicando un reglamento interno de seguridad basado en normativas nacionales e internacionales.

Este enfoque permitió delimitar con precisión los alcances de intervención, definiendo roles y responsabilidades para la exitosa ejecución de este desafiante proyecto profesional, asegurando así que cada aspecto se gestionara con la máxima eficiencia y atención al detalle.

4.1.3. Entregables de las actividades profesionales

Los entregables del proyecto incluyen un amplio rango de documentos y resultados tangibles, tales como informes de avance, certificaciones de calidad, documentación de inspecciones y pruebas, culminando con la entrega de un horno completamente montado y operativo. Se subrayará el valor de una documentación exhaustiva para asegurar la trazabilidad del proyecto y el cumplimiento de las regulaciones aplicables. Además, se elaborará un informe final que resuma los logros obtenidos, las lecciones aprendidas y las recomendaciones para proyectos futuros de naturaleza similar.

Dentro del marco de mis responsabilidades profesionales en este proyecto, se produjeron los siguientes entregables claves:

- **Planos *As Built*:** Un conjunto completo de planos actualizados que reflejan todas las modificaciones realizadas y los detalles exactos de la ejecución del proyecto.
- **Dossier de calidad:** Un compendio integral que incluye todos los protocolos, registros de pruebas, certificados de materiales, informes de inspección y documentación de soporte relacionada con las actividades realizadas.
- **Manuales y procedimientos:** Elaboración y actualización de manuales de operación, mantenimiento, seguridad y medio ambiente, adaptados al estado renovado del horno.
- **Informes de construcción:** Documentación que incluye reportes semanales de progreso, hitos alcanzados, modificaciones implementadas y cualquier otro evento significativo que contribuya al registro histórico del proyecto.
- **Acta de reunión de cierre:** Un documento oficial, firmado por los representantes técnicos del cliente, que certifica la calidad de los trabajos realizados, la conclusión satisfactoria de las pruebas y las coordinaciones para la puesta en marcha del horno.

Esta documentación se organizó meticulosamente, se catalogó y se entregó al cliente para proporcionar un registro detallado que facilite la trazabilidad, apoye futuras operaciones,

mantenimientos o modificaciones en el horno, y demuestre el cumplimiento de las funciones y responsabilidades asignadas a mi cargo en el proyecto.

4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional

Esta sección expone los pilares técnicos y metodológicos que sustentan el proyecto, cubriendo el espectro desde la fase de planificación hasta la ejecución concreta de las actividades. Como Ingeniero Mecánico, mi aportación al desarrollo de este proyecto se fundamentó en una serie de aspectos técnicos críticos, que aseguraron su ejecución exitosa:

- **Análisis estructural y modelado:** Utilización de software de elementos finitos para el análisis estructural del horno, garantizando su estabilidad a lo largo de las fases de intervención mediante un modelado detallado de resistencia y comportamiento bajo carga.
- **Cálculo de cargas:** Evaluación precisa de las cargas verticales y horizontales que actúan sobre el horno, estableciendo un factor de seguridad adecuado para eventos sísmicos y asegurando la integridad de las estructuras temporales de soporte.
- **Diseño de componentes de izaje:** Diseño y cálculo de platos de anclaje, ménsulas y soportes metálicos, fundamentales para el manejo seguro y eficiente de los componentes del horno durante las operaciones de izaje.
- **Selección de procesos de corte y soldadura:** Elección del proceso óptimo de corte, como el corte por arco plasma, y de soldadura, preferentemente el arco sumergido, basado en criterios de aplicación, material, accesibilidad y eficiencia de costos.
- **Desarrollo de WPS y PQRs:** Definición de procedimientos de soldadura (WPS) y calificaciones de procedimientos de soldadura (PQRs) para los métodos de soldadura empleados, complementados con inspecciones detalladas y protocolos de calidad asociados.
- **Gestión técnica y permisos:** Coordinación de la oficina técnica para la obtención de permisos especiales requeridos para el transporte de componentes de gran peso y dimensiones, en cumplimiento con regulaciones y autoridades locales.

- **Mejoras en el sitio de trabajo:** Implementación de ajustes en términos de accesibilidad al sitio de trabajo, ventilación, extracción de humos y control de temperatura en las áreas de trabajo, para optimizar las condiciones y la seguridad durante la ejecución del proyecto.

La integración de estos conocimientos técnicos y la aplicación de competencias especializadas fueron fundamentales para superar los retos inherentes al proyecto, asegurando no solo el cumplimiento de los objetivos propuestos sino también elevando los estándares de calidad y seguridad en la ejecución de trabajos de ingeniería mecánica de alta complejidad.

4.2.1. Metodología

El enfoque metodológico adoptado para el desmontaje y montaje de las virolas del horno se caracterizó por su sistematicidad, abarcando desde la planificación inicial del proyecto hasta la gestión de calidad y el análisis de riesgos. La metodología implementada para la planificación y ejecución de este proyecto incluyó las siguientes fases clave:

- **Modelamiento 3D y análisis estructural:** Iniciamos con la creación de un modelo sólido del horno utilizando software CAD, lo que facilitó la visualización completa de la estructura. Paralelamente, se desarrolló un modelo analítico mediante software de elementos finitos para evaluar la resistencia de la estructura frente a las modificaciones previstas, asegurando la integridad y estabilidad del horno durante todo el proceso.
- **Ingeniería conceptual y básica:** Basándonos en los datos obtenidos del modelado y análisis inicial, se procedió a desarrollar los conceptos y predimensionamientos de los soportes, equipos de izaje, consumibles de soldadura y las especificaciones técnicas de los nuevos componentes. Esta etapa estableció las bases para la definición de los requerimientos técnicos y operativos del proyecto.
- **Ingeniería de detalle:** Esta fase implicó la elaboración detallada de los planos de fabricación y montaje, la definición de procedimientos de soldadura (WPS), la generación de diagramas eléctricos y de control, y la preparación de listas de materiales, entre otros documentos esenciales para la construcción y montaje.
- **Plan de calidad y seguridad:** De forma simultánea al desarrollo técnico, se elaboró un plan integral de calidad y seguridad que incorporó requisitos específicos de calidad, seguridad, medio ambiente y salud ocupacional, orientados a la ejecución del proyecto.

Este plan definió los estándares y prácticas a seguir para asegurar el cumplimiento de objetivos sin comprometer la integridad física de los trabajadores ni el entorno.

- **Construcción y supervisión:** Durante la fase de ejecución en el campo, se llevó a cabo un control dimensional riguroso, monitoreo de proveedores, registro fotográfico de avances y la optimización de cada actividad en constante coordinación con el cliente. Esta supervisión directa permitió ajustes en tiempo real, asegurando la calidad y eficiencia en la implementación de la metodología.

La aplicación de esta metodología robusta y detallada facilitó la minimización de imprevistos, el incremento en la productividad y la garantía de resultados finales óptimos, reflejando un enfoque integral y bien estructurado para el manejo de proyectos de ingeniería de alta complejidad.

4.2.2. Técnicas

Las técnicas específicas empleadas en las diferentes fases del proyecto fueron fundamentales para alcanzar los objetivos planteados, abarcando desde avanzadas técnicas de corte y soldadura hasta métodos precisos de alineación, nivelación de componentes, y técnicas de inspección no destructiva (END) para la verificación de la calidad e integridad de las soldaduras y componentes. Las principales técnicas de ingeniería mecánica implementadas en el proyecto incluyeron:

- **Técnicas de modelado 3D:** Utilizamos software CAD, específicamente SolidWorks, para desarrollar un modelo de ensamble detallado del horno. Esto permitió una visualización espacial completa y la detección temprana de posibles interferencias durante el proceso de montaje, facilitando la planificación y ejecución de las actividades.
- **Análisis por elementos finitos (FEA):** Se llevaron a cabo análisis estáticos, modales y transitorios utilizando software especializado, como ANSYS, para evaluar la concentración de tensiones y verificar la resistencia estructural del horno frente a cargas dinámicas, asegurando así su estabilidad y durabilidad.
- **Ingeniería de soldadura:** Aplicamos las normas ASME Sección IX para la calificación de los procedimientos de soldadura (WPS) para procesos SMAW, SAW, y FCAW. Además, seguimos la AWS D1.1-2020 para la inspección visual, realización

de ensayos no destructivos y la definición de criterios de aceptación de las soldaduras, garantizando la calidad y seguridad de las uniones soldadas.

- **Gestión y planificación de proyectos:** Implementamos técnicas de planificación de proyectos como PERT y CPM, además de utilizar diagramas de Gantt para la optimización de la secuencia de actividades, duraciones y asignación de recursos. Estas herramientas fueron clave para mantener el proyecto en tiempo y forma, asegurando la eficiencia en el uso de recursos.
- **Comunicación y gestión:** A través de reuniones semanales, grupos de comunicación y reportes periódicos, mantuvimos una coordinación efectiva con todas las áreas involucradas. Esta estrategia de comunicación aseguró una toma de decisiones oportuna y una gestión ágil del proyecto, facilitando la resolución de desafíos y la adaptación a cambios.

La integración y aplicación de estas técnicas avanzadas y metodologías específicas fueron clave para el éxito del proyecto, permitiendo no solo cumplir con los objetivos establecidos sino también maximizar la eficiencia y calidad del trabajo realizado.

4.2.3. Instrumentos

Para garantizar la precisión, calidad y conformidad con los estándares establecidos en cada fase del proyecto, desde la ingeniería básica y de detalle hasta la construcción y las pruebas finales, se emplearon diversos instrumentos de medición y verificación de alta precisión. La utilización de estos instrumentos fue fundamental para asegurar la exactitud en las mediciones y el control de calidad durante todo el proyecto. Los principales instrumentos utilizados incluyeron:

- **Medidores láser de distancia:** Esenciales para la verificación rápida y precisa de dimensiones en espacios grandes y para el control topográfico, facilitando el ajuste exacto de las estructuras y componentes.
- **Equipos de trazado para medición de ovalidades:** Utilizados específicamente para evaluar las deformaciones en los cilindros del horno, permitiendo identificar áreas que requieren ajuste o modificación.

- **Máquinas de soldar con registrador de parámetros eléctricos:** Estos equipos, calibrados con vigencia actual, aseguraron que los parámetros de soldadura se mantuvieran dentro de los límites óptimos, garantizando la calidad de las uniones soldadas.
- **Termómetros infrarrojos:** Para el monitoreo de las temperaturas de precalentamiento de las piezas a soldar, asegurando que se alcanzaran las condiciones ideales para una soldadura efectiva.
- **Cuerdas de piano para control de alineamiento:** Instrumento simple pero efectivo para verificar el alineamiento lineal de las juntas soldadas, asegurando una correcta unión y continuidad entre secciones.
- **Manómetros, vacuómetros y medidores de caudal con sensor Pitot:** Estos instrumentos fueron indispensables para realizar pruebas de presión y estanqueidad, verificando la integridad de las estructuras montadas.
- **Luxómetros, sonómetros y medidores de gases:** Para asegurar que las condiciones de trabajo cumplieran con los estándares de seguridad y salud ocupacional, controlando la iluminación, el ruido y la concentración de gases nocivos.
- **Equipos de ultrasonido y tintes penetrantes:** Claves para la detección de discontinuidades internas y superficiales en las soldaduras, permitiendo una evaluación detallada de la calidad y seguridad de las uniones.

Además de estos instrumentos físicos, se empleó software especializado como SolidWorks, ANSYS, AutoCAD y MS Project para el diseño, análisis estructural y planificación del proyecto. La combinación de instrumentos de medición de última generación con herramientas de software avanzadas permitió realizar mediciones precisas, facilitar el control de calidad y asegurar la ejecución exitosa del proyecto dentro de las tolerancias y estándares definidos.

4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades

La selección y uso de equipos y materiales específicos fueron cruciales para el éxito del proyecto, impactando directamente en la eficiencia de las operaciones y en el cumplimiento

de los objetivos de calidad. A continuación, se detallan los principales equipos y materiales empleados:

Equipos

- **Camión grúa de 16 t:** Utilizado para maniobras de carga y descarga de materiales y equipos en el sitio.
- **Grúa telescópica de 250 t:** Esencial para el izaje de las virolas y otros componentes de gran tamaño.
- **Equipo de corte semiautomático:** Para cortes precisos y eficientes en la preparación de las virolas antes de su montaje.
- **Equipos de soldar SAW de 1000 A con carro de desplazamiento:** Clave para procesos de soldadura por arco sumergido, permitiendo una soldadura continua y de alta calidad.
- **Equipos de soldar SMAW y FCAW:** Versátiles para diferentes necesidades de soldadura, especialmente en zonas de difícil acceso o para retoques finales.
- **Equipos de oxicorte:** Para cortes tradicionales donde se requiere flexibilidad y adaptabilidad.
- **Escáner láser 3D:** Para el levantamiento preciso de geometrías, crucial en la fase de planificación y ajuste de componentes.
- **Equipo de ultrasonido y tintes penetrantes:** Para inspecciones no destructivas, asegurando la integridad de las soldaduras y componentes.

Materiales

- **Virolas de acero al carbono SA-387 grado 11:** Seleccionadas por sus propiedades mecánicas y resistencia a altas temperaturas.
- **Electrodos celulósicos AWS E7018 y básicos E6011:** Para soldaduras SMAW, ofreciendo penetración profunda y fuerte adherencia.
- **Alambre tubular para arco sumergido AWS A5.17 EG-GC-S1:** Elegido por su eficacia en soldaduras de alta calidad y por su compatibilidad con las virolas.
- **Flux para soldadura API 5L cálculo X80:** Asegurando una protección óptima durante el proceso de soldadura SAW.
- **Gases de protección Argón, CO₂ y mezclas:** Para atmósferas de soldadura controladas, minimizando la oxidación y mejorando la calidad de la soldadura.
- **Cinta *masking tape*, lijas, abrasivos, solventes y desengrasantes:** Para preparación de superficies antes de la soldadura, asegurando limpieza y óptima adhesión.

Plantas de Apoyo

- **Generación eléctrica de 550 kVA:** Proporcionando la energía necesaria para todos los equipos y herramientas en el sitio.
- **Compresores de 2500 PCM de caudal:** Esenciales para operaciones de limpieza y preparación de superficies.
- **Mezcladora de gases con Manifold:** Para argón, CO₂, nitrógeno y oxígeno, facilitando la correcta mezcla de gases para diferentes procesos de soldadura.

El uso de estos equipos y materiales no solo maximizó la productividad, sino que también garantizó el alcanzar y mantener los altos estándares de calidad requeridos para la exitosa realización de este proyecto desafiante.

4.3. Ejecución de las actividades profesionales

Siguiente página

4.3.1. Cronograma de actividades

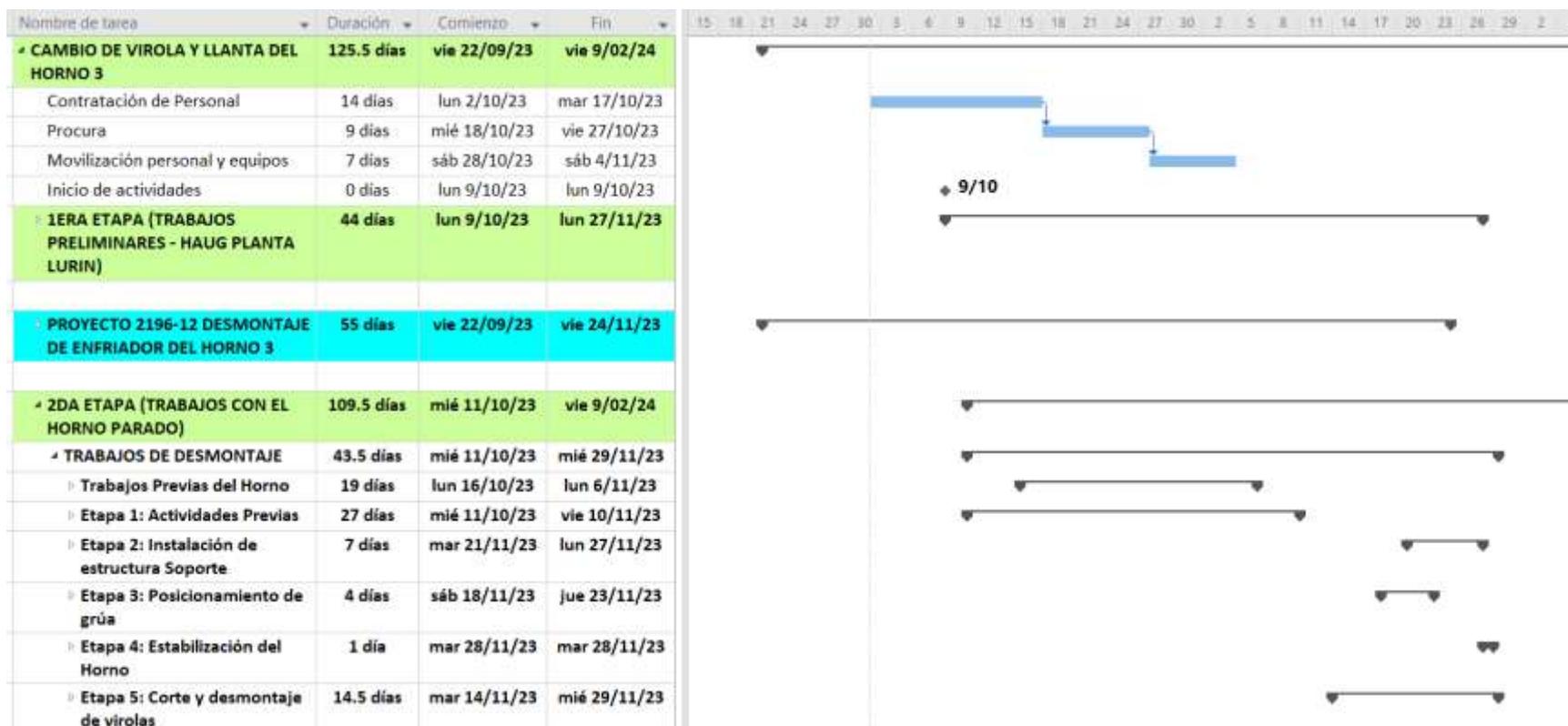


Figura 5. Cronograma de actividades

4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales

Evaluación de virolas

La virola 7 presenta deformación, tiene una longitud de 2500 mm y un espesor de 40 mm.

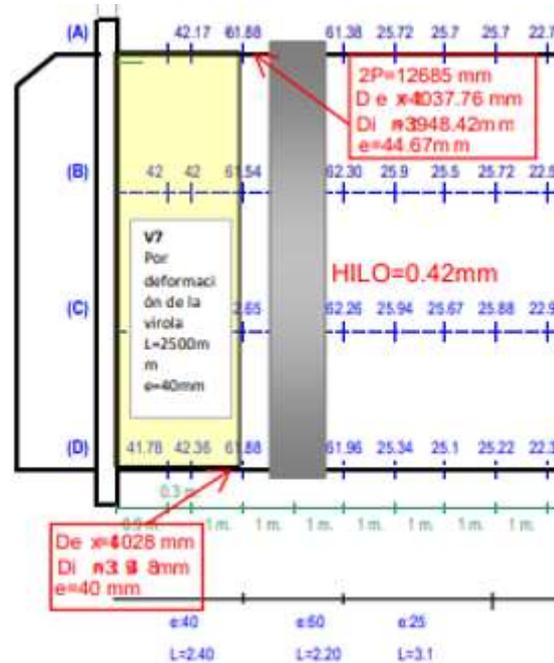


Figura 6. Evaluación de virola 7

Virola 8, presenta deformación, tiene una longitud de 3600 mm y un espesor de 25 mm, también se puede observar que presenta un Hilo de 9.8mm, cuando lo máximo permitido es de 2 mm.

Virola 6, presenta desgaste de la llanta, tiene una longitud de 2000 mm y un espesor de 60 mm.

Virola 5, presenta 20 % de desgaste, cuando lo máximo permitido es de 10 %, además presenta un hilo de 4 mm.

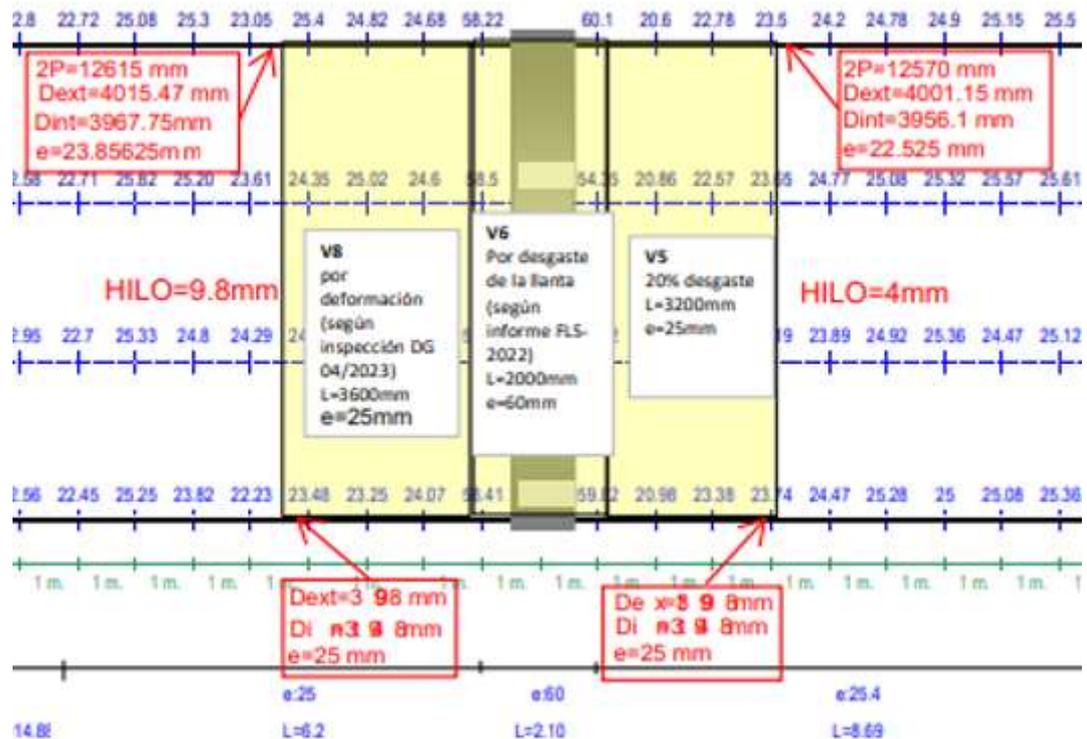


Figura 7. Evaluación de virolas 5, 6 y 8

Virola 4, desgaste en el anillo de la llanta, longitud 2000 mm y un espesor de 60 mm, además presenta un Hilo de 4mm.

Virola 3, presenta 19 % de desgaste, tiene una longitud 3900 mm y un espesor de 22 mm

Virola 2, presenta 29 % de desgaste, tiene una longitud 2800 mm y un espesor de 20 mm.

Virola 1, presenta 18 % de desgaste, tiene una longitud de 2800 mm y un espesor de 20 mm.

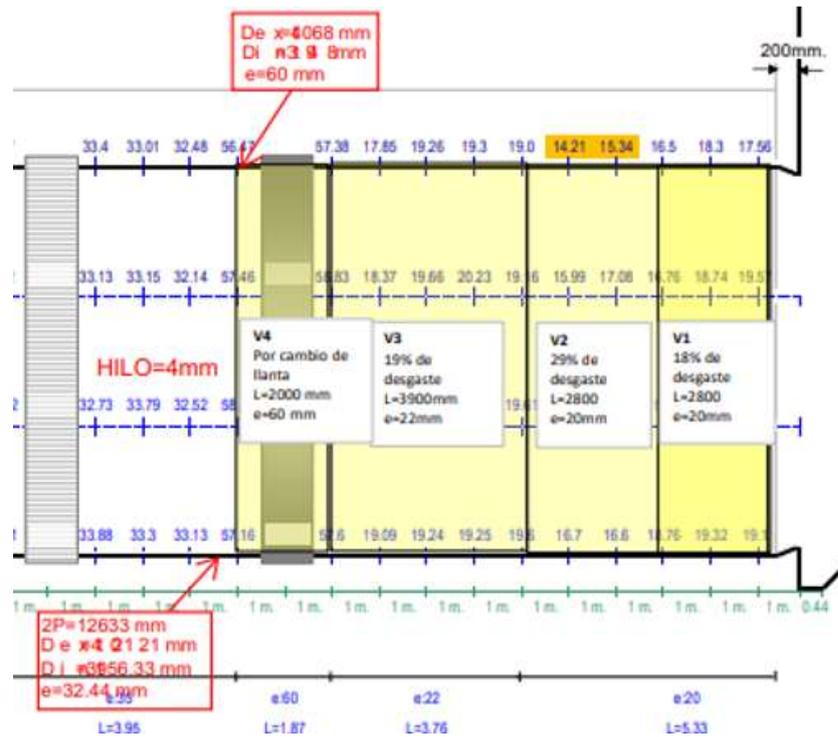


Figura 8. Evaluación de virolas 4, 3, 2 y 1

Desmontaje de virolas existentes

Preparación y posicionamiento de equipos

Para iniciar el proceso de desmontaje de virolas en el horno 3, se llevó a cabo la instalación de una grúa telescópica de 250 toneladas, estratégicamente ubicada entre el Horno 2 y el horno 3, específicamente en las estaciones 01 y 02. Este posicionamiento permite realizar maniobras de izaje controlado, siguiendo estrictamente los procedimientos y el plan de *Rigging*, en coordinación con el cliente y otras contratistas involucradas para asegurar la prevención de incidentes.

Imagen recomendada: Ubicación de la grúa y esquema de posicionamiento entre los hornos (3).

Actividades previas y desmontaje

Antes del desmontaje, se utilizó un camión grúa de 16 toneladas para retirar elementos que pudieran interferir con el proceso, incluyendo ventiladores axiales, plataformas de inspección, y otros componentes específicos del horno 3. El retiro de materiales desmontados se efectuó con el apoyo de un camión de plataforma de 22 toneladas, acompañado de una camioneta y personal de seguridad durante su traslado.



Figura 9. Proceso de desmontaje de elementos con camión grúa (3)

Instalación de estructuras de soporte

Se procedió a la instalación de estructuras de soporte temporales, compuestas por dos columnas principales (reticulado) a cada lado de la estación 2, soportes secundarios, y calzas o media lunas (10 en total) para soportar adecuadamente las virolas. Dos vigas carrileras longitudinales facilitaron el montaje de las virolas, utilizando tortugas de carga para el correcto posicionamiento.



Figura 10. Instalación de estructuras de soporte

4.4. Análisis de soportes y verificación de condiciones mecánicas

Se realizó un análisis detallado de los soportes donde se instalaron las calzas para efectuar el cambio de virolas, este análisis estructural fue fundamental para garantizar que los casillos proporcionaran un soporte seguro y adecuado para las virolas que no serían desmontadas durante el proceso.

El análisis estructural de los soportes se llevó a cabo utilizando SolidWorks, lo que permitió modelar y evaluar las condiciones de carga para asegurar la estabilidad del conjunto durante el proceso de cambio de virolas, este análisis validó la resistencia de los soportes bajo las cargas aplicadas y garantizó que las calzas ofrecieran el soporte necesario para mantener la integridad estructural durante la operación.

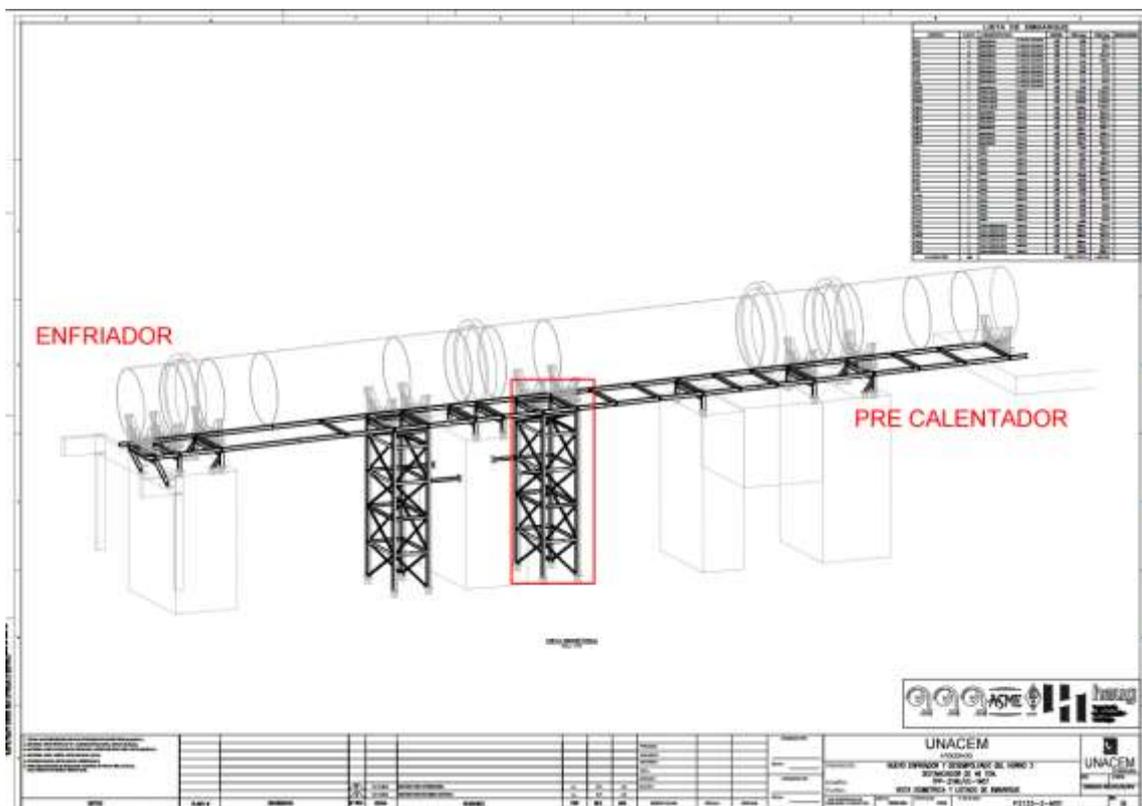


Figura 11. Estructura de soporte de horno

Como parte del análisis estructural, se modelaron los soportes del horno en SolidWorks para evaluar su resistencia ante las cargas generadas durante el proceso de cambio de virolas. Las simulaciones permitieron verificar la distribución de esfuerzos y las posibles deformaciones, garantizando que las calzas proporcionaran el soporte adecuado para las virolas que no serían desmontadas.

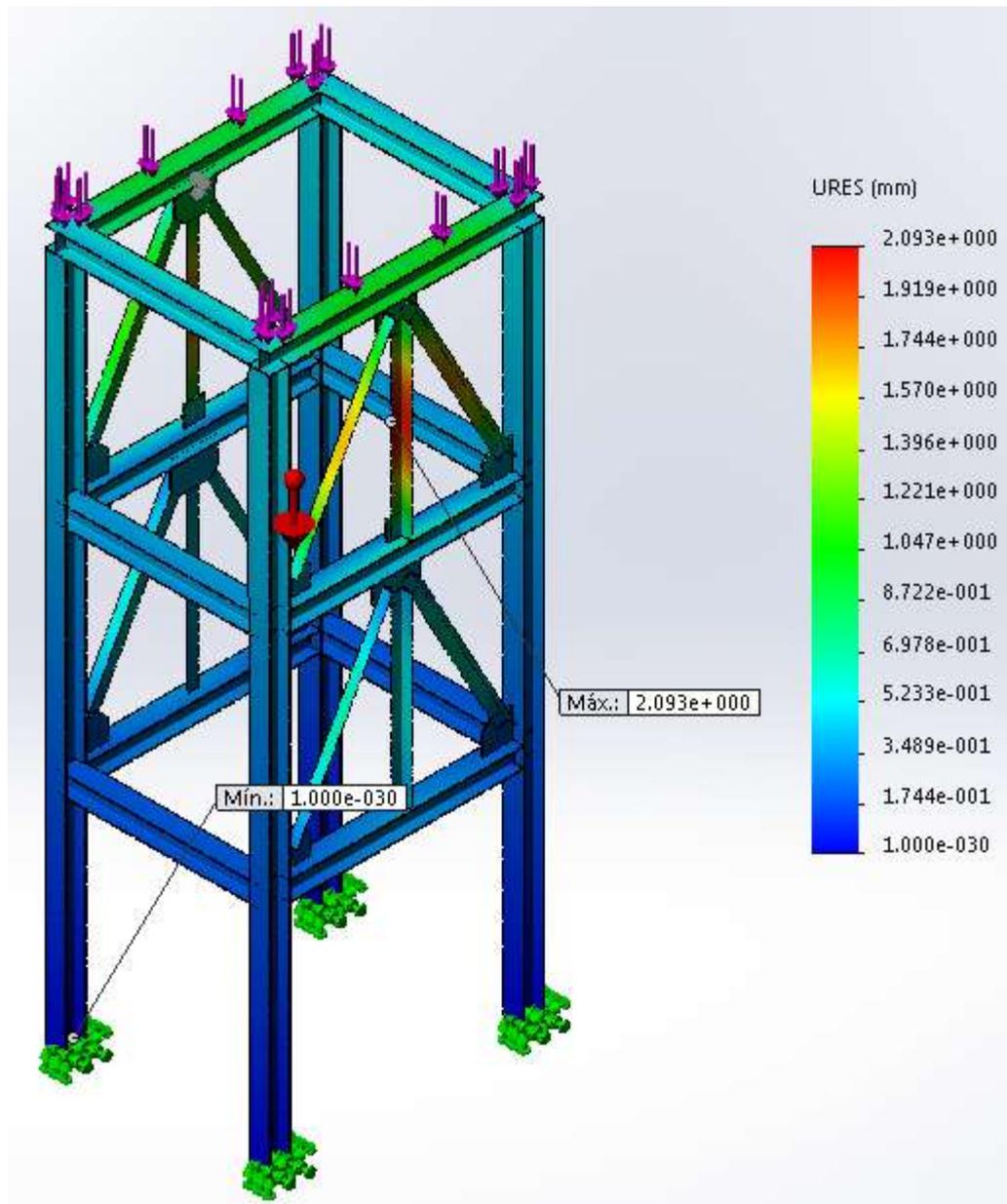


Figura 12. Análisis estructural

Análisis estructural

- **Carga aplicada total**

El análisis estructural consideró una carga aplicada total de 40 000 kg, que corresponde al peso generado por las virolas y otros elementos estructurales durante el proceso de cambio y operación del horno.

- **Material de los soportes**

Los soportes fueron fabricados utilizando perfiles W8X28 de acero estructural ASTM A36, según el listado de embarque del plano P2133-2-M01 - Rev BP2133-2-M01 - Rev B.

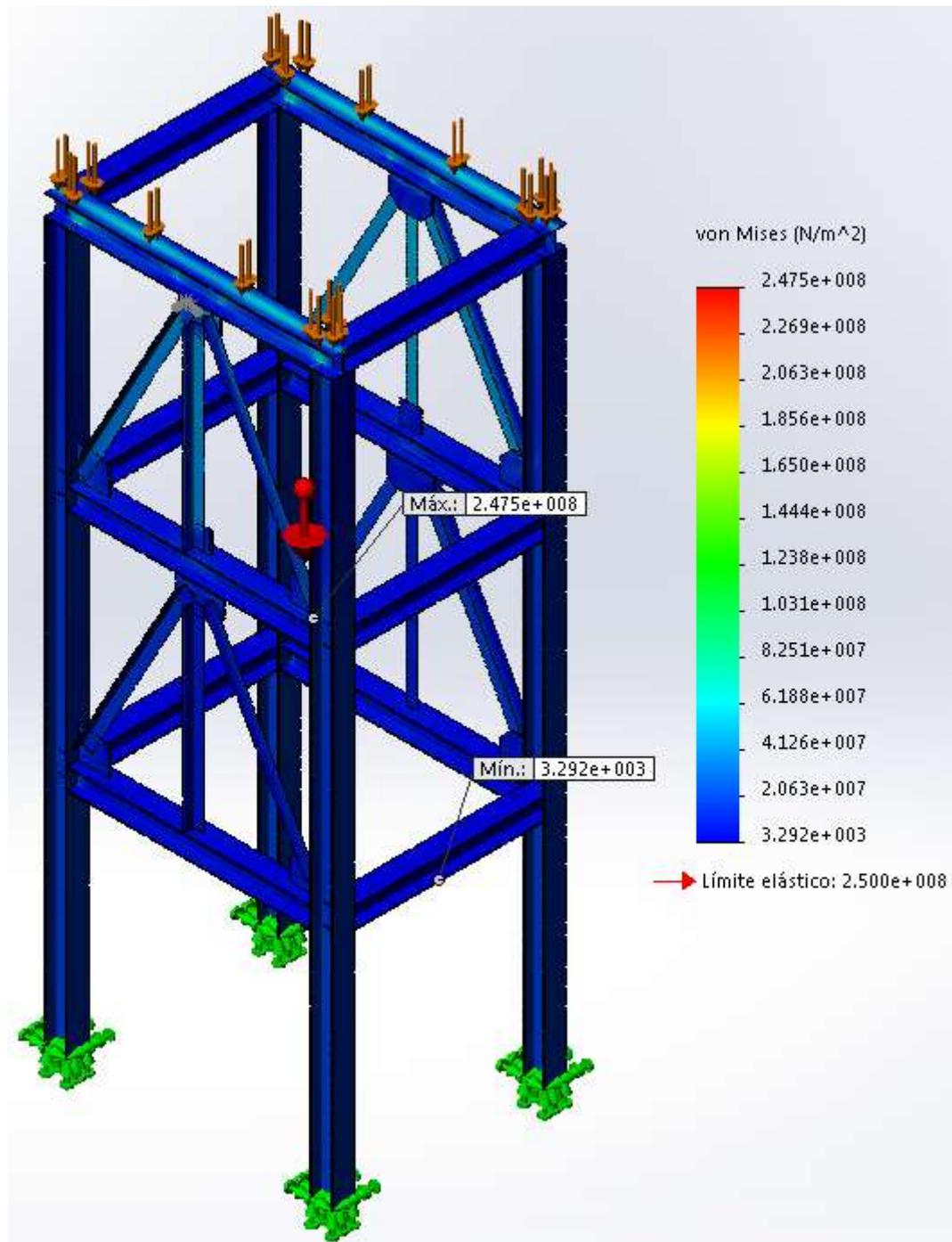


Figura 13. Análisis de Von Mises

Resultados de la simulación

- Tensión de Von Mises (σ)

El análisis estructural evaluó la **tensión de Von Mises**, que es un criterio utilizado para determinar si un material está en riesgo de fallo bajo cargas complejas.

La simulación arrojó valores de tensión dentro de los límites permisibles para el material ASTM A36, lo que indica que los soportes pueden soportar las cargas aplicadas sin riesgo de deformación plástica o fallo.

- **Desplazamiento de la estructura (μ)**

Se evaluó el desplazamiento máximo de la estructura para verificar que las calzas y soportes mantuvieran la alineación adecuada del horno.

Los resultados mostraron desplazamientos mínimos que no afectan la estabilidad estructural ni la alineación del horno, asegurando que las cargas se distribuyan de manera uniforme en toda la estructura.

Materiales utilizados en la estructura

Según el Plano P2133-2-M01 - Rev B, los principales materiales utilizados para los soportes fueron:

- Perfiles W: ASTM A36 para vigas y soportes principales.
- Planchas de Conexión: Acero estructural ASTM A36.
- Tubos de Refuerzo: ASTM A53 Gr.B para asegurar estabilidad adicional en los soportes.
- Pernos: Calidad ASTM A325, utilizados para conexiones estructurales con soldaduras mínimas de 6 mm según AWS E70XX/E60XX.

Validación

- **Validación de la capacidad estructural**

El análisis estructural validó que los soportes pueden resistir la carga aplicada de 40 000 kg sin superar los límites de tensión admisibles para el material ASTM A36.

- **Verificación del desplazamiento**

El desplazamiento máximo de la estructura está dentro de los valores aceptables, lo que garantiza que no habrá problemas de alineación ni riesgo de colapso durante el proceso de cambio de virolas.

El análisis y la verificación de condiciones mecánicas de los soportes se realizaron siguiendo los lineamientos establecidos en la ASME B31.3 y AWS D1.1/D1.1M:2020, garantizando la estabilidad estructural y el cumplimiento de los estándares aplicables.

También se consideraron las especificaciones del Manual del Fabricante KHD para asegurar la correcta distribución de las cargas y evitar daños en los componentes estructurales

Medidas de seguridad y control

Antes de proceder al corte de las virolas, se verificó la activación del freno anti retorno en el reductor de accionamiento para prevenir el movimiento del horno. Además, se desmontaron los polines de retención para facilitar la instalación de las estructuras de soporte, los cuales se reinstalarán tras finalizar el mantenimiento y las verificaciones necesarias (3).

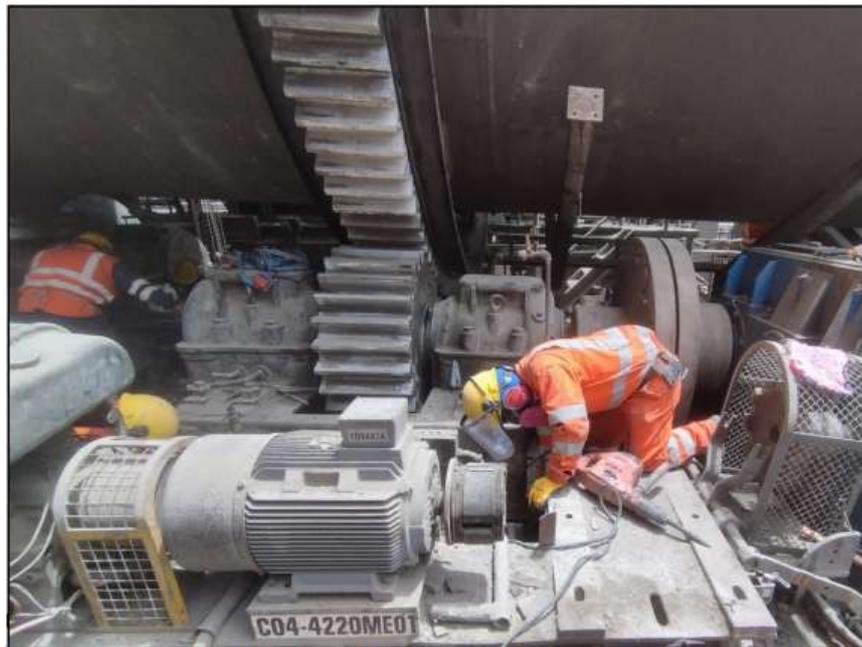


Figura 14. Verificación del freno antirretorno

Planificación y marcado inicial

Antes de comenzar con el desmontaje de virolas, se realizarán trazos y marcas precisas en la periferia del casco del horno, basándose en un gráfico detallado. Este paso es crucial para identificar las áreas de corte, con un total de cinco cortes planificados para la extracción e instalación de nuevas secciones de virola (números 1 a 8). La planificación considera la complejidad de las maniobras y las interferencias en la zona de trabajo, que afectan el movimiento y la manipulación de cargas pesadas (3).

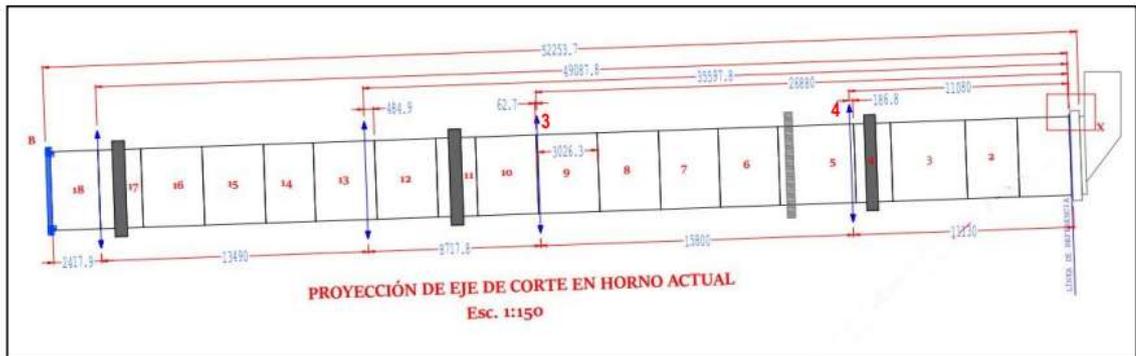


Figura 15. Gráfico de trazos y marcas en la periferia del casco del horno

Cortes específicos

Se especifican los cortes entre virolas nuevas y existentes, con un enfoque en minimizar las interferencias y asegurar la precisión en la instalación:

- Corte 4: entre virola 4 (nueva) y virola 5 (existente)
- Corte 3: entre virola 5 (nueva) y virola 9 (existente)
- Corte 2: entre virola 8 (nueva) y virola 13 (existente)
- Corte 1: entre virola 7 (nueva) y virola 17 (existente)

La ejecución de los cortes requiere la autorización escrita por parte de la supervisión y el cumplimiento de los protocolos de calidad.

Arrostramiento y alineación de virolas

Antes de proceder al corte, se realizará el arrostramiento de las virolas para asegurar su estabilidad y alineación. Este paso es vital para mantener la redondez de las virolas dentro de parámetros aceptables, facilitando una unión adecuada con las nuevas secciones.

Proceso de corte semiautomático

Utilizando un equipo semiautomático Gullco, el corte se realizará siguiendo un orden específico, iniciando en la parte interior del horno y moviéndose hacia la parte exterior. Este proceso se detalla en los siguientes pasos, con especial atención en la instalación de rieles en las medias lunas superior e inferior para guiar el corte:

- Instalación del riel en la media luna inferior, seguido del corte inicial.
- Instalación del riel en la parte exterior para continuar el corte en una trayectoria específica.
- Utilización de una grúa de 250 toneladas para sujetar las virolas cortadas con eslingas, preparándolas para su descenso y retiro.



Figura 16. Esquema del proceso de corte con la máquina Gullco, incluyendo la posición de los rieles y la grúa

Retiro de virolas

Después de los cortes y asegurando un calzado adecuado de los tramos a reemplazar, se procederá al retiro secuencial de las virolas, siguiendo una secuencia específica que minimiza las interrupciones en el proceso.

Consideraciones finales

Los cortes se planificarán para evitar la zona de fatiga térmica cercana a las juntas soldadas existentes, garantizando una superficie óptima para las nuevas soldaduras.

Preparación para el desmontaje

Después de completar los cortes necesarios y asegurar el sistema de izaje, el primer paso consiste en desplazar los tramos de las virolas V1, V2 y V3 aproximadamente 100 mm hacia el *Kiln Riser* (entrada del horno). Este movimiento es crucial para liberar cualquier presión ejercida por la virola V4 sobre los tramos adyacentes, facilitando así su extracción durante el proceso de izaje. La precisión en este paso es fundamental para evitar daños o desalineaciones en la estructura del horno (4).

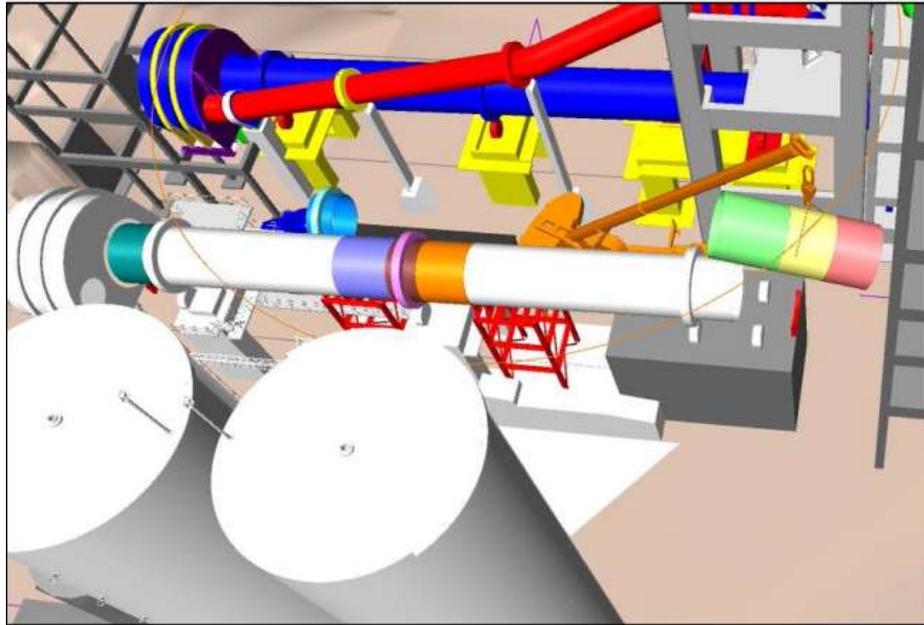


Figura 17. Esquema del desplazamiento de las virolas V1, V2 y V3 para liberar presión

Instalación de puntos de izaje y accesorios

A continuación, se instalan los puntos de izaje en las virolas a desmontar. Este proceso implica la colocación cuidadosa de estrobos, junto con otros accesorios y herramientas de izaje necesarios para la operación. La correcta instalación de estos elementos es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del desmontaje.

Desmontaje de tramos específicos

- Tramo de virolas 1-2-3: Este tramo se desmonta primero, siguiendo el procedimiento establecido y utilizando el equipo de izaje preparado.
- Tramo de virolas 5-6-8: Posteriormente, se procede con el desmontaje del tramo compuesto por las virolas 5, 6 y 8, aplicando la misma meticulosidad y técnica.
- Tramo de virola 7: Finalmente, se desmonta la virola 7, completando así la extracción de las secciones planificadas.

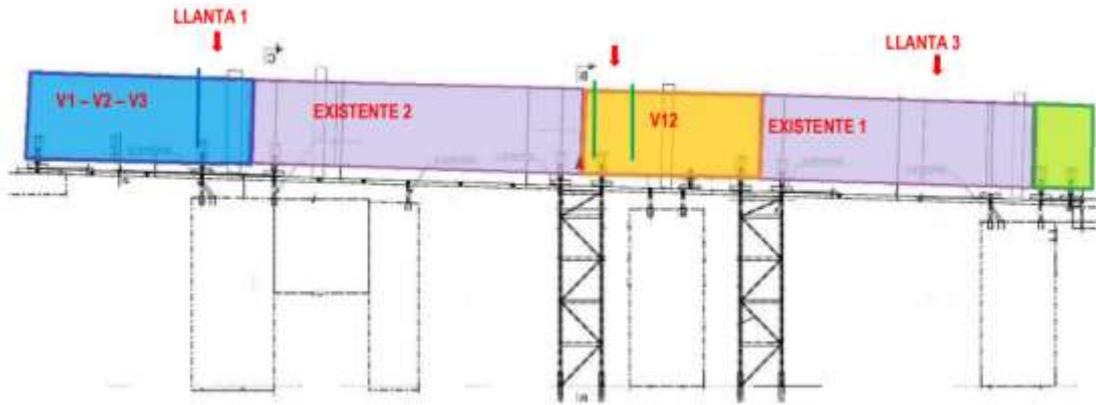


Figura 18. Desmontaje de virolas

Estado final del horno 3

Al concluir el montaje, el horno 3 cuenta con dos tramos de virolas permanentes (existentes 1 y 2), restaurando así su funcionalidad y asegurando su operatividad a largo plazo. Este estado final refleja el éxito del proceso de desmontaje y montaje, demostrando la eficacia de las técnicas empleadas y el cuidado en la ejecución.

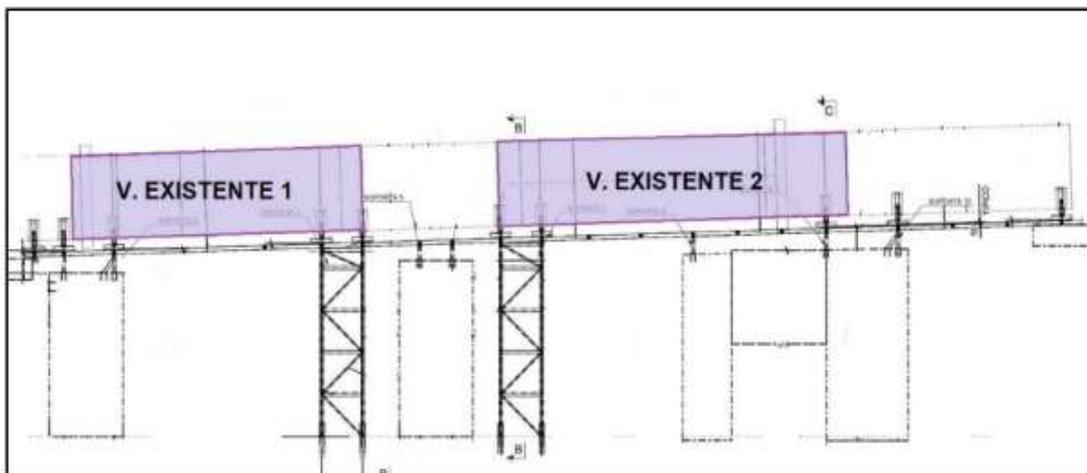


Figura 19. Vista del horno 3 después del montaje, destacando virolas permanentes

Montaje de la virola V4

El proceso de montaje inicia con la virola V4, que se instalará utilizando técnicas de izaje para colocarla en su posición correcta. A diferencia de las virolas V5-V6-V8, la V4 se montará inicialmente sin su llanta, asegurándose de que quede correctamente alineada con la virola existente 2. Para lograr una alineación precisa, se utilizarán *brackets* y alineadores específicos para este propósito. Posteriormente, se procederá a montar la llanta en el lado del Precalentador, elevándola a la altura de la estación 1 con la ayuda de tortugas de carga y la asistencia de una grúa. La fijación de la llanta 1 a la virola 4 se realizará mediante lainas y topes laterales, que serán soldados siguiendo las especificaciones del plano 413-16-699TB (4).

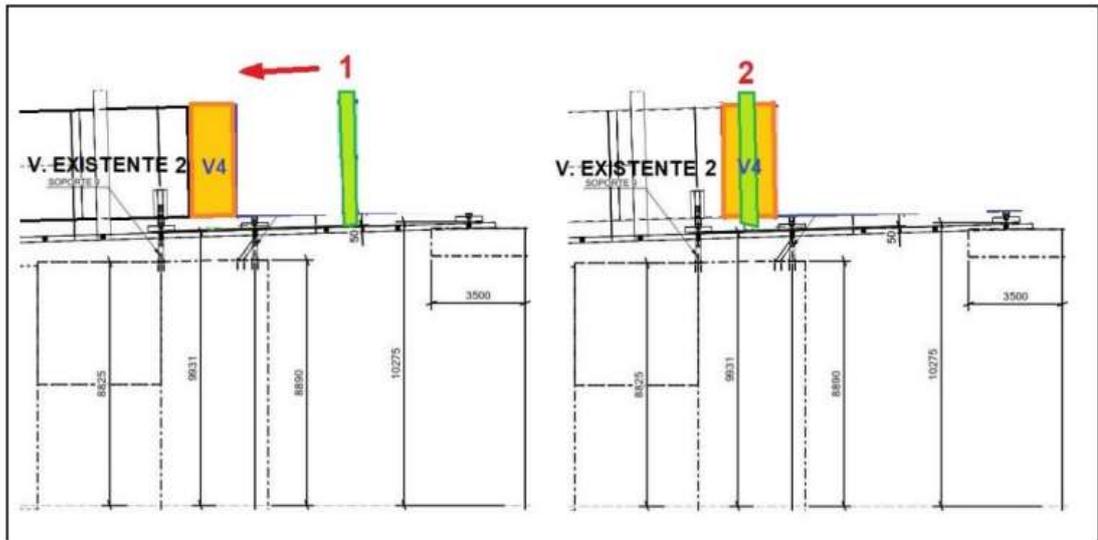


Figura 20. Montaje de virola 4

Montaje de las virolas V1-V2-V3

Concluido el montaje de la virola V4, el siguiente paso es el montaje del conjunto soldado de las virolas V1-V2-V3. Este conjunto se posicionará entre la virola 4 y la cámara de enlace (*Kiln Riser*) del precalentador, asegurándose sobre los soportes secundarios. Es importante mencionar que esta sección se montará incluyendo una brida de acero inoxidable para garantizar una unión segura y duradera (4).

Imagen recomendada: Instalación del conjunto de virolas V1-V2-V3, destacando la utilización de la brida de inoxidable.



Figura 21. Montaje de virola 1, 2 y 3

Gramilado total del horno 3

Una vez que todas las virolas estén montadas y aseguradas en su lugar con los alineadores y *brackets* correspondientes, se procederá al gramilado total del horno 3. Este paso es esencial para verificar la alineación y nivelación de todo el horno antes de iniciar la soldadura. El gramilado se realizará marcando un diagrama polar en el horno, en cada uno de los doce puntos marcados en azul según el gráfico adjunto. Este proceso asegura que todas las partes del horno estén correctamente alineadas y listas para la soldadura final.

En cada una de las virolas se realiza el procedimiento de gramilado donde se evalúa el diámetro de la virola en diferentes puntos, el procedimiento indica realizar mediciones en 12 diferentes puntos dentro de la virola, así determinar el diámetro correcto de la virola, el diámetro debe ser el correcto para un correcto trabajo del horno, en la siguiente figura se puede ver los 12 puntos evaluados, donde se evaluó el diámetro en cada punto y el espesor del material antes de realizar el proceso de soldadura.

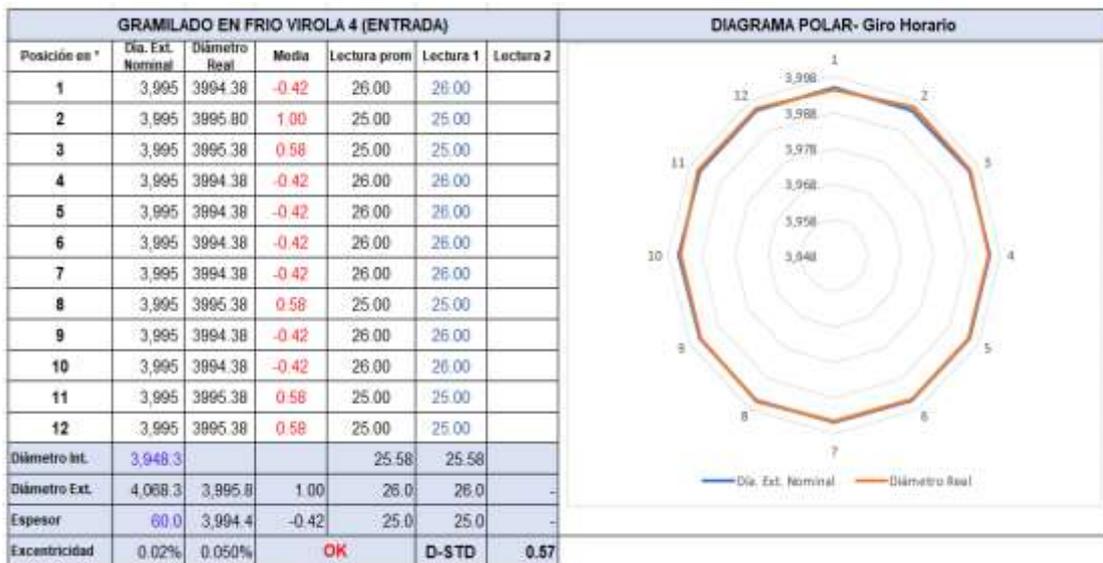


Figura 22. Gramilado virola 4

El gramilado se evalúa en los 12 diferentes puntos de cada una de las virolas, para proceder con la unión por medio del procedimiento de soldadura, como en la figura 22 se realiza el proceso de gramilado antes de la soldadura, después del proceso de soldadura también se realizó este proceso, se adjunta imagen del proceso y los puntos de soldadura.

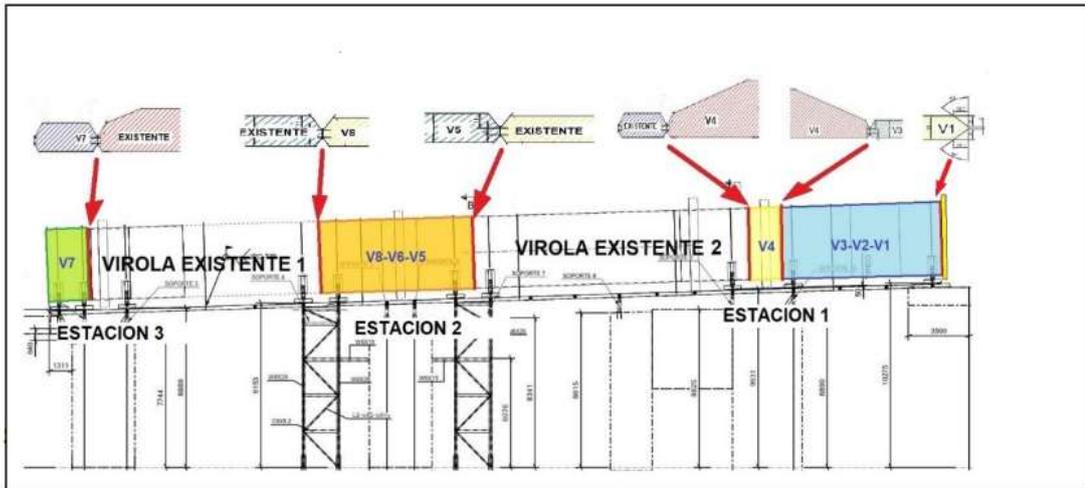


Figura 23. Diagrama polar y puntos de gramilado en el horno, juntas de soldadura

Soldadura de juntas con proceso de arco sumergido (SAW)

La soldadura de las juntas de las virolas se llevará a cabo siguiendo el procedimiento de Arco Sumergido, utilizando el WPS calificado WPS-998 Rev.0. Este proceso comenzará por las juntas de las virolas situadas en las estaciones 1 y 2, siguiendo la secuencia indicada en el esquema proporcionado (1, 2, 3, 4 y 5) (5).

Preparativos para la soldadura

Antes de iniciar la soldadura, se montarán andamios a la altura de cada junta. Estos andamios servirán de soporte para el equipo de soldadura de arco sumergido. La zona de soldadura será encapsulada con andamios y lonas ignífugas para proteger el área de corrientes de aire, lluvia, y otros elementos externos. Este ambiente controlado es crucial para mantener las condiciones óptimas durante el proceso de soldadura (5).

Ejecución y calificación de la soldadura

Operadores calificados realizarán la soldadura, siguiendo las variables específicas del WPS, como el control de la temperatura de precalentamiento y el metal de aporte. Una vez completada la soldadura exterior de todas las juntas, se procederá a retirar los alineadores y arriostres internos, asegurándose de no afectar el material base del horno. Los defectos y discontinuidades resultantes se repararán utilizando un WPS calificado con el proceso SMAW (6).



Figura 24. Proceso de soldadura

Interior del horno y preparación para soldadura secundaria

Dentro del horno, se utilizará el proceso ARC-AIR para el biselado del canal, preparando la zona para la soldadura secundaria. Se eliminará cualquier residuo de carbono mediante mecanizado manual antes de iniciar la soldadura interior con el proceso de arco sumergido. Toda la limpieza y preparación de la junta soldada se verificará mediante ensayos por tintes penetrantes (END - PT) e inspección visual al 100 % (7).



Figura 25. Limpieza y evaluación por tintes penetrantes

Inspección y criterios de aceptación

Después de la soldadura, se realizará una limpieza meticulosa de la junta, seguida de una inspección visual al 100 %. La junta soldada también se inspeccionará mediante ultrasonido al 100 % para asegurar su integridad, conforme a los criterios de aceptación del código AWS D1.1 2020.

Gramilado general del horno

Finalizada la soldadura, se llevará a cabo un gramilado general del casco del horno, verificando y corrigiendo la linealidad y posibles desviaciones radiales de acuerdo con el mapa polar de las secciones evaluadas. Este paso es fundamental para asegurar la correcta alineación y funcionamiento del horno tras la soldadura de las virolas.

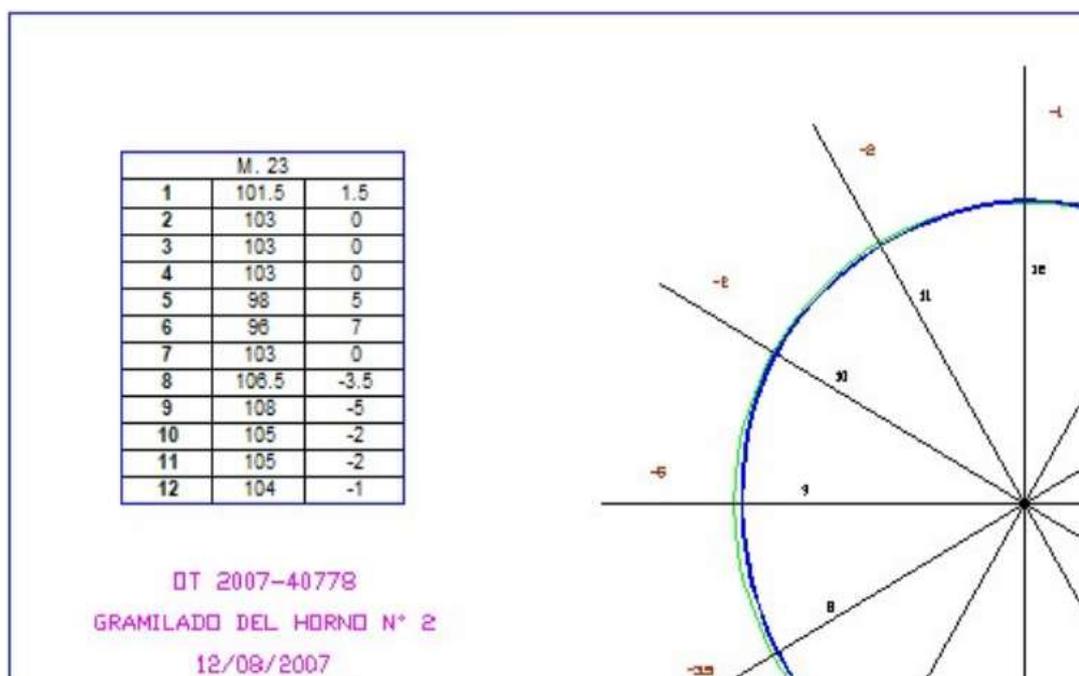


Figura 26. Mapa polar y proceso de gramilado general del horno, destacando la corrección de la linealidad y desviaciones radiales

De esta manera se logró restaurar adecuadamente la integridad estructural del horno para aplicaciones de grandes cargas térmicas y mecánicas, con excelentes resultados en las pruebas e inspecciones. Así mismo se implementaron estrictos controles de calidad y procedimientos seguros de trabajo en todas las etapas.

Después del proceso de soldadura en las diferentes virolas, se evalúa las diferentes juntas como en la imagen de la figura 23 se puede evidenciar, se realiza el proceso de gramilado de la evaluación de las juntas en los 12 puntos respectivos.



Figura 27. Juntas para proceso de soldadura

En el proceso de gramilado se realiza para cada junta, en cada junta se evalúa en los 12 puntos respectivos, para que sean aceptadas las mediciones deben de tener a 3 mm, si no van a ser rechazadas, se adjunta la siguiente imagen de la primera evaluación de gramilado de las juntas.

JUNTAS	VIROLAS	PUNTOS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	V1E (entrada)	1.38	-1.13	0.38	0.38	-2.13	-5.63	-7.13	-1.63	2.88	4.38	3.88	4.38
	V3S (salida)	-1.33	1.67	0.67	-1.33	-2.33	-1.33	1.67	1.67	0.67	-1.33	1.67	-0.33
	V4E (entrada)	-0.17	1.83	0.83	-1.17	-1.17	-0.17	0.83	0.83	0.83	-0.17	1.83	-4.17
6	V4S (salida)	-0.33	0.67	0.67	-1.33	-1.33	0.67	0.67	-0.33	-1.33	0.67	1.67	-0.33
	VE1E (entrada)	1.92	0.92	0.92	-0.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-0.08	0.92	0.92	-1.08
9	VE1S (salida)	6.25	4.25	-0.25	-0.75	-3.75	-4.75	-4.75	-7.75	0.25	4.25	0.25	7.25
	V5E (entrada)	6.33	4.33	-1.67	-0.67	-3.67	-4.67	-4.67	-5.67	0.33	3.33	0.33	6.33
5	V8S (salida)	2.17	-1.83	-1.83	-3.83	-0.83	-0.83	0.17	1.17	0.17	-1.83	4.17	3.17
	VE2E (entrada)	1.67	-1.33	-4.33	-5.33	-1.33	-2.33	-0.33	1.67	2.67	2.67	2.67	3.67
7	VE2S (salida)	-2.88	-0.88	0.13	2.63	2.63	2.13	1.63	-2.88	-5.38	-1.88	2.13	2.63
	V7E (entrada)	-3.29	-0.79	-0.79	2.21	1.21	3.21	2.21	-1.29	-5.79	-1.79	2.21	2.71
	V7S (salida)	6.75	4.75	-0.25	-4.25	-3.25	1.75	-3.25	-1.25	-1.25	-0.25	-1.25	1.75

Figura 28. Evaluación de gramilado

En la imagen 24 se evalúa que hay deficiencia en el proceso de soldadura en las diferentes juntas y en los diferentes puntos, esto se debe corregir para posteriormente realizar otro proceso de gramilado, si vuelve a ver fallas esto se debe de corregir hasta que todo quede correctamente, se adjunta la última evaluación de gramilado realizado a las juntas.

	PUNTOS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BRIDA	1.58	0.58	0.58	-0.42	-2.42	-3.42	-1.42	-0.42	-0.42	1.58	2.58	1.58
V1E (entrada)												
V3S (salida)	-0.67	0.33	0.33	-0.67	0.33	-0.67	0.33	0.33	-0.67	0.33	0.33	0.33
V4E (entrada)	-0.42	1.00	0.58	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42	0.58	-0.42	-0.42	0.58	0.58
V4S (salida)	0.83	0.83	0.83	-0.17	-1.17	-1.17	-0.17	-0.17	-1.17	0.83	0.83	-0.17
VE1E (entrada)	1.50	0.50	1.50	0.50	-0.50	-1.50	-1.50	-0.50	-1.50	1.50	0.50	-0.50
VE1S (salida)	-0.17	0.83	-0.17	1.83	0.83	-3.17	-2.17	-2.17	0.83	-0.17	2.83	0.83
V5E (entrada)	0.17	2.17	-1.83	1.17	0.17	-1.83	-1.83	0.17	0.17	3.17	0.17	0.17
V8S (salida)	-0.33	-1.33	-3.33	-1.33	0.67	-0.33	0.67	1.67	-0.33	1.67	1.67	0.67
VE2E (entrada)	-0.67	-1.67	-2.67	-1.67	-0.67	-0.67	0.33	1.33	0.33	2.33	2.33	1.33
VE2S (salida)	-1.50	-0.50	-0.50	1.50	1.50	1.50	-0.50	-2.50	-1.50	-0.50	2.50	0.50
V7E (entrada)	-2.50	-0.50	0.50	2.50	0.50	1.50	-0.50	-2.50	-1.50	-0.50	2.50	0.50
V7S (salida)	4.75	-0.25	-1.25	-1.25	-0.25	-1.25	-0.25	-1.25	-1.25	0.75	0.75	0.75

Figura 29. Evaluación de gramilado

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Resultados finales de las actividades realizadas

Se realizó el cambio de virolas por el desgaste o deformación de estas, se realizó el cambio de las virolas de 1 al 8, con el reemplazo de estas virolas deterioradas, se garantiza la continuidad operativa del horno, teniendo como mejora el sistema estructural por los materiales nuevos también se mejora su eficiencia térmica, al realizar el montaje de las virolas se realizó el alineamiento según los estándares de mantenimiento preventivo de la industria cementera, se adjunta la siguiente tabla donde se detalla las virolas cambiadas por la presencia de desgaste por corrosión térmica y desgaste por abrasión y en algunos casos presentan deformación.

Tabla 12. Cambio de virolas

Virola	Longitud (mm)	Espesor (mm)	Motivo	Causa
V1	2800	20	Desgaste del 18 %	Pérdida de espesor, afecta la integridad estructural
V2	2800	20	Desgaste del 29 %	Pérdida de espesor, riesgo de fallas mecánicas
V3	3900	22	Desgaste del 19 %	Pérdida de espesor, posible fallo estructural
V4	2000	60	Cambio de llanta	Mantenimiento preventivo en conjunto con cambio de llanta
V5	3200	25	Desgaste del 20 %	Pérdida de espesor, riesgo de rotura
V6	2000	60	Desgaste de la llanta	Fricción excesiva y desgaste de la llanta
V7	2500	40	Deformación de la virola	Distorsión en la geometría de la virola, afecta alineación
V8	3600	-	Deformación según inspección DG 04/2023	Revisión técnica indica deformación

Alineamiento

Mediante la presente se informa las mediciones tomadas en campo el día 15 de octubre del 2024 en conjunto con Huag, se realizó posterior a la instalación y alineamiento del quemador, previamente Haug S. A. instaló un láser en el eje del quemador para con ello medir el montaje con respecto a la cámara de enlace.

Aprovechando la instalación de ello se realizó las mediciones a la cara del refractario y el castable, cabe mencionar que en la virola 7 lado salida donde se ubica los segmentos no tiene uniformidad el castable que la medición es referencial y se recomienda la medición con equipo topográfico al exterior de la virola.

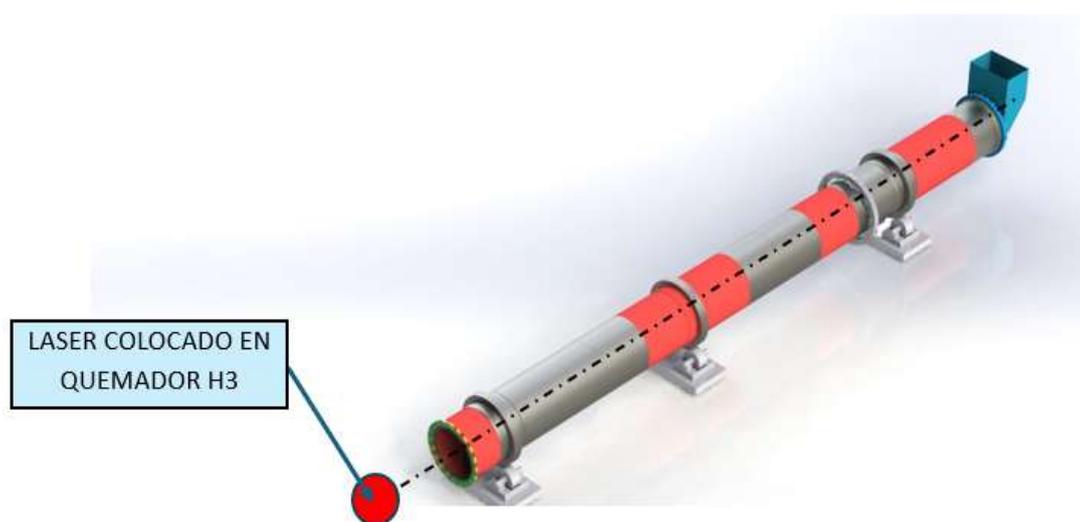


Figura 30. Medición de alineamiento del horno con un láser

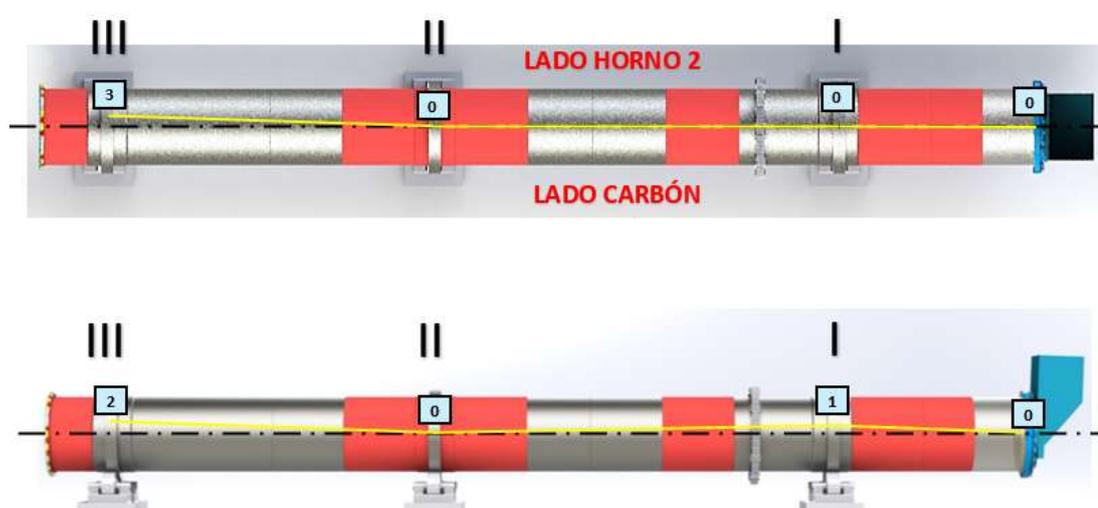


Figura 31. Alineamiento del horno con láser desde quemador hacia lado de la rampa de la cámara

Soldadura

Se realizó el proceso de soldadura de las juntas, esto se llevó a cabo siguiendo el procedimiento de soldadura por Arco sumergido, se usó el WPS calificado WPS-998 Rev. 0; para este proceso se usó mano de obra calificada, soldadores homologados para este proceso de soldadura, también se tuvo en cuenta el proceso de precalentado y el metal de aporte, primero se realizó la soldadura exterior de la virola, luego se realiza el proceso de soldado de la parte interior de la virola, se realiza verificaciones por medio de END por tintes penetrantes e inspección visual de cada una de las juntas.

Gramilado

El proceso de gramilado se realizó antes del proceso de soldadura de cada una de las juntas de las virolas, estas mediciones deben ser evaluada por compañía y validada por los mismos, para proceder a realizar el proceso de soldadura.

Después del proceso de soldadura a cada una de las juntas se realiza otra vez el proceso de gramilado a cada una de las juntas en los 12 puntos, con el fin de una evaluación correcta, si presenta fallas se corrige hasta que se presenta mínimas fallas, se adjunta la imagen del último proceso de gramilado, donde se puede observar que la mayoría está en verde que significa que es correcto y lo de color rojo necesita corregir, en este último proceso ya es aceptable el trabajo realizado.

	PUNTOS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BRIDA	1.58	0.58	0.58	-0.42	-2.42	-3.42	-1.42	-0.42	-0.42	1.58	2.58	1.58
V1E (entrada)												
V3S (salida)	-0.67	0.33	0.33	-0.67	0.33	-0.67	0.33	0.33	-0.67	0.33	0.33	0.33
V4E (entrada)	-0.42	1.00	0.58	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42	0.58	-0.42	-0.42	0.58	0.58
V4S (salida)	0.83	0.83	0.83	-0.17	-1.17	-1.17	-0.17	-0.17	-1.17	0.83	0.83	-0.17
VE1E (entrada)	1.50	0.50	1.50	0.50	-0.50	-1.50	-1.50	-0.50	-1.50	1.50	0.50	-0.50
VE1S (salida)	-0.17	0.83	-0.17	1.83	0.83	-3.17	-2.17	-2.17	0.83	-0.17	2.83	0.83
V5E (entrada)	0.17	2.17	-1.83	1.17	0.17	-1.83	-1.83	-1.83	0.17	0.17	3.17	0.17
V8S (salida)	-0.33	-1.33	-3.33	-1.33	0.67	-0.33	0.67	1.67	-0.33	1.67	1.67	0.67
VE2E (entrada)	-0.67	-1.67	-2.67	-1.67	-0.67	-0.67	0.33	1.33	0.33	2.33	2.33	1.33
VE2S (salida)	-1.50	-0.50	-0.50	1.50	1.50	1.50	-0.50	-2.50	-1.50	-0.50	2.50	0.50
V7E (entrada)	-2.50	-0.50	0.50	2.50	0.50	1.50	-0.50	-2.50	-1.50	-0.50	2.50	0.50
V7S (salida)	4.75	-0.25	-1.25	-1.25	-0.25	-1.25	-0.25	-1.25	-1.25	0.75	0.75	0.75

Figura 32. Evaluación de gramilado

5.2. Logros alcanzados

Se realizaron las evaluaciones de las virolas del horno 3, se identificaron anomalías críticas en cada una de ellas, se encontraron desgastes significativos, deformaciones estructurales y pérdida de material en varios sectores del horno, lo que ponía en riesgo su eficiencia operativa, se detalla las principales anomalías detectadas en las virolas:

- **V1:** 18 % de desgaste, afectando la resistencia estructural (longitud: 2800 mm, espesor: 20 mm).
- **V2:** 29 % de desgaste severo, comprometiendo la funcionalidad del casco (longitud: 2800 mm, espesor: 20 mm).
- **V3:** 19 % de desgaste con deformaciones visibles en la estructura (longitud: 3900 mm, espesor: 22 mm).
- **V4:** Cambio necesario debido al deterioro de la llanta, afectando la estabilidad del horno (longitud: 2000 mm, espesor: 60 mm).
- **V5:** Desgaste del 20 %, afectando la uniformidad del giro del horno (longitud: 3200 mm, espesor: 25 mm).
- **V6:** Desgaste crítico en la llanta, según inspección FLS-2022 (longitud: 2000 mm, espesor: 60 mm).
- **V7:** Deformación severa, generando desalineaciones y vibraciones (longitud: 2500 mm, espesor: 40 mm).
- **V8:** Deformación estructural significativa, validada en la inspección DG-04/2023 (longitud: 3600 mm).

Se incluyen los costos operativos del proyecto, que incluye costos por mano de obra, transportes, costos de equipos y herramientas, también se incluye de los ensayos no destructivos que se realizaron, se adjunta la siguiente tabla con los costos del proyecto de cambio de virola.

Tabla 13. Costos operativos

Ítem	Descripción	Und.	Cant.	Presupuesto	
				P. unit.	P. parcial
Trabajos de supervisión					
01.00.00	Supervisión del proyecto de cambio de virolas				S/ 226 751.25
01.01.00	Costo de personal	Glob	1.00	S/ 109 780.08	S/ 109 780.08
01.02.00	Costos administrativos	Glob	1.00	S/ 19 335.72	S/ 19 335.72
01.03.00	Equipos de protección personal (EPPS), equipos y herramientas, Consumibles	Glob	1.00	S/ 20 653.78	S/ 20 653.78
01.04.00	Inspección de Soldadura				
01.04.01	En taller Lima	día	3.00	S/ 3405.48	S/ 10 216.44
01.04.02	En Condorcocha	día	3.00	S/ 3640.30	S/ 10 920.90
01.04.03	Movilización Lima a Condorcocha	viaje	1.00	S/ 1470.00	S/ 1470.00
01.05.00	Ensayos NDT				
01.05.01	En taller Lima	día	4.00	S/ 3852.00	S/ 15 408.00
01.05.02	Viaje a Condorcocha Lima Condorcocha	viaje	1.00	S/ 3110.95	S/ 3110.95
01.05.03	Costo de mock up de 25 mm. El material lo brinda el cliente	und.	1.00	S/ 2333.21	S/ 2333.21
01.05.04	Costo de mock up de 40 mm. El material lo brinda el cliente.	und.	1.00	S/ 2692.17	S/ 2692.17
01.05.05	Trabajos en planta	día	4.00	S/ 4211.75	S/ 16 847.00
01.06.00	Topografía				
01.06.01	Topografía en planta	mes	1.00	S/ 13 983.00	S/ 13 983.00
	Costo directo				S/ 226 751.25
	Gastos generales				
	Gastos generales			14 %	S/ 31 745.18
	Utilidades				
	Utilidades			8 %	S/ 18 140.10
	Subtotal				S/ 276 636.53
	IGV			18 %	S/ 49 794.57
	Total				S/ 326 431.10

Cada proyecto para ejecutar se tiene el costo de contingencia o que se utiliza para actividades imprevistas, para que para este proyecto se estimó el 13 % del costo total que se designa para trabajos no contemplados (adicionales). Dicho esto, se puede dar la conformidad de la buena evaluación económica ya que los trabajos imprevistos no superaron el porcentaje designado.

Se cumplió con el objetivo propuesto de realizar el cambio de virolas, dentro de los parámetros que manda el fabricante y dentro de los plazos establecidos, según el cronograma de actividades que se ha desarrollado, se ha realizado los trabajos con los estándares que manda

el cliente (Unacem), el proyecto se culminó sin accidentes incapacitantes, la calidad de los trabajos fueron cubiertos con la experiencia del personal designado y supervisado por parte de la empresa Grumacon dando como finalizado los trabajos con la calidad que manda el fabricante.

5.3. Dificultades encontradas

Inicio de proyecto: El inicio del proyecto inicia en el día no programado ya que la línea del horno 3 realiza su parada de emergencia por contaminación, debido a este tema medio ambiental gerencia decide iniciar con los proyectos programados en el horno. Se realiza la coordinación para adelantar el inicio del proyecto.

Trabajos conexos: Uno de los proyectos de gran magnitud es el cambio de virolas del horno 3, pero en paralelo se realiza el proyecto de modernización de desempolvado del enfriador del horno 3.

Convenientemente se programó realizar ambos proyectos en paralelo, pero en vista de espacio y magnitud de trabajos se tuvo interferencias con los izajes críticos para que se realizaba paradas cuando se iniciaba los trabajos de izajes críticos.

5.4. Planteamiento de mejoras

Comparación de tiempos de ejecución

Se comparó la duración de cada actividad antes y después de la optimización, logrando una reducción del tiempo total del proyecto en un 25 %, se adjunta imagen con la comparación de tiempos:

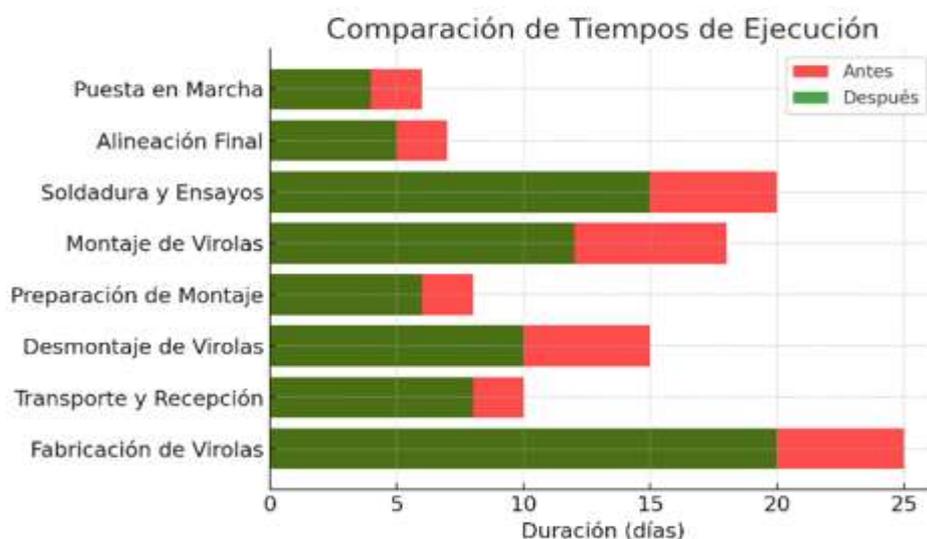


Figura 33. Comparación de tiempos de ejecución

Esto produjo una mayor productividad en menor tiempo de intervención, reducción de costos operativos asociados a tiempos de inactividad.

- La mayor reducción se logró en el montaje de virolas y soldadura, donde se aplicaron nuevas metodologías que agilizaron el proceso.
- El tiempo de preparación y desmontaje también se redujo significativamente debido a una mejor planificación y optimización del uso de recursos.
- Puesta en marcha pasó de 6 a 4 días, mejorando la rapidez en la reactivación del horno.

Comparación de costos por actividad

Se analizaron los costos de cada actividad antes y después de la optimización, logrando una reducción promedio del 15-20 %, en las diferentes actividades que se realizaron en el proyecto de cambio de virolas, se adjunta la siguiente imagen donde se realiza la comparación de los costos por actividad.

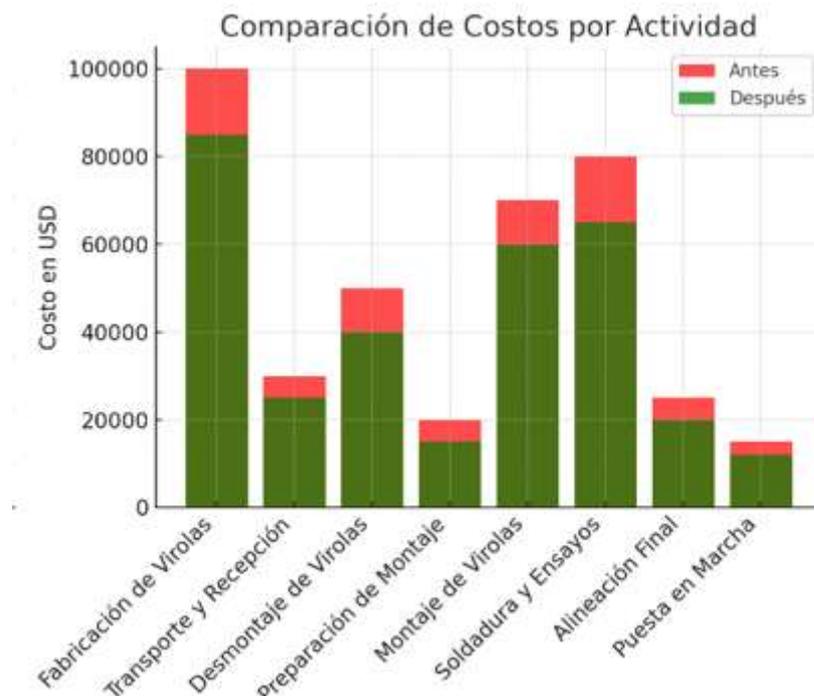


Figura 34. Comparación de costos por actividad

El impacto positivo que se tuvo es la disminución de costos del proyecto total sin afectar la calidad de trabajo, la optimización del presupuesto, permitiendo la reasignación de recursos a otras áreas críticas:

- La mayor reducción de costos se logró en montaje, soldadura y desmontaje, gracias a una mejor planificación y control de calidad que redujo reprocesos.

- Se optimizaron costos de transporte y recepción, disminuyendo tiempos de espera y mejorando la logística.
- Los costos de alineación y puesta en marcha se redujeron debido a un mejor control geométrico y técnicas avanzadas de ajuste.

Comparación de defectos en soldaduras

Se evaluó la reducción en defectos de soldadura tras la aplicación de nuevas técnicas de inspección y control de calidad, se adjunta la siguiente imagen de la comparación de defectos en soldaduras.

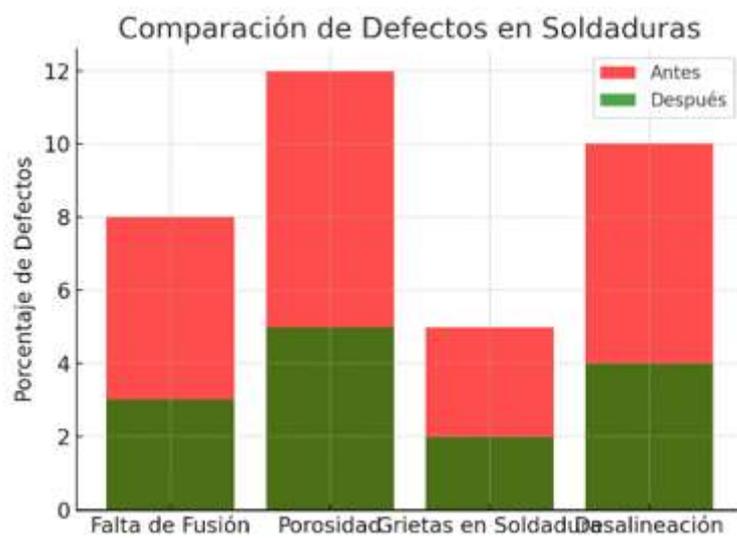


Figura 35. Comparación de defectos de soldaduras

Se verifica y asegura la calidad de las uniones soldadas, minimizando fallas prematuras, se redujo los retrabajos y costos asociados a reparaciones de soldadura.

- Se logró una reducción del 60 % en defectos de soldadura.
- Porosidad y falta de fusión fueron los defectos más impactados, debido al uso de soldadura FCAW y controles con ultrasonido.
- Se mejoró la alineación de las virolas, reduciendo fallas estructurales.

Comparación de eficiencia operativa

Se analizaron tres indicadores clave antes y después del trabajo realizado: producción, consumo energético y tiempo de operación; se adjunta la imagen de la comparación de eficacia operativa.

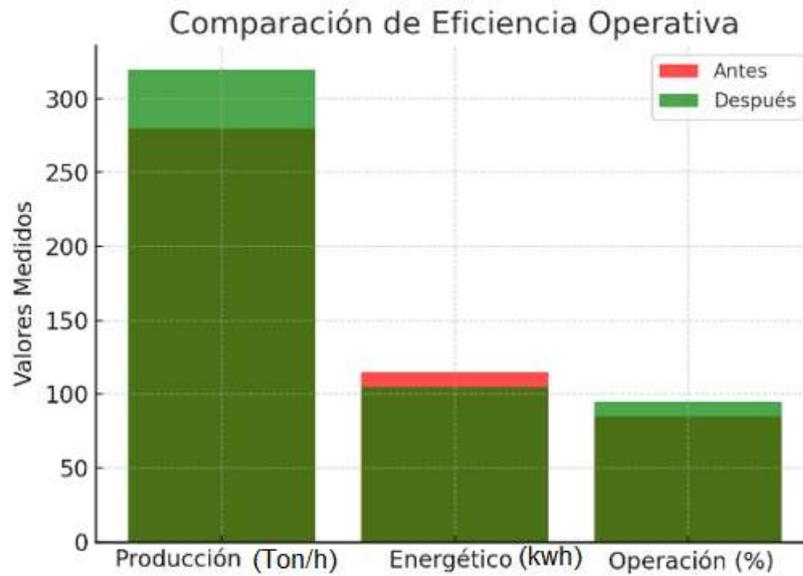


Figura 36. Comparación de eficiencia operativa

Se tuvo mayor rendimiento con menor consumo de energía, se tiene la reducción de costos operativos y mejor aprovechamiento del recurso térmico, mayor estabilidad y confiabilidad del horno tras la intervención.

- Producción aumentó de 280 a 320 t/h (+14.3 %), debido a una mejor alineación del horno y reducción de pérdidas térmicas.
- Consumo energético se redujo de 115 a 105 kWh/t (-8.7 %), optimizando la eficiencia del sistema de combustión.
- Disponibilidad del horno aumentó del 85 % al 95 %, reduciendo tiempos de inactividad y paradas no programadas.

Comparación de duración de actividades

Se realizó una evaluación comparativa de la duración de cada actividad principal antes y después de la optimización. Como resultado, se logró una reducción promedio del 25 % en el tiempo total del proyecto, optimizando los procesos de fabricación, montaje y alineación de virolas, se adjunta imagen de la comparación de duración de actividades.

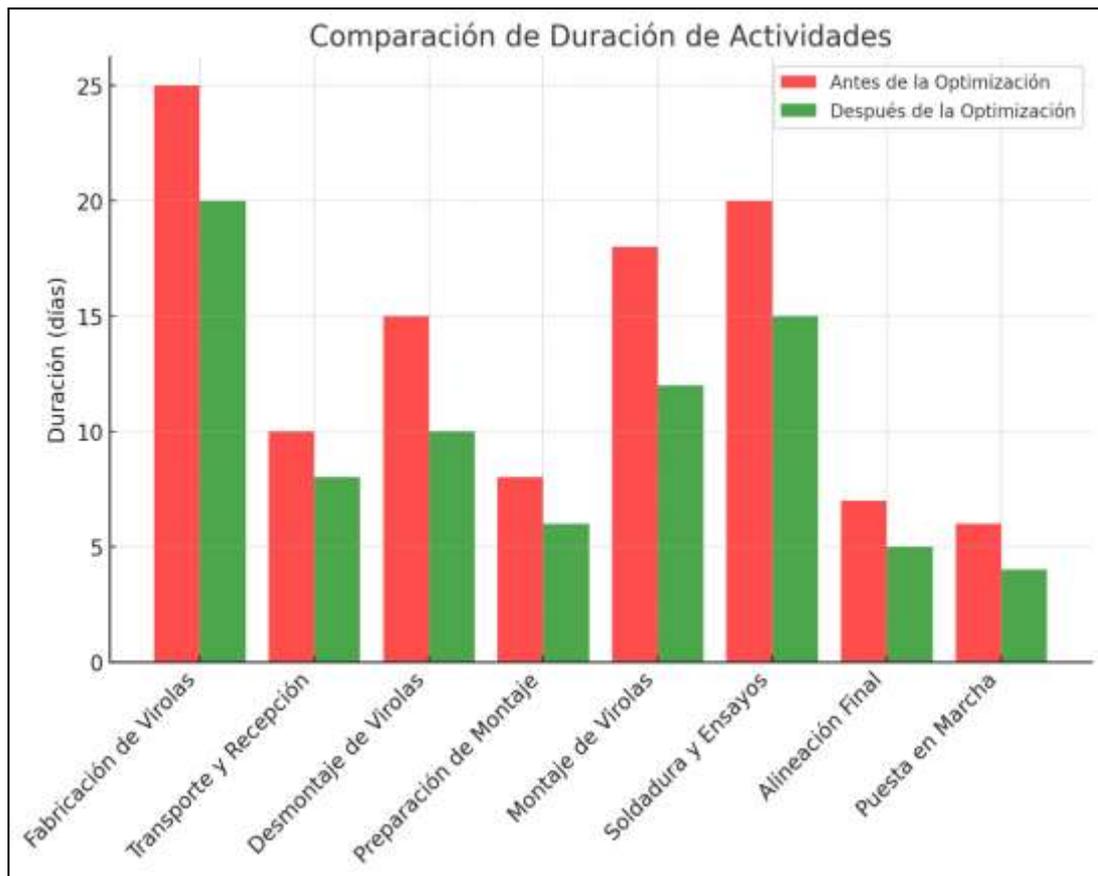


Figura 37. Comparación de duración de actividades

El gráfico muestra la reducción en los tiempos de ejecución en cada fase del proyecto, se destaca que la mayor mejora se obtuvo en las actividades de montaje de virolas y soldadura, donde la aplicación de mejores técnicas redujo significativamente los tiempos de intervención.

5.5. Aporte del bachiller en la empresa

En el marco del proyecto de cambio de virolas y llanta del horno 3, mi rol como bachiller en ingeniería mecánica dentro de la empresa Grumacon fue fundamental para la supervisión integral del proceso, mi labor estuvo enfocada en asegurar la ejecución eficiente, el cumplimiento de estándares técnicos y la optimización de tiempos y costos a lo largo de toda la intervención.

A continuación, se detalla el impacto de mi trabajo en la mejora del proceso:

Supervisión y control de proyectos

Desde mi posición como supervisor general del proyecto, dirigí y validé la ejecución de todas las fases del cambio de virolas, asegurando que cada una cumpliera con los parámetros técnicos establecidos.

- Monitoreo del cronograma para asegurar el cumplimiento de los tiempos de ejecución.
- Coordinación con el equipo de ejecución y cliente (Unacem) para optimizar la logística del trabajo.
- Supervisión de soldadura y alineación de virolas, garantizando calidad estructural.
- Evaluación y mitigación de riesgos durante cada fase del proyecto.

Comparativas del estado, antes y después del cambio de virola

Se documentó el estado del horno antes de la intervención, evidenciando deformaciones, desgaste de virolas y fallas en soldaduras previas.

Antes del cambio

- Virolas desgastadas con ovalidad superior a los estándares permitidos.
- Desalineación estructural afectando la estabilidad del horno.
- Defectos en soldaduras previas, generando riesgo de fallas mecánicas.

Después del cambio

- Instalación de nuevas virolas de acero ASTM A516 Grado 70, con mayor resistencia mecánica y térmica.
- Alineación precisa, reduciendo la ovalidad y optimizando la distribución de carga.
- Aplicación de soldadura controlada con FCAW y E7018, minimizando defectos estructurales.

Comparación de indicadores técnicos, antes y después de la intervención

Se evaluaron los indicadores como producción, consumo energético, tiempo de operación, ovalidad del horno y defectos de soldadura, para medir el impacto de la intervención:

Tabla 14. Comparación de indicadores

Indicador	Antes del cambio	Después del cambio	Mejora (%)
Producción (t/h)	280 - 300	320 - 340	+14.3
Consumo energético (kWh/t)	115 - 120	105 - 110	-8.7
Tiempo de operación (%)	85	95	+11.8
Ovalidad del horno (%)	>0.5	≤0.3	-40
Defectos en soldadura (%)	10 - 12	2 - 4	-60

Como se puede evaluar en la tabla se mejora la producción por hora, se disminuyó el consumo energético en 8.7 %, se mejoró el tiempo de operación, se disminuyó el porcentaje de ovalidad del horno y por último se disminuyó el porcentaje de defectos de soldadura.

Impacto del trabajo del bachiller en la mejora del proceso

Antes de la intervención

- Falta de control detallado en los procesos de alineación y soldadura.
- Ovalidad excesiva en virolas, afectando la eficiencia operativa.
- Alta cantidad de defectos en soldaduras, generando riesgos estructurales.

Intervención y mejora

- Implementación de un sistema de supervisión exhaustivo, validando cada actividad con inspección técnica.
- Aplicación de procedimientos de soldadura mejorados, asegurando calidad estructural.
- Optimización del cronograma de trabajo, reduciendo tiempos muertos y costos operativos.
- Aseguramiento de alineación precisa, mejorando la estabilidad y funcionamiento del horno.

Después de la intervención

- Mayor eficiencia operativa con reducción de tiempos y defectos.
- Disminución de costos de mantenimiento a largo plazo.
- Extensión de la vida útil del horno, optimizando la inversión realizada.

Conclusión general

Mi trabajo como supervisor en Grumacon permitió una ejecución más eficiente, precisa y controlada del proyecto, logrando beneficios tangibles en producción, consumo energético y confiabilidad estructural del horno, este aporte técnico demuestra que una supervisión efectiva es clave para garantizar la calidad y eficiencia en proyectos de alto impacto industrial.

CONCLUSIONES

Se realizó la renovación completa de las virolas del horno rotativo 3 de Unacem, debido a un desgaste significativo evidenciado en la fatiga del material, ovalización del casco, deformaciones estructurales y pérdida de espesor nominal, lo que comprometía su eficiencia operativa y seguridad.

La evaluación de las virolas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 del horno 3 se llevó a cabo mediante ensayos no destructivos (END), tales como medición de espesores, evaluación de ovalidad, análisis de alineamiento y otros métodos de inspección técnica. Los resultados evidenciaron desgastes superiores al 10 %, deformaciones estructurales y fallas en las llantas, especialmente por desgaste en el anillo y la presencia de un hilo mayor a 2 mm, lo que justificó la necesidad del cambio de virolas, este proceso se realizó siguiendo los lineamientos del Manual del Fabricante KHD, garantizando el cumplimiento de las especificaciones técnicas recomendadas para la evaluación y reemplazo de virolas.

El desmontaje de las virolas se realizó por grupos, primero la virola 7, luego las virolas 5, 6 y 8, luego la virola 4, el último grupo fue 1, 2 y 3, esto con fin de realizar los trabajos con mayor rapidez y eficiencia, cada una de las virolas se desmonta luego se procede al montaje de la virola nueva, se finaliza con el proceso de soldadura de cada una de las virolas montadas. El desmontaje de las virolas se realizó por grupos estratégicos para optimizar el tiempo y la eficiencia del trabajo: primero la virola 7, luego las virolas 5, 6 y 8, seguido de la virola 4, y finalmente las virolas 1, 2 y 3. Cada virola desmontada fue reemplazada por una nueva, concluyendo con el proceso de soldadura automatizada para garantizar la integridad estructural.

La instalación y montaje de las nuevas virolas se realizó bajo el cumplimiento de las normas técnicas internacionales aplicables, garantizando la seguridad operativa del horno, se siguieron los lineamientos establecidos en las normas: AWS D1.1/D1.1M:2020 - Código de Soldadura Estructural – Acero; ASTM E164 - Práctica Estándar para Ensayo No Destructivo mediante Ultrasonido y ASME B31.3 - Normas para tuberías de procesos.

Se realizó un análisis detallado de los soportes donde se instalaron las calzas para efectuar el cambio de virolas, este análisis estructural fue fundamental para garantizar que los casillos proporcionaran un soporte seguro y adecuado para las virolas que no serían desmontadas durante el proceso, el análisis estructural de los soportes se llevó a cabo utilizando SolidWorks, lo que permitió modelar y evaluar las condiciones de carga para asegurar la estabilidad del conjunto durante el proceso de cambio de virolas, este análisis validó la

resistencia de los soportes bajo las cargas aplicadas y garantizó que las calzas ofrecieran el soporte necesario para mantener la integridad estructural durante la operación.

Por último, se realizó el procedimiento de gramilado, donde se verificó y corrigió la linealidad del eje del horno, se evaluaron posibles desviaciones radiales, y se verificó la ovalidad de las virolas junto con la dirección y pendiente, finalmente, una medición de alineamiento láser confirmó que los trabajos fueron realizados de manera precisa, asegurando el alineamiento adecuado del conjunto, esta etapa del proceso se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de las normas API 653 para la inspección, reparación y modificación de tanques de almacenamiento y ISO 7500-1 para verificar los sistemas de alineamiento y medición.

RECOMENDACIONES

No realizar trabajos en paralelo en las zonas críticas, que interrumpe el flujo continuo de los trabajos que se están realizando, se detiene uno de los trabajos para realizar los izajes respectivos, que causa demoras en el avance del proyecto, además si no se tiene el control necesario puede causar un accidente.

Mayor control en el trabajo que desarrolla el horno, se encontró contaminación que adelantó el trabajo del cambio de virolas del horno 3, si no se tiene a tiempo los hornos fabricados, si no se cuenta con la habilitación de las grúas no se lograría el cumplimiento del proyecto en el tiempo establecido.

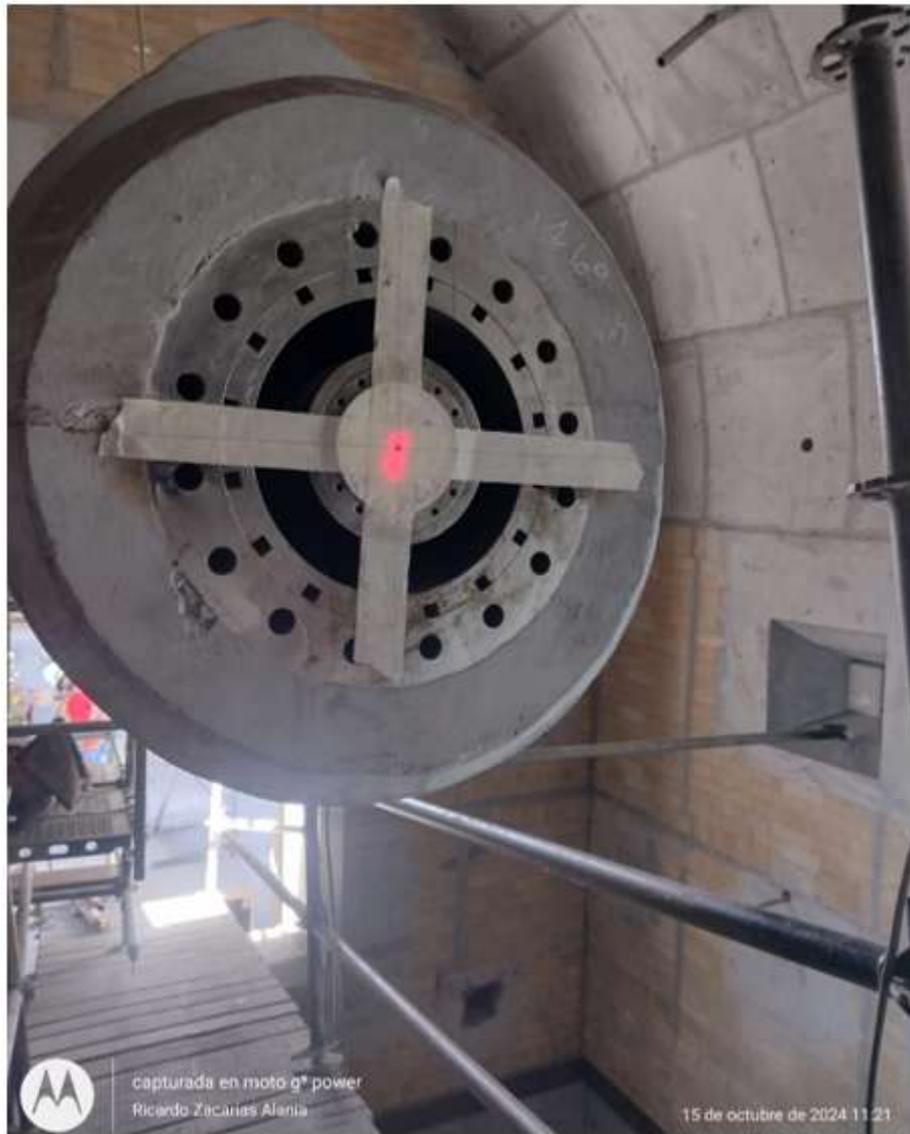
Se pueden otras metodologías que pueden ayudar a mejorar los tiempos, por ejemplo, se pueden mejorar los procedimientos aplicando la mejora continua, que permite medir todos los procesos realizados, dentro de estos procesos medir los tiempos, teniendo los tiempos medidos se pueden realizar mejoras, también se pueden eliminar tiempos muertos, entonces todo necesita una medición, esto conlleva a realizar mejoras dentro de los procesos.

REFERENCIAS

1. **DUDA, W.** *Manual tecnológico del cemento*. Barcelona. Técnicos asociados S. A. 2009. ISBN: 8471460955 [Consulta: 13 de setiembre del 2024]
2. **ARGUME, C.** *Supervisión del montaje y alineamiento de las virolas del horno rotativo II de 2000 TN/Día*. Unacem- Atocongo. 2017. [Consulta: 25 de setiembre del 2024]
3. **Grumacon.** *Plan de trabajo para el cambio de virolas del horno 3*. Tarma. Grumacon. 2023. [Consulta: 10 de octubre del 2024]
4. _____. *Procedimiento para el desmontaje y montaje de virolas*. Tarma. Grumacon. 2023. [Consulta: 15 de octubre del 2024]
5. _____. *Procedimiento de armado y soldadura de virolas*. Tarma. Grumacon. 2023. [Consulta: 20 de octubre del 2024]
6. _____. *Procedimiento de inspección visual de soldadura*. Tarma. Grumacon. 2023.
7. _____. *Procedimiento de tintes penetrantes*. Tarma. Grumacon. 2023.

ANEXOS

Anexo 1



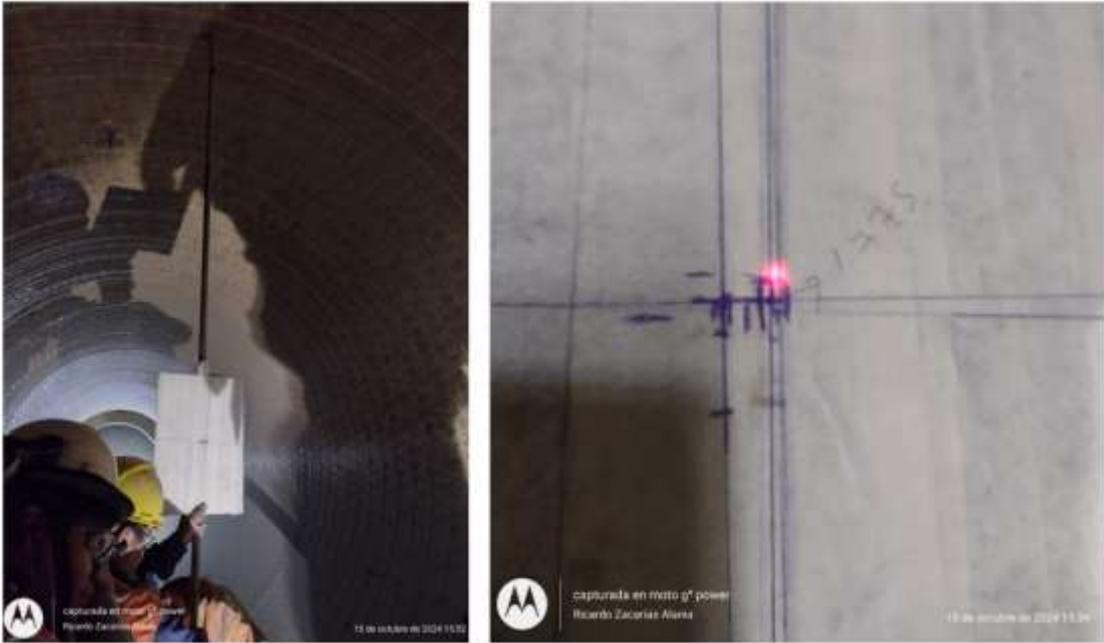
Puntero láser

Anexo 2



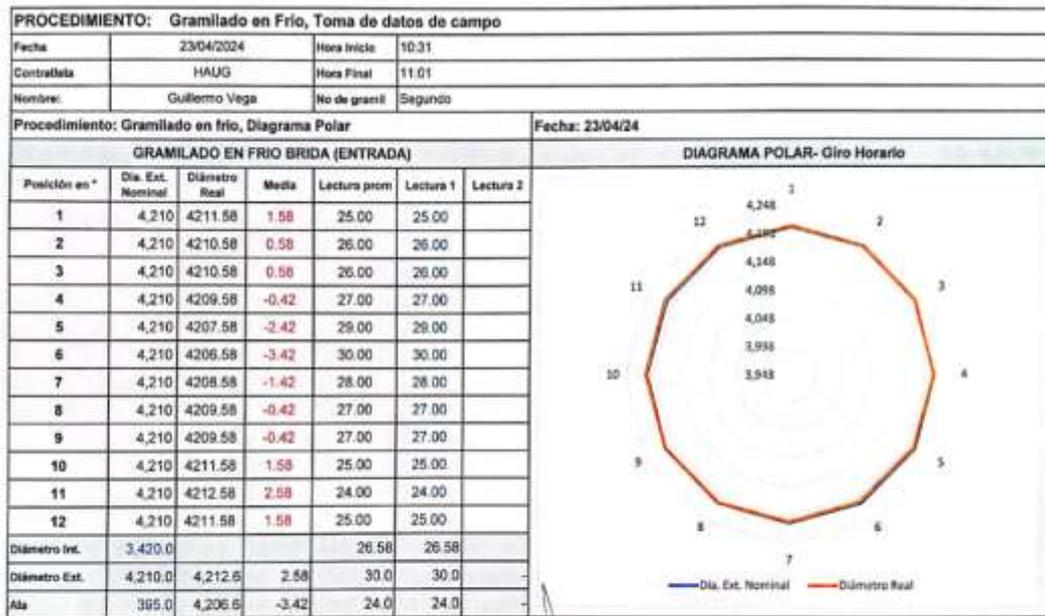
Punto de salida de láser en rampa de la cámara de enlace

Anexo 3



Mediciones de alineamiento

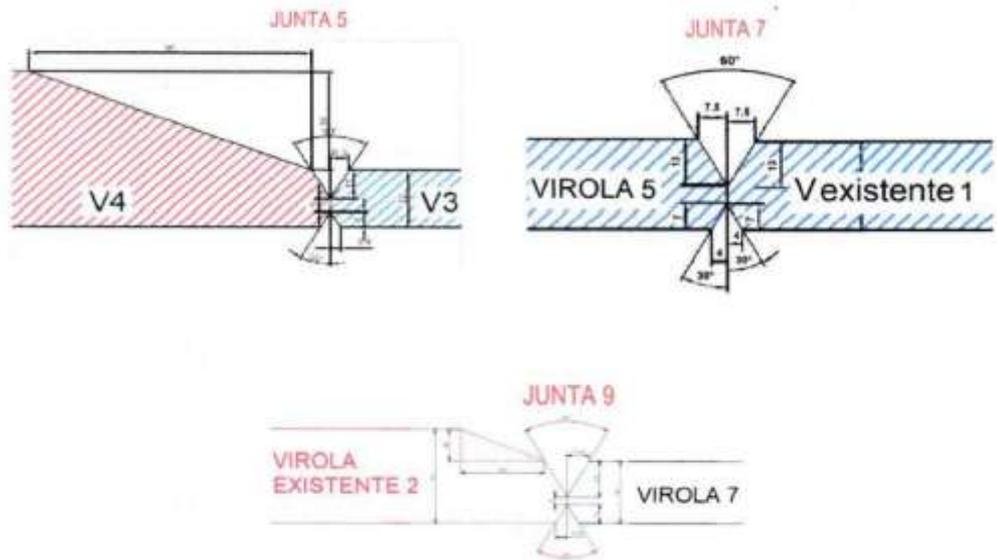
Anexo 4



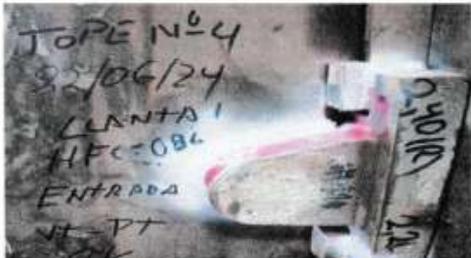
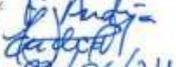
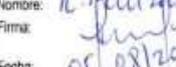
Handwritten signature and date: 23/04/2024

Procedimiento de gramilado

Anexo 5

	INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA PE.OPER.P2133-4.RG.009		Fecha: 12/02/2024 Revisión: 1 Página: 1 de 1						
Registro N°:									
Cliente: UNACEM SA	Proyecto: P2133-4								
Equipoleamiento: JUNTAS CIRCUNFERENCIALES (16Mo3/16Mo3)	Plano(s) de Referencia: GR-PH3-001 Rev.3								
Tag/ Código: 1003004	Fecha de Inspección: 4/06/2024								
Norma de referencia: AWS D1.1-2020	Equipo(s) empleado: BRIGE CAM (S/N LMC-487-23); TERMOMETRO FLUKE (S/N 61231553MV)								
Esquema de referencia									
									
Item	Código Junta	Tipo Junta	Código Soldador	WPS usado	Fecha de Inspección	Evaluación de soldadura			Comentarios
						Tipo Discert.	Acept/Reparar	Result. Repar.	
1	J5-I1 R J5-I2 R J5-I3 R	A TOPE	HFC-1136	WPS-1013	4/06/2024	-	ACEPTABLE	ACEPTABLE	-
2	J7-I1 R	A TOPE	HFC-2173	WPS-1013	4/06/2024	-	ACEPTABLE	ACEPTABLE	-
3	J9-I1 R	A TOPE	HFC-457	WPS-1013	4/06/2024	-	ACEPTABLE	ACEPTABLE	-
Leyenda: Tipo de discontinuidad 1. U. Inocivación 3. S. Escoria 5. P. Porosidad aislada 7. HL: High-Low 9. IP: Penetración incompleta 2. OL: solape 4. IF: Fusión incompleta 6. CP: Porosidad agrupada 8. C: Fisura 10. OT: Otro									
Comentarios: Soldadura Virola: 16Mo3/16Mo3. Se detectaron por UT defectos internos en los cordones de soldadura: J5, J7 y J9. Se realizó la reparación y se volvió a realizar inspección visual (VT) siendo aceptable.									
APROBACIÓN FINAL									
Haug S.A. - Control de Calidad		HAUG S.A. - Construcción		GRUMACON - Supervisión		Unacem S.A. - Cliente			
Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>
Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>
Fecha: 04/06/24	Fecha: 04/06/24	Fecha: 15/08/2024	Fecha: 15/08/2024	Fecha: 15/08/2024	Fecha: 15/08/24				

Anexo 6

		INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES PE.OPER.P2133-4.RG.010				Fecha: 12/002/2024 Revisión: 1 Página: 1 de 1					
Registro No.:											
Cliente:		UNACEM SA		Proyecto:		P2133-4					
Equipo/elemento:		TOPE DE LLANTA 1-ENTRADA-HORNO3		Plano(s) de Referencia:		413-17-060/062BA					
Tag/ Código:		1003004		Fecha de Inspección:		22/06/2024					
Norma de referencia:		AWS D1.1-2020		Procedimiento aplicable:		PE-OPER-P2133-4-PR-003					
Datos											
Marca Kit de Inspección:	Cantesco	Tipo de Liq. Penetrante:	Tipo II - Visible	Método de remoción:	C (Método E 1220, removible por solvente)						
Método de aplicación:	Spray	Forma revelador:	No acuoso	Limpieza:	Trapo con solvente						
Designación removedor:	C101	Designación penetrante:	P1015-A	Designación revelador:	D101						
Tiempo penetrante:	10 min	Tiempo de secado:	5 min	Tiempo de evaluación:	10 a 60 min						
Temperatura de prueba:	13.5	Temperatura de secado:	13.8	Material base/espesor:	60/60						
Tipo iluminación:	Artificial	Intensidad de luz:	Natural	Equipos empleados:	Interna luz blanca						
Vistas fotográficas											
JUNTA 02				JUNTA 03							
											
JUNTA 04				JUNTA 15							
											
Item	Código Junta	Tipo Junta	Código Soldador	Fecha de Inspección	Diam / Long. Soldadura (mm)	Indicación		Interpretación		Comentarios	
						Lineal / Redondeado	Tamaño	Reparar (Si/No)	Aceptación final (Si/No)		
01	J2	T	HFC-085	22/06/2024	380	-	-	-	Si	-	
02	J3	T	HFC-085	22/06/2024	380	-	-	-	Si	-	
03	J4	T	HFC-085	22/06/2024	380	-	-	-	Si	-	
4	J15	T	HFC-1136	22/04/2024	380	-	-	-	Si	-	
Comentarios: J-n=TOPE-n (J1=TOPE1)											
APROBACIÓN FINAL											
HAUG SA - Control de Calidad			HAUG SA - Construcción			GRUMACON - Supervisión		UNACEM SA- Cliente			
Nombre:	Cecilia Ugo C		Nombre:	D. Pando		Nombre:	G. Pando		Nombre:	Diana Jara	
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:		
Fecha:	21/06/24		Fecha:	23/06/24		Fecha:	05/08/2024		Fecha:	06/08/24	

Anexo 7

	WELDER PERFORMANCE QUALIFICATION TEST RECORD (WPQR) (According to AWS D1.1 :2020)	HAUG / WPQR	
		SHEET:	1 of 1
		EMISSION:	30/07/2020
		REVISION:	0

Name	Baldon Rivera, Raul Angel		Test Date	24/10/2023	Rev.
ID Number	44647378		Record No.	WPQR-457-40	0
Stamp No.	HFC-457		WPS No.	WPS-917	0
Company	HAUG S.A.		Qualified To	AWS D1.1-Welding Operator	

BASE METAL	SPECIFICATION	Type or Grade	AWS Group No	Size(NPS)	Schedule	Thickness	Diameter
Base Material	ASTM A36	-	II	-	-	25mm	-
Welded To	ASTM A36	-	II	-	-	25mm	-

VARIABLES	Actual Values	RANGE QUALIFIED
Type of Weld Joint	Plate-Groove(Fig. 6.16)With Backing	Groove, Fillet, Plug, and Slot Welds (T-, Y-, K- Groove PJP only)
Base Metal	Group II to Group II	Any AWS D1.1 Qualified Base Metal

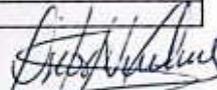
	Groove	Fillet	Groove	Fillet
Plate Thickness	25mm	-	3mm - Unlimited	3mm min.
Pipe/Tube Thickness	-	-	3mm - Unlimited	Unlimited
Pipe Diameter	-	-	600mm min.	Unlimited

Welding Process	SAW	SAW
Type(Manual, Semiautomatic, Mechanized, Automatic)	Mechanized	Semiautomatic, Mechanized, Automatic
Backing	With Backing	With Backing (Incl. Backgouging and Backwelding)
Filler Metal (AWS Spec.)	AS.17	AS.XX
AWS Classification	F7A2-E112	All
F-Number	-	-
Position	1G	-
Groove-Plate & Pipe≥24in	-	F
Groove-Pipe < 24in	-	-
Fillet-Plate & Pipe ≥24in	-	F,H.
Fillet-Pipe < 24in	-	F,H.
Progression	-	-
GMAW Transfer Mode	-	-
Single or Multiple Electrodes	Single	Single
Gas / Flux Type	OK FLUX 10.81(Active)	All

TEST RESULTS

Type of Test	Acceptance Criteria	Results	Remarks
Visual Examination per 6.10.1	6.10.1.1	Acceptable	-
2 Transverse Side Bends per 6.10.3.1 and Fig. 6.9	6.10.3.3	Acceptable	-

CERTIFICATION

Test Conducted by	 Oscar A. Ventura Sos.		
Laboratory	LABORATORY HAUG	 CWI 10011581 QC1 EXP. 1/1/2025	
Test Number	GBTR-290-2023		
File Number	-		

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of clause 6 of AWS D1.1/D1.1M 2020 Structural Welding Code-Steel.

Manufacturer or Contractor HAUG S.A. Authorized by Oscar Ventura
 Date 24/10/2023

REVALIDATION OF QUALIFICATION	
DATE:	BY:

REVALIDATION OF QUALIFICATION	
DATE:	BY:

REVALIDATION OF QUALIFICATION	
DATE:	BY:

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SGLA - 1579 - 2023

1. Orden de Trabajo	: V2-724-23
2. Solicitante	: HAUG S.A.
3. Dirección	: Parcela 10368 Call.Grande Nro. S/N Ex-Fundo Santa Rosa - Lurín - Lima - Lima
4. Instrumento de medición	: COMPARADOR DE CUADRANTE
Tipo de indicación	: Analógico
Intervalo de Indicación	: 0 mm a 10 mm
Resolución del dispositivo visualizador	: 0,01 mm
Marca / Fabricante	: INSIZE
Modelo	: NO INDICA
Código de fábrica	: NO INDICA
Número de serie	: 7706844 (*)
Procedencia	: NO INDICA
Código de identificación	: ERCM 1076 (**)
Ubicación	: NO INDICA
Fecha de Calibración	: 2023-12-06
Fecha de Emisión	: 2023-12-06
Lugar de Calibración	: Instalaciones de SG NORTEC S.R.L. - Laboratorio de Longitud y Ángulo

Este certificado de calibración es trazable a los patrones Nacionales o Internacionales, y esta expresado en unidades de medida de acuerdo con el sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados del presente certificado solo son válidos para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

SG NORTEC S.R.L. no se responsabiliza de ningún perjuicio que pueda derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones.

Los extractos o modificaciones requieren la autorización de SG NORTEC S.R.L.

Certificado sin firma digital y sello, carecen de validez.

5. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación con bloques patrón de longitud, según el PC-014: Procedimiento para la calibración de comparadores - 3ra edición, Jul. 2019 del INACAL-DM.

6. Observaciones

(*) Dato indicado en el instrumento de medición.

(**) Código indicado en una etiqueta adherida y/o grabado al instrumento.

Para una mejor aproximación de lectura, la resolución del dispositivo se subdividió en 5 partes iguales de 0,002 mm.

El presente documento al no contar con el logo de INACAL, no se encuentra dentro del alcance de acreditación del Laboratorio.

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva que indica el estado "CALIBRADO".

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.




Ing. Andersson Mendoza Zúñiga
C.I.P. N° 245379
SUPERVISOR DE LABORATORIO