

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION – REY BALDUINO DE BELGICA

**APLICACIÓN METODOLOGIA SIX SIGMA PARA EL CONTROL CALIDAD EN
PROCESOS DE EMPRESA CONTRATISTA A CALDERAS DE ALTA PRESIÓN**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

Alumno:

Enrique Magdiel Acuña Alarcón

Profesor Guía:

Guillermo Felipe Larson Muñoz

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Aplicación Metodología Six Sigma Para el Control Calidad en
Procesos de empresa contratista a Calderas de Alta Presión

Nombre del candidato(a): Enrique Magdiel Acuña Alarcón

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: CONCEPCIÓN Departamento: MECANICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Guillermo LARSON HUÍDOL, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del
trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en
repositorio con acceso abierto.

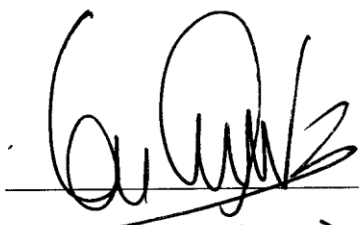
☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un
periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

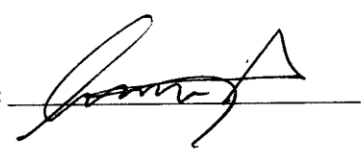
4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 17-06-2026 Firma: 

16.010.187-3

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 17-06-2026 Firma: 

Dedicatoria

En dedicación a mis padres quienes fueron los pilares fundamentales durante este proceso y durante mi vida, que siempre creyeron en mí y me apoyaron para llegar hasta esta instancia tan importante.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Jehová Dios mi ayudador en todos mis caminos, y reconociendo su misericordia en favor de mi vida.

Quisiera agradecer también de manera especial al profesor Guillermo Larson, ha sido parte en el desarrolló de este proyecto aportando ideas claves en el transcurso de la investigación y preparación de esta memoria de título.

Agradezco a las dos personas más importante de mi vida, mi padre Enrique Acuña Burdiles el cual es mi ejemplo a seguir día tras día y mi madre Jessica Alarcón Gallegos mi consejera en estos años la persona que siempre me dijo que no me rindiera, a ustedes que nunca dejaron de creer y confiar en mi persona, ustedes que su apoyo fue fundamental especialmente en el primer año cuando algunas veces quizás me quise dar por vencido y dejarlo todo de lado. Gracias por su inmenso cariño y amor.

No puedo dejar de mencionar a estas dos grandes mujeres que fueron parte de mi vida, mi abuela María Lucrecia Gallegos Soto (Q.E.P.D.) y mi tía María Eugenia Palacios Muñoz (Q.E.P.D.) ambas por sus consejos en ese momento de mi vida donde más perdido me encontraba, a ustedes un beso al cielo, y esperando para volvernos a encontrar en aquel día.

En esta etapa de formación también agradezco a los compañeros con quienes de un comienzo iniciamos el camino para ser ingenieros entre ellos menciono a Matías Aguilera quien fue un compañero incondicional en los trabajos, presentaciones y así también principal un gran amigo, menciono también a mi compañera Angela López quien en el comienzo fue mi tutora en el programa PACE, y con el tiempo una persona incondicional en las distintas asignaturas que cursamos juntos.

Resumen

El presente trabajo de titulación expone la aplicación de la metodología Six sigma orientada a optimizar el control calidad en los procesos de fabricación de una empresa contratista dedicada al mantenimiento de calderas de alta presión. El problema central radica en las brechas operativas detectadas durante la fase de preparación y fabricación de componentes en el taller de la maestranza.

Históricamente, la organización dependía de un sistema de control de calidad reactivo, basado netamente en la inspección visual final y en la aprobación del cliente. Esta deficiencia en la supervisión preventiva, sumada a la falta de estandarización y a los errores cometidos por personal eventual, llevaron a que, en el año 2024, la tasa de rechazo de las uniones soldadas alcanzara un 2,03%. Este valor representa un incumplimiento crítico del límite máximo de tolerancia del 2% exigido internamente por la empresa.

Para abordar esta problemática de manera estructurada, se desarrolló un plan de acción fundamentado en el ciclo DMAIC. Durante la fase de análisis, mediante la aplicación de un diagrama de Pareto, se diagnosticó que, de 500 fallas totales registradas durante 2024, el 64% correspondía a las principales causas vitales: un 36% por deficiencias de soldaduras y un 28% por errores de corte y medición.

Estas no conformidades representan para la empresa un costo de no calidad cuantificado en \$100.000 USD anuales, derivado de un gasto unitario por reproceso estimado en \$200 USD por cada falla en conceptos de horas hombre perdidas, desperdicio de materiales, consumibles y repeticiones de ensayos no destructivos.

La fase de mejora propone una reestructuración técnica sustentada en la reducción de la variabilidad a través de dos pilares:

- La actualización de las competencias del personal.
- La adquisición de tecnologías de automatización de alta precisión.

El plan establece la meta de capacitar al 85% de los colaboradores claves y proyecta la incorporación de una soldadora orbital, una biseladora y una cortadora orbital en frío.

Estas herramientas buscan mitigar los errores humanos en las tareas críticas y de esta manera atacar directamente el origen de los reprocesos y lograr una conformidad del 98% por pieza fabricada, proyectando una reducción inicial del 70% en la tasa de defectos.

Finalmente, el estudio valida la propuesta con una evaluación de viabilidad económica bajo un horizonte de tres años y una tasa de descuento del 12%. La inversión inicial requerida para la adquisición de la tecnología y la ejecución de los planes de formación asciende a \$40.500 USD. Al contrastar este desembolso de capital con los ahorros generados por la mitigación de las ineficiencias operativas, el proyecto demuestra una rentabilidad sobresaliente, obteniendo un valor actual neto de \$90.626 USD, una tasa interna de retorno del 113% y un periodo de recuperación de la inversión de 0.817 años, equivalente a cerca de 10 meses de operación. En conclusión, la implementación de la metodología Six sigma y la automatización del taller no solo garantiza el cumplimiento de los estándares de calidad que impone el cliente, sino que resultan ser una decisión financiera estratégica que optimiza drásticamente la rentabilidad de la compañía.

Índice

Contenido

Índice de figuras	33
Índice de tablas	33
Índice de anexos	33
Siglas y simbología	33
Introducción	33
Objetivos	15
Capítulo I.....	18
Planteamiento del problema	19
Escribir el título del capítulo (nivel 3)	6
Capítulo II	22
Prestación de servicios	23
Calderas.....	23
Tipos de calderas.....	23
Componentes de las calderas acuatubulares	26
Función de una caldera acuatubulares	28
Calidad.....	29
Fabricación	29
Decretos en Chile	31
Condiciones según decreto	32
Six Sigma	32
Capítulo III.....	34
Justificación de la propuesta	35
DMAIC	38
Definir.....	38
Medir	39
Analizar.....	41
Mejorar	42
Controlar	45
Capítulo IV	48
Análisis Financiero	49
Costos de la situación actual	51
Evaluación de indicadores financieros.....	53
Análisis de inversión	54
Conclusiones	57
Recomendaciones.....	58
Bibliografía	60
Anexos	61

Índice de figuras

Ilustración 1-1: Diagrama de flujo del proceso de la empresa

Ilustración 1-2: Soldadura en terreno

Ilustración 1-3: Posibles ideas sobre errores de proceso

Ilustración 1-4: Causas de variabilidad

Ilustración 2-1: Referencia de calderas

Ilustración 2-2: Diagrama de caldera acuatubular

Ilustración 2-3: Partes de una caldera

Ilustración 2-4: control calidad

Ilustración 2-5: Decreto supremo N°10

Ilustración 2-6: Six sigma

Ilustración 3-1: Análisis FODA de la empresa

Ilustración 3-2: Panel de membrana para caldera

Ilustración 3-3: Trabajos en interior de caldera

Ilustración 3-4: Diagrama Pareto caso año 2024

Ilustración 3-5: Radiografía a unión de soldadura

Ilustración 3-6: Soldadura de tubos

Ilustración 3-7: Piezas fabricadas

Ilustración 3-8: Propuesta de mapa estratégico

Ilustración 3-9: Soldadura en caldera

Ilustración 4-1: Cortadora de tubos orbital

Ilustración 4-2: Biseladora portátil PBM-1625 auto lock

Ilustración 4-3: Soldadora orbital portátil BW 2600

Índice de tablas

Tabla 3-1: Porcentajes de aceptación en uniones soldadas

Tablas 3-2: Definir la implementación

Tablas 3-3: Definición de métricas

Tablas 3-4: Recolección de datos y propósito Six Sigma

Tablas 3-5: Cantidad de fallas en fabricación 2024

Tabla 3-6: Enfoque a la solución

Tabla 3-7: Mejoras de capacidad

Tabla 3-8: Implementación a estructura

Tabla 3-9: Cuadro de mando integral

Tabla 4-1: Propuesta de inversión

Tabla 4-2: Costos de falla

Tabla 4-3: Flujo de caja

Índice de anexos

1. RG-OPER-51 Estadística de aprobación uniones soldadas

Siglas y simbología

PGP: Parada General de Planta

ACHS: Asociación Chilena de Seguridad

Seremi: secretaria regional Ministerial

Uniones: Cordón de soldadura

HH: Horas Hombre

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar

Capex: gastos de capital

Opex: Gastos operativos de funcionamiento

Payback: Periodo de recuperación

VAN: Valor actual neto

TIR: Tasa interna de retorno

Introducción

En el sector industrial actual, la confiabilidad de plantas térmicas es un pilar fundamental para el desarrollo continuo de procesos críticos, especialmente en instalaciones de gran envergadura como refinerías y plantas de celulosa.

En este escenario, las empresas contratistas encargadas del mantenimiento de calderas de alta presión desempeñan un rol estratégico. Sin embargo, la ejecución de estos servicios exige el cumplimiento de normativas y estándares de calidad sumamente rigurosos, dado que cualquier desviación o variabilidad durante la fase de fabricación puede traducirse en severos riesgos de seguridad y en pérdidas económicas.

La presente propuesta aborda la problemática de calidad identificada en los procesos de una empresa contratista, donde la fase de preparación y fabricación de componentes en taller presenta una evidente falta de control, en la cual, durante el año 2024, el indicador de rechazo de uniones soldadas alcanzó un 2,03% de rechazo, de esta manera superando umbral de tolerancia máximo del 2% exigido por el departamento de calidad de la misma empresa.

Un diagnóstico exhaustivo revela que el 64% de estas fallas operativas radican específicamente en deficiencias de soldaduras y errores de corte o medición. Estas desviaciones, originadas principalmente por una supervisión inadecuada y la dependencia de personal eventual sin la estandarización necesaria, generan un costo de no calidad estimado en \$100.000 USD anuales debido a los reprocesos, ensayos no destructivos repetidos y el desperdicio de horas hombre y materiales.

Frente a esta merma competitiva, este proyecto propone la implementación de la metodología Six sigma, estructurada bajo el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). El objetivo general es aplicar estas herramientas estadísticas y de gestión para identificar las causas de variabilidad, estandarizar los procesos de fabricación y reducir de manera drástica la tasa de defectos en los servicios de mantenimiento a calderas.

Como propuesta de mejora, se diseña un plan de acción que integra la actualización de competencias del personal clave y la adquisición de tecnologías de precisión, tales como soldadoras, biseladoras y cortadoras orbitales, las cuales eliminan la dependencia exclusiva del control visual.

Finalmente, para validar la factibilidad de la propuesta, se desarrolla una evaluación de viabilidad económica. La inversión de capital (Capex) requerida para la integración tecnológica y capacitación asciende a \$40.500 USD. Frente a las pérdidas detectadas, el proyecto demuestra ser altamente rentable, arrojando un valor actual neto (VAN) proyectado a \$90.626 USD, con una tasa de retorno (TIR) del 113% y un periodo de recuperación (Payback) cercano a los 10 meses. A través de los distintos capítulos, se desglosa el planteamiento del problema, marco teórico, el diseño de solución bajo el ciclo DMAIC y el respectivo análisis financiero, de esta manera evidenciando que la adopción de la metodología Six sigma es una decisión estratégica indispensable para garantizar el cumplimiento normativo, la satisfacción del cliente y lo más importante la rentabilidad de la organización.

Objetivos

Objetivo general:

- Implementar herramientas Six Sigma para identificar y minimizar la variabilidad en procesos, con el objetivo de reducir la tasa de defectos en servicios de mantenimiento sobre calderas de alta presión.

objetivos específicos:

- Identificar defectos en los procesos de la empresa desde la licitación, obtención y fabricación de material, ejecución de trabajo, entrega (empresa), aprobación (solicitante) del servicio realizado en calderas de presión, utilizando herramientas de diagnóstico.
- Compilar la literatura existente sobre metodologías Six Sigma y su aplicación en la industria de prestaciones de servicios, con un enfoque en estudios de casos relevantes que demuestran la efectividad en la aplicación de esta metodología sobre reducción de defectos y mejoras de calidad.
- Desarrollar un plan de acción basado en la metodología que contemple estrategias específicas para reducir defectos en cada etapa del proceso de prestación de servicios.
- Realizar un análisis que evalúe la viabilidad económica de la implementación de Six Sigma en los procesos de la empresa, considerando la inversión necesaria en capacitación, herramientas y recursos.

Capítulo I:
Planteamiento del Problema

1. Planteamiento del problema

La empresa es una de las más importantes en cuanto al rubro de mantenimiento de plantas térmicas, para ser más específico en el área que ejecuta mantenciones a calderas de alta presión, esto convierte a la institución en un socio estratégico para empresa productoras de diversas áreas industriales, como lo son plantas de celulosa, refinerías, cementeras, etc. Por lo cual es muchas veces solicitada, en múltiples ocasiones para la ejecución de PGP ya sea en las calderas de poder o las calderas recuperadoras de las empresas solicitantes.

Actualmente el proceso de la empresa comienza de las licitaciones de algunos trabajos, pasando directamente a las planificaciones ya sea en cuanto, a los tiempos, como así también a los procedimientos de intervenciones, de esta manera al tener una estandarización de procedimientos permite tener un mayor control sobre lo que se ejecuta posteriormente en terreno.

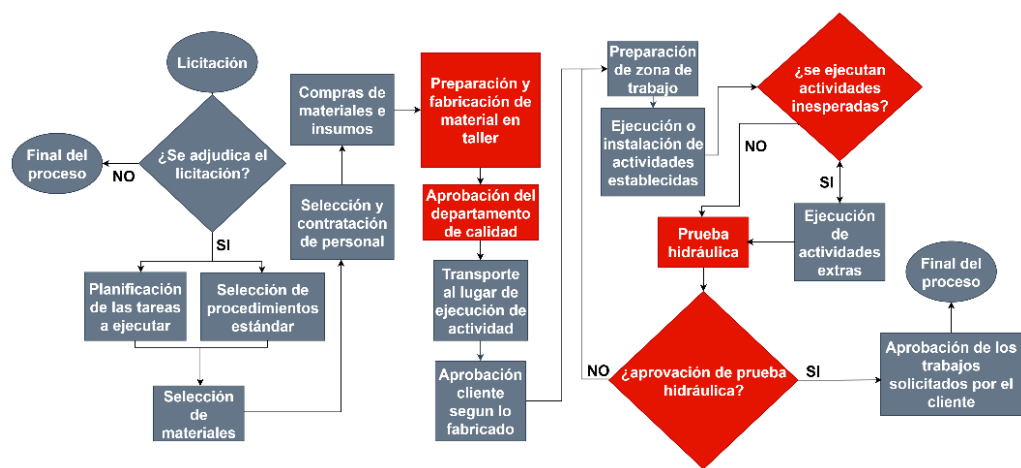


Ilustración 1-1: Diagrama de flujo del proceso de la empresa

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1-2: soldadura en terreno

Fuente: LinkedIn

La brecha observada se genera durante el proceso de fabricación donde se ejecutan en la empresa (taller) si bien en algunas ocasiones las actividades son supervisadas por parte del equipo de calidad, la realidad es que se comenten errores al momento que se ejecutan las preparaciones de algunos componentes fabricados en taller, lo cual esto

lleva a pérdida de material, el cual durante el transcurso del año representa pérdidas, principalmente de tiempos de ejecución y monetarias para la empresa.

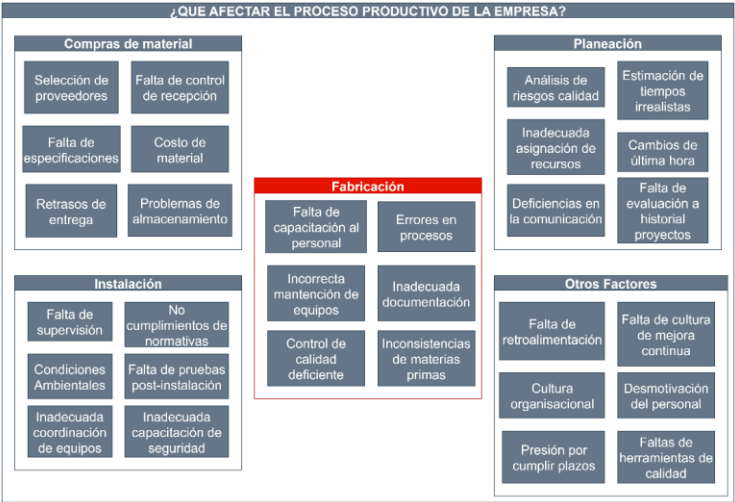


Ilustración 1-3: Posibles ideas sobre errores de proceso

Fuente: Elaboración propia

En lo comentado por algunos trabajadores los cuales llevan años contratados, muchas veces los errores que se cometen son por parte de funcionarios eventuales los cuales ingresan a la empresa para prestar apoyo en la fabricación de elementos los cuales posteriormente son los instalados en las ejecuciones de PGP.

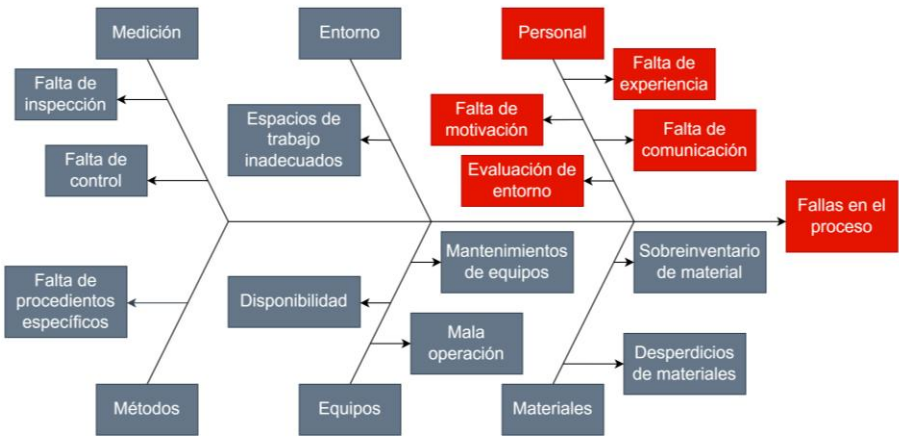


Ilustración 1-4: Causas de variabilidad

Fuente: Elaboración propia

Si bien la supervisión del área de calidad es exhaustiva en terreno al momento de la ejecución de trabajos, queda muy al debe en la supervisión durante los procesos de fabricación, y la pregunta en este momento ¿solo afecta al departamento de calidad de la empresa? ¿los costos de material son recuperable en el corto plazo? ¿el personal de apoyo contratado tiene realmente las capacidades mínimas para las tareas que se necesita ejecutar? ¿Con que frecuencia se están cometiendo errores? Es así como comienzan a surgir las primeras dudas.

Capítulo II:
Marco Teórico

2. Prestación de servicios

En la industria las prestaciones de servicios están relacionadas con las tareas, trabajos, actividades y/o procesos, que solicita una empresa con instalaciones de producción, en este caso es el mantenimiento, de esta manera se ofrecen soluciones específicas según las tareas asignadas a las empresas prestadoras de servicio. Así también la interacción es directa entre quien provee del servicio y quien es el consumidor de este (planta).

3. Calderas

Las calderas son grandes equipos industriales, los cuales principalmente generan vapor en grandes volúmenes, y con alta presión, con un funcionamiento por medio de gas, petróleo, biomasa, etc. Con un diseño el cual es calculado para la operación de las múltiples aplicaciones en la industria, durante el proceso se eleva la temperatura del agua hasta el punto de ebullición para generar vapor, el uso de un vapor adecuado se obtiene calentando aún más el vapor saturado, a esto se le conoce en la industria como vapor seco el cual es utilizado en los procesos. Una descripción más simple es la que nos da una empresa muy reconocida en el mundo, y ellos dicen que "Las calderas son intercambiadores de calor de combustión interna para el trasiego de vapor o agua caliente" (Corp, 2025).

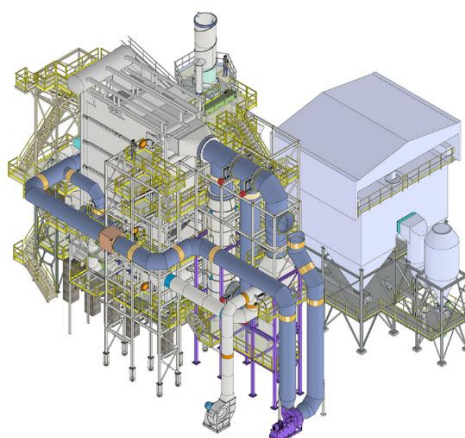


Ilustración 2-1: Referencia de caldera

Fuente: Sugimat

4. Tipos de caldera

4.1. Calderas pirotubulares

Son las calderas con diseño y funcionamiento más simple, en el cual los gases de combustión fluyen a través de los tubos los cuales están sumergidos en agua, de esta manera es elevada la temperatura del agua, hasta el punto en que el agua transforma en vapor.

4.2. Calderas acuotubulares

En este tipo de calderas, es el agua la que circula por tubos y en cambio los gases de combustión rodean los tubos, es el proceso inverso si se compara con las calderas pirotubulares, de esta manera las calderas acuotubulares permiten mayor generación de vapor y eficiencia, este tipo de calderas son las más comunes en las grandes industrias.

4.3. Calderas de agua caliente

Estas calderas solo están diseñadas para calentar agua con una temperatura superior a los 60°C, aunque estas calderas no generan vapor. Solo son usadas en su gran mayoría como sistemas de calefacción, en cuanto a sus aplicaciones industriales solo donde se requiera agua con alta temperatura.

4.4. Calderas recuperadoras de calor

Son calderas que aprovechan el calor residual de los procesos, ya sean gases de escape de turbinas o motores, con estos gases se calienta agua y se vuelve a generar vapor. Son de las más eficientes y ayudan en la reducción del consumo eléctrico.

4.5. Calderas de biomasa

Son calderas que en cuanto a su combustible utiliza biomasa, como por ejemplo madera, residuos agrícolas o pellets. Son la opción más ecológica y sostenible, esto por el uso de recursos renovables. Si bien su diseño cambia, pero comúnmente son semejantes a las calderas de agua caliente.

4.6. Calderas de combustión interna

El combustible en este tipo de calderas se queda dentro de esta misma, por lo tanto, se genera calor para elevar la temperatura del agua, son de las calderas menos comunes, y las situaciones en las que son utilizadas, es aquellas que requieren un control absoluto de la temperatura y la presión.

4.7. Calderas de condensación

Este tipo de calderas son de las más eficientes, ya que recuperan el calor del vapor en los gases de escape por tanto aumenta su eficiencia térmica, son más comunes en sistemas de calefacción y en operaciones donde se requiere el uso eficiente de energía.

4.8. Calderas de alta presión

Son de las calderas diseñadas específicamente para soportar presiones superiores a 1.000 KPa, además de que la aplicación industrial que tiene es en generación de energía, y el uso en procesos químicos, además son de construcciones robustas lo cual les permite soportar las altas presiones.

4.9. Calderas de fluidos térmicos

Los fluidos térmicos que pueden utilizar este tipo de calderas son distintos al agua para transferir el calor, eso sí son las calderas ideales para temperaturas muy elevadas, como en la industria petroquímica y para elevar la temperatura de aceites.

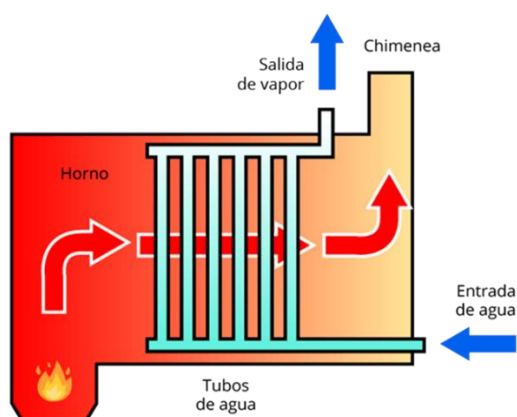


Ilustración 2-2: Diagrama de caldera acuotubular

Fuente: Tractian

5. Componentes de las calderas acuotubulares

5.1. Estructura de la caldera

Es el cuerpo principal, ya que dentro contiene el agua y vapor, el diseño que posee le permite soportar altas temperaturas y también grandes presiones, ya que su construcción es robusta por temas de seguridad de operación y eficiencia en su uso.

5.2. Tuberías de agua

Son las líneas que transportan el agua en dirección a la caldera, en este caso para las calderas acuotubulares, el agua circula a través de estas líneas de tuberías, de esta manera, el diseño produce que la transferencia de calor sea mayormente eficiente.

5.3. Tuberías de vapor

Estas líneas son las que transportan el vapor que fue generado en caldera, con dirección al sistema de distribución, las líneas de vapor son las que deben de soportar mayores temperaturas y presiones, debido a que el vapor tiene que ser transportado de manera segura dentro de las industrias.

5.4. Quemador

Es el componente que permite introducir el combustible dentro de las calderas, ya que es el encargado de quemar el combustible y producir calor. Los tipos de funcionamiento pueden ser distintos, esto debido al tipo de combustible que sea utilizado como lo puede ser, gas, petróleo o biomasa.

5.5. Cámara de combustión

En este espacio es donde ocurre la combustión, esto se debe a que el calor generado es transferido al agua que circula por las tuberías, es muy importante el tamaño y la forma que tenga este elemento, ya que es el principal actor que define si la eficiencia es buena o no.

5.6. Intercambiador de calor

Para las calderas acuotubulares, este elemento igualmente es importante ya que maximiza la transferencia de calor entre el agua y el combustible. Permitiendo que la eficiencia térmica de la caldera también sea mejor. Así se genera mayor cantidad de vapor y todo esto con menor cantidad de combustible.

5.7. Válvulas de seguridad

Son los dispositivos que alivian el activo cuando la presión es mayor a los rangos de operación para evitar una posible explosión de la caldera, estas válvulas actúan de manera automática cuando se superan los límites permitidos.

5.8. Indicadores de presión y temperatura

Son elementos instrumentales y dispositivos de monitoreo que de igual manera ayudan en el control en el proceso de operación en caldera

Los instrumentos para medir la presión son los manómetros, es así con esta información que se mantiene un monitoreo y control en la operación. así también hoy en día los sensores de presión también se encuentran presentes.

En cuanto a los termómetros son los que van midiendo la temperatura del agua y vapor, de esta manera se mantiene la temperatura controlada dentro de los parámetros establecidos en operación.

5.9. Desgasificador

Es utilizado en la eliminación de gases disueltos en el agua, estos gases pueden ser, oxígeno, y dióxido de carbono, esto se debe a que, en la prevención de corrosión, ya que de igual manera esto ayuda en la eficiencia de la caldera.

5.10. Chimenea

La chimenea es la encargada de la expulsión hacia el exterior de los gases de combustión, es uno de los elementos que aseguran la correcta ventilación y también el minimizar la contaminación ambiental.

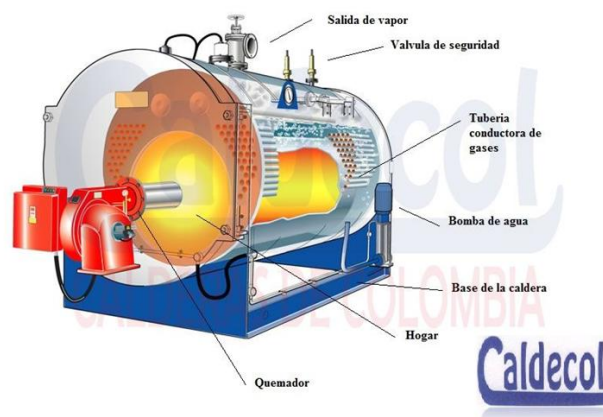


Ilustración 2-3: Partes de una caldera

Fuente: Caldecol

6. Función de una caldera acuotubular

6.1. Generación de vapor

Algunos de las aplicaciones de la generación de vapor en las calderas acuotubulares pueden ser:

- **Producción de vapor:** En el caso de las plantas de energía el vapor de alta presión permite ser usado en la turbina para generar electricidad, de esta manera la eficiencia es mayor en la conversión de energía térmica a energía mecánica.
- **Procesos Industriales:** En cuanto a las industrial petroquímica, celulosa y alimentaria, el vapor es esencial para generar reacciones químicas, destilación, o procesos que se necesita grandes fuentes de calor.

6.2. Calefacción de agua y espacios

Algunas de las aplicaciones pueden ser:

- **Sistemas de calefacción:** en la industria, el calor generado por la caldera ayuda a calefaccionar espacios y procesos.
- **Limpieza y desinfección:** el vapor de alta temperatura también es utilizado para la limpieza y desinfección de equipos, donde la higiene es lo más crítico esto en caso de la industria alimentaria y farmacéutica.

6.3. Calor para procesos

- **Secado:** En las industrias de papel, madera, alimentarias, el vapor suele ser utilizado para el secado de productos, ya que de esta manera el secado es más eficiente.
- **Cocción y Pasteurización:** La industria alimentaria es la que usa mayormente el vapor para cocción y presurización, esto se debe a que es más higiénico, además de ser más seguro y seguir altos estándares de calidad.

6.4. Generación de energía térmica

En las calderas acuotubulares la energía térmica generada también tiene usos en sistemas de refrigeración, así también en procesos de calefacción industrial. De esta manera en las industrias también se controla la temperatura para un control más preciso.

6.5. Suministro de vapor para turbinas

El vapor generado es utilizado en el generador de turbina eléctrica de esta manera se alimenta de electricidad los procesos de la planta. Es esencial este suministro ya que los consumos eléctricos de la industria son elevados.

6.6. Recuperación de calor

También las calderas acuotubulares se encuentran presentes en alguna industrial como calderas recuperadoras, en este caso el calor residual se utiliza para elevar la temperatura del agua, es así como también se mejora la eficiencia energética y la reducción del uso de combustible.

6.7. Control de procesos

Las calderas acuotubulares están diseñadas para mantener el control del proceso en cuanto a la temperatura y la presión, es fundamental ya que se debe mantener ciertas condiciones durante todo el proceso para garantizar la calidad en el producto final.

6.8. Aumento de eficiencia energética

El diseño de las calderas acuotubulares permite ser altamente eficientes, por lo tanto, una mayor cantidad de combustible en el aumento de la producción de energía. Así también reduce costos de operación además de minimizar el impacto ambiental.

6.9. Aplicaciones especializadas

En las industrias petroquímica y farmacéuticas, las calderas acuotubulares tiene aplicaciones especializadas, esto debido a requerir vapor en altas temperaturas y alta presión, es así como se garantiza la calidad del proceso y la seguridad de los productos.

7. Calidad

Grado en el que un producto o servicio cumple con requisitos y expectativas del cliente, al ser un concepto amplio tiene múltiples aspectos los cuales son.

7.1. Calidad de producto

Son las características y atributos en el producto en el cual se cumple con las necesidades del cliente. Algunos de los aspectos que puede contener son, durabilidad, estética, rendimiento, confiabilidad.

7.2. Calidad de servicio

En ámbito servicios, la calidad hace referencia a la capacidad de la empresa para cumplir con las necesidades que solicita el cliente en cuanto a la atención, rapidez, amabilidad y efectividad. El servicio de alta calidad debe ser entregado de una manera eficiente y que el cliente se vea satisfecho con lo ejecutado.

7.3. Control de calidad

Es un proceso sistemático que es utilizado en conocer que el producto y/o servicio cumplan los estándares de calidad que fueron establecidos, algunos ejemplos pueden ser, inspecciones, evaluaciones del producto en diferentes etapas de la producción para identificar y corregir defectos.

7.4. Mejora continua

La calidad no siempre es fija, sino que está constantemente en evolución, las organizaciones deben estar siempre en la búsqueda de mejorar servicios y productos, de igual manera procesos productivos, algunas metodologías con las cuales se podría lograr son, Six Sigma, Lean Manufacturing y Total Quality Management (TQM)

7.5. Satisfacción del cliente

La calidad está relacionada siempre con la satisfacción del cliente. Un producto o servicio de alta calidad permite generar mayor satisfacción, esto puede llevar a la fidelización de un cliente y la recomendación a un público objetivo.



Ilustración 2-4: Control calidad

Fuente: Deacero Blog

8. Fabricación

8.1. Proceso de producción

implica múltiples pasos como, diseño del producto, selección de material, producción, ensamblaje, e inspección final. Cada una de estas etapas es fundamental ya que de esta manera se garantiza el cumplimiento de los estándares de calidad.

8.2. Tipos de fabricación

8.2.1. Fabricación por lotes

son cantidades limitadas de un determinado producto, esto es de un solo ciclo de producción, es uno de los métodos más comunes en las industrias, aunque siempre la demanda de productos varia.

8.2.2. Fabricación continua

Es un flujo constante de productos, es común este tipo de proceso es la industria química y alimentaria. Este método es el más eficiente para producciones de alta demanda.

10. Condiciones según decreto

De las principales condiciones se encuentra, que todo equipo que use vapor debe de tener una hoja de vida en la cual se va registrando todos los datos del equipo, "El documento debe contener una memoria explicativa en español con las especificaciones técnicas y cálculos de diseño de la caldera o autoclave, con indicaciones de las normas nacionales o extranjeras empleadas, junto a otras especificaciones." (ACHS, 2017)

Además, se encuentran ciertos requisitos que se debe de cumplir en la sala de calderas, como pueden ser distancias mínimas, señalizaciones, limpieza, etc. Así también se mencionan ciertos dispositivos de seguridad que debe tener una caldera, como válvulas de seguridad, sistemas de alarma, detector de llamas entre otras.

También los operadores y quienes realizan las revisiones deben de ser operadores certificados y autorizados por la SEREMI de salud de nuestro país, además que se les otorga un plazo de 3 años para cumplir con la experiencia y exigencia de estudio que sean solicitadas.

11. Six Sigma

Metodología de gestión en cuanto a la calidad, es utilizada para mejorar procesos, reducir la variabilidad y eliminar defectos en cuanto a la productos y servicios. El objetivo principal es alcanzar un alto nivel de calidad ya que de esta manera la ejecución de tareas y procesos logra ser más eficiente además de ser más efectivas, "seis sigmas tiene una naturaleza táctica que se enfoca a mejorar métricas de eficiencia operacional, como tiempos de entrega, costos de no calidad y defectos por unidad. Mientras que a nivel proceso seis sigmas es utilizada para reducir la variabilidad, y con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en el proceso del negocio, ..." (Pulido, 2013)

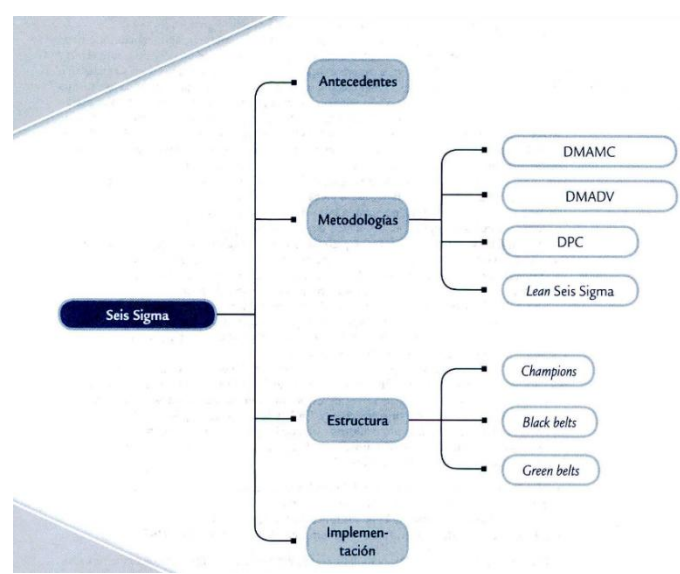


Ilustración 2-6: Six Sigma

Fuente: control estadístico de calidad y seis sigmas

Capítulo III:
Diseño y Solución

12. Justificación de la propuesta

Hoy en día el único indicador de control sobre el proceso es una estadística sobre el porcentaje de aceptación de uniones soldadas, siendo solamente la aprobación por parte de la empresa cliente la retroalimentación en el transcurso de las actividades.

Se entiende que solo es un indicador de salida, ya que durante el proceso clave de la empresa, que viene siendo la fabricación, solo se realizan inspecciones visuales antes de la aprobación y posterior envió a la zona donde se ejecuta la instalación.

Año	Uniones soldadas	Aprobadas	% Aceptación	% Rechazo	
2013	960	914	95,2%	4,8%	< 3%
2014	1096	1026	93,6%	6,4%	
2015	1058	1030	97,4%	2,6%	
2016	2066	2032	98,4%	1,6%	
2017	1804	1775	98,4%	1,6%	
2018	1565	1526	97,5%	2,5%	
2019	1401	1379	98,4%	1,6%	< 2%
2020	656	650	99,1%	0,9%	
2021	2174	2157	99,2%	0,8%	
2022	1264	1256	99,4%	0,6%	
2023	939	927	98,7%	1,3%	
2024	1134	1111	97,97%	2,03%	
2025	660	659	99,85%	0,15%	

Tabla 3-1: Porcentajes de aceptación en uniones soldadas

Fuente: Información de empresa

En la tabla se observa las cantidades de uniones realiza durante los años que se observan, siendo critico en los años 2013 y 2014 cuando la exigencia máxima de rechazo era de un 3%, a partir del año 2020 comienza una nueva exigencia donde el indicador máximo se convierte en un 2% de rechazo, siendo este incumplido en el año 2024.

El siguiente análisis justifica técnicamente la implementación del proyectó Six Sigma, contrastando la situación actual de la maestranza con los requerimientos críticos del cliente y la normativa vigente.

Análisis FODA:

- **Fortalezas (Factores internos positivos)**
 - **Posicionamiento estratégico en el rubro:** La empresa es reconocida como un socio estratégico para industrias críticas (celulosa, refinerías), lo que valida su capacidad operativa macro y experiencias de mercado.
 - **Procedimientos estándares de ejecución:** Existe una base de estandarización de procedimientos para las intervenciones y planificaciones de tareas, lo cual provee una base sobre la cual construir las mejoras de Six Sigma.
 - **Trazabilidad histórica de datos:** La organización cuenta con un registro histórico detallado de las uniones soldadas y porcentajes de aceptación desde el año 2013, pretendiendo establecer una línea base cuantitativa para el análisis estadístico.

- **Conocimiento normativo:** La empresa opera bajo el conocimiento del Decreto supremo N°10, ISO 9001, ISO 14.001 y ISO 45.001, lo que implica una cultura de seguridad y cumplimiento normativo en equipos de alta presión.
- **Flexibilidad operativa para PGP:** La organización tiene una estructura adaptada para responder a la alta demanda de las paradas general de planta, lo que indica una alta capacidad de movilización de recursos en periodos críticos.
- **Debilidades (Factores internos negativos)**
 - **Sistema de control de calidad reactivo:** El sistema actual depende exclusivamente de una inspección visual final y de la aprobación del cliente (indicador de salida), careciendo de controles intermedios preventivos durante la fabricación.
 - **Pérdida de competitividad:** La incapacidad sostenida para cumplir con la tasa de rechazo del 2% pone en riesgo la continuidad de los contratos y la adjudicación de futuras licitaciones.
 - **Deficiencia en la supervisión de taller:** Existe una brecha significativa entre la supervisión exhaustiva en terreno versus la supervisión inadecuada ("al debe") durante la fase de fabricación en taller, donde se originan errores.
 - **Incumplimientos de KPIs de calidad:** La tasa de rechazo en 2024 alcanzó un 2.03% superando el límite máximo permitido del 2%, lo que evidencia una incapacidad actual del proceso para cumplir los estándares.
 - **Fallas en la comunicación:** Existe una falta y deficiencia de comunicación entre los departamentos de la empresa, esto provoca que cambios de última hora o cambio de especificación técnicas no lleguen correctamente a taller.
- **Oportunidades (Factores externos positivos)**
 - **Implementación de metodología DMAIC:** La aplicación de Six Sigma permite atacar científicamente la variabilidad, focalizando esfuerzos en las causas de soldaduras y cortes.
 - **Integración de tecnologías de monitoreo:** Existe la oportunidad de reemplazar la inspección visual subjetiva para tecnologías de medición digital y monitoreo en las etapas de corte y soldadura.
 - **Metodología Lean Manufacturing:** El uso de herramientas Lean abre oportunidades de implementar cultura de mejora continua con enfoque en eliminar desperdicios.
 - **Tendencias hacia la sostenibilidad:** El mercado actual valora la sostenibilidad y la reducción de residuos. La empresa comercializa sus servicios como más ecológicos o eficientes en el uso de recursos.
 - **Proveedores tecnológicos:** La necesidad de incorporar tecnología genera alianzas con proveedores de equipos de soldadura, corte, etc. Que ofrezcan capacitación técnica gratuita o demos a cambio de fidelidad de marca.

- **Amenazas (Factores externos negativos)**
 - **Endurecimiento de exigencias del cliente:** Los estándares de aceptación se han vuelto más estrictos, reduciendo el margen de tolerancia de rechazo de un 3% (2013) a un exigente 2% (actual), presionando la capacidad del proceso actual.
 - **Competidores en el rubro:** Llegada de empresas nacionales e internacionales con certificaciones ISO y financieramente más grandes. Capaces de ofertar más bajo para ganar mercado.
 - **Cambios de legislación:** Cambios en la legislación de subcontrataciones que encarezcan o limiten legalmente el uso del modelo de personal eventual o transitorio, base actual de la flexibilidad operativa de la empresa.
 - **Precios en los materiales:** Una subida de precio del acero o insumos de soldadura (debido al mercado internacional) aumentan los costos al presentar un presupuesto para competir en las licitaciones.
 - **Modificación metalúrgica de caldera:** El cliente moderniza sus calderas con nuevos materiales metalúrgicos (ejemplo: Superalesaciones) para los cuales el taller no tiene procedimientos de soldadura que estén certificados, ni experiencia de esta manera quedan fuera de licitaciones.



Ilustración 3-1: Análisis FODA de la empresa

Fuente: Elaboración propia

El análisis FODA revela que la justificación central de proyecto reside en la urgencia de transformar una debilidad crítica (control de calidad reactivo y supervisión deficiente en taller) en una fortaleza operativa mediante la metodología mediante el método Six Sigma.



Ilustración 3-2: Panel de membrana para caldera

Fuente: Metro Boiler Tube

13. DMAIC

13.1. Definir

El problema en este caso se focaliza durante el transcurso de la fabricación de tubos en el taller, ya sea por cortes, debido a una supervisión inadecuada. Así también por uniones defectuosas, ya que por ejemplo el material de aporte fue preparado de manera inadecuada.

A continuación, en la fase Definir se lleva a la práctica estableciendo los límites y quienes son los responsables, además de cómo se comunican los problemas, por tanto, esto se ejecuta por medio de un documento conocido en Six Sigma como Project Chárter (acta de construcción del proyecto).



Ilustración 3-3: Trabajos en interior de caldera

Fuente Elaboración propia

Se presenta el plan de acción para gestionar de manera formal, y poner en práctica la fase definir:

Componentes de definición	Acción practica inmediata	Resultado esperado
Establecer el liderazgo y el equipo	Asignación formal del rol de líder de proyecto (Green Belt) y definición del equipo de apoyo clave (supervisores, calidad, planificación).	Definir quién es el responsable de guiar el DMAIC y asegurar el compromiso de recursos.
Redacción y aprobación del Project chárter	Documentar formalmente el problema , alcance (limites) y la meta (CTQ) del proyecto, incluyendo el impacto financiero y de tiempo.	Documento de partida que autoriza el proyecto y evita la desviación del alcance.
Mapeo de alto nivel	Crear un diagrama de suministros , insumos, proceso, productos, clientes (SIPOC) enfocado en la fabricación en taller.	Clarificar el alcance exacto del proceso (preparación y fabricación de material hasta aprobación del departamento de calidad).
Validar la voz del cliente	Confirmar que la métrica crítica es la conformidad por pieza fabricada y el estándar del cliente (98% de aceptación/2% de rechazo máximo).	Asegurar que la meta del proyecto esta alineada con la satisfacción del cliente y los requisitos contractuales.
Plan de comunicación	Establecer un cronograma de inicial para la reunión de lanzamiento del proyecto y definir los canales para informar el progreso del DMAIC a la gerencia.	Informar a la organización sobre el objetivo de implementar herramienta Six Sigma y asegurar la coordinación entre departamentos.

Tabla 3-2: Definir la implementación

Fuente: Elaboración propia

13.2. Medir

El objetivo principal de esta fase es convertir las percepciones de la brecha observada y las primeras dudas en datos y métricas claves para cuantificar la magnitud del problema.

13.2.1. Definición de la métrica de rendimiento

El proyecto se enfoca en reducir la variabilidad y los defectos en el proceso de fabricación de la maestranza, por lo tanto, la métrica de rendimiento principal debe ser el defecto con mayor impacto.

Métricas claves	Justificación y fuente de datos
Tasa de defectos en uniones de soldaduras	- Única medición actual, calculado como el porcentaje de rechazo de las uniones. - El análisis de la tabla 3-1 muestra en su base puntos críticos de incumplimiento. (6.4% en 2014, 2.03% en 2024 superando las exigencias correspondientes)
Defectos por unidad de oportunidad	- Se requiere una métrica de Six Sigma para cuantificar la calidad actual. - El DPO se establecerá para las piezas fabricadas en el taller, donde el defecto se define como no conformidad antes de la aprobación del cliente.

Tabla 3-3: Definición de métricas

Fuente: Elaboración propia

13.2.2. Establecimiento de la línea base

La línea base debe reflejar el nivel actual de rendimiento del proceso antes de cualquier intervención.

- Tasa histórica de defectos: Se establecerá la tasa de rechazo promedio de los últimos años (2022-2024) como el rendimiento actual del proceso, enfocándose en el cumplimiento del requisito máximo del 2% de rechazo.
- Defectos no registrados: Se cuantificará la brecha en la supervisión de la fabricación mediante un registro sistemático de los errores internos (los que no llegan a ser rechazo del cliente, pero causan pérdidas de materiales y tiempo). Esto atiende la necesidad de registrar los errores del personal durante el proceso de fabricación que actualmente no son medidos.

Actualmente se podrían comparar los tiempos, cantidad de piezas aprobadas, y la cantidad de capacitación que se le realiza al personal durante el año.

Por otra parte, los errores del personal durante el proceso de fabricación se presentan de distintas maneras, pero estos no son registrados por el personal de supervisión.

13.2.3. Plan de recolección de datos y herramientas

Se debe establecer un plan riguroso para la recolección de los datos que se utilizaran en la fase de análisis.

Componente	Plan de recolección de datos	Propósito six sigma
Definición operacional	Se definirán claramente los criterios de un defecto para cada proceso clave de fabricación (corte, preparación, soldadura, ensamblaje), asegurando que los supervisores registren los errores de manera uniforme.	Asegurar la consistencia en la recolección, resolviendo la inconsistencia de que los errores no son registrados por el personal de supervisión.
Estudio de capacidad	Se debe verificar la precisión y exactitud del único sistema de medición existente (la inspección de las uniones soldadas por el cliente). Si la medición actual es imprecisa, los datos históricos pierden validez.	Garantizar que el sistema de medición es confiable antes de avanzar al analizar.
Hoja de verificación	Se diseñan formatos para que los supervisores registren por 30 días las causas más probables de error, enfocándose en las categorías de, diagrama causa-efecto (personal, métodos, materiales, etc.).	Cuantificar la frecuencia de los distintos tipos de errores internos, que es la base para el diagrama de Pareto en la fase de analizar.

Tabla 3-4: Recolección de datos y propósito Six sigma
Fuente: Elaboración propia

13.3. Analizar

A continuación, se presentan datos sobre los tipos de fallos que se presentan durante el periodo de fabricación, se toma como ejemplo el año 2024 en el cual no fue cumplido el estándar del 2% de rechazo.

Tipo de error	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Defecto de soldadura (Mala técnica/Material)	180	36%	36%
Errores en corte/medición de componentes	140	28%	64%
Defectos por personal eventual (falta de experiencia)	80	16%	80%
Falta de estandarización/Procedimiento	60	12%	92%
Daño por manipulación	40	8%	100%
Total	500	100%	100%

Tabla 3-5: Cantidad de fallas en fabricación 2024
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se visualiza el diagrama Pareto con los datos que fueron observados de la tabla anterior:

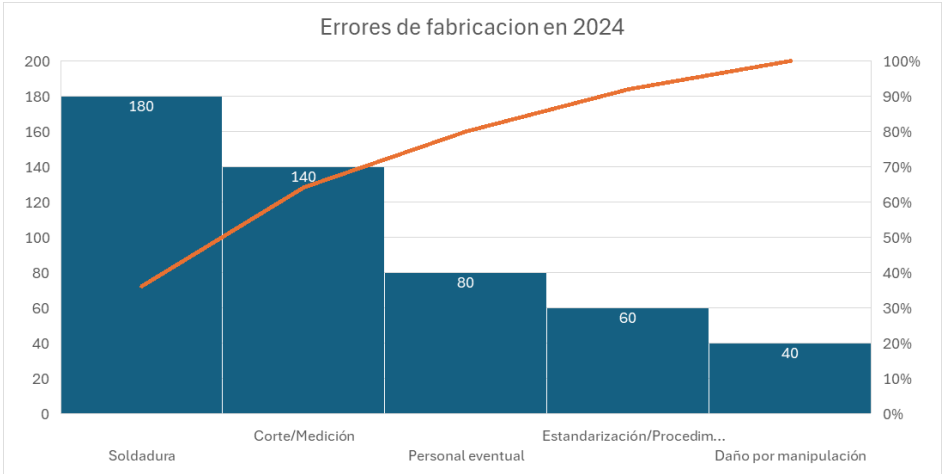


Ilustración 3-4: Diagrama Pareto caso año 2024
Fuente: Elaboración Propia

Como resultado del diagrama se demuestra que, las fallas/deficiencias de soldadura (corresponden al 36% del total de tipos de fallas) superan el 80% del total de la cantidad de falla que se producen en la fabricación realizada en maestranza.

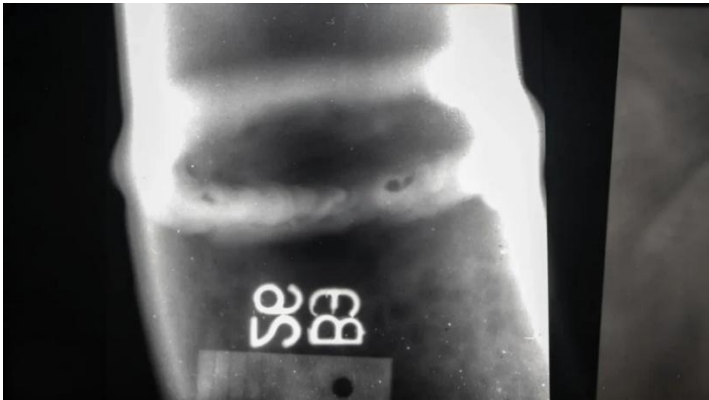


Ilustración 3-5: Radiografía a unión de soldadura

Fuente: LinkedIn

13.4. Mejorar

La fase mejorar (impone) dentro del ciclo DIMAIC es donde se diseñan, implementan y prueban las posibles soluciones que atacan directamente las causas raíz identificadas.

Por tanto, con base en la identificación de que el 80% de los defectos se consideran en los errores de soldadura y corte/medición. La argumentación para la siguiente etapa se gestiona con tres pilares de acción los cuales son:

- Tecnología y estándar.
- Competencias del personal.
- Gestión de los proyectos.

13.4.1. Enfoque en la causa raíz

El análisis Pareto demuestra que los errores de soldadura y los errores de corte/medición son las pocas causas vitales que comprometen la meta de rechazo del 2%. La solución debe atacar la causa raíz de estos errores: La supervisión inadecuada en la fabricación y la falta de experiencia del personal eventual.

Objetivo estratégico	Mejora
Conformidad por pieza fabricada (Meta: 98% sin reproceso)	• La solución establece controles de calidad integrados durante la fabricación. En lugar de una inspección visual final, se implementarán puntos de control después de cada etapa crítica (corte/medición y soldadura). • La retroalimentación inmediata al detectar alguna no conformidad debe ser implementada para evitar que el error avance en el proceso y se convierta en una pérdida de material, atacando directamente la causa monetaria del problema.
Incorporación de tecnologías de monitoreo (Meta: 70% del proceso monitoreado)	La incorporación de nuevas herramientas/equipos y en cuanto a la soldadura reemplazar la dependencia de la supervisión visual. Por ejemplo, usar medición digital.

Tabla 3-6: Enfoque a la solución

Fuente: Elaboración propia

13.4.2. Estandarización y competencia del personal

La variabilidad en el proceso se debe a la ausencia de estándares en la fabricación y a la dependencia del personal de apoyo rotativo con capacidades inciertas.

Objetivo estratégico	Mejora
Planes de formación (Meta: 85% del personal clave capacitado)	- La capacitación debe ser la acción correctiva para la de experiencia y motivación del personal. - Los planes deben enfocarse en las técnicas de preparación de material de aporte (combate soldadura) y los procedimientos estándar de corte y ensamble (combate corte/medición). Esto aumentara la eficiencia del personal, un objetivo clave en la perspectiva de proceso en el mapa estratégico.
Innovación en técnicas y herramientas (Meta: al menos tres nuevas técnicas)	Se deben estandarizar e implementar las nuevas técnicas para la preparación de las uniones de soldadura. Este objetivo garantiza que los procedimientos de intervención sean actualizados para reflejar las mejores prácticas, mitigando el riesgo de errores por métodos obsoletos o inconsistentes.

Tabla 3-7: Mejoras de capacidad

Fuente: Elaboración propia

13.4.3. Sostenibilidad y gestión del cambio

La implementación requiere un soporte estructural para asegurar que las mejoras sean sostenibles y el proceso no regrese al estado anterior.

Objetivo estratégico	Mejora
Tiempo del ciclo por pieza fabricada (Meta: Mejora 10% en un año)	La reducción de defectos automáticamente reducirá los tiempos de retrabajo, que es un desperdicio clave identificado en el mapeo de flujo de valor (VSM). Esta reducción se traducirá directamente en la meta de mejorar el tiempo del ciclo, lo que finalmente lleva a una reducción de tiempos de respuesta al cliente.
Reuniones de retroalimentación y seguimiento (Meta: Al menos 4 al mes)	- Este objetivo crea un mecanismo de control para la fase de controlar, pero su implementación comienza en esta fase. - Asegura la comunicación efectiva entre supervisores, calidad y gerencia, lo que permite la retroalimentación inmediata y la toma de acciones oportunas sobre las desviaciones, evitando que los nuevos errores se conviertan en tendencias.
Tiempos para implementar las acciones de mejoras recomendadas (Meta: 90 días)	Se establecerán cronogramas detallados para la implementación de las soluciones (capacitación, tecnologías, nuevos procedimientos) y la asignación de responsables para asegurar que el plan de acción no se estanque, garantizando la viabilidad económica al acortar el tiempo de retorno de la inversión.

Tabla 3-8: Implementación a estructura

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la propuesta de mejora, se presentan nuevos objetivos los cuales podrían ser implementados como la nueva base de la empresa, para contar con personal competitivo en cada área del proceso.



Ilustración 3-6: soldadura de tubos

Fuente LinkedIn

Objetivos se proponen con sus respectivos indicadores:

- Incorporar tecnologías de monitoreo.
- Innovación en técnicas y herramientas.
- Planes de formación.
- Tiempo para implementar acciones de mejoras recomendadas.
- Conformidad por piezas fabricadas
- Tiempos del ciclo por pieza fabricada
- Reuniones de retroalimentación y seguimiento.
- auditorías internas realizada al proceso.



Ilustración 3-7: Piezas fabricadas

Fuente: LinkedIn

Por tanto, el Mapa estratégico para la empresa se presenta de la siguiente manera:

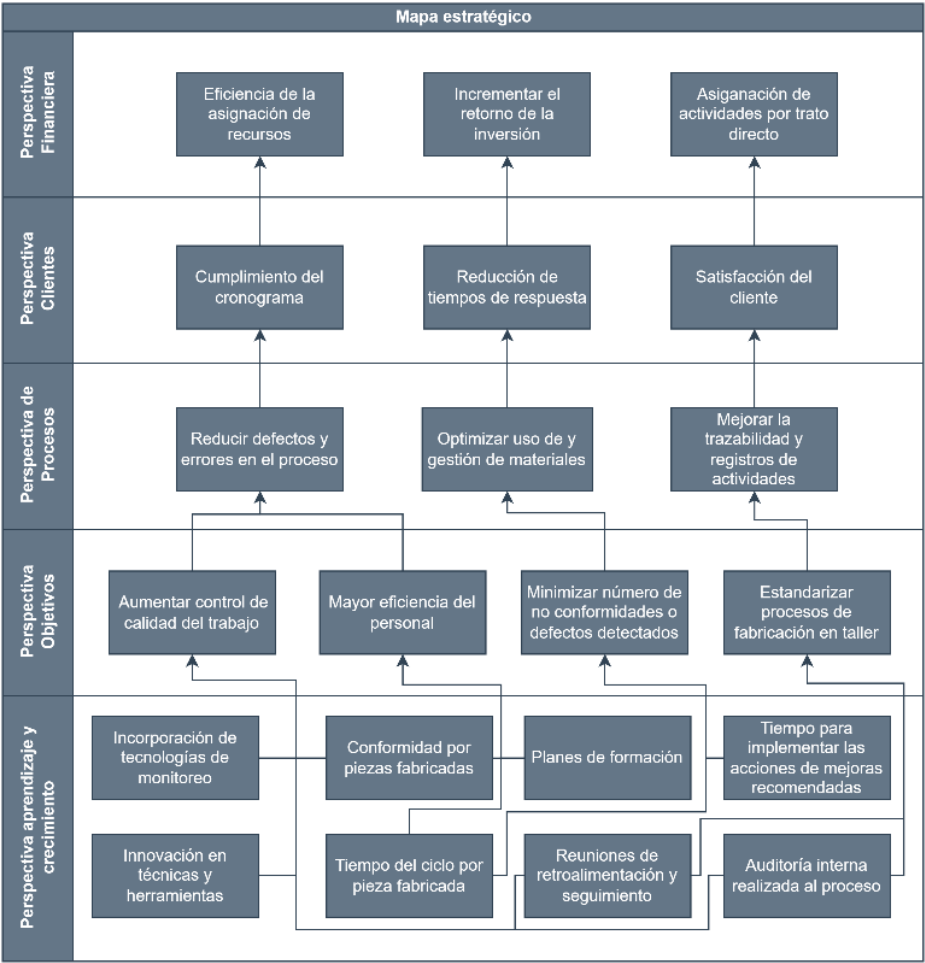


Ilustración 3-8: Propuesta de mapa estratégico

Fuente: Elaboración propia

13.5. Controlar

Esta fase es fundamental para garantizar la sostenibilidad de la mejora, para lograr los altos estándares en la fabricación, asegurando que el proceso no regrese a la condición de alta variabilidad y defectos, a continuación, se presenta como los objetivos propuestos van a ser controlados durante la implementación y ejecución.



Ilustración 3-9: soldadura en caldera

Fuente: LinkedIn

Tabla de control para el proceso de fabricación:

Objetivo estratégico	KPI	Meta	Plan de implementación	Herramientas de control
Implementación de tecnologías de monitoreo	Porcentaje de efectividad en la fabricación	70% del proceso que sea monitorizado	Realizar selección de equipos,	• Gráficos de control (SPC) • Check list
Integrar innovaciones en técnicas y herramientas	Numero de nuevas técnicas implementadas	Al menos implementar 3 nuevas técnicas	Investigación y pruebas piloto de nuevas técnicas, seguimiento y evaluación	• Matriz de priorización AMEF (análisis de modo y efecto de falla)
Implementar planes de formación	Porcentaje del personal indefinido capacitado	85% del personal clave	Diseñar plan anual de capacitación específicas, evaluación posterior	• Matriz de habilidades • Evaluaciones de desempeño • Registro de capacitación
Medir tiempos para implementar las acciones de mejoras recomendadas	Tiempo promedio desde la recomendación a la ejecución	Plazo de implementación a 90 días	Establecer cronogramas y responsables para cada acción, y seguimiento semanal	• Diagrama Gantt • reuniones de seguimiento (stand-up) • tableros Kanban
Mejorar conformidad por pieza fabricada	Porcentaje de pieza aprobada sin retrabajo	98% de las piezas	Auditorias de calidad y control de cada cuadrilla, retroalimentación inmediata	• Graficas de control P/Np • Hojas de verificación (Check Sheets)
Optimizar tiempo del ciclo por pieza fabricada	Cantidad de minutos por pieza fabricada	Mejorar en un 10% al cabo de un año	Optimización de proceso y método, análisis de cuello de botella	• Mapeo de flujo valor de valor (VSM) • Estudio de tiempos y movimientos • Diagramas de flujo detallado
Controlar a través de reuniones para retroalimentación y seguimiento	Numero de reuniones al mes	Al menos 4	Programar reuniones mensuales con supervisores, calidad, planificadores, gerencia, generar actas y toma de acciones	• Actas de reuniones (minutas) • Matriz RACI • Ciclo Deming (PHVA)
Ejecutar auditoría interna realizada al proceso	Numero de auditorías ejecutadas en un año	Mínimo 2 al año	Plan anual de auditoría interna, reporte sobre las desviaciones y correcciones	• Informes de no conformidad • Plan de acciones correctiva y preventiva • Listas de verificaciones de auditoria

Tabla 3-9: Cuadro de mando integral
Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV:

Viabilidad económica

14. Análisis Financiero

Tras el diagnostico se obtuvo que el 64% de los errores de fabricación corresponden a defectos de soldaduras y errores en cortes/medición, y con la propuesta del nuevo mapa estratégico se menciona la incorporación de tecnologías de monitoreo e innovación en cuanto a las técnicas de fabricación, por tanto, en este capítulo se evaluara la rentabilidad de dichas propuestas.



Ilustración 4-1: Cortadora de tubos orbital

Fuente: Pipe Tools

La meta es demostrar que la invención en tecnología de automatización no es solamente una mejora técnica para cumplir el estándar de rechazo menor al 2%, sino que es una decisión financiera estratégica para eliminar los costos de NO calidad siendo estos reprocesos, HH (horas hombre) perdidas y material desperdiciado.



Ilustración 4-2: Biseladora portátil PBM-1625 auto lock

Fuente: Maucotools

14.1. Estimación de la inversión inicial (Capex)

Para mitigar las causas raíz detectadas en el diagrama Pareto, a continuación, se detalla el presupuesto de inversión para la adquisición de activos fijos y capital humano. Los equipos han sido específicamente elegidos y estudiados para atacar los modos de fallas

que afecta directamente la preparación del material esto siendo causado por malas técnicas y faltas de experiencia.

Equipo / Concepto	Descripción Técnica y Justificación	Costo Estimado (USD)
Soldadora Orbital (Protorq BW2600)	Sistema portátil automático. <i>Nota:</i> Este es un "Bore Welder" (soldadura de interiores/recargue). Asumiremos que se adapta a tu necesidad de calderas (colectores) o que representa la unidad de potencia. Ataca el 36% de fallas de soldadura .	\$18.500,00
Biseladora Portátil (Maucotools PBM-1625)	Rango de trabajo para tubos de caldera típicos. Garantiza el bisel perfecto para que la soldadura orbital no falle. Ataca el 28% de errores de corte .	\$4.200,00
Cortadora Orbital (DWT Pipe Tools)	Corte en frío (Cold cut). Evita la ZAT (Zona Afectada Térmicamente) y escuadra el tubo perfectamente.	\$8.800,00
Capacitación y Certificación	Según tu tabla "Planes de formación": Meta 85% personal clave . Incluye traer un instructor para los equipos nuevos (3-5 días).	\$5.000,00
Logística e Instalación	Fletes, seguros aduaneros y montaje en taller	\$2.500,00
Insumos de Puesta en Marcha	Gases de alta pureza, tungsteno, insertos de corte para las primeras pruebas.	\$1.500,00
Total inversión inicial		\$40.500,00

Tabla 4-1: Propuesta de inversión

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones de mercado

14.2. Determinación de flujos de caja y ahorros

Para calcular la variabilidad, se contrastan los costos actuales de la NO calidad versus los ahorros proyectados por la implementación de Six Sigma y de los nuevos equipos a introducir en el proceso.



Ilustración 4-3: Soldadora orbital portátil BW2600

Fuente: Protorq

15. Costos de la situación actual

Según los datos recolectados en el año 2024, se registraron 500 fallas totales. Si consideramos un costo unitario de 200 dólares por cada falla (se incluyen HH del soldador, HH de la cuadrilla, HH del control de calidad, aporte, gas, energía), por lo que el costo anual de NO calidad se pueden observar en la siguiente tabla de manera más detallada las cuales en ese año asciende hasta un total de \$100.000 USD/Año.

Ítem	Descripción del recurso	% del costo total	Total
Mano de obra (HH)	4 horas hombre para remoción y reparación de cada falla, se considera a soldador y supervisor 25 (USD/Hrs)	50%	\$100,00
Materiales y consumibles	Material de aporte, gas de protección, discos de corte y desbaste.	20%	\$40,00
ensayos no destructivos	Costo de repetición de inspección para validar la reparación	20%	\$40,00
gastos generales	Consumo eléctrico de equipos, desgaste de maquinaria, costo de oportunidad por retraso en la planificación.	10%	\$20,00
costo por cada falla	Gasto total por cada defecto detectado en el taller	100%	\$200,00
volumen de fallas	Cantidades de no conformidades registradas en el año 2024		500
Costo total anual			\$100.000,00

Tabla 4-2: Costos de las fallas

Fuente: Elaboración propia

15.1. Proyección y análisis de ahorros

La meta del proyecto es alcanzar un 98% de conformidad. Con la implementación tecnológica, se estima una reducción conservadora del 70% en cuanto a los defectos operativos (soldadura y corte) durante el primer periodo, estabilizándose en los años siguientes.

Para esto el proyecto inicia con el año 0, el cual es el momento presente en que se ejecuta la inversión de capital (capex). En este periodo no hay ingresos, sino que una salida neta equivalente a \$40.500. Este monto financia íntegramente la adquisición de la maquina soldadora, biseladora y cortadora orbital además de la capacitación del personal. Este es el esfuerzo financiero inicial que la empresa debe de realizar para dar el paso hacia la calidad.

A partir del año 1, el flujo registra ingresos. En de optimización, estos ingresos no provienen de nuevas ventar, sino de la reducción de costos de la no calidad. Al disminuir los defectos en un 70%, la maestranza deja de perder dinero en retrabajos y materiales desechados, lo que se traduce en un ahorro bruto que comienza en \$70.000 el primer año y aumenta gradualmente hasta los \$80.000 en el año 3.

Para mantener la nueva tecnología funcionando, se proyectan gastos operativos anuales que rodean los \$6.000. posteriormente, se aplica la depreciación de los equipos. Este valor resalta exclusivamente para disminuir la base imponible frente a Servicios de

impuestos internos. Al resaltar los gastos y la depreciación de los ahorros brutos, se obtiene la utilidad antes de los impuestos, sobre la cual se calcula y descuenta la tasa de impuestos a la renta correspondiente al 27%. El resultado de esta operación es la utilidad neta post-impuesto.

Categoría	Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
ingresos operacionales	Ahorro bruto (reducción CONC)	-	\$70.000,00	\$75.000,00	\$80.000,00
Costos operativos	Mantenimiento y Opex	-	-\$6.000,00	-\$6.300,00	-\$6.700,00
Ajustes contables	Depreciación de equipos	-	-\$10.500,00	-\$10.500,00	-\$10.500,00
	Utilidades antes de impuestos	-	\$53.500,00	\$58.200,00	\$62.900,00
Impuesto	Impuesto a la renta (27%)	-	-\$14.445,00	-\$15.714,00	-\$16.983,00
	Utilidad neta post impuesto	-	\$39.055,00	\$42.486,00	\$45.917,00
Ajuste del flujo	Reserva de depreciación (no es salida de caja)	-	\$10.500,00	\$10.500,00	\$10.500,00
	Valor salvamento de equipo	-	-	-	\$6.300,00
Inversión	Inversión inicial	-\$40.500,00	-	-	-
Flujo de caja neto		-\$40.500,00	\$49.555,00	\$52.986,00	\$62.717,00

Tabla 4-3: Flujo de caja

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis del flujo de caja neto proyectado, se desprenden visiones técnicas las cuales:

- **Auto sustentabilidad financiera**: el flujo de caja demuestra que el proyecto de mejora se paga a si mismo de manera inédita. Los ahorros generados por la erradicación del desperdicio son significativamente mayores que los nuevos costos operativos asociados al mantenimiento de las maquinas.
- **Alta liquidez a corto plazo**: El hecho de que el flujo neto del año 1 supere la inversión inicial indica que el riesgo de liquidez es mínimo, la empresa recupera su capital en menos de un ciclo contable, liberando rápidamente recursos para futuras operaciones o nuevos proyectos dentro de la empresa.
- **Aprovechamiento eficiente del escudo fiscal**: La estructura del flujo ratifica una correcta planificación fiscal. La inclusión de la depreciación acelerada a tres años permite proteger las utilidades generadas por el ahorro, disminuyendo el pago de impuestos de forma legal y maximizando el dinero efectivo retenido por la empresa.
- **Factibilidad como inversión**: El flujo de caja evidencia que la maestranza se encuentre ante una ineficiencia sumamente costosa, pero fácilmente mitigable con tecnología disponible. La evaluación concluye que no automatizar e ignorar los estándares de la metodología Six Sigma resulta financieramente más perjudicial que asumir el costo de la inversión inicial que se propone.

16. Evaluación de indicadores financieros (VAN y el TIR)

Se evalúa el proyecto en un horizonte de tres años ($n=3$), correspondiente a la depreciación acelerada de la tecnológica, con una tasa de descuentos (K) del 12%, exigida por la empresa para proyectos de inversión.

16.1. Valor actual neto (VAN)

El VAN permite determinar la riqueza neta generada por el proyecto hoy en día.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -40.500 + \frac{49.555}{(1+0,12)^1} + \frac{52.986}{(1+0,12)^2} + \frac{62.717}{(1+0,12)^3}$$

Desarrolló del flujo descontado

- Año 1: $\frac{49.555}{1,12} = 44.245$
- Año 2: $\frac{52.986}{1,2544} = 42.240$
- Año 3: $\frac{62.717}{1,4049} = 44.641$

$$VAN = -40.500 + (44.245 + 42.240 + 44.641)$$

$$VAN = -40.500 + 131.126$$

$$VAN = 90.626 \text{ USD}$$

El VAN es positivo y significativo. Por lo tanto, el proyecto recupera la inversión inicial y genera ganancias adicionales de \$90.626 USD en tres años, de esta manera se valida económicamente la propuesta.

16.2. Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR representa la rentabilidad intrínseca del proyecto.

$$0 = -40.500 + \frac{49.555}{(1+TIR)^1} + \frac{52.986}{(1+TIR)^2} + \frac{62.717}{(1+TIR)^3}$$

Calculando la tasa, obtenemos que:

$$TIR \approx 113\%$$

El resultado obtenido para el TIR supera el 100%, si bien es un valor atípico en proyectos de inversión tradicional, pero en este caso es muy coherente debido a la optimización operativa que se plantea al reducir los costos de no calidad. Son tres los factores que permiten que el valor del TIR sea alto.

- **Naturaleza del proyecto**: La metodología Six Sigma no busca generar nuevos ingresos por ventas, sino eliminar ineficiencias críticas durante el proceso que actualmente disminuyen valor de las ganancias. En la situación del comienzo los reprocesos, horas hombre perdidas y ensayos no destructivos repetidos generan una fuga ya comprobada de \$100.000 USD anuales. Esta propuesta intercepta directamente esta pérdida y la convierte en flujo de caja positivo de forma inmediata, lo cual genera un alto impacto financiero.
- **Asimetría entre el Capex y Opex**: La inversión de capital requerida para la automatización y capacitación del personal asciende a \$40.500 USD. Esta inyección de capital es significativamente baja en comparación con el impacto directo en los gastos operativos, logrando ahorros brutos de \$70.000 USD solamente en el primer año. Por tanto, el margen de rentabilidad de la propuesta se dispara.
- **Comportamiento matemático del indicador**: Matemáticamente el TIR es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de caja netos futuros con la inversión inicial.

Al analizar el flujo descontado, el retorno neto solamente en el año 1 (49.555) ya es superior al desembolso inicial (40.500), dando como resultado un periodo de recuperación inferior a los 12 meses.

Por tanto, el TIR obtenido refleja una alta eficiencia al disminuir las variaciones del sistema productivo que se encuentra en operación, de esta manera la evaluación realizada da como resultado la validación financiera para implementar el modelo propuesto.

16.3. Periodo de recuperación

Dado la magnitud del ahorro anual (\$49.555 USD) frente a la inversión (\$40.500 USD):

$$Platback = \frac{Inversion\ inicial}{Flujo\ anual\ promedio} = \frac{40.500}{49.555} \approx 0,817\ Años$$

El capital invertido se recupera en aproximadamente entre 9 y 10 meses de operación, lo que cumple con la meta estratégica de acortar el tiempo de retorno de la inversión planteada en el cuadro de mando integral.

17. Análisis de inversión

El análisis económico confirma la viabilidad robusta del proyecto six sigma. En cuanto a la inversión de \$40.500 USD que se necesita para adquirir tecnología de punta y sumar la capacitación al personal es mínima comparando con el costo actual por los reprocesos que se deben realizar en el año.

Desde la perspectiva financiera, el NO implementar esta solución implica mantener una pérdida operativa que significa para la empresa \$100.000 USD de pérdida al año. Es por eso que, la propuesta no solo resuelve la problemática técnica de la tasa de rechazo del 2.03%, sino que optimiza drásticamente la asignación de recursos financieros de la empresa.

Conclusiones

La implementación de la metodología six sigma, estructurada sistemáticamente bajo el ciclo DMAIC, constituye una solución técnica y de viabilidad robusta para identificar, analizar y minimizar la variabilidad operativa en los procesos de mantenimiento sobre las calderas de alta presión.

El diagnostico cuantitativo inicial demostró que la organización operaba bajo un esquema de control de calidad reactivo basado en inspecciones visuales de salida. Esta deficiencia derivó en que durante el año 2024 se alcanzara una tasa de rechazo del 2.03% en las uniones soldadas en taller, incumpliendo el límite del 2% del departamento de calidad.

A través de la aplicación del diagrama Pareto, se determinó que el 64% de las fallas de fabricación se concentraba específicamente en defectos de soldadura (36%) y errores de corte o medición (28%).

Dichas desviaciones eran provocadas principalmente por una inadecuada supervisión en la fase de taller y falta de experiencia del personal eventual o transitorio. Estas no conformidades acumulaban una perdida real y mediable que ascendía a un costo de no calidad de \$100.000 USD anuales debido al desbaste, reprocesos de soldadura, repartición de ensayos no destructivos y retrasos en la planificación.

Desde la perspectiva económica, la adquisición de activos fijos (soldadora orbital, biseladora portátil y cortadora orbital en frio) junto con los planes de capacitación técnica especializada requiere una inversión inicial de \$40.500 USD. La evaluación financiera confirma la alta rentabilidad y la autosustentabilidad de la propuesta, con datos que arrojan una VAN de \$90.626 USD, una TIR del 113% y un Payback de 0,817 años, lo que equivale en un aproximado de 10 meses de operación.

Estos indicadores se sustentan en una proyección de reducción conservadora del 70% de los defectos desde el primer periodo y en el aprovechamiento eficiente del escudo fiscal mediante la depreciación lineal de los equipos durante los 3 años pronosticados. Por consiguiente, se concluye que el no automatizar e ignorar los estándares de calidad resulta financieramente más perjudicial para la maestranza que asumir el costo de la inversión inicial sugerida en la propuesta.

Recomendaciones

Con la finalidad de garantizar la sostenibilidad de las mejoras a largo plazo, consolidar los altos estándares de fabricación es clave, así de esta manera evitar que los procesos regresen a una condición de alta variabilidad, se plantean las siguientes recomendaciones estratégicas alineadas con el cuadro de mando integral desarrollado.

- Institucionalizar el registro de datos internos: se recomienda implementar de manera obligatoria formatos y checklist operacionales para que los supervisores registren sistemáticamente todos los errores cometidos durante la fabricación en taller. Esto ayudara a reducir la brecha histórica de fallas que actualmente no nos medidas ni contabilizadas por el personal de supervisión.
- Ejecutar planes de formación continua: Es fundamental coordinar los programas los programas de capacitación técnica enfocado en los procedimientos, estándares de corte, ensamble y preparación de material de aporte. Se debe asegurar de forma estricta la formación del 85% del personal clave con el fin de mitigar la falta de experiencia y las capacidades inciertas del personal de apoyo rotativo.
- Integrar tecnologías de monitoreo en el proceso: se aconseja incorporar herramientas mecánicas automatizadas y sistemas de medición digitales en las etapas críticas de corte y soldadura. Esta acción permitirá que al menos el 70% del proceso operativo sea monitorizado activamente, eliminando la dependencia exclusiva de la inspección visual subjetiva final.
- Acelerar la estandarización de métodos técnicos: se debe normar e implementar un mínimo de tres nuevas técnicas mecánicas para la preparación de las uniones soldadas en un plazo máximo de 90 días. Esto garantiza la actualización inmediata de los procedimientos de intervención y disminuye drásticamente el riesgo de errores por métodos obsoletos o inconsistentes.
- Sostener el rigor del mecanismo de control estadístico: se recomienda mantener de forma rigurosa un ciclo de control mediante la realización de al menos 4 reuniones mensuales de retroalimentación entre supervisores, calidad y gerencia. Asimismo, se debe ejecutar un mínimo de 2 auditorias internas al año utilizando gráficos de control (SPC) para reportar oportunamente cualquier desviación antes de que las piezas sean enviadas a terreno.

Bibliografía

- ACHS. (03 de 05 de 2017). *Los aspectos más relevantes que norman el funcionamiento de calderas*. Obtenido de achs.cl: <https://www.achs.cl/centro-de-noticias/noticia/2017/los-aspectos-mas-relevantes-que-norman-el-funcionamiento-de-calderas>
- Corp, A. (12 de 06 de 2025). *Atlas corp AB*. Obtenido de Atlas corp Ecuador: <https://www.atlascopco.com/es-ec/rental/resources/industrial-steam-guide-temperature-control/industrial-steam-boilers/how-to-select-an-industrial-steam-boiler>
- Pulido, H. G. (2013). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. Guanajuato: McGraw,Hill education.

Anexos

RG-OPER-51

Rev.1

ESTADISTICA % DE ACEPTACION UNIONES SOLDADAS

Año	Uniones soldadas	Aprobadas	% Aceptación	% Rechazo	
2013	960	914	95,2%	4,8%	< 3%
2014	1096	1026	93,6%	6,4%	
2015	1058	1030	97,4%	2,6%	
2016	2066	2032	98,4%	1,6%	
2017	1804	1775	98,4%	1,6%	
2018	1565	1526	97,5%	2,5%	
2019	1401	1379	98,4%	1,6%	< 2%
2020	656	650	99,1%	0,9%	
2021	2174	2157	99,2%	0,8%	
2022	1264	1256	99,4%	0,6%	
2023	939	927	98,7%	1,3%	
2024	1134	1111	97,97%	2,03%	
2025	660	659	99,85%	0,15%	

