



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

“2024: Año De Felipe Carrillo Puerto”

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“Reducción de defectos aplicando *Lean Six Sigma* en los procesos de fabricación de empresa Metal-Mecánica de Veracruz”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

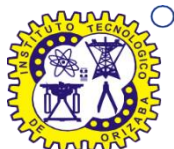
Ing. Gabriela Cabrera Betanzos

DIRECTOR DE TESIS:

M.M.A. Jorge Luis Hernández Mortera

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Ma. Eloisa Gurruchaga Rodríguez



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

Diciembre 2024



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **25/noviembre/2024**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. CABRERA BETANZOS GABRIELA
Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE

De acuerdo con el reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

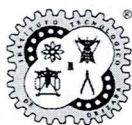
**"REDUCCIÓN DE DEFECTOS APLICANDO LEAN SIX SIGMA EN LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN DE EMPRESA METAL-MECÁNICA DE VERACRUZ"**

Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OLE/magh



OG-13-F06

Av. Oriente 9 Núm. 852 Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba Veracruz Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: depi_orizaba@tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx





TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba Veracruz, 18/noviembre/2024.

Asunto: Revisión de trabajo escrito

C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.:

CABRERA BETANZOS GABRIELA

La cual lleva el título de:

REDUCCIÓN DE DEFECTOS APLICANDO LEAN SIX SIGMA EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE EMPRESA
METAL-MECÁNICA DE VERACRUZ

y concluyen que se acepta.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: M.M.A. JORGE LUIS HERNÁNDEZ MORTERA

SECRETARIO: DRA. MA. ELOISA GURRUCHAGA RODRÍGUEZ

VOCAL: DR. OSCAR BAEZ SENTIES

VOCAL SUP.: DR. MIGUEL JOSUÉ HEREDIA ROLDÁN

FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA

TA-09-F18



Av. Oriente 9 Núm. 852 Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba Veracruz Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: depi_orizaba@tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx



2024
Felipe Carrillo
PUERTO

Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 25 del mes de noviembre del año 2024.

La que suscribe

C. Gabriela Cabrera Betanzos

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 165 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada:

“REDUCCIÓN DE DEFECTOS APLICANDO LEAN SIX SIGMA EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE EMPRESA METAL-MECÁNICA DE VERACRUZ”

del programa: **Maestría en Ingeniería Industrial** bajo la asesoría y dirección del M.M.A. Jorge Luis Hernández Mortera y la DRA. Ma. Eloisa Gurruchaga Rodríguez y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Nombre y firma


Gabriela Cabrera Betanzos

Agradecimientos

Ahora que culmina un proyecto más en mi vida personal, quiero expresar mis profundos agradecimientos a quienes compartieron algún momento en este proceso tan importante para mí haciéndome sentir acompañada aún sin una compañía directa.

Mi gratitud principal es con el creador de lo imposible: posible, por ponerme en este camino y no soltarme, haciendo que este ciclo culmine de manera como inició, perfecta.

A mi padre, porque a pesar de su partida, dejó un legado importante en mí, haciendo que sus enseñanzas se vean convertidas en esfuerzo para superar cada obstáculo y continuar en la búsqueda del conocimiento, emprendiendo un camino orientado al aprendizaje y superación personal.

A mi madre, por ser mi sustento en este largo proyecto llamado vida, por apoyarme en todo y en cada momento seguir a mi lado, por ser mi pilar, mi motor y mi guía en la tierra, porque gracias a su amor y oraciones me siento confiada y protegida.

A mi hija y mi familia en general, que con el simple hecho de estar a mi lado me hacen sentir que puedo con todo, a hacerme entender que siempre hay soluciones a todo y que, con esfuerzo, y ganas de querer hacer las cosas, puedo lograr lo que me proponga.

A mis mentores y guías en el proceso de la maestría:

Dr. Luis Carlos Flores Ávila, por compartir conmigo de la mejor manera sus conocimientos, sus experiencias, y parte de lo que es el paso por la vida terrenal, dejándome no solo buenas y grandes lecciones académicas, sino también de la vida misma, y tomar todo siempre de la mejor manera posible.

A mi estimado y muy apreciado Director de Tesis el Maestro Jorge Luis, gracias a sus conocimientos lograron despertar en mí el interés por la metodología implementada en la presente tesis,

por ser mi guía académico, por la dedicación y disponibilidad para apoyarme y orientarme hasta la culminación de mi paso por el posgrado, haciéndome desear encontrar más facilitadores de conocimiento con la sabiduría y una manera muy especial para transmitir el conocimiento y, ver que la calidad de la educación en México mejora con un buen ejemplo.

Dra. María Eloisa, por enseñarme, complementar y reforzar todo conocimiento relacionado con la calidad en ingeniería industrial, porque con toda su experiencia y conocimientos hicieron darme cuenta que mi enfoque es la mejora continua, y quiero seguir aprendiendo de ello.

A cada uno de los profesores que compartieron parte de sus conocimientos durante cada fase del proceso dejándome lecciones sabias no solo académicas, también experiencias de vida.

A la Licenciada Alejandra Canales, que gracias a la confianza que depositó en mí desde el primer encuentro, logró que la realización del proyecto tuviera un final gratificante y satisfactorio al facilitarme la información y los medios a su alcance para que todo saliera de la mejor manera posible.

En general, quiero agradecer al Instituto Tecnológico de Orizaba, al CONAHCYT por facilitarme los medios para que la realización de este proyecto tuviera un desenlace grato y provechoso. Porque, no solo encontré en el paso a buenos estudiantes, y excelente nivel docente, sino buenos compañeros, pues me llevo no solo un proyecto final de grado, sino, muy buenos amigos.

Tabla de contenido

Índice de ilustraciones.....	7
Resumen.....	10
Abstract.....	13
Capítulo 1. Antecedentes	16
1.1 Estado del Arte.....	16
1.1.1 La Investigación en artículos científicos	17
1.1.2 La Investigación en tesis	20
1.1.3 La industria metalmecánica en México.....	29
1.2 Problema específico a Resolver	30
1.3 Marco Geográfico	31
1.4 Grupo Constructo.....	32
1.5 Objetivos y beneficios.....	35
1.5.1 Objetivo General	35
1.5.2 Objetivos particulares.....	35
1.6 Justificación	35
Impacto socioeconómico del trabajo.....	37
1.7 Determinación del tipo de investigación.....	37
1.8 Hipótesis.....	39

Capítulo 2. Marco Teórico	40
2.1 <i>Six Sigma</i>	40
La Filosofía Seis <i>Sigma</i>	41
La Métrica Seis <i>Sigma</i>	41
2.2 <i>Lean manufacturing</i>	45
2.3 <i>Lean Six Sigma</i>	47
Tipos de Residuos	49
Herramientas Lean para lograr las mejoras	52
2.4 Metodología <i>R-DMAIC</i>	54
2.4.1 Fase Reconocer:	55
2.4.2 Fase Definir:	62
2.4.3 Fase Medir	64
2.4.4 Fase Analizar	71
2.4.5 Fase Mejorar	77
2.4.6 Fase Controlar	79
Método	82
Capítulo 3 Desarrollo del proyecto	85
3.1 Fase Reconocer	85
3.3 Fase Medir	98
3.4 Fase Analizar	113

3.5 Fase Mejorar	129
3.6 Fase Controlar	138
Capítulo 4 Resultados	142
Anexos	154
Anexo 1	154
Anexo 2	155
Anexo 3	160
Referencias.....	162

Índice de ilustraciones

Ilustración 1	Macrolocalización de Grupo Constructo S.A de C.V	31
Ilustración 2	Microlocalización de Grupo Constructo S.A de C.V	32
Ilustración 3	Procesos tres <i>sigma</i> y seis <i>sigma</i>	43
Ilustración 4.	Adaptación de la Casa de producción Toyota.....	47
Ilustración 5	Elementos que componen la matriz FODA ó DAFO.....	57
Ilustración 6	Definición gráfica de Linealidad y Sesgo	66
Ilustración 7	Definición Gráfica de Repetibilidad	68
Ilustración 8	Definición gráfica de Reproducibilidad	69
Ilustración 9	Diagrama de procesos del método de trabajo.....	84
Ilustración 10	Análisis FODA de empresa metal-mecánica en Veracruz.	86
Ilustración 11	Análisis PESTEL de empresa metal-mecánica de Veracruz.....	89
Ilustración 12	Resumen de tiempos en el área de Soldadura.	91
Ilustración 13	Resumen de toma de tiempos del proceso de corte.....	91
Ilustración 14	Resumen de toma de tiempos del proceso de Armado.....	92
Ilustración 15	VSM de estado actual de la empresa metal-mecánica.	93
Ilustración 16	Reporte de no conformidad hacia el área de soldadura.....	95
Ilustración 17	Diagrama SIPOC de empresa metalmecánica	96
Ilustración 18	Diagrama SIPOC de empresa metal-mecánica	96
Ilustración 19	Carta del proyecto en empresa metalmecánica.	97
Ilustración 20	Partes de una junta en filete.....	99
Ilustración 21	Registro de mediciones de piernas y gargantas de soldadura, elaboración propia.....	99
Ilustración 22	cálculo del rango de las mediciones de pierna de soldadura.....	101

Ilustración 23	Cálculo del rango de mediciones de garganta de soldadura.....	101
Ilustración 24.	Gráfico de control de Rangos de las medidas de garganta de soldadura.....	102
Ilustración 25.	Reglas de Western Electric (criterios para causas especiales)	102
Ilustración 26	Gráfico de control de Rango de las medidas de pierna de soldadura.....	102
Ilustración 27	Gráfico de Control de medias ($\bar{X}$) de las mediciones de Piernas de soldadura.....	104
Ilustración 28	Gráfico de Control de medias ($\bar{X}$) de las mediciones de Garganta de soldadura.....	104
Ilustración 29	Media, varianza, y desviación estándar de mediciones de piernas de soldadura.....	106
Ilustración 30	Resumen de análisis de capacidad de proceso para piernas.	110
Ilustración 31	<i>Resumen de análisis de capacidad de proceso para garganta.....</i>	111
Ilustración 32	Árbol de causas y efectos primer nivel	114
Ilustración 33	Detección de Causas Raíces “pieza completa de mala calidad”, segundo nivel.	115
Ilustración 34	Detección de Causas Raíces “inspección débil”, segundo nivel. ...	116
Ilustración 35	Detección de Causas Raíces “Falla en soldadura”, segundo nivel	117
Ilustración 36	Detección de Causas Raíces “diferencias en medidas de juntas”, segundo nivel.	118
Ilustración 37	Escala de comparación de Saaty.	119
Ilustración 38	Matriz de Vester.	121

Ilustración 39	Matriz normalizada	121
Ilustración 40	Clasificación de las causas raíces.	123
Ilustración 41	Resultados de la comparación por pares de causas raíces, expresados en porcentaje.	124
Ilustración 42	Formato de defectos, acciones, correctivas y preventivas	128
Ilustración 43	AMEF empresa metalmecánica	129
Ilustración 44	Formato para inspección de soldadura.....	131
Ilustración 45	Formato ajustado para la medición de juntas de soldadura.....	132
Ilustración 46	Reporte de inspección visual por turno	134
Ilustración 47	Infografía de criterios de aceptación en soldadura.....	135
Ilustración 48	Análisis de la capacidad de proceso después de las mejoras para piernas.	136
Ilustración 49	Análisis de la capacidad de proceso después de las mejoras para garganta.....	137
Ilustración 50	plan de acción para llevar a cabo la realización de una auditoría interna.....	141
Ilustración 51	Apartado agregado en el manual de calidad de la empresa.....	143
Ilustración 52	Incorporación de formato de mediciones al Manual de Calidad...	144
Ilustración 53	Incorporación de formato para registrar los defectos al M.C.....	145
Ilustración 54	Incorporación de Formato de datos cuantificables de defectos al M-C.	145
Ilustración 55	medición y evaluación de juntas de soldadura.....	154
Ilustración 56	Infografía de defectos de soldadura parte 1	160
Ilustración 57	Infografía de defectos de soldadura parte 1	160

Resumen

El desarrollo de la metodología *Lean Six Sigma* se ha empleado en empresas del sector privado, desarrollando fases de la metodología R-DMAIC (Reconocer, Definir, Medir, Analizar, Mejora, Control). Para la industria metalmecánica en México, hay pocos casos documentados en tesis o revistas aplicando la metodología descrita, siendo este sector el de mayor aplicación de metodologías para el desarrollo de mejora en los procesos, la Industria en México aporta entre el 12% y el 14% del PIB a nivel nacional.

En la actualidad la industria del sector manufacturero va en crecimiento, permitiendo la integración de cadenas globales para la construcción de transporte con el desarrollo de nuevas tecnologías y proyectos que abarcan al sector metalmecánico, al ser un beneficio para el crecimiento del país, debe cumplir con estándares altos en calidad.

Por ello, la presente tesis muestra la metodología empleada en una empresa de este sector en la zona centro del estado de Veracruz. Al ser una empresa que también tiene proyectos con clientes internacionales, tienen la necesidad de la satisfacción total, sin embargo, para lograr los objetivos por proyectos llevan a cabo retrabajos y desperdicios de material, tiempo, mano de obra.

Este trabajo contempla cuatro capítulos. En el capítulo 1, se presenta los antecedentes, iniciando con las investigaciones en artículos, libros, revistas donde la metodología *Lean Six Sigma* se haya implementado, se determina el marco geográfico y giro de la empresa, así mismo se plantea el objetivo general y objetivos particulares del proyecto de tesis para establecer el alcance del proyecto, así como el tipo de investigación, y se establecen las hipótesis.

El capítulo 2 presenta el desarrollo del marco teórico, con las definiciones de la metodología descrita anteriormente y cada fase de R-DMAIC, previo al inicio del desarrollo

del proyecto se construye el método como guía de implementación, describiendo las herramientas que se presentan en el proyecto.

Durante el desarrollo del proyecto en el que se enfoca el capítulo 3, se despliega cada una de las fases, en la fase R se presentan los estudios previos para conocer el comportamiento y panorama general de la empresa, en la fase D, se elabora la carta de proyecto para establecer el área de enfoque y el diagrama SIPOC, para conocer los procesos y las partes interesadas.

La fase M es el centro de la metodología porque se realizaron estudios y mediciones que ayudó a comprender cuantitativamente la situación actual mediante estudio R&R por atributos, cálculos mediante capacidad de proceso para las medidas de piernas y gargantas de soldadura, concluyendo que el proceso tiene la capacidad para cumplir con las especificaciones.

En la fase Analizar, se determinaron 10 causas raíces con apoyo del diagrama de árbol y los 5 porqués, apoyado del diagrama de Vester se encontraron 4 causas prioritarias y se determinó la causa más importante.

En la fase de Mejora, se realizaron nuevos formatos, una infografía y un manual de defectos presentados en el proceso de soldadura, que permitieron cumplir con las especificaciones requeridas para el analista al momento de tomar mediciones para el control de las juntas de soldadura (garganta y pierna), se realizó un AMEF priorizando la severidad de daños que pueden ocurrir en cada etapa del proceso.

Para la fase Control se realiza un plan para llevar a cabo una auditoría interna y reuniones que permitan conocer los avances y retrasos generados en cada proyecto, realizando un acta de hechos en cada reunión.

Los resultados obtenidos en la implementación de *Lean Six Sigma* fueron satisfactorios, ya que permitió disminuir el porcentaje de DPMO tanto en mediciones de gargantas como en piernas de soldadura, demostrando que la metodología si redujo el porcentaje de defectos y aumentó el nivel de *sigma* de los procesos de soldadura, apoyado de herramientas de ingeniería industrial.

Este proyecto, resulto eficiente, y cada formato e ilustración elaborado, permitió a la alta dirección conocer a detalle la situación en que se encontraba su empresa y la evolución en el proceso que se presentó en el área de soldadura, teniendo un nivel alto de satisfacción con el proyecto de tesis realizado.

Abstract

The development of the Lean Six *Sigma* methodology has been used in private sector companies, developing phases of the R-DMAIC methodology (Recognize, Define, Measure, Analyze, Improve, Control). For the metalworking industry in Mexico, there are few cases documented in theses or journals applying the methodology described, this sector being the one with the greatest application of methodologies for the development of improvement in processes, the Industry in Mexico contributes between 2% and 4% of the GDP at the national level.

Currently the manufacturing sector industry is growing, allowing the integration of global chains for the construction of transport with the development of new technologies and projects that cover the metalworking sector, being a benefit for the growth of the country, it must meet high quality standards.

Therefore, this thesis shows the methodology used in a company in this sector in the central area of the state of Veracruz. Being a company that also has projects with international clients, they have the need for total satisfaction, however to achieve the objectives by projects they carry out rework and waste of material, time, labor.

This work includes four chapters. In chapter 1, the background is presented, starting with the research in articles, books, journals where the Lean Six *Sigma* methodology has been implemented, the geographical framework and line of business of the company is determined, as well as the general objective and particular objectives of the thesis project to establish the scope of the project as well as the type of research. and the hypotheses are established.

Chapter 2 presents the development of the theoretical framework, with the definitions of the methodology described above and each phase of R-DMAIC, prior to the start of the

development of the project the method is built as an implementation guide, describing the tools that are presented in the project.

During the development of the project on which chapter 3 is focused, each of the phases is deployed, in phase R the preliminary studies are presented to know the behavior and general panorama of the company, in phase D, the project charter is prepared to establish the area of focus and the SIPOC diagram, to learn about processes and stakeholders.

The M phase is the center of the methodology because studies and measurements were carried out that helped to quantitatively understand the current situation through R&R study by attributes, calculations by process capacity for the measurements of welding legs and throats, concluding that the process has the capacity to meet the specifications. In the Analyze phase, 10 root causes were determined with the support of the tree diagram and the 5 whys, supported by the Vester diagram, 4 priority causes were found and the most important cause was determined.

In the Improvement phase, new formats were made, an infographic and a manual of defects presented in the welding process, which allowed to comply with the specifications required for the analyst when taking measurements for the control of the welding joints (throat and leg), an FMEA was made prioritizing the severity of damage that can occur at each stage of the process.

For the Control phase, a plan is made to carry out an internal audit and meetings that allow us to know the progress and delays generated in each project, making a record of facts at each meeting.

The results obtained in the implementation of Lean Six *Sigma* were satisfactory, since it allowed to reduce the percentage of DPMO both in measurements of weld throats and legs,

demonstrating that the methodology did reduce the percentage of defects and increased the *sigma* level of the welding processes, supported by industrial engineering tools.

This project was efficient, and each format and illustration elaborated, allowed the senior management to know in detail the situation in which their company was and the evolution in the process that was presented in the welding area, having a high level of satisfaction with the thesis project carried out.

Capítulo 1. Antecedentes

En la actualidad donde se conectan diferentes tipos de mercados, las empresas buscan diversificar su producción, indagan en innovaciones para sobresalir ante su competencia, se interrelacionan de manera que se diversifican con nuevas tecnologías y nuevas actividades económicas. Implementar métodos para aumentar su productividad y eficiencia resulta ineludible para las empresas, puesto que, la competencia diaria, obliga continuamente a la búsqueda de hacer las cosas mejor, con menor costo y de calidad superior.

El proceso de fabricación de estructuras metálicas de Grupo Constructo S.A de C.V, tiene como objetivo general establecido en el manual de procedimientos, eliminar las desviaciones en el proceso de fabricación, estandarizando los procesos principales por los cuales pasan generalmente las estructuras fabricadas.

Con base en los reportes generados por el área de calidad de la empresa con respecto a las pruebas no degenerativas para estructuras, estima que durante los procesos se han realizado retrabajos que han generado pérdidas como: tiempo, dinero esfuerzo, trabajo. Esto se vuelve un área de oportunidad para implementar un método para lograr la mejora continua, ya que los retrabajos generan un impacto negativo visible en los sobrecostos al final del proyecto, los cuales en diversas ocasiones son absorbidos por la empresa y no por los clientes

1.1 Estado del Arte

La presente investigación tiene como soporte la revisión de la literatura que permite analizar diversas aplicaciones e implementaciones del modelo *Lean Six Sigma* en diversos escenarios en empresas situadas a nivel mundial. La consulta de las investigaciones encontradas servirá de apoyo para tener un panorama general de las empresas donde se ha aplicado dicho modelo.

También permite tener una perspectiva general del impacto que dicho modelo ha generado en las empresas que tras la búsqueda de ser más eficientes y eficaces para lograr un mejor lugar de posicionamiento competitivo y con ello aumentar sus utilidades, dichas empresas optan por emplear diversas herramientas seleccionadas, utilizadas en la filosofía Lean y la metodología Seis *sigma*.

Para la realización del presente proyecto se llevó a cabo una investigación del estado del campo y se revisó un total de 20 trabajos, los 6 más relevantes al tema son:

1.1.1 La Investigación en artículos científicos

Caso 1: En la revista *Industrial Engineering and Service Science* 2015, IESS 2015. Los autores (Indrawati & Ridwansyah, 2015) de Yogyakarta Indonesia, mencionaron en su publicación “*Manufacturing continuous improvement using Lean Six Sigma : An iron ores industry case application*” que la capacidad del proceso de fabricación en la industria de los minerales de hierro es un factor importante para la continuidad del negocio. En el estudio detectaron que existen algunos problemas en el proceso de manufactura que impiden cumplir con la producción estimada.

En la etapa preliminar, los autores realizaron un análisis mediante un mapeo de procesos, seguido de un análisis modal de falla y efecto, mostraron que se presenta un nivel de calidad de 2.39 *Sigma*. Mediante un VSM (*Value Stream Mapping*) demostraron que hay un 33.67% de actividad sin valor agregado y un 14.2% de actividad no necesaria de valor agregado que ocurre durante el proceso de fabricación.

Según el análisis, los defectos del producto, el procesamiento inadecuado y la espera son los residuos de fabricación que se producen con frecuencia. Se desarrolla un programa de mejora continua para superar ese problema. El programa consiste en el rediseño del colector de polvo del conducto, el pesaje de los procedimientos de operación estándar, la

instalación BC 05, la instalación del medidor de vibración y la instalación de la planta de nitrógeno por medio del proceso de implementación de *Lean Six Sigma*, DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve y Control*)

Caso 2: En la revista *Journal of Physics: International Conference on Mathematics: Pure, Applied and Computation*: 2018, los autores Witantyo and David Setyawan en su publicación “*Enhancement of Efficiency and Reduction of Grid Thickness Variation on Casting Process with Lean Six Sigma Method*” en Indonesia. (Witantyo & Setyawan, 2018) Dónde el objetivo principal era la mejora de la eficiencia y la reducción de la variación del espesor de la rejilla en el proceso de fundición con el método *Lean Six Sigma*.

Durante la fase Definir identificaron el nivel de eficiencia en el proceso de fundición encontrando un área de oportunidad en las varillas de 4/6. En la fase Medir se demostró que solo dominan 3 defectos principales, que son el problema de la rejilla frágil, agujereada y agrietada.

La etapa de análisis es donde se inspecciona la causa raíz del problema, mediante 5 W's para ayudar a encontrar la raíz del problema que ocurre en el proceso de lanzamiento la raíz del problema y la falla potencial se utilizarán para determinar la formulación del plan de acción para mejorar el proceso de fundición.

La sugerencia de mejora dada consiste en dar una nueva recomendación de temperatura, limpiar el cucharón de la escoria, dar cobertura en el cucharón para evitar la escoria y la recomendación del estándar del proceso de encorchado. Después de que se ha realizado el plan de acción, la variación de espesor en la rejilla del resultado del proceso de fundición disminuyó y el nivel de defecto en el proceso de fundición está disminuyendo de 9,184% a 0,492%.

En conclusión, la utilización de Six *Sigma* mediante el método DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve y Control) y sus herramientas redujo significativamente el defecto más pronunciado en el proceso de fundición.

Caso 3: En la revista IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering* 2020 los autores Anshula Garg, Kalhan Raina, Richa Sharma en su publicación “*Reducing soldering defects in mobile phone manufacturing company: a DMAIC approach*” (Garg et al., 2020) realizaron un estudio de caso en una industria de fabricación de productos electrónicos dedicada al ensamblaje de teléfonos móviles en la India.

La fase definir durante el análisis de VOC (Voz del cliente) se encontró que casi el 20 por ciento de los teléfonos con funciones regresaron del mercado debido a la falla funcional de LCD (*liquid-crystal display*) y cámara. La causa de este problema fueron principalmente los malos procesos seguidos durante estas etapas de soldadura por arrastre. La oportunidad aquí fue crear un proceso estándar para las etapas de soldadura para ayudar a frenar los defectos en un 100%.

Medir: consistió en recopilar y medir datos de rendimiento para estimar la capacidad del proceso y el nivel *sigma* del sistema actual. Los datos brutos se recopilaron de los tres turnos durante un período de 12 semanas para medir la cantidad de defectos que se producían.

Analizar: Identificaron la causa raíz de los problemas para Priorizar oportunidades para mejorar se apoyaron de Diagrama de causa y efecto, Histogramas, Diagrama de Pareto. Las caminatas de GEMBA (el verdadero lugar) en el taller fueron realizadas por los miembros del equipo en cuanto a turnos, líneas, operadores.

Mejorar: se Desarrollaron e implementaron planes de mejora con apoyo de Lluvia de ideas DOE (Diseño del experimento) FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)

Control: se Prepararon hojas de verificación, Gráficos de control, Análisis del sistema de medición (MSA) para Controlar y estandarizar.

Explicaron la herramienta DMAIC en su totalidad y como se utiliza para contrarrestar los problemas de soldadura eliminando el desperdicio al reducir los defectos de soldadura de 3800 ppm a 200 ppm con el propósito de acercarse a un nivel de calidad de Seis *Sigma* en los procesos de soldadura. “No es una herramienta independiente y, por lo tanto, utiliza una combinación de varias herramientas, a saber, DMAIC, PFMEA, control de calidad, lo que sea, lo que lo convierte en un paquete robusto para mejorar el proceso y, por lo tanto, brindar satisfacción al cliente por excelencia.”(Garg et al., 2020)

Donde concluye que la implementación de *Six Sigma* requiere invertir tiempo, dinero y esfuerzo, pero sin duda aumenta el nivel de la empresa en cuanto a calidad.

1.1.2 La Investigación en tesis

Caso 1: En la Tesis “Implementación de herramientas *Lean Manufacturing* en una empresa metalmecánica” presentada por Héctor Daniel Cruz Rivera, de la UNAM en el año 2018 realizó una investigación en Industrial Afiliada S.A de C.V que es una empresa de grupo Carso ubicada en Naucalpan de Juárez, Estado de México. (Profesionales et al., 2018)

El problema principal consta de retrasos en entrega y órdenes canceladas que corresponde un 57% de la producción en un año, para ello se implementó el método DMAIC junto a otras herramientas de Calidad y Administrativas. A continuación, se resume la implementación.

El Autor elaboró un SIPOC (*Supplier, Inputs, Process, Output, Customers*) dónde representa de forma gráfica los pasos de los procesos, y analizar mediante VOC (*Voice of Client*) dónde se determinaron factores que afectan de manera directa a los clientes, seguido

de una matriz de priorización dónde se clarificó la entrada que más afectaba a los CTQ's (*Critical to Quality*) es Producción, aquí concluye la fase Definir.

En la fase Definir se estableció la medida de eficacia DPMO (defectos por millón de oportunidades) para calcular el nivel *Six Sigma* dónde se encontraba la empresa, y con un histórico de producción de 1 año completo mediante un análisis de Pareto se analizaron las frecuencias del por qué se cancelaban las órdenes, seguido del gráfico, con esto se identificó que los principales problemas fueron el tiempo de producción y falta de planos.

Mediante la siguiente fase: Analizar, se elaboró un diagrama de Causa-Efecto, y determinaron las causas raíces de los dos problemas principales de la fase anterior.

En la etapa de Mejorar, mediante una lluvia de ideas se buscaron soluciones que atacaran de raíz a los problemas que más impactan al proceso. Se analizó detalladamente cuál de los problemas podrían ser atacados primero, se llegó a la conclusión que debido a que representa la mitad del proceso se debía atacar el área de producción. Para ello se decide realizar una estandarización del proceso, evitar retrabajos, evitar los 9 desperdicios y evitar operaciones innecesarias. El proyecto consistió en balancear de manera eficaz la línea de producción del gabinete de Transmisión *outdoor gut*, de manera que pueda hacerse más óptima y eficiente cumpliendo con los requerimientos y estándares establecidos.

Para la fase de Control, una vez balanceada la línea, se plantea un estándar de producción para este producto, el cual determina cuándo empieza y termina un proceso. Se logró disminuir el tiempo de producción en el área que presentaba un mayor retraso, el nivel *sigma* aumentó de 3.2 a 3.3 lo cual, aunque parece poco en realidad es una cifra importante considerando el estado actual de la organización.

Caso 2: En el siguiente proyecto de Tesis “Implementación de la metodología *Lean Six Sigma* en la línea de producción de ductos de lámina galvanizada para aire acondicionado en la empresa Secar S.A de la ciudad de Cali.” Escrito por Daniel Arango Tascón y Jhony Álvarez Arcos 2020, en Cali Colombia, (Arango, Daniel; Alvarez, 2020) dónde describen un desperdicio del 20% en materia de cada proyecto, lograron identificar dos factores fundamentales críticos para la productividad de la compañía. El primero fueron los cambios requeridos por el cliente que generan reprocesos y pérdidas de material y tiempo. El segundo factor se sitúa en la línea de producción de ductos de lámina galvanizada que genera un alto desperdicio de materia prima.

Los autores proponen la realización de un diagrama de Pareto para categorizar y ordenar las principales causas que influyen en el desperdicio de la materia prima en la línea de producción. Siendo el error de corte del operario el que proporciona la mayor cantidad de defectos.

Luego de determinar los factores más influyentes los autores proponen como alternativa de solución la adaptación de la línea de producción a la metodología *Lean Six Sigma*, DMAIC y TPS (*Toyota's production system*) guiándose en sus lineamientos.

Para la elaboración de la primera fase del proyecto que se basa en la toma de datos, se utilizaran los análisis y estudios realizados por la compañía.

Después de finalizada esta fase se analizaron los datos obtenidos realizando una depuración de la información a través de un diagrama de Pareto, se determinaron las variables que más influyen en los desperdicios de materia prima en el proceso, terminado este paso se encontró la causa raíz de los inconvenientes, implementando un análisis de Ishikawa.

Comenzaron con la implementación de *Lean Six Sigma* mediante 5'S, limpiaron el área de trabajo, continuaron con la redistribución de las máquinas de la línea de producción,

evitando desplazamientos largos. Después realizaron la toma de datos nuevamente al área de ductos arrojando una reducción de desperdicios de 20% a un 6.1%.

Caso 3: la siguiente Tesis es del año 2020, en Lima Perú, escrito por Canahua Apaza, Nohemy Miriam con el tema: “Propuesta de mejora en el área de producción en una empresa metalmecánica utilizando *Lean Six Sigma* ” el objetivo principal fue desarrollar una propuesta de mejora en el área de producción de la empresa metalmecánica FRESEP SAC utilizando la metodología *Lean Six Sigma* por medio del ciclo DEMAIC, con apoyo de herramientas como pokayoke para reducir los reprocesos en producción, VSM para identificar cuellos de botella y heijunka (nivelación), para equilibrar la producción disminuyendo cuellos de botella.

En primera instancia, se realizó el diagnóstico donde se detectó la existencia de una demora en la entrega de los productos terminados originados específicamente por la demora en los procesos de producción. En el año 2018 hubo un aumento de 11.03% de entregas a tiempo con respecto al año anterior, el total de penalidades para el año 2018 fue de \$185,500.30 pesos mexicanos aproximadamente, equivalente al 6.928% del total de sus ventas.

Posterior a las cifras se elaboró un diagrama de control mostrando que el proceso se encuentra fuera de control estadístico, lo que indica que los operarios utilizaban más tiempo del requerido para la cantidad de productos en producción.

Los resultados arrojados por el VSM muestran el impacto económico por cuellos de botella anual equivalente al 5.73% de las ventas totales. Los productos no conformes se analizaron por medio del cálculo DPMO (defectos por millón de oportunidades) y el nivel de

Six Sigma (DPO), observando que el valor DPMO es de 502,677 y el nivel *Six Sigma* es de 1.493, lo que encuentran un área de oportunidad para llegar al objetivo 3-4 *sigma*.

Identificaron las actividades en las cuales se observan los productos no conformes, siendo 5 puntos de inspección: medir, cortar, torneado, fresado y rectificado, con apoyo de un diagrama de Pareto se observaron las 4 principales causas de los productos no conformes (PNC) que ocasionan la demora en la entrega de los productos terminados. Con ayuda de la herramienta cinco porqués se identificaron as causas raíces que originan los PNC anteriores concluyendo que la causa raíz es el procedimiento de gestión de calidad inadecuado.

Posteriormente implementaron la metodología DMAIC de la siguiente manera:

- a) Fase Define: En esta fase se identificó y definió el problema utilizando “La voz de los clientes” y a través del análisis del proceso de producción de artículos fundidos. Así mismo, se definieron varios parámetros de control de gran influencia en el proceso a través de una “Lluvia de Ideas”.
- b) Fase Medición: Se identifican y miden los parámetros en el taller de la fundición, los cuales son muy críticos en cantidad (CTQ). Se utilizó el método de Taguchi para el diseño de experimentos a fin de analizar los parámetros críticos y utilizando el programa ANOVA se evaluaron las relaciones S/N (Medida del rendimiento) para identificar los factores que brindan muy buen rendimiento.
- c) Fase Análisis: Se obtuvo una relación entre los parámetros del proceso y sus respectivas variables de respuesta. Se aplicó la Relación “F” basada en la relación de dos varianzas; y con la técnica ANOVA se encontraron los parámetros significantes.
- d) Fase Implementación y Mejora: Se plantearon los cambios requeridos para mejorar el rendimiento y reducir las causas comunes que son responsables de las variaciones.

e) Fase Control: Para mantener los beneficios del nuevo proceso y asegurar que el problema atacado no se regenere (Apaza et al., 2022)

Como conclusiones:

El nivel *Six Sigma* se incrementó de 1.493 a 2.404 es decir que se redujo de 502,677 DPMO a 183015 Defectos por Millones de Oportunidades (DPMO). Mediante la aplicación de la herramienta Heijunka la entrega de productos fuera de tiempo disminuyó de 340 a 166 unidades. Para implementar la propuesta de mejora se requiere una inversión de \$114,2639.32 con la cual se generarán ahorros por \$46,1688.00 equivalentes al 42.96% y 17.36% de las ventas respectivamente.

El Instituto Tecnológico de Orizaba También cuenta con tesis Basadas en la metodología *Lean* y *Six Sigma*, como se plantea a continuación:

Caso 1: Tesis realizada en septiembre de 2015, escrita por Ángel Arturo Pérez Martínez desarrollando el tema: “Estrategia basada en la cultura *Lean* para reducir el pago de energía eléctrica en una industria textil”, en el cual implementó la metodología DMAIC, apoyado en ingeniería económica y *Six sigma* logró una reducción del 2% del pago total del consumo de energía eléctrica, lo cual para la empresa fue una reducción de al menos \$26,000.00 pesos por mes.

En la fase D buscó el área de oportunidad mediante un VSM y mediante el Project Charter se enfocaron los factores a mejorar, dónde se encontró que los procesos de teñido y secado tienen los mayores consumos de energía eléctrica, la cual es ocasionada por los diversos equipos que los conforman. Encontró tres áreas de oportunidad considerando el mayor consumo que se tiene en kilo Watts hora para un proceso completo de fabricación de un lote de 324 unidades: proceso de teñido, área de Secado y área de acabado.

Para la Fase M se midieron los indicadores de desempeño mediante factores de demanda facturable del total de datos históricos, midió el consumo de energía eléctrica en horario con relación a los kg producidos con un equipo de medición: CIRCUTOR®, así mismo midió el consumo de E.E. dentro de la empresa en los diferentes horarios establecidos en el año: verano e invierno.

En la Fase de Análisis, con los factores identificados que afectaban el pago, se determinó si representaban un comportamiento aceptable o no, por medio de la prueba de bondad y ajuste se identificó que los datos introducidos no presentaban una distribución normal y la normalizaron mediante la transformación de Johnson.

Al encontrar que no existía un control sobre la demanda facturable total, diseñó una solución para el control de ahorro del 3% para atacar el pago directo por mes

En la etapa de Mejora se determinó el ahorro diario, semanal y mensual, para cada uno de los periodos establecidos en el año: verano e invierno. Se calculó el ahorro (base) y ahorro (intermedio) anual, se calcularon indicadores económicos: VA, *PayBack*, TIR, C/B, para la evaluación de factibilidad resultando ser positiva con un riesgo del 2.5%. se implementó un software que maneja el dispositivo Poka-Yoke: *Power Studio*®; tiene la opción de desplegar la demanda facturable que se tiene en meses, días, horas y por cada minuto.

Para el Control se implementaron procedimiento de monitoreo diario, para la realización de resumen gráfico de la capacidad de proceso y un procedimiento para la realización de cartas individuales y de rango móvil, mediante gráficos de control y hojas de Excel.

En conclusión: La aplicación de la metodología DMAIC, en conjunto con el VSM, fueron fundamentales para cumplir con el objetivo del proyecto de manera exitosa,

obteniendo resultados favorables para la empresa como el control de la demanda facturable total que se refleja en la reducción del pago del 2%.

Caso 2: El autor Santana Carrión William Miguel con el proyecto de Tesis titulado: “Implementación de metodología *Six Sigma* en una granja acuícola para la mejora de calidad de agua en estanques de producción” 2023, empleó la metodología R-DMAIC para disminuir la variabilidad de los parámetros del agua en la producción de Tilapia y así estandarizar las variables de oxígeno disuelto y temperatura del agua.

Para la fase reconocer se aplicaron: matriz de priorización y diagrama de Pareto con datos históricos del año 2016 al 2019 con un aproximado de cuarenta mil datos recopilados de temperatura y oxígeno disuelto por estanque obteniendo áreas de oportunidad preliminares, por medio del diagrama de Pareto se mostraron los estanques con alta variabilidad de temperatura con más de la mitad de los mismos con mayor variabilidad por la tarde en verano e invierno, en cuanto al oxígeno en estaciones de verano e invierno por las tardes: no se realizó un diagrama de Pareto por presentar un coeficiente de variación del 5% en un 100% de estanques y se representó por medio de un diagrama de cajas.

En la etapa definir se implementaron: análisis del costo de la pobre calidad (COPQ): la energía usada para el bombeo del agua, la energía usada para el proceso de aireación, y a su vez, el uso de gasolina en caso de falla eléctrica, por medio de diagrama de árbol: los requerimientos que tiene la empresa respecto a los parámetros fisicoquímicos, valores máximos y mínimos de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto en agua, obteniendo indicadores del proyecto como: la falta de medidas de control hace que se desconozcan las causas de variación en el proceso, lo que a su vez provoca variabilidad, vulnerando la capacidad de la empresa por mantener la calidad del agua obteniendo el Project Charter..

Correspondiente a la fase medir: diagrama de flujo de procesos, se identificaron las entradas y salidas por medio del diagrama SIPOC y Se verificó el nivel de capacidad de proceso inicial mediante el estadístico Minitab con información histórica de 2016 al 2019, obteniendo el índice de capacidad de Taguchi (Cpm) inferior a 1 indicando que el proceso no se encuentra alineado con las especificaciones *“demostrando la dificultad para el proceso para lograr el objetivo de 30 °C”*.

Pertinente a la fase analizar se evaluaron las variables críticas a cada defecto señalado en los diagramas de Ishikawa y mediante una matriz de priorización se determinaron las causas críticas para las variables de temperatura: la mala ubicación de la toma de datos y la condición atmosférica del día, obteniendo para el oxígeno disuelto: equipo de medición en mal estado, relación con la temperatura y estado del sistema de aireación.

Para la fase mejorar: mediante una lluvia de ideas se generaron propuestas para la solución de las causas críticas identificadas anteriormente obteniendo la compra e instalación de malla sombra para los días calurosos, se realizó un cambio de 6 discos difusores a 7 por estanque, con una limpieza de al menos una vez por mes, mediante un diagrama de Gantt se estableció la inspección visual de los discos difusores 5 veces por mes. Por último, el equipo de trabajo realizó la instalación de codos de 90° por debajo de los discos difusores, con ello, se evitaron los dobleces que obstruían el aire en las mangueras, realizando nuevamente gráficos de control para la validación de las mejoras empleadas obteniendo *“el 100 % de los datos del grupo piloto correspondientes a la mañana (M1) están dentro de especificación, sin embargo, en caso contrario, solo el 21.42 % de los datos por la tarde (M2) están dentro de especificación, demostrando que la variabilidad solo pudo ser reducida por la mañana”*, así mismo se mejoró un 100% el parámetro de la calidad del agua.

Por último, en la Etapa controlar: se implementó el plan de estandarización diseñado por el autor y el grupo de expertos de la empresa acuícola, se diseñó un formato de entrada para recolectar lecturas de las variables de calidad del agua mediante formularios de Google, obteniendo una base de datos en Excel que permiten dar seguimiento, *“se estructuró una guía con pasos detallados para el uso del sistema de control, el cual incluye información sobre el uso del formato de entrada de datos, generación de indicadores, generación de gráficos de control, aplicación de precontrol e instrucciones para la actualización del sistema de control”*, en esta fase se emplearon herramientas como: control estadístico del proceso (CEP), hoja de verificación y gráficos de control.

Conclusiones: se demostró la efectividad de la metodología R-DMAIC, logrando la reducción de la variabilidad en los parámetros de calidad de agua y la estandarización de los procesos acuícolas.

1.1.3 La industria metalmecánica en México

De acuerdo con CANACINTRA, la industria Metal-Mecánica agrupa a todas las industrias que sus actividades se relacionen con la transformación, laminación o extracción metálica, y está formado por 18 secciones, las cuales se diferencian entre sí por el producto terminado que fabrican. Y podemos clasificar a Grupo Constructo en la Rama industrial 19 que corresponde a Centros de Servicio y Transformación del Acero. (*SECTOR INDUSTRIAL METAL-MECÁNICO - CANACINTRA*, n.d.)

Para el país, según la revista Tecno tanques en su artículo “Industria Metalmecánica en México. Crecimiento y expectativas” publicado el 4 de enero de 2022, la industria metalmecánica constituye el 14% del Producto Interno Bruto (PIB), lo cual disminuyó 3.6% con respecto al 2019 según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI,

n.d.). *“Las expectativas en crecimiento para el 2022 de la industria metalmecánica son muy altas y seguramente nos sorprenderá en el transcurso de los siguientes meses.”* (Tecno, n.d.)

Según las cifras del Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (Secretaría de economía, n.d.) con base en la exportación anual de México, de Enero a Noviembre 2021 fue de 7, 319 kg, valor que aumentó un 48.58% con respecto al año anterior, valores que van aumentando significativamente

Adicional, de acuerdo con datos de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO, n.d.), México es el 14º productor de acero en el mundo, emplea a más de 700,000 personas de forma directa e indirecta y tan solo en 2018 la producción fue de 20.2 millones de toneladas de acero líquido.

La industria metalúrgica tiene amplias aplicaciones en una gran cantidad de industrias y productos de consumo. Las materias primas estándar que se utilizan incluyen el metal en planchas, accesorios, piezas fundidas, metal formado y expandido, metal seccionado, metal plano y alambre de soldadura. Entre los trabajadores que se desempeñan se encuentran cortadores, punzadores y operadores de máquinas de prensado; supervisores; gerentes; maquinistas; ensambladores de equipos; soldadores, cortadores, y estañadores.

1.2 Problema específico a Resolver

Se realizarán investigaciones con el fin de reducir los defectos durante los procesos de fabricación de estructuras en el taller de Grupo Constructo para que resulten mayormente eficientes y competitivos, con el apoyo de herramientas básicas de calidad, y administrativas para el mejoramiento continuo, y la metodología *Lean Six Sigma* se pretende desarrollar con profundidad un análisis de los procesos de Corte de materiales, Armado de estructura y Soldadura, donde se buscará detectar, tomar el control y mejorar los procesos del taller, para robustecer sus fortalezas y aumentar sus oportunidades en el mercado.

1.3 Marco Geográfico

Grupo Constructo está conformado por tres instalaciones:

- Taller de estructuras metálicas.
- Taller de limpieza mecánica y pintura.
- Taller de arrendamiento y mantenimiento de maquinaria pesada

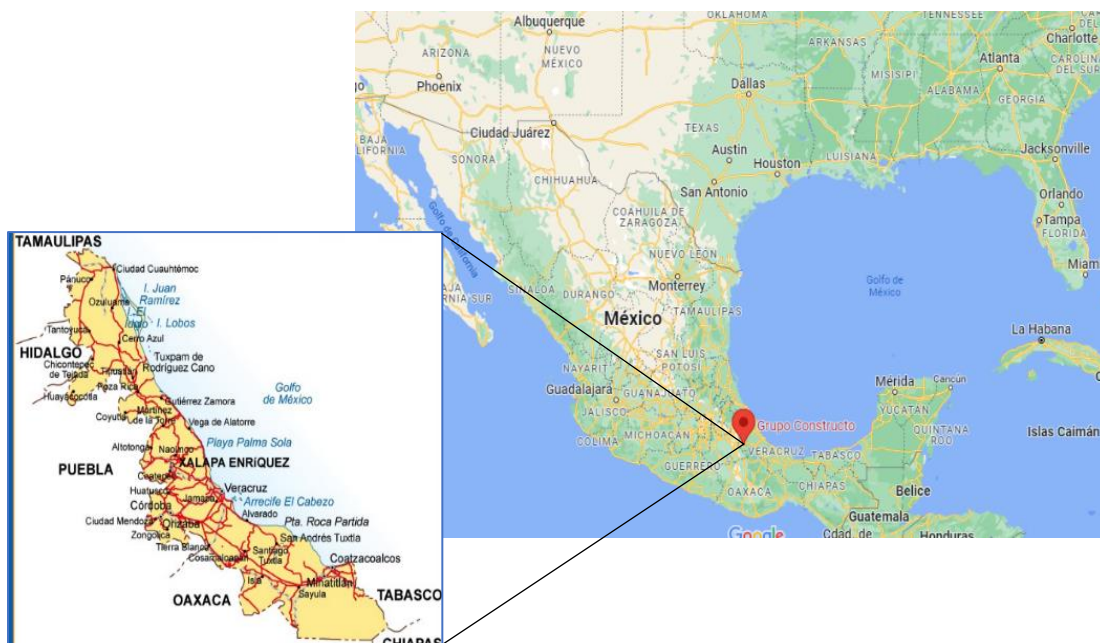
El lugar dónde se llevará a cabo la aplicación de la metodología será en el taller de estructuras metálicas que se encuentra localizado en, Oriente 1 No. 744 Col. Barrio San José

Ilustración 2 , en el municipio de Ixtaczoquitlán, del estado de Veracruz, en México.

Ilustración 1.

Ilustración 1

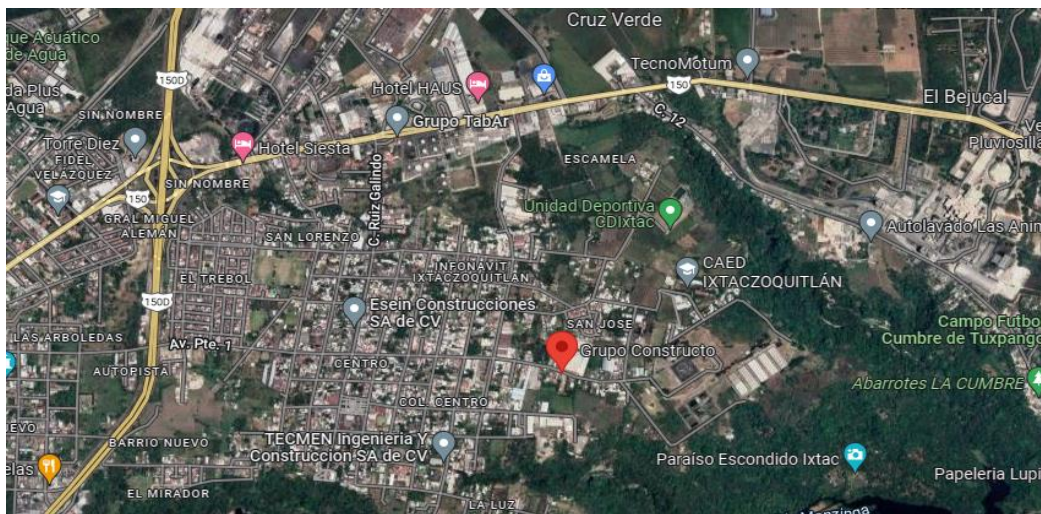
Macrolocalización de Grupo Constructo S.A de C.V



Fuente: Google Maps, octubre 2023

Ilustración 2

Micro localización de Grupo Constructo S.A de C.V



Fuente: Google Maps, octubre 2023

1.4 Grupo Constructo

Grupo Constructo S.A. de C.V. es una empresa de ingeniería y construcción, inició sus actividades en la ciudad de Orizaba, Veracruz, en el mes de abril de 1974 con la razón social: Ingeniería Civil S.A., durante el mes de octubre del mismo año se constituyó la compañía “Ingeniería, Impermeabilizaciones y Construcciones S.A.”.

De acuerdo con las necesidades de la organización y la idea de integrar un grupo, se creó en febrero de 1977, una empresa que fuera representante y controladora de la corporación, constituyendo para ese efecto: “Grupo Constructo S.A. de C.V.”.

Puesto que su preocupación es ofrecer a sus clientes, en una sola empresa, todos los servicios profesionales que necesitan. La empresa ha desarrollado con los años una pericia avanzada en numerosos campos relacionados con la ingeniería y la construcción. Gracias a esta pericia, Grupo Constructo S.A. de C.V., ahora puede planificar, concebir, construir, administrar y operar el conjunto de infraestructuras de sus clientes privados y públicos.

Para poder responder a las nuevas realidades económicas de sus clientes y a sus necesidades específicas, Grupo Constructo S.A. de C.V., ha sabido agregar a la ingeniería tradicional la realización de proyectos de construcción: “Llave en Mano”.

En la era del desarrollo sustentable, al contar con los sólidos recursos de sus profesionales en ingeniería Grupo Constructo S.A. de C.V., puede realizar proyectos cada vez más complejos e innovadores.

Gracias a los recursos técnicos de sus numerosas divisiones y a la experiencia probada en materia de gestión de proyectos, Grupo Constructo está en condiciones de ofrecer fórmulas ingeniería-suministro-gestión de construcción e ingeniería-suministro-construcción.

Los principales productos y/o servicios que ofrece de acuerdo al Manual de Inducción del Personal de la Empresa Grupo Constructo S.A. de C.V, Recursos Humanos:

- **CONSTRUCCIÓN PESADA**

Es el tipo de construcciones que se elaboran con un proyecto hecho fuera de la empresa. Sirve para ejecutar proyecto que pueden o no estar fragmentados pero que no requieren ingeniería de detalle ya que ésta la proporciona el cliente, por lo regular se obtienen los contratos por concurso y existen compañías contratadas para ejecutar los proyectos y supervisar las obras.

- **PROYECTOS LLAVE EN MANO**

La división de “Proyectos: Llave en Mano”, abarca desde el nacimiento de una empresa, su estudio de factibilidad, su ante presupuesto, anteproyecto, estudio del sitio, costo y la factibilidad de los accesos al sitio, el desarrollo del proyecto ejecutivo, hasta la puesta en marcha y entrega del proyecto. También en este mercado se incluyen trabajos de terracería,

extracción y corte de roca, y obras terrestres en general cuya ejecución se hace con maquinaria pesada.

- TALLER DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

Se programan y se fabrican estructuras metálicas y pailería, ya sea para las obras del grupo o bien para clientes externos. Aquí también se programan y planean los montajes de las estructuras o de equipos que requieran los clientes.

- MONTAJE MECÁNICO-PESADO

Es el apoyo en servicios que presta Grupo Constructo a industrias que así lo requieren y es básicamente correctivo de trabajo intenso y continuo ya que se ejecuta en días de paro de la maquinaria.

Algunos de los servicios que se ofrece dentro de Grupo Constructo son:

- Demoliciones
- Bases para equipo
- Maniobras para retirar equipos obsoletos
- Interconexiones de equipos nuevos a existentes
- Reparaciones de bases fisuradas, reparaciones de horno, cambios refractarios, cambio de estructuras metálicas en corrosión.
- Excavaciones para alojar drenajes emergentes
- Pinturas, trabajos mecánicos, cambio de motores, bombas, ventiladores
- Equipos como tanques, tolvas y máquinas.

1.5 Objetivos y beneficios

1.5.1 Objetivo General

El objetivo del trabajo se estableció en los siguientes términos:

Reducir defectos en el área operativa utilizando la metodología *Lean SixSigma* en una industria metal-mecánica de la zona centro del estado de Veracruz.

1.5.2 Objetivos particulares

A su vez, los objetivos particulares se encuentran en función de la metodología R-DMAIC presentados a continuación:

-Reconocer: establecer un punto de partida a través de un análisis interno y externo tanto de la empresa como de los procesos.

-Definir: Determinar las condiciones iniciales del proyecto, alcance y estrategias.

-Medir: Determinar el estado actual de las áreas operativas en términos de indicadores de desempeño.

-Analizar: Identificar y determinar los elementos críticos del problema y su relación.

-Mejorar: Generar soluciones para la problemática planteada en etapas anteriores.

-Controlar: Implementar el plan de estandarización, seguimiento y control de las mejoras propuestas.

1.6 Justificación

Con la implantación de la metodología *Lean Six Sigma* no solo puede contribuir a mejorar la competitividad de la empresa, sino que también a alinear sus procesos con estándares de calidad y eficiencia de clase mundial. En el caso esta empresa, donde los procesos suelen ser complejos, no estandarizados y dependen de altos niveles de precisión, *Lean Six Sigma* puede representar una ventaja estratégica para sobresalir en el mercado.

A través de la metodología antes mencionada puede proporcionar un marco estructurado para reducir la variabilidad en la toma de medidas, en los materiales y mano de obra empleada, en el tiempo de ejecución y entrega al siguiente proceso, se espera que se aprovechen los recursos disponibles de manera eficiente en el área donde se produzca con mayor frecuencia defectos, se pretende reducir los costos operativos y realizar procesos que estén dentro de los estándares de acuerdo a las normas manejadas por la misma empresa, en el diseño, elaboración, ensamble, supervisión y entrega con los clientes.

Así mismo se espera mejorar el control de calidad, ya que es el último filtro antes de sacar la estructura de la empresa y enviar al taller de pintura, ya que en variadas ocasiones se han regresado estructuras para retrabajos, se aspira a realizar cambios de manera controlada y estructurada y que sus beneficios se mantengan en el tiempo generando un impacto positivo en la rentabilidad de la empresa.

La implementación de *Lean Six Sigma* también contribuye al fortalecimiento de la cultura organizacional y al desarrollo de talento dentro de la empresa. A medida que los empleados se comienzan familiarizando en las metodologías y herramientas de LSS, adquieren una mentalidad orientada hacia la mejora continua y la solución de problemas.

Esto no solo beneficia a la empresa en términos de productividad, sino que también crea un ambiente de trabajo donde los empleados se sienten empoderados y valorados fomentando la colaboración y el trabajo en equipo ya que la metodología está orientada y enfocada a la colaboración y trabajo en equipo, ya que abarca todos los niveles de la organización, no solo en el área donde se encuentran los fallos.

Beneficios que se obtendrán

Se pretende generar a mediano plazo un aumento de la eficiencia en los procesos, y la reducción de gastos generados por retrabajos durante la transformación de la materia

prima, lo que conlleva al aumento de ingresos para la empresa disminuyendo los gastos de transporte, material, tiempo y mano de obra absorbidos por retrabajos.

Al ser una empresa que trabaja por proyectos, se tienen que ajustar tiempos de entrega para clientes importantes, locales y extranjeros, lo que puede ampliar el mercado al ser reconocido por una entrega en tiempo y forma establecidos, lo que conlleva a la satisfacción de los clientes.

Impacto socioeconómico del trabajo

Al reducir los costos por retrabajos y al aumentar la eficiencia, se espera obtener mejores ingresos en cuanto a reparto de utilidades para el personal.

Al ser conocida como una empresa que produce con alta calidad y bajo costo se podrá obtener un mayor número de contratos de fabricación, ampliando la cartera de clientes, locales, nacionales e internacionales. Al orientar la empresa a un enfoque metodológico y con disciplina como trabaja LSS, se pretende involucrar a todo el personal y hacerlo responsable de su área y comprometido con la limpieza de su trabajo, ahorrando costos por gastos innecesarios a la empresa propiciando un incentivo extra por el buen manejo y trabajo limpio.

1.7 Determinación del tipo de investigación

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los tipos de investigación, basado en investigaciones de Corina Schmelkes (2001), Castillo de la Peña (2000), Hernández Sampieri (2000), Salkind (1998).

Tabla 1
Tipos de investigación

Criterio de clasificación	Tipo de Investigación	Causa
Desde el punto de inferencia del investigados	Observacional	El investigador se limita a describir o medir el fenómeno estudiado, no puede modificar las variables.
	Experimental	Parte de la población recibe algún tipo de tratamiento (a veces llamado intervención) y los resultados se comparan con los resultados de quienes no reciben el tratamiento. Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas, El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas.
	Documental	Consulta de todo tipo que deje constancia material a través del tiempo.
Por el método de captación de la información.	Prospectiva	La información es tomada de documentos existentes y que ayudaran a documentos futuros.
	Retrospectiva	La información es tomada de documentos existentes con anterioridad
Por la evolución del fenómeno.	Longitudinal	Ubicado a lo largo de un lapso.
	Transversal	La investigación se centrará en analizar cuál es el nivel o estado de unas diversas variables en un momento dado.
De acuerdo con la comparación de poblaciones.	Descriptiva.	Se cuenta con una población la cual es nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado
	Explorativa	Conocer superficialmente el hecho o fenómeno.
	Explicativa	Se realiza cuando el investigador estudia el hecho o fenómeno tratando de encontrar una relación causa-efecto entre las variables que la ocasionan
	Predictiva	Se realiza buscando a futuro posibles efectos de un problema.
	Correctiva.	Tratar de encontrar soluciones a un problema.

Fuente: Flores Ávila Luis Carlos, "Tesis doctoral" (2002), página 115, Correcciones Elizabeth Díaz Castellanos

Con base en la información de la tabla, esta es una investigación Observacional, prospectiva, longitudinal y correctiva.

1.8 Hipótesis

Se espera obtener resultados favorables para la empresa al finalizar el proyecto de tesis por lo que se plantea el siguiente supuesto:

- H0: La implementación de la filosofía *Lean Six Sigma* reduce los defectos en los procesos de la empresa Grupo Constructo S.A de C.V.

Conclusiones

El presente capítulo deja una enseñanza en la aplicación de la metodología a emplear, el enfoque y orientación que cada autor le da a sus proyectos y la manera en que aplican la metodología *Lean Six Sigma*, ningún proyecto estudiado y analizado es igual, la orientación y aplicación es diversa, no tiene limitación alguna ya que se cuenta con una variedad de herramientas de mejora de procesos y control de calidad.

En el caso de la empresa metalmecánica donde se desarrolla el presente trabajo de tesis, cuenta con una extensa variedad de productos a ofrecer, siendo muy importante la parte de estructuras metálicas, ya que se deben tomar en cuenta desde la calidad de la materia prima, hasta la capacitación de cada empleado de la empresa.

La mayoría de las ocasiones se da de manera empírica, ya que los maestros o personal con más conocimiento llevan más de 20 años de servicio, se debe aprovechar la experiencia de cada uno y promover el intercambio de conocimientos y habilidades de cada área, dónde la cooperación entre equipos propicie y se forme la cultura de mejora continua

Capítulo 2. Marco Teórico

En el presente capítulo, se presenta una breve descripción de las técnicas de ingeniería industrial utilizadas para cumplir con el objetivo del trabajo: Se presentan las técnicas de ingeniería industrial para la metodología R-DMAIC y, cada fase irá acompañada de herramientas específicas de acuerdo a algunas literaturas estudiadas para la implantación de LSS en el presente trabajo de tesis.

2.1 Six Sigma

El objetivo de *Six Sigma* es reducir los costos y aumentar las ganancias mediante la eliminación de la variabilidad, los defectos y el desperdicio, lo cual, en última instancia, reduce la satisfacción y la lealtad del cliente. La variación, la dispersión de datos alrededor del valor promedio, puede ser una causa clave de bienes y servicios defectuosos. La descripción estadística de la variación se denomina desviación estándar, que se simboliza con la letra griega *sigma* (σ).

Jack Welch, el principal impulsor de *Six Sigma* en General Electric, hizo la siguiente observación sobre la variación:

“Hemos estado trabajando en mover la media. El problema es que la media nunca sucede. El cliente solo siente la variación que aún no hemos eliminado. La variación es mala en cualquier proceso de contacto con el cliente. La mejora de nuestros procesos internos no es de interés para el cliente.” (Welch & Welch, n.d.)

Welch señala claramente la falacia inherente a esa idea: el promedio es un valor calculado, no un valor que realmente ocurre. ¿De qué sirve un tiempo de entrega promedio de seis días si algunos clientes experimentan la entrega en cuatro días (y posiblemente necesiten luchar por espacio de almacenamiento) mientras que otros esperan ocho días para

recibir su mercancía? Continúa diciendo que “una vez que entiendas la simple máxima “*la variación es mala*”, habrás recorrido el 60 por ciento del camino para convertirte en un experto en *Six Sigma*. El otro 40 por ciento está sacando el mal”. Y esta es la base de *Six Sigma*: sacar esa variación malvada del sistema.

Como dijo Mikel Harry, uno de los cofundadores de la metodología *Seis Sigma*, “*Seis sigma* se puede ver de tres maneras diferentes: como una filosofía, como una métrica, y como una metodología”. Fisher, N.I., & Nair, V.N. (2009).

La Filosofía Seis Sigma

Reducir la variación en todos los aspectos del negocio y tomar decisiones centradas en el cliente y basadas en datos es la filosofía de *Six Sigma*. Esta metodología parte de la premisa que, todo trabajo es un proceso y todos los procesos tienen variabilidad.

Necesitamos eliminar las fuentes dañinas de variación impulsadas por eventos y, al mismo tiempo, reducir el ruido en el sistema. Para hacer esto, requerimos datos concretos, no una “intuición” o una sensación de “lo que podría solucionarlo”. Los datos deben ser significativos y estar relacionados directa o finalmente con las expectativas del cliente.

Filosóficamente, el objetivo de *Six Sigma* es lograr cero defectos a través de la reducción de la variación basada en datos. Y en *Six Sigma*, los defectos no son solo fallas en un producto manufacturado. Se definen de manera mucho más amplia como “cualquier disconformidad o error en los procesos o productos”.

La Métrica Seis Sigma

Esto se define como 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). No nos obsesionemos con el término “oportunidades”. Este es un mecanismo de conteo utilizado en *Six Sigma* para dar cuenta de la diferente complejidad de los procesos, lo que permite la

comparación de manzanas con manzanas. La esencia de la medida es que 3.4 defectos por millón de oportunidades representan, un nivel de calidad muy bueno, es decir, un nivel de defectos muy bajo. La medida de 3.4 DPMO no es una que se seleccionó solo porque suena bien. De hecho, es un número que se basa en una teoría estadística muy sólida.

Comencemos con la idea de que muchos procesos pueden describirse mediante una curva simétrica en forma de campana llamada distribución normal. Además, supondremos que tenemos límites de especificación válidos, es decir, requisitos impulsados por las necesidades y expectativas del cliente.

Si reducimos la variación para que la desviación estándar sea la mitad de lo que era, las especificaciones cruzarán la distribución del proceso en más y menos seis desviaciones estándar. Este proceso se describirá entonces como operando a un nivel de calidad seis *sigma*.

Esto se muestra en la Ilustración 3, con una distribución normal, se pueden utilizar cálculos estadísticos para determinar la cantidad de distribución del proceso que quedará fuera de los límites de especificación. Para el proceso de tres *sigma* que se muestra en la Figura 1, el 0,27 por ciento del área bajo la curva está fuera de las especificaciones, un nivel de defecto de 2700 DPMO. Para el proceso de seis *sigma*, ese nivel es de aproximadamente 0,002 DPMO, o dos defectos por mil millones de oportunidades.

Cuando se desarrolló la metodología *Six Sigma*, se reconoció que los procesos pueden cambiar de su valor nominal u objetivo. Los niveles de defectos se calcularon suponiendo que la media cambia en 1,5 desviaciones estándar, por lo que los niveles de defectos asociados con los procesos de tres *sigma* y seis *sigma* son 66 811 DPMO y 3,4 DPMO, respectivamente. La **Tabla 2** muestra los niveles de defectos para otros niveles *sigma*.

Se deben tomar medidas correctivas cada vez que un proceso se desvía de su valor objetivo. En el caso de un proceso de tres *sigmas* (la curva superior en la **Ilustración 3**), la

desviación del objetivo, es decir, un cambio en la distribución del proceso hacia la izquierda o hacia la derecha, aumenta significativamente la cantidad de material fuera de los límites de especificación.

Si el proceso está operando a un nivel de calidad de seis *sigma*, hay muy pocos productos no conformes producidos por un cambio de proceso. Todavía necesita corregir el proceso, incluso a un nivel de rendimiento de seis *sigmas*, pero ni el cliente ni el proceso interno se verán tan afectados.

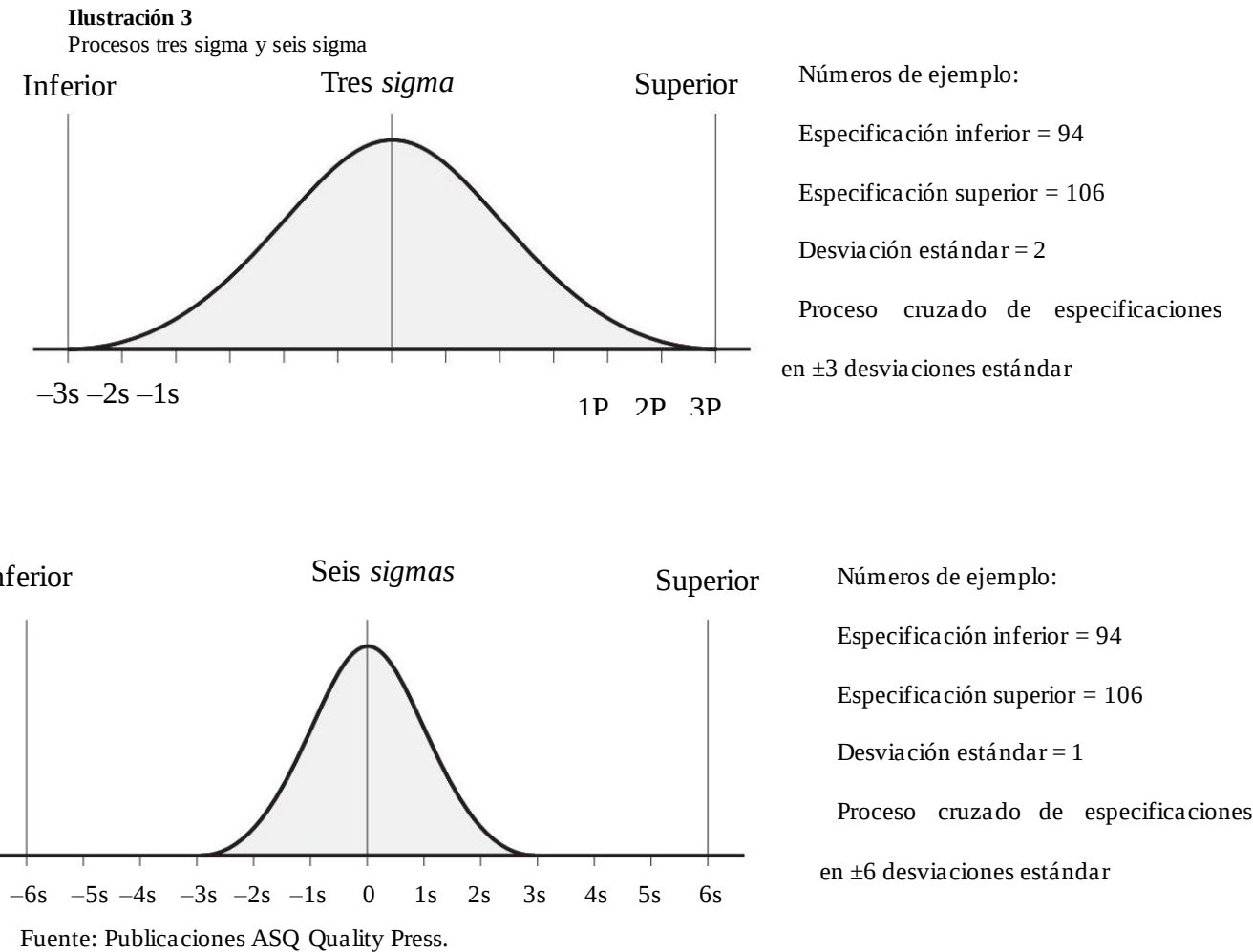


Tabla 2.
Niveles de *Sigma* correspondientes a DPMO.

Niveles de defectos correspondientes a niveles <i>sigma</i>	
Nivel <i>sigma</i>	DPMO
2	308,770
3	66,811
4	6,210
5	233
6	3.4

Fuente: Publicaciones ASQ Quality Press.

El nivel *sigma* de un proceso se convierte así en una métrica relacionada con la calidad. Si bien, *Six Sigma* no es lo mismo que cero defectos, es un umbral significativo de rendimiento. Muchas empresas se inician en el camino hacia *Six Sigma* cuando solo operan a un nivel de rendimiento de tres *sigmas* y saben que tienen que realizar cambios significativos, incluso radicales, para alcanzar un alto nivel de rendimiento.

Para llegar a encontrar el nivel *sigma* del proceso y así poder medir su desempeño previamente se deben considerar los siguientes conceptos:

Unidad: Son las partes, productos o ensambles que son parte de un proceso y que son susceptibles de inspeccionar o evaluar su calidad.

Oportunidad: Cualquier criterio que puede ser objeto de medición o de probarse como adecuado o inadecuado dentro de una unidad.

Defecto: Cualquier oportunidad que sea catalogada como una no conformidad o desviación de la calidad especificada de la unidad.

Partiendo de estos conceptos se pueden desarrollar los siguientes cálculos *sigma*:

DPU (Defectos por unidad): Esta métrica mide el nivel de no conformes dentro de un proceso sin tomar en cuenta las oportunidades de error.

..... Ecuación 1

$$DPU = \frac{\text{Defectos observados}}{\text{producidos}}$$

DPO (Defectos por oportunidad): Esta métrica mide el nivel de no conformes dentro de un proceso tomando en cuenta las oportunidades de error, es decir, la complejidad de la Unidad.

$$DPO = \frac{\text{Defectos observados}}{\text{producidos} * \text{Tipos de desperdicio}} \dots\dots \text{Ecuación 2}$$

DPMO: Indica cuál es la cantidad de defectos que se podrían registrar por cada millón de oportunidades de error para una unidad.

$$DPMO = DPO * 10^6 \dots\dots \text{Ecuación 3}$$

NIVEL *SIGMA*: Representa la cantidad de desviaciones estándar que tiene el proceso. Se da por medio del porcentaje de Defectos que se obtiene del DPO y usando el estadístico de la distribución normal Z, para así obtener el nivel de *sigma* del proceso por medio de:

$$\sigma = Z + 1.5$$

2.2 *Lean manufacturing* \dots\dots \text{Ecuación 4}

En 1985, el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), diversas industrias y el gobierno norteamericano realizaron un convenio para crear el *International Motor Vehicle Program* (IMVP), con la finalidad de desarrollar proyectos de investigación que ayudaran a la industria automotriz mundial, principalmente la norteamericana para mejorar sus procesos, y así poder hacer frente a los difíciles tiempos que se tenían.

Womack, Jones y Ross, miembros fundadores del IMVP pensaron que este programa, debía integrar un conjunto de investigadores de primera calidad, que pudieran viajar alrededor del mundo para estudiar las nuevas técnicas de trabajo japonesas que parecían

haber encontrado la solución a los nuevos desafíos de calidad, productividad y costos, para compararlas con las del viejo y deformado sistema de producción en masa creado por Henry Ford. Tras años de estudio del Sistema de Producción Toyota (TPS) las conclusiones de Womack, Jones, & Roos (1990), tienen que ver con las grandes ventajas que tiene la filosofía lean manufacturing sobre las técnicas del sistema de producción en masa, y como ésta puede ser aplicada en cualquier organización alrededor de mundo para hacer frente a un nuevo tipo de entorno, cuya principal característica es el rápido y continuo cambio.

Como establece el autor Liker (2003), existen otros dos tipos de desperdicio que son también ineludibles eliminar, para realizar un trabajo lean. Estos desperdicios son: MURI (Sobrecarga) significa, empujar a las personas y máquinas más allá de sus límites naturales debido sobrecargas de trabajo y MURA (Desnivelado) es el generador del MUDA, ya que se origina por una fluctuación en los volúmenes de producción, generadas por un irregular calendario de producción.

Para la eliminación de desperdicios *lean manufacturing* requiere ocupar una extensa gama de técnicas que le permitan lograrlo. De forma tradicional se ha recurrido al esquema de la “Casa del Sistema de Producción Toyota” para visualizar rápidamente la filosofía que encierra el *lean* y las técnicas disponibles para su aplicación se presenta una adaptación de la casa de producción Toyota la ilustración. (Hernández & Vizán, 2013):

El techo: que está constituido por las metas perseguidas que se identifican con mayor calidad, bajo costo, menor tiempo de entrega (lead time).

Dos columnas que sustentan el sistema: Just In Time (Pilar uno): significa producir el artículo indicado en el momento requerido y en la cantidad exacta.

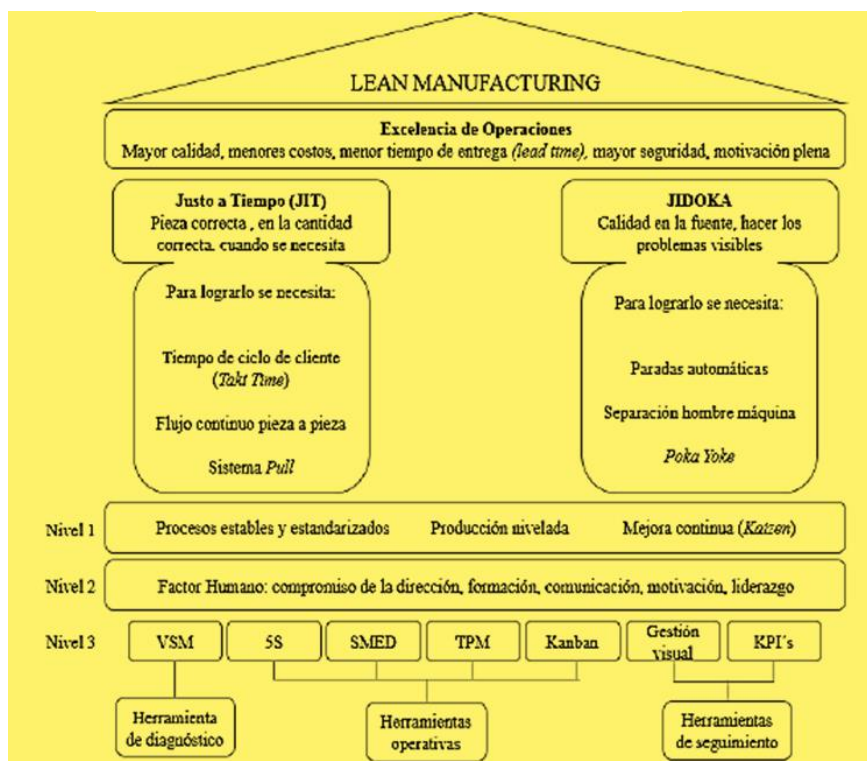
Jidoka (Pilar dos): consiste en dar a las máquinas y operadores la habilidad para detener inmediatamente el proceso cuándo se produce una condición anormal. Este sistema

permite detectarlas causas de los problemas y eliminarlas de raíz, de manera que los defectos no pasen a las estaciones siguientes. La base que se divide en tres niveles:

El nivel uno consiste en la estandarización y estabilidad de los procesos: nivelación de la producción y la aplicación sistemática de mejora continua (kaizen).

El nivel dos coloca el factor humano, como clave en la implantación de *lean*, el cual se manifiesta en diversas facetas: el compromiso de la dirección, la formación de equipos, la formación y capacitación del personal, los mecanismos de motivación y liderazgo

Ilustración 4.
Adaptación de la Casa de producción Toyota.



Fuente: Arellano Hernández 2015.

2.3 Lean Six Sigma

Los fundamentos iniciales del enfoque Lean se originan en el sistema de producción en masa introducido por Henry Ford. En Japón, la familia Toyoda expandió estos conceptos

en su planta textil y los perfeccionó en la Motor Company, dando lugar al Sistema de Producción Toyota que conocemos hoy.

Six Sigma se desarrolló por primera vez en Motorola en la década de 1980 como una iniciativa para salvar su problemático negocio de buscapersonas. *Six Sigma* se hizo popular en la década de 1990 después de que se generara mucha publicidad en torno a su uso en *General Electric* y *AlliedSignal* y los éxitos que estaban logrando esas dos empresas. (Wood et al., n.d.)

Tanto Lean como *Six Sigma* se centran en la satisfacción del cliente y en la mejora del rendimiento empresarial. El objetivo de Lean es aumentar la velocidad a través de la eliminación incesante de desperdicios de nuestros procesos. Las empresas que han implementado lean tienen características muy diferentes a las empresas tradicionales que no lo han hecho. Algunas de estas características se pueden observar ante la comparación de una empresa tradicional: enfoque complejo, impulsado por un presupuesto, con exceso de inventarios, producción en lotes, largos plazos de entrega.

Una empresa esbelta se enfoca en hacerse entender fácilmente con contenido visual sencillo, impulsada por la demanda, realizando el inventario conforme a lo necesario, reduciendo las actividades sin valor añadido, tamaño de lote pequeño, plazos de entrega mínimo con calidad diseñada y construida; las características de la empresa lean demuestran los beneficios de la implementación.

El concepto subyacente de Lean es desarrollar ojos para el desperdicio. El desperdicio se define como cualquier cosa que no agrega valor desde la perspectiva del cliente.

Los cinco principios de Lean, tal como los definen Womack y Jones (Jones, Daniel t.& Womack, 2003), son los siguientes:

Valor: algo definido por el cliente y creado por el productor por lo que el cliente está dispuesto a pagar.

Flujo de valor: el conjunto de todas las acciones necesarias para llevar productos, bienes o servicios al cliente.

Flujo: movimiento suave a través del proceso.

Atracción: una técnica en la que el cliente intermedio desencadena la necesidad del producto o servicio.

Perfección: sin errores, sin defectos generados.

Al combinar estos conceptos, una empresa define claramente su aporte, reconoce todo el proceso de entrega de ese aporte, garantiza que las acciones que generan valor se desarrollen de manera continua, facilita que los clientes se beneficien de la empresa y garantiza la entrega de productos y servicios sin errores. El objetivo es aumentar constantemente el valor para el cliente y/o la empresa, mejorando la eficiencia del proceso, a menudo resolviendo obstáculos en el flujo de trabajo.

Tipos de Residuos

El pensamiento Lean identifica siete formas de desperdicio: corrección (errores que necesitan ser corregidos), movimiento innecesario, sobreproducción, transporte excesivo, inventario no utilizado, procesamiento innecesario y tiempos de espera. . (Wood et al., n.d.)

Corrección: en el contexto de desperdicio se refiere a la necesidad de una empresa de reparar o rehacer productos o servicios debido a defectos. Estos defectos pueden surgir de mano de obra inadecuada, procedimientos incorrectos, materias primas no conformes, falta de información, entre otros. Aunque se llama "corrección", también abarca la producción de chatarra debido a estos defectos. En entornos de fabricación, la chatarra es fácilmente visible en los contenedores de desechos, mientras que las reparaciones y reprocesos pueden ser

menos evidentes, pero aún identificables. Estos elementos, a menudo denominados como la "fábrica oculta" por Juran, representan la parte del proceso que no se muestra en un diagrama de flujo estándar. Esta área de operación existe principalmente para corregir errores y defectos, incluyendo la realización de pruebas adicionales en productos reparados. Un ejemplo de corrección en un entorno de oficina podría ser la creación de un informe o factura defectuosa, su impresión y la detección posterior de errores internamente o, peor aún, su envío al cliente antes de percatarse de los errores.

Movimiento: El desperdicio aquí es cualquier tipo de exceso de movimiento requerido para completar una tarea. Esto podría implicar que los trabajadores de producción levanten contenedores pesados del piso a una mesa o cinta transportadora. Podrían ser oficinistas que se estiran o se inclinan para agarrar algo en su escritorio. O podría ser caminar a otro edificio que alberga suministros centrales para obtener un artículo necesario. Todos estos ejemplos alejan a los trabajadores del valor trabajo y, en ocasiones, suponen un riesgo para la seguridad o la salud. Y si bien estos ejemplos pueden parecer medidas de desperdicio pequeñas, incluso minúsculas, se suman. Si cada persona en la organización dedica tan solo cinco minutos al día a este tipo de movimientos desperdiciados "incorporados", eso suma 25 minutos por semana, que es más de 20 horas por año por trabajador.

Superproducción: Este es el desperdicio de producir más de lo que se necesita. Tal vez haga más producto terminado en la fabricación porque hay alguna materia prima adicional disponible o queda media hora en el turno. O puede hacer diferentes versiones de un producto porque no está muy seguro de qué comprará el cliente o cuánto. Puede hacer más de lo que cree que necesita porque teme que parte del producto sea defectuoso. O hace 15 copias de un informe para una reunión a la que 13 personas han confirmado que asistirán, en caso de que se presenten dos personas más. La sobreproducción desperdicia tiempo y

dinero, evitando que ambos recursos se utilicen para otra cosa. Y este tipo de desperdicio nunca se puede recuperar.

Transporte. Este es el desperdicio que ocurre con el movimiento innecesario de bienes, como el transporte de bienes (materias primas, componentes o productos terminados) hacia o desde el almacenamiento o entre procesos. Puede incluir transportar material en camiones de una ciudad a otra o enviarlo a través del océano para realizar el siguiente paso de la operación. Podría ser el movimiento de material por carretilla elevadora de un lado a otro de un edificio. En un entorno de oficina, es posible que una persona deba subir un piso para obtener la salida de la impresora central o caminar hasta un centro de copias para duplicar un informe.

Inventario: Mantener cantidades excesivas de materias primas, piezas, procesar bienes o productos terminados es un desecho. Este tipo de inventario puede ser el resultado de una sobreproducción por cualquiera de las razones enumeradas en esa sección. El exceso de inventario que se crea intencionalmente para contrarrestar problemas de calidad conocidos o potenciales se denomina inventario de seguridad. Y el desperdicio de inventario no se limita a las operaciones de fabricación. Muchas oficinas estacionan una paleta llena de papel al lado de cada copiadora que tardará meses en agotarse; menos papel en cada fotocopidora ocuparía menos espacio y comprometería menos dinero.

Procesando: A veces denominado sobre procesamiento, esto significa hacer más trabajo del necesario para realizar una tarea. En la fabricación de equipos, ¿qué tan pulida debe estar una pieza que estará dentro del producto, no visible para el cliente? ¿Envolvemos dos veces el producto cuando una sola capa lo protegerá, o usamos el doble de hilo para atar el paquete? ¿Cuántas aprobaciones son necesarias para pedir suministros o para hacer un

cambio? ¿Y cuántas (múltiples) veces se ingresan los datos en varios sistemas de información?

Herramientas Lean para lograr las mejoras

Existen herramientas que propician a la mejora continua y parten de la metodología *Lean* entre las más reconocidas y empleadas se encuentra:

Kizen: Kaizen es una palabra japonesa (no un nombre propio) que significa “mejora continua”. Es una filosofía subyacente del pensamiento lean. Kaizen también se asocia comúnmente con eventos de mejora específicos, a veces llamados eventos kaizen, bombardeos kaizen o ráfagas kaizen. Estos son eventos específicos destinados a generar mejoras específicas. Son actividades formalizadas mediante el método PDCA (*Plan, Do, Check, Act*). Cuando una organización se encuentra en las primeras etapas de la implementación de Lean, estos eventos suelen durar de tres a cinco días.

Se establece un equipo para el evento, con un equipo líder, a veces incluyendo un colíder y/o un facilitador. Al comienzo del evento, se define claramente el problema y se establecen objetivos de mejora tanto diarios como generales. El patrocinador de la gerencia generalmente inicia el evento y las revisiones de la gerencia se llevan a cabo al final de cada día. Esto mantiene a la gerencia informada sobre el progreso y los involucra en la eliminación de cualquier barrera que haya surgido durante el día.

Se lleva a cabo una reunión de clausura con todas las partes interesadas clave al final del evento, seguida de agradecimiento y reconocimiento del equipo. A medida que una organización madura en la aplicación de Lean, estos eventos se vuelven cada vez más cortos en duración. El objetivo final es tener ráfagas kaizen cortas, de cinco a 15 minutos de duración, que se produzcan en todo el lugar de trabajo según sea necesario.

5S: Otra herramienta asociada con el pensamiento *Lean* es 5S, que a menudo se aplica al principio de la etapa de implementación de *Lean* y luego se usa como un método continuo de apoyo. La metodología 5S surge en Japón, de hecho, su nombre viene designado por la primera letra del nombre de sus cinco etapas, y se inicia con Toyota en los años 60 para conseguir lugares de trabajo más limpios, ordenados y organizados. Surgió tras la Segunda Guerra Mundial por la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros con el objetivo de mejorar la calidad y eliminar obstáculos a la producción eficiente. En un principio se aplicó al montaje de automóviles, pero en la actualidad tiene aplicación a muchos más sectores, empresas y puestos de trabajo (Fernández, 2014 citado por Castro, 2018, p. 8).

De acuerdo con (Piñero et al. 2018, p. 102) “El nombre de la metodología de las 5S, proviene de los términos en japonés de los cinco elementos básicos del sistema: Seiri (selección), separar las piezas, herramientas y suministros necesarios de los innecesarios, deshaciéndose de lo que no se necesita poner en orden.

Seiton (Orden) Organizar e identificar cuidadosamente las piezas para facilitar su uso, Seiso (limpieza) Brillar. Llevar a cabo una campaña de limpieza, Seiketsu (normalización) Realice las primeras tres S a intervalos regulares y frecuentes y Shitsuke (autodisciplina) Forme hábitos para integrar 5S en sus procesos y audite para garantizar”.

5S no es solo "agradable de hacer". Es una herramienta que impulsa un resultado importante: el desarrollo y mantenimiento de un entorno de trabajo eficiente y seguro, uno de los objetivos del pensamiento y la aplicación *Lean*.

Otras herramientas y conceptos *lean* que también merecen una mención incluyen:

Manejo visual. Tener buenas medidas simples que sean visibles para todos para que cualquier persona (particularmente la gerencia) que camine por el área pueda ver de un

vistazo cómo van las cosas, si está adelantado o atrasado, desempeño de calidad, desempeño de seguridad, etc.

Justo a tiempo. Proporcionar la cantidad correcta del producto correcto/ servicio que el cliente quiere en el momento justo en que el cliente lo quiere; ni más, ni menos, ni antes, ni después.

Jidoka. Control individual de la operación para que los trabajadores puedan detener el proceso cuando ocurre un problema, solicitar la asistencia necesaria y esperar la corrección antes de reanudar el trabajo.

Trabajo estándar. Un conjunto bien definido de procedimientos realizados de manera prescrita a un ritmo dictado por el uso del cliente

Flujo de una sola pieza. Se acumula menos inventario y se produce menos espera cuando los artículos se producen uno a la vez, fluyendo a través del proceso al ritmo de atracción del cliente.

2.4 Metodología R-DMAIC

Esta metodología busca mejorar procesos a través de un enfoque sistemático y basado en datos. Cada fase tiene un propósito específico para identificar problemas, analizar sus causas, implementar soluciones y garantizar que los resultados se mantengan a largo plazo.

R-DMAIC procede de DMAIC, una de las metodologías principales de Seis Sigma, desarrollada en la década de 1980 por Motorola y popularizada en la década de 1990 por General Electric bajo el liderazgo de Jack Welch. Mikel Harry y Richard Schroeder.

Cuando falta un credo fuerte de toma de decisiones basada en datos en su cultura corporativa, debe agregar dos aspectos adicionales a sus proyectos de mejora DMAIC. La sección adicional R ayudará a identificar proyectos con un alto impacto en el cliente y

mantendrán los beneficios de adoptar una cultura *Lean Six Sigma* . Sus proyectos deben ser iniciados y guiados por una etapa de Reconocimiento (R) (Muir, 2016).

2.4.1 Fase Reconocer:

Muir lo describe como la consciencia de la necesidad de cambio, para ello es necesario identificar los problemas sistemáticos o las brechas significativas en el negocio, Articular la estrategia y Gestionar el esfuerzo. El propósito de la fase de reconocimiento es identificar las necesidades del negocio y articular los problemas del negocio. Hay tres etapas principales en esta fase:

La primera consiste en identificar los problemas sistemáticos o las brechas significativas del negocio; La fuente de ideas para cambiar puede provenir de clientes insatisfechos, problemas sistémicos que han fracasado en todos los intentos anteriores de solución, un mercado cambiante debido a cambios en la tecnología, expectativas de los clientes, la entrada de nuevos competidores o un problema de plataforma. Eso está obligando a los líderes empresariales a tomar una decisión difícil. Se requiere tener la capacidad de explicar los problemas reales de la empresa en términos que todos los miembros de la organización puedan entender.

Como segunda etapa es necesario articular la estrategia de negocio en el cual se definirá de manera cuidadosa y completa para guiar y medir el éxito y la alineación del proyecto. El equipo de gestión ejecutiva y la junta directiva deben reunirse periódicamente para identificar y comprometerse con un conjunto de objetivos para el próximo año comercial como mínimo. Los informes anuales son una buena fuente de ideas en general, pero se requiere profundizar en los detalles para convertir la estrategia en ejecución.

En general, una empresa debe tener un crecimiento de los ingresos de un año a otro y ser capaz de ofrecer un mejor rendimiento del capital invertido que las industrias rivales. El alto ejecutivo debe tener un plan de ejecución detallado.

Como tercera etapa de acuerdo a la opinión de Muir, se debe hacer que las partes interesadas estén de acuerdo con la estrategia de plan de programa *Lean Six Sigma*. Si la implementación de *Lean Six Sigma* u otra metodología de mejora de procesos es grande, entonces este paso explicaría cómo va a implementar un programa completo.

Esto significa, determinar los elementos de los líderes de calidad: *MBB (Master Black Belt)* y *BB (Black Belt)*, capacitación, planificación de sucesión, estructura e infraestructura de informes, revisiones de proyectos, objetivos métricos y un plan de implementación extendido para transformar la empresa. Si la implementación de LSS es pequeña, entonces este paso será una versión mucho más pequeña de la gestión de proyectos que incluye partes limitadas de este gran proceso.

Análisis FODA

Es un análisis que permite acentuar en cuatro palabras lo bueno y lo malo de una empresa, en el libro análisis FODA o DAFO de Sánchez Huerta explica lo que es, para que, cuándo, cómo y qué hacer cuando ya se cuenta con la matriz, con ello se aproxima en el proceso teórico práctico a dicha herramienta.

Para iniciar, es una metodología de trabajo en el cual se facilita la toma de decisiones a partir de recopilación de información general de la empresa, pero a su vez, se vuelve complejo a la hora de agruparlos en la matriz. Fue inventado por Albert S. Humphrey en la universidad de Stanford (EE. UU) durante los años sesenta y cada sigla representa uno de los atributos que se estudian.

Lo puede aplicar cualquier departamento de cualquier empresa interesado en conocer la ubicación estratégica de la misma, se puede emplear al iniciar un nuevo proyecto, una vez al año o ante cualquier cambio interno que se considera pueda afectar la situación competitiva como se describe a continuación teniendo como referencia la **Ilustración 5**.

Para explicar los pasos de la realización de la matriz, primero se debe identificar las oportunidades y amenazas; éstas corresponden al análisis externo o macro entorno, así como las fortalezas y debilidades; se da ante un micro entorno o análisis interno mediante un análisis a conciencia, es muy importante la sinceridad ante este tipo de análisis, ya que ayudaran a tener un panorama completo de cómo se encuentra la organización.

Ilustración 5

Elementos que componen la matriz FODA o DAFO.

MATRIZ D.A.F.O.												
ASPECTOS DEL ENTORNO												
ASPECTOS INTERNOS DE LA ORGANIZACION		OPORTUNIDADES					AMENAZAS					
			O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
FOR TALE	F ₁											
	F ₂											
	F ₃											
	F ₄											
	F ₅											
DEBILIDADES	D ₁											
	D ₂											
	D ₃											
	D ₄											
	D ₅											
		CUADRANTE OFENSIVO (MAXI-MAXI)					CUADRANTE DEFENSIVO (MAXI-MINI)					
		CUADRANTE ADAPTATIVO (MINI-MAXI)					CUADRANTE SUPERVIVENCIA (MINI-MINI)					

Fuente: Guilabert et al. 2024.

Análisis interno:

Fortalezas (F). Aspectos positivos que brindan a la organización ventajas competitivas. En el contexto del control de gestión, estas fortalezas deben ser identificadas y

aprovechadas para maximizar el rendimiento. Representan los elementos clave para cumplir la misión.

Debilidades (D). Aspectos que limitan el rendimiento de la organización. El control de gestión puede centrarse en abordar estas debilidades y mejorar áreas clave para optimizar el funcionamiento. Estos factores de la organización deben ser superados para cumplir la misión.

Análisis externo (sobre los que la organización no tiene control):

Oportunidades (O). Factores que la organización puede aprovechar para su beneficio. En términos de control de gestión, se trata de identificar y capitalizar oportunidades que puedan mejorar el desempeño organizacional. Son elementos en los que no se puede influir, pero si se aprovechan favorece el cumplimiento de la misión.

Amenazas (A). Factores que podrían problematizar el rendimiento de la organización. El control de gestión puede enfocarse en desarrollar estrategias para debilitar estas amenazas y garantizar la resiliencia organizacional. Estos factores del entorno pueden afectar el funcionamiento del sistema y dificultar el cumplimiento de la misión.

Estos elementos se pueden obtener a través del *brainstorming* (tormenta o lluvia de ideas). Se perfeccionan los aspectos similares y se reduce el listado a no más de ocho (8) para facilitar su aplicación. Luego, se aplica una matriz cruzada, que consiste en analizar cómo cada uno de los factores intrínsecos de la organización (fortalezas y debilidades) tienen determinados efectos sobre los factores del entorno (amenazas y oportunidades).

CAME

Los Autores Medina, Nogueira y Ojeda (Pokhrel, 2024) establecen El análisis CAME (Corregir, Afrontar, Mantener y Explotar) es una de las técnicas más empleadas en combinación con la matriz DAFO.

Guilabert et al. (2024) la identifica como metodología DAFO-CAME y expone que esta herramienta facilita comprender las ideas importantes de las que no lo son. Esta técnica permite identificar y aprovechar oportunidades, anticipar y atenuar amenazas, al mismo tiempo que brinda una visión clara sobre las debilidades y las fortalezas organizativas.

Consiste en valorar cada una de las deficiencias, amenazas, fortalezas y oportunidades, seleccionadas previamente en el DAFO, y formular estrategias y acciones asociadas para:

- Corregir las debilidades (C-D), con el fin de superar o disminuir las deficiencias detectadas.

- Afrontar las amenazas (A-A), enfocadas a eliminar las amenazas o minimizar su impacto.

- Mantener las fortalezas (M-F), para conservar lo que hace fuerte la organización y le distingue del resto.

- Explotar las oportunidades (E-O), encaminada a explorar oportunidades y convertirlas en fortalezas.

PESTEL:

Conscientes de la influencia de los factores externos en el buen desempeño de los proyectos empresariales, V.K. Narayanan y Liam Fahey crearon en 1968 una metodología para examinar el impacto de estos elementos en las compañías. (Clemente, Paula. 2024)

De esta manera, surgió el análisis PEST, un acrónimo que hace referencia a los siguientes factores: Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos.

Sin embargo, a día de hoy, cuenta con dos elementos más, dando lugar al acrónimo PESTEL:

Políticos: hacen referencia a cómo las decisiones o posturas gubernamentales a nivel local, regional, nacional e internacional pueden afectar a la marcha del negocio. Los incentivos empresariales, las políticas fiscales, el respaldo de ciertos lobbies, el fomento del comercio exterior, la existencia de tratados internacionales o la propia estabilidad política pertenecen a este grupo.

Económicos: son los datos macroeconómicos, como la inflación, los tipos de interés, el Producto Interior Bruto (PIB), el nivel de consumo, la tasa de paro, etc., así como los ciclos económicos. Conocer el momento actual de la economía y su tendencia nos puede ayudar a anticiparnos a posibles desafíos y oportunidades.

Sociales: Las características sociales, culturales y demográficas del mercado son otros de los parámetros del análisis PESTEL, especialmente los cambios en los comportamientos de los consumidores. Estudiar todos estos factores es vital a la hora de adaptar un producto o servicio a su público objetivo.

Tecnológicos: Debido a la velocidad a la que evolucionan las innovaciones tecnológicas, este es uno de los factores más complejos de valorar. No obstante, por este motivo, es tan importante estudiar cómo la tecnología puede afectar el negocio. Para ello, es indispensable informarse sobre la inversión pública en I+D, el nivel de ingenio de la tecnología, el grado de obsolescencia, etc.

Ecológicos: La sociedad está cada vez más concienciada sobre la necesidad de proteger el medioambiente. Esto se convierte en un factor más del análisis PESTEL: hábitos de consumo más sostenibles, una regulación más proteccionista, incentivos gubernamentales para fomentar el reciclaje, etc.

Legales: Los cambios en la normativa pueden arrojar la empresa al éxito o, por el contrario, abocarla al fracaso, por ello es importante averiguar la legislación vigente y futura.

Mapa de la Cadena de Valor (VSM):

Value Stream Mapping por sus siglas en inglés es según Rohani, y Zahraee, (2015), una técnica de manufactura eficiente para documentar, analizar y mejorar cualquier proceso de negocios. Su salida se denomina *Value Stream Map*, que es una representación visual del flujo de materiales e información que se requieren para producir un producto o servicio para un cliente. Tomando sus raíces de la metodología de *Lean Manufacturing*, Toyota utilizó materiales y diagramas de flujo de información para revisar sus procesos.(Apaza et al., 2022)

Para realizar el VSM, se debe tener en cuenta los siguientes términos (Rohani, y Zahraee, 2015)

Producción *Lead Time*: Es el tiempo desde que se solicita el pedido hasta que está listo para su embalaje o envío al cliente.

***Processing Time*:** Es el tiempo requerido por un trabajador para finalizar su tarea.

Tiempo de ciclo: Es el tiempo promedio para un total de producto en cada proceso, se puede realizar el tiempo medio para cada unidad. (Rother and Shook 1998)

***Takt Time*:** Es la frecuencia con la que las unidades han de ser procesadas, guarda una estrecha relación con la “tasa de demanda del cliente”. Velacio (2018)

Tiempo Disponible: Es el tiempo que se dedica a cada actividad, en un plazo determinado (h/día, h/semana, h/mes), aquí se desprecian reuniones, descansos y todo aquello que pueda perturbar el tiempo de trabajo.

Demanda: Es el número de productos que necesarios para cubrir las necesidades del mercado.

2.4.2 Fase Definir:

La fase "Definir" es la primera etapa en la metodología R-DMAIC, cuyo enfoque principal es resumir el plan del proyecto. Esta fase se orienta a especificar claramente los problemas; los objetivos del proyecto de mejora, el alcance del proyecto e identificación de los clientes junto a sus requisitos. (Marzagão, Carvalho, 2016, p. 34).

Objetivo de la fase Definir

La fase Definir tiene como objetivo principal clarificar el alcance del proyecto, delimitar el problema que se desea resolver y especificar las metas que se pretenden alcanzar. Durante esta etapa, se busca identificar qué procesos están implicados en el problema, quiénes son los clientes (internos o externos) afectados, y cuál es el impacto potencial del problema en términos de costos, calidad, satisfacción del cliente, o eficiencia. Esto ayuda a garantizar que los esfuerzos del equipo se enfoquen en las áreas de mayor impacto y que el proyecto sea viable y relevante para los objetivos de la organización.

Pasos clave en la fase Definir

Establecer el Enunciado del Problema: El equipo debe formular un enunciado claro del problema que explique la situación actual y los efectos negativos que este genera. Este enunciado debe ser específico, medible y basado en datos preliminares, de modo que todos los miembros del equipo comprendan exactamente qué es lo que se intenta mejorar o resolver.

Definir los Objetivos del Proyecto: Los objetivos deben ser medibles y alineados con las metas estratégicas de la organización. Estos deben ser alcanzables en un plazo de tiempo determinado y deben poder evaluarse a través de indicadores específicos. En general, se recomienda usar la metodología SMART (específicos, medibles, alcanzables, realistas y con límite de tiempo) para formular los objetivos.

Identificar a los Clientes y sus Requerimientos: Es fundamental conocer quiénes serán los beneficiarios de las mejoras en el proceso y cuáles son sus necesidades y expectativas. Aquí, se pueden usar herramientas como el "VOC" (Voz del Cliente) para captar las opiniones y requerimientos de los clientes y traducirlos en características de calidad que guíen el desarrollo del proyecto.

Alcance del Proyecto: Delimitar el alcance es esencial para que el proyecto sea factible y manejable. Esto incluye especificar los límites del proceso que se va a mejorar y definir cuáles áreas o actividades están dentro y fuera del proyecto. Establecer un alcance claro ayuda a prevenir que el proyecto se expanda y a mantener el enfoque en los objetivos principales.

Mapeo de Procesos: Durante esta fase, también se suele realizar un mapeo preliminar del proceso, como un diagrama SIPOC (Proveedor, Entrada, Proceso, Salida y Cliente), para entender cómo fluyen las actividades y cuáles son los elementos clave que intervienen en el proceso. Esto da una visión general que ayuda a identificar posibles áreas de intervención.

Formación del Equipo de Trabajo: Se deben definir los roles y responsabilidades de cada miembro del equipo, que debe estar conformado por personas con habilidades y conocimientos relevantes para el proyecto.

Desarrollar un Cronograma: Una planificación temporal del proyecto permite tener una visión clara de las fases, los recursos necesarios y los hitos importantes. Este cronograma debe incluir los tiempos estimados para cada fase y las fechas clave de revisión.

Herramientas usadas en la fase Definir

Durante la fase Definir, es común utilizar herramientas de gestión y análisis como el diagrama SIPOC, diagramas de flujo, y el análisis VOC para identificar y clasificar las necesidades del cliente. Además, un documento fundamental en esta etapa es el "Project

Charter" o acta constitutiva del proyecto, que incluye el enunciado del problema, los objetivos, el alcance y el equipo de trabajo. Esta acta servirá de guía durante todo el proyecto y facilitará la comunicación y alineación de todos los involucrados.

Importancia de la fase Definir

La fase Definir es crucial para el éxito de cualquier proyecto DMAIC porque establece las bases y los lineamientos a seguir. Una definición clara del problema y de los objetivos ayuda a evitar desviaciones, a identificar el impacto potencial y a asegurar que el equipo se mantenga enfocado en los resultados deseados. Sin una fase de Definir sólida, es probable que el proyecto encuentre obstáculos debido a una falta de claridad, objetivos vagos o mal alineados, o una comprensión insuficiente del problema y sus implicaciones.

En conclusión, la fase Definir en R-DMAIC no solo delimita el proyecto, sino que facilita la toma de decisiones y optimiza los recursos disponibles al alinear las acciones del equipo con los objetivos estratégicos de la organización.

2.4.3 Fase Medir

El objetivo principal de esta fase es recopilar los datos relevantes para el alcance del proyecto. El enfoque de esta fase es identificar los parámetros que deben cuantificarse, las formas de medirlos, recopilar los datos necesarios y llevar a cabo la medición mediante diferentes técnicas (Marzagão, Carvalho, 2016, p. 34).

Después de la recopilación de datos, los datos se analizan para determinar su naturaleza a través de distribuciones de frecuencia. El histograma se puede usar para comprender la distribución de datos. Dependiendo de la naturaleza de los datos: Normal o No normal, se deciden las herramientas de análisis de datos (Nuñez, 2015, p. 890).

La capacidad del proceso actual es también un aspecto importante para ser comprendido en esta fase.

En esta fase, se pueden usar diferentes herramientas, como: Diagramas de flujo de proceso, Benchmarking, Gráficos de ejecución, y Capacidad de proceso. (Srinivasan, Muthu, Devadasan y Sugumaran, 2014, p. 97).

Dos técnicas de medición utilizadas comúnmente son: Defects Per Million Opportunities (DPMO) y Process *Sigma*. Se utilizan herramientas como: Mapeo del proceso y Recolección de datos.

Gráficas de control por atributos:

Las gráficas de control por atributos se utilizan específicamente para monitorear variables discretas o categorizadas (también conocidas como «atributos»), como la cantidad de defectos o la cantidad de productos aceptables en una línea de producción. Algunos ejemplos de gráficas de control por atributos incluyen:

Gráfica p: Porcentaje de unidades o procesos defectuosos

Gráfica np: Número de unidades o procesos defectuosos

Gráfica c: Número de defectos por área de oportunidad

Gráfica u: Porcentaje de defectos por área de oportunidad

2.4.3.1 Gráficas de control para variables:

Se utilizan gráficos de control para variables con el fin de tener bajo vigilancia a la media y a la variabilidad de la distribución de un proceso, gráficos de Rangos y Medias (R&X barra).

Gráfica x – R: Promedios y rangos

Gráfica x – s: Promedios y Desviación Estándar

Gráfica x – R: Medianas y Rangos

Gráfica x – R: Lecturas Individuales y Rangos

MSA

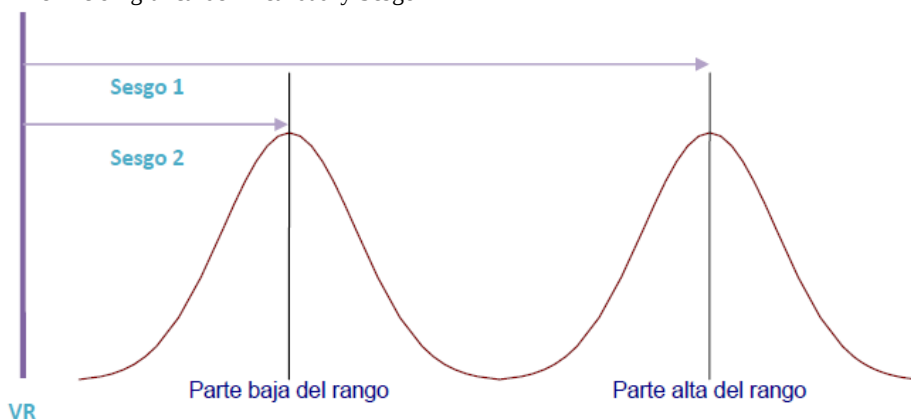
MSA o Análisis del Sistema de Medición, es la herramienta encargada de certificar el proceso completo usado para obtener mediciones.

Sesgo: A través de un estudio de Sesgo o Bias, se determina cuánta diferencia hay entre los valores que arroja la medición comparándolo con master o estándar. Para saber el sesgo necesitamos nuestro equipo de medición, el área de trabajo y por supuesto, los inspectores o personas que harán las mediciones.

Linealidad: es de gran interés también saber si nuestro sistema de medición es capaz de mantener su confiabilidad a lo largo del rango de valores que queremos medir.

Ilustración 6

Definición gráfica de Linealidad y Sesgo



Fuente: Modelo de dirección para la aplicación SS, capítulo V.

Estudio R&R por atributos

Si una empresa no cuenta con los medios adecuados para medir y controlar las especificaciones requeridas, puede estar cometiendo fallas en las mediciones en cuanto a cantidad, diámetro, peso, resistencia, humedad, dureza, entre muchas posibles variables, que afectarán al cliente y sus intereses, o errores que estarán afectando las utilidades de la

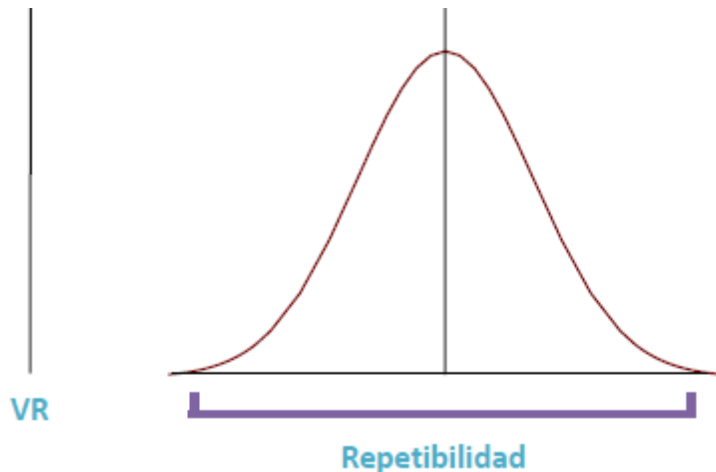
empresa. El sistema de medición en una empresa son los ojos a través de los cuales se observa la calidad, los instrumentos de medición deben realizar mediciones confiables que no den falsas alarmas sobre el comportamiento de los procesos, si no se cuenta con un sistema de medición confiable, nunca se podrá saber si se produce con buena calidad.

Los estudios R&R permite evaluar simultáneamente la repetibilidad y la reproducibilidad, estos estudios se realizan de modo experimental y se evalúa que parte de la variabilidad total observada en el producto es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide.

Repetibilidad – *Repeatability* La repetibilidad de un sistema de medición es la precisión o variabilidad en condiciones lo más controladas posibles, con diferencias pequeñas de tiempo, que presentan los resultados cuando una característica de una pieza es medida varias veces por el mismo operador con el mismo instrumento. Se define como la variación alrededor de la media, esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso mostrado gráficamente en la **Ilustración 7**

De acuerdo con el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) la repetibilidad de resultados de mediciones es: La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando (pieza) bajo las mismas condiciones de medición

Ilustración 7
Definición Gráfica de Repetibilidad



Fuente: Modelo de dirección para la aplicación SS, capítulo V.

Posibles causas de la falta de repetibilidad en un sistema de medición: Si la fuente dominante de variación es la repetibilidad se deben investigar las posibles causas: problemas debido al instrumento de medición, al método de medida, al observador, al ambiente, a la pieza, al estándar, error de observación, diseño del instrumento, distorsión, entre otros.

Instrumento de medición: suciedad del instrumento, fricción, desajuste, desgaste, falta reparación, falla de equipo, pobre calidad de mantenimiento, instrumento mal diseñado, funcionamiento inadecuado, método inadecuado, condiciones ambientales, instrumento no adecuado.

Método de medida: variación en puesta a punto, técnica, ajuste de cero, agarre, sujeción, densidad de punto.

El observador: técnica, posición, carencia de experiencia, habilidad de manipulación o entrenamiento, sentimiento, fatiga.

El ambiente: ciclo-corto, fluctuaciones de temperatura, humedad, vibración, iluminación, limpieza, corrientes de aire, cercanía de una puerta.

La pieza (muestra): tamaño, forma, posición, superficie, acabado, estrechez, consistencia de la muestra, variabilidad dentro de la pieza.

El estándar: Calidad, clase, desgaste.

Error de observación: legibilidad, paralaje.

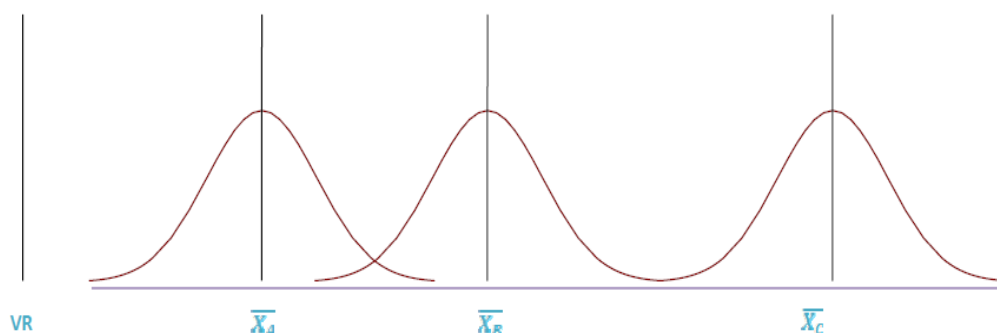
El diseño del instrumento: carece de robustez, pobre uniformidad. Distorsión: (calibre o parte), carencia de rigidez

Reproducibilidad – *Reproducibility*: La reproducibilidad de un sistema de medición es la precisión o variabilidad de las mediciones de una característica, cuando una misma pieza es medida varias veces en distintas condiciones (diferentes operadores, distintos instrumentos de medida, distintos laboratorios o épocas distintas). Para procesos de medición con sistemas automáticos, donde el operador no es la mayor fuente de variación.

De acuerdo al VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) la reproducibilidad de resultados de mediciones es: La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando (pieza) bajo condiciones de medición que cambian diferentes condiciones para realizar estudios de reproducibilidad: Se debe variar al tiempo solo una condición.

Ilustración 8

Definición gráfica de Reproducibilidad



Fuente: Modelo de dirección para la aplicación SS, capítulo V.

Entre métodos: diferencia de promedio entre las mediciones, causada por cambio en las densidades de punto, sistema manual vs automático, ajuste del cero, métodos de agarre o sujeción, entre otros. Las demás condiciones deben permanecer constantes.

Entre Observadores: (operadores) diferencia de promedio entre las mediciones, de los observadores A, B, C, etc. causada por entrenamiento, técnica, habilidad y experiencia. Las demás condiciones deben permanecer constantes.

Entre instrumentos: diferencia promedio entre las mediciones, usando los instrumentos A, B, C, etc., para las mismas piezas, operadores y ambiente.

Entre estándares: Influencia en el promedio entre las mediciones, de diferentes estándares de ajuste en el proceso de medición. Las demás condiciones deben permanecer constantes.

Entre partes (muestras): diferencia promedio entre las mediciones, cuando se miden tipos de piezas A, B, C, etc. utilizando el mismo instrumento, operador y método.

Entre ambientes: diferencia promedio entre las mediciones sobre el tiempo 1, 2, 3, etc. causadas por ciclos ambientales; éste es el estudio más común para sistemas altamente automatizados en cualificaciones de producto y proceso.

Pasos para realizar un estudio R&R

1. Seleccionar dos o más operadores para conducir el estudio acerca del instrumento de medición de interés.

2. Seleccionar un conjunto de 10 o más piezas de la producción del mismo producto, que serán medidas varias veces por cada operador (la característica medida de las piezas seleccionadas deben ajustarse a un comportamiento normal y debe tener la misma variación histórica del proceso).

3. Decidir el número de ensayos o veces que cada operador medirá la misma pieza (por lo menos cinco veces).
4. Etiquetar cada pieza y aleatorizar el orden en el cual las piezas se dan a los operadores para ser medidas.
5. Identificar la zona o punto en la pieza donde la medición será tomada, así como el método o técnica que deberá aplicarse.
6. Obtener en orden aleatorio las mediciones realizadas por los operadores hasta que hayan realizado la medición de todas las piezas. En cada medición realizada el operador no debe conocer cual pieza está midiendo, ni cuales fueron sus mediciones anteriores sobre ella, menos las reportadas por los demás operadores, es decir, debe haber otra persona que supervise y registre las mediciones obtenidas en el estudio.
7. Realizar el análisis estadístico de los datos.

2.4.4 Fase Analizar

El objetivo principal de esta fase es encontrar la causa raíz de la ineficiencia comercial. Identifica las brechas entre el rendimiento real y el objetivo, determina sus causas y oportunidades para su mejora. La fase de análisis sigue un enfoque de profundización para llegar a las causas raíz exactas de varias causas potenciales identificadas inicialmente. (Tenera, Pinto, 2014, p. 119).

La fase de análisis requiere el cuidado necesario para identificar y verificar las causas de raíz. Porque la efectividad de la mejora del proceso a través del proyecto *Six Sigma* radica en la delicada identificación de las causas raíz. (Marzagão, Carvalho, 2016, p.34).

Las herramientas comúnmente utilizadas en la fase de análisis son Diagrama de espina de pescado, Lluvia de ideas, Histograma, 5 por qué, Prueba de hipótesis, Gráficos de

series temporales y Diagrama de dispersión. (Srinivasan, Muthu, Devadasan y Sugumaran, 2014, p. 97), de acuerdo a los autores son comunes. pero para el presente proyecto de tesis se emplearon también, el diagrama de causas y efectos y, la matriz de Vester.

Matriz de Vester:

La Matriz de Vester, que también se conoce como Matriz de Impacto Cruzado o Matriz de Interdependencias, es una herramienta de análisis sistémico desarrollada por el bioquímico y especialista en sistemas ambientales alemán Frederic Vester. Esta matriz facilita el análisis y la visualización de las relaciones e interdependencias entre diversas variables en un sistema complejo, lo que resulta útil para la toma de decisiones estratégicas, especialmente en contextos donde intervienen múltiples factores interrelacionados.

La matriz de Vester es una serie de filas colocadas de forma horizontal y vertical, en las cuales se muestran las posibles causas de un problema para su fácil análisis.

- Plantear los diferentes problemas: Cualquier método de generación de ideas.
- Caracterizar y priorizar los problemas: Diagrama de Pareto, diagrama causa y efecto, matriz de Vester, árbol de problemas.
- Definir objetivos y plan de trabajo: árbol de objetivos, diagrama de Gantt.
- Trabajar en la solución del problema cumpliendo los objetivos trazados.

5 por qué:

La técnica de los "5 por qué" es una herramienta de análisis de causas raíz utilizada para profundizar en la identificación de la verdadera causa de un problema mediante preguntas repetitivas. Esta metodología se basa en el planteamiento de "¿Por qué?" tantas veces como sea necesario hasta llegar al núcleo de la cuestión, aunque generalmente se recomienda hacer la pregunta cinco veces, de ahí el nombre. Este enfoque fue desarrollado

como parte del Sistema de Producción de Toyota y es uno de los principios básicos de *Lean Manufacturing*.

Origen y autores

La técnica de los 5 por qué fue ideada y formalizada por Taiichi Ohno, ingeniero japonés y uno de los principales arquitectos del Sistema de Producción de Toyota. Ohno introdujo esta técnica en la década de 1950 como parte de las prácticas para mejorar la eficiencia y eliminar desperdicios dentro de los procesos de fabricación. En su libro *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* (1988), Ohno destaca que la técnica de los 5 por qué es fundamental para encontrar la causa raíz de un problema en lugar de limitarse a resolver los síntomas visibles.

Para Ohno, esta técnica era esencial en la filosofía de "Genchi Genbutsu" (ir al lugar donde ocurre el problema) de Toyota, ya que permitía a los trabajadores y gerentes entender las situaciones en la práctica, enfrentarse a los problemas y descubrir su origen real. Otros autores, como Masaaki Imai, en su libro *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success* (1986), también han reconocido la importancia de los 5 por qué dentro del kaizen, que busca mejoras continuas en los procesos organizacionales.

Cómo funciona la técnica de los 5 por qué

El método de los 5 por qué es simple pero efectivo, y su implementación implica los siguientes pasos:

Definir el problema claramente: Se describe de manera concisa el problema observado, asegurando que todos en el equipo lo comprendan y lo perciban de la misma forma Preguntar "¿Por qué?" por primera vez: Se formula la primera pregunta para explorar la causa inmediata del problema.

Seguir preguntando "¿Por qué?": A cada respuesta obtenida, se le formula un nuevo "¿Por qué?", buscando cada vez una causa más profunda y evitando respuestas superficiales.

Continuar hasta llegar a la causa raíz: Aunque cinco preguntas es una cantidad orientativa, en algunos casos se requiere hacer menos o más preguntas. El objetivo es llegar al punto en que se identifique una causa que sea controlable y manejable.

Implementar acciones correctivas: Una vez identificada la causa raíz, se implementan soluciones que eliminen o mitiguen el problema de forma permanente.

Ventajas y limitaciones

Entre las ventajas de los 5 por qué, se encuentra su simplicidad, bajo costo y efectividad para llegar a la causa raíz sin requerir herramientas complejas. Según John Shook, quien explica esta metodología en su obra *Managing to Learn* (2008), los 5 por qué promueven una cultura de cuestionamiento y análisis profundo que beneficia a toda la organización.

Sin embargo, existen limitaciones. Una desventaja es la dependencia de la habilidad del equipo para hacer las preguntas correctas y de su conocimiento sobre el proceso. Si el equipo carece de experiencia, puede no alcanzar la causa raíz adecuada. Además, la técnica de los 5 por qué no es adecuada para problemas complejos que tienen múltiples causas o interacciones entre factores. En estos casos, otras herramientas como el diagrama de Ishikawa o análisis de fallos pueden ser más apropiadas.

Conclusión

La técnica de los 5 por qué es una herramienta sencilla y poderosa para encontrar la causa raíz de problemas. Desarrollada por Taiichi Ohno y utilizada ampliamente en Toyota, se ha convertido en un pilar de la mejora continua y es esencial para fomentar una cultura organizacional que priorice el análisis de problemas a fondo. Aunque tiene sus limitaciones,

es valiosa cuando se emplea adecuadamente y contribuye a identificar soluciones duraderas y efectivas para una amplia variedad de problemas.

Árbol de decisiones:

El árbol de decisiones es una herramienta analítica que facilita la toma de decisiones mediante la representación gráfica de las posibles opciones y sus consecuencias, organizadas en un diagrama de tipo árbol. Cada nodo del árbol representa una decisión o un evento, y cada rama conecta posibles resultados o elecciones, lo que permite visualizar los diferentes caminos y sus respectivas probabilidades, beneficios o costos. Esta herramienta es ampliamente utilizada en el análisis de decisiones, especialmente en situaciones de incertidumbre y riesgo, ya que permite evaluar distintos escenarios y elegir la opción que maximice el beneficio o minimice el riesgo.

Definición y origen

El concepto de árbol de decisiones fue popularizado por J. Ross Quinlan, un influyente investigador en inteligencia artificial y aprendizaje automático. Quinlan desarrolló el algoritmo ID3 en los años 80, el cual utiliza árboles de decisiones para clasificar datos mediante la selección de atributos que mejor discriminan entre las categorías, y su trabajo se ha ampliado con algoritmos posteriores como C4.5 y CART (*Classification and Regression Trees*) desarrollados por Breiman et al. en 1984. Aunque el árbol de decisiones es utilizado en estadística, economía y administración, el trabajo de Quinlan y Breiman destaca su aplicación en la inteligencia artificial y análisis de datos.

Componentes de un árbol de decisiones

Nodo de decisión: Representa un punto en el cual el decisor debe tomar una decisión entre dos o más alternativas.

Nodo de probabilidad: Denota un evento cuyo resultado es incierto, asignando probabilidades a cada posible resultado.

Ramas: Conectan los nodos y representan las opciones o posibles caminos que puede tomar el proceso de decisión.

Resultados o hojas: Estos son los puntos finales del árbol, que representan las consecuencias de cada combinación de decisiones y eventos.

Cada decisión se puede ponderar con un valor o probabilidad de ocurrencia, lo que permite calcular el valor esperado de cada decisión. Esto es particularmente útil en la teoría de decisiones, pues permite seleccionar el camino con mayor beneficio esperado o menor riesgo. Según Clemen y Reilly (2013) en su obra *Making Hard Decisions with DecisionTools*, este enfoque ayuda a reducir la complejidad al representar las decisiones de forma lógica y estructurada.

Construcción y análisis

Para construir un árbol de decisiones, el primer paso es identificar todas las alternativas de decisión y posibles eventos asociados a estas decisiones. Luego, se asignan probabilidades y valores a cada rama, analizando los posibles resultados y sumando los valores esperados de cada camino para determinar la mejor opción. Es común utilizar software de apoyo como Excel o programas específicos de análisis de decisiones para simplificar el proceso, especialmente en situaciones complejas.

Ventajas y limitaciones

Según Raiffa y Schlaifer (2000) en *Applied Statistical Decision Theory*, uno de los beneficios principales del árbol de decisiones es su capacidad para desglosar decisiones complejas en componentes más manejables, lo cual facilita la comprensión y comunicación

del proceso de decisión. Además, permite tomar decisiones basadas en un análisis estructurado y calculado de probabilidades y resultados esperados.

2.4.5 Fase Mejorar

Esta fase mejora el proceso al determinar soluciones potenciales, formas de implementarlas, probarlas e implementarlas para mejorarlas. En esta fase, se consulta a los propietarios del proceso y se sugieren mejoras. El plan de acción para la mejora se distribuye a las partes interesadas pertinentes. (Marzagão, Carvalho, 2016, p.38).

En esta etapa, el equipo busca optimizar el proceso o sistema, eliminando defectos o ineficiencias y logrando mejoras sostenibles en términos de calidad, costo o tiempo.

Objetivo de la fase Mejorar

El propósito principal de esta fase es diseñar e implementar mejoras que tengan un impacto significativo en el problema identificado. Alexander Melvin (2001), la fase de Mejorar debe enfocarse en cambiar o optimizar los elementos que producen variabilidad o defectos en el proceso. Esto implica desarrollar soluciones basadas en los datos y análisis previos, asegurándose de que las mejoras no solo resuelvan el problema, sino que también mejoren la eficiencia y satisfagan las expectativas del cliente.

Pasos clave en la fase Mejorar

Generación de ideas y soluciones: El equipo utiliza técnicas de creatividad como lluvia de ideas, mapas mentales y benchmarking para desarrollar una lista de posibles soluciones. También se pueden aplicar herramientas de mejora de procesos como el "Análisis de Costos-Beneficios" y el "Diagrama de Esfuerzo-Impacto" para priorizar soluciones que tengan un mayor efecto positivo en el problema y sean viables de implementar.

Diseño de Experimentos (DoE): En esta fase es común realizar experimentos controlados para probar los cambios. Según Montgomery (2013), el DoE permite al equipo probar variaciones del proceso y analizar cuáles combinaciones de factores conducen a mejores resultados. El DoE ayuda a validar los efectos de los cambios propuestos antes de su implementación definitiva.

Implementación de las mejoras: Una vez seleccionadas las soluciones óptimas, se procede a su implementación en el proceso. Es importante aplicar los cambios de forma controlada y en una escala limitada al principio (por ejemplo, una fase piloto), para observar y medir sus efectos sin afectar el sistema en su totalidad. Esto permite hacer ajustes si es necesario antes de extender las mejoras.

Evaluación de resultados: Después de implementar las soluciones, el equipo evalúa el impacto mediante indicadores clave de rendimiento (KPIs). Según Pyzdek y Keller (2014) la medición precisa de resultados permite al equipo verificar si las mejoras han alcanzado los objetivos establecidos en la fase de Definir. En esta etapa, también se analizan posibles efectos secundarios de las mejoras implementadas, para asegurar que el proceso no se vea afectado en otras áreas.

Herramientas utilizadas en la fase Mejorar

Algunas herramientas comúnmente utilizadas en esta fase incluyen el DoE, análisis de costos-beneficios, diagramas de flujo mejorados y herramientas Lean como el poka-yoke, que busca "a prueba de errores" en el proceso para evitar defectos humanos.

Importancia de la fase Mejorar

La fase de Mejorar es fundamental porque representa el punto en el que los análisis previos se traducen en cambios reales y cuantificables en el proceso. Tal y como afirman George et al. (2005) es aquí donde se concretan los beneficios del R-DMAIC, reduciendo

costos, mejorando la calidad y aumentando la satisfacción del cliente. Sin la fase de Mejorar, el trabajo de las fases anteriores carecería de valor práctico.

En conclusión, la fase Mejorar en R-DMAIC permite implementar soluciones basadas en datos y validarlas mediante herramientas de experimentación y control, asegurando que las mejoras sean sostenibles y beneficiosas a largo plazo

2.4.6 Fase Controlar

El objetivo principal de esta fase es generar un plan detallado de supervisión de la solución. Este plan asegura que se mantenga el rendimiento requerido. Define y valida el sistema de monitoreo, desarrolla estándares y procedimientos, verifica beneficios y crecimiento de beneficios y se comunica con las empresas. (Tenera, Pinto, 2014, p. 920).

En esta etapa, el equipo establece sistemas de monitoreo y control para verificar que el proceso mejorado sigue cumpliendo con los estándares de rendimiento definidos, evitando que el problema vuelva a ocurrir. La fase de Controlar garantiza la sostenibilidad de los beneficios obtenidos y evita la regresión a las condiciones previas del proceso.

Objetivo de la fase Controlar

El objetivo principal de la fase Controlar es establecer mecanismos que permitan verificar que el proceso se mantiene en su nivel de rendimiento deseado sin desviaciones significativas. Según George, Rowlands, Price y Maxey (2005), esta fase es esencial porque permite que los cambios en el proceso se traduzcan en beneficios permanentes, asegurando que las mejoras sigan siendo efectivas sin necesidad de intervención continua.

Pasos clave en la fase Controlar

Documentación de las mejoras: Una de las primeras actividades en la fase Controlar es documentar las modificaciones realizadas en el proceso. Esto incluye detallar las nuevas prácticas, las herramientas implementadas y cualquier cambio en los procedimientos. La documentación permite que los miembros del equipo y futuros empleados comprendan las modificaciones realizadas, lo cual facilita la estandarización y el cumplimiento.

Establecimiento de métricas de control: Para monitorear el rendimiento del proceso, se definen indicadores clave (KPIs) que reflejan el éxito de las mejoras. Según Pyzdek y Keller (2014) es importante seleccionar métricas que sean relevantes y directamente relacionadas con las mejoras, ya que estas servirán como referencia para evaluar el estado del proceso. Ejemplos comunes de métricas incluyen tiempo de ciclo, tasa de defectos, satisfacción del cliente y eficiencia del proceso.

Plan de control: El plan de control es un documento que detalla cómo se mantendrán las mejoras a lo largo del tiempo. Incluye los indicadores a monitorear, los puntos de control en el proceso, la frecuencia de recolección de datos y los responsables de cada actividad. Este plan funciona como una guía para el monitoreo continuo, asegurando que el equipo se mantenga alineado con los objetivos del proyecto y responda rápidamente a cualquier desviación en el rendimiento.

Gráficos de control: Una herramienta común en esta fase son los gráficos de control, que permiten al equipo observar el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo. Estos gráficos ayudan a detectar tendencias y variaciones fuera de los límites de control establecidos, lo que permite intervenir rápidamente si el proceso muestra signos de inestabilidad. Según Montgomery (2013), los gráficos de control son efectivos para identificar desviaciones y ayudar a mantener el proceso en su estado óptimo.

Capacitación del personal: Para garantizar que el equipo pueda mantener las mejoras, es importante capacitar al personal en los nuevos procedimientos y prácticas. Esta formación les permite comprender cómo operar el proceso de acuerdo con los estándares y responder adecuadamente ante posibles problemas. Además, la capacitación promueve una cultura de mejora continua en la organización.

Revisión periódica y mejora continua: La fase de Controlar no solo implica monitorear el rendimiento actual, sino también realizar revisiones periódicas para identificar posibles áreas de mejora adicionales. La filosofía de mejora continua (kaizen) es fundamental en esta etapa, ya que permite a la organización seguir optimizando sus procesos y adaptarse a cambios en el entorno o en las demandas del mercado.

Importancia de la fase Controlar

La fase de Controlar es crucial en el ciclo R-DMAIC porque garantiza que los esfuerzos realizados en las fases anteriores se traduzcan en beneficios sostenibles y permanentes. Sin esta fase, las mejoras alcanzadas podrían degradarse rápidamente, y el proceso podría volver a sus niveles de rendimiento previos. Como afirman Harry y Schroeder (2000), el control es fundamental para que las empresas logren una mejora continua y reduzcan la variabilidad en sus procesos.

En conclusión, la fase Controlar en R-DMAIC permite a las organizaciones consolidar y mantener los beneficios de las mejoras a través de sistemas de monitoreo, control y revisión continua. Esta etapa refuerza la cultura de calidad y asegura que los resultados alcanzados se mantengan en el tiempo, promoviendo así una cultura de mejora continua y eficiencia en toda la organización.

Método

El método propuesto para el desarrollo del proyecto de tesis en la solución de la problemática de la empresa metalmecánica: reducir los defectos y retrabajos, se trabajará con la metodología R-DMAIC.

1. Fase R:

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa.
- Obtener un panorama general.
- Análisis de los recursos disponibles (recurso humano, instalaciones, equipo...).
- Mapeo de proceso, análisis FODA, PESTEL y CAME.

2. Fase Definir:

- Desarrollar el mapa de Flujo de Valor (VSM)
- Elaborar el diagrama SIPOC
- Realizar la carta de proyecto estableciendo métricas para el logro de los objetivos

3. Fase Medir:

- Desarrollar las herramientas MSA para determinar el estado de control de los procesos.
- Identificar los defectos dentro de los procesos, Realizando un listado de todos y cada uno asignando un nombre, código, responsable, gravedad. AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas)
- Identificar el nivel de *sigma* en que se encuentra la empresa.

4. Fase Analizar:

- Aplicación de las técnicas y herramientas de ingeniería industrial para determinar las causas raíces que originan la obtención de defectos.

5. Fase Controlar:

Comparar los resultados del sistema antes y después de la implementación de las técnicas y herramientas, y establecer las métricas necesarias para sistematizar las mediciones y el análisis en el proceso de disminución de defectos.

En la **Ilustración 9** se presenta el diagrama de procesos a seguir en esta tesis, aplicando la metodología *Lean Six Sigma* y R-DMAIC que va implícito en el proceso de obtención de mejora, con apoyo de herramientas básicas de Ingeniería Industrial, se establecen las herramientas y técnicas a emplear con base en los procedimientos aplicados en la metodología se quiere lograr una reducción de defectos y la aplicación de la misma como parte del proceso general de la empresa.

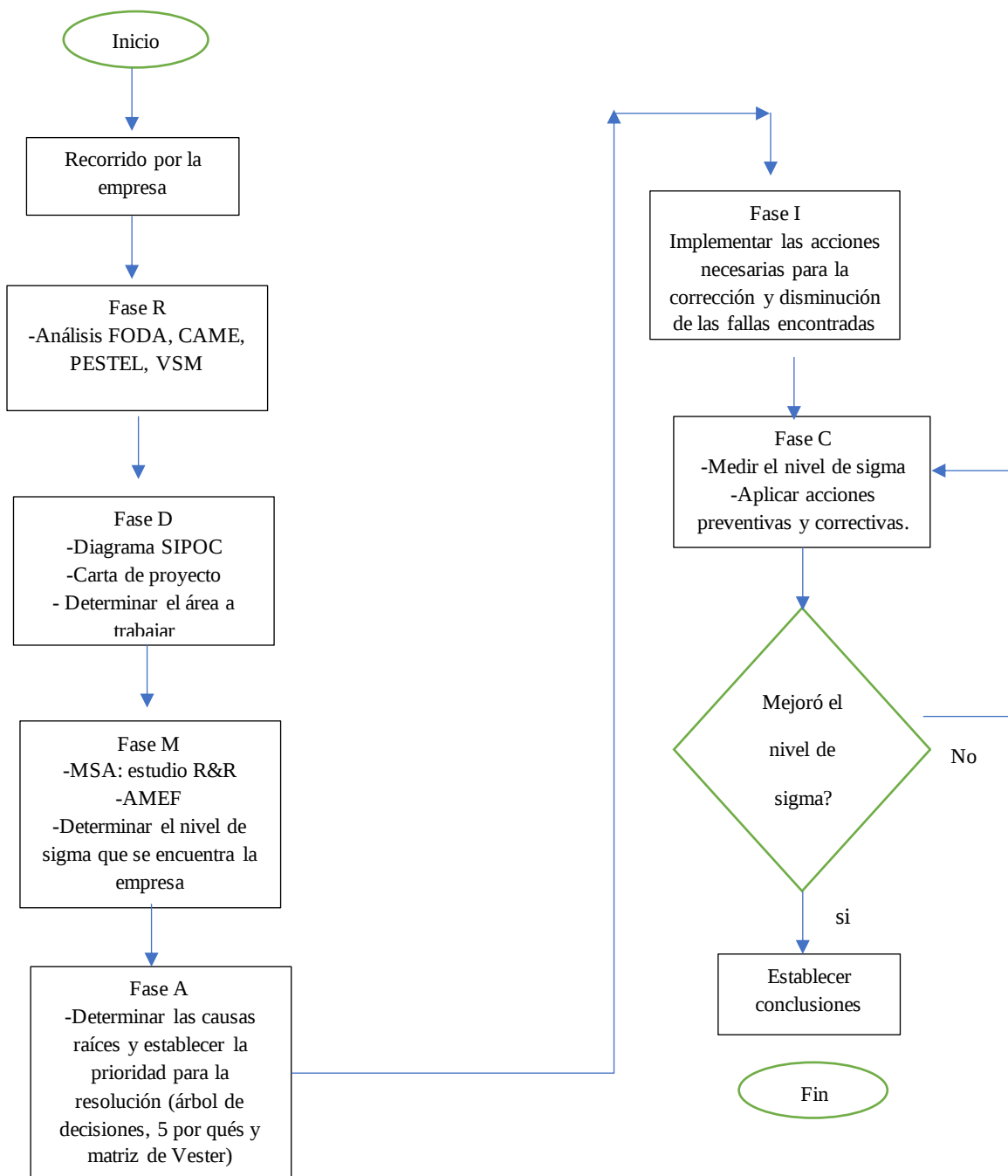
Se estima que empleando herramientas se puede agilizar los procesos evitando retrabajos y facilitando a los operadores y encargados determinar los defectos que se vayan generando en el proceso, y hacer la toma de mediciones más efectiva para de esa manera lograr la actualización de manual de procedimientos con las técnicas y documentos que se vayan generando durante el desarrollo de la solución.

Conclusiones

Concluyendo como parte del marco teórico escrito anteriormente cada una de las definiciones son parte de una buena guía para la implementación de *Lean six sigma* en una empresa metalmecánica, cada elemento descrito surgió de un aproximado de Veinte literaturas estudiadas, para que lo implementado sea de fuente confiable, el desarrollo del proyecto se basa en R-DMAIC, y ha sido muy poco ejecutado en proyectos de tipo industrial.

Ilustración 9

Diagrama de procesos del método de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3 Desarrollo del proyecto

Para el presente capítulo se lleva a cabo la parte inicial de la Metodología R-DMAIC basado en la necesidad de mejora para el avance y progreso del proyecto empleando las herramientas de ingeniería industrial estudiadas previamente, correspondiente a cada fase.

La Fase Reconocer se implementa en el desarrollo del proyecto como una necesidad de que la alta dirección se involucre y vea cada proceso como parte de un todo.

3.1 Fase Reconocer

Para la implementación de la fase R, “Reconocer: ser consciente de la necesidad de cambio”.(Muir, 2016) según este autor, toda implementación de DMAIC debe tener la etapa anterior, ya que, como empresas, y más como encargados *Six Sigma*, debemos ser conscientes de los errores que están presentándose en nuestro proceso, reconocer que necesitamos ayuda y apoyo de herramientas que propicien a la mejora continua.

Es por ello que se debe tener amplio conocimiento en lo que la empresa representa, los objetivos, la estructura de la misma y el personal que hace a la organización, las partes interesadas como clientes y la alta dirección, las cuestiones internas y externas que no afectan directamente a la empresa, pero que si presentan un cambio si alguna interviene.

Conocer el panorama general de la empresa

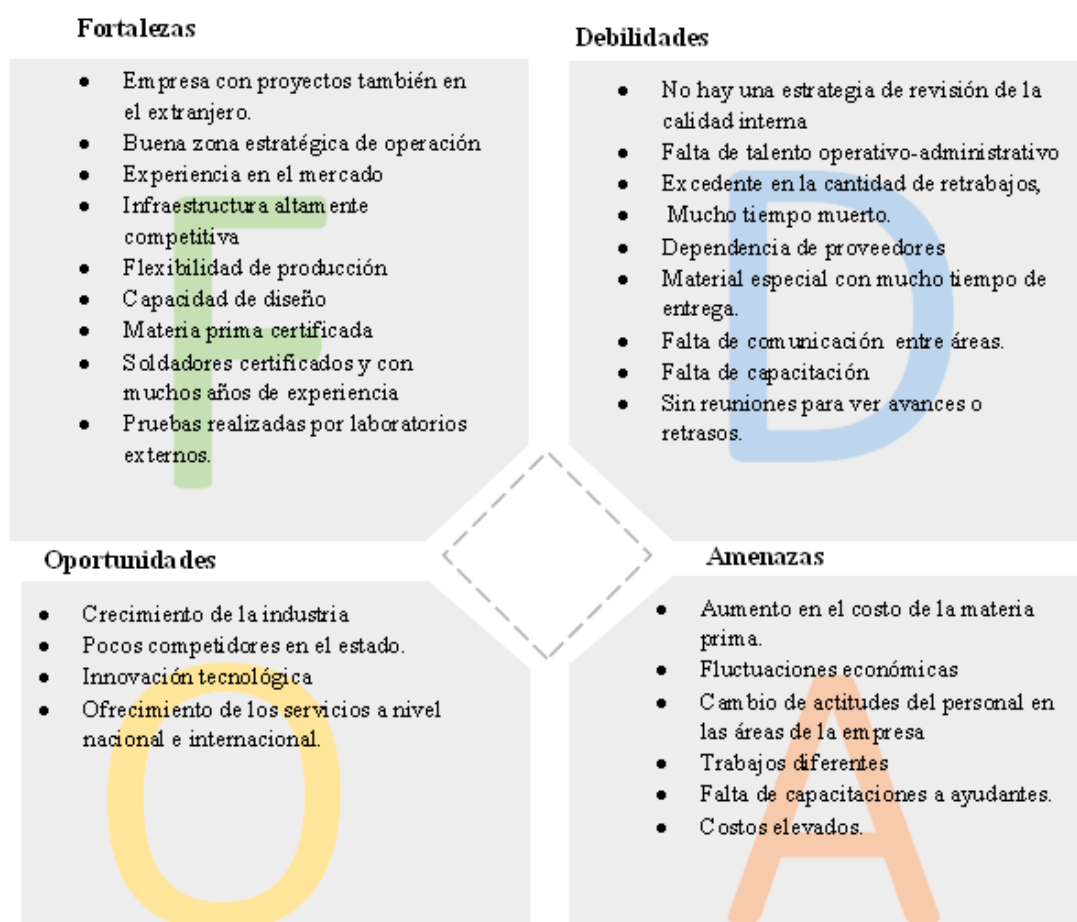
Para conocer el panorama actual de la empresa metal-mecánica se apoyó de análisis FODA (fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas), como se muestra en la **ilustración 10**. En general, la empresa tiene fortalezas importantes como la capacitación de su personal, pero debilidades que incluyen la necesidad de reducir los retrabajos y diversificar su oferta.

Las oportunidades clave incluyen el crecimiento del mercado de la construcción, la innovación tecnológica y ofertamiento de servicios a nivel internacional conlleva a querer lograr un control en cuanto a los procesos y la necesidad de manejar los defectos de los mismos que se pudieran presentar en cada una de las áreas.

La empresa puede considerar acciones para capitalizar sus fortalezas, abordar sus debilidades y aprovechar las oportunidades disponibles para mitigar las amenazas.

Ilustración 10

Análisis FODA de empresa metal-mecánica en Veracruz.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis CAME (Corregir, Afrontar, Mantener, Explotar) con el FODA mencionado anteriormente sugiriendo las recomendaciones siguientes:

Conservar fortalezas:

- Conservar la experiencia en el mercado y la buena zona estratégica de operación.
- Mantener la infraestructura altamente competitiva y la capacidad de diseño.
- Continuar trabajando con materia prima certificada y soldados certificados con muchos años de experiencia.
- Realizar pruebas en laboratorios externos para asegurar la calidad del producto y servicio.

Aprovecha oportunidades:

- Aprovechar el crecimiento de la industria y la innovación tecnológica para mejorar los procesos de producción y aumentar la eficiencia.
- Ofrecer los servicios a nivel nacional e internacional para expandir el mercado.
- Aprovechar la falta de competidores en el estado para establecerse como líderes del mercado.

Manejar debilidades:

- Establecer una estrategia de revisión de la calidad interna para reducir la cantidad de retrabajos y el tiempo muerto en la producción.
- Buscar talento operativo-administrativo para mejorar la comunicación entre áreas y establecer reuniones regulares para ver avances y retrasos.
- Capacitar al personal y ofrecer capacitaciones a los ayudantes para mejorar la calidad del trabajo.

Enfrentar amenazas:

- Buscar diversificar la oferta de productos y servicios para enfrentar el bajo crecimiento industrial.
- Establecer relaciones sólidas con proveedores confiables para asegurar el suministro de materia prima y evitar aumentos en los costos.
- Buscar mantener costos bajos y eficiencia en la producción para enfrentar las fluctuaciones económicas y los costos elevados.
- Establecer un plan para manejar el cambio de actitudes del personal y trabajos diferentes.

En el cual la empresa puede conservar sus fortalezas y aprovechar las oportunidades para mejorar su posición en el mercado. Al mismo tiempo, se deben enfrentar las debilidades y amenazas para asegurar la sostenibilidad y el éxito a largo plazo.

Para los Factores externos nos apoyamos con el análisis PESTEL (Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ecológicos, Legales) ver **ilustración 11**, se muestra que existen oportunidades para aprovechar en términos de crecimiento de la industria y expansión a nivel internacional, pero es importante tener en cuenta las regulaciones políticas, económicas y legales de cada país.

También se deben considerar factores socioculturales y tecnológicos para ofrecer soluciones innovadoras y adaptadas a las necesidades de los clientes, mientras se garantiza la calidad del trabajo y se cumple con las normativas legales para adaptarse a los cambios en el entorno y para aprovechar oportunidades de crecimiento en el mercado de estructuras metálicas en Veracruz.

Ilustración 11
Análisis PESTEL de empresa metal-mecánica de Veracruz.

P	E	S	T	E	L
POLÍTICOS • La empresa debe cumplir con las leyes y regulaciones gubernamentales en materia de seguridad industrial, medio ambiente y fiscalidad. • La estabilidad política del país y del estado afecta la inversión en proyectos y el clima de negocios.	ECONÓMICOS • El crecimiento económico en el estado y en el país puede impulsar la demanda de estructuras metálicas para infraestructura y construcción. • Las fluctuaciones en el tipo de cambio, inflación, y tasas de interés pueden afectar los costos de producción y los precios de venta.	SOCIALES • La cultura laboral en Veracruz puede influir en la productividad y en la calidad del trabajo. • La disponibilidad de mano de obra capacitada y calificada puede afectar la capacidad de la empresa para cumplir con los pedidos.	TECNOLÓGICOS • La innovación tecnológica en maquinaria, software y procesos pueden mejorar la eficiencia, calidad y flexibilidad de producción. • La empresa debe invertir en tecnología para fortalecerse y ser relevante en el mercado.	ECOLÓGICOS • La empresa debe cumplir con las regulaciones gubernamentales en materia de impacto ambiental y sustentabilidad en el proceso productivo. • La sensibilidad social y la conciencia ecológica en Veracruz pueden afectar la imagen y reputación de la	LEGALES • La empresa debe cumplir con leyes y disposiciones laborales y fiscales, como el pago de impuestos y el cumplimiento de derechos laborales. • La propiedad intelectual y el respeto a los derechos de autor son importantes en la industria de las estructuras metálicas.

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionar el área piloto:

La alta dirección especifica que, quiere reducir los defectos y retrabajos que rechaza y regresa el proceso final de pintura, pero para ello se determina mediante un estudio de mapa de flujo de valor (VSM por sus siglas en inglés) para así identificar el área que más requiere la aplicación de la metodología *Lean Six Sigma*. Cómo se muestra en la **Ilustración 15**. El procedimiento para el desarrollo del VSM se determinó de la siguiente manera:

Criterio para la evaluación

Se desarrolló una tabla con el listado de actividades mostrado en la ilustración donde se tomaron tiempos desde que iniciaba el Proceso de corte, Armado y Soldadura, siendo estos tiempos los directamente relacionados en el taller de estructuras.

Se llevaron a cabo mediciones en las diversas áreas para determinar los tiempos generados por los operadores y las máquinas y así identificar el tiempo productivo, contributivo y no contributivo para determinar los tiempos con y sin valor agregado.

La **Tabla 3** muestra el resumen de los datos analizados para determinar el tiempo no contributivo de cada una de las tres áreas estudiadas y analizadas donde el mayor tiempo es no contributivo representado por el tiempo de Espera, Tiempo ocioso, Desplazamiento, Descanso, Limpieza del área, Reproceso y Transporte se encuentra en los procesos del área de soldadura, el mayor tiempo productivo que es precisamente donde se lleva a cabo el proceso de forma directa se encuentra en el área de Armado, el mayor tiempo contributivo conformado por: Transporte, Instrucciones, Mediciones, Limpieza y Preparación se encuentra en el área de Soldadura.

La **Ilustración 12** muestra en un gráfico circular el resumen de cada elemento no contributivo que se determinó para la toma de tiempos en el proceso de soldadura, lo que representa el 36% del tiempo que toma el punteo de una placa al siguiente proceso, se destaca el tiempo de reproceso de 235 segundos, la medición se realizó en un tiempo donde tenían mucho trabajo, lo cual representa que siempre tenían piezas que trabajar, sin embargo, se denota que cuando no hay mucho trabajo están parados en espera de piezas para trabajar. El registro de los tiempos tomados tanto en corte, armado y soldadura se tomaron en el turno matutino, establecidos en segundos, condicionalmente, para el proceso es necesario tomar en cuenta cada detalle en los tiempos muertos o no contributivos.

Tabla 3

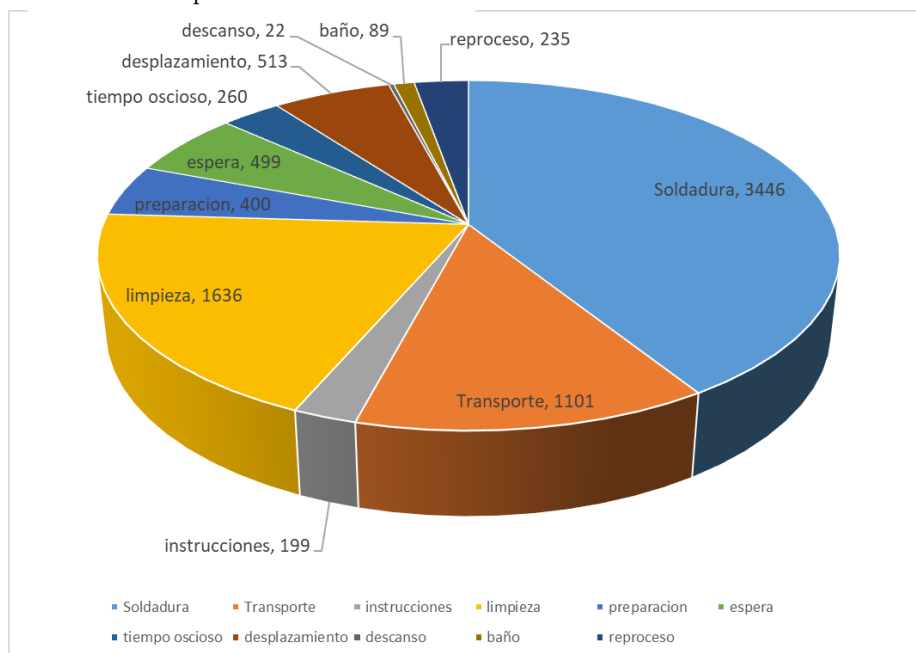
Resumen de tiempos tomados en las 3 áreas de la empresa metal-mecánica

	Corte	Armado	Soldadura
Productivo	1559	3447.1	2239
contributivo	3849	3018.17	4144
No contributivo	2502	1934.73	2818

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 12

Resumen de tiempos en el área de Soldadura.

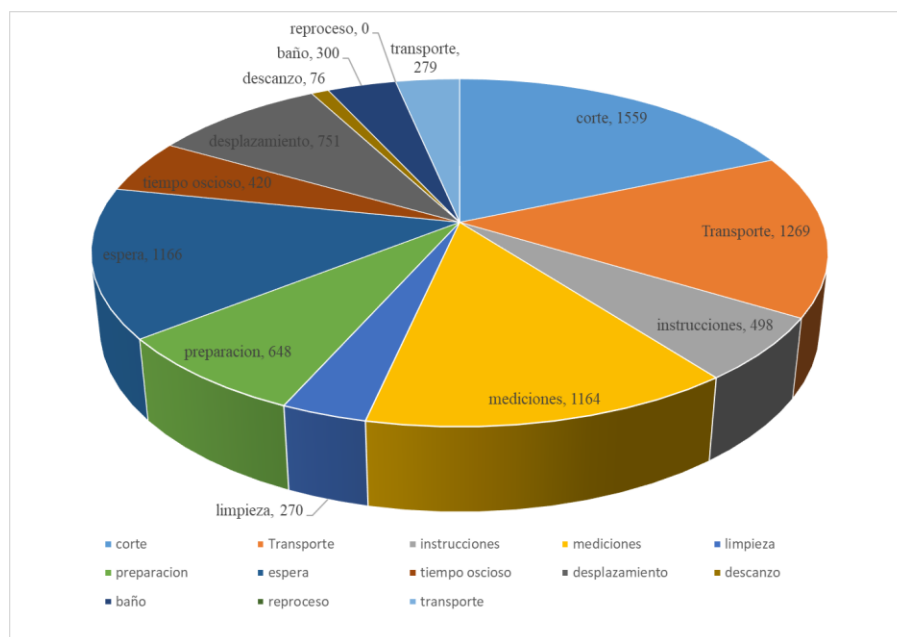


Fuente: Elaboración propia.

En **Ilustración 13** se muestra un gráfico circular que corresponde al proceso de corte donde se detallan por elementos los tiempos tomados durante el corte en máquina de un elemento donde se destaca que durante el corte de la placa no se lleva a cabo algún reproceso, por lo que ya se encuentran establecidas las mediciones en la computadora, por tal motivo resulta improbable re trabajar una pieza.

Ilustración 13

Resumen de toma de tiempos del proceso de corte.

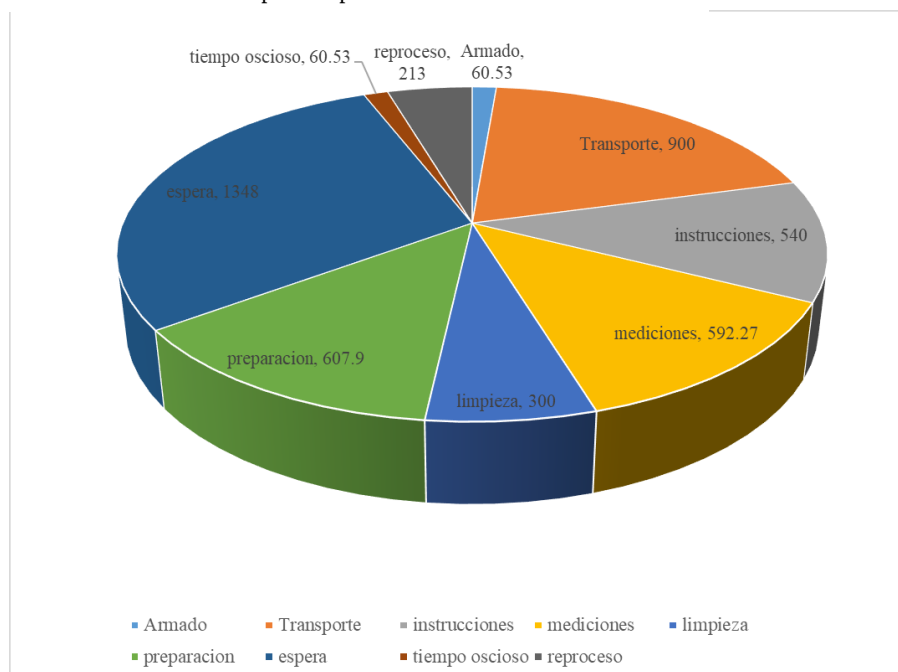


Fuente: Elaboración propia.

Se continua con la toma de tiempos del área de Armado mostrado en el gráfico circular de la ilustración, donde los operadores que se encargan son el pailero y un ayudante, el ensamble es de una viga , donde se aprecia un reproceso de 213 segundos, ya que lo que se hace en este proceso, es puntear (unir con puntos de soldadura), si una pieza se puntea mal, se puede volver a realizar la acción tomando por supuesto tiempo extra, pero, no se afecta a la pieza en comparación con una pieza con soldadura mal hecha.

Ilustración 14

Resumen de toma de tiempos del proceso de Armado.

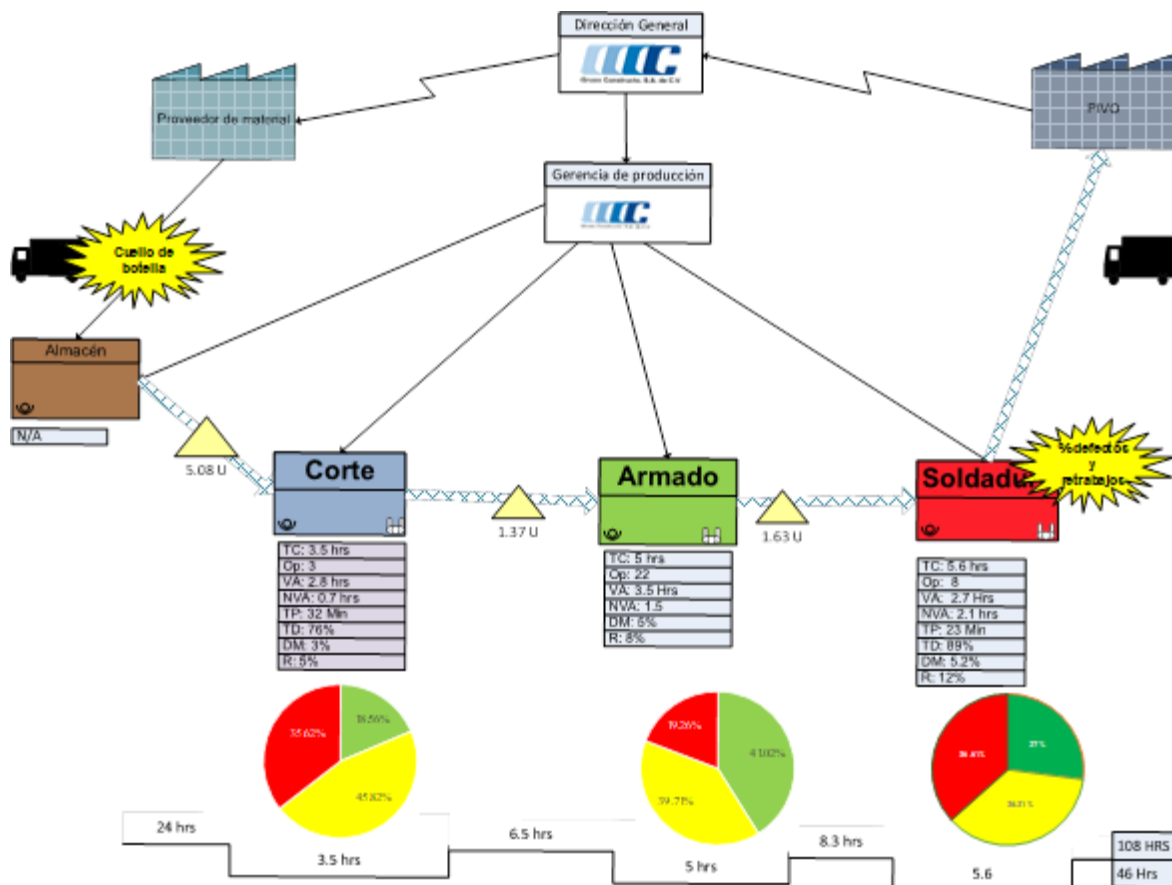


Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la toma de tiempos se construye el diagrama VSM donde se determina que el proceso de soldadura presenta un tiempo de ciclo promedio de 5.6 hrs, y un porcentaje de tiempo de 89% que es el tiempo que se le dedica la mayor parte del día, por lo que se establece un inicio de conocimiento y verificación de retrabajos, defectos, fallas ó reprocesos que se presentan en esa área a lo largo de la jornada de trabajo, teniendo área de oportunidad para la aplicación de la metodología LSS, como parte de mejora en los procesos de la empresa

Ilustración 15

VSM de estado actual de la empresa metal-mecánica.



Fuente: Elaboración propia.

Gracias a ese estudio se pudo identificar las áreas de oportunidad a trabajar, un cuello de botella en la llegada de materia prima para iniciar los trabajos ya que en esta ocasión se presentó un proyecto con material especial con mucha distancia desde proveedor hasta la empresa, por lo que se retrasó el inicio de la producción a 1 mes. Estos detalles ayudan mucho a la definición inicial de la fase, ya que permite conocer las rutas del proceso, los elementos como el tiempo, material, mano de obra, y demás que intervienen en la fabricación de una pieza de metal, pasando a la siguiente fase de la metodología.

3.2 Fase Definir

Para la Fase Definir se identificaron factores esenciales para la realización del proyecto LSS y con el apoyo del jefe de taller y los encargados de control de calidad se tuvo una plática con los resultados de la fase anterior.

Se seleccionó el área de Soldadura que es la generadora de mayor valor a la empresa y que presenta un mayor porcentaje de defectos y retrabajos, con un 12% de retrabajos y un 5.2% de desperdicio de material, así mismo es la que por parte de PIVO (limpieza y pintura), se presentan no conformidades, regresan algunas estructuras por soldadura incompleta, porosidad o un trabajo sucio.

Se realizó un diagrama SIPOC mostrado en la Ilustración 18 con el fin de dar un panorama general de los procesos desde los proveedores hasta los clientes en el cual se describen los proveedores de las materias primas para la elaboración de estructuras metálicas, la maquinaria, las áreas involucradas directamente en el proceso de fabricación de estructuras.

Durante el proceso de producción se tomó en cuenta los proyectos con cierta similitud entre ellos, ya que, al trabajar por proyectos, no todos son iguales, varían según las especificaciones de los clientes finales; éstos se indican en el diagrama siguiente, se procede a ocultarlos por políticas de la empresa., así como algunos indicadores KPI'S de servicio, producción productos no conformes y nivel actual de *sigma*, los cálculos se presentarán más adelante. Se forma un grupo encargado de mejorar el proceso o las fallas encontradas con ayuda del VSM. EL grupo formado mostrado en la Ilustración 18 como carta de proyecto es creado por la encargada de la presente tesis, anexando al jefe de taller, el encargado de calidad y un personal encargado de producción.

Se realizó una plática con los encargados del taller de estructuras metálicas en compañía de la representante de la alta dirección para establecer los requerimientos y el objetivo principal del proyecto: identificar y reducir los defectos encontrados durante el proceso, para ello es necesario la aprobación en todo momento del jefe de taller de cualquier formato, documento o requerimiento de la presente tesis para poder implementar en el área correspondiente.

El fin de la reunión con la aplicación de la metodología a implementar es, estandarizar formatos y toma de muestras, análisis de defectos, o en su caso realizar un manual que comprenda los defectos encontrados, primeramente, del área a trabajar, y posteriormente seguir la metodología para los fallos o defectos encontrados en las demás áreas de la empresa.

Teniendo establecido donde se requiere la implementación de los elementos de *Lean Six Sigma*, el alcance y las delimitaciones del proyecto, se agradece la participación de la alta dirección al proporcionar toda la información necesaria para la ejecución del presente proyecto de tesis, teniendo en cuenta que el área a trabajar y que ha generado mayores reportes por parte del área de pintura mostrado en la **Ilustración 16**, cabe resaltar, se encuentra a 5 kilómetros de distancia del taller de estructuras metálicas y tomando las referencias descritas en la etapa anterior.

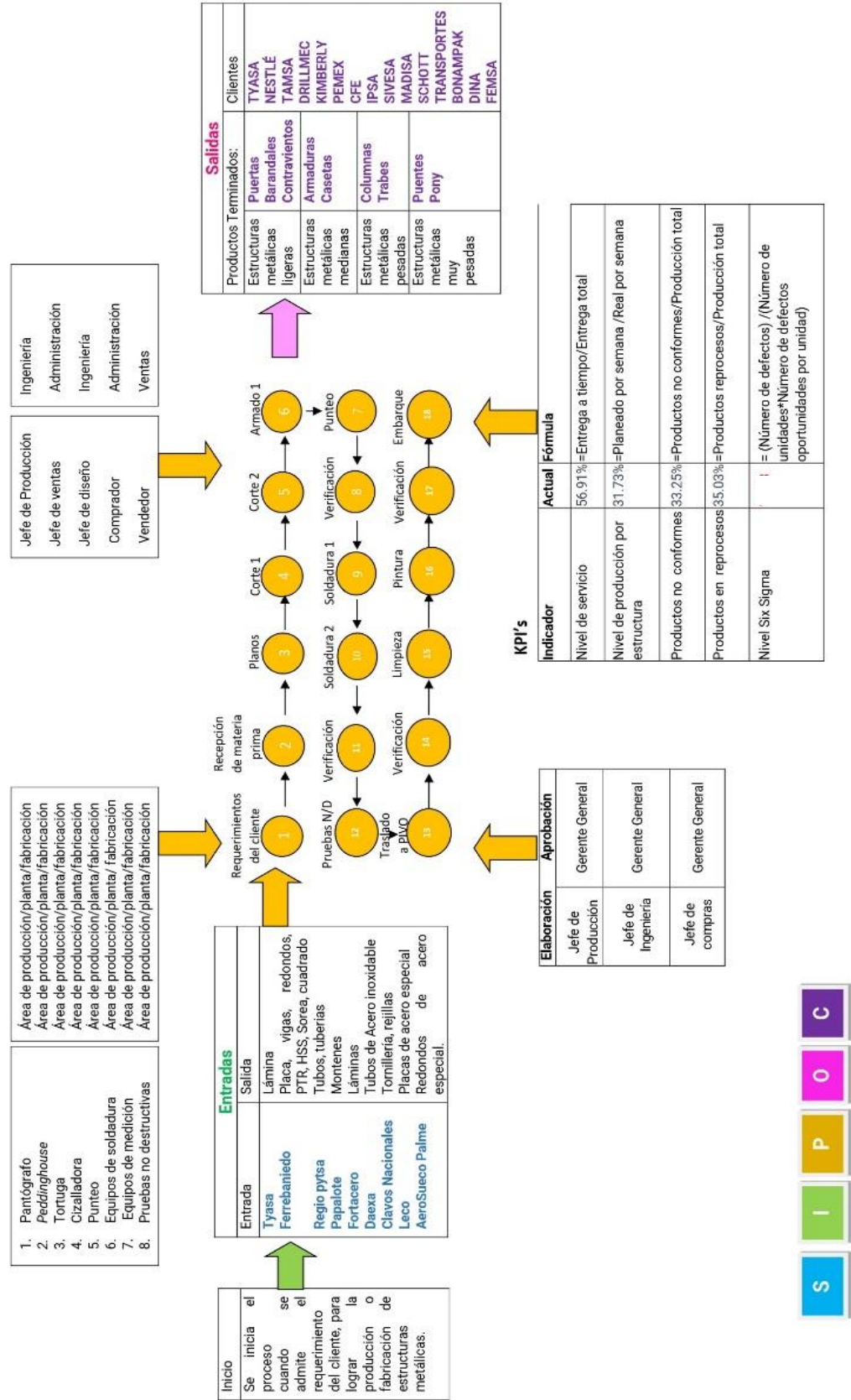
Ilustración 16

Reporte de no conformidad hacia el área de soldadura.

DRILLMEC INC		HOJA DE NO CONFORMIDAD TALLER DE PINTURA PIVO	
OBRA:	DRILLMEC INC	REPORTE NO.	4
C.C.	0543-10-02-06	FECHA:	12/01/2023
MARCA DE LA PIEZA:	CASETA DE QUIMICOS	ORD FAB	2022-004
OBSERVACIONES EN LA ESTRUCTURA FALTA DE SOLDADURA EN TODO EL PISO EN LA PARTE DE ABAJO FALTA DE SOLDADURA EN EL PERIMETRO EXTERIOR DEL TROQUELADO EN LA PARTE DE ARRIBA FALTA DE SOLDADURA EN LAS ESQUINAS FALTA DE COLOCACION DE SOPORTERIA ELECTRICA			
IMAGENES  			

Fuente: Registro de no conformidades de la empresa

Ilustración 17 Diagrama SIPOC de empresa metalmecánica



S

I

P

O

C

Fuente: Elaboración propia, con datos proporcionados de la empresa

Ilustración 19

Carta del proyecto en empresa metalmeccánica.

CARTA DEL PROYECTO SIX SIGMA EMPRESA METALMECÁNICA**INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

NOMBRE DEL PROYECTO		GERENTE DE PROYECTO	PATROCINADOR DEL PROYECTO
Identificación y reducción de defectos en el área de Soldadura		Gabriela Cabrera	mejora Continua
CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO	UNIDAD ORGANIZATIVA	
gcabrerabetanzos@gmail.com		G.C S.A de C.V	
ASIGNADOS		FECHA PREVISTA DE INICIO	FECHA PREVISTA DE FINALIZACIÓN
Rodrigo Navarro		11/01/2022	11/01/2023
ASIGNADOS		AHORROS ESPERADOS	COSTOS ESTIMADOS
Geovanni Perez		--	--

VISIÓN GENERAL DEL PROYECTO

PROBLEMA O PROBLEMA	se presentan defectos en el área de soldadura que se vuelven retrabajos.
PROPÓSITO DEL PROYECTO	disminuir los retrabajos por defectos presentados, e identificarlos a tiempo
CASO DE NEGOCIO	pruebas no destructivas de soldadura con presencia de porosidades
OBJETIVOS / MÉTRICAS	lograr la reducción de un 50% de retrabajos en el área de Soldadura
ENTREGABLES ESPERADOS	formatos de manejo estandarizados para la medición de juntas de soldadura

ALCANCE DEL PROYECTO

ALCANCE	Abarca el área de Soldadura
---------	-----------------------------

CALENDARIO TENTATIVO

HITO CLAVE	EMPEZAR	TERMINAR
Equipo del proyecto del formulario / Revisión preliminar / Alcance	11/11/2022	11/20/2022
Finalizar plan de proyecto / Carta / Kick Off	11/22/22	11/22/22
Definir fase	01/01/2023	01/15/2023
Informe de resumen del proyecto y cierre	11/01/2023	11/01/2023

Fuente: Elaboración propia

3.3 Fase Medir

Esta fase se inicia comparando las diferentes medidas de las juntas de soldadura como se puede apreciar en la **Ilustración 21**, para ello se toma una muestra de 20 subconjuntos con 2 observaciones a 2 soldadores del taller, el tamaño de muestra se determinó de acuerdo a lo escrito en la revista de ciencia de Coahuila en la página 13, estableciendo que deben tomarse por lo menos 20 muestras para la construcción del gráfico de control (Procesos, 2016).

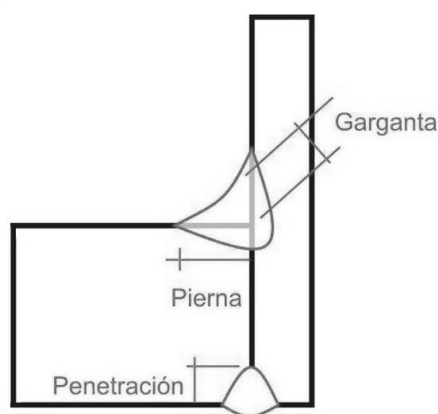
Los datos se tomaron en consideración del registro de medidas tomados por el encargado de los mismos, del área de calidad, la expresión de los datos está tomado en milímetros, con un *gage* de soldadura, para ello se preguntó al encargado por qué redondeaba las medidas, dijo que era una indicación que le había dicho el anterior analista, (se traduce en redondeo por cifras), por lo que hay un indicador importante de la variabilidad que se puede percibir en los gráficos de control mostrados más adelante.

Analizando las mediciones de las piernas (desde la base de la soldadura hasta el borde de cada pieza) y gargantas (distancia más corta desde la raíz de la soldadura hasta la parte superior) de soldadura son quienes determinan el tamaño de la soldadura, como se puede identificar en la **Ilustración 20** Partes de una junta en filete.

La **Ilustración 21**, muestra el registro de mediciones de las piernas de soldadura expresados en milímetros tomados por control de calidad a dos soldadores, para verificar las dimensiones, se procede a analizarlo mediante un gráfico de control para ver si el proceso se encuentra “bajo control”, se colocan las comillas porque para poder realizar un estudio MSA (*Measurement System Analysis*) por sus siglas en inglés, se debe verificar si el proceso se

encuentra bajo control, en caso contrario se debe rastrear si hay una causa especial que afecte las mediciones, identificarlas y volver a realizar las mediciones.

Ilustración 20
Partes de una junta en filete



Fuente: Norma AWS D.1.1/D1.1 M:2020

Se procede a establecer los límites de control interno y externo para las medidas de pierna y soldadura, mediante el cálculo previo de los datos del rango, que representa el promedio de valores de los datos tomados.

Ilustración 21
Registro de mediciones de piernas y gargantas de soldadura, elaboración propia.

mediciones de las gargantas de soldadura con el mismo espesor de placa 25 mm con 20 subconjuntos de 2 observaciones								Mediciones de las piernas de soldadura con el mismo espesor de placa 25 mm con 20 subconjuntos de 4 observaciones							
Soldador BGCG-14				soldador JCDM-10				Soldador BGCG-14				soldador JCDM-10			
No. Junta	Observación 1	No. Junta	Observación 2	No. Junta	Observación 1	No. Junta	Observación 2	No. Junta	Observación 1	No. Junta	Observación 2	No. Junta	Observación 1	No. Junta	Observación 2
1	7	1	9	1	10	1	8	1	10	1	10	1	12	1	10
2	8	2	8	2	8	2	8	2	11	2	8	2	10	2	11
3	10	3	8	3	9	3	9	3	15	3	15	3	10	3	10
4	8	4	9	4	8	4	8	4	10	4	11	4	7	4	11
5	8	5	8	5	9	5	9	5	7	5	10	5	14	5	12
6	10	6	9	6	10	6	10	6	11	6	11	6	12	6	12
7	5	7	9	7	8	7	9	7	10	7	10	7	11	7	13
8	8	8	10	8	9	8	12	8	9	8	16	8	14	8	13
9	13	9	9	9	9	9	9	9	18	9	15	9	18	9	13
10	13	10	12	10	8	10	9	10	15	10	18	10	11	10	13
11	8	11	9	11	9	11	10	11	14	11	12	11	11	11	11
12	13	12	13	12	10	12	9	12	18	12	16	12	10	12	10
13	11	13	9	13	9	13	9	13	18	13	14	13	9	13	11
14	9	14	10	14	8	14	8	14	14	14	14	14	13	14	13
15	11	15	10	15	7	15	8	15	16	15	17	15	11	15	12
16	9	16	8	16	8	16	9	16	5	16	7	16	10	16	14
17	8	17	8	17	8	17	8	17	11	17	10	17	10	17	6
18	7	18	9	18	8	18	9	18	13	18	13	18	13	18	11
19	10	19	9	19	10	19	9	19	11	19	11	19	11	19	12
20	10	20	7	20	8	20	8	20	12	20	15	20	11	20	11

Fuente: elaboración propia con datos proporcionados por el departamento de Control de Calidad.

Se tomaron los 4 subgrupos de 20 elementos cada uno en general para determinar el control del proceso de medición con un total de 80 muestras, para manejar una verificación general del proceso de mediciones de piernas del área de soldadura. Se calcularon datos del rango mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Gráfico R:} \quad LCSR = D4 \hat{R} \quad \text{.....Ecuación 5}$$

$$LCIR = D3 \hat{R} \quad \text{.....Ecuación 6}$$

Dónde:

LCS_R =límite de control superior del gráfico R

LCI_R = límite de control inferior del gráfico R

$\hat{R}$ =promedio de varios valores R pasados y la línea central de la gráfica de control

D_4 y D_3 =constantes que proporcionan tres acotamientos de desviación estándar (tres *sigma*) para un tamaño de muestra dado.

Con apoyo de los autoformularios de Excel se determinaron los valores de los límites, las constantes D_3 , D_4 , A_2 (para el cálculo de las medias), se determinaron por medio de la

Tabla 4, por el tamaño de muestras le corresponde $n=4$.

Tabla 4

Factores para calcular acotamientos tres *sigmas* para la gráfica $\bar{x}$ y la gráfica R.

Tamaño de la muestra (n)	Factor para UCL y LCL para gráficas $\bar{x}$ (A_2)	Factor para LCL para gráficas R (D_3)	Factor para UCL para gráficas R (D_4)
2	1.880	0	3.267
3	1.023	0	2.575
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.115
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777
Fuente: 1950 ASTM <i>Manual on Quality Control of Materials</i> . American Society for Testing Materials.			

Se calculó el promedio y los límites de control del rango superior e inferior de las medidas de garganta y pierna de soldadura con apoyo de las herramientas de cálculo de Excel como muestra la **Ilustración 23** y la **Ilustración 22** para después construir el gráfico de control de medidas de garganta de soldadura quedando como se puede apreciar en la **Ilustración 24** en los resultados de las mediciones de garganta de soldadura dónde existen 4 puntos fuera del límite de control, por lo cual se establece que existen unas causas especiales, y deben ser analizadas.

En cambio, en la **Ilustración 26** se puede observar que el registro de mediciones se encuentra bajo control estadístico por lo cual cercano al límite de dos *sigmas*, no presenta algún tipo de causas especiales para continuar con los cálculos de la media.

Ilustración 23

Cálculo del rango de mediciones de garganta de soldadura

Datos de Rango			
Rango	LCR	LCS	LCI
3	2.3529412	5.37	0
0	2.3529412	5.37	0
2	2.3529412	5.37	0
1	2.3529412	5.37	0
1	2.3529412	5.37	0
1	2.3529412	5.37	0
4	2.3529412	5.37	0
4	2.3529412	5.37	0
4	2.3529412	5.37	0
5	2.3529412	5.37	0
2	2.3529412	5.37	0
4	2.3529412	5.37	0
2	2.3529412	5.37	0
2	2.3529412	5.37	0
4	2.3529412	5.37	0
1	2.3529412	5.37	0
0	2.3529412	5.37	0
2	2.3529412	5.37	0
1	2.3529412	5.37	0
3	2.3529412	5.37	0

Ilustración 22

cálculo del rango de las mediciones de pierna de soldadura

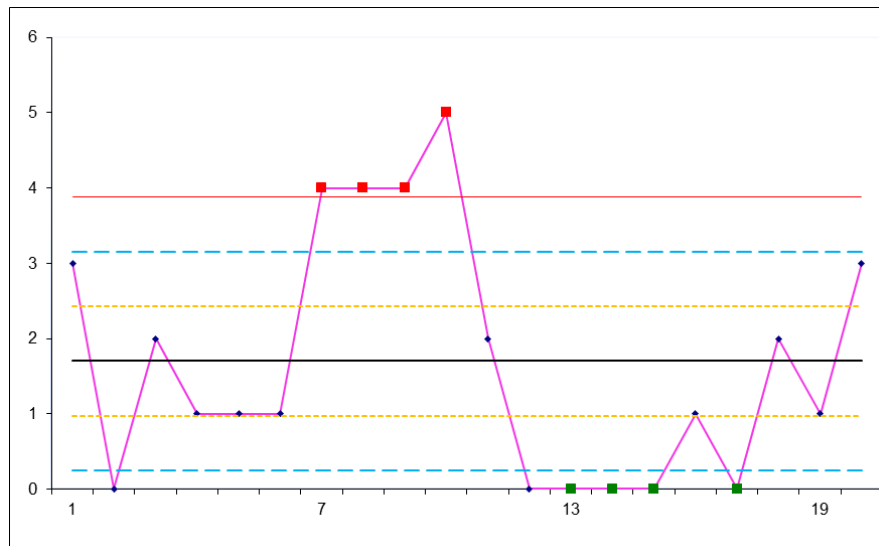
Datos de Rango			
Rango	LCR	LCS	LCI
2	5	11.41	0
3	5	11.41	0
5	5	11.41	0
4	5	11.41	0
7	5	11.41	0
1	5	11.41	0
3	5	11.41	0
7	5	11.41	0
5	5	11.41	0
7	5	11.41	0
3	5	11.41	0
8	5	11.41	0
9	5	11.41	0
1	5	11.41	0
6	5	11.41	0
9	5	11.41	0
5	5	11.41	0
2	5	11.41	0
1	5	11.41	0
4	5	11.41	0

Fuente: Elaboración propia

Las referencias del gráfico de control de rangos mostrados a continuación establecen los límites cuándo un proceso se acerca a determinado nivel de *sigma* tomando en cuenta la media y los puntos de referencia de los 20 datos analizados y las 4 observaciones.

Ilustración 24.

Gráfico de control de Rangos de las medidas de garganta de soldadura.



Fuente: Elaboración propia bajo la guía de *Quality tools*.

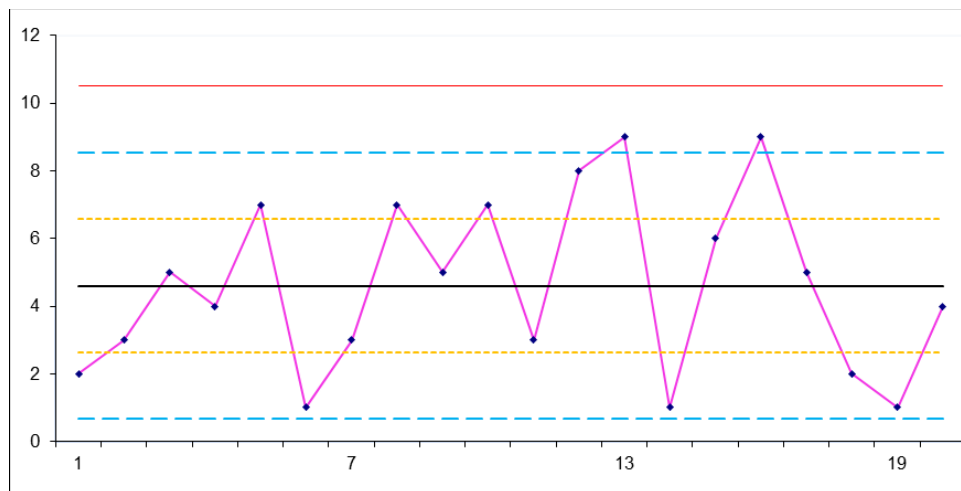
Ilustración 25.

Reglas de Western Electric (criterios para detectar causas especiales)

- | | |
|---------------------------|---|
| — Límite de tres sigma | ■ Un único punto fuera de los límites de control |
| - - - Límite de dos sigma | ■ Dos de tres puntos fuera del límite de dos sigma |
| - - - Límite de un sigma | ■ Cuatro de cinco puntos fuera del límite de un sigma |
| — Promedio | ■ Ocho en fila en el mismo lado de la línea central |

Ilustración 26

Gráfico de control de Rango de las medidas de pierna de soldadura



Fuente: Elaboración propia bajo la guía de *Quality tools*.

La **ilustración 26** muestra un sistema de medición fuera de control, para continuar con las mediciones para la media es necesario que el gráfico se encuentre bajo control, para ello

se procede a identificar que las mediciones 7, y 9 tienen una diferencia de 4 entre el dato menor y el dato mayor y la observación 10 tiene una diferencia de 5 cm entre el dato menor y el dato mayor, por lo que se procede a realizar el gráfico de control de medias de las mediciones de piernas de soldadura.

En la **Ilustración 27** se puede apreciar un punto fuera de control en la observación 9 y muestra que durante la observación 3, 11, 18 y 20 se encuentran cerca de la media, se puede inferir que probablemente exista una causa especial para la determinación de las medidas de la media, por tanto, las mediciones realizadas al área de soldadura requieren otro tipo de discriminación de variables, por lo que en fase de mejora se realizarán diferentes tipos de mediciones.

La

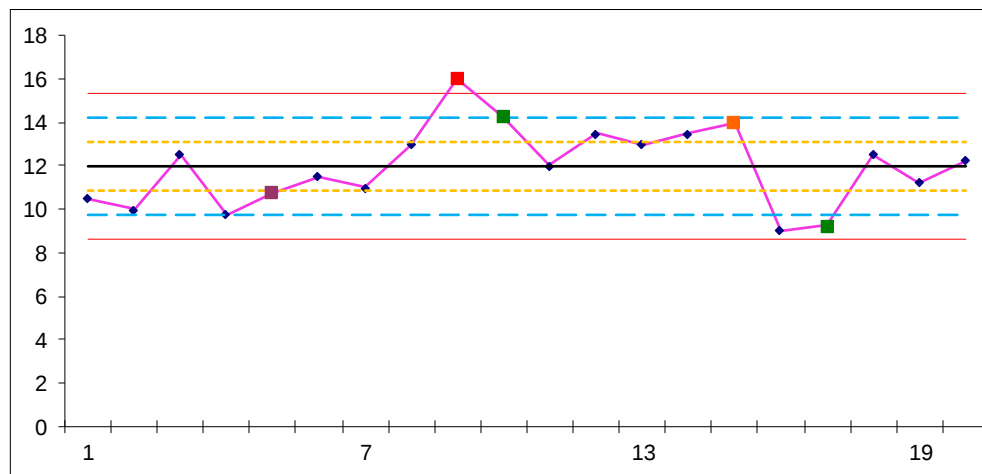
Ilustración 28, muestra que durante la observación 3, 12, 14, 15 y 17 se encuentran cerca de la media y en la observación 10 se presenta una situación fuera de control pasando de los límites tres sigmas, habría que analizar las causas del comportamiento gráfico de medias que presenta la toma de mediciones, identificar las causas especiales y aplicar acciones correctivas para eliminar las variaciones no deseadas y restaurar la estabilidad.

En forma general se puede concluir que el proceso se encuentra en control, por lo que este punto es necesario para continuar con el proceso de medición y cálculos de la capacidad del proceso ya que el proceso indica estabilidad.

El siguiente paso es evaluar la variación del sistema de medición para asegurarse de que las mediciones del proceso sean confiables y precisas. Esto implica realizar estudios específicos del sistema de medición como se puede ver a continuación con MSA, para garantizar que los datos recogidos reflejan con precisión la realidad del proceso.

Ilustración 27

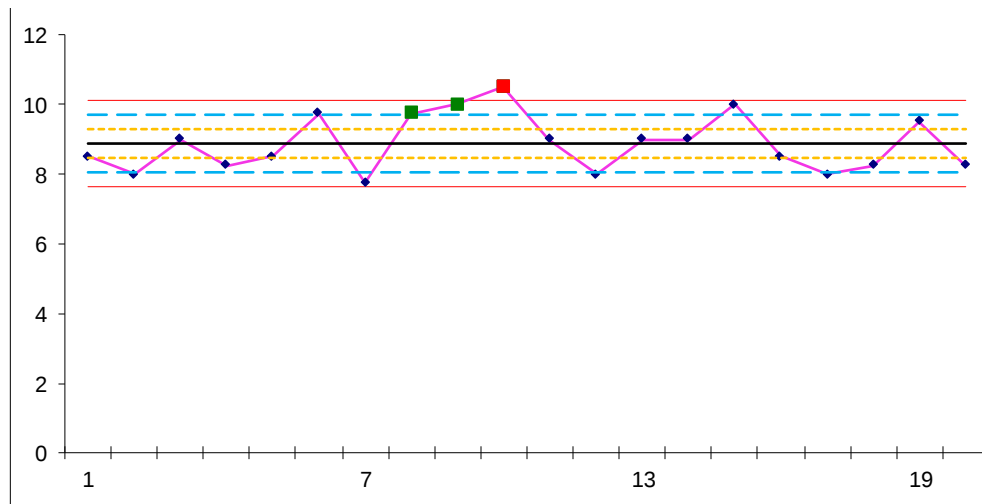
Gráfico de Control de medias ($\bar{X}$) de las mediciones de Piernas de soldadura.



Fuente: Elaboración propia bajo la guía de *Quality tools*.

Ilustración 28

Gráfico de Control de medias ($\bar{X}$) de las mediciones de Garganta de soldadura.



Fuente: Elaboración propia bajo la guía de *Quality tools*.

Concluyendo en este punto que las medidas tomadas por el analista pueden estar alejados un poco por la precisión como se tenía esperado podría ocurrir, pero en la siguiente etapa de la metodología se analizarán a detalle para confirmar o descartar la exactitud del sistema de medición.

MSA

Al ver que los datos tomados anteriormente siguen un proceso bajo control, se continua con la prueba de capacidad de proceso para ver si el proceso es capaz de producir resultados que cumplan con los requerimientos del cliente, ya que al estar bajo control no significa que necesariamente sea capaz.

Existe la posibilidad que el proceso genere el producto uniformemente homogéneo pero que el mismo pueda encontrarse fuera de las especificaciones, si eso sucediera se puede indicar que el proceso se encuentra bajo control, pero no es capaz, para ello se debe realizar una verificación adicional para ver si el proceso de soldadura posee la capacidad necesaria.

La calidad final de un producto comienza desde el momento mismo en que es diseñado y prosigue con la implementación y control del proceso que lo lleva a cabo. Cuando la variabilidad de los procesos sólo está afectada por causas aleatorias, es decir, el proceso está bajo control estadístico, tiene sentido medir su capacidad para producir unidades dentro de las especificaciones, Montgomery (1991).

La **Ilustración 29** muestra los mismos datos de mediciones de las piernas de soldadura tomadas en el estudio anterior, Se calculó la media, varianza y desviación estándar de cada subgrupo con ayuda de Excel para facilitar el análisis, para posteriormente pasar a los cálculos de capacidad de proceso con las fórmulas que a continuación se presentan.

Los datos fueron obtenidos de la base de datos con los que ya cuenta la empresa, con las herramientas de mediciones tomadas por el analista, el *gage* de soldadura o calibradores para la medición de la precisión de soldadura. Se puede observar en la que son 4 subgrupos de 20 elementos cada uno, haciendo una muestra representativa de 80 elementos, para capacidad de proceso debe verificar si siguen una distribución normal,

Ilustración 29

Media, varianza, y desviación estándar de mediciones de piernas de soldadura

Subgrupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X ₁	10	11	15	10	7	11	10	9	18	15	14	18	18	14	16	5	11	13	11	12
X ₂	10	8	15	11	10	11	10	16	15	18	12	16	14	14	17	7	10	13	11	15
X ₃	12	10	10	7	14	12	11	14	18	11	11	10	9	13	11	10	10	13	11	11
X ₄	10	11	10	11	12	12	13	13	13	13	11	10	11	13	12	14	6	11	12	11
Media	10.50	10.00	12.50	9.75	10.75	11.50	11.00	13.00	16.00	14.25	12.00	13.50	13.00	13.50	14.00	9.00	9.25	12.50	11.25	12.25
Varianza	1.00	2.00	8.33	3.58	8.92	0.33	2.00	8.67	6.00	8.92	2.00	17.00	15.33	0.33	8.67	15.33	4.92	1.00	0.25	3.58
DesvEst	1.00	1.41	2.89	1.89	2.99	0.58	1.41	2.94	2.45	2.99	1.41	4.12	3.92	0.58	2.94	3.92	2.22	1.00	0.50	1.89

Fuente: Elaboración propia bajo la guía de *Quality tools*.

Fórmula para el valor de la desviación estándar muestral

$$S_p = \frac{\sum_{j=1}^{20} \sum_{i=1}^4 (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{\sum_{j=1}^{20} (n_i - 1)} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m S_j^2}{m}} \quad \text{..... Ecuación 5}$$

Valor de la desviación estándar a corto plazo

$$S_{dentro} = \frac{S_p}{C_4(d+1)} = 2.4383 \quad \text{..... Ecuación 6}$$

Con apoyo de las facilidades que nos brinda Excel, se calcularon los resultados de las fórmulas antes mencionadas, obteniendo los siguientes resultados, el valor de la desviación estándar a corto plazo que indica que nuestro proceso es móvil, el valor de las especificaciones son dadas por unos cálculos propios que se muestran en la ilustración: donde se tuvo que ajustar como se muestra en la tabla de acuerdo a la Nacional Estadounidense AWS D1.1/D1.1M:2020, para poder realizar los formatos para la toma de mediciones.

Tabla 5

Tabla ajustada para la toma de mediciones

*Registrar datos	Valor en el plano	Conversiones			No. Junta	mediciones de inspección		Valor de Referencia mínimo requerido sin límites	
	minimo mm(placa más delgada de la junta)	minimo "in"	mayor a 3/4 (1= si, /2=no)	Decimal de "		piernas	garganta	piernas	garganta

Fuente: Elaboración propia.

Para ello se el inspector tiene que establecer el grosor en milímetros de la placa más delgada, para que el autoformato de Excel pueda realizar su trabajo y de acuerdo con las especificaciones dadas por el cliente, en este caso es el área de control de calidad.

Se dieron las especificaciones dada por el cliente, en este caso es con apoyo del formato realizado con cálculos automáticos en Excel otorgando un límite de especificación inferior de 11 y un límite de especificación superior de 16, obteniendo un “*target*” de 13.15, con esos valores de calcularon C_p , C_{pl} , C_{pu} , C_{pk} , CC_{pk} , con las fórmulas siguientes:

La capacidad inherente del proceso señala cuántas veces la variabilidad natural del proceso cabe dentro del rango de especificación. Por lo general, la desviación estándar del proceso σ es desconocida, por lo que para calcular C_p se emplea una estimación de este parámetro, comparada la desviación estándar muestral s . para Taguchi

Índice de Capacidad Potencial del Proceso (C_p): Este índice mide la capacidad del proceso sin considerar su centrado respecto a los límites de especificación.

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6s_{dentro}} = 0.342 \quad \text{..... Ecuación 7}$$

Se puede interpretar que el proceso actual no es capaz de cumplir con las especificaciones porque $C_p < 1$.

Para el índice de Capacidad del Límite Inferior (C_{pl}) que mide la capacidad del proceso en relación solo con el Límite Inferior de Especificación. Indica si el proceso tiene problemas al acercarse al límite inferior

$$C_{pl} = \frac{\bar{x} - LEI}{3s_{dentro}} = 0.133 \quad \text{..... Ecuación 8}$$

Resultando $C_{pl} < 1$ lo que indica que el proceso actual presenta dificultades para mantenerse por encima del límite inferior y podría producir piezas fuera de este límite.

Para el cálculo del índice de Capacidad del Límite Superior (C_{pu}) en relación solo con el Límite Superior de Especificación. Para ver si el proceso tiene problemas al acercarse al límite superior.

$$C_{pu} = \frac{LES - \bar{x}}{3s_{dentro}} = 0.550 \quad \text{..... Ecuación 9}$$

Infiriendo que al no llegar a 1 tenemos un índice muy bajo, por lo tanto, tenemos mucho que hacer en nuestro proceso, ya que tiene dificultades para mantenerse por debajo del límite superior y podría producir piezas fuera de este límite

Continuamos con el Índice de Capacidad Real del Proceso (C_{pk}) que evalúa tanto la capacidad como el centrado del proceso, mostrando qué tan cerca están los datos del proceso de los límites de especificación mediante la siguiente fórmula como resultado del valor mínimo de las dos fórmulas anteriores:

$$C_{pk} = \min\{C_{pl}, C_{pu}\} = 0.133 \quad \text{..... Ecuación 10}$$

Podemos concluir que el proceso está fuera de control o mal centrado respecto a las especificaciones.

Para la fórmula de la desviación con respecto al target o nuestro valor objetivo se infiere que el proceso se encuentra desviado un 34% de la media.

$$CC_{pk} = \frac{\min\{T - LEI, LES - T\}}{3s_{dentro}} = 0.3417 \quad \text{..... Ecuación 11}$$

Se procede a calcular las métricas para evaluar si un proceso cumple con los límites de especificación establecidos, considerando toda la variación del proceso, incluso aquella a lo largo del tiempo con las siguientes ecuaciones:

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6S_{global}} = 2.311 \quad \text{..... Ecuación 12}$$

Teniendo un valor de $P_p > 1$ indica que el proceso tiene el potencial de cumplir con las especificaciones.

Continuando con la ecuación para calcular el índice de Rendimiento del Límite Inferior (P_{pl}) que mide la capacidad del proceso en relación con el Límite Inferior de Especificación (LI), considerando toda la variación del proceso

$$P_{pl} = \frac{\bar{x} - LIE}{3S_{global}} = 0.117 \quad \text{..... Ecuación 13}$$

Como el resultado es < 1 , se interpreta que el proceso no tiene margen para mantenerse por encima del límite inferior de especificación

Por el lado contrario la siguiente ecuación establece la capacidad del proceso en relación con el límite superior de especificación

$$P_{pu} = \frac{LSE - \bar{x}}{3S_{global}} = 0.483 \quad \text{..... Ecuación 14}$$

Siendo el valor inferior a 1 se deduce que el proceso no presenta margen para mantenerse por debajo del límite superior de especificación

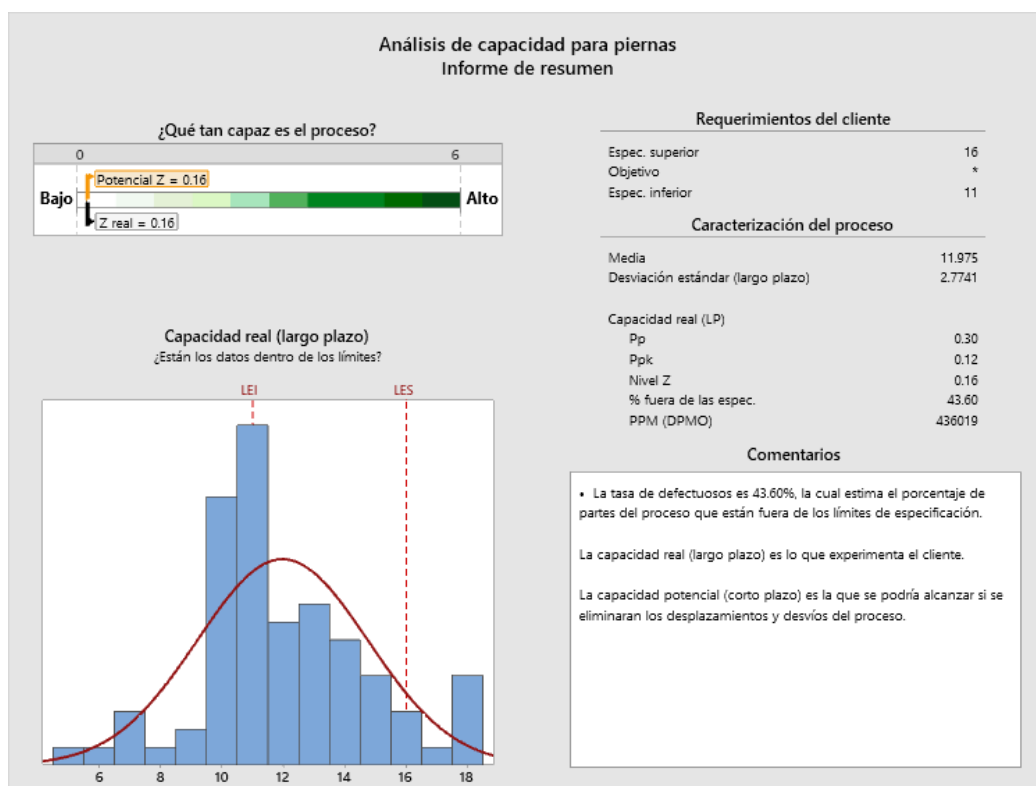
La siguiente ecuación mide la capacidad del proceso al considerar no solo la variabilidad y el centrado, sino también la distancia de la media al valor objetivo. C_{pm} es útil cuando existe un valor objetivo específico (TTT) que el proceso debe cumplir además de los límites de especificación

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} - T)^2}{N-1}}} = 0.294 \quad \text{..... Ecuación 15}$$

Como es un valor muy pequeño, muy alejado de 1 indica que el proceso no es capaz de cumplir con los límites de especificación, y tampoco de mantenerse cerca del valor objetivo. Los cálculos anteriores se pueden apreciar en el siguiente informe de capacidad del proceso realizado en minitab. Se puede observar que la tasa de defectos en las muestras de piernas es de 43.6%, indicando una baja capacidad del proceso, ya que se encuentra fuera de los límites de especificación, con sesgo por debajo del límite inferior.

Ilustración 30

Resumen de análisis de capacidad de proceso para piernas.



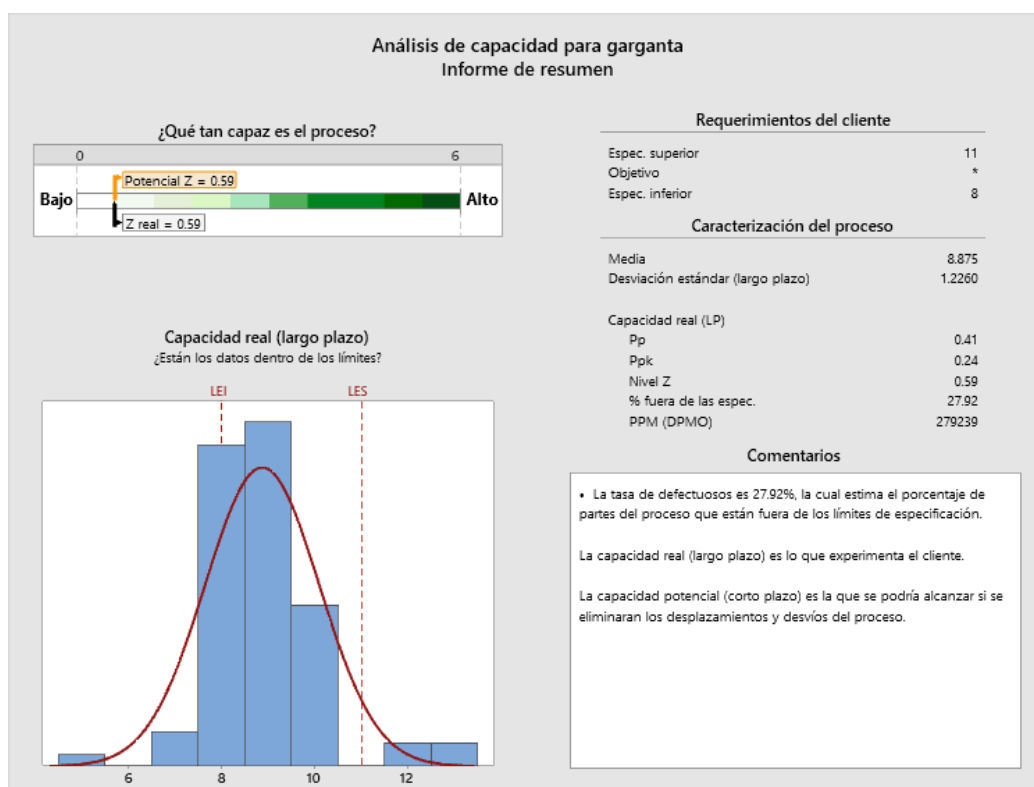
Fuente: Elaboración propia con apoyo de minitab versión 19

Continuando con el cálculo como se puede apreciar en la **Tabla 6** se calculó el nivel de *sigma* por lo que el proceso no está ni cerca de 1 *sigma*, teniendo aproximadamente 436,019 DPMO se debe tratar de centrar los procesos para lograr el mínimo estable, y presenta una considerable oportunidad para implementar mejoras en su calidad y rendimiento.

En la **Ilustración 31** se encuentra el resumen de los cálculos obtenidos anteriormente indicando un porcentaje de 27.92% fuera de los límites de especificación, orientados por debajo de los límites de especificación inferior, con un aproximado de 279,219 defectos por millón de oportunidades. Estableciendo claramente que no llega ni a 1 *sigma* el proceso, esto implica que el proceso tiene una alta tasa de defectos o errores en comparación con estándares de calidad elevados. Este nivel *sigma* es bajo, lo que significa que el proceso es altamente variable y poco confiable en términos de calidad.

Ilustración 31

Resumen de análisis de capacidad de proceso para garganta .



Fuente: Elaboración propia con apoyo de minitab versión 19

Tabla 6Cálculo del nivel de *sigma* actual de la empresa

Cálculo de Sigmas:				
Nivel	$Z_s = \frac{LSE - \mu}{S}$	$Z_i = \frac{LIE - \mu}{S}$	Probabilidad	Número de Sigmas
Corto plazo	1.6507308	-0.399866	0.655373	0.400
Largo plazo	1.4509268	-0.351467	0.637381	0.351

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, general, el proceso no presenta un comportamiento extraño en los valores, sin embargo, se requiere un análisis detallado para verificar la variabilidad de la capacidad del proceso, con técnicas y herramientas que propicien el proceso hacia la mejora continua, pudiendo observar durante la realización de esta etapa que, la toma de medidas por parte de los analistas, se encontraba ajustada, ya que no se representaban los valores reales durante.

Por el motivo anterior se hace la sugerencia de implementar nuevos formatos para los registros de las medidas de piernas y soldadura, por lo que se trabajará en ello para que cuando se vuelva a realizar las mediciones para determinar el nuevo nivel de *sigma* después de las mejoras, mejore el DPMO esperando llegar a por lo menos 1 *sigma*.

Se continua con un Análisis de los defectos de soldadura presentados durante la etapa de medición, dados a conocer por el encargado del área de soldadura en ambos turnos, haciendo un resumen como se puede apreciar en la tabla, con la descripción de cada defecto para posteriormente realizar un análisis de los defectos más comunes presentados y la aplicación de acciones preventivas y correctivas para cuando lleguen a presentarse de nuevo

3.4 Fase Analizar

En esta fase se llevó a cabo el análisis de las causas raíces, después de los defectos y fallas encontrados en la fase previa, el análisis se llevó a cabo mediante un árbol de causas y efectos de primer y segundo nivel, se definieron las causas potenciales que originan los defectos presentados en el área de soldadura, y las causas secuenciales obteniendo los siguientes resultados.

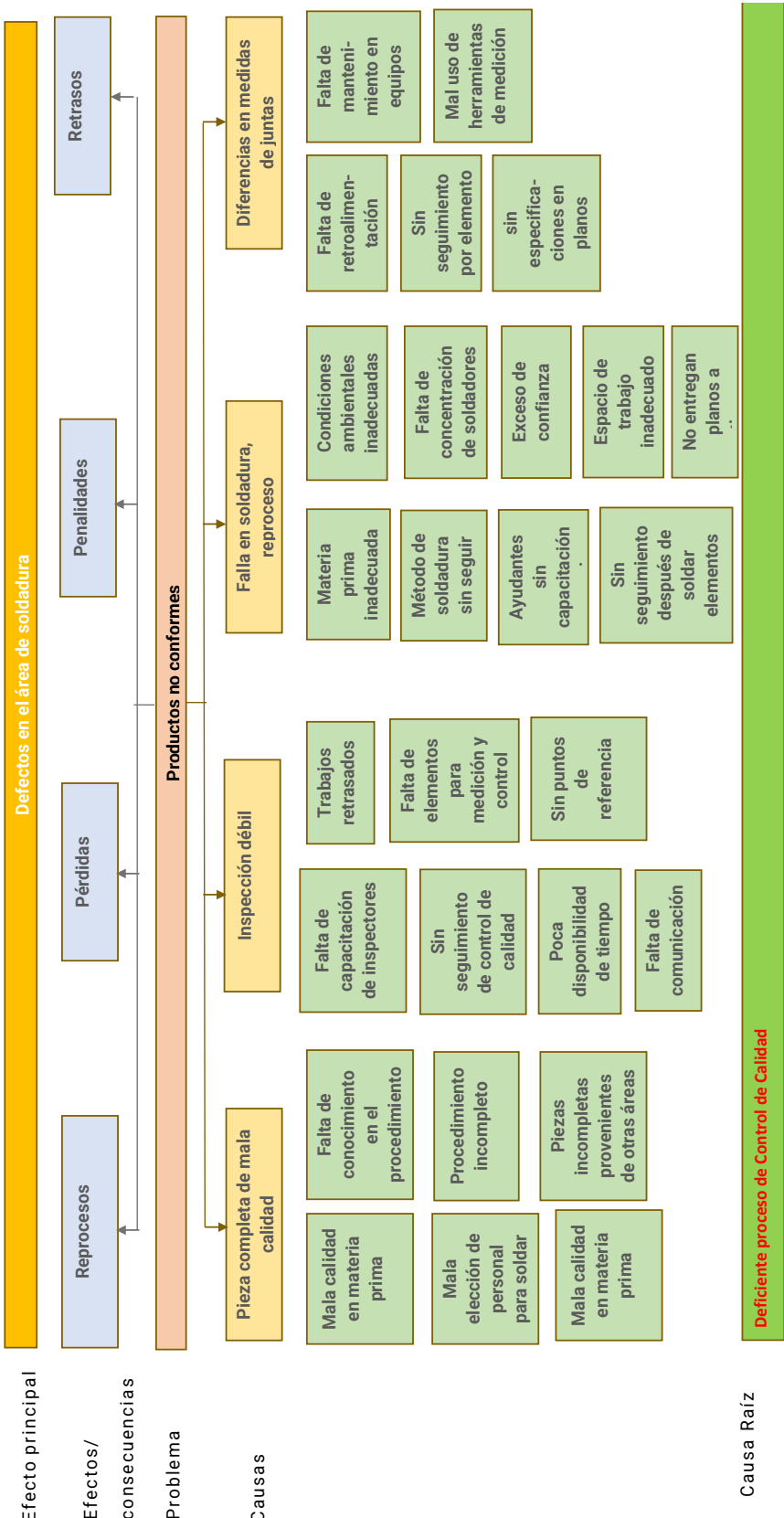
La **Ilustración 32** muestra el efecto principal que son los defectos originados en soldadura, que a su vez origina consecuencias que son los retrabajos, retrasos, penalidades y pérdidas para la empresa, son 4 causantes de los productos no conformes que son las piezas completas de mala calidad, inspecciones débiles, fallas en las soldaduras y la existencia de diferencias de medidas en las juntas de soldaduras.

Eso a su vez desencadena una trazabilidad para llegar a las causas raíces, **Ilustración 33** muestra el árbol de causas y efectos de segundo nivel, dónde se emplean los por qué para llegar a las causas raíces de los 4 causantes principales con sus causales secundarios. Se analizaron cada una de las causas raíces encontradas para elegir la que mayor peso tiene dentro la organización.

De las causas raíces encontradas, sombreadas de color azul, se procede a analizarlos mediante la matriz de Vester, siguiendo la metodología encontrada en la “Guía metodológica para la priorización de proyectos: un enfoque aplicado a la infraestructura, logística y conectividad”. (Vidal H, 2016) . para establecer las priorizaciones la **Ilustración 37** muestra los valores asignados a la matriz, según Saaty (1997) quien establece la escala a partir de la jerarquía de los planificadores de la región del Rio Brandywine dónde les asignaron la escala del 1 al 9.

Ilustración 32
Árbol de causas y efectos primer nivel

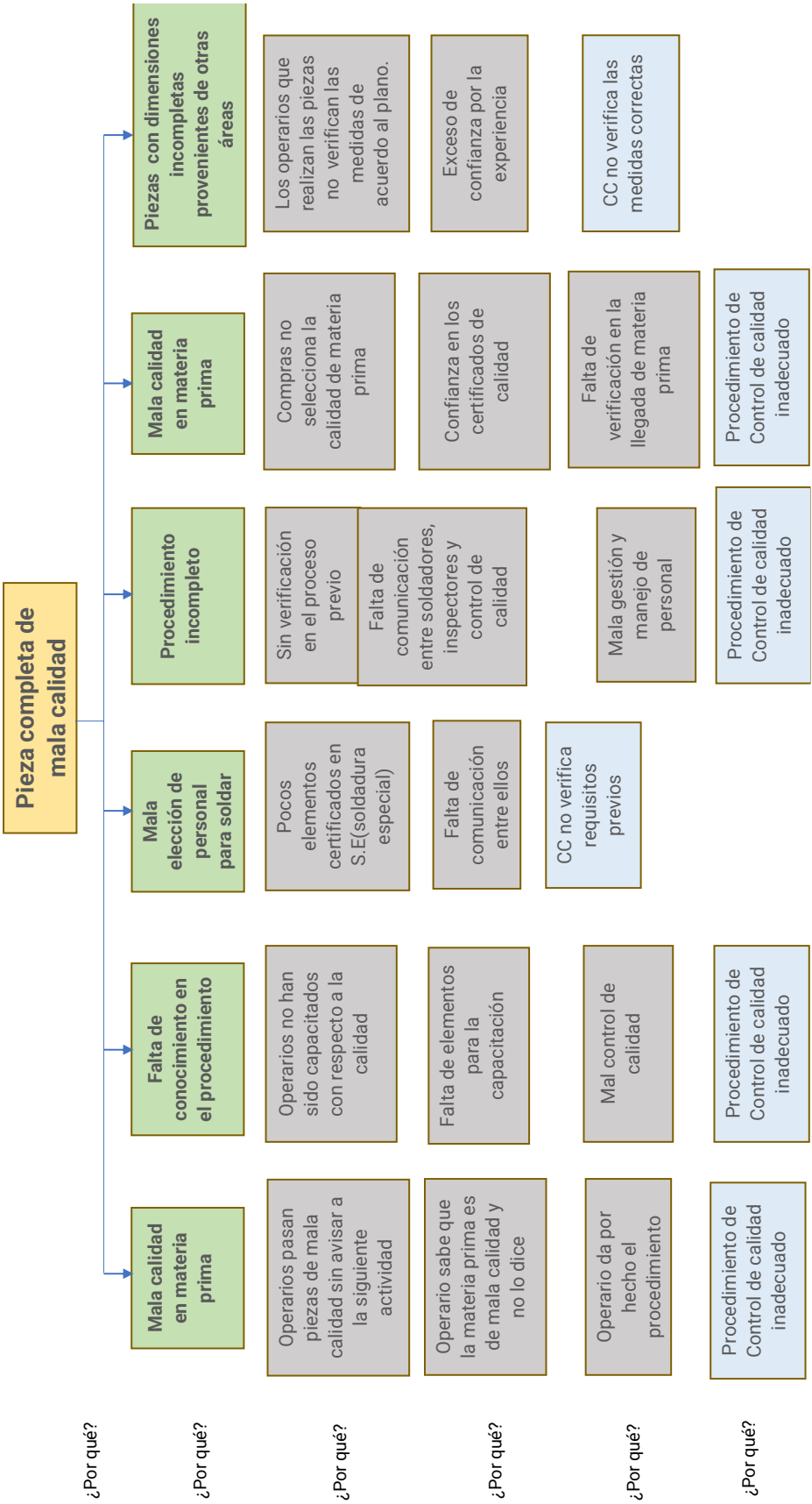
Árbol de Causas y Efecto, Primer nivel y segundo nivel Fuente: Elaboración propia



Fuente: elaboración propia

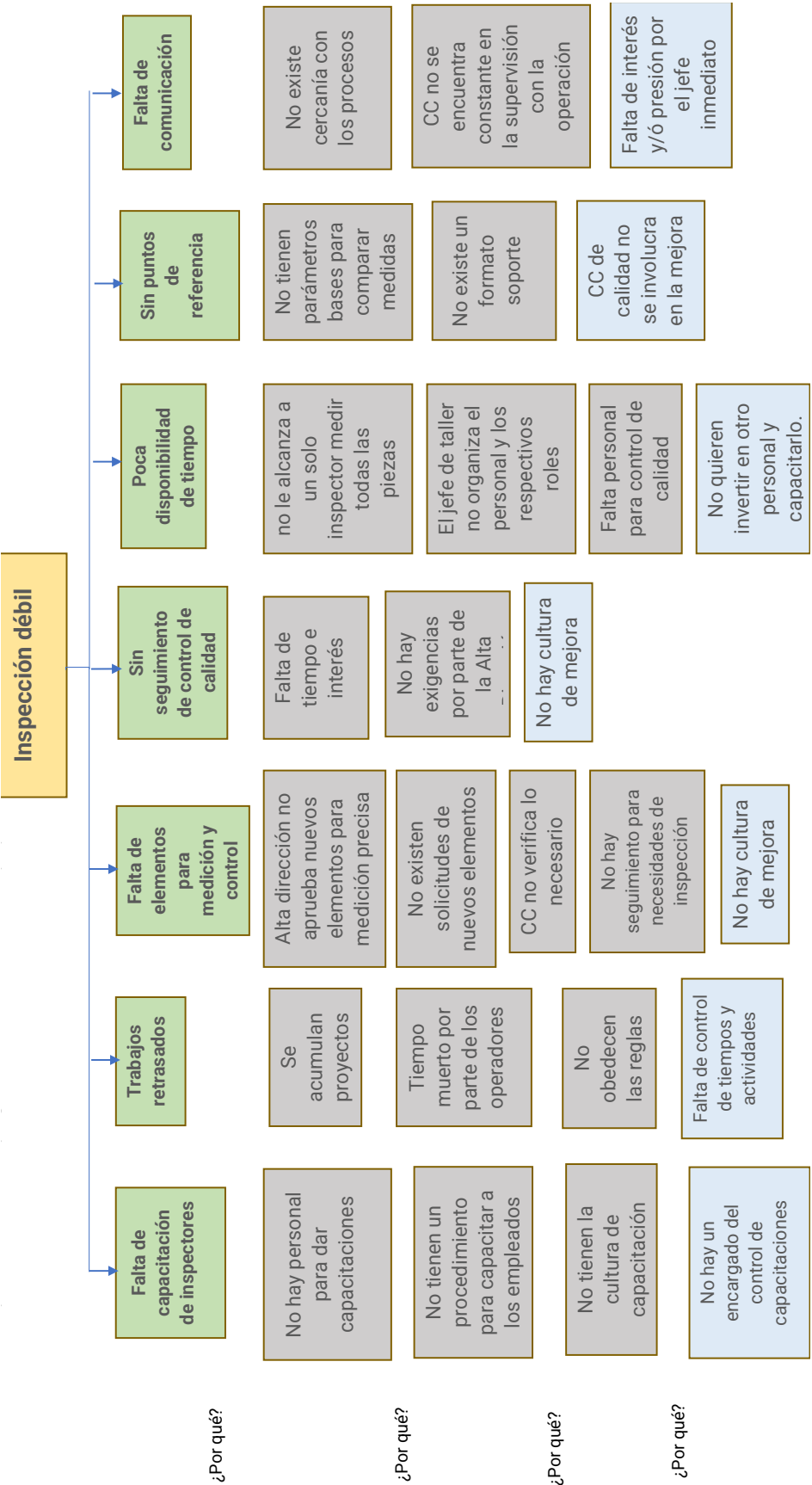
Ilustración 33

Detección de Causas Raíces “pieza completa de mala calidad”, segundo nivel.



Fuente: elaboración propia

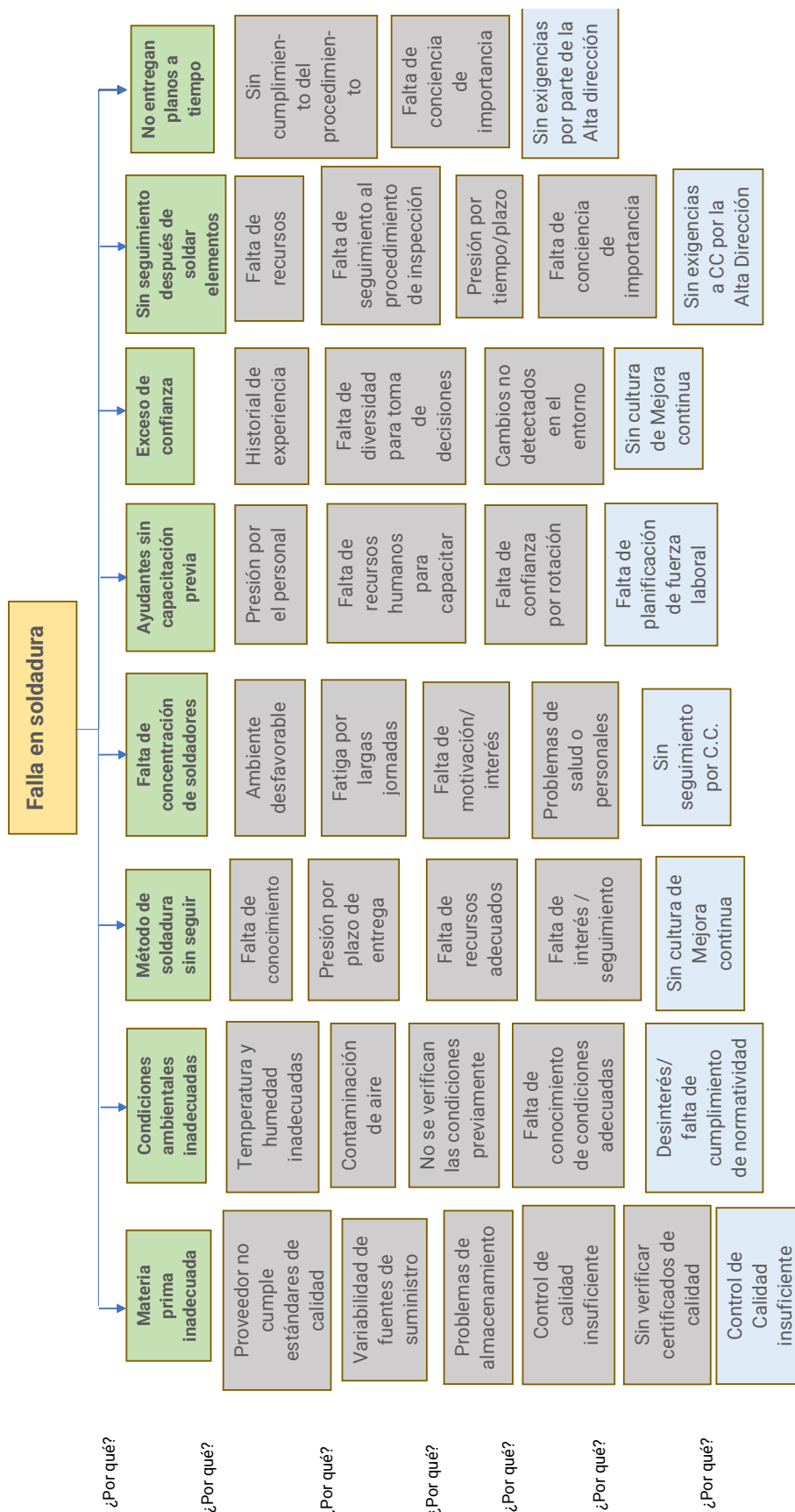
Ilustración 34
Detección de Causas Raíces “inspección débil”, segundo nivel.



Fuente: elaboración propia

Ilustración 35

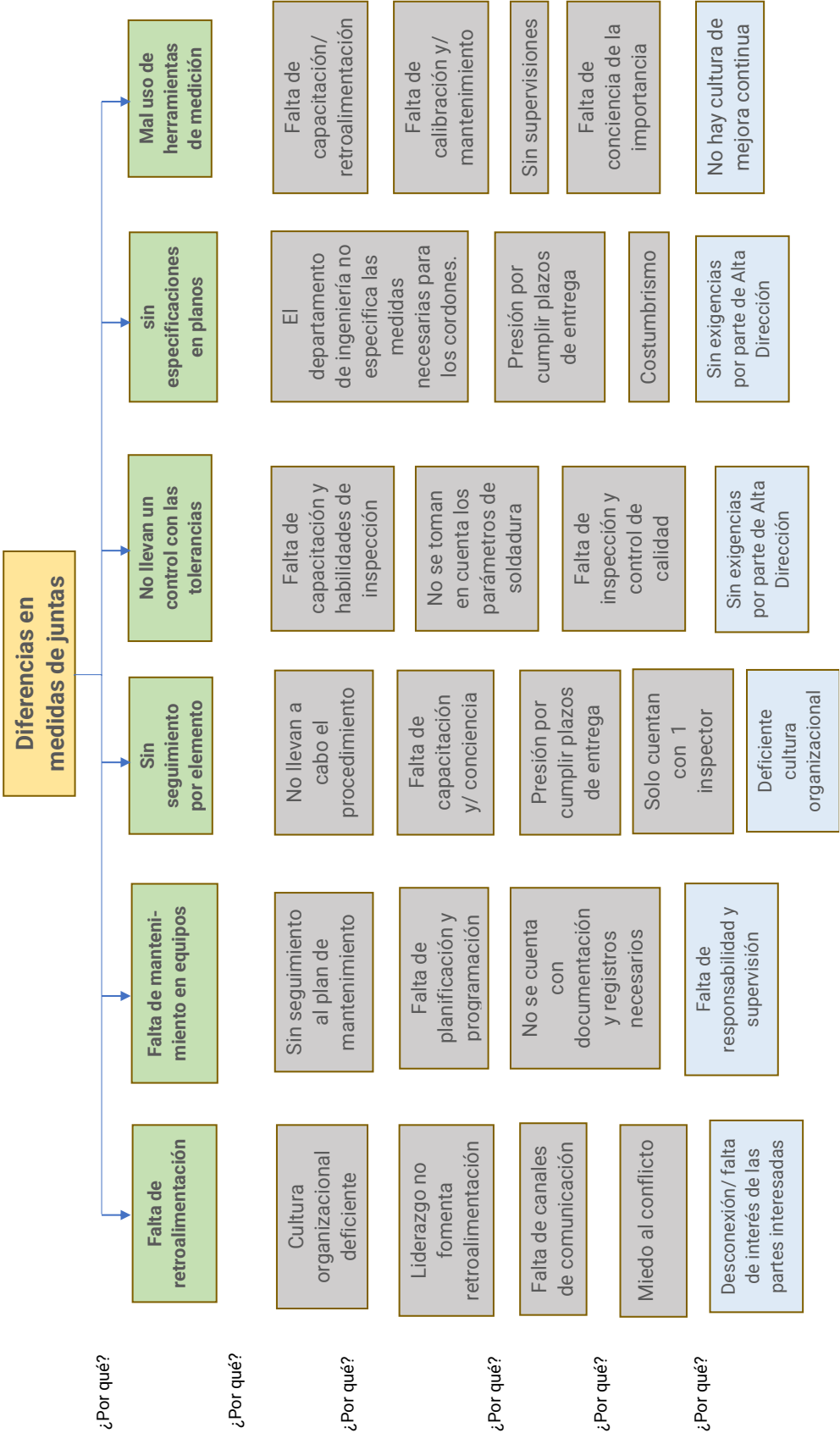
Detección de Causas Raíces “Falla en soldadura”, segundo nivel



Fuente: elaboración propia

Ilustración 36

Detección de Causas Raíces “diferencias en medidas de juntas”, segundo nivel.



Fuente: elaboración propia

Ilustración 37

Escala de comparación de Saaty.

Escala numérica	Escala verbal
1	igual importancia
3	ligeramente más importante
5	mucho más importante
7	fuertemente más importante
9	Extremadamente más importante

Fuente: Saaty (1997)

La **Ilustración 38** muestra las diez causas raíces analizadas, pero se requiere determinar la o las más importantes para tomar acciones de manera inmediata para ello de acuerdo con literaturas citadas anteriormente, el proceso de construcción de la matriz de Vester utilizado para la toma de decisiones tiene un proceso analítico-cuantitativo, ya que como lo explica Thomas Saaty (1997) “una mejor toma de decisiones requiere esencialmente lo cuantitativo”, y partiendo de la guía metodológica de Vidal H, se realiza el siguiente proceso para llegar a la conclusión de la consistencia de la matriz analizada.

A continuación, se muestran los pasos para la determinación de la consistencia.

1. Se realiza la siguiente matriz mostrada en la **Ilustración 38** dónde se concentran las causas raíces asignándole un número a cada causa, consecutivamente hasta llegar a las diez causas encontradas. Se establecen de manera horizontal y vertical, con el fin de crear una matriz 10x10

2. Con la escala de comparación mostrada en la Ilustración 37 descrita anteriormente se procede a comparar por pares cada causa raíz (C1 con C1 le corresponde el número 0, ya que no genera dependencia, así como C2-C2 y así sucesivamente hasta Cn-Cn)

3. Para las siguientes comparaciones por pares se tomaron en cuenta las recomendaciones del jefe de taller quién por la experiencia y criterio se asignaron los valores

descritos en la tabla 5, al poner como ejemplo la comparación para la Causa 2(C2) que es la falta de verificación de CC con la Causa 1(C1), C2 tiene un peso mucho más importante que la causa 1 teniendo un valor de $C2vsC1 = 5$ ya que al no haber una verificación por parte de Control de Calidad al finalizar el proceso de soldadura.

Pueden presentarse defectos en una estructura que no se detectaron y mandarlos así a la siguiente estación de trabajo que se encuentra a 9 km aproximadamente, sin ese importante control pueden regresar la pieza y es ahí donde se pierde tiempo para el traslado, un transporte disponible, dinero para la gasolina, horas hombre en taller, materiales, hacer que otras estructuras se pausen para terminar la que requiere un reproceso, etc...

Sólo por hacer mención a la estructura y los elementos que se tomaron en cuenta para realizar el análisis. Ahora se compara C1 vs C2 acá se asigna el valor de $1/5$, es decir su recíproco, para mantener un equilibrio en la toma de decisiones.

4. Siguiendo la metodología anterior se plantea la suma total de cada columna C(Dependencia) y la sumatoria por filas C(influencia), de acuerdo a la guía metodológica se tiene que construir un vector de prioridades de la siguiente manera:

Se debe construir una matriz normalizada. Primero se toma cada valor de la columna C1 y se divide entre la suma total de la columna, y así sucesivamente para cada columna de C.

Finalmente, el vector prioridad es la resultante del promedio de las filas de cada causa raíz de la matriz normalizada. cómo se puede apreciar en la **Ilustración 39**, el siguiente paso es verificar la consistencia de la matriz, para validar los causantes potenciales con mayor peso como se explica a continuación.

Ilustración 38
Matriz de Vester.

Situación problemática												
Se presentan defectos en el área de Soldadura												
Código	Causas Raíces	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	INFLUENCIA
C1	procedimiento de control de calidad inadecuado	0	1/3	3	1/3	1/5	3	1/5	1/7	1/3	1/3	7.9
C2	falta de Verificación de CC	3	0	7	1/5	1/5	5	1/3	1/3	3	1/5	19.3
C3	no hay encargado de capacitaciones	1/3	1/7	0	1/5	1/5	1	1/7	1/3	1/3	1/5	2.9
C4	Falta de control de tiempos y actividades	3	5	5	0	1/5	3	1/5	1/7	5	1/3	21.9
C5	Falta de cultura de mejora	5	5	5	5	0	5	1/3	1/3	7	3	35.7
C6	no se invierte en personal y capacitaciones	1/3	1/5	1	1/5	1/3	0	1/7	1/5	1/3	5	7.7
C7	CC no se involucra en la mejora	5	3	7	5	3	7	0	1/3	5	1/3	35.7
C8	Falta de interés/presión por Alta Dirección	7	3	3	7	3	5	3	0	1/3	3	34.3
C9	Falta de planificación de fuerza laboral	3	1/3	3	1/5	1/7	3	1/5	3	0	1/3	13.2
C10	Deficiente cultura organizacional	3	5	5	3	1/3	1/5	3	1/3	3	0	22.9
DEPENDENCIA		29.7	22	39	21.1	7.61	32.2	7.55	5.15	24.3	12.7	159.2

Fuente: elaboración propia a partir de (Procesos, 2016; Vidal H., Calderón S, 2016)

Ilustración 39
Matriz normalizada

$$=1/44.7= 0.02$$

C.R	construcción del vector prioridad										Prioridad
C1	0.00	0.02	0.08	0.02	0.03	0.09	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03
C2	0.10	0.00	0.18	0.01	0.03	0.16	0.04	0.06	0.12	0.02	0.07
C3	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	0.02	0.06	0.01	0.02	0.02
C4	0.10	0.23	0.13	0.00	0.03	0.09	0.03	0.03	0.21	0.03	0.09
C5	0.17	0.23	0.13	0.24	0.00	0.16	0.04	0.06	0.29	0.24	0.15
C6	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.00	0.02	0.04	0.01	0.39	0.06
C7	0.17	0.14	0.18	0.24	0.39	0.22	0.00	0.06	0.21	0.03	0.16
C8	0.24	0.14	0.08	0.33	0.39	0.16	0.40	0.00	0.01	0.24	0.20
C9	0.10	0.02	0.08	0.01	0.02	0.09	0.03	0.58	0.00	0.03	0.09
C10	0.10	0.23	0.13	0.14	0.04	0.01	0.40	0.06	0.12	0.00	0.12

Fuente: elaboración propia

5. Se debe verificar la consistencia de la matriz, ya que si resulta “consistente” indicará que en los vectores prioridad encontrados será la causa C8 con un 20% la que debe tener mayor peso para aplicar una acción de mejora, seguido de las causas C7 y C5 con 16% igualitariamente. Para la consistencia de la matriz se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$C.C. = \frac{\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}}{IA} \quad \text{..... Ecuación 16}$$

Donde:

C.C. es el cociente de consistencia

λ_{max} es el máximo valor propio de la matriz de comparación, el cual se calculará a continuación.

n, es el número de elementos a comparar (en nuestro ejemplo son 3 elementos o criterios).

IA, es el índice aleatorio, el cual tiene un valor asociado a cada valor de “n”.

El **λ_{max}** se calcula multiplicando cada elemento del vector de prioridad por su correspondiente sumatoria final de la columna C y se suman los términos.

$$\lambda_{max} = [0.03*32.7] + [0.07*23] + [0.02*40] + [0.09*22.13] + [0.1*8.47] + [0.06*35.14] + [0.1*8.53] + [0.2*3.48] + [0.05*27.83] + [0.1*15.73] = \underline{11.40}$$

Ahora es necesario el valor de I.A Para ello se parte de la experiencia del autor Saaty, dónde sugieren la siguiente estimación:

$$I.A = \frac{1.98(n - 2)}{n} \quad \text{..... Ecuación 17}$$

$$I.A = \frac{1.98(8)}{10}$$

$$I.A = \underline{1.58}$$

Por lo que el valor del coeficiente de consistencia obtiene un valor de:

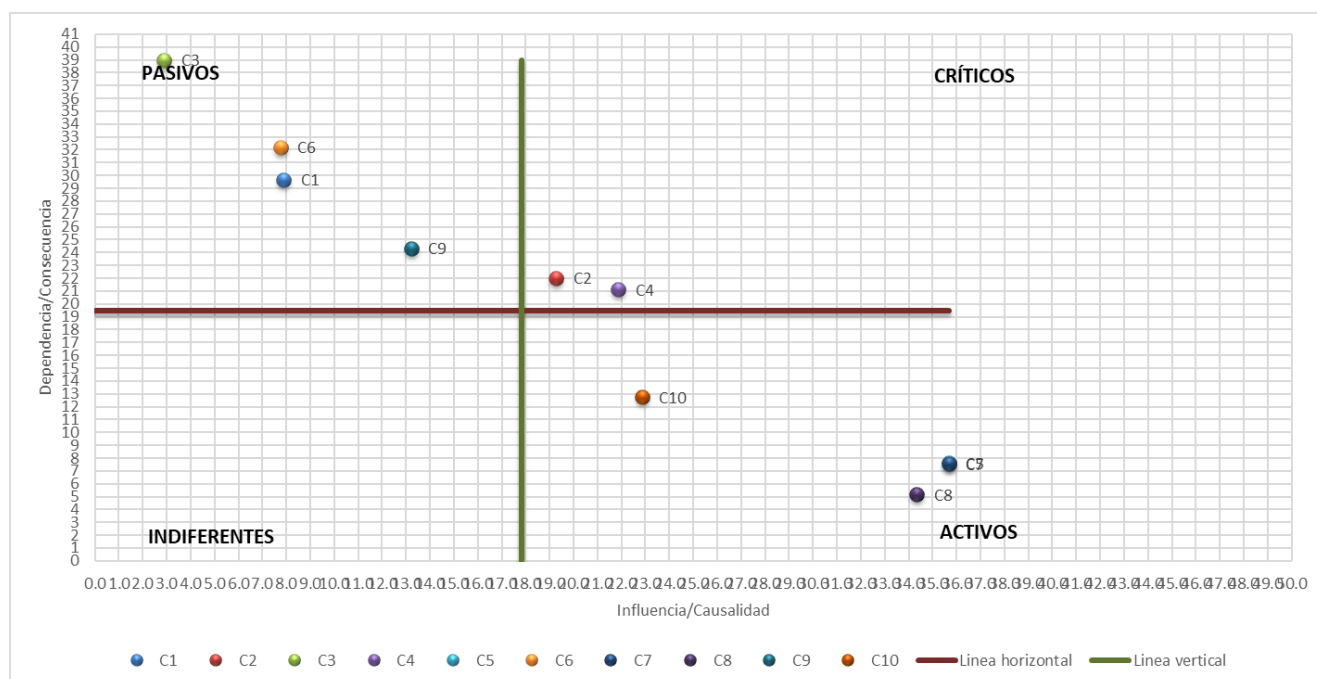
$$C.C. = \frac{\frac{11.40-10}{9}}{1.58} = \underline{\underline{0.09}}$$

De acuerdo con la guía metodológica el valor de CC $0.0982 < 0.1$ por lo que se concluye que la matriz analizada es consistente y por tanto es válido el análisis para la toma de decisiones.

Para una mejor interpretación se presenta la **Ilustración 40** que representa la clasificación de las causas raíces en distintos factores de acuerdo a los valores asignados en la matriz de Vester, teniendo como factores críticos que establece el problema central: la falta de verificación de Control de Calidad y a la falta de control de tiempos y actividades en el taller, se debe a los activos: la falta de interés y presión por parte de la alta dirección, la deficiente cultura organizacional y la falta de control de la fuerza laboral.

Ilustración 40

Clasificación de las causas raíces.



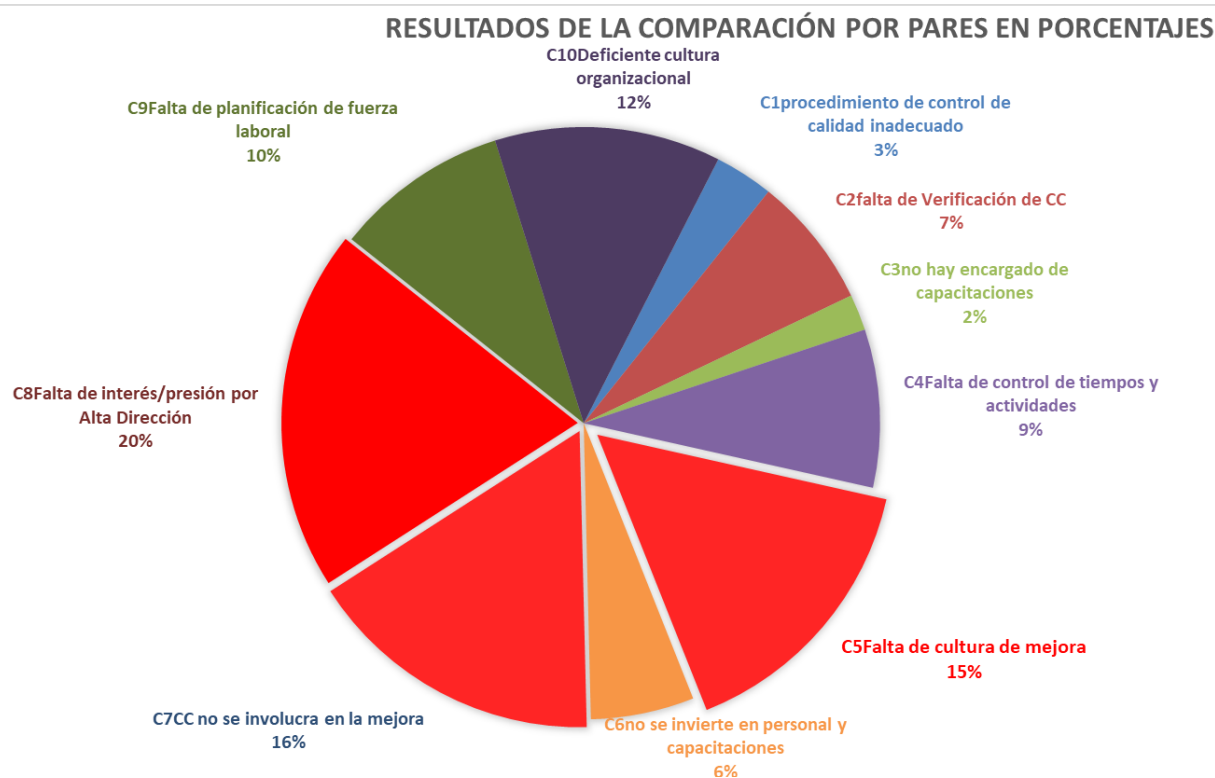
Fuente: elaboración propia a partir de (Procesos, 2016; Vidal H., Calderón S, 2016)

En la **Ilustración 41** se muestran los resultados expresados en porcentajes de la matriz de Vester mediante un gráfico circular dónde la causa raíz prioritaria es la falta de interés y presión por la alta dirección con un 20% de atención, seguido con un 16% que CC no se involucra en la mejora y falta de cultura de mejora con un 15 % de prioridad.

Esto servirá para la siguiente fase, dónde se le muestran los resultados a la alta dirección en una reunión para tomar acciones de mejora en el taller, poniendo como foco el área de soldadura, pero implícitamente al mejorar con técnicas organizacionales se puede lograr la mejora y la atención de otras áreas.

Ilustración 41

Resultados de la comparación por pares de causas raíces, expresados en porcentaje.



Fuente: elaboración propia

Se continúa con el siguiente análisis el cual plantea prevenir o mitigar los efectos de las fallas antes de que ocurran

AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla)

Durante el recorrido al área y conforme se fueron presentando los defectos durante los procesos, se realizó un cuadro mostrado en la **Tabla 7** para el registro de los defectos más comunes identificados en el área de soldadura mostrado, se anexa la evidencia de una grieta, aunque no es común en el área, pero, se deben tener identificados para tomar medidas, ya que las grietas son los defectos que no se deben permitir, y se rechaza la pieza en automático.

En la **Ilustración 42** se muestra un formato realizado para el defecto de porosidad con el propósito de dar las características específicas del defecto presentado, se plantea de manera individual para cada defecto, ya que se establecen las mediciones y señas más particulares de lo ocurrido, se determina en que número de parte se encontró, para que proyecto fue, que cliente, la fecha, las longitudes o detalles exactos del mismo, la severidad o daño.

De acuerdo a la clasificación de control de calidad (control de calidad no cuenta con un estándar de severidad o daño). Se guían por la experiencia de los cabos de soldadura y los conocimientos de la norma, pero no se encuentra descrito cada defecto que se puede presentar en algún manual interno, para determinar la severidad se toma como referencia la norma AWS D.1 2020 de la *American Welding Society* en el cual existe un apartado que muestra las tolerancias en las inspecciones.

La norma establece criterios específicos en el Capítulo 6 para identificar, medir y evaluar los defectos de soldadura, así como los métodos de inspección aplicables. Estos criterios son esenciales para garantizar que las soldaduras cumplan con los estándares de seguridad y calidad requeridos en las estructuras de acero.

Tabla 7

Descripción gráfica de los defectos más comunes presentados en el área de soldadura

Gráfico	Nombre	Descripción breve
	Porosidad	Tipo de discontinuidad o defecto en la soldadura que se presenta en forma de cavidades o burbujas de gas atrapadas en el metal de soldadura
	Grietas	Discontinuidades o defectos en la soldadura que se caracterizan por ser rupturas lineales en el material base o en el metal de soldadura.
	Penetración y Fusión incompleta	Tipo de discontinuidad en la soldadura en la que el metal de soldadura no se fusiona completamente con el metal base o con una pasada de soldadura anterior.

	Socavación	Discontinuidad que puede actuar como un punto de concentración de esfuerzos, aumentando la posibilidad de que se inicie una grieta en la zona afectada, especialmente en condiciones de carga cíclica o fatiga
	Mal aspecto: cordón irregular	Condición en la que el perfil de la soldadura presenta variaciones en su forma, tamaño o continuidad

Fuente: elaboración propia, a partir de información del capítulo VI de la norma AWS D.1. 2020

Estos defectos descritos son muestras que se presentaron en el área de soldadura, indagando en el tema, el cabo de soldadura hizo hincapié que no se ha presentado grieta alguna en lo que va del año, ya que cuentan con la experiencia suficiente para darse cuenta a tiempo, y también se realizan pruebas de ultrasonido en estructuras donde el cliente lo exija.

Como resultado se presenta en la ilustración **Ilustración 43** un AMEF del área de soldadura, con la severidad de daño en 4 elementos como la recepción de planos, selección de soldador, liberación de la pieza y pulido de puntos de soldadura.

Ilustración 42

Formato de defectos, acciones, correctivas y preventivas



Formato de defectos



Instituto Tecnológico de Orizaba

Número de la pieza:		Cliente:		Código defecto:	CC-FD-001
Nombre del defecto:	Porosidad en el cordón	Categoría de falla:	☒ Menor ☐ Mayor ☐ Crítico		
Área:	Soldadura	Origen:	En los empates de las vigas.		
Evidencia: Presencia de 1.46 pulgadas de porosidad en el segundo cordón de soldadura, en el empate de una viga.		Descripción del defecto presencia de porosidad en el segundo paso del cordón de soldadura			
		Causas -Causas ambientales(corria viento) -El microalambre se encontraba una parte en mal estado -Falta de limpieza en el cordón anterior -Distraccion del soldador -No verificar antes de continuar con el segundo paso			
Criterio de aceptación: ☒ Aceptable ☐ No Aceptable		Especificaciones -la profundidad de la soldadura se encuentra a 0.503 pulgadas -la distancia se encuentra a 1.46 pulgadas - la longitud del defecto es 1.53 pulgadas			
Acciones Preventivas: -analizar las condiciones climatológicas para establecer medidas de precaución -verificación del mismo soldador en los pasos de soldadura -retroalimentación a los encargados de soldadura para evitar distracciones y mejorar la concentración a la hora de soldar.		Acciones Correctivas -Remover la soldadura con arcae(carbones) -volver a soldar la pieza.			
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Gabriela Cabrera Betanzos		Luis Arellano Hernández		Dr. Luis Carlos Flores Ávila	

Ilustración 43

AMEF empresa metalmecánica



Análisis de Modo y Efecto de la Falla (AMEF)

Nombre de Proceso o Producto:	Soldadura
Encargado:	Luis Eduardo Arellano Hernández

Preparado por:	Gabriela Cabrera Betanzos	Página: 1 de 1
FMEA Fecha (Orig):	may-23	Rev.:

Op.	Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	Causas Potenciales	O C U	Controles de Detección	Controles de Prevención	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.	Acciones Implementadas	S E V	O C U	D E T	N P R
Número	¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cómo se detecta la falla potencial?	¿Cómo se previene actualmente?	¿Qué tan bien pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?	Núm. Prioritario de Riesgo	¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?	Anotar las acciones implementadas. Incluye fecha en que se completó.				
1	Recepción de plano de detalle para soldadura	Mala interpretación de los planos	Mal interpretación de los planos	9	Falta de capacitación del personal. El personal no está calificado	5	Inspección visual	Dependiendo del tipo de trabajo se selecciona el obrero más adecuado	5	225	Plan de capacitación del personal	Capacitación y entrenamiento		9	5	5	225
2	Recepción de estructura	Código incorrecto	Código incorrecto	2	No se codifica la estructura correctamente	6	Inspección visual	Se marcan y verifican las estructuras	9	108	Utilización de etiquetas numeradas	Control de calidad		2	6	9	108
3	Se realiza el PQR y WPS	Información mal capturada en el reporte	Información mal capturada en el reporte	5	Procesamiento incorrecto	4	Inspección visual	Clasificación de tipos de proceso de soldadura	5	100	Visualización de las tablas (en el área donde las utilizan)	Control de calidad		5	4	5	100
4	Identificación del tipo de junta	Incorrecta identificación del tipo de acero	Incorrecta identificación del tipo de acero	6	Falta de capacitación del personal	4	Inspección visual	Clasificación de tipos de junta	3	72	Plan de capacitación del personal	Capacitación y entrenamiento y cabo soldadura		6	4	3	72
5	Asignación a soldador	Mala elección del soldador	Mala elección del soldador	6	Capacitación inadecuada en el personal	8	Inspección visual	Asignación del soldador más adecuado para realizar la unión	5	240	Conocimiento de las habilidades y calificaciones de los soldadores, por parte del cabo	Capacitación y entrenamiento		6	8	5	240
6	Colocación de la pieza de trabajo	Errores en la colocación de la pieza	Errores en la colocación de la pieza	4	Falta de comunicación	7	Inspección visual	Asignación de personal adecuado	3	84	Colocación de guías para facilitar la colocación de la pieza	Cabo de soldadores		4	7	3	84
7	Pulido de los puntos de soldadura	Limpieza ineficaz	Limpieza ineficaz	6	Distracción del personal	6	Inspección visual	Asignación de personal calificado	7	252	Retroalimentación entre cabo y soldador	Calidad y cabo de soldadura		6	6	7	252
8	Aplicación de la soldadura	Falta de penetración	Falta de penetración	9	Falta de comunicación	8	Inspección del tamaño del cordón	Clasificación de tipos de proceso de soldadura	1	72	Inspección 100% del tamaño del cordón	Calidad		9	8	1	72
9	Giro de la pieza	Incorrecta colocación de pieza	Incorrecta colocación de pieza	5	Instrucciones mal entendidas de OPGR a SDR	4	Inspección visual	Asignación de personal adecuado	3	60	Retroalimentación entre cabo y soldador	Cabo de soldadura		5	4	3	60
10	Saneamiento con disco para desbaste o electrodo de carbón arcail	Saneamiento mal ejecutado	Saneamiento mal ejecutado	3	Falta de comunicación	6	Inspección visual	Clasificación de los materiales	5	90	Retroalimentación entre cabo y soldador	Cabo de soldadura		3	6	5	90
11	Verificación de soldadura	Soldadura incorrecta	Soldadura incorrecta	5	Falta de comunicación	4	Inspección visual	Pruebas no destructivas durante el proceso	2	40	Retroalimentación entre cabo y soldador	Cabo de soldadura		5	4	2	40
12	Control de calidad	Incumplimiento de calidad	Incumplimiento de calidad	7	Falta de comunicación	6	Inspección visual	Pruebas no destructivas durante el proceso	3	126	Inspección detallada periódicamente	Control de calidad		7	6	3	126
13	Liberación de la pieza soldada	Pieza no liberada	Pieza no liberada	5	Errores en la pieza	5	Inspección	Pruebas no destructivas durante el proceso	9	225	Utilización de etiquetas para identificación de piezas	Control de calidad		5	5	9	225
Elaboró				Revisó				Aprobó									
Gabriela Cabrera Betanzos				Dr. Luis Carlos Flores Ávila				Luis Eduardo Arellano Hernández									

Fuente: elaboración propia, a partir de datos proporcionados por control de calidad.

3.5 Fase Mejorar

En ésta fase, se implementó unos formatos, manuales, que facilitaron la recolección de información para el análisis mensual y el control del taller de estructuras, cabe señalar que los formatos diseñados se aplicaron al área de soldadura, pero sirvió de apoyo y guía para controlar y recabar información también de las áreas de corte y habilitado de materiales, se tomó en cuenta la cantidad de trabajadores de las áreas correspondientes, el tipo de proyectos que se manejan, para ello se eligió la familia de productos más frecuentes y solicitados por los clientes, aunque cabe recordar que es improbable que resulten elementos de las mismas dimensiones

Cómo se puede observar en la **Ilustración 44** la representación de un formato para toma de mediciones y la inspección visual en las medidas de piernas y garganta de soldadura, se muestra un antes y un después de los formatos usados para recolectar información para el análisis, la diferencia es que en la ilustración anterior el formato de inspección del área de soldadura se tomaban solo datos sin puntos de referencia

En cambio, en la **Ilustración 45** se estableció con fórmulas realizadas en Excel, una base para su pronto análisis, se emplearon fórmulas automáticas con base en la norma AWS D.1 versión 2020, dónde, en los cuadros que se encuentran sombreados en color azul, el analista previo a la inspección visual en el área debe introducir los datos de mediciones de la placa más delgada de las juntas.

Con base en los planos debe especificar el valor de las medidas en el apartado mediciones de inspección, proyectando como resultado las medidas ideales de acuerdo a lo especificado en la norma antes mencionada, con un valor de referencia mínimo aceptable, y solo establecer en el apartado de cumplimiento, si la junta inspeccionada pasa o no pasa.

porque anteriormente lo registrado en el formato de la empresa se pasaba a una hoja de Excel y después se realizaba un análisis al final para ver si la pieza cumplía con las especificaciones de los planos. pero este si presentaba algún defecto o medida no específica, era difícil volver al proceso, porque en ocasiones, la pieza ya había pasado a la siguiente etapa, o ya se encontraba fuera del taller en la estación de PIVO

En una reunión con el equipo de control de calidad y con la gerencia se optó por aplicar los formatos y establecerlos en el manual de calidad de la empresa, ya que cuando se aplican a concursos siempre se muestra el manual de calidad y de procesos en la empresa, ya que la empresa no cuenta con alguna auditoría interna.

Con la respuesta favorable, se hizo la sugerencia de implementar un recurso gráfico donde especificara los defectos presentados y las especificaciones para determinar la aceptabilidad o rechazo de la misma, considerando y resultando aceptable también se realizó un pizarrón de registro de defectos en el área de soldadura por turno, como se muestra en la **Ilustración 46**, se le explicó al cabo de soldadura comenzando con los registros, pero al no tener la cultura de mejora, en la empresa se suspendió por que los encargados nocturnos no registraban, y, por parte de la dirección no se tuvo la iniciativa.

Ilustración 44

Formato para inspección de soldadura

GRUPO CONSTRUCTO, S.A. DE C.V.														CÓDIGO DE CONTROL	
														POTE CIVS-02	
														FECHA DE INSPECCION	
CONTROL DE INSPECCION VISUAL DE SOLDADURA															
CENTROS DE COSTO:				ORDEN DE FABRICACIÓN:								FOLIO			
PROYECTO:															
CLIENTE:															
PART	MARCA	NO JUNTA	BISELADO	PREPARACION DE RANURA	TIPO DE PROCESAMIENTO	PRECAL °C	C	INSPECCION VISUAL EN REMOCION DE RAIZ	C	INSPECCION				CLAVE DE SOLDADOR	
										CORONA	C	PIERNAS	C	GARGANTA	C
1							✓								
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

Fuente: Control de Calidad de la empresa.

Ilustración 45

Formato ajustado para la medición de juntas de soldadura

REPORTE DE ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD POR ATRIBUTOS								
CÓDIGO EQUIPO: N/A					NOMBRE DEL EQUIPO:			
CARACTERÍSTICA: <i>Aspecto Visual Skidding izquierdo</i>					CALIBRACIÓN:			
TOLERANCIA:					TIPO DE EQUIPO:			
Observaciones:					Elaboró:			
Valor en el plano	conversiones			No. Junta	mediciones de inspección		Valor de Referencia mínimo requerido sin límites	
minimo mm(placa más delgada)	minimo "in"	mayor a 3/4 (1= si, /2=no)			piernas	garganta	piernas	garganta
25	1	2	0.617	1	15	9	16	11
25	1	2	0.617	2	16	8	16	11
25	1	2	0.617	3	16	10	16	11
25	1	2	0.617	4	16	8	16	11
25	1	2	0.617	5	14	8	16	11
25	1	2	0.617	6	15	10	16	11
25	1	2	0.617	7	16	5	16	11
25	1	2	0.617	8	15	11	16	11
19	3/4	1	0.437	9	8	13	11	7
25	1	2	0.617	10	15	13	16	11
22	6/7	2	0.558	11	14	11	14	10
21	5/6	2	0.538	12	16	13	14	10
19	3/4	1	0.437	13	14	11	11	8
19	3/4	1	0.437	14	14	9	11	8
25	1	2	0.617	15	16	11	16	11
25	1	2	0.617	16	16	11	16	11
25	1	2	0.617	17	16	9	16	11
19	3/4	1	0.437	18	9	8	11	7
25	1	2	0.617	19	16	7	16	11
22	6/7	2	0.558	20	14	10	14	10
21	5/6	2	0.538	21	12	10	14	10
19	3/4	1	0.437	22	10	9	11	8
19	3/4	1	0.437	23	10	9	11	8
25	1	2	0.617	24	15	8	16	11
25	1	2	0.617	25	16	9	16	11
25	1	2	0.617	26	16	9	16	11
19	3/4	1	0.437	27	11	9	11	8
25	1	2	0.617	28	15	9	16	11
22	6/7	2	0.558	29	14	14	14	10
21	5/6	2	0.538	30	14	15	14	10
19	3/4	1	0.437	31	11	8	11	8
19	3/4	1	0.437	32	11	10	11	8

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos en hoja de Excel.

En la **Ilustración 47** se muestra la infografía que se presentó a la alta dirección con aprobación previa del jefe de taller, para el Vo. Bo. De la gerente del taller de estructuras, en el que se determinan los criterios de aceptación y la prevención de cada uno de ellos, esto se espera sirva de apoyo para los cabos de soldadura, y los ayudantes y así tengan presentes el principio de una implementación de la cultura de mejora continua.

Al estar establecido en el área con mayor índice de retrabajos, se pretende influir en los criterios propios de los encargados del área previo a una inspección visual por parte de Control de Calidad del taller de estructuras metálicas.

La hoja de síntesis de defectos presentados en el área de Soldadura, se implementó con el fin que los trabajadores de ambos turnos comenzaran a registrar los defectos presentados, con eso se podría determinar si tienen noción cuando es aceptable un defecto en soldadura, y cuando no.

Al comenzar con la implementación de mejoras en el área de soldadura, los trabajadores también podrían comparar con apoyo del manual de defectos ver **anexo 2**, y la infografía de defectos ver **ilustración 47**, **podrían** realizar los registros en la **ilustración 46**, tanto los cabos experimentados en soldadura, como los ayudantes, siendo ésta una forma de capacitación visual constante, en el área de trabajo.

Iniciando con una manera para continuar con la mejora, al medir y controlar, porque con el uso de estas herramientas y formatos visuales, los trabajadores se involucrarán y al realizar la supervisión el área de Calidad, podrían determinar con las causas que originaron los defectos y la frecuencia que se presentan para poder tomar medidas directas durante el desarrollo de los diversos proyectos solicitados para la empresa.

Ilustración 46

Reporte de inspección visual por turno

Operario		Defecto	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Total		
			1T	2T	1T	2T	1T	2T	1T	2T	1T	2T	1T	2T	1T	2T	Total
	Porosidad																
	Grieta																
	Penetración/ fusión incompleta																
	Socavación																
	Mal aspecto cordón irregular																
	Placa ondulada																
	Falta de dimensión																
	Otros																
	Total																
	Porosidad																
	Grieta																
	Penetración/ fusión incompleta																
	Socavación																
	Mal aspecto cordón irregular																
	Placa ondulada																
	Falta de dimensión																
	Otros																
	Total																
Total por turno																	
Total por día																	

Elaboró
Gabriela Cabrera Betanzos

Revisó
Luis Carlos Flores Ávila

Aprobó
Luis Eduardo Arellano Hernández

Ilustración 47

Infografía de criterios de aceptación en soldadura

Criterios para aceptación por inspección visual en Soldadura

POROSIDAD

CRITERIO DE ACEPTACIÓN
 POROSIDADES DE 1MM DE DIÁMETRO NO DEBEN EXCEDER:
 • 10 MM EN 1PULG LINEAL
 • 20 MM EN UNA LONGITUD DE 12 PULG

PREVENCIÓN

1. MANTENER EL ARCO MÁS LARGO.
2. DAR SUFICIENTE TIEMPO A LA FUSIÓN.
3. AMPERAJE ADECUADO.
4. LIMPIAR BIEN LA SUPERFICIE.
5. SECAR EL ELECTRODO.
6. ADECUADA VELOCIDAD DE AVANCE.



GRIETA

CRITERIO DE ACEPTACIÓN
 CUALQUIER GRIETA SERÁ INACEPTABLE; SIN CONSIDERAR EL TAMAÑO O LOCALIZACIÓN.

PREVENCIÓN

1. EMPLEAR ELECTRODO DE BAJO HIDRÓGENO.
2. PRECALENTAR A TEMPERATURA DE 149-260 °C, SI ES ACERO A MEDIO CARBONO.
3. HACER TRATAMIENTO TÉRMICO DESPUÉS DE LA SOLDADURA.
4. HACER SOLDADURAS DE CAPA MÚLTIPLE.



PENETRACIÓN Y FUSIÓN INCOMPLETA

CRITERIO DE ACEPTACIÓN
 DEBERÁ EXISTIR FUSIÓN COMPLETA ENTRE LAS CAPAS ADYACENTES DEL METAL DE SOLDADURA, Y ENTRE EL METAL DE LA SOLDADURA Y EL METAL BASE.

PREVENCIÓN

1. USAR LA CORRIENTE ADECUADA.
2. SOLDAR CON LENTITUD NECESARIA PARA LOGRAR BUENA PENETRACIÓN DE RAÍZ.
3. VELOCIDAD ADECUADA.
4. CALCULAR CORRECTAMENTE LA PENETRACIÓN DEL ELECTRODO.
5. ELEGIR UN ELECTRODO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE BISEL.
6. DEJAR SUFICIENTE SEPARACIÓN EN EL FONDO DEL BISEL.



SOCAVACIÓN

CRITERIO DE ACEPTACIÓN
 MATERIALES CON ESPESOR < A 1 PULG.
 • NO DEBE EXCEDER 1MM
 MATERIALES CON ESPESOR >1 PULG
 • NO DEBE EXCEDER 2MM EN CUALQUIER LONGITUD

PREVENCIÓN

1. USAR VAIVÉN UNIFORME EN LAS SOLDADURAS DE TOPE
2. USAR ELECTRODO ADECUADO.
3. EVITAR UN VAIVÉN EXAGERADO.
4. USAR CORRIENTE MODERADA Y SOLDAR LENTAMENTE.
5. SOSTENER EL ELECTRODO A UNA DISTANCIA PRUDENTE DEL PLANO VERTICAL AL SOLDAR FILETES HORIZONTALES



MAL ASPECTO: CORDÓN IRREGULAR

CRITERIO DE ACEPTACIÓN
 POR CUESTIONES DE ESTÉTICA Y PARA LA EMPRESA SE CONSIDERA NO ACEPTABLE

PREVENCIÓN

1. USAR LA LONGITUD DE ARCO, EL ÁNGULO (POSICIÓN) DEL ELECTRODO Y LA VELOCIDAD DE AVANCE ADECUADOS.
2. EVITAR EL RECALENTAMIENTO.
3. USAR UN VAIVÉN UNIFORME.
4. EVITAR USAR CORRIENTE DEMASIADO ELEVADA.



FUENTES DE INFORMACIÓN:
 INDURA S.A. INDUSTRIA Y COMERCIO. (2018). MANUAL DE SOLDADURA INDURA. INDURA TECNOLOGIA A SU SERVICIO. BB
 HTTP://WWW.INDURA.COM.PE/WEB/PP/PDF/1877277MPTAI MECANICA
 WEST ARCO. (2015). MANUAL DE SOLDADURA. ESAB, 2. 207.
 ISO. U. M. D. E. C. D. E. (N. D. 3). NORMA AWS D.1.

Grupa Constructo, S.A. de C.V.

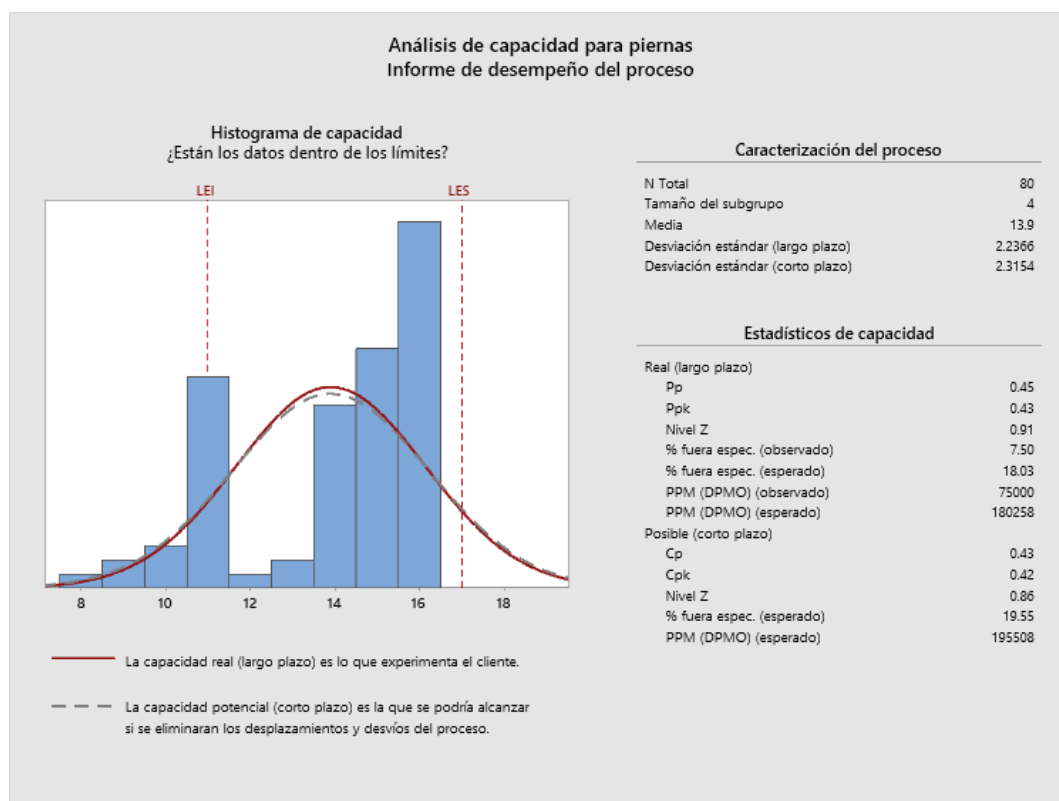
Fuente: Elaboración propia, a partir de información del capítulo VI de la norma AWS D.1. 2020

Con la ayuda del software minitab se procede a realizar nuevamente la toma de muestras de la medición de soldadura con los formatos establecidos anteriormente, para las medidas de piernas de soldadura el porcentaje de defectos representa el 19.55% lo cual redujo significativamente un 24.05%, mientras que el porcentaje de defectos de garganta de soldadura se aprecia que el porcentaje de defectos es de 11.47%.

Las métricas señaladas anteriormente fueron establecidas en el formato nuevo que se muestra en la **Ilustración 45**, este rige bajo las normas de soldadura de la AWS.D.1 2020, donde se puede apreciar en el resultado final que se redujo significativamente los defectos aumentando el nivel de *sigma* en ambas juntas de soldadura

Ilustración 48

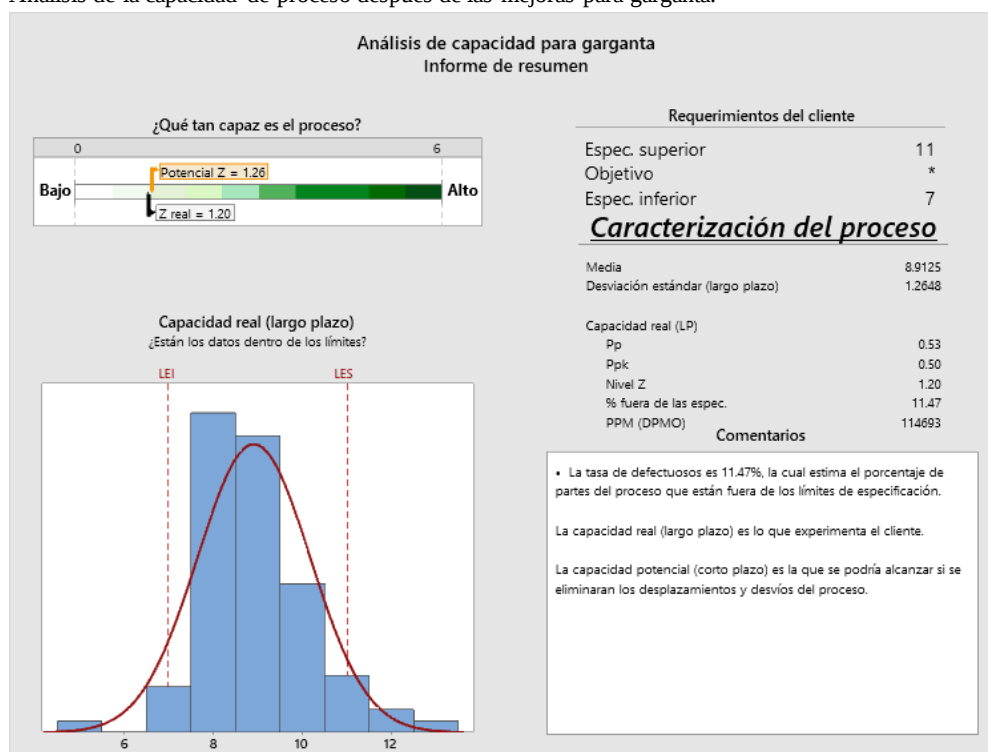
Análisis de la capacidad de proceso después de las mejoras para piernas.



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos arrojados por minitab versión 2019

Ilustración 49

Análisis de la capacidad de proceso después de las mejoras para garganta.



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos arrojados por minitab versión 2019

Calculando nuevamente el nivel de *sigma*, se puede apreciar en la siguiente tabla que el nivel de *sigma* aumentó significativamente, aunque aún está por debajo de lo esperado, hay mucho por hacer en cuanto a análisis de capacidad de proceso.

Tabla 8

cálculo del nivel de *sigma* después de la mejora de la medición de piernas.

Cálculo de Sigmas:				
Nivel	$Z_s = \frac{LSE - \mu}{S}$	$Z_t = \frac{LIE - \mu}{S}$	Probabilidad	Número de Sigmas
Corto plazo	1.2315573	-1.161752	0.877332	1.162
Largo plazo	1.3166849	-1.242055	0.892892	1.242

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos en hoja de Excel.

Tabla 9

Resultados de nivel de *sigma* de garganta después de la mejora

Cálculo de Sigmas:				
Nivel	$Z_s = \frac{LSE - \mu}{S}$	$Z_t = \frac{LIE - \mu}{S}$	Probabilidad	Número de Sigmas
Corto plazo	1.7937987	-1.64342	0.949852	1.643
Largo plazo	1.6503953	-1.512039	0.934738	1.512

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos en hoja de Excel.

3.6 Fase Controlar

En esta fase se realizó un plan que promueve una auditoría interna, donde se establecen los periodos de revisión de la puesta en marcha de los formatos establecidos anteriormente, en la ilustración se presenta el plan de auditoría abordado durante la reunión con el personal encargado de mejora estableciendo los siguientes puntos para el control de proceso en el área de soldadura.

En la **Ilustración 50** se muestra el plan para llevar a cabo una auditoría interna cada seis meses por los encargados de control de calidad, entregando avances y resultados al jefe de taller, con el fin se continuar con el control de los elementos establecidos previamente para la mejora del proceso.

Plan de Acción del Área de Soldadura para la realización de una auditoría interna.

1. Objetivos de la Auditoría

Evaluar la conformidad con las normas de soldadura aplicables.

Identificar áreas de mejora en los procesos de soldadura.

Asegurar la calidad y la consistencia en las soldaduras.

Verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad y salud en el trabajo.

2. Alcance de la Auditoría

Procesos de soldadura (MIG, TIG, SMAW, etc.).

Calificación y certificación del personal soldador.

Equipos y herramientas utilizadas en el proceso de soldadura.

Registro y documentación de las soldaduras realizadas.

Procedimientos de inspección y control de calidad.

3. Metodología

Revisión Documental: Examinar políticas, procedimientos, especificaciones y registros relacionados con la soldadura.

Entrevistas: Realizar entrevistas con soldadores, supervisores y personal de calidad.

Observación Directa: Observar el proceso de soldadura en acción y la utilización de equipos.

Inspección de Productos: Realizar inspecciones visuales y ensayos no destructivos (END) en muestras de soldadura.

4. Criterios de Auditoría

Cumplimiento con las normas y estándares de soldadura (ej. AWS, ISO).

Documentación de calificaciones y certificaciones del personal.

Mantenimiento y calibración de equipos de soldadura.

Procedimientos de control de calidad establecidos y seguidos.

Registros de inspecciones y no conformidades.

5. Cronograma de Auditoría

Preparación: 1 semana (revisión de documentos y planificación).

Ejecutar la Auditoría: 1-2 semanas (incluyendo entrevistas, observaciones e inspecciones).

Análisis de Resultados: 1 semana (compilación y análisis de hallazgos).

Informe de Auditoría: 1 semana (redacción y entrega del informe final).

Reunión de Cierre: 1 día (presentación de hallazgos y recomendaciones).

6. Equipo Auditor

Un auditor líder con experiencia en soldadura y calidad.

Un auditor adicional con conocimientos técnicos en metalmecánica.

Participación de un representante del área de calidad.

7. Informe de Auditoría

Resumen ejecutivo con hallazgos clave.

Evaluación de conformidad con los estándares aplicables.

Identificación de no conformidades y oportunidades de mejora.

Recomendaciones para acciones correctivas y preventivas.

8. Seguimiento

Establecer un plan de acción para abordar las no conformidades.

Programar revisiones periódicas para evaluar la implementación de mejoras.

Realizar auditorías de seguimiento para garantizar la efectividad de las acciones tomadas.

El fin de la realización es llevar un control de las no conformidades presentadas durante el proceso de soldadura. Para el seguimiento es necesario que se involucren los responsables del área, así como los ayudantes y cualquier parte interesada en la mejora continua.

Ilustración 50

plan de acción para llevar a cabo la realización de una auditoría interna.

 PLAN DE ACCIÓN TALLER DE ESTRUCTURAS METÁLICAS				
Objetivos:	-Evaluar la conformidad con las normas de soldadura aplicables. -Identificar áreas de mejora en los Procesos de soldadura. -Asegurar la calidad y la consistencia en las soldaduras. -Verificar el cumplimiento de los requisitos.			
¿QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿CÓMO?	¿QUIÉN?	¿CUÁNDO?
Objetivos de la Auditoría	Asegurar la calidad y cumplimiento normativo	Definir claramente los objetivos de la auditoría	Auditor líder	Al inicio del proceso de auditoría
Alcance de la Auditoría	Determinar las áreas específicas a auditar	Listar procesos, equipos y documentación relevante	Auditor líder y equipo auditor	Al inicio del proceso de auditoría
Metodología	Garantizar una auditoría efectiva y completa	Revisar documentos, entrevistas, observación y pruebas	Equipo auditor	Durante la ejecución de la auditoría
Criterios de Auditoría	Evaluar la conformidad y calidad	Basarse en normas y estándares aplicables	Auditor líder y equipo auditor	Antes de la auditoría
Cronograma de Auditoría	Organizar el tiempo y recursos necesarios	Crear un calendario con fechas específicas	Auditor líder	Definido en la planificación
Equipo Auditor	Asegurar que la auditoría sea llevada a cabo por expertos	Seleccionar auditores con experiencia en soldadura	Gerente de calidad	Antes de la auditoría
Informe de Auditoría	Comunicar hallazgos y recomendaciones	Redactar un informe detallado de resultados	Auditor líder	Al finalizar la auditoría
Seguimiento	Asegurar que las acciones correctivas se implementen	Programar revisiones y auditorías de seguimiento	Equipo auditor y responsables de áreas	Después de la auditoría

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Una vez presentado el plan para controlar el proceso de soldadura destacan la importancia de la fase de control en el área de soldadura, mostrando cómo una gestión adecuada de los procesos puede resultar en mejoras significativas en la calidad, eficiencia y seguridad de las operaciones.

Capítulo 4 Resultados

Los resultados de la implementación de la metodología RDMAIC en la empresa se comienzan a ver a partir de la fase Analizar, ya que, en la fase previa de Medir, se obtuvieron resultados poco favorables para la empresa y para el proceso de soldadura. Para ello, se analizaron las causas raíces que desencadenaron los efectos principales, y se obtuvieron 10, como se muestra en la matriz de Vester de la **Ilustración 38**, como: un procedimiento de control de calidad inadecuado, falta de verificación de CC, sin capacitaciones internas, sin control de tiempos y actividades, la falta de cultura de mejora etc....

Posterior al análisis se presentó una reunión, que fue parte fundamental de un resultado previo cualitativo, donde el jefe de Taller y el encargado de control de calidad expresaron su agradecimiento por las causas raíces encontradas y la priorización de las mismas, dónde se solicitó al autor apoyo para trabajar de manera inmediata en la implementación de mejoras.

Se realizaron formatos de diseño para incorporar al área y comenzar a registrar los defectos presentados en el área de soldadura, como se representa en la **Ilustración 46**, este formato tuvo un resultado aceptable dentro de la primera semana, ya que se comenzaron a registrar 2 defectos presentados en ambos turnos, pero al tener esa semana poco trabajo, se dejó de llevar a cabo el registro por parte de los cabos y ayudantes de soldadura,

Sin el apoyo de la alta dirección para hacer guiar al personal se dejaron de tomar dichos registros, obteniendo un resultado negativo al comienzo de la implementación de este registro de defectos.

Posteriormente, se realizó un formato para los analistas de calidad con apoyo de la hoja de datos de Excel, con una aprobación positiva para la implementación. Dicho formato pudo ser exitosamente implementado para comenzar a llevar los registros facilitando el

estudio del analista de CC, ya que todas las medidas de las juntas de la pieza descritas en el plano ya se encontraban establecidas previo a su análisis, al realizar los reportes semanales se dieron cuenta que el apoyo era significativo la ilustración muestra la incorporación al manual de calidad de la empresa en la sección 6.6.11. mostrado en la **ilustración 51** donde establece el formato donde el inspector debe realizar el registro verificando las medidas adecuadas.

Ilustración 51

Apartado agregado en el manual de calidad de la empresa.

- 6.6.11 Después de la soldadura de las juntas, el inspector de soldadura debe verificar que las medidas sean las correctas mediante el formato FQTE-SOL-TE-04, previamente se deben ingresar las mediciones de acuerdo a lo establecido en el plano y la hoja en automático arrojará las medidas adecuadas de acuerdo a las especificaciones del Manual AWS D1.1/D1.1M:2020 para facilitar la identificación de las mediciones. En caso de requerir más soldadura se da a conocer al cabo de soldadura para la corrección inmediata.

Fuente: Manual de control de Calidad de la empresa.

Después de lograr una intervención en el área de soldadura para control del proceso, se tuvo una reunión para informar la incorporación de 3 formatos realizados por la autora de la tesis en el manual de Calidad de la empresa como se puede observar en la **Ilustración 52**, especifica el registro previo a la medición por parte del analista de calidad de acuerdo a la norma AWS d.1.y al plano del proyecto.

Posteriormente, la **Ilustración 53** muestra el formato para cuando se presente un defecto no establecido en el manual de defectos elaborado por la autora se observa el ingreso al anexo del manual de calidad, así como el registro del defectos presentados en ambos turnos especificado en la **Ilustración 54**, esto con el fin de llevar un control de los defectos que se presenten, ver la frecuencia y tomar medidas preventivas para asegurar el cumplimiento de la calidad.

Ilustración 52

Incorporación de formato de mediciones al Manual de Calidad

		GRUPO CONSTRUCTO S. A. DE C. V.		
Título:		PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA		
Revisión: "1"		Elaboró	Revisó/Aprobó	Autorizó
Fecha de emisión 18/06/13		R.N.R./A.C.M.	L.A.H.	J.A.R.C.
		Estado: PC		
		Página: 17 de 21		
		Actualización: Septiembre/2023		

7.8 Formato de mediciones para juntas de soldadura

 MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE JUNTAS DE SOLDADURA		FECHA		Código	
				FQTE-SOL-TE-04	
CÓDIGO EQUIPO: _____		NOMBRE DEL EQUIPO: _____			
CARACTERÍSTICA: _____		CALIBRACIÓN: _____			
TOLERANCIA: _____		TIPO DE EQUIPO: _____			
Observaciones: _____		ANALISTA: _____			

Valor en el plano	conversiones			No. Junta	mediciones de inspección		Valor de Referencia mínimo requerido sin límites		Tipo de junta de soldadura/Ty pe of joints of welding ¹	Cumple		Código del soldador
					piernas	garganta	piernas	garganta		si	no	
minimo mm(placa más delgada)	minimo "in"	mayor a 3/4 (1= si, /2=no)										
Elaboró				Revisó				Aprobó				

Fuente: Manual de control de Calidad de la empresa.

Ilustración 53

Incorporación de formato para registrar los defectos al M.C

7.9 Formato para el registro de defectos presentados en el área de soldadura

MTC Grupo Constructor, S.A. de C.V.		Formato de defectos		Código: FQTE-SOL-TE-02 Revisión:	
Número de la pieza		Cliente/proyecto		Código de defecto	
Nombre del defecto		Categoría de falla	☐ Menor ☐ Mayor ☐ Crítica		
Área		Origen			
Evidencias		Descripción del defecto			
		Causas			
Criterio de aceptación		Especificaciones			
☐ Aceptable ☐ No Aceptable					
Acciones Preventivas		Acciones Correctivas			
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	

Fuente: Manual de control de Calidad de la empresa.

Ilustración 54

Incorporación de Formato de datos cuantificables de defectos al M-C.

7.10 Formato de datos cuantificables de defectos en la inspección visual de soldadura

MTC Grupo Constructor, S.A. de C.V.		Hoja de datos cuantificables de defectos en inspección visual Soldadura		Código FQTE-SOL-TE-02 Rev. _____			
Proyecto:		Período:					
Frente:		Operario:					
No. de piezas inspeccionadas:		Notas:					
No. Total de piezas:		Turno:					
Defecto	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Total
Porosidad							
Grieta							
Penetración / fusión incompleta							
Socavación							
Mal aspecto cordón irregular							
Placa ondulada							
Falta de dimensión							
Otros							
Total							

Fuente: Manual de control de Calidad de la empresa.

Con la implementación de formatos para toma de medidas y análisis de inspección, se muestra en la **Tabla 11** una comparativa de los análisis de capacidad de proceso y nivel de *sigma* en las mediciones de piernas de soldadura, el cual establece los resultados de antes y después de la implementación de la metodología *Lean six sigma*. Se observa mejora en los resultados de los procesos de medición, el grafico de capacidad de proceso se observa el cambio en la variabilidad ya que se muestran puntos fuera de las especificaciones.

Después de adoptar la metodología en el proyecto, el nivel de *sigma* aumentó significativamente, pero con la continua aplicación de la metodología, se esperan resultados demostrativos a largo plazo, haciendo de esta un estándar de mejora.

La tabla 11 muestra la comparativa de resultados para las medidas de garganta de soldadura, comparando los niveles de capacidad de proceso obtenidos antes de la implementación de la metodología descrita en el presente proyecto de tesis, obteniendo resultados favorables con un aumento de nivel de *sigma* de un 80% contrastado con el inicial.

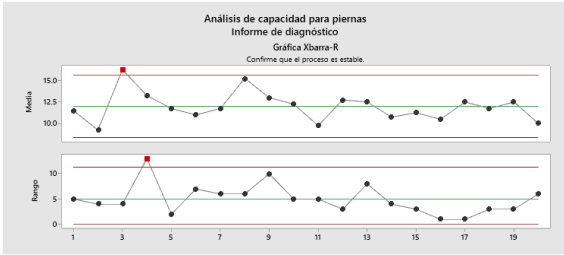
Después de las métricas obtenidas, se realizó una plática con el encargado de taller para la continuación del análisis, los resultados fueron favorables, y se encontraba muy interesado en las mediciones para detectar cambios variables en el proceso de soldadura.

El jefe de taller tiene conocimientos sobre la metodología *six sigma* y al ver los resultados cuantitativos obtenidos después de la implementación de mejora, quiere continuar con la aplicación y registro de las mediciones y con las ayudas visuales cualitativas y cuantitativas establecidas en el desarrollo del proyecto.

Después de los resultados mostrados al jefe de taller se llevó a cabo una reunión con las partes interesadas, a fin de exponer lo encontrado al cabo de soldadura y a las partes interesadas, proponiendo reuniones mensuales con la idea de trabajar sobre objetivos semanales de reducción de defectos.

Tabla 11

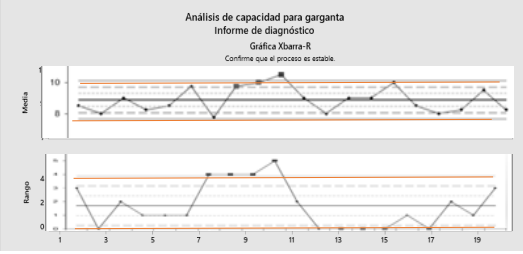
Comparativa de índice de capacidad antes y después de implementar la metodología six sigma para las medidas de piernas.

Nivel de sigma	Antes de la implementación	Después de la implementación Lean six sigma	Diferencia
Media	11.97	13.265	NA
Desviación estándar	2.77	2.23	↓ 0.54
Cp	0.31	0.43	↑ 0.12
Cpk	0.12	0.42	↑ 0.3
% fuera de especificaciones	43.60%	19.55%	↓ 24.05%
Defectos por millón de oportunidades(DPMO)	436,019	195,508	↑ 240511
capacidad de proceso, grafico x barra			
nivel de sigma corto plazo	0.41	1.162	↑ 0.752
nivel de sigma largo plazo	0.351	1.242	↑ 0.891

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos en hoja de Excel.

Tabla 10

Comparativa de índice de capacidad antes y después de implementar la metodología six sigma para las medidas de garganta.

Nivel de sigma	Antes de la implementación	Después de la implementación Lean six sigma	Diferencia
Media	8.875	8.91	NA
Desviación estándar	1.22	1.20	↓ 0.02
Cp	0.41	0.54	↑ 0.13
Cpk	0.24	0.52	↑ 0.28
% fuera de especificaciones	27.62%	10.43%	↓ 17.19%
Defectos por millón de oportunidades(DPMO)	276,202	104,301	↑ 171901
capacidad de proceso, grafico x barra			
nivel de sigma corto plazo	0.78	1.643	↑ 0.863
nivel de sigma largo plazo	0.698	1.512	↑ 0.814

Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos en hoja de Excel.

Se implementó un infograma mostrado en el **anexo 3** el cual se implementó en el área de soldadura para que los analistas verifiquen los criterios de cumplimiento de las especificaciones de acuerdo a las normas de soldadura AWS D1.1 2021.

Gracias a este diseño se pudo tener el área con una guía visual principalmente para los ayudantes de los cabos de soldadura, al ser personal de apoyo, y no contar con capacitaciones continuas, y aprender solo del cabo, ayudó a tener conocimiento y detectar visualmente los defectos que se pueden presentar durante la fusión del metal.

Los cambios fueron enfocados al personal directo y a los analistas de control de calidad, después, que cada persona se hacía cargo de inspeccionar su pieza, si detectaba algún elemento establecido como defecto por la norma, hacían parte al analista de mediciones, y en lo que restó del tiempo que continuaba en la empresa, pude observar que la siguiente etapa del proceso no regresaron ninguna pieza por parte de PIVO.

También, se realizó un manual de defectos, ver **Anexo 2**, el cual analiza los defectos más frecuentes presentados en durante la realización del proyecto y los que señala la norma AWS D.1.2020, el cual se rige la empresa. Gracias a este manual, los analistas hicieron del conocimiento al personal de soldadura por alguna duda de algún ayudante, verificando que realizaban la consulta, las acciones correctivas establecidas ayudaron a tener conocimiento en los posibles fallos que causaron tales defectos.

Al ser una empresa que trabaja por proyectos, que no se vuelven a repetir y al aplicar la metodología, la alta dirección identificó y analizó cada uno de los fallos por medio del diagrama de causas raíces elaborado, haciendo conciencia en lo que desencadena la falta de estándares para inspección, previo y después del proceso de soldadura, haciendo hincapié a un plan de capacitaciones y certificaciones para el personal, de soldadura.

Con todo ello, puede observarse el efecto de las mejoras propuestas a través de la ejecución de la metodología RDMAIC en los procesos de fabricación de estructuras en la empresa metalmecánica, especialmente en el área de soldadura, demostrando una optimización significativa en la calidad y eficiencia operante.

La implementación de este enfoque ha permitido reducir variaciones en cuanto a la forma de tomar mediciones de las juntas de soldadura, la manera de detectar y registrar defectos o fallos en el proceso con apoyos visuales de fácil identificación tanto para personal con experiencia en soldadura, como apoyos de nuevo ingreso, asegurando una nueva forma de capacitación y retroalimentación diaria, así como mayor competitividad en el mercado.

Los resultados logrados demuestran que RDMAIC no solo contribuye al cumplimiento de estándares de calidad, sino que también establece la orientación hacia una cultura de mejora continua, construyendo un impactando positivo tanto en el desempeño organizacional como en la satisfacción del cliente.

Esta metodología se ostenta como una herramienta valiosa y efectiva para el fortalecimiento de la industria metalmecánica, haciendo énfasis en el seguimiento que control de calidad debe seguir para continuar un crecimiento hacia un nivel de *sigma* más alto.

Como ingenieros industriales que buscamos mejorar cada día y lograr optimizar los procesos reduciendo costos y tiempo es importante adoptar RDMAIC en cualquier sistema, ya que se demuestra que con una correcta guía para la implementación se pueden lograr resultados medibles y controlables orientando no solo a un área en particular, si no, poco a poco a toda la organización.

Con un compromiso sostenido y una capacitación constante, se logra integrar esta metodología, haciendo que la calidad se convierta en un pilar fundamental en cada nivel de la empresa.

Conclusiones y recomendaciones

La implementación de la metodología RDMAIC (Reconocimiento, Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control), derivada de *Six Sigma* promueve una cultura de mejora continua. Lo que la empresa metalmecánica, como cualquier empresa busca, es mejorar la eficiencia operativa, mejorar la calidad del producto, reducir la mayor cantidad posible los defectos, ya que un defecto en soldadura es crucial para la imagen de la empresa, ya que cuentan con clientes de gobierno, e internacionales, que piden proyectos para almacenamiento de químicos o para agentes corrosivos, también en la realización de casetas que se encuentran expuestas a temperaturas variables y factores que pueden ser peligrosos.

Se concluye que en la Fase Reconocer, la utilización de herramientas de calidad, facilitó el entender el giro de la empresa y el enfoque hacia situaciones tanto internas como externas, estudiando e investigando los posibles impactos que podría generar un cambio en ellos, haciendo de su conocimiento a la alta dirección, ya que no conocían de todas las herramientas utilizadas.

En la fase Definir, se presenta la enunciación y el enfoque del proyecto, gracias al apoyo del diagrama SIPOC, se conoció el proceso a detalle de la empresa, y se organizó a un grupo de personas que ayudaron a la toma de datos y verificación de los mismos, obteniendo respuesta positiva para continuar con las siguientes etapas.

La etapa de medición resultó una etapa compleja, ya que cuando se comenzaron los análisis tenían muchos proyectos en puerta, lo que significó que no estaban trabajando sobre un elemento o una pieza. Las mediciones se realizaron en un proyecto de construcción de una estructura PONY (estructura de soporte), los datos obtenidos fueron resultado de las mediciones ya recolectadas con el método de trabajo del analista, adecuándolo a lo requerido para el siguiente paso.

El gráfico de control mostraba variabilidad en el sistema de medición, continuando con el estudio de capacidad, se concluyó que el proceso de soldadura no era capaz de cumplir con las especificaciones establecidas, sin embargo, el proceso mostraba potencial para cumplir con las especificaciones, para ello se determinaron herramientas y para la mejora mostrados en el siguiente paso de la metodología.

En la fase de Análisis con apoyo de las herramientas de mejora continua y análisis de causas raíces, se encontraron las causas afectantes a cada causa de primer nivel, llegando a la conclusión que lo afectante del proceso de soldadura se encontraba 10 causas, con apoyo de la matriz de Vester, se dio carácter primario a falta de interés y presión por la alta dirección con un 20% de atención, seguido con un 16% que CC no se involucra en la mejora y falta de cultura de mejora con un 15 % de prioridad, sirviendo como guía para la implementación de las mejoras.

Durante la fase de mejora, se efectuaron diversos recursos gráficos como formatos, infografías, diseños de manual de defectos, que facilitaron la comprensión de los operadores experimentados y no experimentados en soldadura, también sirvió de enfoque para la alta dirección, ya que se al participar en concursos, les exigían tener conocimiento de los procesos y que hacer en caso de presentarse algún fallo o bajo índice de cumplimiento de acuerdo a las especificaciones dadas por los clientes o la misma norma AWS D.1.

Para la última fase de la metodología se implementó un plan de acción para el área de soldadura, estableciendo la capacitación del personal, el monitoreo de variables críticas y el uso de herramientas estadísticas para mantener la estabilidad y calidad del proceso, concluyendo en esta etapa que las métricas para darle un seguimiento a lo implementado son necesario si la empresa quiere aumentar la calidad en las estructuras y la satisfacción total de los clientes y las partes interesadas

Al ser evidente el aumento del nivel de *sigma* de la empresa se concluye que se acepta la hipótesis nula:

H0: La implementación de la filosofía *Lean Six Sigma* reduce los defectos en los procesos de la empresa Grupo Constructo S.A de C.V.

La implementación de RDMAIC en la empresa metalmecánica aporta mejoras significativas en la eficiencia, calidad y control del proceso, promoviendo la satisfacción del cliente y las partes interesadas adoptando una cultura organizacional centrada en la mejora continua.

Con la reducción de variabilidad y el fortalecimiento del control de procesos, se obtienen productos de mayor calidad y con menos defectos por oportunidades o en el caso de la empresa, por proyectos, mientras que los costos operativos se reducen. En el largo plazo, RDMAIC se convierte en un pilar estratégico que mejora la competitividad de la empresa y fortalece su posición en el mercado.

Las recomendaciones para la alta dirección constan de:

- Promover capacitaciones al personal actualizando las certificaciones de los cabos que los empleados participen activamente en la identificación de problemas y propuestas de mejora, incrementando el compromiso y la responsabilidad hacia los resultados que se esperan obtener

- Se hizo una recomendación en equipo de medición actualizado, se propuso un *gage* de soldadura digital para hacer más preciso en el sistema de medición, y el monitoreo contante del analista bajo los lineamientos de la norma usando los formatos elaborados en

este proyecto, ya que facilita el análisis con datos para realizar comparativas y no solo toma de muestras

-Se recomienda establecer reuniones periódicas con el fin que cada encargado de área reporte los defectos o percances suscitados durante el proceso, para detectar las causas raíces y realizar de manera inmediata el plan de acción, obteniendo de ésta un acta de reunión para establecer fechas específicas para reportar un avance en los fallos registrados.

Ya que la empresa no realiza auditoría interna se propuso, llevar a cabo una evaluación cada 6 meses con el fin de tener la visión de mejora continua. Para el registro de defectos realizado se propuso llevar a cabo un registro de los defectos presentados por mes, a fin de analizar y detectar las causas que lo originar, y realizar mediciones para determinar la frecuencia de los fallos y así tomar medidas a tiempo.

Hacer visuales los defectos generados a ambos turnos, estableciendo metas que el personal de la empresa pueda alcanzar y superar.

Igualmente, la autora expresa sus más sinceros agradecimientos a la gerencia, por permitirle la realización del proyecto y brindarle las facilidades para implementar formatos y las herramientas con las que cuenta la metodología del proyecto. Lo obtenido en la presente tesis hace determinar que, si hay reconocimiento de fallos por parte de directivos, y también existe la necesidad en ellos de implementar la mejora continua, esperando que el proyecto sirva de guía para continuar con las mediciones, con el análisis y control de los procesos.

Finalmente, la autora desea expresar su satisfacción, durante el desarrollo del proyecto en la empresa, principalmente por permitirle desenvolverse en la implementación de una nueva metodología para la empresa, ofreciendo ésta facilidades y recursos disponibles para su desarrollo, y a los revisores por su tiempo, interés y el compartir sus conocimientos para el desenvolvimiento en el proyecto.

	FECHA	Código
--	-------	--------

MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE JUNTAS DE SOLDADURA

Anexo 2

El siguiente anexo es un manual de defectos, los más frecuentes que se fueron presentando durante el proyecto y los conocidos por la norma AWS D.1.



Formato de defectos



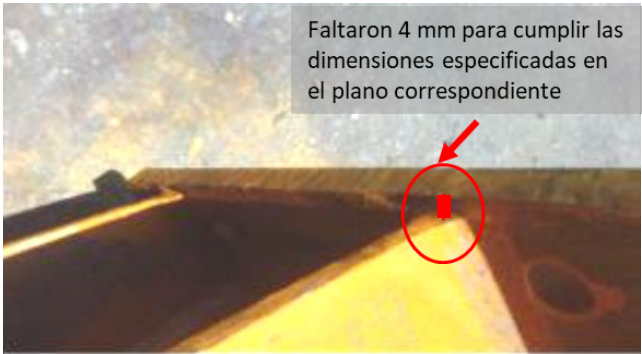
Instituto Tecnológico de Orizaba

Número de la pieza:		Cliente:		Código defecto:	CC-FD-001
Nombre del defecto:	Porosidad en el cordón	Categoría de falla:	☒ Menor ☐ Mayor ☐ Crítico		
Área:	Soldadura	Origen:	En los empates de las vigas.		
Evidencia: Presencia de 1.46 pulgadas de porosidad en el segundo cordón de soldadura, en el empate de una viga.		Descripción del defecto presencia de porosidad en el segundo paso del cordón de soldadura			
		Causas -Causas ambientales (corriente de viento) -El microalambre se encontraba en una parte en mal estado -Falta de limpieza en el cordón anterior -Distracción del soldador -No verificar antes de continuar con el segundo paso			
Criterio de aceptación: ☒ Aceptable ☐ No Aceptable		Especificaciones -la profundidad de la soldadura se encuentra a 0.503 pulgadas -la distancia se encuentra a 1.46 pulgadas -la longitud del defecto es 1.53 pulgadas			
Acciones Preventivas: -analizar las condiciones climatológicas para establecer medidas de precaución -verificación del mismo soldador en los pasos de soldadura -retroalimentación a los encargados de soldadura para evitar distracciones y mejorar la concentración a la hora de soldar.		Acciones Correctivas -Remover la soldadura con arcae (carbón) -volver a soldar la pieza.			
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Gabriela Cabrera Betanzos		Luis Arellano Hernández		Dr. Luis Carlos Flores Ávila	

Formato de defectos



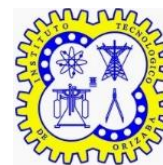
Instituto Tecnológico de Orizaba

Número de la pieza:		Cliente:		Código defecto:	CC-FD-002
Nombre del defecto:	Incumplimiento Dimensional	Categoría de falla:	☒ Menor ☐ Mayor ☐ Crítico		
Área:	Trazado	Origen:			
Evidencia:					
		Descripción del defecto Presencia de espacio vacío en la pieza para cumplir con lo especificado en el plano correspondiente.			
		Causas -Falta de comprobación de medidas con plano. -Falta de nivelación a las piezas para armado. -Descuido del trabajador			
Criterio de aceptación: ☒ Aceptable ☐ No Aceptable		Especificaciones: El espacio vacío máximo, puede ser hasta de +- 3mm			
Acciones Preventivas: "-verificar las dimensiones en el plano antes de cortar la pieza -comprobar que la nivelación de las piezas sea la adecuada		Acciones correctivas: '- verificar con el cabo de soldadura mediante el plano para crear un empate si es permitido.			
ELABORÓ Gabriela Cabrera Betanzos		REVISÓ Luis Arellano Hernández		APROBÓ Dr. Luis Carlos Flores Ávila	



Grupo Constructo, S.A. de C.V.

Formato de defectos



Instituto Tecnológico de Orizaba

Número de la pieza:		Cliente:		Código defecto:	CC-FD-003
Nombre del defecto:	Borde con gotas y escoria	Categoría de falla:	☒ Menor ☐ Mayor ☐ Crítico		
Área:	Corte	Origen:			
Evidencia:					
	Descripción del defecto Presencia de gotas del material cortado y/o escoria durante el proceso				
	Causas -Velocidad excesiva durante el corte del pantógrafo. - Distancia excesiva entre la boquilla y la pieza - Composición química del material y el acabado de la superficie.				
Criterio de aceptación:	Especificaciones: Las normas como AWS D1.1 especifican las tolerancias para el socavado, que suelen depender del grosor del material y del tipo de junta				
☒ Aceptable ☐ No Aceptable					
Acciones Preventivas:	Acciones correctivas: ´-Rectificación del Cordón: Si el socavado es leve, se puede eliminar mediante esmerilado o lijado, suavizando la transición entre la soldadura y el material base. ´-Re-soldadura: En casos de socavados profundos, se recomienda eliminar el cordón y volver a soldar aplicando un mayor control de parámetros. ´-Ajuste de Parámetros de Soldadura				
"-Evitar el exceso de calentamiento en la pieza ´-Reducir la velocidad de avance, ya que una velocidad excesiva puede causar socavado al no permitir que el metal de aporte llene completamente el borde. Ajustar la corriente y el voltaje para evitar que se concentre demasiado calor en los bordes.					
ELABORÓ	REVISÓ		APROBÓ		
Gabriela Cabrera Betanzos	Luis Arellano Hernández		Dr. Luis Carlos Flores Ávila		



Grupo Constructo, S.A. de C.V.

Formato de defectos



Instituto Tecnológico de Orizaba

Número de la pieza:		Cliente:		Código defecto:	CC-FD-004
Nombre del defecto:	Exceso de Desbaste	Categoría de falla:	☒ Menor ☐ Mayor ☐ Crítico		
Área:	Armado	Origen:			
Evidencia:		Descripción del defecto			
		Presencia de zonas con desbaste excesivo que disminuyen el espesor del material.			
		Causas -Mal pulso del operador -Falta de habilidad del operador en el uso de pulidor para limpieza mecánica			
Criterio de aceptación:		Especificaciones:			
☒ Aceptable ☐ No Aceptable		-Debe mantenerse la sección mínima del cordón especificada en el diseño para que la soldadura conserve su capacidad de carga. -Los estándares, como la norma AWS D1.1 para estructuras de acero, suelen especificar una tolerancia máxima para el desbaste que no comprometa la integridad de la soldadura, generalmente entre 0.5 mm y 1 mm de profundidad en zonas críticas.			
Acciones Preventivas:		Acciones correctivas:			
-Usar Herramientas Adecuadas: Seleccionar discos y esmeriles que sean apropiados para el tipo de soldadura y el material, evitando herramientas demasiado agresivas. -Limitar la Presión Aplicada: No aplicar demasiada presión al esmerilar; una presión excesiva puede hacer que el desbaste se vuelva demasiado profundo.		-Relleno con soldadura y resanar con disco laminado.			
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Gabriela Cabrera Betanzos		Luis Arellano Hernández		Dr. Luis Carlos Flores Ávila	

 Grupo Constructo, S.A. de C.V.		Formato de defectos		 Instituto Tecnológico de Orizaba	
Número de la pieza:		Cliente:		Código defecto:	CC-FD-005
Nombre del defecto:	Irregularidad de cordón	Categoría de falla:	☒ Menor ☐ Mayor ☐ Crítico		
Área:	Soldadura	Origen:			
Evidencia:					
		Descripción del defecto se presenta cuando el cordón no tiene una apariencia uniforme en cuanto a tamaño, forma o perfil, lo que puede afectar la resistencia de la soldadura y comprometer la estética y la funcionalidad de la unión Causas -Control Inadecuado de los Parámetros de Soldadura: variaciones en la corriente, voltaje o velocidad de avance pueden causar inconsistencias en la fusión y el tamaño del cordón. -Falta de Habilidad o Experiencia del Soldador: -Movimiento Errático de la Pistola o Electrodo: - Inadecuada Preparación de la Superficie: -Superficies sucias, oxidadas o mal preparadas pueden impedir una fusión homogénea. -Variaciones en el Material Base o de Aporte: Diferencias en el grosor del material, o en el tipo de electrodo o alambre, pueden causar una distribución dispereja del material fundido. -Exceso de Vibración o Factores Ambientales			
Criterio de aceptación: ☒ Aceptable ☐ No Aceptable		Especificaciones: -Uniformidad en el Ancho y Altura: Las normas de soldadura, como AWS D1.1 o ASME, especifican límites para las variaciones en la altura y ancho del cordón según el tipo de junta. -Perfil Consistente: El cordón debe tener un perfil uniforme a lo largo de la junta. La convexidad y concavidad permitidas dependen del grosor del material y el diseño de la unión. -Continuidad del Cordón: No debe haber interrupciones, ondulaciones excesivas, o discontinuidades en el cordón.			
Acciones Preventivas: -Entrenamiento y Capacitación del Soldador -Control de Parámetros de Soldadura. -Preparación Adecuada de la Superficie. -Uso de Equipos Adecuados y en Buen Estado. -Aplicación de Técnicas de Movimiento Consistentes: Instruir a los soldadores en el uso de patrones de movimiento consistentes para asegurar una aplicación pareja del cordón. -Supervisión y Monitoreo Continuo		Acciones correctivas: -Rectificación del Cordón: -Re-soldadura: -Ajuste de Parámetros de Soldadura: -Reparación de Superficie: -Limpiar y preparar adecuadamente la superficie antes de volver a soldar para eliminar óxido, aceite, o cualquier contaminante que afecte la fusión.			
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Gabriela Cabrera Betanzos		Luis Arellano Hernández		Dr. Luis Carlos Flores Ávila	

Anexo 3

la presente infografía se implementó como resultado de mejora, el cual fue aceptado por la alta dirección, y aprobado para colocarse en lugares estratégicos del área de soldadura, planeando realizar para las demás áreas. Se dividió para una mejor apreciación ya que el formato se encuentra fuera de los márgenes de tamaño carta, la ilustración 53 muestra la segunda parte, y contiene las referencias consultadas.

Ilustración 56

Infografía de defectos de soldadura parte 1

Criterios para aceptación por inspección visual en Soldadura

POROSIDAD

CRITERIO DE ACEPTACIÓN
 POROSIDADES DE 1MM DE DIÁMETRO NO DEBEN EXCEDER:

- 10 MM EN 1PULG LINEAL
- 20 MM EN UNA LONGITUD DE 12 PULG

PREVENCIÓN

1. MANTENER EL ARCO MÁS LARGO.
2. DAR SUFICIENTE TIEMPO A LA FUSIÓN.
3. AMPERAJE ADECUADO.
4. LIMPIAR BIEN LA SUPERFICIE.
5. SECAR EL ELECTRODO.
6. ADECUADA VELOCIDAD DE AVANCE.



GRIETA

CRITERIO DE ACEPTACIÓN
 CUALQUIER GRIETA SERÁ INACEPTABLE; SIN CONSIDERAR EL TAMAÑO O LOCALIZACIÓN.

PREVENCIÓN

1. EMPLEAR ELECTRODO DE BAJO HIDRÓGENO.
2. PRECALENTAR A TEMPERATURA DE 149-260°C, SI ES ACERO A MEDIO CARBONO.
3. HACER TRATAMIENTO TÉRMICO DESPUÉS DE LA SOLDADURA.
4. HACER SOLDADURAS DE CAPA MÚLTIPLE.



PENETRACIÓN Y FUSIÓN INCOMPLETA

CRITERIO DE ACEPTACIÓN

DEBERÁ EXISTIR FUSIÓN COMPLETA ENTRE LAS CAPAS ADYACENTES DEL METAL DE SOLDADURA, Y ENTRE EL METAL DE LA SOLDADURA Y EL METAL BASE.

PREVENCIÓN

1. USAR LA CORRIENTE ADECUADA.
2. SOLDAR CON LENTITUD NECESARIA PARA LOGRAR BUENA PENETRACIÓN DE RAÍZ.
3. VELOCIDAD ADECUADA.
4. CALCULAR CORRECTAMENTE LA PENETRACIÓN DEL ELECTRODO.
5. ELEGIR UN ELECTRODO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE BISEL.
6. DEJAR SUFICIENTE SEPARACIÓN EN EL FONDO DEL BISEL



SOCAVACIÓN

CRITERIO DE ACEPTACIÓN

MATERIALES CON ESPESOR < A 1 PULG.

- NO DEBE EXCEDER 1MM

MATERIALES CON ESPESOR >1 PULG

- NO DEBE EXCEDER 2MM EN CUALQUIER LONGITUD

PREVENCIÓN

1. USAR VAIVÉN UNIFORME EN LAS SOLDADURAS DE TOPE.
2. USAR ELECTRODO ADECUADO.
3. EVITAR UN VAIVÉN EXAGERADO.
4. USAR CORRIENTE MODERADA Y SOLDAR LENTAMENTE.
5. SOSTENER EL ELECTRODO A UNA DISTANCIA PRUDENTE DEL PLANO VERTICAL AL SOLDAR FILETES HORIZONTALES.



MAL ASPECTO: CORDÓN IRREGULAR

CRITERIO DE ACEPTACIÓN

POR CUESTIONES DE ESTÉTICA Y PARA LA EMPRESA SE CONSIDERA NO ACEPTABLE

PREVENCIÓN

1. USAR LA LONGITUD DE ARCO, EL ÁNGULO (POSICIÓN) DEL ELECTRODO Y LA VELOCIDAD DE AVANCE ADECUADOS.
2. EVITAR EL RECALENTAMIENTO.
3. USAR UN VAIVÉN UNIFORME.
4. EVITAR USAR CORRIENTE DEMASIADO ELEVADA.



FUENTES DE INFORMACIÓN:

INDURA S.A INDUSTRIA Y COMERCIO. (2018). MANUAL DE SOLDADURA INDURA. INDURA TECNOLOGIA A SU SERVICIO, 88.
[HTTP://WWW.INDURA.COM.PE/WEB/PE/MENU/1872/METALMECANICA](http://www.indura.com.pe/web/pe/menu/1872/METALMECANICA)
 WEST ARCO. (2015). MANUAL DE SOLDADURA. ESAB, 2, 207.
 LOS, U. M. D. E. C. D. E. (N.D.). NORMA AWS D1.1.



Fuente: Elaboración propia, a partir de cálculos en hoja de Excel.

Referencias

- Alexander, Melvin. (2001). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations: Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. Technometrics. 43. 370-370. 10.1198/tech.2001.s622.
- Apaza, C., Miriam, N., & Apaza, C. (2022). *empresa metalmecánica utilizando Lean Six Sigma*.
- Arango, Daniel; Alvarez, J. (2020). Implementación de la metodología Lean Six Sigma en la línea de producción de ductos de lámina galvanizada para aire acondicionado en la empresa Secar S.A de la ciudad de Cali. *Molecules*, 2(1), 1–12.
<http://clik.dva.gov.au/rehabilitation-library/1-introduction-rehabilitation%0Ahttp://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/as.2017.81005%0Ahttp://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/as.2012.34066%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.201>
- CANACERO. (n.d.). *El Acero en México*. Retrieved November 25, 2022, from <https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico.php>
- Garg, A., Raina, K., & Sharma, R. (2020). Reducing soldering defects in mobile phone manufacturing company: A DMAIC approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 748(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/748/1/012027>
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 70 Tools for Improving Quality and Speed*. McGraw-Hill Education.

- Fisher, N.I., & Nair, V.N. (2009). *Quality management and quality practice: Perspectives on their history and their future. Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 25, 1-28.
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015). *Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. Procedia Manufacturing*, 4(Iess), 528–534. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.072>
- INEGI. (n.d.). *Industria Metalmecánica en México – American Industrial Magazine*. Retrieved November 25, 2022, from <https://www.americanindustrialmagazine.com/blogs/metalmecanica/industria-metalmecanica-en-mexico>
- Liker, Jeffrey. (2004). *The 14 principles of the Toyota way: An executive summary of the culture behind TPS. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacture*. 35-41.
- Marzagão, D.S., & Carvalho, M.M. (2016). *Critical success factors for Six Sigma projects. International Journal of Project Management*, 34, 1505-1518.
- Mohd Rohani, Jafri & Zahraee, Seyed. (2015). *Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry. Procedia Manufacturing*. 2. 6-10. [10.1016/j.promfg.2015.07.002](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.002).
- Muir, A. (2016). *Lean six sigma statics. In Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* (Vol. 6, Issue August).
- Nogueira Rivera, D., Medina León, A.; Medina Nogueira, Y. E, Assafiri Ojeda, Y. (2024). *Matriz DAFO y análisis CAME, herramientas de control de gestión: caso de aplicación. Universidad y Sociedad*, 16(2), 34-45.
- Pokhrel, S. (2024). *Matriz DAFO y CAME. Αγαη*, 15(1), 37–48.

- Procesos, D. E. (2016). Control Estadístico del Proceso. *Revista Ciencia Cierta # 47 de La Universidad Autónoma de Coahuila*.
<http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/control-estadistico-del-proceso/>
- Profesionales, I. D. E. A., Luis, M. I. P., & Medina, M. (2018). *Implementación de herramientas Lean Manufacturing en una empresa metalmecánica (Nivel Yellow Belt)*.
- “Pyzdek, T., & Keller, P. (2014). *_The Six Sigma Handbook_ (4th ed.)*. McGraw-Hill Education”
- Secretaría de economía. (n.d.). *SLAVI 5.0*. <http://www.economia-snci.gob.mx/>
- SECTOR INDUSTRIAL METAL-MECÁNICO - CANACINTRA*. (n.d.). Retrieved November 22, 2022, from <https://canacintra.org.mx/camara/sectores/sector-industrial-metal-mecanico/>
- Srinivasan, K., Muthu, S., Devadasan, S.R., & Sugumaran, C. *Selection and Peer-review under Responsibility of the Organizing Committee of Gcmm 2014 Enhancing Effectiveness of Shell and Tube Heat Exchanger through Six Sigma Dmaic Phases Selection and Peer-review under Responsibility of the Organizing Committee of Gcmm 2014*.
- Tecno, T. (n.d.). *Industria Metalmecánica en México. Crecimiento y expectativas*. Retrieved November 25, 2022, from <https://tecnotanques.com/industria-metalmecanica-en-mexico/>
- Tenera, A. M. B. R., & Pinto, L. C. (2014). *A Lean Six Sigma (LSS) Project Management Improvement Model*. *Procedia: social & behavioral sciences*, 119, 912-920. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.102>
- Vidal H, Carlos Julio; Bravo B, Juan José; Cajiao G, Ernesto; Meza H, Pedro Pablo; Arango

- S., Sebastián; Franco L., Diego; Calderón S, J. H. (2016). guía metodológica para la priorización de proyectos: un enfoque aplicado a la infraestructura, logística y conectividad. In *Correspondencias & Análisis* (Issue 15018).
- Welch, J., & Welch, S. (n.d.). *Resumen de " Winning " por.*
- Witantyo, & Setyawan, D. (2018). *Enhancement of Efficiency and Reduction of Grid Thickness Variation on Casting Process with Lean Six Sigma Method. Journal of Physics: Conference Series*, 974(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/974/1/012051>