

# **UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



---

---

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIGAS EN LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METÁLICAS UNIÓN (CMUSA)”**

---

---

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE PROCESOS Y GESTIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**TESISTA:**

Bach. GOMERO BOZA ELVIS

**ASESOR:**

DR. VILLAVICENCIO CABRERA MARCO ANTONIO

**HUÁNUCO PERU**  
**2022**

### **Dedicatoria**

A la mujer que me dio la vida, mi madre, quien siempre está a mi lado, a mi padre por la perseverancia que me inculcó y que ahora está en el cielo. Por último, para Luisa y Eva quienes forman parte de mi vida.

### **Agradecimiento**

A Dios por regalarme años de bienestar y salud en compañía de mis seres queridos, a mi madre quien estaba desde el principio conmigo, de igual manera a mis hermanos y en especial a mi tío Filolo Boza con quien siempre estaré agradecido.

A la facultad de ingeniería de Industrial y Sistemas a los administrativos y a toda la plana de docentes y en especial a mi asesor Marco A. Villavicencio Cabrera que formaron parte de mi desarrollo profesional.

## Resumen

En el presente trabajo de investigación se desarrollan las acciones en la “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIGAS EN LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METÁLICAS UNIÓN (CMUSA)”. El objetivo principal fue determinar que la aplicación de la metodología DMAIC permitirá mejorar la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA). Se aplicó el tipo cuasi-experimental, diseño longitudinal y de alcance descriptivo-correlacional, en la cual, se consideró la producción total de vigas para racks pesados elaboradas en la empresa Construcciones Metálicas Unión durante el periodo 2019-2021, los instrumentos buscan determinar la cantidad de unidades defectuosas, así como el detalle del efecto por medio de Gráficos de Pareto, Diagramas de Ishikawa, Gráficos de control y Gráficos de Pareto. Los resultados evidencian un número total de 11075 unidades defectuosas. Se concluye que al aplicar la metodología DMAIC se incrementa la productividad significativa en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

**Palabras clave:** *vigas, fabricación, productividad, metodología DMAIC*

### **Abstract**

In this research work develops the actions in the "APPLICATION OF THE DMAIC METHODOLOGY FOR THE IMPROVEMENT OF PRODUCTIVITY IN THE PROCESS OF MANUFACTURING BEAMS IN THE COMPANY CONSTRUCCIONES METÁLICAS UNIÓN (CMUSA)". The main objective was to determine that the application of the DMAIC methodology will improve productivity in the beam manufacturing process at the Construcciones Metálicas Unión Company (CMUSA). The quasi-experimental type, longitudinal design and descriptive-correlational scope was applied, in which the total production of beams for heavy racking made in the company Construcciones Metálicas Unión during the period 2019-2021 was considered, the instruments seek to determine the amount of defective units, as well as the detail of the effect through Pareto Charts, Ishikawa Diagrams, Control Charts and Pareto Charts. The results show a total number of 11075 defective units. It is concluded that by applying the DMAIC methodology, significant productivity is increased in the beam manufacturing process at the Construcciones Metálicas Unión Company (CMUSA).

**Keywords:** beams, manufacturing, productivity, DMAIC methodology

## Índice de contenido

<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>2</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>3</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Aspectos básicos del problema de investigación .....</b>	<b>12</b>
1.1. Fundamentación o situación del problema de investigación .....	12
1.2. Formulación del problema de investigación general.....	14
1.2.1. Problemas Específicos .....	14
1.3. Formulación del objetivo general y específicos.....	14
1.3.1. Objetivo General .....	14
1.3.2. Objetivos Específicos .....	14
1.4. Justificación.....	15
1.4.1. Justificación Teórica .....	15
1.4.2. Justificación Práctica .....	15
1.4.3. Justificación Metodológica.....	15
1.5. Limitaciones .....	16
<b>2. Aspectos operacionales.....</b>	<b>17</b>
2.1. Formulación de hipótesis general.....	17
2.1.1. Hipótesis .....	17
2.1.2. Variable Dependiente .....	17
2.1.3. Variable Independiente.....	17
2.2. Definición teórica y operacionalización de variables.....	18

<b>3. Marco teórico</b> .....	<b>19</b>
3.1. Antecedentes de la investigación .....	19
3.1.1. Antecedentes Nacionales .....	19
3.1.2. Antecedentes Internacionales .....	20
3.2. Bases teóricas.....	22
3.2.1. Variable independiente: La Metodología DMAIC.....	22
3.2.1.1. Definición. En principio, .....	22
3.2.1.2. Desarrollo del ciclo DMAIC del Six Sigma .....	23
3.2.1.3. Capacidad del proceso y el índice de capacidad del proceso.	
3.2.1.4. Control estadístico de procesos.	
3.2.1.5. Medidas de desempeño de la calidad.....	27
3.2.1.6. La variabilidad del proceso. T.....	27
3.2.2. Variable dependiente: Productividad.....	28
3.2.2.1. Tipos de productividad.....	28
3.3. Bases conceptuales o definición de términos básicos .....	29
<b>4. Metodología</b> .....	<b>30</b>
4.1. Ámbito .....	30
4.2. Población y selección de la muestra .....	30
4.2.1. Población .....	30
4.2.2. Muestra .....	31
4.3. Nivel, tipo y diseño del estudio .....	31
4.4. Métodos, técnicas e instrumentos .....	32
4.5. Plan de tabulación y análisis de datos estadísticos .....	32
4.6. Consideraciones éticas .....	33
<b>5. Resultados</b> .....	<b>34</b>
5.1. La empresa.....	34

5.2.	Estructura de la metodología DMAIC .....	34
5.3.	Situación actual .....	35
5.4.	Necesidades de mejora continua .....	38
5.4.1.	Identificación de áreas de mejora.....	38
5.4.2.	Descripción del Proceso Productivo.....	38
5.4.3.	Diagrama de Pareto.....	43
5.4.4.	Análisis de Modo y Efecto de Fallo (AMEF).....	50
5.5.	Diseño de plan de implementación.....	51
5.5.1.	Mejoras en el área de la pintura:.....	51
5.5.2.	Mejoras en el área de punzonado.....	52
5.5.3.	Capacitación al personal .....	53
5.5.4.	Implementación de herramientas de control de procesos .....	54
5.6.	Resultados obtenidos.....	54
<b>6.</b>	<b>Discusión de resultados.....</b>	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>62</b>
<b>8.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>64</b>
	<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
	Anexo 1: Documento de inspeccion de pintura .....	68
	Anexo 2: Documento de inspección de Soldadura .....	69
	Anexo 3: Documento de informe de Desviación .....	70
	Anexo 4: Documento de inspección del montaje de Viga.....	71
	Anexo 5: Documento de inspección del montaje de Viga.....	72
	Anexo 6: Informe de capacitación .....	73
	Anexo 7: Consentimiento Informado .....	74
	Anexo 8: Instrumento de recolección de datos .....	75

Anexo 9. Matriz de consistencia .....	76
Anexo 10. Operacionalización de variables .....	77

**Índice de tablas**

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de las variables.....	18
Tabla 2 Estructura de aplicación de la metodología DAMIC .....	34
Tabla 3 Relación de unidades defectuosas .....	35
Tabla 4 Relación de unidades defectuosas (continuación) .....	36
Tabla 5 Defectos en el proceso de fabricación de vigas .....	45
Tabla 6 Pareto defectos por proceso .....	46
Tabla 7 Cuadro de relación número de defectos-causa.....	48
Tabla 8 Resumen de índice de causas .....	50
Tabla 9 Resumen defectos por proceso y factor crítico .....	50
Tabla 10 Resumen Análisis Modo y Efecto de Falla .....	51
Tabla 11 Relación unidades .....	55
Tabla 12 Resultados de Indicadores.....	57

## Índice de figuras

Figura 1 El ciclo de mejora continua DMAIC .....	22
Figura 2 Ubicación de Construcciones Metálicas Unión .....	30
Figura 3 Esquema de la investigación .....	31
Figura 4 Gráfico p (Definir,Dmaic).....	37
Figura 5 Comparación límites situación actual y deseada .....	37
Figura 6 Diagrama de Flujo de Procesos.....	39
Figura 7 Índice de capacidad de Proceso .....	42
Figura 8 Índice de capacidad de Proceso .....	43
Figura 9 Defectos en el proceso de fabricación de vigas .....	44
Figura 10 Pareto defectos por proceso .....	46
Figura 11 Diagrama de Causa y Efecto .....	47
Figura 12 Gráfico individual por defectos.....	56

## **1. Aspectos básicos del problema de investigación**

### **1.1. Fundamentación o situación del problema de investigación**

La industria metalmecánica es un sector relevante en el mundo, suministra maquinarias, equipos, tableros eléctricos, estructuras e instalaciones a clientes relacionados a rubros de minería, construcción, industrias en general, pesca, alimentos, entre otros. Además, las más importantes exportaciones van dirigidas a China, Alemania, Japón, Corea del Sur y Estado Unidos, por otro lado, existe una alta competitividad en esta industria a nivel mundial lo que estimula a transformaciones en la productividad (Criollo y Espinoza, 2021).

Hoy por hoy, con la innovación y aumento de la competitividad en el mercado trae consigo una mejora en los procesos en las empresas tradicionales para así adaptarse a los requerimientos cambiantes de los clientes. Es por ello, la implementación de nuevos métodos, estrategias o herramientas pueden maximizar las utilidades en las empresa metalmecánicas en el mundo sin dejar de cumplir con las metas trazadas, pero siendo eficiente y eficaces en el proceso con menos desperdicios generados (Criollo y Espinoza, 2021).

La industria en el rubro metalmecánico en el Perú tiene un aporte y una relevancia para la economía del país, alcanzando un 12% de VAB y aportando el 1.6% al PBI. Además, tiene una presencia en el mercado alcanzando la tercera posición más relevante dentro del rubro manufacturero. Sin embargo, el fenómeno de la globalización presiona hacia la transformación de los procesos y exige mayores estándares de calidad poniendo en riesgo a las empresas MYPES de este sector con bajos rendimientos en relación a sus competidores (Ministerio de la Producción [MP], 2020).

En el caso de la empresa Construcciones Metálicas Unión tiene más de 50 años dedicados a la producción y comercialización de productos metálicos enfocados al área de almacenamiento: estantería liviana y pesada, guardarropa, góndolas, cajas fuertes, entre otros. Estos productos son usados en empresas de todos los rubros: alimentos y bebidas, pesqueras,

textil, minería, logística, mineras, tanto nacionales como extranjeros (Argentina, Bolivia y Ecuador).

No obstante, dentro de sus líneas de producto está la de estantería metálica de uso pesado (racks), se fabrican tres componentes principales: postes, vigas y tirantes. De ellos, las vigas poseen más procesos de fabricación, por lo que presentan mayor porcentaje de piezas defectuosas (11075), además de representar la mayor proporción de la chatarra generada (39%). Las vigas presentan un promedio de 68.33% en pedidos no atendidos a tiempo en el periodo 2019 - 2020, debido a mala gestión de los inventarios o en ocasiones por retrasos en los tiempos de entrega; destacándose los pedidos con piezas no conformes (en cantidad, calidad u oportunidad) generándose insatisfacción en los clientes, por lo cual, la Gerencia General de la empresa se ha propuesto un plan de mejoras enfocado en incrementar la eficiencia productiva de la planta para así reducir tiempos, costos y por ende, un impacto positivo en la satisfacción del cliente.

Cabe destacar, estas dificultades en la productividad mencionadas anteriormente responden a una serie de causas detectadas y enumeradas a continuación: ausencia de estándares en los procesos, falta de un adecuado control de calidad, desorganización en los puestos y área de trabajo, incremento de los desperdicios en la producción, insuficientes herramientas de trabajo, ausencia de un planeamiento correcto en la compra de materia prima, ausencia de una proyección de ventas y estimación de la capacidad de producción.

Por lo cual, la empresa debe verse en la necesidad de buscar metodologías para revertir esta tendencia negativa que trae consigo fallas en la productividad a su vez, en el rendimiento económico de la empresa. Además, se minimiza el porcentaje de productos fuera de especificación, por superar los parámetros establecidos por las áreas de producción y Calidad. No obstante, al ser menos riesgoso el proceso se hace más confiable y no permite que los productos fuera de especificación sean recibidos por el cliente.

La metodología DMAIC es una herramienta de mejora de procesos y productos aplicada en los proyectos de Six Sigma, usando componentes estadísticos y cualitativos con el objetivo de eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor a 3 o 4 defectos por millón, por ser un factor positivo para el éxito y permanencia de las empresas. El nombre de esta metodología proviene de las iniciales en inglés de las fases que la componen: Definir, Medir, Analizar, Implementar, Controlar; estas fases están alineadas con el ciclo de Deming, por lo que es perfectamente compatible con los sistemas de gestión de la calidad.

## **1.2. Formulación del problema de investigación general**

¿La aplicación de la metodología DMAIC permitirá mejorar la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?

### **1.2.1. Problemas Específicos**

- a. ¿Cuál es el diagnóstico de la productividad en la fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?
- b. ¿Cuál será la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?
- c. ¿Cómo influye la metodología DMAIC en la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?

## **1.3. Formulación del objetivo general y específicos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar que la aplicación de la metodología DMAIC permitirá mejorar la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- a. Determinar la productividad antes de aplicar la metodología DMAIC en el proceso fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).
- b. Aplicar la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

c. Determinar la productividad después de aplicar la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

d. Evaluar si existe diferencia significativa entre la productividad antes y después de la aplicación de la metodología DMAIC.

#### **1.4. Justificación**

##### **1.4.1. Justificación Teórica**

Esta investigación permitirá revisar todos esos enunciados, postulados teóricos referidos a la metodología DMAIC de la filosofía Six Sigma y al término productividad a los fines de verificar, rechazar o dar nuevos aportes con respecto a las empresas metalmecánicas. Por otro lado, se verá de manera teórica el término productividad a través de dos enfoques eficacia o eficiencia en los procesos permitiendo contrastar el bagaje de postulados en referencia a la temática y comprobando la fiabilidad de su cuerpo teórico.

##### **1.4.2. Justificación Práctica**

Este estudio permite la aplicación práctica de estrategias y herramientas innovadoras y de vanguardia para dar soluciones a los problemas presentados, permitiendo así el incremento positivo de los niveles de productividad del proceso a través de la aplicación de la metodología DMAIC. Al tener una mejor eficacia y eficiencia (en relación de mermas) serán menores los desperdicios o defectos lo que permite una reducción de costo y aumento de la calidad del producto.

Además, con el resultado de esta investigación se comprobará si la aplicación de la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de las vigas genera una mejora en la productividad, lo que serviría de base para poder aplicarla en la fabricación de productos semejantes.

##### **1.4.3. Justificación Metodológica**

Esta investigación permitirá con aplicación de La metodología DMAIC desarrollar un indicio de su ejecución en empresas en el rubro metalmecánico y a su vez, convertirse en una

referencia o patrón para así reducir las pérdidas y reprocesos. Por otro lado, este método se respalda o fundamenta en compañías destacadas como Motorola y General Electric por ser incitadoras en comprobar esta metodología, validando así su aplicabilidad a la comunidad científica u organización en búsqueda de la mejora continua de sus procesos.

### **1.5. Limitaciones**

Debido a que tenemos acceso a la información y se cuenta con los recursos necesarios para la investigación, por el momento no advertimos limitaciones para el desarrollo del presente trabajo.

## 2. Aspectos operacionales

### 2.1. Formulación de hipótesis general

#### 2.1.1. Hipótesis

**H0:** La aplicación de la metodología DMAIC no mejorará la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

**H1:** La aplicación de la metodología DMAIC mejorará la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

#### 2.1.2. Variable Dependiente

La mejora de la productividad en el proceso de fabricación de vigas, es la finalidad perseguida en esta investigación, cuyas dimensiones están orientadas a estimar la eficiencia en el uso de la materia prima respecto a mermas y la eficacia de los productos obtenidos de los parámetros establecidos.

#### 2.1.3. Variable Independiente

Es la metodología DMAIC, siendo parte de la filosofía Six Sigma y se integra por 5 fases; definir, medir, analizar, implementar y controlar. Estas fases sirven de pautas metodológicas para resolver problemas y así favorecer de manera positiva sobre la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión.

## 2.2. Definición teórica y operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Matriz de Operacionalización de las variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Fórmulas	Escala
<b>VI:</b> La metodología DMAIC	DMAIC es una metodología de 5 fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. (Gutierrez,2014)	Con el uso de la metodología DMAIC se va definir la magnitud real del problema, seguidamente se medirá los puntos críticos presentes en el proceso, para da paso a un análisis detallado de las causas principales de la situación problemática, luego se ejecutan las mejoras para solventar los inconvenientes encontrados. Por último, se pone en cuso un programa de control para sostener n el tiempo lo realizado.	Definición	Índice de defectos	$\frac{\text{producción no conforme}}{\text{Producción Total}} \times 100$	Razón
			Medición	Índice de capacidad del proceso (Cp)	$\frac{LESi - LEIi}{6s}$	Razón
			Análisis	Índice de causas	$\frac{\text{causa raiz}}{\text{total defectos}} \times 100$	Razón
			Mejoramiento	Índice de productividad	$\text{Eficiencia} * \text{eficacia}$	Razón
			Control	Reportes	–	Razón
<b>VD:</b> La productividad	Es la relación entre los productos obtenidos y los insumos usados o los factores de la producción intervinientes.(García,2018)	La productividad intenta manejar y registrar las pérdidas de materia prima y de la producción diaria efectiva.	Eficiencia	Eficiencia física del proceso	$\frac{\text{Materia Prima Utilizada}}{\text{Materia Prima Programada}} \times 100$	Razón
			Eficacia	Índice de conformidad	$\frac{\text{Producción Conforme}}{\text{Producción Planificada}} \times 100$	Razón

*Nota.* Elaboración propia

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

##### 3.1.1. Antecedentes Nacionales

Espinoza y Criollo (2021) en su investigación titulada "Modelo de Producción para la Reducción de Tiempos de Entrega de Pedido en una empresa metalmeccánica de Lima Metropolitana basado en Six Sigma". El objetivo principal era diseñar un modelo de producción para solucionar la problemática de retraso en la entrega de pedidos en una empresa metalmeccánica de Lima Metropolitana basado en la metodología Six Sigma. La metodología fue DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), con un enfoque a la mejora de procesos utilizada por Six Sigma. En relación a los resultados se evidenció una mejoría en el tiempo de entrega de pedidos a 96% y a su vez en la calidad del proceso de producción y trayendo consigo beneficios económicos. En definitiva, el proyecto es factible al generar un ahorro en costos de producción de 28.10% y además el tiempo total de ciclo se disminuye en un 20%.

Barboza y Irigoien (2018) en su investigación titulada "Propuesta de un sistema integrado de gestión logística y producción mediante la aplicación de la herramienta DMAIC y la gestión de almacenes y compras para el incremento de la rentabilidad de la empresa Steelworks Ingenieros S.A.C." El objetivo principal es mostrar como la deficiente Gestión Logística y de Producción impactan negativamente en la rentabilidad de la empresa. Para alcanzar el objetivo se usó la herramienta DMAIC y SMED. Se evidenció para la puesta en marcha de la propuesta una inversión de S/44,432.78, produciendo para la empresa un beneficio de ahorro del 9.89%. La propuesta presenta un TIR de 79%, VAN S/. 65,431.21 y relación B/C 1.10. En definitiva, la propuesta favoreció a la empresa e manera significativa.

Nuñez y Tapia (2020) en su investigación titulada " Propuesta de mejora para reducir las demoras en la entrega de pedidos fuera de tiempo por ineficiencia de procesos productivos aplicando herramientas Lean para una empresa MYPE del sector metalmeccánico en Lima". El objetivo principal es reducir la tasa de incumplimiento en la entrega de pedidos. Para dar

cumplimiento a lo trazado se usaron las herramientas Lean como la metodología 5S, la aplicación del TPM y el uso de pruebas de errores (Poka Yoke). Se evidenció la disminución en los lapsos de tiempo en el sistema en 15%, incrementándose la tasa de entrega a tiempo. Por otro lado, hubieron mejoras en el tiempo productivo (46.88%), porcentaje de utilización (9.11%) y las unidades defectuosas (13.89%). En definitiva, en las empresas del rubro metalmecánico esta investigación le sirve de referencia al mostrar mejoras significativas en los procesos a través de las herramientas aplicadas.

Carranza y Villayzán (2020) en su investigación titulada " Modelo de mejora basado en cuatro técnicas de Lean Manufacturing para el aumento de la productividad en una empresa metalmecánica de Lima". El objetivo principal es la mejora de la baja productividad en una empresa metalmecánica. Para lograr las metas trazadas se usan técnicas como Lean Manufacturing específicamente 5's, TPM, Six Sigma y Poka Yoke logando así minimizar, tiempos improductivos, productos rechazados y los tiempos de paradas de máquina. En definitiva, se evidenció una mejora en la productividad en 9.6%.

Benites (2018) en su investigación titulada " Uso de herramientas Lean Manufacturing para mejorar la productividad en la industria metalmecánica peruana: revisión sistemática". El objetivo principal es identificar qué herramientas Lean Manufacturing son las idóneas para mejorar la productividad en el sector metalmecánica. En definitiva, se evidenció que las herramientas Lean Manufacturing más usadas para mejorar desempeño de la productividad en este sector son: 5S (32.4%), SMED (13.2%), TPM (11.8%), SIX SIGMAS (7.4%) y VSM (5.9%). Le siguen: Kanban, Balance de Línea, Poka Yoke, Justo a tiempo, PHVA, 4 MS, Carta Balance, Last Planner, Andon y AMFE.

### **3.1.2. Antecedentes Internacionales**

Montemovo et al. (2020) en su investigación titulada "Metodología DMAIC para mejorar procesos de producción en la industria metalmecánica". El objetivo principal minimizar las variaciones de proceso y alcanzar mejores tiempos de entrega de productos para sus clientes.

Por lo cual, para logara los objetivos se usó la metodología Six Sigma usando la herramienta de ciclo DMAIC y la matriz GUT (gravedad, urgencia y tendencia) y la matriz 5w 2h (qué, quién, cuándo, dónde, por qué, cómo, cuánto) para priorizar la solución de problemas más críticos y fáciles. En definitiva, al ejecutar e implementar el método se logró analizar las causas permitiendo tomar acciones en favor de mejoras para la empresa.

Acosta, Sierra y Figueroa (2020). En su investigación titulada " Aplicación de la Metodología LEAN SIX SIGMA en el área de metalmecánica de producción de refrigeradores comerciales en la organización FRIOMIX DEL CAUCA". El objetivo principal reducir la defectuosidad en el subproceso de metalmecánica. Para el logro de los objetivos uso la metodología Lean Six Sigma. En definitiva, se evidenció la minimización de los productos no conformes por rayas al 25% mensual, generándose un ahorro estimado de \$804.662. Además, al aplicar las mejoras planteadas, y considerando las etapas de mejorar y controlar en la ejecución de la metodología Lean Six Sigma, se podrá minimizar la defectuosidad aumentando la productividad en 12 piezas originadas por el tiempo ahorrado.

De Oliveira y Cotrim (2017). En su investigación titulada "Ingeniería de valor y coste en el desarrollo de nuevos productos en una empresa metalmecánica". El objetivo principal desarrollar nuevos productos en una empresa metalmecánica. Para ello, el estudio va tener un enfoque exploratorio usando herramientas como target costting e ingeniería de valor. En definitiva, se evidencia la obtención de cuatro nuevos productos de la línea de juegos de la compañía, minimizando costos incrementando la rentabilidad y sostenibilidad en el mercado de consumo. Por ello, a través de la ejecución de lo planteado se permitió observar la relevancia de empelar interrelacionadas la ingeniería de valor y las herramientas de cálculo de costos objetivo.

Garrido (2019) en su investigación titulada "Propuesta de mejoramiento de los procesos priorizados de producción y de prestación de servicio de mantenimiento en la Empresa Metalmecánicas Muñoz S.A.S. basado en la metodología Seis Sigma". El objetivo principal diseñar actividades y estrategias para aumentar los niveles de productividad en la línea de

producción, al minimizar tiempos, costos y desperdicios y trayendo consigo incrementar la rentabilidad. Para lograr los objetivos trazados se ejecutó la metodología mixta lean seis sigmas. En definitiva, el establecimiento de carta control a través del programa Minitab evidencio que las líneas de producción de resorte y cabezales estaban alineadas a los esperado teniendo un comportamiento contrario al de fabricación de camisas. En conclusión, existe una brecha en la mejora, número de defectos y productos no conformes podrían disminuir.

### 3.2. Bases teóricas

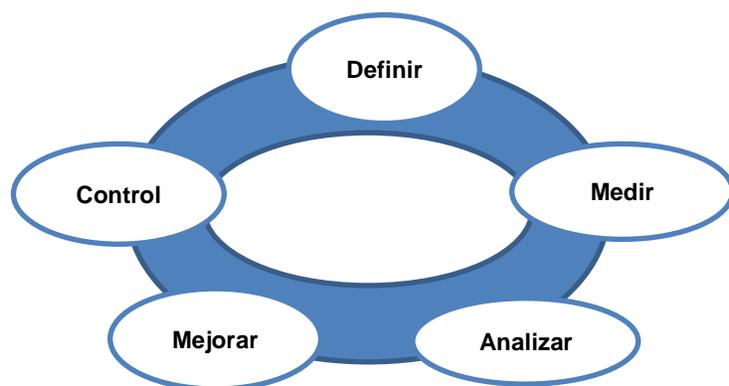
#### 3.2.1. *Variable independiente: La Metodología DMAIC.*

**3.2.1.1. Definición.** En principio, las herramientas o métodos de mejoramiento se fundamentan en el ciclo de Deming. Es por ello, el programa Six Sigma y su metodología DMAIC sigue estos lineamientos de este ciclo para alcanzar los resultados esperados en los casos aplicados. El método de DMAIC se integra por 5 fases destacándose Definición, Medición, Análisis, Mejora (Improve) y Control (Acosta et al., 2020).

Por lo cual, la metodología DMAIC, permite recabar los datos idóneos para el control y prevención de fallas de forma de aumentar o incrementar de los productos terminados (Barboza y Irigoin, 2018).

#### Figura 1

*El ciclo de mejora continua DMAIC*



### **3.2.1.2. Desarrollo del ciclo DMAIC del Six Sigma**

#### **a) Fase definir (D)**

Es el punto de partida, para detectar los proyectos tentativos de mejora en la organización. Para ello, se da respuesta a unas interrogantes: ¿por qué se requiere resolver esto ahora? ¿Cuál es el flujo de proceso general del sistema? ¿Cuáles son las metas esperadas en el proceso? ¿Cuáles son los beneficios cuantificables esperados con el proyecto? En definitiva, la pregunta resumen sería ¿Qué es lo importante? (Barboza y Irigoien, 2018).

Para la ejecución de esta etapa existen propuestos unos criterios definidos por Acosta et al. (2020):

- Precisar los clientes y sus necesidades.
- Constituir el equipo.
- Establecer el chárter y plan del proyecto, contemplando el título, caso de negocio, objetivos y metas, alcance, recursos presupuestados, beneficios a alcanzar, recurso humano a emplear, aprobación del proyecto y tiempo considerado.
- Desarrollar un mapa del proceso de alto nivel.

#### **b) Fase Medir (M)**

Por lo cual, luego de caracterizar la problemática se deben interpretar y ver el comportamiento del proceso y los factores intervinientes. Es por ello, es vital registrar los datos necesarios para monitorear el desempeño del proceso considerando los parámetros para el buen desarrollo del proceso, los requerimientos del producto esperados por el cliente, las variables de entradas catalogadas como los factores que afectan el proceso (Brue, 2018).

Para ello, se da respuesta a unas interrogantes: ¿Cuál es el proceso y cómo se desenvuelve? ¿Qué tipo de etapas integran el proceso? ¿Cuáles son los indicadores de calidad del proceso y cómo son afectados por las variables? ¿Qué relación existe entre los indicadores

de calidad del proceso y las necesidades del cliente? ¿Qué tan confiable es el sistema de medición? ¿Cómo se desarrolla el proceso actualmente? En resumen, la pregunta de abordaje total ¿Cómo se está haciendo ahora? (Bersback, 2017).

Para la ejecución de esta etapa existen propuestos unos criterios definidos por Acosta et al. (2020):

- Elaborar un mapa específico del proceso.
- Detectar entradas y salidas.
- Evaluar el sistema de medición.
- Evaluar la capacidad inicial del proceso y su potencialidad.

**c) Fase analizar (A)**

Es la etapa donde se interpretan los datos recabados del sistema actual considerando las causas y oportunidades de mejora presentadas. En esta parte está en juego la continuidad del ciclo DMAIC al determinarse si solo es la presencia de una situación aleatoria. Para ello, se da respuesta a unas interrogantes: ¿Qué variables de proceso modifican a la calidad y cuales se pueden controlar? ¿A qué le dan valor los clientes? ¿Cuáles son los pasos detallados del proceso? En resumen, se debe responder a la interrogante: ¿Qué está mal?

Para la ejecución de esta etapa existen propuestos unos criterios definidos por Acosta et al. (2020):

- Determinar las entradas críticas
- Hacer los debidos arreglos en el proceso
- Valorar la capacidad del proceso ajustado

**d) Fase mejorar / Improve (I)**

En esta etapa se miran las distintas opciones de solución, ejecutándose y validándose las alternativas planteadas para la mejora el proceso. Para verificar su aporte se hacen pruebas pilotos dentro del proceso. Para ello, se da respuesta a unas interrogantes: ¿Qué alternativas

existen? ¿Cuáles son las probabilidades de éxito de las opciones planteadas? ¿Cuál es el número de corridas para validar la opción de mejora? En resumen, se debe responder a la interrogante: ¿Qué necesito hacer? (Bersbach, 2017).

Para la ejecución de esta etapa existen propuestos unos criterios definidos por Acosta et al. (2020):

- Mejorar las entradas críticas
- Concebir y validar soluciones posibles
- Escoger la mejor solución
- Diseñar un plan de implementación

**e) Fase controlar**

Después de mejorar y encontrar la mejor solución al problema es necesario asegurar que esta mejora sea sostenible y eficiente, por lo que es necesario diseñar e implementar un plan o estrategia de control que asegure el desempeño del proceso. Las interrogantes en esta etapa son: ¿Están los resultados obtenidos relacionados con los objetivos, entregables definidos y criterio de salida del proyecto? Una vez reducidos los defectos, ¿cómo pueden los equipos de trabajo mantener los defectos controlados? ¿Cómo se puede monitorear y documentar el proceso?

Estas preguntas se responden con ciertas herramientas tales como el control estadístico de procesos (SPC) mediante gráficos comparativos y diagramas de control, controles visuales, planes de contingencia y mantenimiento preventivo, herramientas de planificación, etc. En síntesis, responde a la pregunta ¿Cómo garantizo el desempeño?

El desarrollo de la metodología en esta fase se basa en los siguientes criterios definidos por Acosta et al. (2020):

- Desarrollar un plan de control y monitoreo
- Obtener la aprobación-recibo del dueño del proceso

- Elaborar el reporte final/ lecciones aprendidas
- Mejorar continuamente

### 3.2.1.3. Capacidad del proceso y el índice de capacidad del proceso.

Es la interrelación entre el rendimiento del proceso real y los requerimientos de ingeniería de la pieza producida o ensamblada. Por otro lado, se puede catalogar como una medida de la variación propiciada por falla y defectos presentes en los productos en la manufactura. Para ello, la fórmula de capacidad del proceso es la siguiente:

$$Cp = \frac{\text{Tolerancia}}{6s} = \frac{LES - LEI}{6s}$$

El valor del índice Cp es una medida de capacidad del proceso. Entre mayor sea este mayor será la capacidad del proceso. Por lo cual, si  $Cp < 1$  existe hay un alto porcentaje de productos que caen fuera de los límites de requerimientos exigidos, si el  $Cp = 1$  hay un porcentaje menor que el anterior sin embargo no es un proceso capaz, lo recomendado todo proceso es que Cp sea mayor a 1 ( $Cp > 1$ ).

#### **3.2.1.4. Control estadístico de procesos.**

El Control Estadístico de Procesos (SPC) se usa para el monitoreo de los procesos, evidenciándose con alertas o señales indicando fallas en el sistema para así ejecutar estrategias reactivas y proactivas, como lo son: Análisis de Ishikawa, planes de muestreo y reprocesos para garantizar la calidad de productos terminados. Por lo cual, la finalidad de del SPC es minimizar las variaciones en los aspectos de salida identificando así los cambios en la entrada del proceso. La herramienta más empleada para esto es la gráfica creada por Walter Shewhart en 1920. En esta se evidencian mediciones del producto o del proceso y se estima el parámetro estadístico un promedio o fracción defectuosa (Acosta, et al., 2020).

#### **3.2.1.5. Medidas de desempeño de la calidad.**

Es necesario antes definir la palabra defecto.

*Defecto:* Refiere a cualquier no conformidad o desviación de la calidad requería para un componente de la unidad o producto. Se pueden catalogar como críticos, mayores y menores (Gutiérrez, 2019).

#### **3.2.1.6. La variabilidad del proceso.**

Tiene que ver con las variaciones inesperados que traen cambios en el proceso y en lo posterior transforman al producto o servicio (Acosta et al. 2020).

*Causas de la variación:*

Según Acosta et al. (2020):

**a)** Factores externos

Variaciones en el medio de operación, diferentes circunstancias en el diseño; por temperatura, fluctuaciones en el voltaje, entre otras.

Errores humanos, emplear inadecuadamente el producto puede afectar el producto final esperado.

**b) Factores internos**

Imperfecciones de manufactura, ausencia de uniformidad del material del producto.

- Deterioro del producto, con el transcurrir del tiempo y las condiciones presente del medio.

**3.2.2. Variable dependiente: Productividad**

Refiere al grado de utilización de los factores que afectan al momento de obtener un producto, servicio o entregable. Es por ello, el aumento de la productividad trae consigo disminución de los costos y a su vez de la competitividad de la empresa se incrementa (Cruelles, 2017).

Es la relación entre los productos obtenidos y los insumos empleados o los factores de la producción intervinientes (García, 2018).

Su fórmula:

$$\text{Productividad: } \frac{\text{Productos logrados}}{\text{factores de producción}}$$

La productividad combina la eficiencia y la eficacia para medir resultados vs. recursos invertidos (Gutiérrez, 2019)

$$\text{Productividad} = \text{Eficacia} * \text{Eficiencia}$$

Para Gutiérrez (2019): La productividad es uno de los componentes para el desempeño de las empresas, así como lo son la calidad, la eficiencia, la competitividad o la rentabilidad.

**3.2.2.1. Tipos de productividad.**

Para Cruelles (2017) la productividad se puede presentar de tres maneras:

Productividad total: refiere a la relación entre la producción total y la totalidad de los factores usados.

Productividad multifactorial: refiere a la relación entre la producción final con dos o más factores, por lo general trabajo y capital.

Productividad parcial: refiere a la relación entre la producción final y un solo factor.

*Componentes de la productividad:*

Eficiencia: es la relación entre los recursos proyectados y los insumos usados (García, 2018). Su fórmula es:

$$\frac{\text{Materia Prima Utilizada}}{\text{Materia Prima Programada}} \times 100$$

Eficacia: es la relación entre los productos obtenidos y las metas trazadas (García, 2018)

Su fórmula es:

$$\frac{\text{Producción Conforme}}{\text{Producción Planificada}} \times 100$$

Efectividad: es la relación entre eficiencia y eficacia (García,2018).

Su fórmula es: ***Efectividad = Eficiencia x Eficacia***

### **3.3. Bases conceptuales o definición de términos básicos**

Six Sigma es una metodología de perfeccionamiento de procesos, enfocada en minimizar la variabilidad de estos, logrando sean menos o definitivamente no existan defectos o fallas en la entrega de un producto o servicio al cliente (Gutiérrez y Vara, 2018).

Árbol de necesidades refiere a una herramienta gráfica para detectar los requerimientos del cliente, y convertirlos en requisitos de rendimiento definidos, alcanzables y mensurables (Socconini, 2018).

Diagrama Causa-Efecto o catalogado como diagrama de pescado, es una herramienta que permite establecer todos los factores que influyen en los resultados de un proceso (Herrera y Fontalvo, 2019).

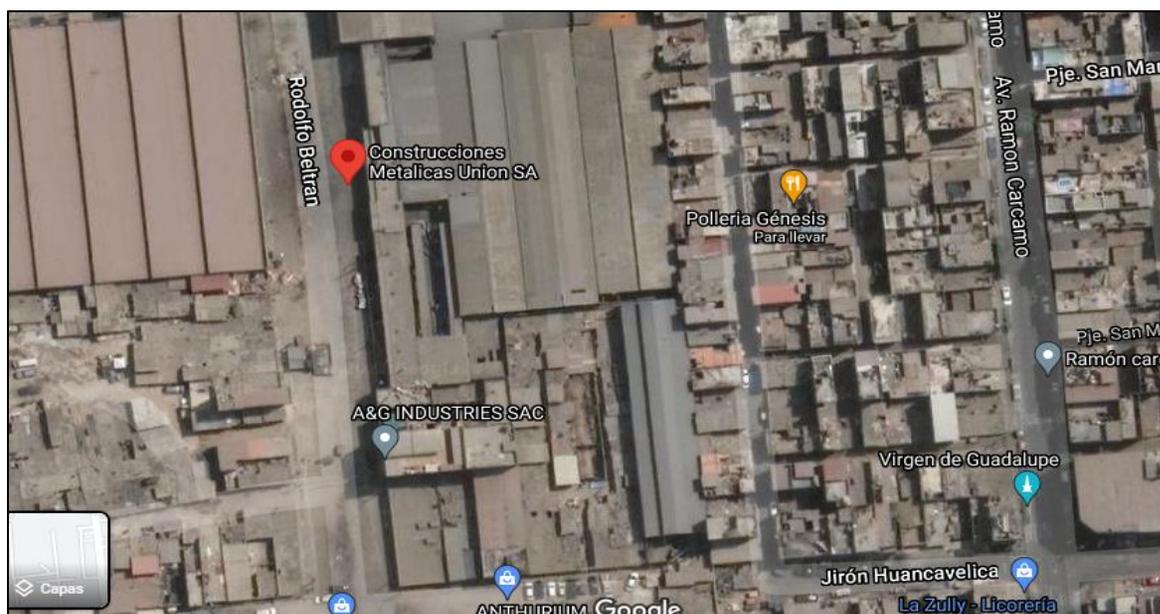
## 4. Metodología

### 4.1. Ámbito

La investigación se va a realizar en la empresa Construcciones Metálicas Unión S A ubicada en la avenida Rodolfo Beltrán Nro 591, Cercado de Lima 15079.

### Figura 2

*Ubicación de Construcciones Metálicas Unión*



*Nota.* De Construcciones Metálicas Unión S A google, por Google mpas., 2022.

### 4.2. Población y selección de la muestra

Hernández (2018), sostiene que, si la población es menor a 50 individuos, la población es igual a la muestra.

#### 4.2.1. Población

La producción semanal de vigas para racks pesados elaboradas en la empresa Construcciones Metálicas Unión durante el periodo 2019-2021 (el periodo del antes está considerado desde junio del 2019 hasta febrero del 2020 y a su vez, el periodo del después va desde octubre 2020 y junio 2021).

#### 4.2.2. Muestra

La producción semanal de vigas para racks pesados elaboradas en la empresa Construcciones Metálicas Unión durante el periodo 2019-2021 (el periodo del antes está considerado desde junio del 2019 hasta febrero del 2020 y a su vez, el periodo del después va desde octubre 2020 y junio 2021).

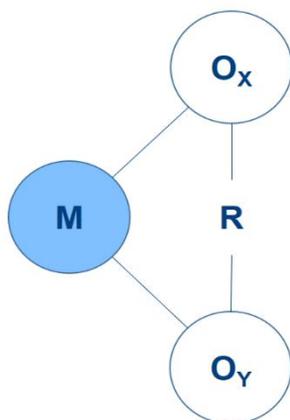
#### 4.3. Nivel, tipo y diseño del estudio

Según Hernández (2018) el estudio es de tipo cuasi-experimental evidenciándose manipulación de al menos una variable. Es por ello, de acuerdo a su aplicación material o no y su tiempo de ejecución, es del tipo Básico.

El diseño es longitudinal, ya que, la observación y descripción de la variación de la producción de vigas para racks pesados abarcan entre los años 2019 - 2021, el tipo metodológico es descriptivo- correlacional, puesto que, se intentará relacionar las variables.

#### Figura 3

*Esquema de la investigación*



*Nota.* Elaboración propia.

Dónde:

- Ox=variable dependiente.
- Oy=variable independiente.

- R= relación entre esas variables.
- M=muestra.

#### **4.4. Métodos, técnicas e instrumentos**

La técnica más empleada será el análisis de contenido o documental para revisar todos los resultados de la aplicación del instrumento en los que se pretende evidenciar como la aplicación de la metodología DMAIC contribuye a la mejora de la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa de construcciones metálicas unión (CMUSA).

Para el desarrollo de los objetivos de la presente investigación, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- a. Detallar la cantidad de unidades defectuosas, así como el detalle del efecto.
- b. Gráficos de Pareto, a fin de poder observar los tipos de fallo más recurrentes y orientar el curso de las acciones de mejora.
- c. Diagramas de Ishikawa, con el propósito de determinar las posibles causas de las fallas.
- d. Gráficos de control, para determinar patrones de conducta en el número de unidades defectuosas y establecer los límites de control del proceso de producción de vigas.

#### **4.5. Plan de tabulación y análisis de datos estadísticos**

Luego de obtener los datos, el procesamiento, análisis e interpretación de la información, se llevará a cabo con la ayuda de herramientas matriciales para la operacionalización de datos en el Microsoft Excel y Minitab versión 18. Para ello, se fundamentará en la estadística descriptiva.

Para el estudio se utilizará, diagramas y tablas de forma numérica y porcentual, así mismo gráficos adecuados para presentar los resultados de la investigación.

Para determinar si existe relación entre las variables, se utilizará la prueba estadística de hipótesis Z.

#### **4.6. Consideraciones éticas**

Se considerarán los principios éticos:

Anonimato: no se va a mencionar la identidad del participante.

Confidencialidad: la información será estrictamente para efectos de la investigación.

La no maleficencia: establece el abstenerse intencionadamente de realizar acciones que puedan causar daño o perjudicar a otros.

## 5. Resultados

### 5.1. La empresa

La empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA) tiene más de 50 años dedicados a la producción y comercialización de productos metálicos enfocados al área de almacenamiento: estantería liviana y pesada, guardarropa, góndolas, cajas fuertes, entre otros. Estos productos son usados en empresas de todos los rubros: alimentos y bebidas, pesqueras, textil, minería, logística, mineras, tanto nacionales como extranjeros (Argentina, Bolivia y Ecuador).

### 5.2. Estructura de la metodología DMAIC

**Tabla 2**

*Estructura de aplicación de la metodología DAMIC*

<b>ESTRUCTURA DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC</b>				
<i>CICLO</i>	<i>QUESTIONARIO</i>	<i>ACTIVIDAD</i>	<i>INDICADOR</i>	<i>UNIDAD</i>
DEFINIR	<i>¿Cuál es el índice actual de fabricación de vigas no conformes?</i>	<i>Situación actual, diagnóstico</i>	<i>Índice de defectos</i>	<i>Porcentaje</i>
MEDIR	<i>¿Qué etapas integran el proceso de fabricación de vigas?</i>	<i>Proceso Productivo, capacidad del proceso</i>	<i>Índice de capacidad de proceso</i>	<i>Valor de capacidad</i>
ANALIZAR	<i>¿Qué variables determinan el índice de vigas defectuosas?</i>	<i>Diagrama de Pareto, diagrama causa efecto, análisis de modo y efecto de fallo (AMEF)</i>	<i>Índice de causas</i>	<i>Porcentaje</i>
MEJORAR	<i>¿Qué necesito hacer para minimizar la cantidad de vigas defectuosas?</i>	<i>Diseño del plan de implementación (mejoras en las áreas de Pintura y Punzonado, capacitación de personal)</i>	<i>Índice de productividad</i>	<i>Porcentaje</i>
CONTROLAR	<i>¿Cómo garantizo el desempeño del proceso de fabricación de vigas con las mejoras realizadas?</i>	<i>Implementación y desarrollo de herramientas de control de procesos</i>	<i>Reportes</i>	<i>-</i>

*Nota.* Elaboración propia.

### 5.3. Situación actual

La relación semanal de producción de vigas, y la cantidad de unidades defectuosas se reportan en la Tabla 03. La capacidad de la planta es de 2,880 vigas estándar a la semana. Durante el promedio de observación se fabricaron 112,320 vigas, de las cuales 11,075 se reportaron como defectuosas, lo que representa una proporción de 9.86%; esta data se representa en la forma de un gráfico p en la Figura 4; durante la elaboración del gráfico, se obtiene que la proporción promedio de vigas defectuosas es de 0.0710, mientras que los límites superior e inferior son 0.0854 y 0.0567, respectivamente. Vale la pena explicar que, a efectos de la variable de estudio (proporción de unidades defectuosas), solamente se tomará en cuenta el límite superior de control, dado que la condición ideal es tener la menor cantidad de defectos posibles. De la información contenida en la Figura 4, se reporta que, en 9 de las 39 semanas, se observa una proporción fuera de lo estadísticamente aceptable.

**Tabla 3**

*Relación de unidades defectuosas*

<b>Semana</b>	<b>Producción</b>	<b>Defectuosos</b>	<b>Proporción</b>
CW23-19	2,880	190	0.0660
CW24-19	2,880	158	0.0549
CW25-19	2,880	203	0.0705
CW26-19	2,880	198	0.0688
CW27-19	2,880	140	0.0486
CW28-19	2,880	190	0.0660
CW29-19	2,880	249	0.0865
CW30-19	2,880	257	0.0892
CW31-19	2,880	237	0.0823

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 4***Relación de unidades defectuosas (continuación)*

<b>Semana</b>	<b>Producción</b>	<b>Defectuosos</b>	<b>Proporción</b>
CW32-19	2,880	210	0.0729
CW33-19	2,880	247	0.0858
CW34-19	2,880	201	0.0698
CW35-19	2,880	277	0.0962
CW36-19	2,880	174	0.0604
CW37-19	2,880	262	0.0910
CW38-19	2,880	212	0.0736
CW39-19	2,880	152	0.0528
CW40-19	2,880	140	0.0486
CW41-19	2,880	154	0.0535
CW42-19	2,880	191	0.0663
CW43-19	2,880	149	0.0517
CW44-19	2,880	234	0.0813
CW45-19	2,880	246	0.0854
CW46-19	2,880	234	0.0813
CW47-19	2,880	153	0.0531
CW48-19	2,880	165	0.0573
CW49-19	2,880	181	0.0628
CW50-19	2,880	286	0.0993
CW51-19	2,880	240	0.0833
CW52-19	2,880	276	0.0958
CW01-20	2,880	216	0.0750
CW02-20	2,880	215	0.0747
CW03-20	2,880	150	0.0521
CW04-20	2,880	219	0.0760
CW05-20	2,880	197	0.0684
CW06-20	2,880	253	0.0878
CW07-20	2,880	217	0.0753
CW08-20	2,880	158	0.0549
CW09-20	2,880	146	0.0507

*Nota.* Elaboración propia.



- *Índice de defectos*

$$\frac{\textit{producción no conforme}}{\textit{Producción Total}} \times 100$$

$$\frac{11075 \textit{ unid}}{112320 \textit{ unid}} * 100\% = \mathbf{9.86\%}$$

#### **5.4. Necesidades de mejora continua**

Con el propósito de optimizar recursos y reducir la variabilidad de sus productos, la Gerencia de Producción de CMUSA identificó la necesidad de mejorar sus procesos y así reducir pérdidas e incrementar las utilidades.

##### **5.4.1. Identificación de áreas de mejora.**

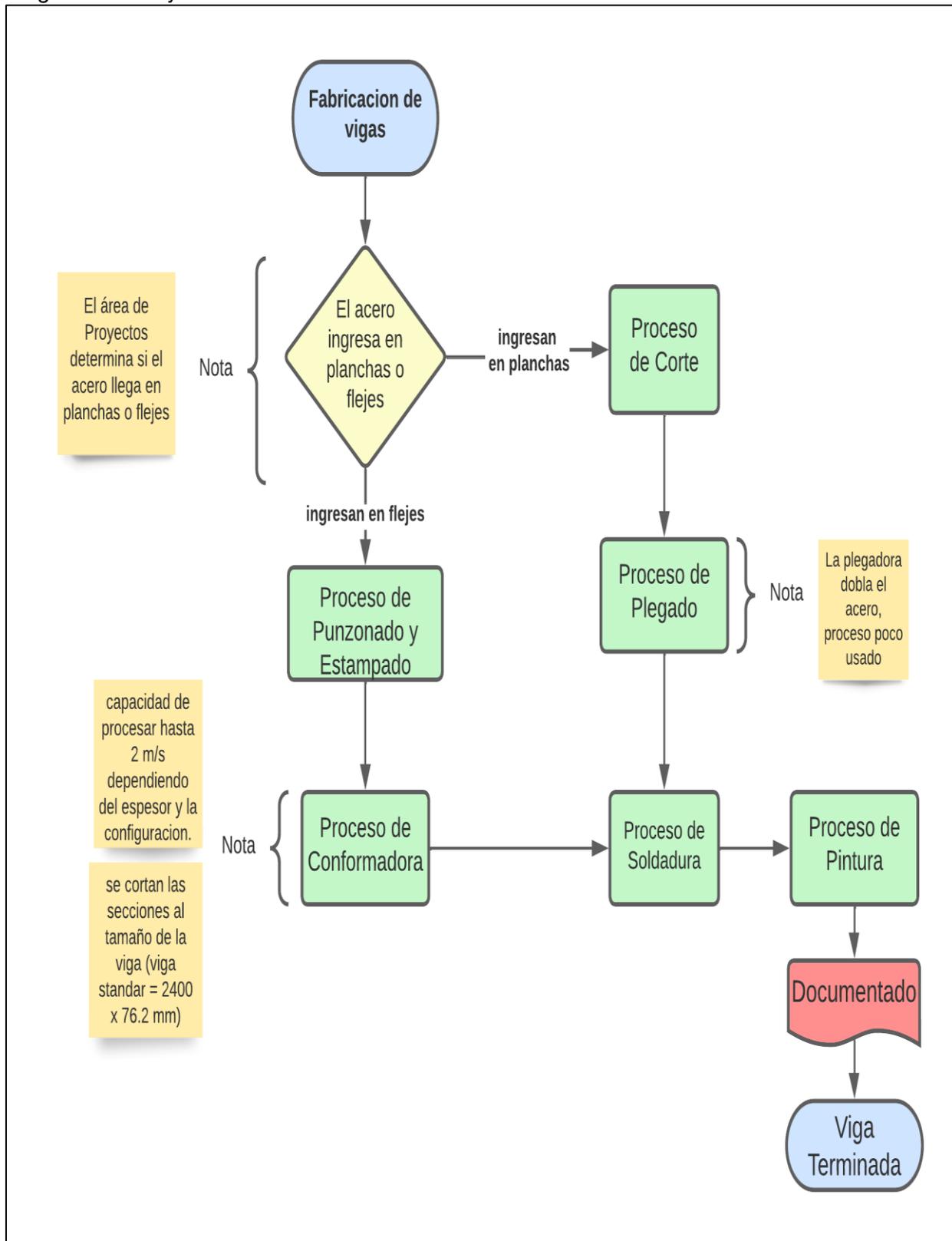
Con el propósito de definir los puntos susceptibles a mejorar el desempeño, se hace uso de herramientas estadísticas de calidad y de esta manera tener un panorama completo y detallado de las deficiencias del proceso productivo y posteriormente priorizar y analizar las oportunidades detectadas para implementar las mejoras aplicables en casa caso.

##### **5.4.2. Descripción del Proceso Productivo.**

A continuación, se observa el proceso de producción de vigas a través del diagrama de flujo

**Figura 6**

Diagrama de Flujo de Procesos.



- **Corte:** Cuando el acero a ser utilizado viene en planchas, se corta según las especificaciones del plano, calculando la posición de las piezas para evitar pérdidas en el proceso. Luego de terminar los cortes, se verifican las dimensiones de las piezas.
- **Punzonado y estampado:** los flejes de acero son estampados con el logo de la empresa, además de perforar los ganchos de donde se conectan las vigas con los postes.
- **Plegado:** En el caso del acero que viene en planchas, este proceso se realiza en una plegadora; para el acero que viene en flejes, pasa por una conformadora de rodillos que tiene la capacidad de procesar hasta 2 m/s, dependiendo del espesor y la configuración del pliegue. Al final del conformado, se cortan las secciones al tamaño de la viga.
- **Soldadura:** Esta actividad se realiza en el área de punzonado, donde se ubican estaciones de soldadura manual, se unen los ganchos (uno por lado) a las dos secciones que conforman el cuerpo de la viga; el ritmo de procesamiento es entre 6 y 10 vigas por hora, dependiendo de la habilidad del soldador.

**Pintura:** Una vez soldadas, las vigas se trasladan a una línea de pintura electrostática en polvo, donde pasan por unas tinas de pretratamiento por aspersion, con el fin de preparar la superficie metálica para garantizar la calidad del proceso; posteriormente, entran a un horno de convección (a gas) para eliminar el agua que pudiera haber quedado en la pieza, pasa por la cabina de aplicación de pintura y de ahí al horno de curado. El proceso dura aproximadamente cuatro horas, al salir de la línea se realizan inspecciones para verificar el acabado, además de medición de espesor, prueba de adherencia y de resistencia a la metil-etil-cetona (MEK por sus siglas en inglés).

***Cálculo de capacidad de proceso:***

- Medimos el nivel de capacidad para 2 áreas del proceso

$$Cp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

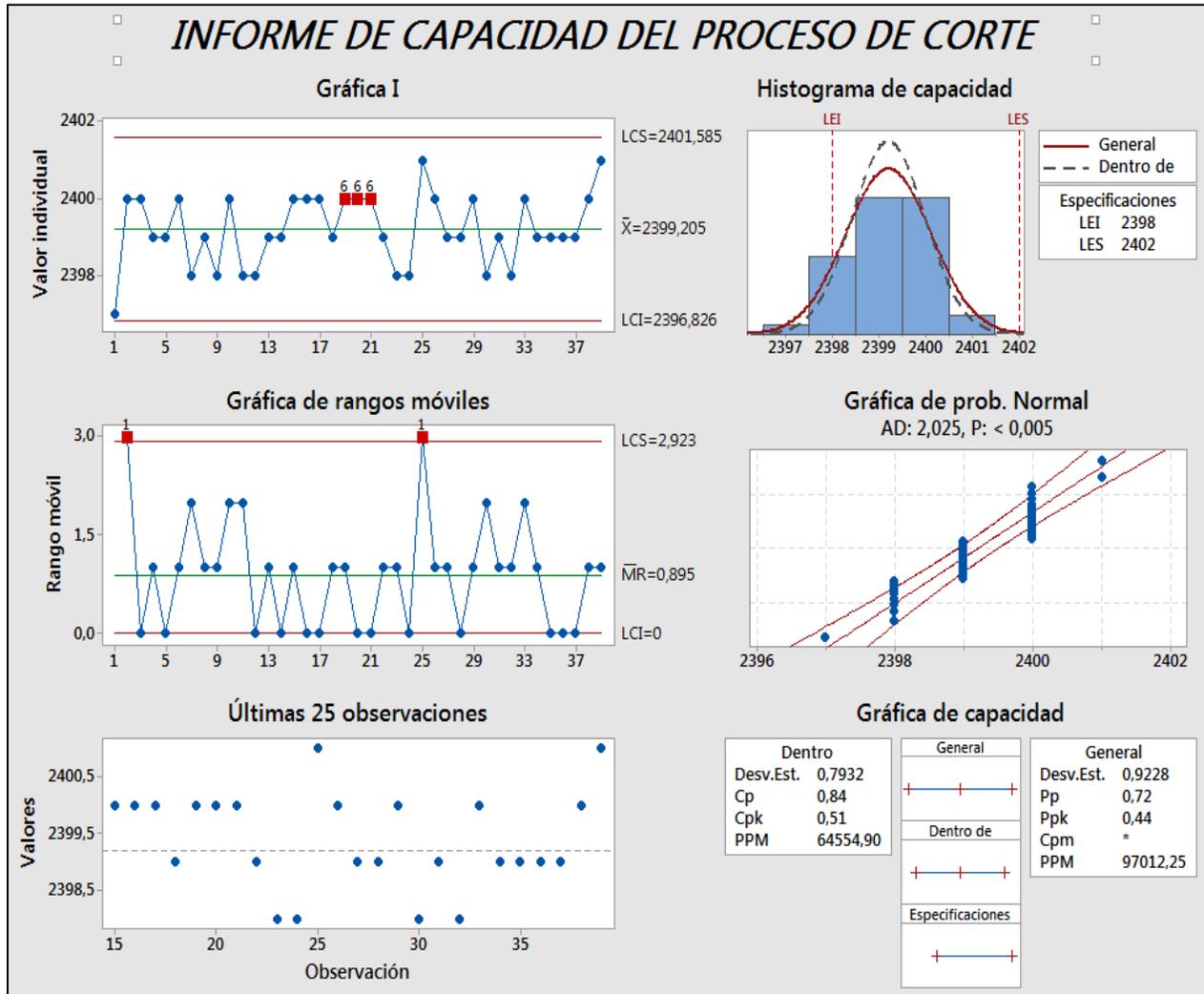
LES: Limite de especificación superior

LEI: Límite de especificación inferior

$\sigma$ : Desviación estándar

**Figura 7**

*Índice de capacidad de Proceso*

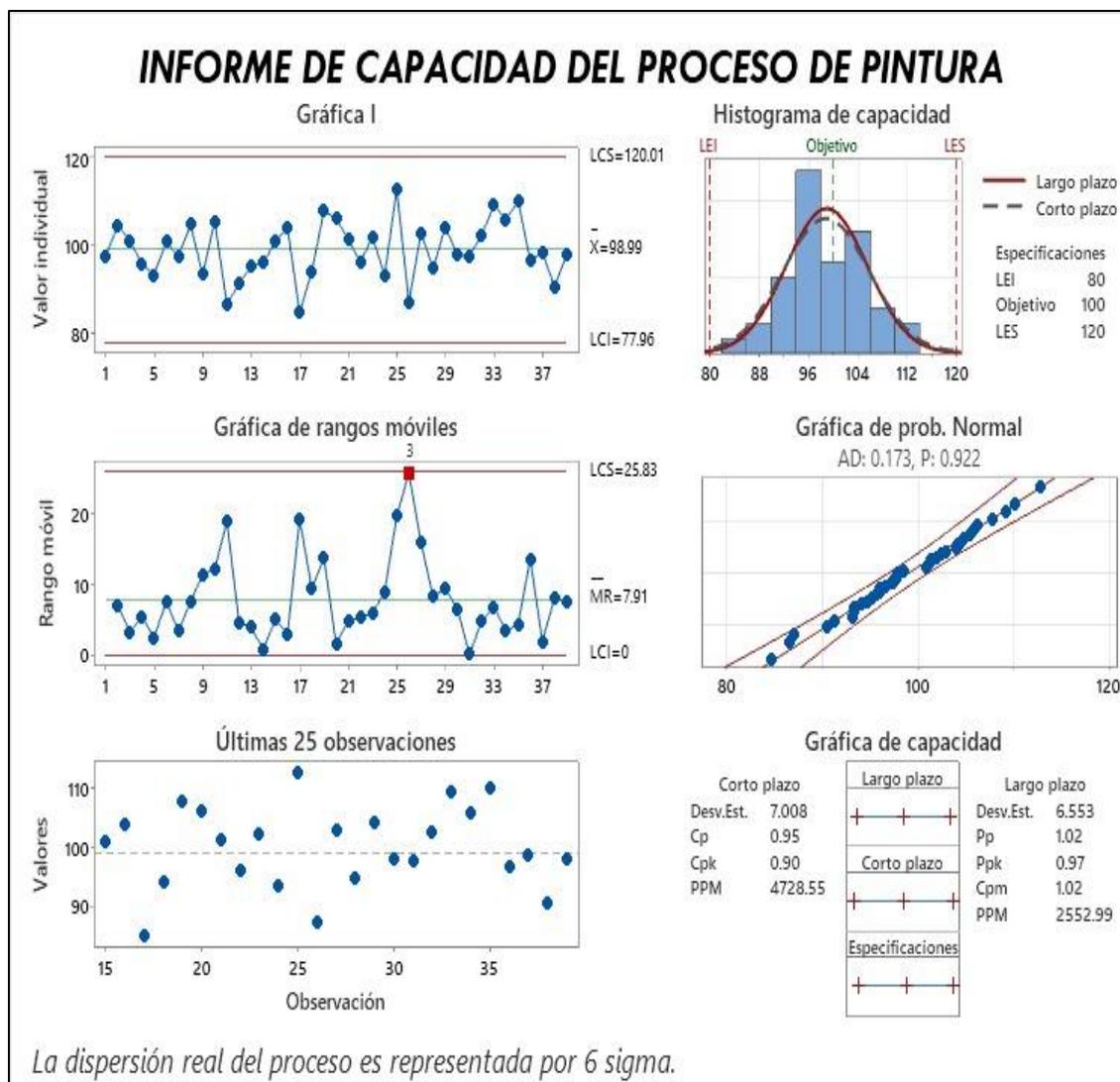


Nota. Elaboración propia.

- Para mediar la capacidad del proceso de Corte se utilizó la variabilidad de la longitud expresado en milímetros

Figura 8

Índice de capacidad de Proceso



Nota. Elaboración propia.

- Para medir la capacidad del proceso de Pintura se utilizó la variabilidad del espesor expresado en micras.

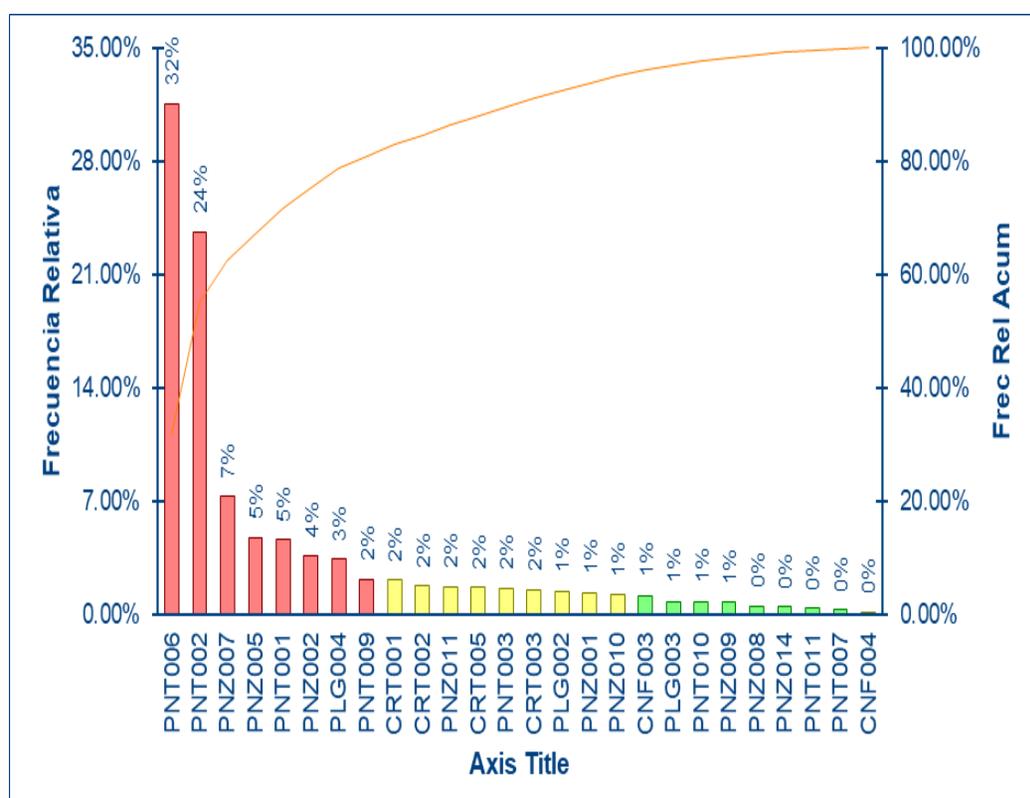
### 5.4.3. Diagrama de Pareto

La relación de defectos encontrados en las vigas durante el periodo de Junio 2019 a Febrero 2020 se muestran en la Tabla 05 y la Figura 14. Durante el periodo, se detectaron 11,075 defectos, siendo los más frecuentes: deficiencias en el aspecto de las vigas (31.52%), problemas

de adherencia (23.57%), deficiencias en el proceso soldadura (7.27%), diferencias con plano en el área de punzonado (4.75%), espesor de pintura inadecuado (4.61%), agujeros no alineados (3.63%), error en la configuración del plegado (3.37%) y contaminación de pintura (2.13%). Estos 8 defectos conforman el 80.85% de los defectos, por los que fueron los que se trabajaron para mejorar la eficacia y eficiencia del proceso de fabricación de vigas.

**Figura 9**

*Defectos en el proceso de fabricación de vigas*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 5***Defectos en el proceso de fabricación de vigas*

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	FREC ABS	FREC REL	FR ACUM
PNT006	ASPECTO DEFICIENTE	3491	31,52%	31,52%
PNT002	ADHERENCIA	2610	23,57%	55,09%
PNZ007	DEFICIENCIAS EN SOLDADURA	805	7,27%	62,36%
PNZ005	DIFERENCIAS CON PLANO	526	4,75%	67,11%
PNT001	ESPESOR INADECUADO	511	4,61%	71,72%
PNZ002	AGUJEROS NO ALINEADOS	402	3,63%	75,35%
PLG004	ERROR EN LA CONFIGURACIÓN	373	3,37%	78,72%
PNT009	CONTAMINACIÓN DE PINTURA	236	2,13%	80,85%
CRT001	REBABAS	234	2,11%	82,96%
CRT002	MATERIAL OXIDADO Ó CON IMPERFECCIONES	192	1,73%	84,70%
PNZ011	ENSAMBLADO CON GANCHOS FISURADOS	186	1,68%	86,37%
CRT005	DIFERENCIAS CON PLANO	183	1,65%	88,03%
PNT003	RETOQUE PINTURA LÍQUIDA	177	1,60%	89,63%
CRT003	AUSENCIA PLANO	168	1,52%	91,14%
PLG002	DIFERENCIAS CON PLANO	158	1,43%	92,57%
PNZ001	PLANO INCOMPLETO	145	1,31%	93,88%
PNZ010	SALPICADURAS	128	1,16%	95,03%
CNF003	POSTES CON DIFERENTE LONGITUD	124	1,12%	96,15%
PLG003	FISURAS DURANTE EMBUTIDO	86	0,78%	96,93%
PNT010	DIFERENCIA DE TONALIDAD	85	0,77%	97,70%
PNZ009	FALLA EN ENSAMBLE (MACHINA)	78	0,70%	98,40%
PNZ008	SOLDADURA NO ACORDE AL PLANO	53	0,48%	98,88%
PNZ014	REBABAS EN EL PUNZONADO	49	0,44%	99,32%
PNT011	SECADO DEFICIENTE/INCOMPLETO	38	0,34%	99,67%
PNT007	NO PASA LA PRUEBA MEK	26	0,23%	99,90%
CNF004	ERROR EN LA CONFIGURACIÓN	11	0,10%	100,00%
<b>TOTAL</b>		<b>11075</b>		

*Nota.* Elaboración propia.

Haciendo la totalización de defectos por proceso, se obtiene la información mostrada en la Tabla 06 y la Figura 15. Se observa que el proceso con mayor cantidad de defectos reportados

es el de pintura, con una frecuencia absoluta de 7174 y una relativa de 64.78%, seguido del proceso de Punzonado, con una frecuencia absoluta y relativa de 2372 y 21.42%, respectivamente. Estos dos procesos agrupan el 86.19% de los defectos reportados durante el periodo.

**Tabla 6**

*Pareto defectos por proceso*

PROCESO	FREC ABS	POR ACUM
PINTURA	7,174	64.78%
PUNZONADO	2,372	86.19%
PLEGADO	617	91.77%
CORTE	777	98.78%
CONFORMADO	135	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>11,075</b>	

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 10**

*Pareto defectos por proceso*

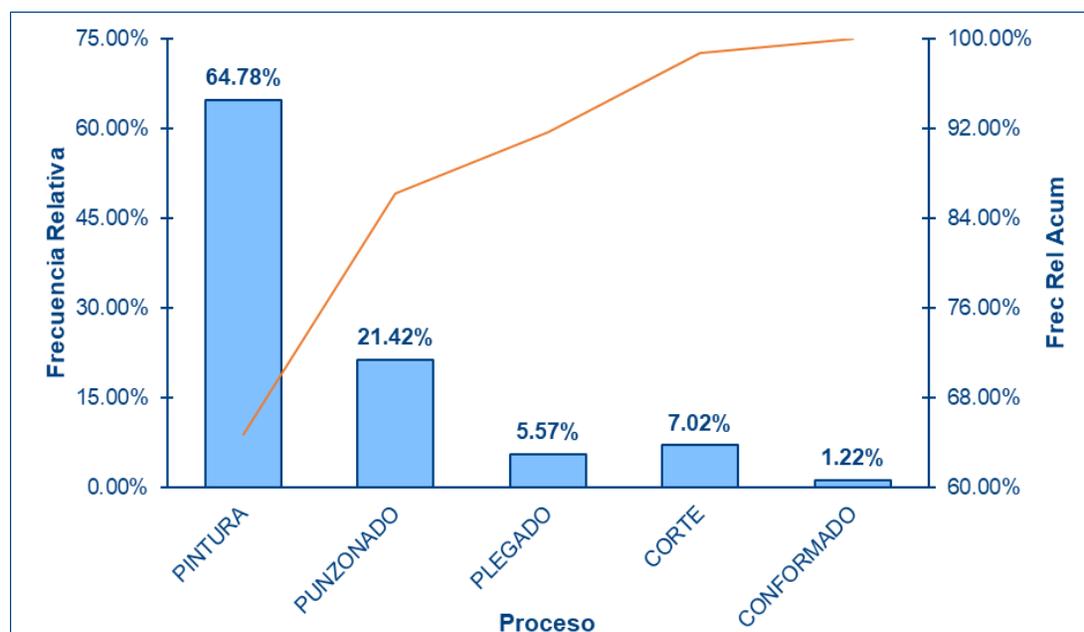
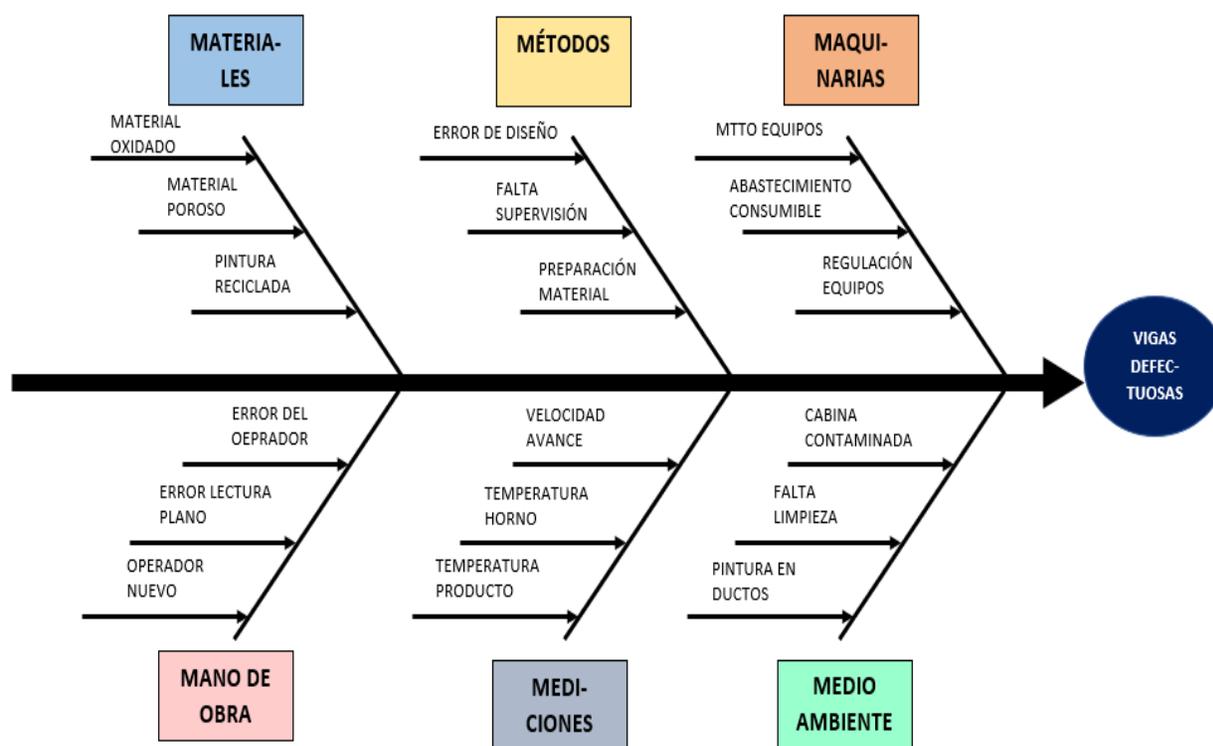


Diagrama Causa Efecto (Ishikawa)

Analizando los principales defectos y sus causas raíces, se ha recopilado información que se presenta en la figura 13. De los 4200 casos relacionados con los materiales, 1614 se relacionan con el uso de pintura colada o reciclada, 635 con el uso de material poroso y 240 casos están asociados al uso de material oxidado. Para la categoría Métodos se categorizaron 3484 casos, de los cuales 937 están asociados con una preparación inadecuada del material, 431 con falta de supervisión y 320 por error de diseño. Se identificaron 1572 unidades defectuosas con causas asociadas al estado de la maquinaria, entre las cuales se destaca la inadecuada regulación de los equipos, con 183 casos, la falta de abastecimiento de consumibles, con 254 reportes y 222 casos en los que los equipos necesitan mantenimiento.

**Figura 11**

*Diagrama de Causa y Efecto*



*Nota.* Elaboración propia.

Tabla 7

Cuadro de relación número de defectos-causa

OBSERVACIONES	MATERIALES	MÉTODOS	MAQUINARIAS	M. O.	MEDICIONES	MEDIO AMBIENTE
ALTA VELOCIDAD DE AVANCE	0	0	0	0	49	0
ALTERACIONES SUPERFICIE MATERIAL	4	0	0	0	0	0
APLICACIÓN EXCESIVA DE PINTURA	0	102	0	0	0	0
AUSENCIA DE PLANO	0	168	0	0	0	0
BAJO TIEMPO EXTRACCIÓN	0	83	0	0	0	0
BAJO TIEMPO RETENCIÓN EN HORNO	0	0	0	0	17	0
CABINA CONTAMINADA	0	0	0	0	0	60
CUCHILLA ROTA	0	0	47	0	0	0
DEFECTOS EN LA SUPERFICIE DEL MATERIAL	60	0	0	0	0	0
<b>DESAJUSTE EN LA MATRIZ</b>	0	0	26	0	0	0
ELEVADA TEMPERATURA HORNO CURADO	0	0	0	0	36	0
EN ESPERA DE REPUESTO	0	0	21	0	0	0
EQUIPOS NECESITAN MANTENIMIENTO	0	0	222	0	0	0
ERROR DE DISEÑO	0	320	0	0	0	0
<b>ERROR DEL OPERADOR</b>	0	0	0	793	0	0
ERROR LECTURA PLANO	0	0	0	613	0	0
<b>ES PARTE DEL PROCESO</b>	0	13	0	0	0	0
FALLA ENCODERS	0	0	36	0	0	0
FALLA HORNO CURADO	0	0	111	0	0	0
FALLA SISTEMA DESENYRASE	0	0	40	0	0	0
FALLA SISTEMA FOSFATIZADO	0	0	43	0	0	0
FALLA SISTEMA PINTURA	0	0	181	0	0	0
FALLA SISTEMA SECADO	0	0	38	0	0	0
FALTA ABASTECIMIENTO CONSUMIBLE	0	0	254	0	0	0
FALTA DE INSUMOS	153	0	0	0	0	0
FALTA DE LIMPIEZA	0	0	0	0	0	21
<b>FALTA DE SUPERVISIÓN</b>	0	431	0	0	0	0
FALTA PRECISIÓN ALIMENTADOR FLEJES	0	0	124	0	0	0
FOSFATIZADO INCOMPLETO/DEFICIENTE	81	0	0	0	0	0
INSUFICIENTE PERSONAL PARA PINTAR A TIEMPO	0	0	0	2	0	0
LIMPIEZA MANUAL DEL PRODUCTO	0	170	0	0	0	0
MAL ACABADO METÁLICO	0	111	0	0	0	0
MALA FIJACIÓN DE VIGAS DENTRO DEL HORNO	0	55	0	0	0	0
MALA MANIPULACIÓN DEL MATERIAL	98	0	0	0	0	0
MALA OPERACIÓN	0	60	0	0	0	0
MALAS PRÁCTICAS DE ALMACENAMIENTO	38	11	0	0	0	0
MATERIAL CON MAL ACABADO	117	0	0	0	0	0
MATERIAL CON ÓXIDO	213	0	0	0	0	0

MATERIAL CON RAYADURAS DURANTE EL TRASLADO O ALMACENAMIENTO	0	134	0	0	0	0
MATERIAL DEFECTUOSO	226	0	0	0	0	0
MATERIAL EN PERIODO DE PRUEBA	181	0	0	0	0	0
MATERIAL OXIDADO	240	0	0	0	0	0
MATERIAL POROSO	635	0	0	0	0	0
MATERIAL REPROCESADO DEL ALMACÉN	4	0	0	0	0	0
MATRIZ DESGASTADA	0	0	49	0	0	0
NO SE CUENTA CON EQUIPO PARA MEDIR ESPESOR EN MATERIALES DIFERENTES AL ACERO	0	0	0	0	17	0
NO SE REALIZARON PRUEBAS PREVIAS	194	17	0	0	0	0
PENDIENTE REPUESTOS PARA MÁQUINAS	0	0	53	0	0	0
PENETRACIÓN EXCESIVA	0	215	0	0	0	0
PINTURA DE BAJA CALIDAD	126	0	0	0	0	0
PINTURA EN LOS DUCTOS	0	0	0	0	0	36
PLANO CON INFORMACIÓN INCOMPLETE	0	36	0	0	0	0
PLANO DESACTUALIZADO	0	34	0	0	0	0
PLANO NO INDICA SEPARACIÓN DE REFUERZOS	0	111	0	0	0	0
PREPARACIÓN INADECUADA DEL MATERIAL	0	937	0	0	0	0
PRESENCIA DE ÓXIDO	109	0	0	0	0	0
PRESIÓN EXCESIVA EN RODILLO CONFORMADO	0	0	49	0	0	0
RETOQUE DE ÚLTIMO MOMENTO	0	177	0	0	0	0
REYULACIÓN INADECUADA	0	47	0	0	0	0
SE REALIZÓ EL CORTE CON LA MÁQUINA DE PLASMA	0	0	183	0	0	0
SE REALIZÓ UNA LIMPIEZA MANUAL DEL PRODUCTO	0	222	0	0	0	0
SOLDADOR NUEVO	0	0	0	60	0	0
TEMPERATURA PRODUCTO INADECUADA	0	0	0	0	72	0
TERMAS DE CO2 CON BAJO NIVEL	26	0	0	0	0	0
TONO PINTURA DIFERENTE	9	0	0	0	0	0
TURNO DE AMANECER	0	0	0	43	0	0
USO DE LA EUROMAC	0	0	40	0	0	0
USO DE PINTURA COLADA	1614	0	0	0	0	0
USO DE PINTURA COLADA + IMPERFECCIONES MATERIAL	19	0	0	0	0	0
USO DE PINTURA COLADA Y MATERIAL POROSO	53	0	0	0	0	0
USO PINTURA LÍQUIDA	0	30	0	0	0	0
VIBRACIÓN DE LA MÁQUINA	0	0	55	0	0	0

Nota. Elaboración propia.

### Índice de causas:

$$\frac{\text{causa raiz}}{\text{total defectos}} \times 100$$

**Tabla 8***Resumen de índice de causas*

CAUSA RAÍZ	DEFECT.	ÍNDICE
MATERIALES	4.200	37,9%
MÉTODOS	3.484	31,5%
MAQUINARIAS	1.572	14,2%
MANO DE OBRA	1.511	13,6%
MEDICIONES	191	1,7%
MEDIO AMBIENTE	117	1,1%

*Nota.* Elaboración propia**5.4.4. Análisis de Modo y Efecto de Fallo (AMEF)**

Con el fin de identificar las áreas o procesos críticos o de mayor riesgo y así determinar el foco de los controles, se desarrolló un análisis de modo y efecto de fallo para las fallas más frecuentes por cada una de las ramas del diagrama de Ishikawa, es decir, una por cada de las 6M, la Tabla 09 recopila los resultados por proceso y factor crítico, mientras que la Tabla 10 desarrolla el Análisis de Modo y Efecto de Falla.

**Tabla 9***Resumen defectos por proceso y factor crítico*

PROCESO	MATERIALES	MÉTODOS	MAQUINARIAS	MANO DE OBRA	MEDICIONES	MEDIO AMBIENTE	TOTAL
PINTURA	4,018	1,900	995	2	142	117	7,174
PUNZONADO	26	977	191	1,129	49	0	2,372
PLEGADO	98	292	26	201	0	0	617
CORTE	58	315	236	168	0	0	777
CONFORMADO	0	0	124	11	0	0	135
<b>TOTAL</b>	<b>4,200</b>	<b>3,484</b>	<b>1,572</b>	<b>1,511</b>	<b>191</b>	<b>117</b>	<b>11,075</b>

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 10***Resumen Análisis Modo y Efecto de Falla*

<b>Agente</b>	<b>Modo de falla</b>	<b>Efecto</b>	<b>Causa</b>	<b>Método detección</b>	<b>Acciones recomendadas</b>
Maquinarias y equipos	Acumulación de pintura en pieza	Espesor inadecuado	Suministro de consumibles	Control inventario	Verificar los tiempos de vida de los accesorios
Mano de obra	Diferencia con estándares	Rebabas, agujeros no alineados,	Error del operador	Inspección visual	Reforzar inspección en operadores nuevos y turno madrugada
Materia prima	Inestabilidad en la cohesión y adhesión de las partículas	Aspecto deficiente, problemas de adherencia	Uso pintura reciclada	Inspección visual	Mejorar la succión de pintura para evitar daños a las partículas de pintura
Medio ambiente	Contaminación pintura y piezas	Aspecto deficiente	Hermeticidad de cabina pintura	Inspección condiciones cabina	Revisión al inicio y fin de turno, limpieza periódica en los alrededores de la cabina, verificación hermeticidad cabina
Método	Irregularidad en la superficie del material	Aspecto deficiente, problemas de adherencia	Preparación inadecuada del material	Inspección visual	Establecer criterios y contar con muestra patrón
Medición	Inestabilidad en la cohesión y adhesión	Adherencia fuera de estándar	Temperatura inadecuada producto terminado	Control temperatura y tiempo	Medición de temperatura de producto terminado antes de hacer pruebas de adherencia.

*Nota.* Elaboración propia.

## **5.5. Diseño de plan de implementación**

Una vez obtenida toda la información de las actividades que causan la variabilidad en las vigas, se determinó que los procesos de pintura y punzonado, así como los factores de materiales y métodos son los que generan mayor impacto, por lo que se elaborará un plan de trabajo orientado a tratar estos elementos. A continuación, se muestran los principales focos de atención del plan de trabajo.

### **5.5.1. Mejoras en el área de la pintura:**

El diagnóstico permitió determinar que el 18.34% de los problemas relacionados con la adherencia están relacionados al uso de material con óxido o con presencia de porosidades. A tales efectos, deberán desarrollarse un protocolo de inspección de las condiciones del acero

antes de iniciar la fabricación de vigas, en el caso de detectarse cantidades de óxido o porosidades por encima de las consideradas como normales, deberá aplicarse un permiso de desviación para consumir el material, además de hacer los ajustes necesarios dentro del proceso (esmerilado, regulación en las tinas de pretratamiento), además de una inspección previa a la aplicación de pintura en polvo; de no pasar la inspección, la viga será separada para reproceso adicional, de esta manera se evita que sea pintada. En caso de tener dudas si la condición del acero arriesga la adherencia del material, se harán pruebas previas (pintado de muestras) y de esta manera se podrá garantizar la calidad del producto. Adicionalmente, cuando se adquiera materia prima o insumos (pintura, químicos de pretratamiento, entre otros) diferentes a los usados regularmente, se hará seguimiento a las pruebas piloto previas a la utilización a escala industrial, para de esta manera verificar que no afecte los estándares definidos para el producto, en caso de tener que modificar alguno de estos estándares, se emitirán permisos de desviación temporales.

Para el caso del uso de la pintura colada, se determinará en cuáles piezas y en cuáles colores se puede utilizar sin que afecte la calidad y estética de las vigas; en la medida de lo posible, se restringirá el uso de la pintura colada a las piezas que quedan en la parte posterior o niveles superiores de los racks, para estos fines, se identificarán los lotes y de esta manera el personal de Proyectos podrá gestionar su armado y garantizar la estética del producto final.

Para disminuir la aparición de defectos de carácter estético en la superficie de las vigas, se incrementará el monitoreo de las condiciones de las tinas de pretratamiento, instalando un medidor automático de pH y una bomba dosificadora. Adicionalmente, se desarrollará un programa de mantenimiento de las tinas, para limpiar y evitar el bajo desempeño del sistema de pretratamiento.

### **5.5.2. Mejoras en el área de punzonado.**

Producto del diagnóstico, se determinó que el 44.47% de los componentes reporta deficiencias en la soldadura, bien sea por penetración excesiva (21.44%), errores durante la fase

de diseño (20.44%) y uso de termas de CO2 con bajos niveles (2.59%). Para disminuir la ocurrencia de los eventos mencionados anteriormente, se proponen las siguientes actividades:

Previo a la fabricación de nuevos componentes, se desarrollarán pruebas piloto para verificar que las especificaciones de soldadura sean las adecuadas y se tenga en consideración el tipo de material y el uso que tendrá el componente.

Al inicio de cada lote, el encargado del área de punzonado y ensamblaje supervisará una muestra de cada soldador para verificar el nivel de penetración del cordón de soldadura en la pieza; dependiendo del volumen de trabajo, esta verificación se hará a mitad de la jornada para garantizar que el nivel siga siendo adecuado. En el turno de amanecer, esta revisión será más frecuente.

Se determinará un nivel crítico de CO2 en las termas usadas en la soldadura de vigas, cuando la terma alcance ese nivel, se cambiará por una llena y la vieja se utilizará para la soldadura de componentes menores.

El segundo problema detectado durante el diagnóstico es el ensamblado de vigas con ganchos fisurados, con 18.54% de las unidades defectuosas reportadas. Para gestionar este defecto, se reforzará la inspección durante la fabricación de los ganchos; adicionalmente, se determinará el nivel de tolerancia en función de la funcionalidad del componente (no todos los tipos de vigas soportan la misma cantidad de cargo) y se diseñará un protocolo para la emisión de permisos de desviación si se deciden usar estos ganchos fisurados. Por último, el soldador hará una rápida inspección al gancho antes de su uso, se dispondrá de una zona donde se depositen los ganchos no conformes y se evite su uso accidental. Al final de cada turno, estos ganchos se trasladarán a la zona de chatarra.

### **5.5.3. Capacitación al personal**

A los efectos de garantizar la permanencia y efectividad en el tiempo, se desarrollarán una serie de divulgaciones en el personal para lograr transmitir la importancia de la mejora continua en la organización. Adicionalmente, aprovechar estos espacios para recopilar ideas que puedan

incorporarse al desarrollo de las mejoras. Estas capacitaciones serán para todos los niveles de la organización, ya que la mejora es un compromiso de todos los colaboradores de la empresa. En estos espacios, se dictarán no sólo contenidos de carácter técnico (técnicas de aplicación de pintura, procesos de soldadura, entre otros temas) sino también actitudinal (liderazgo y trabajo en equipo, gestión del cambio, entre otros temas), porque la mejor manera de garantizar la eficiencia y eficacia de un proceso es contando con una mano de obra capacitada y motivada.

#### **5.5.4. Implementación de herramientas de control de procesos**

Se desarrollará un estándar para el reporte de control estadístico de procesos, el cual Calidad emitirá un resumen semanal dirigido al área de Producción y mensualmente se revisarán las causas más significativas, en esa misma reunión se hará seguimiento a los compromisos asumidos por las áreas para cerrar las brechas detectadas. En este informe se reportará usando, al menos, las siguientes herramientas:

- Diagrama de Pareto
- Gráfica de control para el número de productos defectuosos
- Gráfica de control para las principales variables cuantitativas (longitud, espesor)
- Cronograma de compromisos asumidos y estatus de las acciones.

#### **5.6. Resultados obtenidos**

Durante el desarrollo de la presente investigación, se diagnosticó el estado general del proceso de fabricación de vigas, identificando las fuentes de variabilidad de los procesos; la Tabla 11 y la Figura 17 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el proceso productivo. Durante el periodo octubre 2020 a junio 2021 se presentaron 4,815 vigas defectuosas, es decir, la tasa semanal de defectos ronda las 123 unidades, lo que equivale al 4.29% del volumen de producción. Los límites de control inferior y superior calculados para el proceso son de 90.95 y 156.07, respectivamente.

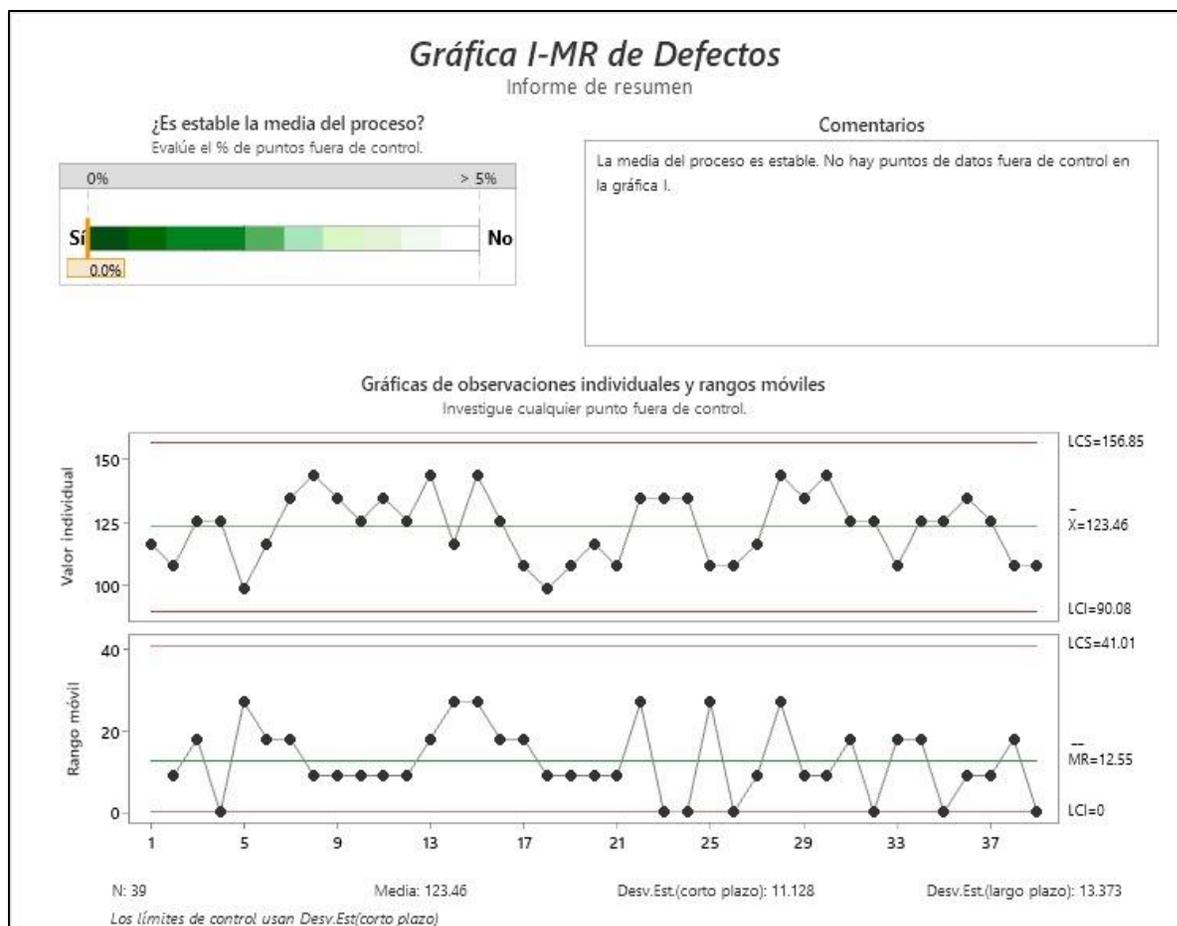
**Tabla 11***Relación unidades*

<b>Semana</b>	<b>Defectuosos</b>	<b>Semana</b>	<b>Defectuosos</b>
CW40-20	117	CW08-21	108
CW41-20	108	CW09-21	135
CW42-20	126	CW10-21	135
CW43-20	126	CW11-21	135
CW44-20	99	CW12-21	108
CW45-20	117	CW13-21	108
CW46-20	135	CW14-21	117
CW47-20	144	CW15-21	144
CW48-20	135	CW16-21	135
CW49-20	126	CW17-21	144
CW50-20	135	CW18-21	126
CW51-20	126	CW19-21	126
CW52-20	144	CW20-21	108
CW01-21	117	CW21-21	126
CW02-21	144	CW22-21	126
CW03-21	126	CW23-21	135
CW04-21	108	CW24-21	126
CW05-21	99	CW25-21	108
CW06-21	108	CW26-21	108
CW07-21	117		

*Nota.* Elaboración propia.

Figura 12

Gráfico individual por defectos



*Nota.* Elaboración propia.

### **Análisis de resultados**

A continuación, la siguiente tabla nos muestra el resultado del diagnóstico de cada etapa correspondiente a la metodología DMAIC.

Tabla 12

## Resultados de Indicadores

<i>Variable</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Índice</i>																						
	<i>Definición</i>	4.29%																						
	<i>Medición</i>	<i>Corte</i> $C_p = 0.84$ $C_{pk} = 0.51$ $P_p = 0.72$ $P_{pk} = 0.44$	<i>Pintura</i> $C_p = 0.95$ $C_{pk} = 0.90$ $P_p = 1.02$ $P_{pk} = 0.97$																					
<b>DMAIC</b>	<i>Análisis</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CAUSA RAÍZ</th> <th>CANT.</th> <th>ÍNDICE DE CAUSAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MATERIALES</td> <td>4.200</td> <td>37,92%</td> </tr> <tr> <td>MÉTODOS</td> <td>3.484</td> <td>31,46%</td> </tr> <tr> <td>MAQUINARIAS</td> <td>1.572</td> <td>14,19%</td> </tr> <tr> <td>MANO DE OBRA</td> <td>1.511</td> <td>13,64%</td> </tr> <tr> <td>MEDICIONES</td> <td>191</td> <td>1,72%</td> </tr> <tr> <td>MEDIO AMBIENTE</td> <td>117</td> <td>1,06%</td> </tr> </tbody> </table>		CAUSA RAÍZ	CANT.	ÍNDICE DE CAUSAS	MATERIALES	4.200	37,92%	MÉTODOS	3.484	31,46%	MAQUINARIAS	1.572	14,19%	MANO DE OBRA	1.511	13,64%	MEDICIONES	191	1,72%	MEDIO AMBIENTE	117	1,06%
		CAUSA RAÍZ	CANT.	ÍNDICE DE CAUSAS																				
MATERIALES	4.200	37,92%																						
MÉTODOS	3.484	31,46%																						
MAQUINARIAS	1.572	14,19%																						
MANO DE OBRA	1.511	13,64%																						
MEDICIONES	191	1,72%																						
MEDIO AMBIENTE	117	1,06%																						
	<i>Mejoramiento</i>	86.75%																						
	<i>Control</i>	Reportes (anexo)																						
<b>PRODUCTIVIDAD</b>	<i>Eficiencia</i>	<i>MP. Programado Tn.</i> <b>610</b>	<i>MP. Utilizado (antes) Tn.</i> <b>520,7</b>	<i>MP. Utilizado (después) Tn.</i> <b>552,9</b>	<b>Eficiencia (mermas)</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Antes</th> <th>Después</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>85,36%</b></td> <td><b>90,64%</b></td> </tr> </tbody> </table>		Antes	Después	<b>85,36%</b>	<b>90,64%</b>														
		Antes	Después																					
<b>85,36%</b>	<b>90,64%</b>																							
<i>Eficacia</i>	<i>P. Planificado</i> <b>112320</b>	<i>P. conforme antes</i> <b>101245</b>	<i>P. conforme después</i> <b>107505</b>	<b>eficacia</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Antes</th> <th>Después</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>90,14%</b></td> <td><b>95,71%</b></td> </tr> </tbody> </table>		Antes	Después	<b>90,14%</b>	<b>95,71%</b>															
Antes	Después																							
<b>90,14%</b>	<b>95,71%</b>																							

**Prueba de Hipótesis:** La prueba de hipótesis se realizó mediante comparación de medias.

- *Hipótesis planteada*

**H0:** La aplicación de la metodología DMAIC no mejorará la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

**H1:** La aplicación de la metodología DMAIC mejorará la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

Condiciones teóricas:

$$H0: \bar{x} \geq \mu$$

$$H1: \bar{x} < \mu$$

$\bar{x}$ : Índice de productividad antes de la aplicación de la metodología DMAIC.

$\mu$ : Índice de productividad después de la aplicación de la metodología DMAIC.

Se eligió el nivel de significancia de 0.05, lo cual determina una zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, donde  $Z = -1.64$ , todos valores menores que  $Z$  estarán rechazando la hipótesis nula contrariamente los valores mayores a  $Z$  están la zona de aceptación

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \longrightarrow Z = -4.26$$

Viendo el valor de  $Z$  que se ubica en la zona de rechazo podemos deducir que se acepta la hipótesis alternativa.

## 6. Discusión de resultados

Se contrastan los resultados obtenidos por los investigadores citados en los antecedentes del marco teórico de la presente investigación con los resultados de nuestra investigación.

Espinoza y Criollo (2021) en su investigación titulada "**Modelo de Producción para la Reducción de Tiempos de Entrega de Pedido en una empresa metalmeccánica de Lima Metropolitana basado en Six Sigma**" llegaron a la conclusión gracias a la implementación de DMAIC mejoras en varios indicadores, se mejoró y logró reducir los costos en el proceso de producción, disminuyendo el tiempo total del ciclo de producción, incremento la productividad y por ende se mejoró en el tiempo de entrega de los productos a los clientes. Mientras que nuestra investigación titulada "**Aplicación de la Metodología DMAIC para la Mejora de La Productividad en el Proceso de Fabricación de Vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)**" se realizó el diagnostico situacional inicial de la empresa encontrándonos con indicadores por debajo de lo establecido, luego aplicamos los planes de mejora a través de la metodología DMAIC llegando a la conclusión final y su respectiva evaluación que se mejoró positivamente. La utilización oportuna de los recursos y la mano de obra calificada los cuales nos ayudaron a mejorar la productividad de vigas en la empresa. Quiere decir que coincidimos con el tesista

Barboza y Irigoien (2018). En su investigación titulada "**Propuesta de un sistema integrado de gestión logística y producción mediante la aplicación de la herramienta DMAIC y la gestión de almacenes y compras para el incremento de la rentabilidad de la empresa Steelworks Ingenieros S.A.C.**" se pudo demostrar que el trabajo coordinado de las áreas de Producción y Logística resultan esenciales para que la empresa metalmeccánica pueda cumplir con sus objetivos. Es así como el no contar con los productos necesarios para realizar cierta operación, ocasiona retraso en la producción, horas-hombre muerto y por ende lucro cesante; además de ser la principal razón de incurrir en penalidades. Mientras que, el querer evitar el retraso en la producción, ocasionó que el área de Logística incurra en excesivos costos

por compras de emergencia. Por otro lado, el no contar con una buena gestión de su almacén ocasión, demoras en el despacho, así como gastos por compras de productos ya existentes. Todos estos costos indicados, afectaron en S/610,704.92 a la rentabilidad esperada en el año 2017. Se aplicó la herramienta DMAIC y SMED para solucionar los problemas encontrados en el área de producción mejorando significativamente. De la misma forma en nuestra investigación titulada **“Aplicación de la Metodología DMAIC para la Mejora de La Productividad en el proceso de Fabricación de Vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)”** se realizó el diseño de plan de implementación, mejoras en el proceso de producción de las vigas, capacitación al personal, plan de mantenimiento, actividades motivacionales; las cuales nos ayudaron a mejorar la productividad y disminuir las unidades defectuosas semanales

Garrido (2019). En su investigación titulada **"Propuesta de mejoramiento de los procesos priorizados de producción y de prestación de servicio de mantenimiento en la Empresa Metalmecánicas Muñoz S.A.S."** basado en la metodología Seis Sigma". Para lograr los objetivos trazados se ejecutó la metodología mixta lean seis sigmas. En definitiva, el establecimiento de carta control a través del programa Minitab evidencio que las líneas de producción de resorte y cabezales estaban alineadas a los esperado teniendo un comportamiento contrario al de fabricación de camisas. En conclusión, existe una brecha en la mejora, número de defectos y productos no conformes podrían disminuir. De la misma forma en nuestra investigación titulada **“Aplicación de la Metodología DMAIC para la Mejora de La Productividad en el proceso de Fabricación de Vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)”** se logró reducir la producción de unidades defectuosas de 205 unidades por semana que equivale a un 9.86% del total de producción. Se detectó los cinco procesos críticos como son: 64.78% de los defectos son causados en el proceso de pintura, seguido del área de punzonado, con el 21.42% de los casos reportados. Los cinco defectos más comunes fueron: deficiencias en apariencia (31.52%), problemas de adherencia de pintura

(23.57%), deficiencias en soldadura (7.27%), diferencias con el plano (4.75%) y espesor inadecuado (4.61%). Luego de la puesta en marcha de la metodología DMAIC se mejoró significativamente disminuyendo el número de unidades defectuosas en un 4.29% del total y una mejora en la productividad. Concluyéndose que al aplicar la metodología DMAIC Incrementa la productividad significativamente en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

## 7. Conclusiones

El diagnóstico inicial antes de la aplicación de la metodología DMAIC realizado para fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión, determinó que el índice de productividad es de 76.94%, producto de indicadores (eficiencia y eficacia) utilizados para el trabajo de investigación.

Con la ejecución de la propuesta de investigación empleando la metodología DMAIC a partir de los resultados iniciales, Se elaboró un plan de trabajo orientado a la implementación de la misma, ejecutando cada etapa del ciclo, por ejemplo, respecto a la etapa “Análisis”, el diagrama de Ishikawa muestra que 4200 y 3484 defectos están vinculadas a materiales y métodos respectivamente esto resulta el 69.38% del total de defectos.

Después de la aplicación de la metodología DMAIC se determinó que índice de productividad es de 86.75% para el proceso de fabricación de vigas de la empresa Construcciones Metálicas Unión. Así también se logró un impacto positivo; obteniendo un promedio de 123 unidades defectuosas a la semana, lo que equivale a una tasa de rechazo del 4.29% y un incrementando en 9.8% el índice de productividad. Del mismo modo se reportó incrementos en los principales indicadores que se mencionaron en el trabajo de investigación como por ejemplo el índice de eficiencia física respecto a la cantidad de desperdicio en 6.18%, sintetizando la optimización de uso de materia prima en relación a la cantidad de desperdicio respecto a lo establecido.

La evaluación final de la productividad nos muestra una diferencia significativa entre la productividad antes y después de la aplicación de la metodología DMAIC obteniendo un 12.75% de incremento en junio del 2021 respecto a febrero del 2020.

Concluyéndose que al aplicar la metodología DMAIC mejorará significativamente la productividad en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).

## 8. Recomendaciones

- Hacer el seguimiento de manera permanente y constante para que se puedan tomar las medidas correctivas de manera oportuna, así como también para que se cree una conducta habitual respecto a la mejora continua.
- Diseñar un aplicativo informático que permita hacer más fácil la labor de monitoreo y evaluación.
- Capacitar permanentemente al personal de la empresa Construcciones Metálicas Unión. Sobre la Metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)

### Referencias bibliográficas

- Acosta, C; Sierra, J y Figueroa, K. (2020). Aplicación de la Metodología LEAN SIX SIGMA en el área de metalmecánica de producción de refrigeradores comerciales en la organización FRIOMIX DEL CAUCA. *Revista de Ingeniería Industrial, Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, Colombia.*  
<http://unividadafup.edu.co/repositorio/files/original/23beb0b830d7ba53a9115d8536022de1.pdf>
- Barboza, R y Irigoín, MP. (2018). *Propuesta de un sistema integrado de gestión logística y producción mediante la aplicación de la herramienta DMAIC y la gestión de almacenes y compras para el incremento de la rentabilidad de la empresa Steelworks Ingenieros S.A.C.* [Tesis de titulación, Universidad Privada el Norte] Repositorio UPN.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13550/Barboza%20Rebaza%2c%20Rita%20Azucena%20-%20Irigoin%20Astopilco%2c%20Maria%20Paula.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Benites, J. (2018). *Uso de herramientas Lean Manufacturing para mejorar la productividad en la industria metalmecánica peruana: revisión sistemática.* [ tesis para optar por el título de ingeniero industrial, Universidad Privada del Norte] Repositoriod de UNP.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14221/Benites%20Leyva%2c%20Juan%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carranza, I y Villayzán, E. (2020). *Modelo de mejora basado en cuatro técnicas de Lean Manufacturing para el aumento de la productividad en una empresa metalmecánica de Lima.*[ para optar por el título de ingeniero industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653540/Carranza\\_II.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653540/Carranza_II.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- Criollo, M y Espinoza, A. (2021). *Modelo de Producción para la Reducción de Tiempos de Entrega de Pedido en una empresa metalmecánica de Lima Metropolitana basado en Six Sigma*, .[ para optar por el título de ingeniero industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655122>
- De Oliveira y Cotrim (2017). Ingeniería de valor y coste en el desarrollo de nuevos productos en una empresa metalmecánica. *Revista TCC* [http://www.dep.uem.br/gdct/index.php/dep\\_tcc/article/view/433](http://www.dep.uem.br/gdct/index.php/dep_tcc/article/view/433)
- García, A. (2018). *Productividad y reducción de costos: para la pequeña y mediana industria*. Trillas. México. p.297. ISBN: 978-607-170733-8.
- Garrido, B. (2019). *Propuesta de mejoramiento de los procesos priorizados de producción y de prestación de servicio de mantenimiento en la Empresa Metalmecánicas Muñoz S.A.S. basado en la metodología Seis Sigma*. [ para optar por el título de ingeniero industrial, Universidad Pontificia Bolivariana]. Recuperado de la Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8310/39057.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez, H. (2019). *Calidad y Productividad*. 4a ed. Editorial McGraw- Hill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V. México D.F. 382 p. ISBN: 978-607-15-0315-2
- Gutiérrez, H. y Vara, R. (2018). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México: McGRAW-HILL.
- Herrera, R. y Fontalvo, T. (2019). *Seis sigma: métodos estadísticos y sus aplicaciones*.
- Hernández, R; et al. (2018). *Metodología de la Investigación*. 6ª. ed. McGraw-Hill. México, D.F., 2001. Pág. 52 – 134.
- Ministerio de la Producción. (2020). *Reporte de Producción Manufacturera*. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos->

publicaciones/boletines-industria-manufacturera/item/913-2020-junio-reporte-de-  
produccion-manufacturera

Montemovo, A; Gomes, T; de Oliveira, F y Borges, M. (2020). Metodología DMAIC para mejorar procesos de producción en la industria metalmecánica. *Create Revista de Ingeniería*. 3(1). Brasil.

<https://periodicos.unifacef.com.br/index.php/creare/article/view/2024>

Núñez, J y Tapia, Y. (2020). *Propuesta de mejora para reducir las demoras en la entrega de pedidos fuera de tiempo por ineficiencia de procesos productivos aplicando herramientas Lean para una empresa MYPE del sector metalmecánico en Lima*, .[ para optar por el título de ingeniero industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/656197/Nu%c3%b1ez\\_J.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/656197/Nu%c3%b1ez_J.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Socconini, L. (2018). *Lean Company más allá de la manufactura*. Guadalajara, Mexico. Pandora Impresiones.



Anexo 2: Documento de inspección de Soldadura

AREA DE PRODUCCION - CONTROL DE CALIDAD

INSPECCION DE SOLDADURA - VIGA		CODIGO: PY-420
PROYECTO: EXTERNO	LOTE: 420	Nº RESUMEN: 025
NOMBRE DEL SOLDADOR: PAUL DARETEO SILVESTRE		REVISION: N° 85
PROCESO DE SOLDADURA		FECHA: 27-05-21

JUNA		MATERIAL BASE	
SENCILLA <input checked="" type="checkbox"/>	DOBLE <input type="checkbox"/>	ESPECIFICACION: UM-0045	E-7012
MATERIAL DE RESPALDO: Electrolux		TIPO O GRABO: 200°	
ANGULO DE LA UNION: Stueben		CLASE DE ELECTRODO EMPLEADO: E-7012	
MÉTODO: Stueben		DIAMETRO (mm): 2.5 mm	
		RAJADA: FILETE:	
MATERIAL DE APORE		TÉCNICA	
ESPECIFICACION AWS:	PRECALENTAMIENTO: 200°C	CORDON RECTO	
CLASIFICACION AWS:	TEMPERATURA ENTRE PASOS:	PASO SENCILLO O MÚLTIPLE	
TEMPERATURA:		NÚMERO DE ELECTRODOS	
		LIMPIEZA ENTRE PASOS	
		OTRAS PRUEBAS Y O EMBASOS	
APARIENCIA: D.K-	SOCAVADO: NO		
POROSIDAD: NO	CONVEXIDAD: NO		
CONCAVIDAD: NO	TESTIG: Ing Melander		
FECHA DEL EMBASO: 27/05/21			

ETAPA DE SOLDAR		ENSAMBLE		POSICION DE LA SOLDADURA		
FONDEO	TIRANTE	TRASLAME		1G	3G	4G
PRELENDO	VIGA <input checked="" type="checkbox"/>	GANCHOS				
PREBIBACION	POSTE					
				OTRO: 2F		

RESPONSABLE: Ing. Melander

## Anexo 3: Documento de informe de Desviación

INFORME DE DESVIACION	
PRODUCTO: <i>Pautera en Polvo</i>	Nº DE REQUIMEN:
OPERACION: <i>Pautera</i>	FECHA: <i>DD/MM/AA</i>
ACTIVIDAD: <i>P-91</i>	Lote: <i>B-91</i> Situación: <i>---</i>
ESPECIFICACION DE DESVIACION: <i>Porosidad natural</i>	PROCEDENTE DE: <i>A</i>
DETALLES	
PROCESO: <i>Area de Pautera</i>	CAUSA: <i>---</i>
DESCRIPCION: <i>Viga con paradas y oxidado</i>	EFFECTO: <i>---</i>
COM PROMISO: <i>APTO</i>	ACCION INMEDIATA: <i>A Pautera</i>

RESPONSABLE: *JMG. RAMIREZ RAMIREZ*

Anexo 4: Documento de inspección del montaje de Viga.

CONTROL DE CALIDAD ESTRUCTURA METÁLICA

PRODUCTO: RACKS PESADOS		PROGRAMA DE INSPECCIÓN		VIGAS		Cód:	27-640
						FECHA:	27/05/2021
						LOTE:	840
						Para PARS PESADOS	
Nº	Control	Método	Documento	Responsable	Fecha	Observaciones	
<b>CONTROL DE RECEPCION</b>							
1.1	Fecha de suministro, guía o remisión	Revisión y gestión documental	Formato de recepción de material	Ing. Fredy Devera	27/05/2021		
1.2	Certificados de garantía	Revisión y gestión documental	Formato de recepción de material	Ing. Fredy Devera	27/05/2021		
1.3	Distintivos de calidad	Revisión y gestión documental	Formato de recepción de material	Ing. Fredy Devera	27/05/2021		
<b>CONTROL DE OPERACION</b>							
<b>FABRICACION</b>							
2.1	Inspección del trazado y preparación	Visual - Medición	Ficha de control dimensional	Ing. Fredy Devera	27/05/2021		
2.2	Corte de material	Verificación - Medición	Ficha de control dimensional / planos de taller	Ing. Fredy Devera	27/05/2021		
2.3	Pre-armado	Visual - Medición	Ficha de control dimensional / planos de taller	Ing. Fredy Devera	27/05/2021		
2.4	Arriado A. Unión con remaches B. Unión con pernos C. Unión con soldadura	Visual - Medición - END	Planos de taller	Ing. Fredy Devera	27/05/2021		
2.5	Limpieza	Revisión documental	Ficha inspección de limpieza / planos de taller	Ing. Fredy Devera	-		Para estas piezas se realiza limpieza y pintura en obra (proceso a realizar en la etapa de montaje)
2.6	Pinura	Revisión documental	Ficha de inspección de pintura / planos de taller	Ing. Fredy Devera	-		Para estas piezas se realiza limpieza y pintura en obra (proceso a realizar en la etapa de montaje)

Anexo 5: Documento de inspección del montaje de viga.

CONTROL DE CALIDAD ESTRUCTURA METÁLICA

CONTROL DE OPERACION						
2						
27	Transporte de piezas	Revisión y gestión documental	Acta y/o informe diario	Arq. Denise Ortiz		27/05/2021
28	Recepción	Revisión y gestión documental	Ficha de identificación, acta y/o informe diario	Arq. Denise Ortiz		27/05/2021
29	Preparación y armado A. Unión con remaches B. Unión con pernos C. Unión con soldadura	Visual - Medición - END	Planos de montaje	Arq. Denise Ortiz		27/05/2021
210	Limpieza	Revisión y gestión documental	Ficha de inspección de limpieza / Planos de montaje	Arq. Denise Ortiz		27/05/2021
211	Pintura	Revisión y gestión documental	Ficha de inspección de pintura / Planos de montaje	Arq. Denise Ortiz		27/05/2021
3						
CONTROL DE SALIDA						
3.1	Acta de recepción de obra terminada	Identificación y estado, verificación, revisión y gestión documental	Proyecto/planos y especificaciones/ gestión de acta de recepción de obra terminada	Arq. Denise Ortiz		27/05/2021
3.2	Inspección y ensayos	Verificación, revisión y gestión documental	Gestión ficha de inspección y ensayos/ todas las fichas de inspección	Arq. Denise Ortiz		27/05/2021

RESPONSABLE: Arq. Ortiz y Ing. Devera

Anexo 6: Informe de capacitación

AREA DE PRODUCCION - CONTROL DE CALIDAD

FICHA DE CAPACITACION (SEMANAL)						Cdd:
TECNICO:						ASIS:
ACTIVIDAD:	Lote:		Situación/PK		FECHA:	NO RESUMEN
Cdd. activ:					DD/MM/AA	
Idad:						
Descripción						
	fecha	RRHH	Calidad	Producción 1	Producción 2	Nº
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
OBSERVACIONES:						

RESPONSABLE: \_\_\_\_\_

## Anexo 7: Consentimiento Informado

Lima, 10 de febrero de 2021

Señores:

Universidad Nacional Hermilio Valdezán (UNHEVAL)

Asunto: Carta de consentimiento

Por medio de la presente, yo, Luis Emilio Moreno Saavedra, identificado con el CE N° 001984246, doy constancia que el ciudadano Elvis Gomero Boza, portador del DNI N° 73113930 estuvo desarrollando, bajo mi supervisión, un Plan de Mejora basado en la Metodología DMAIC para mejorar la productividad en el proceso de fabricación de vigas en nuestra fábrica. Del mismo modo, autorizo al referido estudiante a utilizar la información levantada con fines meramente académicos.



Ing. Luis E. Moreno S.

CE 001984246



## Anexo 9. Matriz de consistencia

TITULO	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA
Aplicación de la metodología DMAIC para la mejora en la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa construcciones metálicas Unión (CMUSA).	¿La aplicación de la metodología DMAIC permitirá mejorar la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?	Determinar que la aplicación de la metodología DMAIC permitirá mejorar la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).	H0: La aplicación de la metodología DMAIC no mejorará la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).	VARIABLE INDEPENDIENTE	<b>Diseño Metodológico:</b>  Transversal, descriptivo-correlacional  <b>Tipo:</b> No experimental y básica. <b>Enfoque:</b> Cuantitativo  <b>Poblacion:</b> La producción total de componentes para racks pesados (postes, vigas y tirantes) producidas en la empresa Construcciones Metálicas Unión durante el periodo 2019-2021.
	<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>		Metodología DMAIC	
	¿Cuál es el diagnóstico de la productividad en la fabricación de vigas en la empresa en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?	Determinar la productividad antes de aplicar la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).	H1: La aplicación de la metodología DMAIC mejorará la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).	VARIABLE DEPENDIENTE	La producción total de vigas para racks pesados elaboradas en la empresa Construcciones Metálicas Unión durante el periodo 2019-2021.  <b>Técnicas:</b> Observación y revisión documental.  <b>Instrumentos:</b> Formatos de registros
	¿Cuál será la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de vigas en la empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?	Aplicar la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).		La Productividad	
¿Cómo influye la metodología DMAIC en la productividad en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA)?	Determinar la productividad después de aplicar la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de vigas en la Empresa Construcciones Metálicas Unión (CMUSA).  Evaluar si existe diferencia significativa entre la productividad antes y después de la aplicación de la metodología DMAIC.				

## Anexo 10. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Fórmulas	Escala
VI: La metodología DMAIC	DMAIC es una metodología de 5 fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. (Gutierrez,2014)	Con el uso de la metodología DMAIC se va definir la magnitud real del problema, seguidamente se medirá los puntos críticos presentes en el proceso, para da paso a un análisis detallado de las causas principales de la situación problemática, luego se ejecutan las mejoras para solventar los inconvenientes encontrados. Por último, se pone en cuso un programa de control para sostener n el tiempo lo realizado.	Definición	Índice de defectos	$\frac{\text{producción no conforme}}{\text{Producción Total}} \times 100$	Razón
			Medición	Índice de capacidad de proceso (Cp)	$\frac{LESi - LEIi}{6s}$	Razón
			Análisis	Índice de causas	$\frac{\text{causa raiz}}{\text{total defectos}} \times 100$	Razón
			Mejoramiento	Índice de productividad	<i>Eficiencia * eficacia</i>	Razón
			Control	Reportes	-	Razón
VD: La productividad	Es la relación entre los productos obtenidos y los insumos usados o los factores de la producción intervinientes.(García,2018)	La productividad intenta manejar y registrar las pérdidas de materia prima y de la producción diaria efectiva.	Eficiencia	Eficiencia física del proceso	$\frac{\text{Materia Prima Utilizada}}{\text{Materia Prima Programada}} \times 100$	Razón
			Eficacia	Índice de conformidad	$\frac{\text{Producción Conforme}}{\text{Producción Planificada}} \times 100$	Razón



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

En Huánuco, a los 21 días del mes de diciembre de 2022, siendo las 08:30 h, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, TÍTULO VI – CAPITULO I Art. 76° al 79°, aprobado mediante Resolución Consejo Universitario N° 0734-2022-UNHEVAL; se procedió a la evaluación virtual de la sustentación de la tesis titulado **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIGAS EN LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METÁLICAS UNIÓN (CMUSA)**, presentado el Bachiller en Ingeniería Industrial: **Elvis GOMERO BOZA**.

Este evento se realizó ante los miembros del Jurado Calificador, integrado por los siguientes catedráticos:

**PRESIDENTE:** DRA. GUADALUPE RAMÍREZ REYES.

**SECRETARIO:** DR. JORGE R. HILARIO CÁRDENAS.

**VOCAL:** DR. GERARDO GARAY ROBLES.

Finalizado el acto de sustentación, se procedió a la calificación conforme al Artículo 79° del Reglamento de Grados y Títulos, obteniéndose el siguiente resultado: **Nota: 18 (Dieciocho)** equivalente a la calificación de Muy bueno. Quedando el Bachiller en Ingeniería Industrial: Elvis GOMERO BOZA: aprobado

Con lo que se dio por concluido el acto y en fe de la cual firman los miembros del jurado Calificador.

.....  
**PRESIDENTE**

.....  
**SECRETARIO**

.....  
**VOCAL**

**UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZÁN” DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



## CONSTANCIA DE APTO

De acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos Modificado de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 1893-2021-UNHEVAL, de fecha 17 de agosto de 2021 y en atención a la Tercera Disposición Complementaria, donde estipula que los trabajos de investigación y tesis de pregrado deberán tener una similitud máxima del 30%.

Después de aplicado el Software Turnitin, se evidencia una similitud del 21% encontrándose bajo los parámetros reglamentados.

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial:

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA  
MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE VIGAS EN LA EMPRESA  
CONSTRUCCIONES METÁLICAS UNIÓN (CMUSA)”**

Tesista

**Bach. Ingeniería Industrial Elvis Gomero Boza**

Huánuco, 17 de enero de 2023

Nérida del Carmen Pastrana Díaz  
Directora de Investigación - FIIS

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

### 1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

<b>Pregrado</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Segunda Especialidad</b>		<b>Posgrado:</b>	<b>Maestría</b>		<b>Doctorado</b>	
Pregrado (tal y como está registrado en <b>SUNEDU</b> )								
<b>Facultad</b>	INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS							
<b>Escuela Profesional</b>	INGENIERÍA INDUSTRIAL							
<b>Carrera Profesional</b>	INGENIERÍA INDUSTRIAL							
<b>Grado que otorga</b>	-----							
<b>Título que otorga</b>	INGENIERO INDUSTRIAL							
Segunda especialidad (tal y como está registrado en <b>SUNEDU</b> )								
<b>Facultad</b>	-----							
<b>Nombre del programa</b>	-----							
<b>Título que Otorga</b>	-----							
Posgrado (tal y como está registrado en <b>SUNEDU</b> )								
<b>Nombre del Programa de estudio</b>	-----							
<b>Grado que otorga</b>	-----							

### 2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

<b>Apellidos y Nombres:</b>								
<b>Tipo de Documento:</b>	<b>DNI</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Pasaporte</b>		<b>C.E.</b>		<b>Nro. de Celular:</b>	967241433
<b>Nro. de Documento:</b>	73113930				<b>Correo Electrónico:</b>	elvis12boza01@gmail.com		
<b>Apellidos y Nombres:</b>								
<b>Tipo de Documento:</b>	<b>DNI</b>		<b>Pasaporte</b>		<b>C.E.</b>		<b>Nro. de Celular:</b>	
<b>Nro. de Documento:</b>					<b>Correo Electrónico:</b>			
<b>Apellidos y Nombres:</b>								
<b>Tipo de Documento:</b>	<b>DNI</b>		<b>Pasaporte</b>		<b>C.E.</b>		<b>Nro. de Celular:</b>	
<b>Nro. de Documento:</b>					<b>Correo Electrónico:</b>			

### 3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

<b>¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?:</b> (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)							<b>SI</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b>	
<b>Apellidos y Nombres:</b>	VILLAVICENCIO CABRERA MARCO ANTONIO				<b>ORCID ID:</b>	https://orcid.org/ 0000-0002-8879-9421				
<b>Tipo de Documento:</b>	<b>DNI</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Pasaporte</b>		<b>C.E.</b>		<b>Nro. de documento:</b>	22490808		

### 4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

<b>Presidente:</b>	RAMIRÉZ REYES GUADALUPE
<b>Secretario:</b>	HILARIO CÁRDENAS JORGE RUBEN
<b>Vocal:</b>	GARAY ROBLES GERARDO
<b>Vocal:</b>	
<b>Vocal:</b>	
<b>Accesitario</b>	

**5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los datos requeridos completos)**

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)	
<b>APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIGAS EN LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METÁLICAS (CMUSA)</b>	
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)	
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL	
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.	
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.	
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.	
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.	
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.	
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.	

**6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los datos requeridos completos)**

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)		2022			
<b>Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional:</b> (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo		
	Trabajo de Investigación		Trabajo de Suficiencia Profesional		
	Trabajo Académico		Otros (especifique modalidad)		
<b>Palabras Clave:</b> (solo se requieren 3 palabras)					
<b>Tipo de Acceso:</b> (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*)		
	Con Periodo de Embargo (*)		Fecha de Fin de Embargo:		
<b>¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora?</b> (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):			SI	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Información de la Agencia Patrocinadora:</b>					

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.



**7. Autorización de Publicación Digital:**

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
Apellidos y Nombres:	GOMERO BOZAELVIS	Huella Digital
DNI:	73113930	
Firma:		Huella Digital
Apellidos y Nombres:		
DNI:		Huella Digital
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha: 23-01-2023		

**Nota:**

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una X en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.