



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
VI CICLO DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**“AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA”**

**LIBRO N° 01 FOLIO N° 73 ACTA N° 72 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

Siendo las 17:19 horas del día 11 de julio de 2021, de manera no presencial en forma remoto virtual - vía plataforma de internet google meet: <https://meet.google.com/skp-zvsf-ato>, se reunió el Jurado de Sustentación del VI Ciclo de Tesis para la obtención del TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO por la modalidad de Ciclo de Tesis de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, designado mediante Resolución de Consejo de Facultad N° 107-2021-CFIQ de fecha 14 de junio de 2021, integrado por:

<b>Ing. Dr. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>Lic. Dr. TRUJILLO PÉREZ SALVADOR APOLINAR</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>Ing. Mg. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH</b>	<b>VOCAL</b>

Con la finalidad de evaluar la sustentación de la tesis titulada “MEJORA DEL PROCESO DE PINTADO ELECTROSTÁTICO EN PIEZAS METÁLICAS DE UNA EMPRESA METALMECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA SIX SIGMA”, presentado por el(la) bachiller:

Don(ña)  
**MONICA MELENDEZ ROCCA**

Acto seguido se procedió a la sustentación de la tesis en forma remoto virtual - vía plataforma de internet google meet: <https://meet.google.com/skp-zvsf-ato>, con el fin de optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, luego de la sustentación, los miembros del Jurado de sustentación formularon las respectivas preguntas, las mismas que fueron absueltas.

Terminada la sustentación, el Jurado de Sustentación de Tesis luego de deliberar, acuerda:

**APROBAR** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **DIECISIETE (17)** la presente tesis titulada “MEJORA DEL PROCESO DE PINTADO ELECTROSTÁTICO EN PIEZAS METÁLICAS DE UNA EMPRESA METALMECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA SIX SIGMA”, conforme a lo dispuesto en el **REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS** de la Universidad Nacional del Callao aprobado mediante Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU de fecha 30 de octubre de 2018.

Se eleva la presente acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, a fin de que se declare **APTO** para conferir el Título Profesional de Ingeniería Química.

Se extiende la presente acta, a las 18:19 horas del mismo día.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
VI CICLO DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

---

---

**Ing. Dr. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

---

**Lic. Dr. TRUJILLO PEREZ SALVADOR APOLINAR  
SECRETARIO DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Mg. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH  
VOCAL DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

---

**Lic. Mg. LAYZA BERMUDEZ FERNANDO HIPOLITO  
SUPLENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Mg. HUAMANI TAIPE GUMERCINDO  
ASESOR DEL VI CICLO DE TESIS**

---

**Ing. Dra. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA  
REPRESENTANTE CGT VI CICLO DE TESIS**

---

**Ing. Mg. GRANDA LIZANO JULIO MARCELO  
SUPERVISOR GENERAL VI CICLO DE TESIS**

---

**Ing. Mg. CARRANZA NORIEGA  
RAYMUNDO MAXIMO DEL CARMEN  
SUPERVISOR DE FACULTAD VI CICLO DE TESIS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
VI CICLO DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**■ AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA ■**

**INFORME N° 013-2021-JS-VICT-FIQ**

DE : Ing. Dr. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN  
VI CICLO DE TESIS – FIQ

PARA : Ing. Mg. CARRANZA NORIEGA RAYMUNDO MAXIMO  
DECANO (e) – FIQ

ASUNTO : LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES

FECHA : Bellavista, 14 DE JULIO DE 2021

---

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y a su vez comunicarle que al haberse visto y revisado las observaciones formuladas por el Jurado de Sustentación del VI Ciclo de Tesis FIQ a la Tesis titulada "MEJORA DEL PROCESO DE PINTADO ELECTROSTÁTICO EN PIEZAS METÁLICAS DE UNA EMPRESA METALMECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA SIX SIGMA" presentado por la bachiller señorita MONICA MELENDEZ ROCCA de la Facultad de Ingeniería Química, el Jurado de Sustentación da su conformidad respecto al levantamiento de observaciones para que continúe con los trámites respectivos.

Atentamente.

---

**Ing. Dr. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN  
VI CICLO DE TESIS – FIQ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“MEJORA DEL PROCESO DE PINTADO ELECTROSTÁTICO EN  
PIEZAS METÁLICAS DE UNA EMPRESA METALMECÁNICA  
APLICANDO LA METODOLOGÍA SIX SIGMA”**

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

**MÓNICA MELÉNDEZ ROCCA**

**CALLAO, 2021**

**PERÚ**

A blue ink signature of Mónica Meléndez Rocca, written over a horizontal line.

A blue ink signature, likely of a supervisor or advisor, written in a cursive style.



## **PRÓLOGO DEL JURADO**

La presente Tesis fue sustentada por la señorita Bachiller Meléndez Rocca Mónica, ante el jurado de sustentación de tesis conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

Ing. Dr. CARLOS ALEJANDRO ANCIENTA DEXTRE	PRESIDENTE
Lic. Dr. SALVADOR APOLINAR TRUJILLO PÉREZ	SECRETARIO
Ing. Mg GLADIS ENITH REYNA MENDOZA	VOCAL
Ing. HUAMANI TAIPE GUMERCINDO	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro N° 1 Folio N° 73 Acta N° 72, de la fecha 11 de julio del 2021, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con ciclo de Tesis, de conformidad establecida por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 245-2018-CU de la fecha de 30 de octubre de 2018.

## **DEDICATORIA**

A mí persona por mi perseverancia,  
en mi formación como profesional. A  
mis abuelos que están en el cielo por  
su apoyo a lo largo de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis familiares y amigos por motivarme a seguir adelante y a nuestros maestros por brindarnos su apoyo y ser parte importante en el desarrollo de la investigación. Gracias por su tiempo paciencia, así como por la sabiduría que nos transmitieron en el desarrollo de nuestra formación profesional.



## ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO.....	3
RESUMEN.....	5
ABSTRAC.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1.Descripción de la realidad problemática .....	8
1.2. Formulación del problema.....	8
1.2.1.Problema General.....	8
1.2.2.Problemas Específicos.....	9
1.3. Objetivos .....	9
1.3.1.Objetivo General.....	9
1.3.2.Objetivos Específicos.....	9
1.4.Limitantes de la investigación .....	9
1.4.1.Temporal.....	9
1.4.2.Espacial.....	10
1.4.3.Teórica.....	10
II. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. Antecedentes .....	11
2.1.1.Antecedentes Internacionales.....	11
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	13
2.2.Bases teóricas.....	15
2.3.Conceptual .....	30
2.4.Definición de términos básicos.....	32
III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	36
3.1. Hipótesis .....	36
3.1.1. Hipótesis general .....	36
3.1.2. Hipótesis específicas.....	36

3.2. Definición conceptual de variables.....	36
3.2.1.Operacionalización de las variables.....	37
IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....	38
4.1. Tipo y diseño de investigación .....	38
4.1.1.Tipo de investigación.....	38
4.1.2. Diseño de la Investigación.....	38
4.2.Método de investigación.....	40
4.3.Población y muestra.....	40
4.4. Lugar de estudio y período desarrollado.....	40
4.5.Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
4.5.1.Técnicas para la medición de las variables de respuesta.....	41
4.5.2 Instrumentos de recolección de datos.....	41
4.5.3. Procedimientos de recolección de datos.....	43
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	44
4.6.1.Análisis de la metodología Six sigma.....	45
V. RESULTADOS.....	51
5.1.Resultados descriptivos.....	51
5.2.Resultados inferenciales.....	54
5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.....	69
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	70
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	73
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	74
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	81

## TABLAS DE CONTENIDO

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Combinación de Tratamientos del diseño de experimentos.....	23
Tabla 2 Temperaturas y los Tiempos Propuestos para Proceso Térmico.....	29
Tabla 3 Operacionalización de variables .....	37
Tabla 4 Defectos Presentes en la Producción .....	52
Tabla 5 Evaluación de Variables de Proceso.....	53
<i>Tabla 6</i> Mediciones de espesor de capa para el estudio R&R.....	54
Tabla 7 Corridas experimentales objetivo específico 2 .....	60
Tabla 8 Características Iniciales del Patrón o Muestra .....	62
Tabla 9 Niveles del experimento .....	62
Tabla 10 <i>Tabla de experimentos</i> .....	63
Tabla 11 Optimización de la respuesta para encontrar el óptimo .....	67
Tabla 12 Nivel sigma del proceso .....	72
Tabla 13 Nivel sigma a corto plazo .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Pareto .....	18
Figura 2 Diagrama de Ishikawa Empleando el Modelo de las 6M.....	19
Figura 3 Grafica de Control de Proceso .....	20
Figura 4 Cálculo del Nivel Sigma .....	25
Figura 5 Proceso Típico en Continuo de Aplicación de Pintura Electrostática sobre Piezas Metálicas. ....	28
Figura 6 Pistola electrostática para aplicación de pintura en polvo.....	42
Figura 7 Micrometro de medicion de capas .....	43
Figura 8 Pistola electrostática para aplicación de pintura en polvo.....	45
Figura 9 Diagrama de Proceso de Fabricacion de Piezas Metalicas .....	51
Figura 10 Encuesta realizada a los clientes .....	51
Figura 11 Diagrama de Pareto para Clasificación de Defectos.....	52
Figura 12 Informe R&R del sistema de medicion .....	56
Figura 13 Estudio de Gage R&R para espesor de capa de pintura .....	57
Figura 14 capacidad de proceso para espesor de pintura .....	58
Figura 15 Diagrama de causa efecto .....	59
Figura 16 Diagrama de pareto para diseño factorial completo .....	64
Figura 17 Analisis ANOVA para diseño factorial .....	66
Figura 18 Grafica de optimizacion.....	68
Figura 19 Superficie de respuesta para las variables de respuesta Temperatura-Tiempo .....	70

## RESUMEN

La presente tesis se desarrolla con el fin de mejorar el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas aplicando la metodología six sigma.

Aplicando esta metodología se identificaron los requerimientos de los clientes, luego se identificó el proceso involucrado, el cual nos dio como resultado el proceso de pintado electrostático al que se realizó el estudio con las herramientas de calidad como diagrama de Ishikawa, Pareto, gráficos de control, estudio R&R capacidad e proceso y six sigma para obtener el diagnóstico actual a partir del cual se encontraron las condiciones de proceso que se mejorarían.

Se determinó que los factores más influyentes fueron la temperatura, el tiempo de curado y espesor de pintura que al aumentar su valor se maximizaban el nivel de curado. Con estos resultados se propuso un diseño factorial  $3 \times 2$ , variando el tiempo de curado en 12 a 16 minutos y la temperatura de curado en  $170^\circ\text{C}$  a  $190^\circ\text{C}$ , encontrando que los mejores resultados estaban entre 13 y 14 minutos y entre  $175^\circ\text{C}$  y  $180^\circ\text{C}$  en el proceso de curado.

Después de haber encontrado una forma de reducir la cantidad de piezas no conformes en el proceso, se desarrollaron las propuestas de mejora para optimizar el proceso.

**Palabras claves:** Pintura electrostática, piezas metálicas, herramientas de calidad, six sigma.

## **ABSTRACT**

This thesis develops in order to improve the electrostatic painting process in metal parts by applying the six sigma methodology.

Applying this methodology, the requirements of the clients will be identified, then the process involved will be identified, which resulted in the electrostatic painting process, to which the study was carried out with quality tools such as Ishikawa diagram, Pareto, graphs of control, R&R study, process capacity and six sigma to obtain the current diagnosis from which the process conditions that would be improved were found.

From which it was determined that the most influential factors were temperature, curing time and paint thickness, which by increasing its value maximized the variables of adhesion, hardness and response to curing. With these results, a 3 \* 2 factorial design was proposed, varying the curing time in 12 to 16 minutes and the curing temperature in 170 ° C to 190 ° C, finding that the best results were between 13 and 14 minutes and between 175 ° C and 180 ° C in the curing process.

Having found a way to reduce the amount of non-conforming parts in the process, improvement proposals were developed to optimize the process.

### **Keywords:**

Electrostatic paint, metal parts, quality tools, six sigma.

## INTRODUCCIÓN

En un mundo tan competitivo como el de hoy, los tiempos de entrega de los productos son cada vez más cortos, la velocidad de producción a la que deben de operar las empresas es cada vez más exigente, y si a esto le agregamos que los productos deben de salir con calidad y a un bajo costo, entonces se torna complicado cuando no mejoramos nuestros procesos, tratando de reducir costos, tiempos de entrega, entre otros. El presente trabajo ahonda en la mejora del proceso de pintura de piezas metálicas la eficiencia con la que se debe trabajar es cada vez más rigurosa por la competencia existente actualmente. Es por ello que se plantea las mejoras en el proceso de pintura para reducir tiempos del proceso de operación en el pintado de las piezas metálicas y una mejor calidad del producto.

Se empezará por el marco teórico, donde se explicará todos los conceptos relacionados con los procesos de metalmecánica y pintura electrostática, además de las herramientas estadísticas y de calidad. Luego una breve descripción de los procesos del pintado electrostático de piezas metálicas donde se está realizando el estudio de mejora, A continuación, se explicará paso a paso el proceso de mejora a través de herramientas conocidas de control de calidad para determinar la significancia de los factores y diseñar un escenario optimo donde se cumpla el objetivo de reducir el número de piezas defectuosas.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

El problema que afronta la empresa metalmecánica está enteramente ligado a la calidad de los productos luego de pasar por el acabado final en el área de pintura, se refiere a las piezas metalmecánicas; las que la empresa elabora. Estas partes son entregadas en el plazo acordado con el cliente que solicita dichos productos, pero últimamente algunas piezas han retornado a la fábrica con sello de disconformidad por pintado electrostático, generándoles cierta incomodidad a los clientes al no tener sus pedidos al 100% y poniendo a la empresa en una situación en la cual pone en riesgo su eficiencia y confianza con sus clientes. Otro problema que afronta es la falta de control en cuanto al consumo de la materia prima e insumos de pintura. También afronta un sorpresivo incremento de mermas en el área de soldadura, que aparte de generar pérdidas de material también se desperdicia insumos además de obtener los parámetros óptimos para evitar mermas o generar pérdidas del material. La posibilidad de ser solucionados mediante la metodología propuesta en la presente tesis para la mejora de dicho proceso y su posterior aplicación en la industria.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo se mejorará el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas?



### **1.2.2. Problemas específicos**

¿En qué porcentaje se reducirá los defectos del pintado electrostático aplicando la metodología six Sigma?

¿Cuáles son los parámetros óptimos del proceso de pintado electrostático en piezas metálicas?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Mejorar el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas aplicando metodología Six Sigma.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Determinar el porcentaje de reducción de defectos del pintado electrostático aplicando la metodología six sigma.

Determinar los parámetros óptimos de las variables del proceso de pintado electrostático en piezas metálicas.

### **1.4. Limitantes de la investigación**

**1.4.1. Temporal:** El presente trabajo de investigación se realizará durante el periodo comprendido entre el mes de enero 2021 hasta abril 2021, debido a que no se tuvo acceso a la información y consideramos que con estos 4 meses se estabiliza el periodo.

**1.4.2. Espacial:** La obtención de datos del presente trabajo de investigación solo se obtiene de la evaluación empírica dentro de la Empresa Metalmecánica.

**1.4.3. Teórica:** Se encontraron limitaciones como la falta antecedentes de registros o archivos de la producción de los años y meses anteriores.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Pilla (2019), “Mejora de calidad en los procesos productivos aplicando la metodología seis sigma en la empresa metálicas Pillapa”. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo conocer los niveles de calidad sigma en las distintas áreas de fabricación de carrocerías de la empresa Metálicas Pillapa. La metodología aplicada para la determinación del nivel de calidad sigma se basa en la métrica DPMO, mientras que el análisis de los procesos se establece por la metodología DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control). Los resultados indican niveles Sigma muy por debajo de lo aceptable con un valor de 1,2 sigma; la identificación de los procesos críticos muestra que el proceso de armado de estructura y forrado exterior, de acuerdo con el número de defectos presentes en los procesos , En forma general el riesgo de aparición de defectos perdura al continuar con los mismos métodos de monitoreo en las áreas de armado de estructura y forrado exterior principalmente, y al no contar con planes de control adecuados en cada proceso generando molestias a los operarios. Por lo tanto, se requirió de un control estadístico de procesos que permitió reducir la variabilidad, así como fomentar el desarrollo e implementación de las estrategias de mejora.

Zuluaga (2016), en su tesis titulada: “aplicación de la metodología six sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa metalmeccánica”. este es el caso de la compañía metalmeccánica tuvo como objetivo la investigación, de los altos niveles de inventarios, reprocesos, problemas de calidad, falta de

corresponsabilidad del personal, y otras situaciones que la estaban dejando vulnerable ante la competencia. Este fue el motivo que inspiró esta investigación en aras de validar una metodología de mejora continua para identificar, analizar, proponer, evaluar y reducir los costos de no calidad y sus implicaciones, de una forma ordenada, rigurosa y disciplinada. Posterior a la implementación del plan de acción los resultados no se hicieron esperar y la compañía mejoró su servicio al cliente sin incurrir en excesos de inventario, al igual que disminuyó sus sobrecostos de producción, los cuales eran generados en gran medida por problemas de calidad.

Bernal (2015), en su tesis titulada: “optimización del proceso productivo de la sección de pintura de la empresa industrias cruz hermanos s.a.” tuvo como objetivo Optimizar el proceso productivo de la sección de pintura de la empresa Industrias Cruz Hermanos S. A mediante la metodología Seis Sigma en la sección de pintura. El desarrollo del proyecto permitió identificar prevenir y controlar las principales causas de la alta cantidad de reprocesos que se genera el proceso productivo de pintura.

Uno de los logros cumplidos durante el proceso fue el aumento gradual de los beneficios que se generaron al interior de la organización referente al manejo de sus procesos productivos, control de entradas y salidas de materias primas y producto terminado, disminuyendo los niveles de desperdicios y los altos costos que generaba la sección.

Saavedra (2013), en la tesis titulada “Propuestas de mejora de proceso productivo en LP Chile S.A. Planta Lautaro para elevar volumen de producción

anual, utilizando metodologías Lean, TOC y Six Sigma”. El presente trabajo, tuvo como objetivo proponer mejoras dentro del proceso productivo del OSBen Luisiana Pacific Chile S.A. Planta Lautaroque permitan elevar el valor del volumen de producción anual actual desde aproximadamente 132.24 m<sup>3</sup>/año hasta 140.000 m<sup>3</sup>/año Para lograr el objetivo mencionado en forma precedente y para efectos del desarrollo del proyecto, se hizo uso de elementos extraídos desde tres filosofías: Lean, TOC y Six Sigma

De las cuales se logró establecer propuestas enfocadas en eliminar desperdicios de tiempo y reducir tiempos de ciclo, las cuales permitieron elevar el desempeño de la prensa y la escuadradora, y se estima además el impacto de las mismas en términos de tiempos de ciclo, productividad y volumen de producción anual. Finalmente, tras el desarrollo del trabajo se concluye que es posible superar el volumen de producción meta de 140.000 m<sup>3</sup>/año.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Facho (2017), “Mejora de procesos en una empresa textil exportador mediante la metodología Six Sigma”. Tuvo como objetivo de reducir la cantidad de tela no conforme y calificada internamente como no exportable, así como mejorar los principales indicadores de gestión de calidad establecidos por la empresa en estudio para la mejora de procesos en una empresa textil exportadora, los procesos, lo cual se demuestra en la reducción de los indicadores de gestión de calidad correspondientes a tela fuera de tono, tela de segunda calidad y se utilizó la metodología six sigma la cual se desarrolló en base a las de cinco fases DMAMC, El despliegue de la metodología Six Sigma al cierre del proyecto logró mejorar tela no exportable. Asimismo, se logró una mejora del 7.28% en el nivel

sigma del proceso, lo que generó ahorros significativos al cierre del proyecto, que por confidencialidad no se pueden develar, pero que se mantienen hasta la actualidad.

Paredes (2015), en la Tesis “Implementación de la Metodología Seis Sigma en el área de producción de la empresa “Cerámicos Cajamarca SRL” .La empresa “cerámicos Cajamarca srl”, el cual tuvo como objetivo reducir el porcentaje de defectos de los ladrillos industriales: “tipo pandereta”. La realización del estudio, en el que se aplicó el Método Seis Sigma a través de la metodología DMAMC, para mejorar la calidad de los productos fabricados durante el proceso de producción, el cual permitió a su vez, reducir la cantidad de dicha merma que se originaba ; llegó a ser de este modo, una empresa mucho más competente. Con la Implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción de la empresa “Cerámicos Cajamarca SRL”, el porcentaje de ladrillos tipo pandereta defectuosos se redujo de 9.37% a 3.37% y al aplicar el DMAMC se pudo hallar los puntos más débiles durante la producción y pudiendo atacarlos con la implementación de soluciones potenciales en el área de secado y en el área de horneado, logrando así, el aumento del nivel sigma de 3.2 a 3.7.

Barahona (2013), en la tesis titulada: “Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la metodología lean six sigma”; En el presente trabajo tuvo como objetivo reducir el consumo de zinc aplicando como herramienta de mejora la metodología Lean Six Sigma. Se desarrollaron las fases de definición, medición, análisis y mejora, utilizando herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma con las mejoras de Six sigma se logró disminuir la capa de zinc de 330 g/m<sup>2</sup> a 274.7 g/m<sup>2</sup> y con Las mejoras

de lean manufacturing se vio reflejado en un flujo continuo del proceso, al reducir las paradas y las vibraciones de los equipos lo cual fue un soporte para los niveles de velocidad de operación propuestos.

Calderón (2009), en su tesis titulada: “Mejora De Procesos En Una Imprenta Que Realiza Trabajos De Impresión Offset Empleando Six Sigma”;

El presente trabajo tuvo como objetivo mejorar el proceso de impresión Offset, aplicando como herramienta de mejora la metodología Six Sigma. Después de analizar los datos obtenidos de los experimentos se concluye que los tres factores densidad, conductividad y material, la interacción densidad material, la interacción de la densidad-conductividad-material, influyen directamente en la tonalidad de color. Por lo que en la fase de mejora se establecieron los valores de los factores a los cuales debe trabajar el proceso de impresión offset; la combinación de los factores que minimizan la cantidad de productos no conformes por tonalidad de color: La densidad a un nivel de 1.8 D La conductividad a un nivel 2200  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Estos valores hicieron que el porcentaje de productos no conformes por tonalidad de color se mantenga en un promedio del 1.0% de la producción lo que aseguró que los factores controlables se mantengan estables durante el tiempo.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Calidad**

La calidad es un estado dinámico asociado a productos, servicios, gente, procesos y medio ambiente que cumple o supera las expectativas .Goetsh y

Davis (2006). Hoy en día los productos y servicios de calidad son ofrecidos en forma más consistente por las diferentes organizaciones de calidad. Según Perry L. Johnson, la calidad abarca todos los aspectos de una empresa y es realmente una experiencia emocional para el cliente. Los clientes quieren sentirse bien sobre sus compras, sentir que han logrado el mejor valor. Y es esa satisfacción la que las empresas buscan para mantener al cliente permanentemente vinculado y así mantener una imagen de alta calidad.

### **2.2.2. Proceso**

Se define como proceso a un conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada (inputs) en resultados (outputs). Estas actividades requieren la asignación de recursos tales como personal y material. Alcalá (2008), los grupos o clases de procesos más comunes en una organización se agrupan en procesos estratégicos, operativos y de soporte.

### **2.2.3. Mejora de Procesos**

De acuerdo con Evans (2008), la mejora de los procesos es una estrategia de negocios importantes en los mercados competitivos porque,

La lealtad de los clientes se basa en el valor agregado. Este valor se crea mediante los procesos de negocio.

Para mejorar en forma consistente la capacidad de crear valor, una empresa debe mejorar de manera continua sus procesos de creación de valor. “La mejora debe ser una tarea de administración proactiva y se debe considerar como una



oportunidad y no simplemente como una reacción ante los problemas y las amenazas de la competencia” Evans (2008).

#### **2.2.4. Herramientas para la mejora de los procesos**

Acorde a lo publicado por el Centro de Análisis de Confiabilidad (RAC) (2001), existen siete herramientas básicas de la calidad, estas son las técnicas gráficas que serán utilizadas en el desarrollo de la presente tesis. Estas herramientas básicas son: Diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa (causa efecto), gráficas de control, diagrama de dispersión, graficas de control, histograma y diagrama de flujo. Según Kaoru Ishikawa, con el uso de un grupo de sencillas herramientas se pueden resolver el 80% de los problemas de una organización. Por ello se les conoce como las 7H de Ishikawa. Adicionales a las 7H, se proponen a continuación otras herramientas adicionales para la mejora de procesos, las cuales permitirán identificar, analizar, mejorar y controlar los diversos procesos que se puedan presentar, tanto en los procesos de producción como en los de servicio.

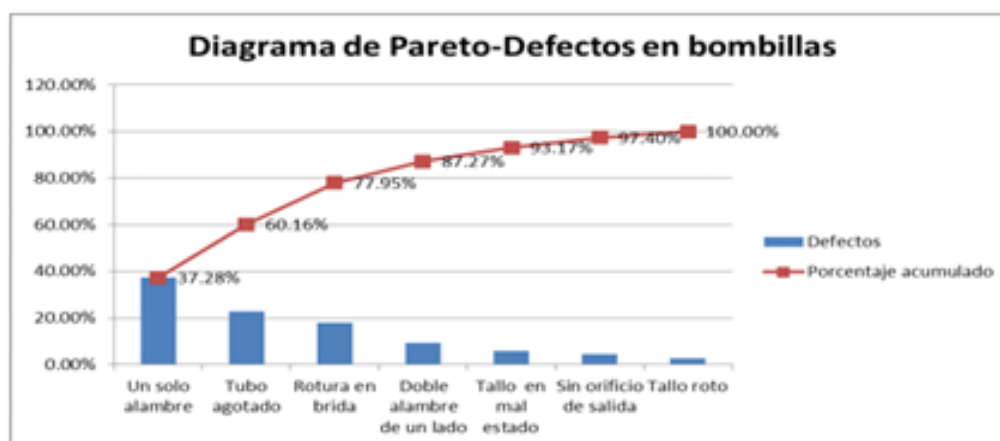
##### **a) Diagrama de Pareto**

Es una herramienta utilizada para clasificar los errores o defectos más recurrentes por categoría. Este diagrama, también llamado curva 80-20 o Distribución A-B-C, es un gráfico para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite, pues, asignar un orden de prioridades. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves.

Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha. Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos tal como se muestra en la figura 1.

**Figura 1**

*Diagrama de Pareto*



Fuente: AHMED y AHMAD 2011

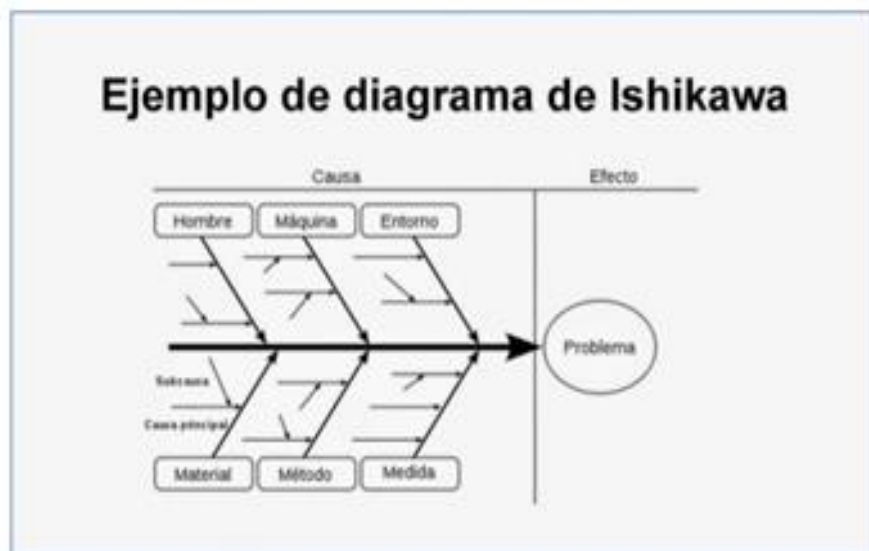
### **b) Diagrama de Causa-Efecto**

El Diagrama de Ishikawa o de causa-efecto es una técnica de análisis en la resolución de problemas, Dicha herramienta se emplea para encontrar el origen de los problemas que hay en la empresa, se procede a realizar este diagrama para enunciar las posibles causas de la persistencia de dicho problema y luego buscar soluciones a estos. El "resultado fijo" de la definición es comúnmente denominado el "efecto", el cual representa un área de mejora: un problema a

resolver, un proceso o una característica de calidad. Una vez que el problema/efecto es definido, se identifican los factores que contribuyen a él (causas). Maldonado (2011) ,Este diagrama (también conocido como espina de pescado) muestra la relación entre una característica de calidad con los factores o causas que lo afectan. Es difícil resolver problemas complicados sin tener en cuenta esta estructura, la cual consta de una cadena de causas y efectos, y el método para expresar esto en forma sencilla y fácil es en un diagrama causa-efecto como se muestra en la figura 2.

## Figura 2

*Diagrama de Ishikawa Empleando el Modelo de las 6M*



Fuente: Sociedad Latinoamericana para la calidad

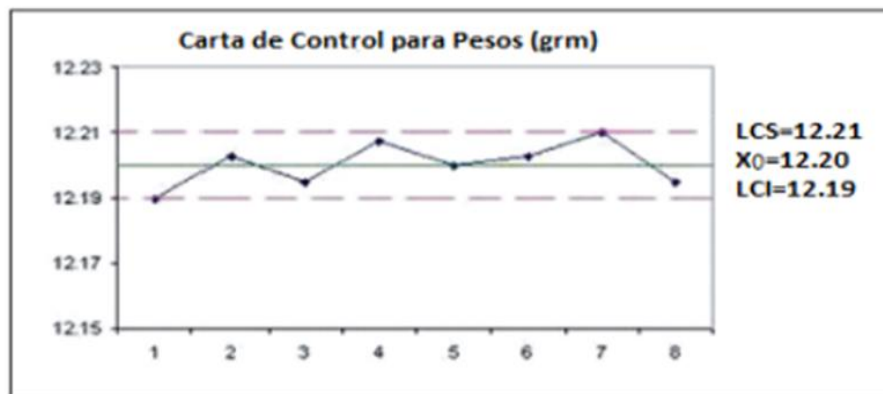
### c) Gráficos de Control:

Los gráficos de control son utilizados en el control estadístico de calidad para representar de una forma ordenada y cronológica las informaciones recogidas

sobre el resultado de las operaciones a lo largo de un periodo .Velasco (2008) Krajewski (2008), los límites de control se usan para juzgar si es necesario tomar acciones correctivas. El valor más grande representa el límite de control superior (UCL) y el más pequeño, el límite de control inferior (LCL). Una estadística de muestra, ubicada entre los límites de control superior e inferior, indica que el proceso está mostrando causas comunes de variación, mientras que una muestra ubicada fuera de estos límites indica que el proceso está mostrando causas asignables de variación.

### Figura 3

*Grafica de Control de Proceso*



Fuente: SAMIP 2010

#### d) Pruebas de hipótesis

Según Córdova (2003) se denomina prueba de hipótesis a cualquier afirmación o conjetura que se hace acerca de la distribución de una o más poblaciones. Esta puede referirse a la forma o al tipo de distribución estadística de la población

en estudio, o a los valores de los parámetros de la distribución, conocida su forma.

**Hipótesis nula e hipótesis alternativa.** Se denomina hipótesis nula  $H_0$  a la hipótesis que es aceptada provisionalmente como verdadera y cuya validez será sometida a comprobación experimental. Por lo tanto es la hipótesis principal a probar. La hipótesis alternativa  $H_1$  es la hipótesis contraria a la  $H_0$ . Esta se acepta en caso la hipótesis nula sea rechazada.

**Nivel de significancia ( $\alpha$ )** Es la probabilidad de rechazar  $H_0$  siendo esta cierta. Este error se controla decidiendo el nivel de riesgo que uno esté dispuesto a correr al rechazar  $H_0$  en caso sea cierta. Como el nivel de significancia se especifica antes de realizar la prueba de hipótesis, el riesgo de cometer el error de rechazar la hipótesis nula está bajo control. Por lo general se selecciona niveles de 0.01, 0.05 o 0.10.

**P-Value para la prueba de hipótesis.** Según Levine (2008) la mayoría de los programas estadísticos de cómputo calculan el p-value al realizar una prueba de hipótesis. El p-value es la probabilidad de obtener un estadístico de prueba igual o más extremo que el resultado de la muestra, dado que la hipótesis nula sea cierta. El p-value también se denomina nivel de significancia observado, es el nivel más pequeño que el que se puede rechazar  $H_0$ . Las reglas de decisión para rechazar  $H_0$  con el método p-value son:

Si el p-value es mayor o igual a  $\alpha$ , no se rechaza.

Si el p-value es menor que  $\alpha$ , se rechaza.

### **e) Análisis de la varianza**

El análisis de varianza es un método matemático que permite estudiar los procesos a partir de sus variaciones. Se fundamenta en el análisis de las variaciones alrededor de las medias de los resultados y permite estimar los efectos relativos de cada variable o factor considerado en el resultado del proceso. Permite aplicar las pruebas de hipótesis y el diseño de experimentos, para evaluar las diferencias en más de dos poblaciones.

Levine menciona que la tabla ANOVA trata sobre los experimentos en los que se considera a más de dos grupos que pertenecen a un factor de interés. Los grupos se definen asignando diferentes niveles del factor. El objetivo de dicho método es analizar la diferencia entre las medias del grupo.

### **f) Diseño de Experimentos**

El diseño de experimentos es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. Este procedimiento estadístico involucra varias herramientas para la optimización de recursos. La identificación de causas de variabilidad son algunos de los objetivos del diseño de experimentos aplicados en nivel industrial. Montgomery (2004)

Algunos tipos de diseño experimental:

Diseño factorial  $2^k$  para  $k=2$  factores.

Diseño factorial  $2^k$  para  $k=3$  factores

Diseño factorial  $2^k$  con replica, para  $k>3$  factores.

Para dichos casos se emplean ecuaciones de contraste, signos algebraicos para calcular los efectos del diseño y tablas ANOVA para los diseños. A continuación, un ejemplo de ecuaciones de contraste de factores, donde a y b son los factores y n es el número de réplicas, mientras que A y B son los resultados de dichas ecuaciones y AB la combinación de estos.

$$A = [a+ab-b-(1)]/2n$$

$$B = [b+ab-a-(1)]/2n$$

$$AB = [ab+ (1)-a-b]/2n$$

Para los signos algebraicos mencionados, para efectos de diseño se debe realizar una combinación de tratamientos de todas las variables involucradas, como se muestra en la Tabla 1

**Tabla 1**

*Combinación de Tratamientos del Diseño de Experimentos.*

Tratamiento	I	A	B	AB
1	+	-	-	+
A	+	+	-	-
B	+	-	+	-
AB	+	+	+	+

Fuente: Montgomery & Runger (2009)

Luego de haber asociado los tratamientos del experimento entre sí, se procede a realizar la tabla ANOVA para el diseño del experimento, como la mostrada en la tabla 2.

### **g) Evaluación de repetibilidad y reproducibilidad**

Escalante (2003), repetibilidad, es la variación de las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se la define como la variación alrededor de la media. Esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso. La reproducibilidad es la variación entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición.

#### **2.2.5. Seis Sigma**

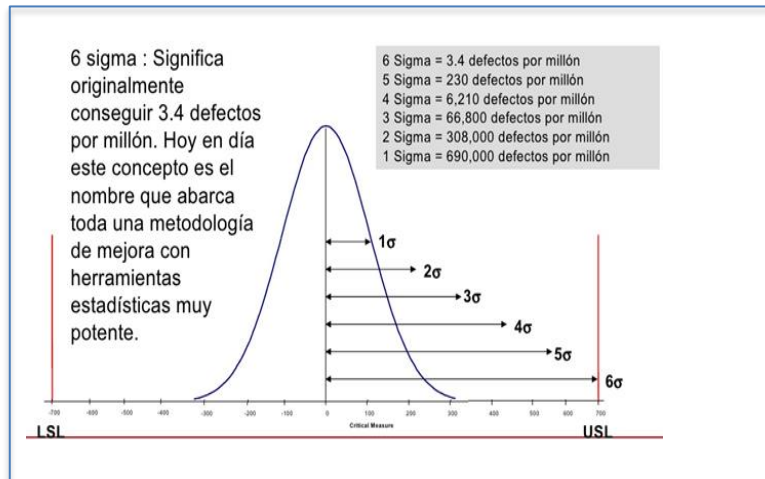
La denominación Seis Sigma proviene de la letra griega Sigma " $\sigma$ ", que se utiliza para la desviación estándar en una muestra. Sigma define la posible variación en una misma muestra o conjunto de elementos, aunque por supuesto todos los elementos que formen una muestra deben estar sujetos a las mismas condiciones.

Por lo tanto en cualquier proceso nos podemos encontrar una distribución de los resultados que correspondería con una campana de Gauss. En el figura 4 nos muestra unos límites superiores e inferiores que delimitan la zona en que un objeto o cosa cumple las especificaciones requeridas, por lo que todo aquello que quede fuera de los límites se le puede denominar defecto.



## Figura 4

### Cálculo del Nivel Sigma



En Seis Sigma se determina como valor objetivo de  $6\sigma$  a 3.4 errores por millón de oportunidades (DPMO), o es lo mismo que decir que el área que queda entre los límites de aceptación va desde  $-3\sigma$  a  $3\sigma$  supone el 99.9997% sin defectos.

Al tener la forma de la campana de Gauss cuanto más alta y esbelta sea nuestra campana podrá alcanzar unos mejores resultados de fiabilidad y lo ocurrirá lo contrario cuando la campana este más descentrada y achatada.

Durante los años se ha definido de muchas maneras y por diversos autores el Seis Sigma, aquí podremos ver algunas de las más importantes interpretaciones:

“Es un sistema complejo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios. Seis Sigma funciona especialmente gracias a una comprensión total de las necesidades del cliente, del uso disciplinado del análisis de los

hechos y datos, y de la atención constante a la gestión, mejora y reinversión de los procesos empresariales Pande (2002).

“Es una forma de medir y establecer metas para reducir los defectos en productos o servicios, que se relaciona directamente con los requerimientos de los clientes” Jay (2003).

“Seis Sigma es una metodología estadística que se basa en el método científico para conseguir reducciones significativas en los ratios de los defectos definidos por el cliente, en un esfuerzo de eliminar dichos defectos de cada uno de nuestros productos, procesos y servicios” Linderman, Shroeder, Zahiere, & Choo, (2003).

“Seis Sigma. Un nombre nuevo para un antiguo sueño: productos y servicios prácticamente perfectos para nuestros clientes” Pande, Neuman, & Cavanagh (2004).

“Seis Sigma representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta” lo que nos aclara que se trata de una metodología para satisfacer al cliente orientándose además a un proceso de mejora continua como filosofía corporativa y finalmente eliminar la totalidad de errores Valderrey Sanz (2010)

#### **2.2.6. Ciclo Six Sigma**

La metodología Seis Sigma se basa en cinco fases bien diferenciadas, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, lo que se conoce por DMAIC, a continuación se desarrolla cada uno de estos pasos y como se relacionan entre sí.

**Definir:** En esta etapa se identifican los aspectos claves de la organización, definir clientes, sus requisitos y los procesos claves que pueden afectar a los clientes, es decir identificar posibles proyectos de mejora.

**Medir:** Se Identifican las causas claves del problema para la recogida de datos en el proceso objeto de estudio.

**Analizar:** Se Analizan los datos (procesarlos) recogidos, para determinar cuáles son las causas del mal funcionamiento de los procesos.

**Mejorar:** Se Generan posibles soluciones al problema detectado e implementar las más convenientes.

Controlar: Se Establecerán un plan de controles que garanticen que la mejora alcanzará el nivel deseado.

### **2.2.7. Pintura en polvo**

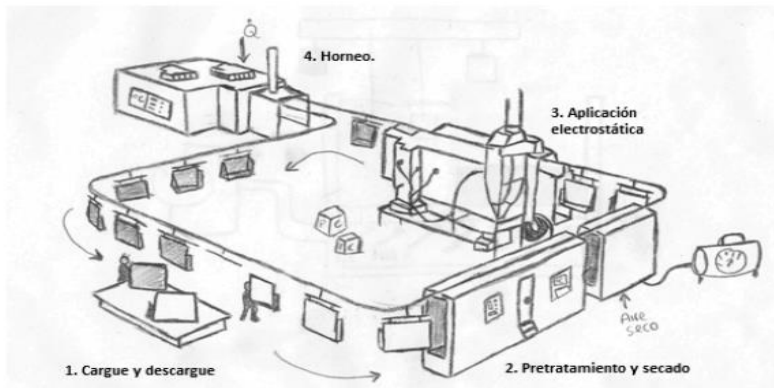
El proceso de aplicación para el recubrimiento se ve limitado por el uso de hornos de convección a altas temperaturas y por la adherencia electrostática de la pintura sobre la superficie a recubrir, estos dos factores son de suma importancia en el proceso de aplicación de este tipo de recubrimiento Lin, (2008).

### **2.2.8. Proceso de aplicación de pintura en polvo electrostática.**

En la Figura 5 se muestra un esquema del proceso de aplicación típico de pintura en polvo electrostática para piezas metálicas.

## Figura 5

*Proceso Típico en Continuo de Aplicación de Pintura Electrostática sobre Piezas Metálicas.*



Fuente: (Technologies, 2010).

**a) Carga y Descarga** El proceso de revestimiento comienza con el cargue a la línea de la pieza para ser llevada a la etapa.

**b) Pre tratamiento y secado** Donde se desengrasa y se le aplica un fosfatado de zinc o hierro para ayudar a la adherencia y al control de la corrosión. En el pre tratamiento, la pieza que se desea recubrir (sustrato) es limpiada y preparada para evitar que defectos en la superficie y contaminantes, como grasa, gravilla, causen mala adhesión, imperfecciones en el revestimiento, y corrosión prematura. Como se considera en, Talbert (2001).

**c) Aplicación de pintura** la pieza se dirige a la cabina de aplicación donde la pintura se puede aplicar por medio de inmersión en lecho fluidizado o por aspersion electrostática (utilizando pistolas especiales), siendo el último el más común y el más utilizado en la industria Schmidt, (2004).

**d) Horneo** Posteriormente la pieza pasa al proceso de curado que se realiza en un horno cuya temperatura varía según el tipo de resina y el acabado que se quiera lograr, Weg (2008).

### 2.2.9. Proceso térmico

El proceso térmico utilizado para recubrir metales se explica en la tabla 2, pero su diferencia radica en que se utilizan temperaturas menores y, por ende, resinas que curan a temperatura más bajas. Estas resinas de bajo curado son del mismo tipo que las resinas de curado típico, encontrándose poliéster TGIC, poliéster para híbrida, acrílicas, entre otras; siendo las primeras dos las más utilizadas a nivel industrial Diez (2013).

**Tabla 2**

*Temperaturas y los Tiempos Propuestos para Proceso Térmico*

		<b>TÉRMICO</b>
<b>CURADO</b>	Tiempo del ciclo	7 minutos
	Temperatura de Horno	190°C
	Temperatura entrada	93°C
	Temperatura salida	148°C

Fuente: (Binder, 2004)

### **2.2.10. Productos no conformes**

La organización debe asegurarse de que el producto que no sea conforme con los requisitos, se identifica y controla para prevenir su uso o entrega no intencional. Los controles, las responsabilidades y autoridades relacionadas con el tratamiento del producto no conforme deben estar definidos en un procedimiento documentado (Norma ISO 9001, 2013).

### **2.3. Conceptual**

La aplicación de esta metodología está enfocada principalmente para para ser usada en empresas y organizaciones por contar con los siguientes principios:

**a) Orientada al cliente y con enfoque a los procesos.** Las características clave de Seis Sigma es buscar que todos los procesos cumplan con los requerimientos del cliente (en cantidad o volumen, calidad, tiempo y servicio) y que los niveles de desempeño a lo largo y ancho de la organización tiendan al nivel de calidad Seis Sigma. De aquí que al desarrollar la estrategia  $6\sigma$  en una organización se tenga que profundizar en el entendimiento del cliente y sus necesidades, y para responder a ello, es necesario revisar de manera crítica los procesos de la organización.

A partir de ahí, es preciso establecer prioridades y trabajar para desarrollar nuevos conceptos, procesos, productos y servicios que atiendan y excedan las expectativas del cliente.

**b) Seis Sigma se dirige con datos.** Los datos y el pensamiento estadístico orientan los esfuerzos en la estrategia  $6\sigma$ , ya que los datos son necesarios para identificar las variables críticas de la calidad (VCC) y los procesos o áreas a ser

mejorados. Las mejoras en la calidad no pueden ser implementadas al azar, por el contrario, el apoyo a los proyectos se asigna cuando a través de datos es posible demostrar que, con la ejecución del proyecto, la diferencia será percibida y sentida por el cliente.

**c) Seis Sigma se apoya en una metodología robusta.** Los datos por sí solos no resuelven los problemas del cliente y del negocio, por ello es necesaria una metodología. En  $6\sigma$  los proyectos se desarrollan en forma rigurosa con la metodología de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (en inglés DMAIC:

Define, Measure, Analyze, Improve and Control). En la figura 13 se muestran estas etapas y se definen brevemente. Más adelante se describen con detalle.

Seis Sigma se apoya en entrenamiento para todos. El programa Seis Sigma se apoya en entrenamiento para todos sobre la metodología DMAMC y sus herramientas relacionadas. Por lo general, la capacitación se da sobre la base de un proyecto que se desarrolla de manera paralela al entrenamiento, lo cual proporciona un soporte práctico. Los detalles de esto ya se comentaron antes.

**d) Los proyectos realmente generan ahorros o aumento en ventas.** Un aspecto que caracteriza a los programas Seis Sigma exitosos es que los proyectos DMAMC realmente logran ahorros y/o incremento en las ventas. Esto implica varias cosas: se seleccionan proyectos clave que en realidad atienden sus verdaderas causas, se generan soluciones de fondo y duraderas, y se tiene un buen sistema para evaluar los logros de los proyectos. Esto tiene que ser así,

porque es sabido que la mala calidad y bajo desempeño de los procesos generan altos costos de calidad

**e) Seis Sigma es una iniciativa con horizonte de varios años**, por lo que no desplaza otras iniciativas estratégicas, por el contrario, se integra y las refuerza. Dadas las características de  $6\sigma$  que hemos descrito, ésta es una iniciativa que debe perdurar y profundizarse a lo largo de varios años. Por ello, cuando se inicia  $6\sigma$  se debe cuestionar qué va pasar con las iniciativas estratégicas que se venían trabajando. La respuesta es que la iniciativa  $6\sigma$  debe integrarse al resto de las iniciativas estratégicas vigentes en la organización. La experiencia dice que esto es relativamente fácil, ya que Seis Sigma es un enfoque muy poderoso para orientar y alinear los recursos para resolver los problemas críticos del negocio. Seis Sigma se puede ver como la forma en que medimos, aprendemos y actuamos, a través de las variables críticas para la calidad (VCC) y la metodología DMAMC. Entonces  $6\sigma$  se integra a las otras iniciativas para que éstas continúen y resulten fortalecidas con la forma de trabajar de Seis Sigma.

#### **2.4. Definición de términos básicos**

**Six Sigma:** Estrategia de mejora continua del negocio enfocada al cliente, que pretende encontrar y eliminar las causas de errores en los procesos (Gutiérrez y de la Vara, 2009).



**Metodología DMAMC:** Acrónimo de las etapas de un proyecto seis sigma; y consiste en definir, medir, analizar, mejorar y controlar (Gutiérrez y de la Vara, 2009).

**Pintura electrostática:** Es una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida, en forma de partículas finas, que se aplica con un equipamiento especial-pistola electrostática para polvo-en el que se mezcla con aire y se carga eléctricamente.

**La pintura Epoxi:** Está conformada por resinas epoxicas, las cuales son utilizadas principalmente con fines funcionales, sacrificando así un poco el acabado, cuenta con una elevada resistencia a los impactos, garantiza un muy buen rendimiento de aplicación, mejora la adherencia de las posteriores capas de pintura, tiene un alto agente para evitar la oxidación y no es contaminante.

**Pintura poliéster-Tgic:** Contienen resinas de poliéster endurecidas con triglicidil isocianurato. Las características esenciales de este tipo de pintura es la alta resistencia a la intemperie, con una alta retención de brillo, mantiene estables los colores y el acabado, tiene alta resistencia a los rayos ultra violetas y a la temperatura.

**La pintura epoxi/poliéster:** Contiene resinas poliéster, las cuales son endurecidas con resina epoxidicas. Las características esenciales de este tipo de pinturas es una mezcla de propiedades entre la pintura epoxi y el poliéster en menores proporciones pero de manera más homogénea.

**La pistola electrostática:** Equipo para la aplicación de pintura electrostática, que carga eléctricamente la pintura.

**Pintura electrostática:** Es una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida, en forma de partículas finas, que se aplica con un equipamiento especial-pistola electrostática para polvo-en el que se mezcla con aire y se carga eléctricamente.

**Curado:** Es conocido como el proceso de polimerización, y básicamente consta de activar la reacción química del sistema de resinas por medio de calor.

**Horno infrarrojo:** Estos no presentan llama, en tanto que la combustión se realiza en el interior del calefactor y específicamente en el elemento catalizador, constituido por una manta de fibra cerámica enriquecida con platino. La principal desventaja de este sistema es su costo inicial bastante alto.

**Limpieza:** La limpieza consiste en la eliminación del polvo y suciedad, óxido, grasa del proceso.

**Desengrasantes:** Los desengrasantes ácidos, que contienen productos ácidos, líquidos o sólidos, son usados para eliminar residuos de soldadura, óxido, escamas de tratamiento térmico u otros productos de corrosión

**Proceso de polimerización:** En este proceso tenemos como entrada las piezas pintadas, pasa por la función de transferencia, que es el horno, y obtenemos la pieza lista para ensamble.

**Dureza:** Es la resistencia que ofrece un material o recubrimiento a la alteración permanente mediante la aplicación de una fuerza mecánica como puede ser la presión, frote o rayado. La dureza no es exactamente una propiedad del material, sino que depende de otras propiedades como la elasticidad, la plasticidad y la cohesión.

**Adherencia:** Es un fenómeno de naturaleza física y química; las fuerzas de adhesión propiamente dichas se manifiestan generalmente en la interface sustrato/película mientras que las de adhesión interna (cohesión) tienen lugar en el seno de la propia película.

**Resistencia a la temperatura:** Son expuestos permanentemente en forma cíclica o bien puntualmente a elevadas temperaturas, particularmente se consideran la cinética de calentamiento y la temperatura final. Luego de finalizada la experiencia, generalmente a temperatura ambiente, se consideran la adhesión y la retención de brillo y color.

### **III. VARIABLES E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

Se mejorará el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas de una empresa metalmeccánica aplicando la metodología Six sigma.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas**

Aplicando la metodología six sigma se reducirá los defectos por pintado electrostático

Los parámetros óptimos de operación de proceso de pintado electrostático son temperatura de curado entre 175 °C -180°C y tiempo de curado 12min-15min.

#### **3.2. Definición conceptual de variables**

##### **Variable dependiente**

Y= Nivel six sigma

##### **Variable independiente**

X = Defectos por pintado electrostático

X = Parámetros óptimos del proceso de pintado electrostático

### 3.2.1. Operacionalización de variables

**Tabla 3**

*Operacionalización de variables*

<b>VARIABLES</b>		<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MÉTODO</b>
<b>DEPENDIENTES</b>				
Nivel six sigma		% de piezas defectuosas z	Piezas defectuosas	Cuasi experimental estadístico(descriptivo e inferencial )
<b>INDEPENDIENTES</b>				
Defectos pintado electrostático	por	% micrómetros	Piezas defectuosas Espesor de pintura	Ficha de observación
Parámetros óptimos del proceso de pintado electrostático	del	Min °C	Tiempo de curado Temperatura de curado	Técnica de análisis de resultados- Estadística descriptiva- Estadística inferencial

## **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **4.1.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada cuasi experimental, “aplicación de la metodología SEIS SIGMA para el mejoramiento de la productividad en el proceso de pintado”, tiene un diseño cuasi experimental. Hernández, Fernández y Baptista, (2010, pág. 148), los diseños cuasi experimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto y relación con una o más variables dependientes, sólo que difieren de los experimentos “puros” en el grado de seguridad o confiabilidad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos.

Se encuentra ubicada en el área de ciencias sociales, sub área de administración disciplina de sistemas de gestión en la línea de investigación de la Unidad de investigación de la FIQ en el sistema de gestión de la calidad.

#### **4.1.2. Diseño de la Investigación**

##### **a) Revisión bibliografía**

La recolección consistió en reunir y medir información de diversas fuentes a fin de obtener un panorama completo y preciso del problema principal:

- Impacto del negocio
- Planteamiento del problema
- Requisitos del producto

- Proceso de pintado de piezas metálicas

#### **b) Análisis del proceso**

Se definió las etapas que constituyen el proceso de pintura electrostática en piezas metálicas:

- Cargue y descargue
- desengrasado
- Pintado electrostático
- Curado

#### **c) Análisis de variables**

La pintura de piezas metálicas está directamente relacionado el acabado final de la pieza : la tonalidad de color dicha variable está estrictamente, ligada a la cantidad de pintura suministrada a la bandeja medida por el espesor de capa de pintura presente en ella ,también está involucrado el tiempo de horneado y de secado de las piezas metálicas.

#### **d) Toma de muestra**

Durante el proceso productivo de pintado semanalmente se detectan en 1400 bandejas diversos defectos que contribuyen al rechazo de estos productos.

#### **e) Análisis de resultados**

Luego de haber realizado y tomado las mediciones necesarias y concluir que el proceso de pintado de las piezas metálicas. Se concluyó que el principal

problema referente a la disconformidad de los clientes Se definieron los tres principales factores espesor, temperatura de curado y tiempo de secado.

#### **4.2. Método de investigación**

El método que se ha utilizado en la presente tesis es el experimental método estadístico porque cumplen una función relevante, ya que contribuyen a determinar la muestra de sujetos a estudiar, tabular los datos empíricos obtenidos y establecer las generalizaciones apropiadas a partir de ellos. En las ciencias sociales, naturales y técnicas no basta con la realización de las mediciones, sino que se hace necesaria la aplicación de diferentes procedimientos que permitan revelar las tendencias, regularidades, y las relaciones en el fenómeno objeto de estudio. En este sentido cobran importancia los métodos estadísticos, los más importantes son: los descriptivos e inferenciales.

#### **4.3. Población y muestra**

Para el presente estudio la población no aplica y como muestra se tomaron 100 piezas metálicas de la producción que corresponden a un turno de trabajo.

#### **4.4. Lugar de estudio y período desarrollado**

El lugar de estudio fue en la empresa metalmecánica el periodo mínimo que se realizó el estudio fue de 4 meses.



## **4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **4.5.1. Técnicas para la medición de las variables de respuesta.**

Para cada una de las corridas de los diseños de experimentos desarrollados, luego de estar las piezas ya recubiertas, se les realizó las pruebas mecánicas correspondientes para la evaluación de las variables de respuesta planteadas (temperatura, tiempo y nivel de curado) como se muestra a continuación:

#### **a) Medición de la temperatura de curado.**

Para lograr la adherencia de las partículas, las piezas se deben someter a una temperatura de a una temperatura de 170 °C -190°C en la etapa de curado.

#### **b) Medición de tiempo de curado**

Se debe de tener precauciones al ingreso de las piezas metálicas ya que la falta de calor no permitiría la adherencia de la pintura se debe tener entre 8 y 12 minutos para esta etapa.

#### **c) Medición del nivel de curado.**

Se debe realizar el pintado electrostático de modo que no exceda ni falte pintura se deberá medir entre 20 a 30µ m.

### **4.5.2 Instrumentos de recolección de datos**

#### **a) Materiales**

- **Pintura electrostática.**

La pintura en polvo electrostática que está fabricada con los siguientes componentes: Resina poliéster para pintura híbrida de baja temperatura de curado; resina epóxica para catalizar con la pintura poliéster; pigmentos inorgánicos como dióxido de titanio y óxidos de hierro rojo y amarillo; aditivos de dureza y apariencia y rellenos como carbonatos de calcio. La pintura está certificada para su utilización en piezas metálicas que serán curadas a temperaturas de alrededor de 170°C durante 12 minutos.

#### **a) Equipos**

- **Pistola electrostática**

Para la aplicación de la pintura en polvo en las diferentes pruebas que se llevaron a cabo, se utilizó la pistola electrostática.

#### **Figura 6**

*Pistola electrostática para aplicación de pintura en polvo*



- **Micrómetro**

Dispositivo para medir los recubrimientos de aceros y metales no ferrosos, indispensable y fundamental para la medición en controles de calidad de curado sobre la superficie metálica.

**Figura 7**

*Micrómetro de Medición de Capas*



**4.5.3. Procedimientos de recolección de datos**

Los datos y resultados obtenidos en la aplicación de las diferentes herramientas de calidad y haciendo uso de software estadísticos

- Observación directa
- Encuestas
- Diagrama de Pareto
- Gráficos de control
- Diagrama de Ishikawa

- Microsoft Excel

- Minitab 17

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

El análisis y procesamiento de datos se ha desarrollado mediante la investigación experimental, el cual está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se han realizado para obtener la información y los datos necesarios para el proceso de pintado electrostático. En consecuencia, para desarrollar la investigación experimental con el fin de lograr los objetivos propuestos en el tema de investigación se ha llevado a cabo mediante el siguiente procedimiento:

- Análisis de los metodología six sigma.
- Diseño experimental. Diseño factorial 3x2
- Procedimiento experimental.
- Tabulación de datos y variables de operación del proceso de pintado electrostático.
- Evaluación de los vectores de respuesta (variables dependientes).
- Análisis y discusión de los datos experimentales.
- Propuesta de mejora.

#### 4.6.1. Análisis de la metodología Six sigma

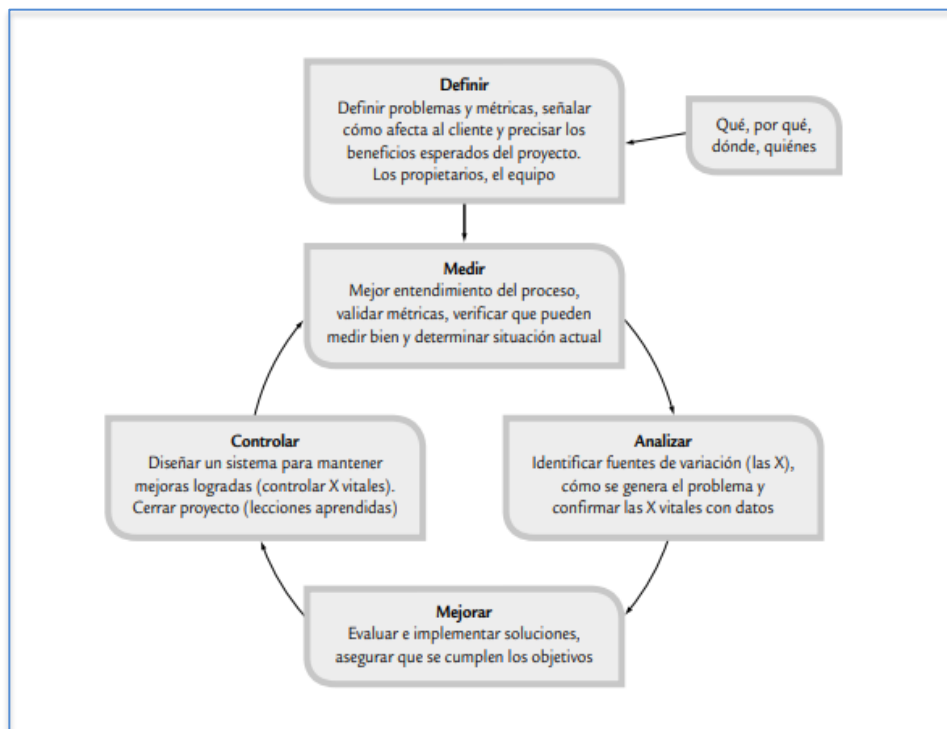
La metodología Six Sigma es una estrategia de mejora continua enfocada en el cliente y en mejorar el rendimiento y la productividad de los procesos o sistemas de negocio a través de la identificación y eliminación de defectos, errores o fallas. Y como ya explicado en el Capítulo II, esta metodología se desarrolla de forma rigurosa a través de cinco etapas o fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (en inglés DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve and Control).

A continuación, en la Figura 8 se muestran estas etapas y se definen brevemente:

#### Metodología para cumplimiento del objetivo 1

Figura 8

*Diseño y Desarrollo de Metodología Six Sigma*



Fuente: Gutiérrez, Pulido, (2009)

### **a) Desarrollo de la fase DEFINIR**

Se empezará con el desarrollo de la metodología Six Sigma, por lo tanto, en esta primera fase denominada DEFINIR se definirá el problema a resolver y se clarificarán el objetivo.

#### **Paso 1: Definir los objetivos del proyecto.**

Mejorar el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas aplicando metodología Six Sigma.

A través de la observación y toma de datos, se recopiló información del proceso del pintado electrostático de piezas metálicas y productos no conformes; hallando dos causas principales: tonalidad de color de las piezas metálicas

#### **Paso2: Identificar el proceso crítico.**

Se precisa el pintado electrostático como un proceso crítico, es donde se detectan defectos que contribuyen al rechazo de estos productos estos se encuentran enunciados en el diagrama de proceso en la figura 9.

#### **Paso 3: Identificar los requerimientos de los clientes.**

En cuanto a la calidad, los clientes consideran como requerimientos relevantes a:

La calidad de servicio que la empresa ofrece: Acabado de pintura, resistencia de soldadura, etc.

El diseño del producto acorde a los estándares establecidos por el cliente

El tiempo de entrega del producto final.

## **b) Etapa medir**

### **Paso 1: Medir el desempeño actual del proceso.**

A través de observaciones, realizadas durante un mes se obtienen datos acerca del desempeño del proceso de fabricación de piezas metálicas, luego de haber definido los principales motivos de rechazo se busca un historial de todas las ventas perdidas que haya tenido la empresa durante el último mes la data refleja que los clientes en su mayoría rechazaron el producto debido que presentaba defectos de acabado como se muestra en la tabla 4.

**Paso 2:** Determinar que se va a medir se miden la de cantidad de defectos como se muestra en la figura 11.

Utilizando dichos criterios de realizaran las siguiente encuesta a los clientes sus respuestas serán tratadas de forma confidencial y no serán utilizadas para ningún propósito distinto a la investigación llevada a cabo por LA EMPRESA tal como se muestra en la figura 10.

**Paso 3: Desarrollar y validar** el sistema de medición el proceso actual cuenta con una gran cantidad de variables que pueden afectar la característica de la calidad.

- **Variables a medir**

La variable más importante según la clasificación es la cantidad utilizada de pintura por pieza seguida por el tiempo de secado y el curado.

Para verificar que variable a medir tiene mayor importancia se ponderan variables del proceso de pintura electrostática como se muestra en la Tabla 5

### **c) Etapa analizar**

#### **Metodología para el cumplimiento del objetivo número 2**

Determinar el porcentaje de reducción de defectos del pintado electrostático aplicando la metodología six sigma.

#### **Paso 1: Analizar y determinar las causas de los problemas.**

Según lo expuesto en los diagramas anterior y después de ser analizados, la causa efecto es la tonalidad del color en la pieza metálica luego del pintado electrostático que está fuertemente relacionado a la cantidad de pintura aplicada

Dicha variable está estrictamente ligada a la cantidad de pintura suministrada a la bandeja, medida por el espesor de capa de pintura presente en ella. También está involucrado el tiempo de horneado y de secado de las piezas metálicas.

#### **Paso 2: Desarrollar y probar la hipótesis para determinar soluciones.**

Aquí es donde se utilizaran herramientas estadísticas como la prueba de hipótesis y diseño de experimentos, se realizara la significancia de dichas variables y se determinara si se pueden reducir o eliminar.



#### **d) Fase de mejora SIX-SIGMA**

##### **Metodología para el cumplimiento del objetivo 3:**

Una vez definida la situación actual, se comienza a mejorarla, en este caso a minimizar las cantidades de productos no conformes, para ello se buscará optimizar los valores de los principales factores identificados en la fase de análisis del proceso de pintura electrostática

#### **e) Controlar**

##### **Paso 1: Determinar propuestas de mejora**

Se debe mantener la temperatura del horno a una temperatura no mayor a 150 para los procesos de pintura en polvo esta mejora es muy fácil de realizar solo requiere de la supervisión de un operario que fije la temperatura adecuada del horno y que este controle el tiempo que no exceda los 14 minutos.

La temperatura de secado en el horno es un valor estándar por lo que la variación de la tonalidad del color de pieza dependerá en mayor medida de la cantidad de pintura en polvo con la que esta se recubre.

El mantener el espesor de la capa de pintura a un valor de 27.5 um se obtendrá un producto sin manchas ni grumos de pintura para realizar esta mejora se necesita de una herramienta de medición que pueda medir con precisión el espesor de una capa de pintura en polvo aplicada a la bandeja de metal.

Capacitación al personal en el uso adecuado de instrumentos de medición de control de calidad del producto.

##### **Paso 2: Garantizar que la mejora se mantenga a través del tiempo.**

Mediante inspecciones periódicas se evaluará si las mejoras están siendo cumplidas. Pues con la aplicación correcta de estas en el área de impresión offset, se observarán buenos resultados desde el primer mes; representando cifras positivas para el futuro si se continúa con esta forma y ritmo de trabajo.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Fase Definir

**Figura 9**

*Diagrama de Proceso de Fabricacion de Piezas Metalicas*



**Figura 10**

*Encuesta realizada a los clientes*

#### 5.1.2. Fase Medir

	Grado de importancia al comprar	Satisfacción con el servicio
Calidad de atención	Muy importante Importante No demasiado importante Poco importante Irrelevante	Completamente satisfecho Satisfecho Insatisfecho Completamente insatisfecho No aplicable
Capacidad de respuesta para disconformidades	Muy importante Importante No demasiado importante Poco importante Irrelevante	Completamente satisfecho Satisfecho Insatisfecho Completamente insatisfecho No aplicable
Rapidez en la contestación, referente a la petición de presupuestos y/o diseños	Muy importante Importante No demasiado importante Poco importante Irrelevante	Completamente satisfecho Satisfecho Insatisfecho Completamente insatisfecho No aplicable
Calidad de acabado de pintura	Muy importante Importante No demasiado importante Poco importante Irrelevante	Completamente satisfecho Satisfecho Insatisfecho Completamente insatisfecho No aplicable
Tiempo de entrega	Muy importante Importante No demasiado importante Poco importante Irrelevante	Completamente satisfecho Satisfecho Insatisfecho Completamente insatisfecho No aplicable

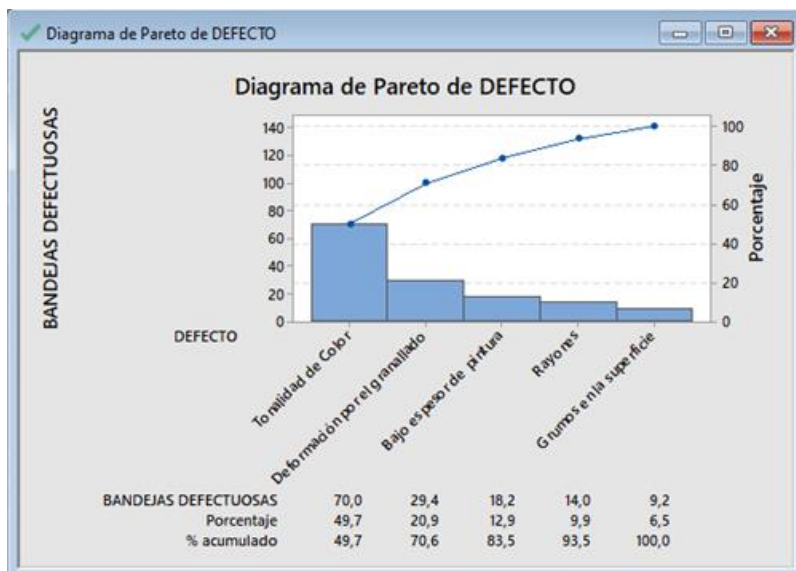
**Tabla 4**

*Defectos Presentes en la Producción*

DEFECTO	BANDEJAS DEFECTUOSAS
Tonalidad de color	70
Bajo espesor de pintura	18,2
Grumos en la superficie	9,2
Deformación por el granallado	29,4
Rayones	14

**Figura 11**

*Diagrama de Pareto para Clasificación de Defectos*



**Tabla 5**

*Evaluación de Variables de Proceso*

<b>PUNTAJE</b>	<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>
9 a 10	Cantidad de pintura
7a 8	Tiempo de curado
5 a 6	Temperatura de curado
3 a 4	Grumos en la superficie
1 a 2	Rayado

## **5.2. Resultados inferenciales**

### **Validación del sistema de medición**

Para la validación del sistema de medición de la cantidad utilizada de pintura por pieza seguida por el tiempo de secado y el tiempo de horneado, se evaluó la reproducibilidad y repetibilidad de éste a través de la prueba de Gage R & R. Para la realización de esta prueba se eligieron a tres operarios para que realicen dos mediciones de las concentraciones de cada una de las variables. De los que se obtuvo la siguiente data que se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Mediciones de espesor de capa para el estudio R&R*

<b>Orden</b>	<b>Corrida</b>	<b>Partes</b>	<b>Operadores</b>	<b>MEDICIONES</b>
1		3	1	30,3
2		1	1	26,4
3		2	1	23,3
4		1	2	25,5
5		3	2	28,3
6		2	2	20
7		3	3	30
8		1	3	23,3
9		2	3	21,8
10		1	1	26,7
11		3	1	29,3
12		2	1	22,4
13		3	2	27,9
14		1	2	26,7
15		2	2	23,3
16		1	3	22,6
17		2	3	20
18		3	3	28,5

En la tabla figura 12 se puede observar que hay una diferencia entre las piezas pintadas diferencia entre operarios y que no hay interacción entre muestra – operario al no ver una interacción se recalcula los valores del factor de la muestra y operario dando un valor tal que aún se presentan diferencias entre los pliegos y entre operadores la variación de la repetividad es de 10.11% mientras que la

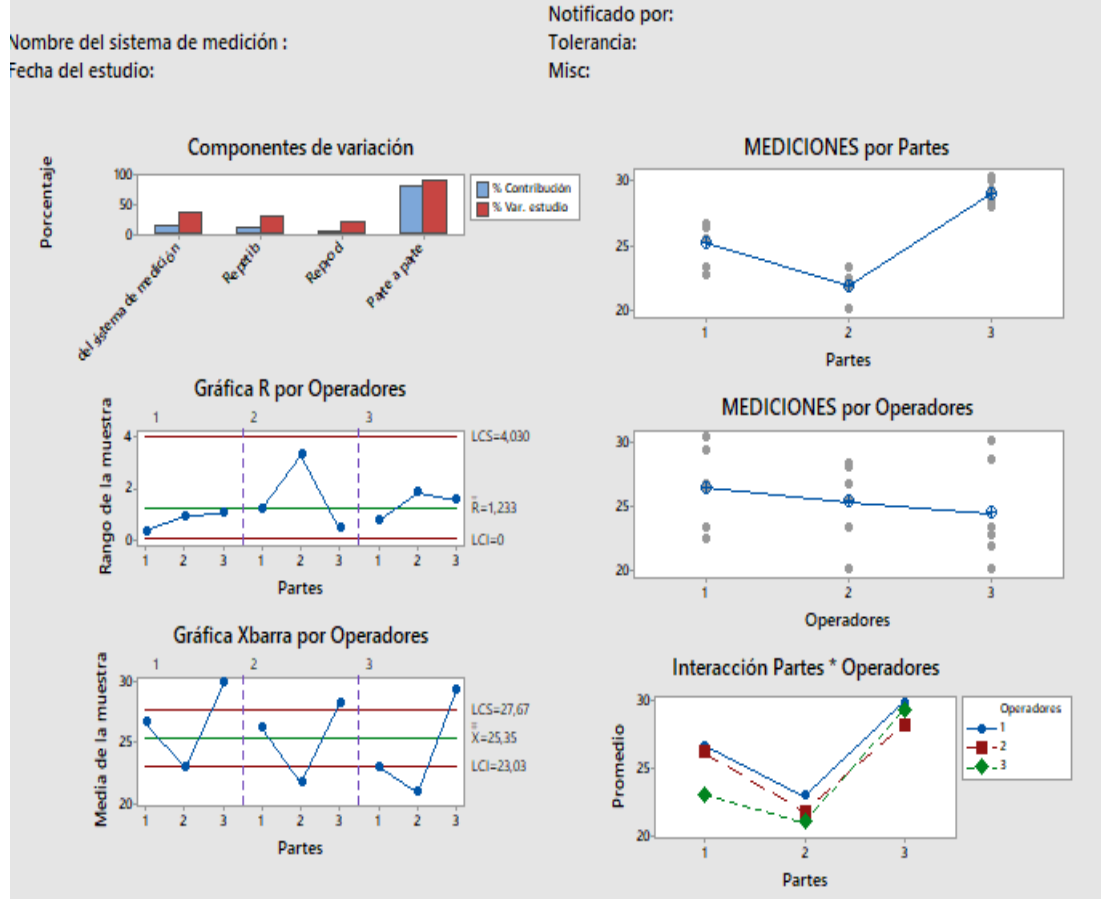
reproductibilidad es de 15.24 es por eso que a variabilidad debido a la diferencia de partes de 84.76% de la variabilidad total como se muestra en la figura 13 . El porcentaje de contribución es de, lo cual nos indica que el instrumento no podría aceptarse dado que es mayor al 10% además el porcentaje de contribución de parte a parte es mayor al porcentaje de contribución total GAGE R&R por lo que la variación surge debido a las diferencias entre muestras.

Dado que la medición del espesor de la capa de pintura es muy importante para el trabajo diario es necesario tomar acciones correctivas tales como realizar el mantenimiento de la pistola de pintura o adquirir una nueva en caso sea necesario.

**Figura 12**

*Informe de R&R del Sistema de Medición*

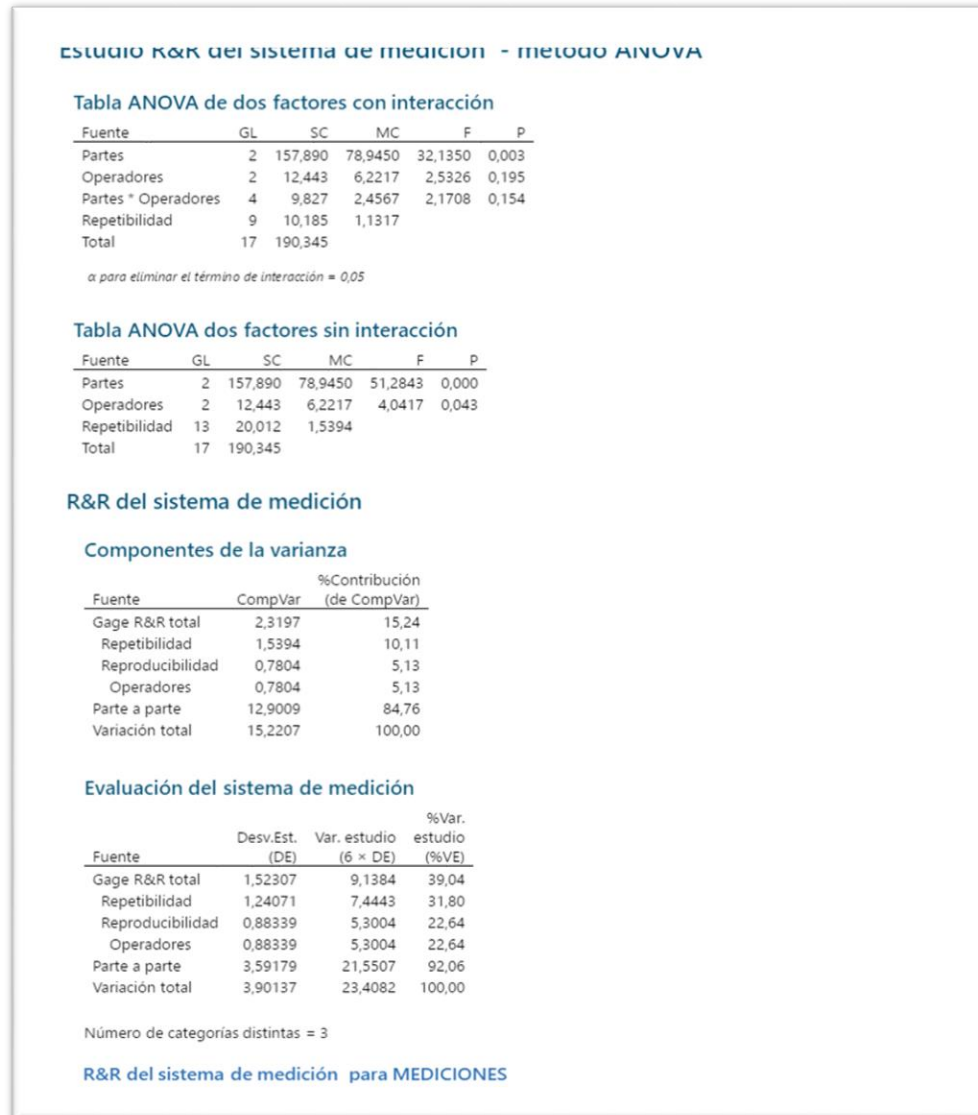
**Informe de R&R del sistema de medición (ANOVA) para MEDICIONE**





## Figura 13

### Estudio Gage R&R para Espesor de Capa de Pintura



## Cálculo de la capacidad del proceso

Se procede a calcular el Nivel sigma del proceso actual de pintado que permitirá visualizar el nivel de calidad ofrecido en el servicio, esta se muestra en la figura 14.

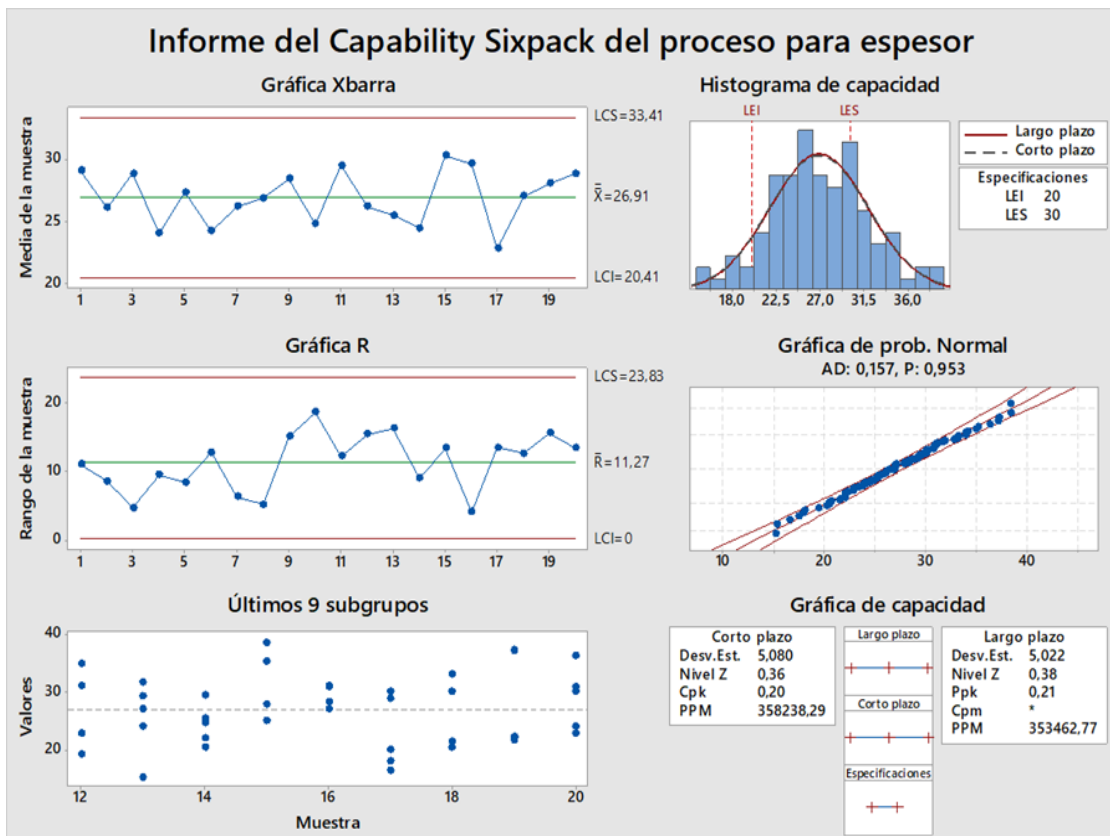
Se tomaron medidas de espesor de la pintura de 100 piezas que es la cantidad promedio que se pinta dentro de la empresa durante el primer turno de la jornada laboral

- $P > 0.05$  se sigue una distribución normal
- $C_p = 0.32 < 1.0$  no es un proceso capaz
- Cantidad fuera de los límites PPM
- Nivel  $z = 0,36$

### 5.1.3. Fase Analizar

Figura 14

Capacidad de Proceso para Espesor de Capa de Pintura

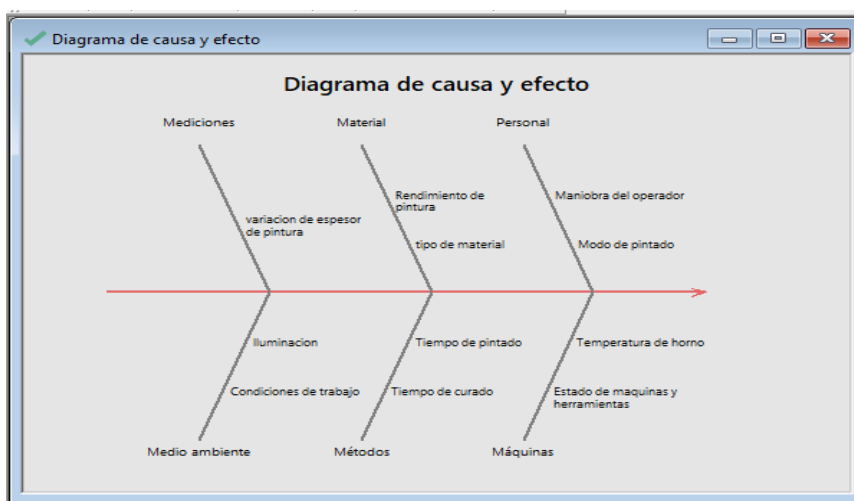


## Identificación de fuentes de variación

En la figura 15 se aprecia el diagrama de Ishikawa en la que se muestra que se puede presentar la variabilidad de tonalidad de color por los siguientes factores.

**Figura 15**

*Diagrama de causa efecto*



Cada problema encontrado tiene una causa, y según Córdova (2003), para realizar un análisis estadístico al respecto se debe ubicar sus fuentes de variación, de modo que, si se logra modificar dichas variables con el fin de reducir o, en el mejor de los casos, eliminar dichos problemas, se obtendrá un escenario óptimo del proceso que nos mostrará las mejoras que se podrían implementar.

Para poder determinar las fuentes más críticas de la variación del proceso de pintado, se planeará con el equipo de trabajo sigma desarrollar hipótesis sobre las posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes.

#### 5.1.4. Fase Mejorar

Aquí es donde se utilizarán las herramientas de estadística como la prueba de hipótesis y el diseño de experimentos, se analizará la significancia de dichas variabilidades y se determinará si se pueden reducir o eliminar.

Prueba de hipótesis de la mejora planteada en el diseño de experimentos se realizaran pruebas en las cuales se induce a cambios en las variables de entrada que se muestran en a tabla 9 de proceso de manera que sea posible observar e identificar las causas de las variaciones de salida.

Los factores experimentales evaluados y sus niveles fueron:

Espesor (micras): 20 – 30.

Temperatura de curado (°C): 150 – 180.

Tiempo de curado (minutos): 8 – 12

Las corridas completas se muestran en la Tabla 7. Dichos factores y sus niveles fueron seleccionados de acuerdo al proceso de pintura en polvo electrostática para piezas metálicas, y adaptada para el recubrimiento de paneles.

**Tabla 7**

*Corridas Experimentales Objetivo Específico 2*

Bloque	tcurado	Temp curado	Curado
	min	°C	µm
1	12	170	20
1	10	150	20
1	10	160	30

1	12	150	20
1	12	170	10
1	12	150	30
1	8	170	20
1	10	160	20
1	8	150	30
1	8	170	20
1	8	170	20
1	12	170	30
1	12	150	20
1	8	150	20
1	8	170	20
1	12	150	20
1	12	170	30

---

### **El Diseño de experimentos**

La elaboración del producto patrón consta de lo siguiente: Se escoge una bandeja de 1.50 X 0.90 metros cuadrados de superficie completamente limpia y sin ningún defecto de soldadura; esta es recubierta por la pintura electrostática para luego ser introducida en el horno. Se procede a hornear el producto patrón bajo las dos condiciones de horneado: Por un promedio de 12 minutos a una temperatura de 170°C, para efectos del experimento, como solo se puede ingresar un valor numérico como factor la pieza patrón ingresará con un espesor de capa de 25µm, valor medio del rango de espesor ideal de la pintura. Como se muestra en la tabla 8. Al realizar los experimentos primero se realiza un producto patrón el cual nos servirá como guía de identificación de productos no conformes.

**Tabla 8**

*Características Iniciales del Patrón o Muestra.*

<b>FACTORES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Espesor de capa de pintura	25µm
Tiempo de horneado de bandejas	12 min
Temperatura del horno	170°C

Para realizar los experimentos se definen los factores y el número de réplicas a emplear.

**Tabla 9**

*Niveles del Experimentos*

<b>FACTORES</b>	<b>NIVEL1</b>	<b>NIVEL2</b>
Espesor de capa de pintura	25µm	30µm
Tiempo de secado de horno	16 min	12min
Temperatura de Horno	170°C	190°C

En la Tabla 9 se indica los dos niveles a los que estará sujeto el experimento, estos presentan un nivel máximo y mínimo y el objetivo es determinar cuál es el más conveniente.

En la tabla 10 se muestra los diferentes experimentos que se realizaron, con sus respectivas características y resultados, es decir, el porcentaje de productos no conformes que son rechazados por los clientes. En cada experimento se realizó todas las combinaciones de los factores del producto a pintar, se modo que existan interacción entre ellos y se busque cual es el factor, o interacción de factores más significativo en el diseño final del producto como se muestra en la figura 16.

**Tabla 10**

*Tabla de Experimentos*

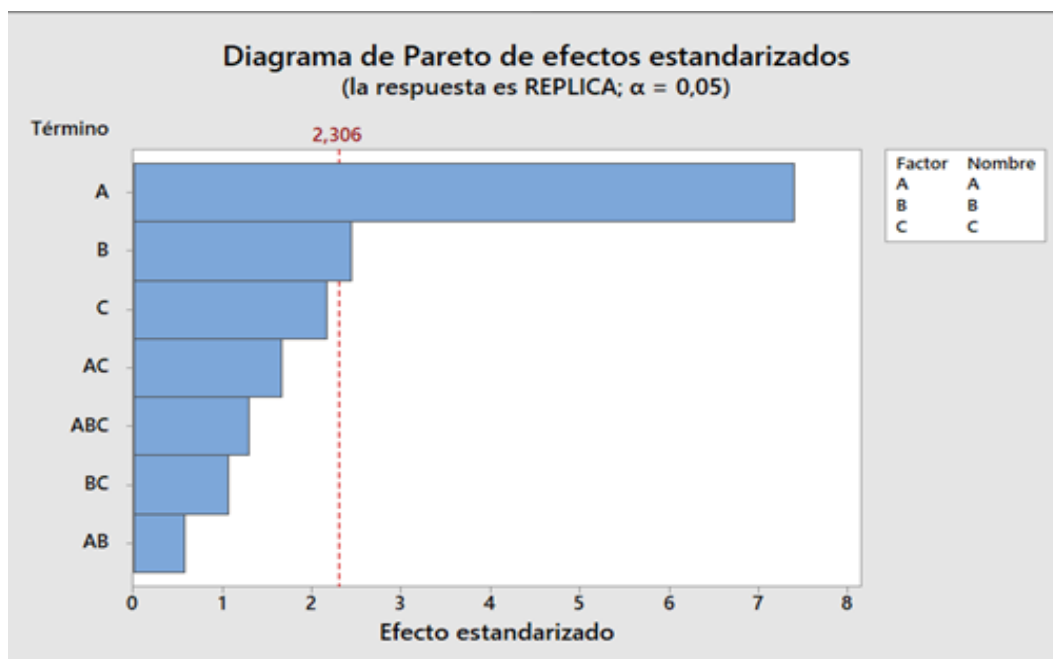
OrdenEst	Orden Corrida	PtCentral	Bloques	Espesor	t de curado	Temperatura de durado	Respuesta
1	1	1	1	25	12	170	0,09
2	2	1	1	30	12	170	0,45
3	3	1	1	25	16	170	0,23
4	4	1	1	30	16	170	0,69
5	5	1	1	25	12	190	0,08
6	6	1	1	30	12	190	0,45
7	7	1	1	25	16	190	0,25
8	8	1	1	30	16	190	0,89
9	9	1	1	25	12	170	0,09
10	10	1	1	30	12	170	0,48
11	11	1	1	25	16	170	0,16
12	12	1	1	30	16	170	0,29

13	13	1	1	25	12	190	0,12
14	14	1	1	30	12	190	0,58
15	15	1	1	25	16	190	0,2
16	16	1	1	30	16	190	0,8

Con el fin de determinar los factores críticos del proceso de recubrimiento con pintura en polvo electrostática se planteó un diseño de tipo factorial fraccionado 2x3 de resolución con 2 puntos al centro, siendo 16 corridas en total

**Figura 16**

*Diagrama de Pareto para Diseño Factorial Completo*

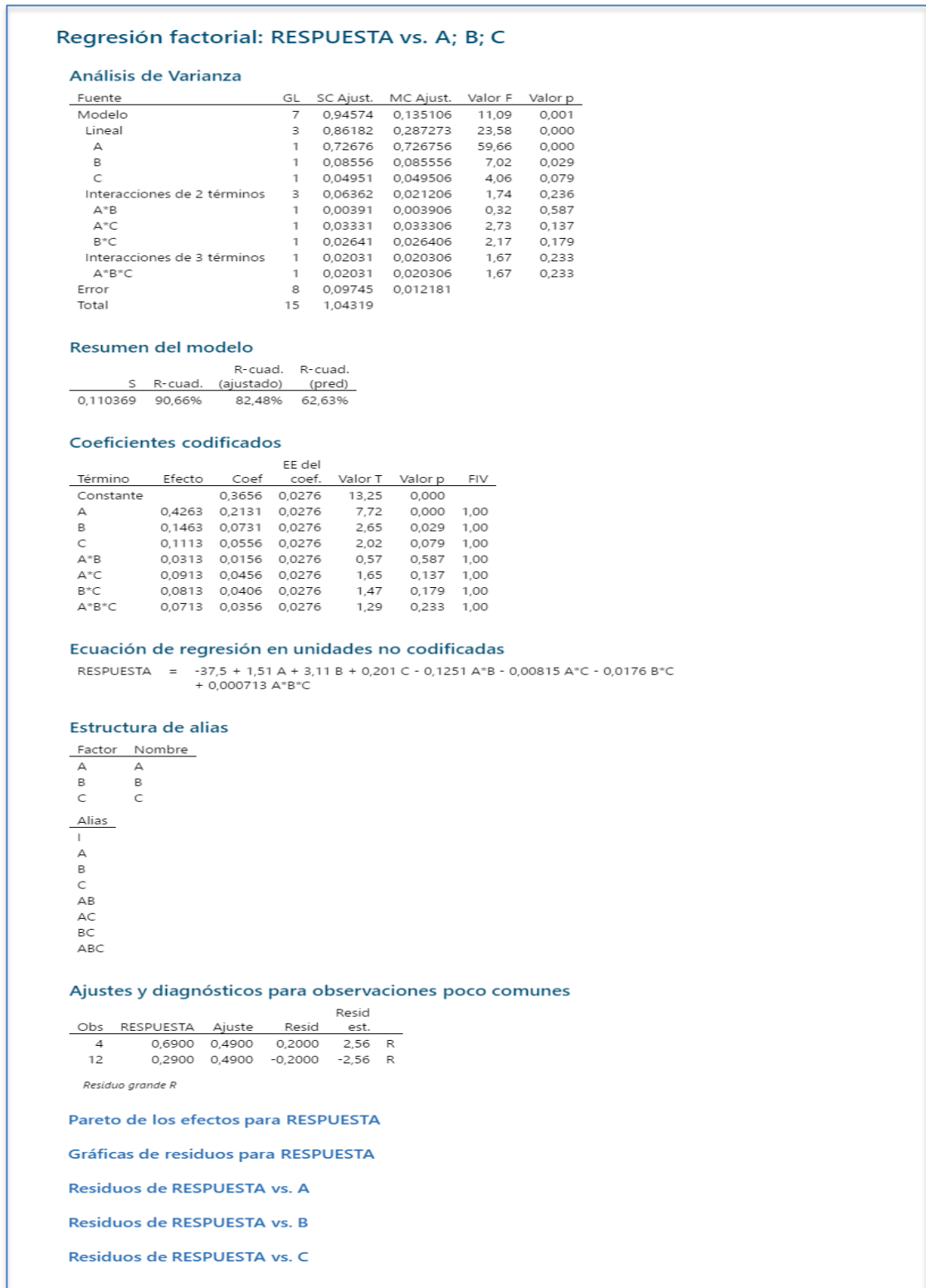




Según la figura 17 Debido a que los valores de P corresponden a los valores de tiempo de curado y espesor de la capa de pintura son menores al valor de alfa  $<0.05$  significa que constituyen de manera significativa en la tonalidad del color.

**Figura 17**

*Análisis ANOVA para el Diseño Factorial*



### 5.1.5. Fase Controlar

En la optimización de la respuesta Se definieron los tres principales factores: espesor, temperatura de secado y tiempo de curado como se muestra en la figura 18.

Con base en el resultado anterior se evaluaron los factores tiempo de curado en los niveles 12, 13 y 14 minutos, mientras que para la temperatura de curado se establecieron los niveles de 170°C, 175°C y 180°C y espesor de 25 27 y 30µ m. De la corridas descritas en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Optimización de la Respuesta para Encontrar el Óptimo*

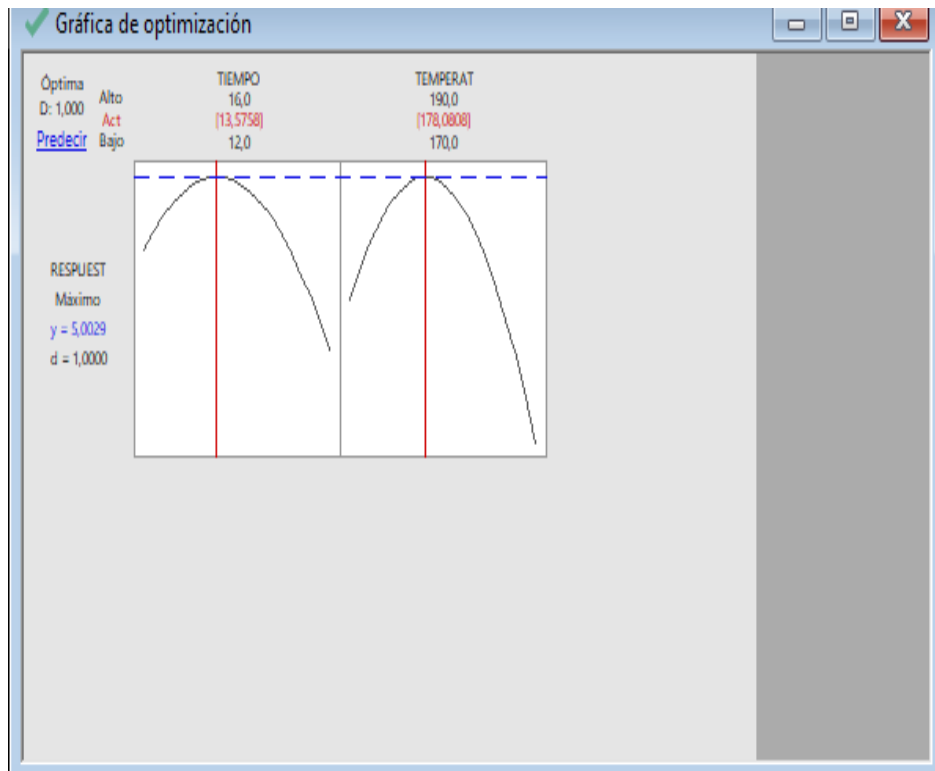
Bloque	t curado	T curado	curado
	Min	°C	Frotes
1	13	175	5
1	13	175	3
1	14	170	4
1	13	175	5
1	13	175	4
1	13	175	4
1	13	175	5
1	12	180	4
1	12	170	5
1	11,6	175	4
1	14	180	3

1	14,4	175	4
1	13	167,9	5
1	13	175	4
1	13	182,1	4
1	13	175	4

---

**Figura 18**

*Gráfica de Optimización Tiempo- Temperatura*



### **5.3. Otros resultados estadísticos**

Implementando la mejora con la metodología Six Sigma, se logró reducir el porcentaje de productos no conformes por tonalidad de color e incrementar la productividad de la organización. Al mantener el espesor de la capa de pintura a un valor cercano a los 27.5 $\mu$ m se obtendrá un producto sin manchas ni grumos de pintura.

Los tres principales factores: espesor temperatura de secado y condiciones de trabajo, en el objetivo se planteó propuestas de mejora minimizando el porcentaje de bandeja defectuosa en base a ello se procede la optimización de la respuesta.

Para corroborar el óptimo encontrado se realizaron dos corridas más con las condiciones óptimas obtenidas (Tiempo de curado 13.57 minutos y temperatura de curado 175°C espesor 27.5). Los resultados, que corroboran el óptimo.

Por el resultado obtenido, se concluye entonces que el nivel sigma a largo plazo ha mejorado de 2.04 a 0.36 después de la implementación de las mejoras; es decir, ha mejorado en un 17.64 %.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

#### 6.1.1. Respecto a la hipótesis específica

Como se determinó en el diseño factorial completo y al evaluar las mismas variables de respuesta (temperatura, tiempo y espesor), se confirmó que la etapa de curado es fundamental en la maximización de las variables analizadas como se muestra en la figura 19.

#### Figura 19

*Superficie de Respuesta para las Variables de Respuesta*

*Temperatura y Tiempo*



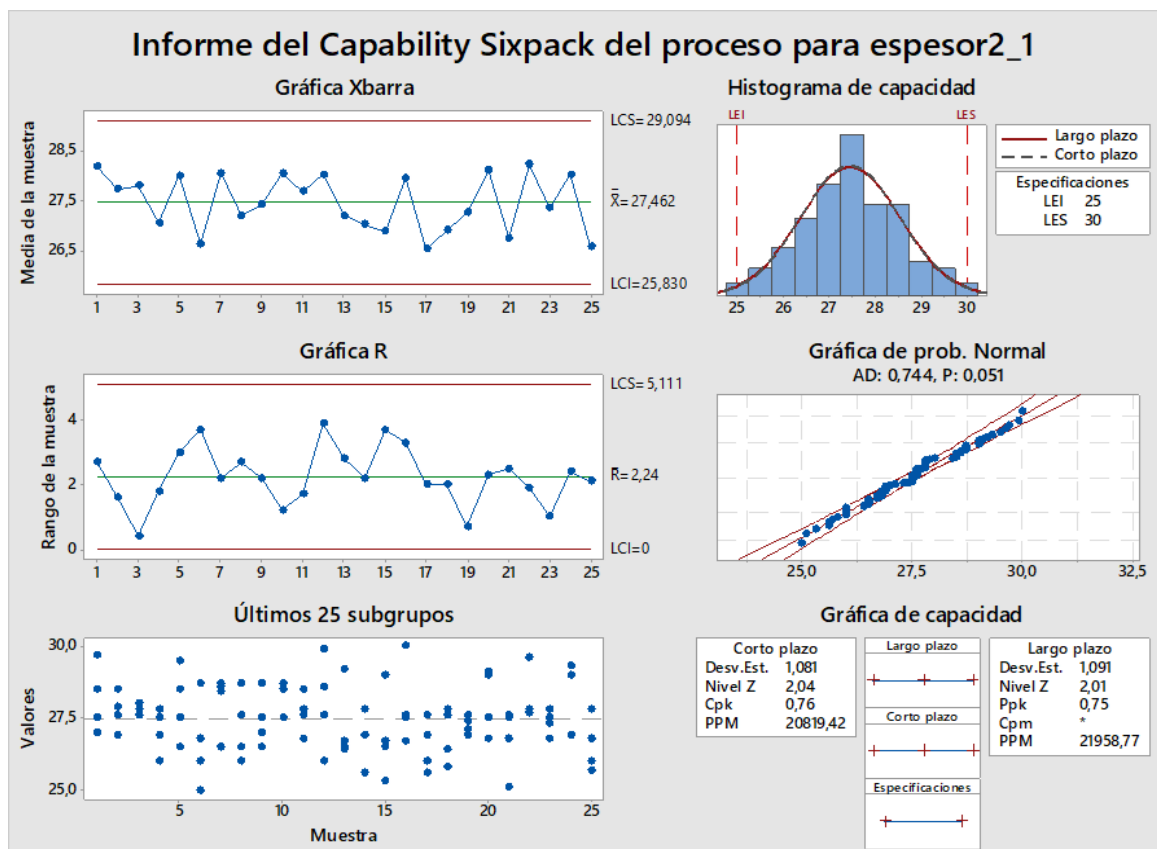
La curvatura da razón de que a temperaturas superiores a 178°C el recubrimiento va perdiendo propiedades por tanto tiempo afectan las propiedades de calidad del acabado del curado.

### 6.1.2. Respecto a la hipótesis general

Con las definiciones establecidas se calculó el nivel sigma a corto y largo plazo de la implementación de las mejoras obteniéndose los valores de 3.62 a respectivamente, como se muestra en la figura 20.

**Figura 20**

*Cálculos del Nivel Sigma Después de las Mejoras*



Por el resultado obtenido, se concluye entonces que el nivel sigma a largo plazo ha mejorado de 0.36 a 2.04 después de la implementación de las mejoras; es decir, ha mejorado en un 17.64 %. Como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Nivel Sigma del Proceso*

Nivel	z
Nivel sigma antes de las mejoras	0,36
Nivel sigma después de las mejoras	2,04

Ahora si se considera un desplazamiento de la meta (shift) de 1.5 el valor de sigma, el cuál representaría el valor de las variaciones inherentes al proceso la que se suma al valor Z obtenido, con lo que nos dará como resultado nivel sigma a largo plazo, por lo tanto, se define lo siguiente:

Nivel sigma a largo plazo = z

Nivel sigma a corto plazo = z + 1.50.

Obteniéndose los valores sigma a corto plazo respectivamente (Ver Tabla N° 13).



**Tabla 13**

*Nivel sigma a corto plazo*

Nivel	z
Nivel sigma antes de las mejoras	1.86
Nivel sigma después de las mejoras	3.54

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.**

En la presente tesis se aplicó la mejora con la metodología Six Sigma, reduciendo el porcentaje de productos no conformes en 17.64 % por defectos y un nivel Sigma de 1.86 a 3.54 logrando incrementar la productividad de la organización y se logró la obtención de los parámetros óptimos para la mejora del proceso planteado con un diseño de experimentos factorial completo 3x2 con el fin de lograr un acercamiento a la zona de optimización.

A diferencia de:

Facho (2017), donde utilizó la metodología six sigma la cual se desarrolló en la metodología Six Sigma y al cierre del proyecto logró mejorar tela no exportable. Asimismo, se logró una mejora del 7.28% en el nivel sigma del proceso, lo que generó ahorros significativos.

Paredes (2015), que redujo de 9.37% a 3.37% el porcentaje de ladrillos tipo pandereta defectuosos y al aplicar la metodología Six Sigma donde se pudo hallar los puntos más débiles durante la producción y pudiendo atacarlos con la implementación de soluciones potenciales en el área de secado y en el área de horneado, logrando así, el aumento del nivel sigma de 3.2 a 3.7.

### **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

El autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el presente informe final de investigación de acuerdo al código de ética de la investigación de la UNAC, Resolución del Consejo Universitario Nro 260-2019 CU.

## CONCLUSIONES

A partir de un diseño factorial completo  $3^2$  fue posible determinar los niveles de los factores críticos donde se encontraba un óptimo para las variables de respuesta. Dicho óptimo se encontró entre los niveles de 12 min y 14 min para el tiempo de curado y  $175^{\circ}\text{C}$  a  $180^{\circ}\text{C}$  para la temperatura de curado y 25 a 30 micras de espesor.

Luego mediante un diseño de experimentos de optimización por superficie de respuesta fue posible maximizar las propiedades de la dureza, la adherencia y el curado. Para un valor máximo de  $178^{\circ}\text{C}$  para la temperatura de curado y el valor 13.57 minutos para el tiempo de curado y 27.5 micras de espesor de pintura.

El despliegue de la metodología Six Sigma al cierre se logró reducir el porcentaje de defectos por millón de piezas metálicas en un 17.64 % y una mejora de nivel sigma del proceso a corto plazo de 1.86 a 3.54.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que ambos hornos utilizados en el proceso tengan una distribución de calor uniforme para garantizar que tanto el calentamiento como el curado de la pintura sean homogéneos a lo largo de la superficie.

Se recomienda el uso de ganchos de un material no conductor para colgar los paneles en la línea de producción con el fin de evitar que la pintura no adhiera bien en las zonas adyacentes a los mismos.

Se recomienda el uso del micrómetro de capa para poder asegurar una mayor precisión en el espesor de la capa de pintura en polvo a aplicar a las piezas de modo que estas no adquieran una tonalidad diferente a las exigidas por el cliente

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcalá, W. 2008. "Enfoque de procesos. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Instituto para la Calidad.

Barahona L. (2013) (Lima) en la tesis titulada: "Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la metodología lean six sigma";

Bernal, C. (2015) (Colombia). En su tesis titulada: "optimización del proceso productivo de la sección de pintura de la empresa industrias cruz hermanos s.a. mediante la metodología de seis sigma".

Binder, J. (2004). Powder of MDF: A Process Analysis. Industrial Paint & Powder, 80(9), 16-21.

Calderón, E. (2009) (Lima) en su tesis titulada: "Mejora De Procesos En Una Imprenta Que Realiza Trabajos De Impresión Offset Empleando Six Sigma

Crosby, P. 1979. "Quality is Free: The Art of Making Quality Certain". 1ra Edición. U.S. Editorial Mentor. 270pp

EVANS, James R. LINDSAY, William M. 2006. "Administración y Control de la Calidad". 7ma edición. México D.F.: Cengage Learning.

Facho, G. (2017) (Lima) "Mejora de procesos en una empresa textil exportador mediante la metodología Six Sigma".

Gutiérrez H. y De la Vara R. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, Tercera edición. Editorial Mc Graw-Hill, México.

Harris, S. (2008). Powder Coatings on Wooden Substrates. Focus on Powder Coatings, 2008(6), 1-2. 12

Jay, A. (2003). Six Sigma Simplificado. México: Panorama.

Levine, D. Krehbiel, T. Berenson, M. 2008. "Estadística para la Administración". 4ta Edición. México D.F. Prentice hall

Linderman, K., Shroeder, R, Zaheer, S. & Choo, A. (2003). Six Sigma: A Goaltheoretic Perspective. Journal of Op ns Management 21 (2), 193-293.

Niebel, B. y Freivalds, A .2004) Sistema de producción Toyota. Ingeniería industrial métodos estándares y diseño del trabajo. México, Alfaomega.

Niebel, B. (2000) Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo.  
Décima edición, 2001 10)

Montgomery, D. Runger, G. 2009. Probabilidad y Estadística Aplicado a la  
Ingeniería. 3ra. Edición, Ciudad: México DF.

Pande, P. Neuman, R., & Cavanagh, R. (2004). Las claves del Seis Sigma.  
Madrid: McGrawHill/Interamericana.

Pascual, E. (2009) Mejora De Procesos En Una Imprenta Que Realiza Trabajos  
De Impresión Offset Empleando Six Sigma. Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Industrial. Lima, Marzo de.

Paredes, C. (2015) (Lima), en la Tesis “Implementación de la Metodología Seis  
Sigma en el área de producción de la empresa “Cerámicos Cajamarca  
SRL”

Pilla, E (2019) (Ecuador) “Mejora de calidad en los procesos productivos  
aplicando la metodología seis sigma en la empresa metálicas Pillapa”.

PINTURA ELECTROSTÁTICA. Propiedades, usos y ventajas. Enlace:  
<http://www.deutschlandpc.com.mx/>

Rother, M. & Shook. J (1999) Observar para crear valor. Cartografía de la cadena de valor para agregar valor y eliminar “muda”. The lean Enterprise Institute,

Toledo, N. Aplicación del procedimiento Lean Manufacturing en una empresa. Universidad de Zaragoza área de Ingeniería de procesos de fabricación.

Saavedra, J. (2013) (Chile). En la tesis titulada “Propuestas de mejora de proceso productivo en LP Chile S.A. Planta Lautaro para elevar volumen de producción anual, utilizando metodologías Lean, TOC y Six Sigma”

Valderrey, P. (2010). SeisSigma. Paracuellos Jarama, Madrid: StarBook Editorial.

Womack, P. y Jones, D. (1996) T. Lean Thinking: Banish waste and create health in your corporation.

Zuluaga, P. (2016) (Colombia) en su tesis titulada: “aplicación de la metodología six sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa metalmecánica”.



## ANEXOS

### Matriz de consistencia

*Mejora del proceso de pintado electrostático en piezas metálicas de una empresa metalmecánica aplicando la metodología six sigma*

<b>Problema principal</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variables Dependientes</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Método</b>
¿Cómo se mejorará el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas?	Mejorar el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas aplicando metodología Six Sigma.	Se mejorará el proceso de pintado electrostático en piezas metálicas de una empresa metalmecánica aplicando la metodología Six sigma.	Nivel six sigma	% de piezas defectuosas z	piezas defectuosas	Cuasi experimental estadístico(Descriptivo-inferencial)
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variables Independientes</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Método de recolección de datos</b>

¿En qué porcentaje se reducirá los defectos del pintado electrostático aplicando la metodología six Sigma?	Determinar el porcentaje de reducción de defectos del pintado electrostático aplicando la metodología six sigma.	Aplicando la metodología six sigma se reducirán los defectos por pintado electrostático	Defectos por pintado electrostático	% micrómetros	Tiempo de secado- Temperatura de secado	Ficha de observación
¿Cuáles son los parámetros óptimos del proceso de pintado electrostático en piezas metálicas?	Determinar los parámetros óptimos de las variables del proceso de pintado electrostático en piezas metálicas.	Parámetros óptimos de operación de proceso de pintado electrostático son temperatura de curado entre 175  °c -180°c y tiempo de curado 12 min-15min	Parámetros óptimos del proceso de pintado electrostático	min °C	Tiempo de secado- Temperatura de secado	Estadística descriptiva- Estadística inferencial

# HOJA TÉCNICA

**PRODUCTO:** ECOTEK CS 70/30

**CÓDIGO:** 061 – 1003

## 1. DESCRIPCIÓN

**ECOTEK BLANCO CS 70/30** es un sistema de pintura en polvo de tipo híbrido, de acabado liso formulada con resinas poliéster y epóxicas (70/30) que le confieren:

- Excelente adhesión a sustratos metálicos y no metálicos termo resistentes.
- Excelente eficiencia de transferencia.
- Mayor resistencia al sobre horneado, manteniendo su color original y brillo.
- Excelentes resistencias mecánicas y químicas.
- Buen rango de temperatura de curado (170° C - 190°C)

## 2. USOS DEL PRODUCTO

Se recomienda para el pintado de estructuras metálicas, principalmente electrodomésticos, termas, estantería, muebles metálicos, juguetes, vidrio, etc.

## 3. PROPIEDADES FÍSICO–QUÍMICAS

Aspecto	:	Polvo fino
Acabado	:	Liso
Color	:	Blanco
Peso específico	:	1.3 - 1.6
Sólidos	:	100 %
Tiempo útil de Almacenaje	:	6 meses

## 4. FORMA DE USO

### ❑ Preparación de superficie

Las superficies a pintar deben estar libres de grasa, polvo o cualquier otro agente contaminante. En el caso de superficies metálicas se recomienda emplear tratamiento de limpieza químicos o mecánicos a fin de asegurar la adherencia y obtener mejores propiedades físicas y químicas.

### ❑ Características de Aplicación

Este tipo de pintura está diseñado para ser aplicado mediante equipo electrostático tipo corona o en lecho fluidizado.

TEKNOQUIMICA S.A.

Av. César Vallejo 1877 El Agustino, Lima 10 – Perú

612-6000 (511)12-6001 612-6002 612-6004 612-6006 612-6007 R.U.C. 20101292658



Hte0619-Rev00

Las temperaturas de curado del producto pueden ser observadas en el cuadro siguiente:

<b>Temperatura horneado (plancha)</b>	170°C	180°C	190°C
<b>Tiempo, minutos</b>	12	10	8

#### □ Propiedades de película

Espesor recomendado	:	20 - 30 micrones
Adhesión (ASTM D-3359)	:	4B - 5B
Brillo ángulo 60°C	:	90 – 100 UG.
Dureza (lápiz)	:	H - 2H Resistencia impacto (1 kg/mt)
	Directo	: Bueno
	Indirecto	: Bueno Flexibilidad (Mandril Cónico)
1/8") :		Bueno Resistencia al Salt Spray
(ASTM B117)	:	1,000 horas
Rendimiento teórico	:	10 - 14 m <sup>2</sup> /Kg. a 50 micrones

## 5. PRECAUCIONES EN SU USO

- Verificar el buen funcionamiento de las instalaciones eléctricas del equipo electrostático que aplica este tipo de pintura.
- En la aplicación utilizar equipo de seguridad como son: máscara de protección, guantes, lentes.
- Mantener el recipiente completamente cerrado.
- Almacenar en lugares frescos secos y con adecuada ventilación.
- Manténgase alejado del calor y el fuego.
- Evitar contacto con los ojos, piel y ropa.
- Tomar medidas de precaución para evitar acumulación de cargas electrostáticas.
- Después de usar, lávese completamente con abundante agua y jabón.

## 6. PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

<b>CODIGO DE PRESENTACION</b>	<b>TIPO</b>	<b>CONTENIDO NETO (KG)</b>	<b>PIEZAS POR PRESENTACION</b>
026	Caja Ecotek	25	1