



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
CENTRO DE POSTGRADOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE LA CALIDAD
Y PRODUCTIVIDAD**

**TEMA: “CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE
APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO
SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE PINTURA DE
SEDEMI.S.C.C”**

AUTOR: ING. ESPINOZA GUERRERO, ALEX JAVIER

DIRECTOR: ING. QUEVEDO ESPÍN, SANTIAGO

SANGOLQUÍ, 2016



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA CENTRO DE POSTGRADOS
DEPARTAMENTO DE ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS
Y DE COMERCIO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE PINTURA DE SEDEMI.S.C.C”** realizado por el señor **ESPINOZA GUERRERO ALEX JAVIER**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **ESPINOZA GUERRERO ALEX JAVIER** para que lo sustente públicamente.

Ing. Santiago Quevedo Espín

Ing. Sandra Aliaga Díaz



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA CENTRO DE POSTGRADOS
DEPARTAMENTO DE ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS
Y DE COMERCIO**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ESPINOZA GUERRERO ALEX JAVIER**, con cédula de identidad N° 0603222456, declaro que este trabajo de titulación “**CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE PINTURA DE SEDEMI.S.C.C**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

A handwritten signature in blue ink is positioned above a horizontal dashed line. The signature is stylized and appears to read 'Alex Javier Espinoza Guerreo'.

Ing. Alex Javier Espinoza Guerreo



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA CENTRO DE POSTGRADOS
DEPARTAMENTO DE ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS
Y DE COMERCIO**

AUTORIZACIÓN

Yo, **ESPINOZA GUERRERO ALEX JAVIER**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución del presente trabajo de titulación “**CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE PINTURA DE SEDEMI.S.C.C**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.



Ing. Alex Javier Espinoza Guerreo

DEDICATORIA

Yo, Alex Javier Espinoza Guerrero dedico la presente tesis a mis padres que con amor y paciencia supieron extender siempre su mano para caminar juntos y llegar al más anhelado sueño de mi vida profesional y personal.

Es una dedicación especial a mi padre que en estos momentos no se encuentra junto a mí, pero que desde cielo siempre estará cuidándome, protegiéndome y guiando siempre mis pasos por el buen camino.

A mis hermanos: Cristian y Verito que son mi respaldo y apoyo incondicional en todas mis decisiones buenas y malas, para el amor de mi vida que siempre me entrego todo su amor, cariño y paciencia durante toda mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por iluminar mi vida y ser mi constante fuerza para alcanzar mi mayor sueño y anhelo.

A mis padres y hermanos que con su apoyo infinito me brindaron su amor y apoyo incondicional en cada instante del día a día de mi vida.

Una gratitud enorme al apoyo incondicional y a la entrega del amor sincero por parte de la persona que llego a complementar y alegrar mi vida.

De igual manera y cada una de las personas que me brindaron su amistad en el transcurso de mi formación personal y profesional y en especial a lo largo de la presente investigación para realizarlo con ganas y concluirlo con alegría.

Por último, por su amistad, ayuda, aporte, y entrega dejo mis más sinceros agradecimientos: al Ing. Santiago Proaño, a la Ing. Paulina Loya, al Ing. Luis Alcocer, al Ing. Santiago Quevedo, a la Ing. Sandra Aliaga y al Ing. Jorge Rodríguez, que con su experiencia y conocimiento dieron paso firme a la conclusión del presente trabajo

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e Importancia	2
1.3. Definición del problema	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.	5
1.5. Meta.....	5
1.6. Metodología.....	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Control estadístico de la calidad.....	7
2.2. Control estadístico de procesos	10
2.3. Causas de la variabilidad	16
2.4. Gráficos de control	20
2.5. Capacidad de un proceso.....	25
2.6. Planteamiento de una hipótesis estadística	30
2.7. Resultados del control estadístico	34
CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA SEDEMI S.C.C.	36
3.1. Antecedentes de la empresa Sedemi.....	36
3.2. Direccionamiento estratégico	37
3.2.1. Misión	37

3.2.3. Visión	37
3.2.4. Organigrama	38
3.3. Unidades de producción.....	39
3.3.1. Planta de fabricaciones metálicas	42
3.3.2. Planta del calderería y rolados	43
3.3.3. Montajes electromecánicos de todo tipo de estructura metálica: liviana o pesada, apernada o soldada, galvanizada o pintada	43
3.3.4. Construcciones civiles	44
3.4. Mapa de procesos de Sedemi.....	45
3.4.1. Proceso general del departamento de producción	46
3.4.1.1. Inventarios de procesos.....	47
3.4.1.3. Subproceso pintado de estructuras metálicas	50
3.4.1.4. Diagrama de flujo.....	51
3.4.1.5. Caracterización del subproceso pintado de estructuras metálicas	51
3.4.1.6. Descripción de las actividades del subproceso	53
3.4.1.6.1. Preparación superficial	53
3.4.1.6.2. Aplicación del recubrimiento	63
3.4.1.6.2.1. Interpretación de las condiciones ambientales	63
3.4.1.6.2.2. Mezclado	69
3.4.1.6.2.3. Aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.....	71
3.4.1.6.3 Liberación de la estructura metálica pintada	74
CAPITULO IV: EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.....	75
4.1. Definición el proyecto	75
4.1.1. Definir la meta.....	79
4.2. Descripción de la situación Inicial.....	80

4.2.1. Características del problema	80
4.2.2. Recolección de datos.....	84
4.2.3. Representación de datos	85
4.3. Análisis de datos	102
4.3.1 Resultados de la tendencia central y dispersión.....	102
4.3.2 Prueba de hipótesis de las medias	107
4.3.3. Análisis de la tendencia central y dispersión	109
4.3.4. Resultados del proceso de aplicación del anticorrosivo superficial. ...	110
4.3.5 Análisis capacidad del proceso de anticorrosivo superficial	111
CAPITULO V: VERIFICACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ACCIONES DESARROLLADAS EN EL PROCESO DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL.	113
5.1 Verificación de los resultados.....	113
5.1.1 Validación de los resultados del proceso de aplicación	115
5.2. Estandarización del proceso de aplicación del anticorrosivo.....	120
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
6.1. CONCLUSIONES.....	123
6.2. Recomendaciones.....	126
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127

FIGURAS

Figura 1 Control estadístico de calidad	8
Figura 2 Control estadístico de Proceso	11
Figura 3 Control estadístico de Proceso	11
Figura 4 Control estadístico de Proceso	12
Figura 5 Control estadístico de Proceso	14
Figura 6 Control estadístico de Proceso	15
Figura 7 Causas de la variabilidad	16
Figura 8 Causas de la variabilidad	17
Figura 9 Características de un proceso estable	18
Figura 10 Causas especiales de variabilidad	19
Figura 11 Causas especiales de variabilidad	20
Figura 12 Límites de control	21
Figura 13 Gráficos de control	24
Figura 14 Capacidad de un proceso	27
Figura 15 Capacidad por especificaciones	29
Figura 16. Prueba bilateral a dos colas	32
Figura 17. Prueba unilateral con la cola hacia la derecha	32
Figura 18. Prueba unilateral con la cola hacia a la izquierda	33
Figura 19 Unidades de producción	41
Figura 20 Mapa de proceso	45
Figura 21 Proceso general de producción	47
Figura 22 Subproceso pintado de estructuras metálicas	50
Figura 23 Diagrama de flujo pintar estructuras metálicas	51
Figura 24 Herramientas manuales	56
Figura 25 SSPC-SP3 Herramientas de poder	57
Figura 26 Limpieza centrifuga	58
Figura 27 Limpieza abrasiva seca	59

Figura 28 Limpieza con aire seco	59
Figura 29 Equipo de medición de rugosidad.....	60
Figura 30 Cinta testex y herramienta plástica de punta redonda.....	61
Figura 31 Funcionamiento de la cinta replica	61
Figura 32 Medición con el micrometro y la cinta.....	62
Figura 33 Medidor digital del perfil de rugosidad	62
Figura 34 Termómetro mecánico magnético	65
Figura 35 La humedad relativa cambia aumenta la temperatura.....	66
Figura 36 Psicómetro giratorio	67
Figura 37 Higrómetro digital electrónico	68
Figura 38 Mezclado del recubrimiento	70
Figura 39 Tipos de boquillas	71
Figura 40 Medición espesor película húmeda	72
Figura 41 Medidor de espesores de película seca.....	73
Figura 42 Características del problema en proceso de aplicación.....	81
Figura 43 Tipos de defectos	83
Figura 44 Análisis capacidad de proceso aplicación.....	86
Figura 45 Plan de acción	88
Figura 46 Representación de datos	90
Figura 47 Espesores de película y rendimiento Enero.....	91
Figura 48 Espesores de película seca y Rendimiento Febrero.....	92
Figura 49 Espesores de película seca y Rendimiento Marzo	93
Figura 50 Análisis de capacidad de espesores y del proceso aplicación Enero	96
Figura 51 Análisis de capacidad de espesores y del Febrero.....	97
Figura 52 Análisis de capacidad de espesores y del Marzo	98
Figura 53 Resultados de la tendencia central y dispersión Enero	103
Figura 54 Resultados de la tendencia central y dispersión Febrero	104
Figura 55 Resultados de la tendencia central y dispersión Marzo	105
Figura 56. Riesgo alta valor z	107

Figura 57 Resultados de la tendencia central y dispersión Abril.....	110
Figura 58 Resultados del proceso de anticorrosivo.	110
Figura 59 Capacidad del proceso espesores.....	116
Figura 60 Capacidad proceso sixpack del proceso de aplicación.....	120

TABLAS

Tabla 1 Control estadístico de Proceso	13
Tabla 2 Inventario de procesos.....	49
Tabla 3 Caracterización del proceso.....	52
Tabla 4 Equipo de trabajo.....	78
Tabla 5 Pérdidas teóricas	79
Tabla 6 Periodo 2015.....	90
Tabla 7 Rendimiento práctico Enero.....	92
Tabla 8 Rendimiento práctico Febrero.....	93
Tabla 9 Rendimiento práctico Marzo	94
Tabla 10 Resumen de la tendencia central y dispersión.....	106
Tabla 11 Prueba de media de dos muestras	108
Tabla 12 Resultados aplicación del recubrimiento anticorrosivo.....	111
Tabla 13 Verificación de resultados	114
Tabla 14 Resultados de costos.....	118
Tabla 15 Procedimiento estándar de operación	122

RESUMEN

El departamento de Pintura se encuentra trabajando constantemente para actualizar, mejorar, y modernizar sus procesos de preparación superficial y aplicación de recubrimientos industriales así brindar un producto de calidad cumpliendo con las normas técnicas y especificaciones del cliente. En base a la implementación de la metodología “ruta de la calidad” en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo ejecutado en el primer proyecto de graduación, se realizó el seguimiento, análisis y la mejora continua del proceso de aplicación, el cual permitió identificar que la productividad del recubrimiento influye directamente en la calidad del producto final. Las dos variables principales proceso son el espesor de la película seca y el rendimiento ($\frac{m^2}{gal}$) del recubrimiento anticorrosivo durante el proceso de aplicación, determina índice de productividad. Con la implementación del control estadístico ayudará a mejorar y estabilizar el proceso mediante el control y seguimiento continuo del espesor de película seca (EPS) y el rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$). La estandarización del espesor de película seca y valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), obtener una mejora en la regularización del desperdicio, re-procesos y consumo generando los siguientes beneficios: incremento en la producción y calidad, la vida útil de las estructuras metálicas contra la corrosión, reducción de costos, esto originará una mayor rentabilidad para la empresa.

Palabras claves:

ESTANDARIZACIÓN

ESPECIFICACIONES

CONTROL ESTADÍSTICO

MEJORA CONTINUA

PRODUCTIVIDAD

ABSTRACT

Painting department is constantly working to upgrade, improve and modernize their processes of surface preparation and application of industrial coatings according to the new demands of the industrial a quality product meeting the technical standards and customer specifications. Based on the implementation of the methodology "quality route" in the process of applying the anticorrosive coating surface executed in the first graduation project, monitoring, analysis and continuous improvement of the implementation process was conducted, which identified productivity, directly influences the quality of the final product applied in the workshop. The two main process variables are the thickness of the dry film and performance ($\frac{m^2}{gal}$) anticorrosive coating surface during application to different metal structures (ferrous) which determines productivity. With the implementation of statistical control in the process of applying anti-corrosion coating will help improve and stabilize the application process by controlling and monitoring the dry film thickness (EPS) and practical performance ($\frac{m^2}{gal}$). The standardization of film thickness of the dry (EPS), and practical performance value ($\frac{m^2}{gal}$), workshop will obtain an improvement in regulating the waste, rework and consumption generate the following benefits: increased production and quality, the service life of metal structures against corrosion, reduce costs; this will result in higher profitability for the company.

Key words:

SPECIFICATIONS

PRODUCTIVITY

STATISTICAL CONTROL

STANDARDIZATION

CONTINUOUS IMPROVEMENT

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La industria metalmecánica constituye un pilar fundamental en la cadena productiva del país, por su alto valor agregado, componentes tecnológicos y su articulación con diversos sectores industriales. De esta manera se justifica su transversalidad con los sectores alimenticio, textil y confecciones, maderero, de la construcción, etc.

La industria del metal constituye una de las industrias básicas más importantes de los países industrializados. En el Ecuador los productos que agrupan la mayor cantidad de las exportaciones entre el año 2007 y 2011 son: Manufacturas de fundición, hierro o acero con un 27%, le sigue reactores nucleares, calderas, máquinas, aparatos y artefactos mecánicos con un 26% y máquinas, aparatos, material eléctrico y sus partes con un 15%.

Este sector es un pilar fundamental en el desarrollo de proyectos estratégicos; como los de telecomunicaciones, mineros, eléctricos, hidroeléctricos, electrodomésticos, automotor, maquinaria en general, construcción de edificios y otras industrias fundamentales para producción de bienes y servicios generando mayor puestos de empleo ya que necesita de operarios, mecánicos, técnicos, herreros, soldadores, electricistas, torneros e ingenieros en su cadena productiva. (Revolución industrial)

La protección del acero contra el medio ambiente y condiciones corrosivas es una práctica que permite preservar la infraestructura por largos períodos de tiempo reduciéndose las pérdidas por mantenimiento, el medio más usado para la protección es el uso de recubrimientos o “pinturas anticorrosivas”

La aplicación de estos recubrimientos se efectúa para proteger los sustratos del deterioro y es efectuado por personal especializado, porque actualmente se exigen procedimientos y controles especializados

1.2. Justificación e Importancia

La aplicación de recubrimientos anticorrosivos es el método más ampliamente usado en la protección contra la corrosión, la principal ventaja que induce al empleo de este tipo de protección son la diversidad de los mismos, sencilla aplicación, diversidad de colores, un costo bajo y la posibilidad de combinación con recubrimientos metálicos.

Mediante el control estadístico se pretende estabilizar el valor del espesor de la película seca y el rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), del recubrimiento anticorrosivo superficial para que el resultado sea el óptimo en todas las etapas (antes, durante, y después) al finalizar el trabajo, y su permanencia perdure en el tiempo.

Para obtener un buen desempeño, el recubrimiento anticorrosivo debe estar perfectamente adherido al sustrato, un espesor seco de la película adecuado a la especificación del cliente, así como su dureza y desgaste debe estar acorde a la vida útil y prestación del objeto en cuestión.

La estandarización del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), del recubrimiento anticorrosivo, nos permitirá obtener una mejora en la productividad y en la regularización del espesor de película seca, disminuyendo drásticamente el % desperdicio del recubrimiento anticorrosivo y sus defectos.

Una vez que el espesor de película seca y el rendimiento práctico (m^2/gal), este controlado y estandarizado se podrá establecer una línea base de comparación mediante los indicadores relacionados al espesor de película seca y el rendimiento de pintura (m^2/gal), del recubrimiento anticorrosivo, realizando semestralmente, los resultados expuestos nos permitirá seguir estableciendo nuevas acciones de mejora para el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo, capacitación constante al personal en sus destrezas, habilidades y conocimientos sobre la aplicación del recubrimiento anticorrosivo, esto es una ventaja importante ya que permitirá ejecutar una reducción de costos por adquisición de lotes de pintura extras a la cantidad original establecido en la planificación al inicio del cada proyecto a ejecutar, beneficiando directamente a la empresa, esto se verá reflejado en la entrega de un producto con alto nivel de calidad y satisfacción del cliente.

1.3. Definición del problema

En el departamento de pintura se presentó una variación en la productividad en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial en las diferentes estructuras metálicas, el cual implica realizar re-procesos para cumplir con las especificaciones del cliente.

Después de la aplicación del recubrimiento anticorrosivo se genera una variación en los espesores de película seca, y en el valor del rendimiento práctico (m^2/gal), afectando directamente en la calidad del producto final

La cantidad de galones del recubrimiento anticorrosivo superficial que se requiere para la ejecución total del proyecto se calcula en función del espesor de la película seca y el rendimiento práctico (m^2/gal), la variación del rendimiento práctico afecta directamente en el abastecimiento del stock del recubrimiento anticorrosivo, y obliga realizar una adquisición extra del recubrimiento anticorrosivo a la cantidad original establecido en el inicio de la planificación para poder culminar el trabajo.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar el control estadístico en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial en el área de pintura de SEDEMI S.C.C.

1.4.2. Objetivos específicos.

1.4.2.1 Efectuar un diagnóstico sobre la situación actual del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial en el área de pintura.

1.4.2.2 Evaluar el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial mediante el uso de herramientas estadísticas.

1.4.2.3 Verificar la efectividad de las acciones de mejora desarrolladas en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

1.5. Meta

Implementar cambios estratégicos y deliberados al proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial que permitan mejorar su productividad hasta el primer semestre del año 2015, mediante un estudio experimental y verificar que los estándares se estén siguiendo.

1.6. Metodología

Es un estudio de enfoque inductivo, que mediante la recolección de datos del proceso de aplicación del recubrimiento superficial, y el frecuente uso de herramientas estadísticas necesarias para poder analizar el comportamiento y los resultados de productividad, que determina el avance en la ejecución del proyecto.

El seguimiento del proceso es de manera cuantitativa cuyo alcance será descriptivo, analizando las variables que intervienen en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Control estadístico de la calidad

Definimos el Control Estadístico de la Calidad como la aplicación de diferentes técnicas estadísticas a procesos industriales (mano de obra, materias primas medidas, máquinas y medio ambiente), procesos administrativos y/o servicios con objeto de verificar si todas y cada una de las partes del proceso y servicio cumplen con unas ciertas exigencias de calidad y ayudar a cumplirlas, entendiendo por calidad la aptitud del producto y/o servicio para su uso.

La aplicación de técnicas estadísticas al control está basada en el estudio y evaluación de la variabilidad existente en cualquier tipo de proceso que es principalmente el objeto de la estadística.

Se clasifica en “variabilidad controlada” o “corregible” que no entra dentro de nuestro campo pero si es posible detectarla por causar una variabilidad muy grande (ajuste incorrecto de la máquina, errores humanos, siendo posible eliminar la causa o causas que la han producido, y la “variabilidad debida al azar”, también denominada “variabilidad no controlable que no puede ser asignada a una causa única sino al efecto combinado de otras muchas.

Supongamos un esquema de un proceso de fabricación determinado que produce cierta pieza donde la característica de calidad sea Y

(medible u observable). Se observa que la magnitud de la característica varía de unidad a unidad de producto; esto es, se dice que el producto posee variabilidad, objetivo primario o base de la estadística. (GUTIERREZ, 2009)

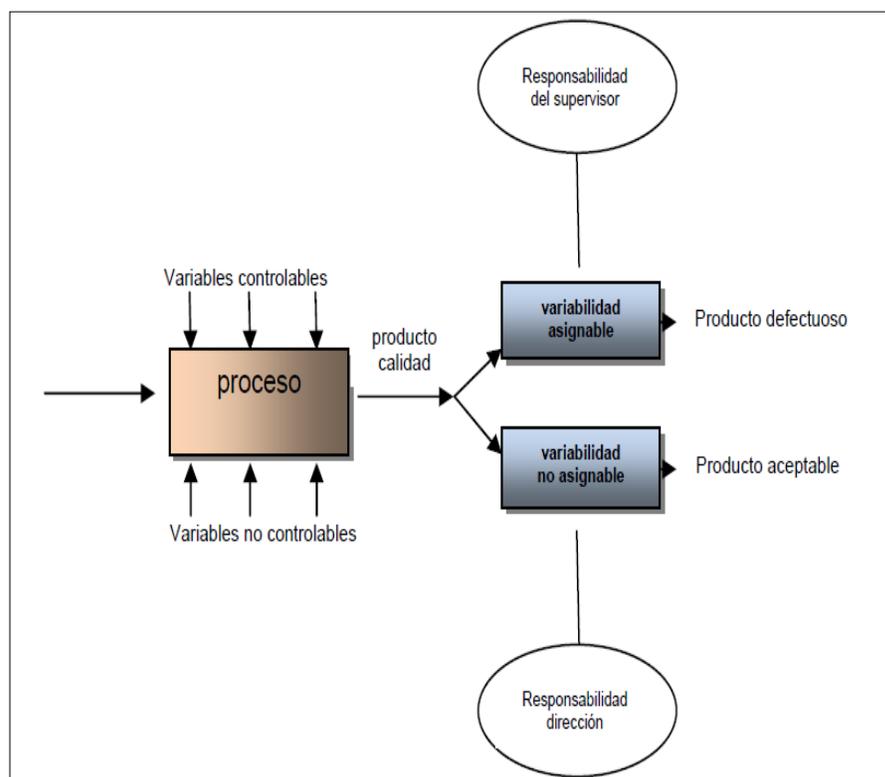


Figura 1 Control estadístico de calidad

En el desarrollo práctico de la asignatura tendremos en cuenta siempre su aplicación a procesos industriales que permiten la disponibilidad de gran variedad de datos donde la o las características de calidad podrán ser medibles y se conocen como variables o podrán ser observadas a las que se refiere como atributos, utilizando distintas técnicas según el tipo de ellas.

En todo proceso industrial cabe distinguir la calidad de diseño que no es objetivo de la asignatura y la calidad de fabricación, sobre la que nos centraremos especialmente, aplicando los métodos estadísticos al:

- ✓ Control del proceso o en curso de fabricación que proporciona no solo detectar fallos en curso de fabricación sino también permite aprender cuáles son las causas que provocan variabilidad, aportando datos para mejorar el proceso.

El objetivo del control estadístico de la calidad es:

- ✓ Detectar rápidamente la ocurrencia de variabilidad debida a causas asignables.
- ✓ Investigar la(s) causa(s) que la han producido y eliminarla(s).
- ✓ Informar de ella para la toma de decisión oportuna, pues de lo contrario se producirían gran cantidad de unidades de calidad no aceptable, originando una disminución de la capacidad productiva e incremento de costos del producto terminado (supervisor).
- ✓ Eliminar, si es posible, o al menos reducir al máximo la variabilidad del proceso (dirección). (CARROPAZ, 2004)

2.2. Control estadístico de procesos

“Es la aplicación de técnicas para determinar si el resultado de un proceso concuerda con el diseño del producto o servicio correspondiente. Las herramientas conocidas como gráficas de control se usan para detectar la elaboración de productos o servicios defectuosos; o bien, para indicar que el proceso de producción se ha modificado y los productos o servicios se desviarán de sus respectivas especificaciones de diseño, a menos que se tomen medidas para corregir esa situación.

El control estadístico también suele utilizarse con el propósito de informar a la gerencia sobre los cambios introducidos en los procesos que hayan repercutido favorablemente en la producción resultante de dichos procesos todo proceso está sujeto a un cierto grado de variabilidad.

Variabilidad

La variabilidad se refiere a que tan alejados están un conjunto de datos del promedio. Esta variabilidad se mide cuanto mayor sea ese valor, mayor será la variabilidad, cuanto menor sea, más homogénea será el promedio.

Variabilidad en los procesos

El propósito de observar si el proceso está dentro de su variabilidad aleatoria o ha salido de control produciendo fallas que sean asignables algún problema determinado.

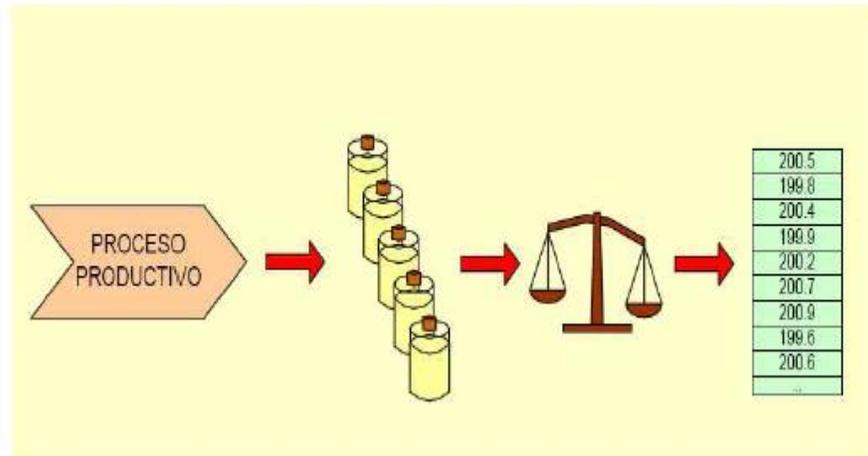


Figura 2 Control estadístico de Proceso

Dentro de los límites: OK (cero defectos). Fuera de los límites: rechazado (pérdida). (GUTIERREZ, 2009)



Figura 3 Control estadístico de Proceso

Las características que determinan la calidad de un producto se pueden representar de la siguiente manera

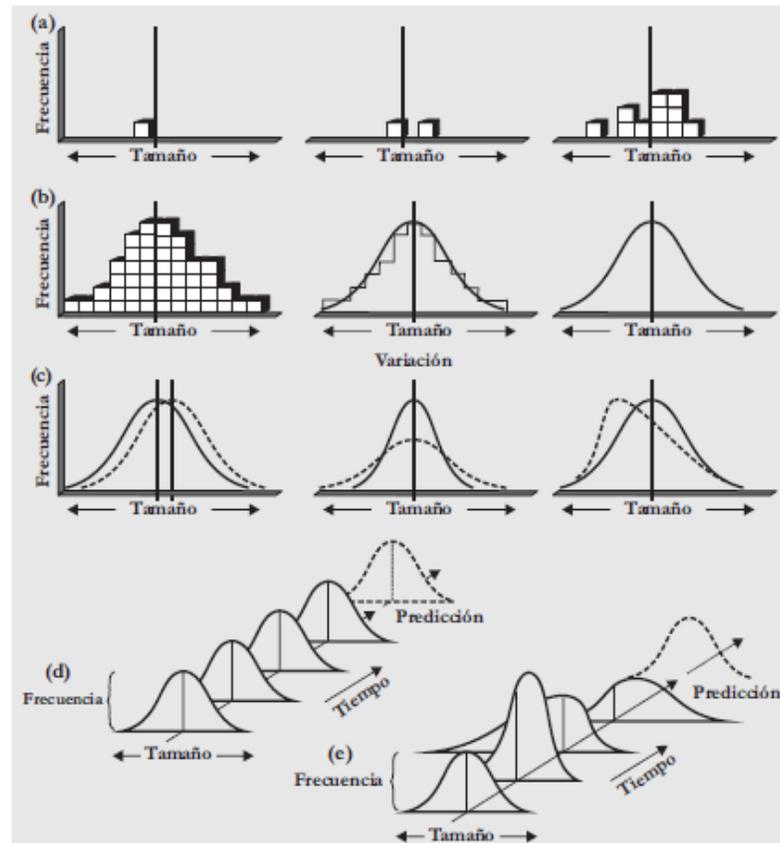


Figura 4 Control estadístico de Proceso

“Independientemente de los tipos de productos o clases de métodos de producción utilizados, la causa de la pérdida de calidad en los productos es la variabilidad.

En 1998, el board de la GE descubrió algo preocupante con relación a la iniciativa Seis Sigma:

La empresa estaba economizando mucho dinero mediante el mejoramiento de la calidad de los productos y procesos, ¡pero los clientes no estaban notando ningún mejoramiento sensible.

La tabla siguiente desvenda el misterio

Tabla 1

Control estadístico de Proceso

	Antes	Después de la mejoría
Pedido 1	2	2
Pedido 2	21	15
Pedido 3	21	16
Pedido 4	42	30
Pedido 5	13	10
Pedido 6	38	28
Pedido 7	27	20
Pedido 8	44	32
Pedido 9	27	20
Pedido 10	35	25
Media	57 días	20 días

En promedio, una buena mejoría. Pero la variedad permanece alta. De esto se dedujo que lo que más impacta al cliente es la variación, reducir la variación es más complicado, pero ofrece mayores oportunidades competitivas

Aún con el desempeño mejorado (media 20 días), si le prometemos al cliente un plazo de 28 días, estaríamos entregando con atraso cerca del 20% de las entregas. Con este proceso si queremos lo máximo 0.1% de entregas con más de 28 días, ¡el promedio tendría que ser reducido para

7 días, lo que probablemente requiere un cambio radical en el proceso, con un probable aumento de costo.

Pero si reducimos drásticamente la variabilidad, podremos mantener la media en 20 días y aun así garantizar todas las entregas dentro de los 28 días

Y aún tenemos la ventaja competitiva de poder reducir el plazo de entrega, si se hace necesario

“Dentro de la definición de la reducción costos Taguchi expresa: Cualquier desvío en relación al valor ideal causa pérdida, aun dentro de la tolerancia, cuanto mayor es el desvío, mayor será la pérdida. (QUALIPLUS, 2004)

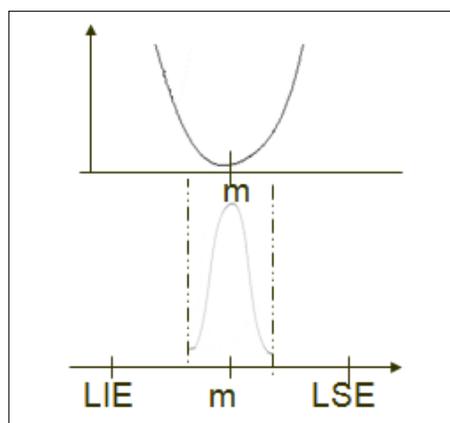


Figura 5 Control estadístico de Proceso

La calidad es un juicio que el cliente tiene sobre un producto o servicio, resultado del grado con el cuál un conjunto de características inherentes al producto cumple con sus requerimientos, pero cuando se tiene problema de calidad solo se mejora hasta cierto punto.

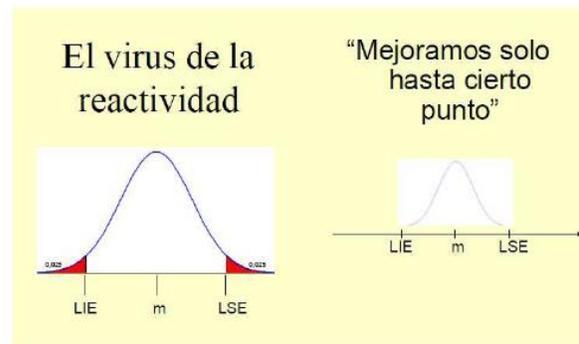


Figura 6 Control estadístico de Proceso

Para lograr este tipo de mejora se debe invertir recursos en:

- ✓ Control del proceso
- ✓ Inspección
- ✓ Reproceso
- ✓ Materia prima más cara.

El propósito del ciclo de control es lograr la satisfacción plena del cliente, para esto se realiza varias etapas de control en el proceso la mejora continua necesita una metodología cuyo soporte le brindan las

herramientas básicas para hacer rotar el ciclo PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar)

Deming demostró que la alteración del proceso en realidad puede incrementar la variación y ocasionar un desempeño más pobre y una medida para evitar y eliminar las causas raíz de la variación y tener oportunidades de reducción de costo. (CARROPAZ, 2004)

2.3. Causas de la variabilidad

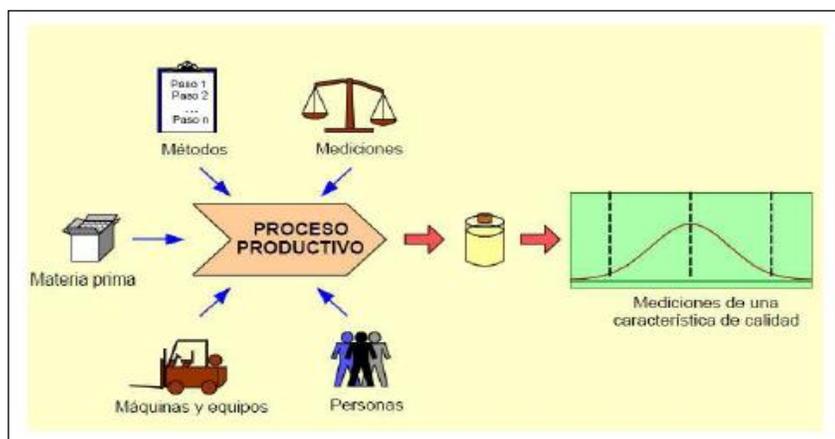


Figura 7 Causas de la variabilidad

“Definamos las leyes de la variabilidad:

- ✓ Toda variación es causada.
- ✓ Es imposible prevenir un resultado individual.
- ✓ Un grupo de resultados originados de un mismo conjunto de causas, tienden a ser previsibles siguiendo un mismo patrón
- ✓ Cuando aquel conjunto de causas es perturbado por causas externas, el patrón de variación se altera.

Causas comunes de la variabilidad

Son fuentes de variación puramente aleatoria, no identificables e imposibles de evitar, sin embargo el efecto de alguna de ellas puede ser aislado pero solamente por experimentos especialmente planeados

“Los efectos de las causas comunes son:

- ✓ El proceso se vuelve previsible definiéndose como proceso estable
- ✓ Los datos tienden a formar una distribución bien comportada, variando de una cierta franja.

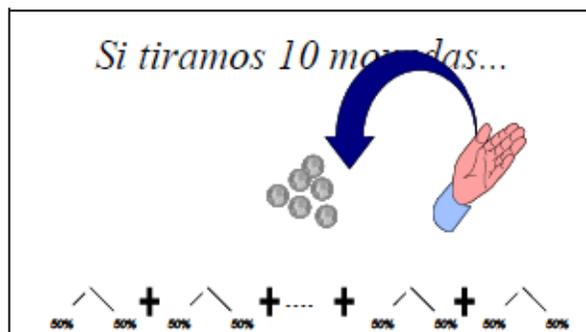


Figura 8 Causas de la variabilidad

Las características del proceso estable:

- ✓ La mayoría de los puntos cerca de la línea central

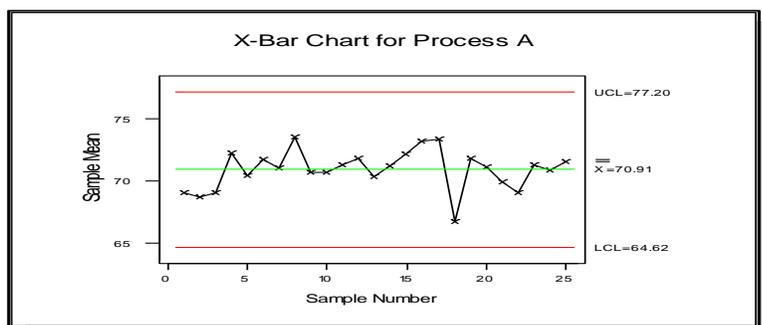
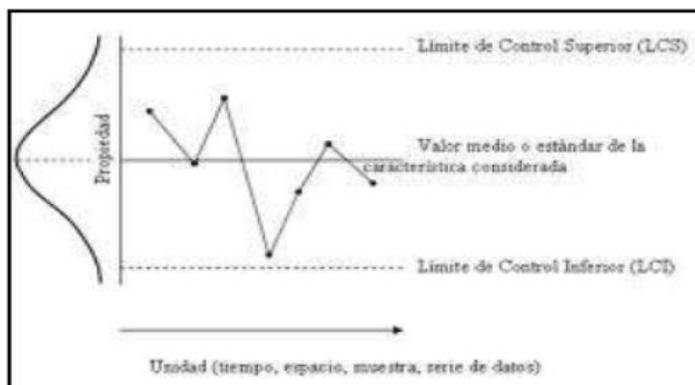


Figura 9 Características de un proceso estable

- ✓ Algunos puntos próximos de los límites de control
- ✓ Ningún punto (o uno solo, raramente) más de los límites” (RUIZ, 2006)

Causas especiales de la variabilidad

La variación de cualquier factor causante de variación lograr ser identificado y eliminado no están presentes todo el tiempo, o solo afectan a algunos resultados, desde que se pueden distinguir de las causas comunes.

Los efectos de las causas especiales son:

- ✓ Alteran la distribución natural del proceso
- ✓ El proceso se vuelve imprevisible denominándose proceso inestable

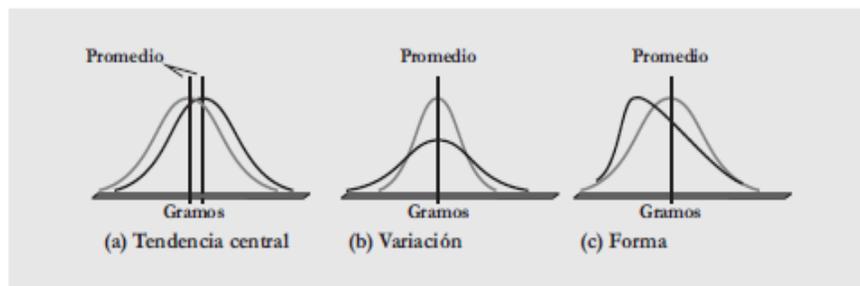


Figura 10 Causas especiales de variabilidad

Las características del proceso inestable (fuera de control) son:

- ✓ Puntos fuera de los límites de control
- ✓ Ausencias de puntos próximos a los límites
- ✓ Falta de equilibrio en relación a la LC

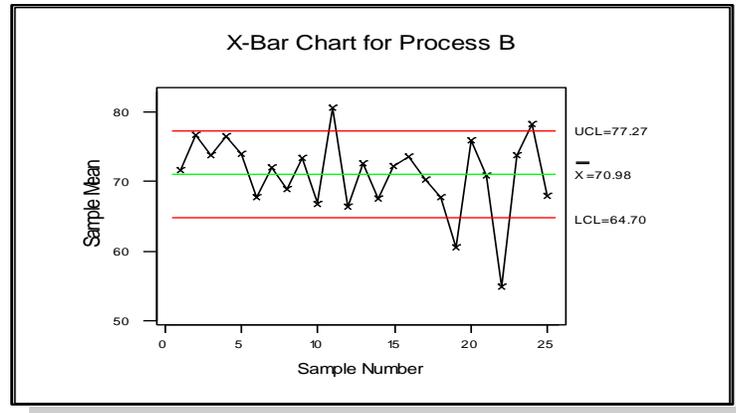


Figura 11 Causas especiales de variabilidad

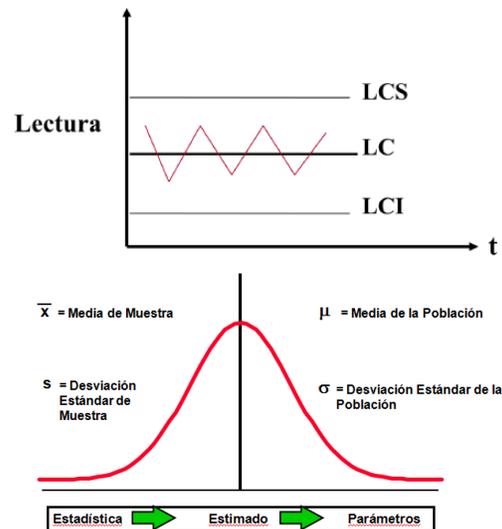
Dening afirmaba que el 94% de los problemas (y oportunidades de mejoría) se deben a causas comunes. Apenas 6% se deben a causas especiales.” (GUTIERREZ, 2009)

2.4. Gráficos de control

“Los gráficos de control representan ilustrativamente los datos que permiten ver un panorama general de la situación, según se grafiquen los datos, (Histograma de Barras, Gráfica de líneas, Gráficas de Pastel, Gráficas de Radar, etc.)

Estas herramientas permiten conocer cual frecuente es la ocurrencia de los datos que haya tomado un proceso al mediar una o más variables, esto es un medidor o un indicador que puede asumir cualquier cifra en un rango definido.

El objetivo de esta herramienta es cuantificar características relevantes de un proceso, para comprender de mejor manera la variabilidad propia de este.



Los límites de control se establecen en una distancia de $\pm 3\sigma$

Figura 12 Límites de control

Casi toda su potencia está en la capacidad de monitorear el centro del proceso y su variación alrededor del centro, recopilando datos de mediciones en diferentes etapas del proceso, se pueden detectar y corregir variaciones en el proceso que pueden afectar a la calidad del producto o servicio final, reduciendo desechos y evitando que los problemas lleguen al cliente final.

Para ejecutar las funcionalidades de los gráficos de control por variables, debe tenerse en consideración lo siguiente:

- ✓ El proceso debe ser estable
- ✓ Los datos del proceso deben obedecer a una distribución normal
- ✓ El número de datos a considerar debe tener aproximadamente 20 a 25 subgrupos con un tamaño de muestras de 4 a 5, para que las muestras consideradas sean representativas de la población
- ✓ Los datos deben ser clasificados teniendo en cuenta que la dispersión debe ser mínima dentro de cada subgrupo y máxima entre subgrupos.

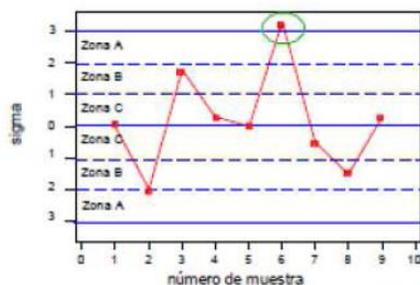
Interpretación de los gráficos de control

Cuando algunos estadísticos muestrales cae fuera de los límites de control, hay razones para pensar que el proceso está fuera de control. Además también es importante estudiar la posible existencia de patrones no aleatorios en la representación de dichos estadísticos muestrales, ya que tales patrones suelen ser un síntoma de que los parámetros del proceso están cambiando.

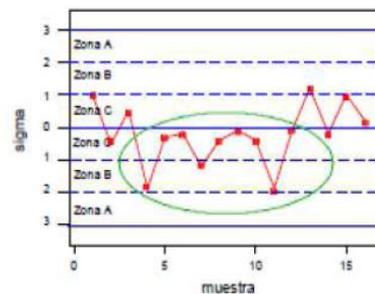
A tal efecto se utilizan los test para causas especiales o asignables, término que se contrapone a causas comunes o aleatorias (inherentes al proceso)

Los test para causas especiales tienen un fundamento estadístico”

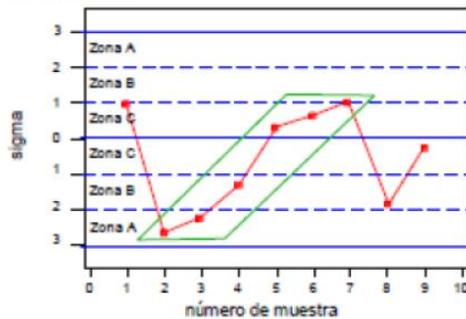
Test 1: un punto situado más allá de los límites de control



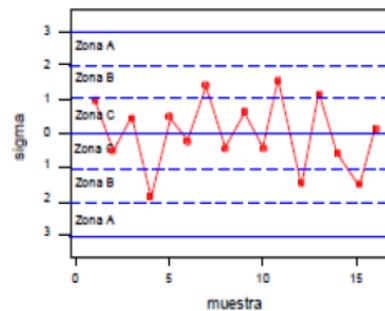
Test 2: nueve puntos consecutivos en el mismo lado



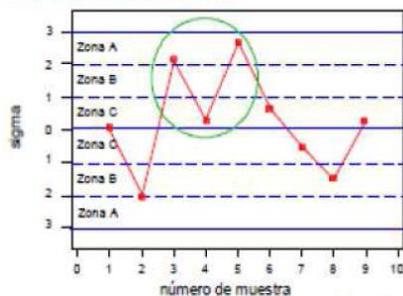
Test 3: seis puntos consecutivos ascendentes o descendentes



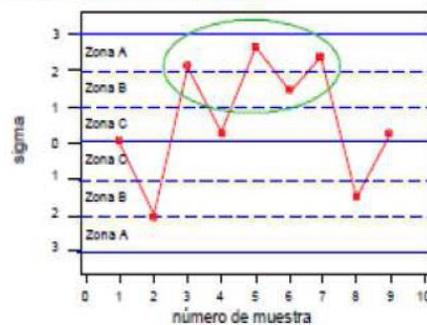
Test 4: catorce puntos consecutivos alternando arriba y abajo



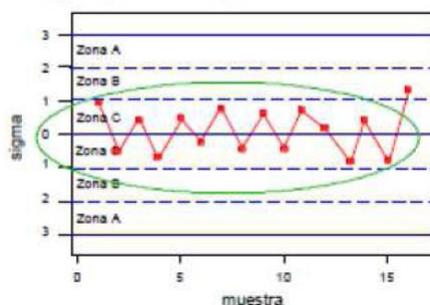
Test 5: dos de tres puntos consecutivos situados más allá de 2 sigmas (mismo lado)



Test 6: cuatro de cinco puntos consecutivos situados a más de un sigma (mismo lado)



Test 7: quince puntos consecutivos situados a menos de un sigma (ambos lados)



Test 8: ocho puntos consecutivos situados a más de un sigma (ambos lados)

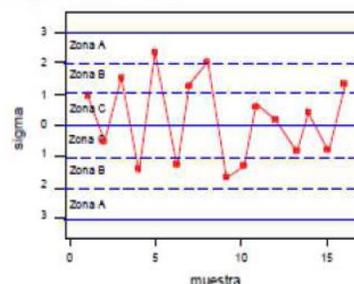


Figura 13 Gráficos de control

Disminución de la variabilidad

Para disminuir la variabilidad las causas especiales deben ser atacadas inmediatamente su solución por lo general es sencilla y está al alcance de las personas directamente involucradas en la realización de las actividades.

El mejoramiento, en el caso de causas comunes es más complejo. Requiere de un análisis de todo el conjunto de datos, conocimientos profundo del proceso (aislar el efecto individual de un parámetro en el desempeño final), cambios estructurales (procedimientos, personas, equipos, ambiente, etc.).” (GUTIERREZ, 2009)

2.5. Capacidad de un proceso

“Consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad; esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple con las especificaciones). Se espera que el resultado de un proceso cumpla con los requerimientos o las tolerancias que ha establecido el cliente.

Estimar la capacidad de un proceso se resume en estimar la desviación estándar σ el cual refleja la variabilidad del proceso se puede hacer mediante diferentes herramientas estadísticas:

- ✓ Histogramas
- ✓ Gráficos de probabilidad
- ✓ Gráficos de control

El mercado (clientes) establece las tolerancias que debe cumplir el producto. Un producto fabricado fuera de esas tolerancias se considera un producto sin la calidad requerida, es decir, defectuoso. Es importante no confundir los dos conceptos anteriores.

La capacidad de un proceso es la medida de la variación total de un proceso, comparada contra sus especificaciones. Entre los principales usos de este concepto se encuentran los siguientes:

- ✓ Ayudar a modificar o rediseñar un proceso
- ✓ Auxiliar en el especificación de los requerimientos que debe cumplir el equipo
- ✓ Asistir para la selección del mejor proveedor
- ✓ Predecir si el producto cumplirá con las especificaciones

Las tolerancias son los requerimientos técnicos para que el producto sea admisible para uso, siendo establecidos por el cliente, el fabricante o alguna norma; mientras que la capacidad es una característica estadística del proceso que elabora dicho producto.

Para relacionar ambos conceptos se define el índice de capacidad C_p como el cociente entre el rango de tolerancias del proceso y la capacidad (intervalo natural de variación) del mismo.” (GUTIERREZ, 2009)

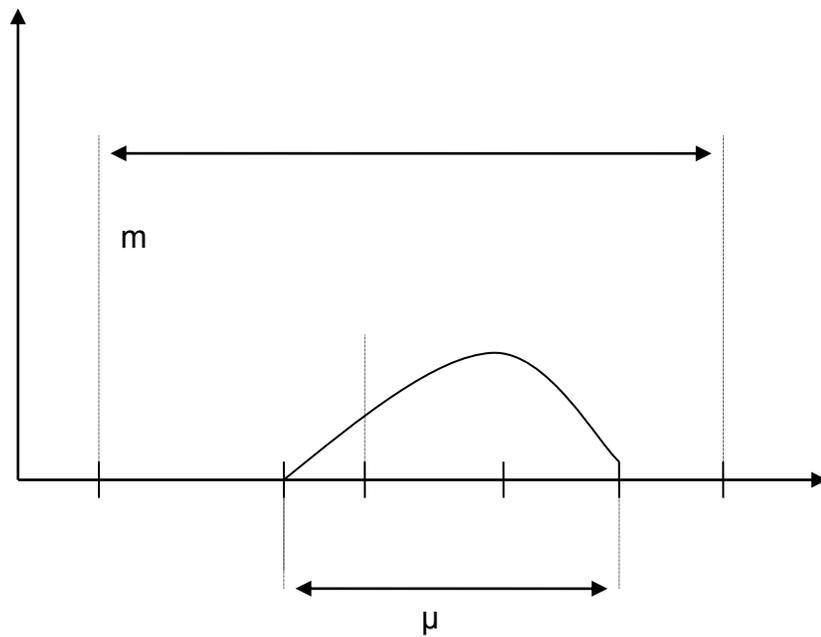


Figura 14 Capacidad de un proceso

$$C_p = \frac{\text{Tolerancia Especificada}}{\text{Tolerancia Natural}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Siendo:

- ✓ LSE: Límite superior de la especificación
- ✓ LIE: Límite inferior de la especificación

Como normalmente en una aplicación práctica la desviación σ es desconocida el índice de capacidad se estima a partir de la estimación de σ , empleando para ello la desviación estándar muestral S o el rango R :

$$\sigma_{estimado} = \frac{R}{d_2} = \frac{S}{C_4}$$

Donde d_2 y C_4 son dos constantes.

Resultados posibles de C_p :

- ✓ $C_p > 1$ se dice que el proceso es capaz, pues prácticamente todos los artículos que produzca estarán dentro de las tolerancias requeridas.
- ✓ $C_p = 1$ habrá que vigilar muy de cerca el proceso, pues cualquier pequeño desajuste provocará que los artículos no sean aceptables.
- ✓ $C_p < 1$ se dice que el proceso no es capaz

También se pueden calcular los índices de capacidad por especificaciones unilaterales:

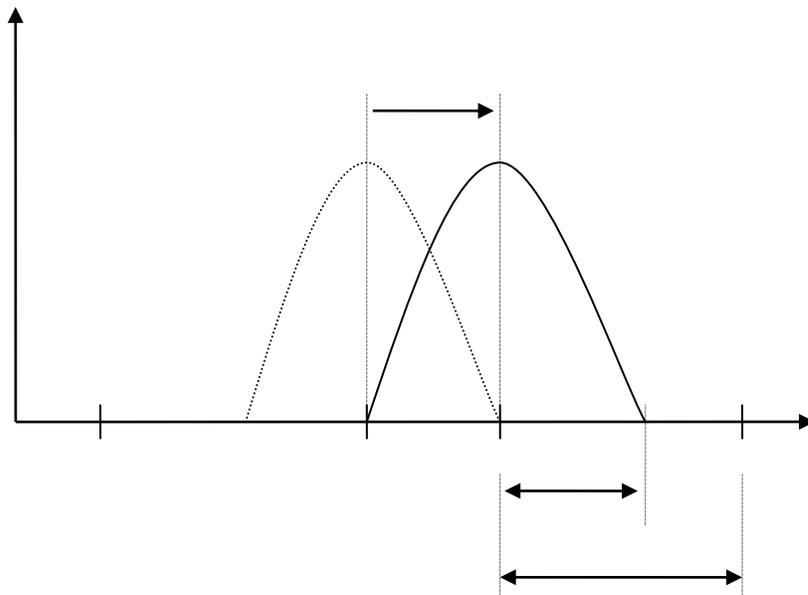


Figura 15 Capacidad por especificaciones

Para desplazamiento en dirección al límite superior:

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Para desplazamiento en dirección al límite inferior:

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

El índice de capacidad C_p es una forma cuantitativa simple para expresar la capacidad de un proceso, pero no tiene en cuenta el centrado del proceso, es decir, no toma en cuenta dónde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones, el C_p mide simplemente la extensión de las especificaciones en comparación con la dispersión seis sigma.

El indicador C_{pk} es el indicador de la capacidad real de un proceso que se puede ver como un ajuste del índice C_p para tomar en cuenta el centrado del proceso

$$C_{PK} = \text{Mínimo} \left(\frac{\mu - EI}{3\sigma} \right), \left(\frac{ES - \mu}{3\sigma} \right)$$

La magnitud del C_{PK} respecto al C_p es una medida directa de cuan apartado del centro está operando el proceso:

- ✓ $C_p = C_{PK}$ el proceso centrado en el punto medio de las especificaciones
- ✓ $C_p > C_{PK}$ el proceso descentrado.” (GUTIERREZ, 2009)

2.6. Planteamiento de una hipótesis estadística

Una hipótesis estadística es una información sobre los valores de los parámetros de un proceso, la cual es susceptible de probarse a partir la información contenida en una muestra representativa que se obtiene de la población.

El nombre de hipótesis nula H_0 se deriva del hecho de que comúnmente se plantea como una igualdad, lo cual facilita tener una distribución de probabilidad de referencia específica. En general, la estrategia a seguir para probar una hipótesis consiste en suponer que la hipótesis nula H_0 es verdadera, y que en caso de ser rechazada por la evidencia que aportan los datos, se estará aceptando la hipótesis alternativa H_A , así en el caso de las proporciones, la afirmación que se

desea probar se aceptará como cierta sólo en caso de rechazar la hipótesis nula H_0 .

Prueba de hipótesis

“Probar una hipótesis consiste en investigar si lo afirmado por la hipótesis nula es verdad o no, es decir probar una hipótesis a un parámetro. La estrategia de prueba parte del supuesto de que H_0 es verdadera y si los resultados de la investigación contradicen en forma suficiente dicho supuesto entonces se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alternativa. En caso de que los resultados de la investigación no demuestren claramente la falsedad de H_0 está no se rechaza, es decir, la hipótesis nula es verdadera mientras no se demuestre lo contrario.

La prueba de hipótesis es un procedimiento basado en evidencia muestral (estadístico) y en la teoría de probabilidad (distribución muestral del estadístico) para determinar si una hipótesis es razonable y no debe rechazarse, o si es irrazonable y debe ser rechazada.

En toda prueba de hipótesis se presentan 3 casos de zonas críticas o llamadas también zonas de rechazo de la hipótesis nula, estos casos son los siguientes:

✓ Prueba Bilateral o a dos colas

Prueba Bilateral o a dos colas: $H_0: \mu = X; H_1: \mu \neq X$

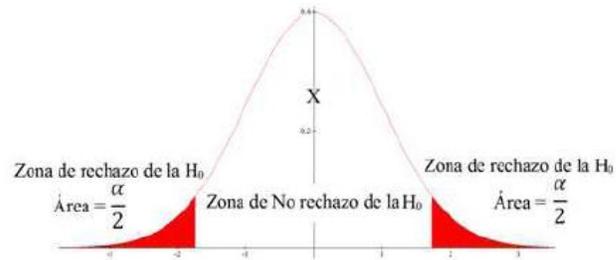


Figura 16. Prueba bilateral a dos colas

✓ Prueba Unilateral con la cola hacia a la derecha

Prueba Unilateral con cola hacia la derecha: $H_0: \mu \leq X; H_1: \mu > X$



Figura 17. Prueba unilateral con la cola hacia la derecha

✓ Prueba Unilateral con la cola hacia a la izquierda

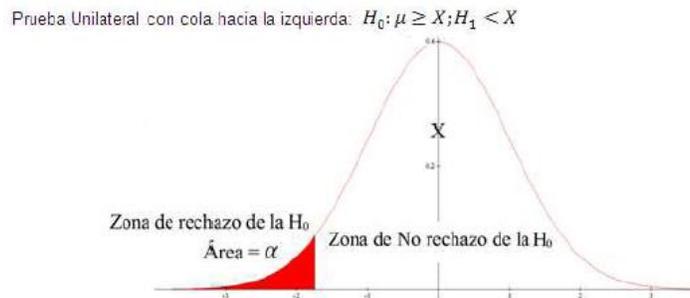


Figura 18. Prueba unilateral con la cola hacia a la izquierda

En toda prueba de hipótesis se pueden cometer 2 tipos de errores:

- ✓ Error tipo I: Se comete error tipo I, cuando se rechaza H_0 , siendo está realmente verdadera. A la probabilidad de cometer error tipo I, se le conoce como nivel de significancia y se le denota como α .
- ✓ Error tipo II: Se comete error tipo II, cuando no se rechaza el H_0 , siendo está realmente falsa. A la probabilidad de cometer error tipo II, se le denota como β .

El complemento de la probabilidad de cometer error tipo II, se llama potencia de la prueba, y se denota como $1 - \beta$.

No hay nivel de significancia que se aplique a todas las pruebas, generalmente se usa el nivel 0.05 se utiliza para proyectos de investigación, 0.01 para el aseguramiento de la calidad y el 0.1 para encuestas políticas.” (COCHRAN, 1993)

2.7. Resultados del control estadístico

“Del desarrollo de los conceptos y ejemplos se puede observar el enorme potencial que posee la utilización del Control Estadístico de la calidad como instrumento y herramienta destinada a un mejor control en la evolución de los procesos, una forma más eficaz de tomar decisiones en cuanto a ajustes, un método muy eficiente de fijar metas y un excepcional medio de verificar el comportamiento del proceso.

Muchos son los que por desconocimiento de la forma en que funcionan los procesos tienden a efectuar prolongados y obstinados análisis en la búsqueda de las razones que dieron lugar a la variación de los costos en relación a los estándares o a los registrados en el período anterior, cometiendo el error de adoptar medidas de ajuste, cuando en realidad las variaciones respondían a la naturaleza misma del proceso, por lo que los ajustes dan origen a mayores diferencias en el futuro.

Las empresas que no adopten esta nueva metodología sufrirán el choque frente a empresas de categoría mundial que lo aplican en forma metódica.” (GUTIERREZ, 2009)

CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA SEDEMI S.C.C.

3.1. Antecedentes de la empresa Sedemi

SEDEMI es una empresa ecuatoriana, que inició sus actividades en 1983 como Servicios de Mecánica Industrial, gracias al incremento del área de Ingeniería, en 1990 comienza a brindar sus servicios al sector eléctrico con la fabricación de torres y herrajes eléctricos.

En 1990 se constituye legalmente como SEDEMI S.C.C. (Servicios de Mecánica industrial, Diseño, Construcción y Montajes), para atender con responsabilidad los requerimientos de las industrias: eléctrica, petrolera, de telecomunicaciones y construcción en general.

Ante las exigencias del mercado y el firme compromiso por satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, se hizo necesaria la expansión de las instalaciones de oficinas, plantas de producción, bodegas y áreas recreativas con más de 50.000 m², Sedemi está ubicado en la zona industrial de Sangolquí a 20 km de la ciudad de Quito; en una localización estratégica para atender las necesidades del mercado ecuatoriano, regional y mundial. Cuenta con dos galpones industriales para la Fabricación de Estructuras Metálicas y un galpón para la Planta de Galvanizado en Caliente y dos bloques de oficinas y Bodegas, tiene una capacidad de producción de 500 ton/mes y con una capacidad promedio de galvanizado de 1 ton/mes. Donde los procesos de mecanizado y soldadura en la producción son automatizados, además

el departamento de Ingeniería opera con los últimos paquetes de diseño y dibujo industrial.

3.2. Direccionamiento estratégico

“Sedemi es una empresa innovadora, comprometida con un comportamiento ético, transparente y leal para con sus clientes, basada en una política de motivación, capacitación y entrenamiento continuo, apoya al desarrollo personal y profesional del talento humano. Asegura el crecimiento sostenible de la sociedad con la generación de empleo y en cumplimiento de los deberes como ente empresarial legalmente constituido.

3.2.1. Misión

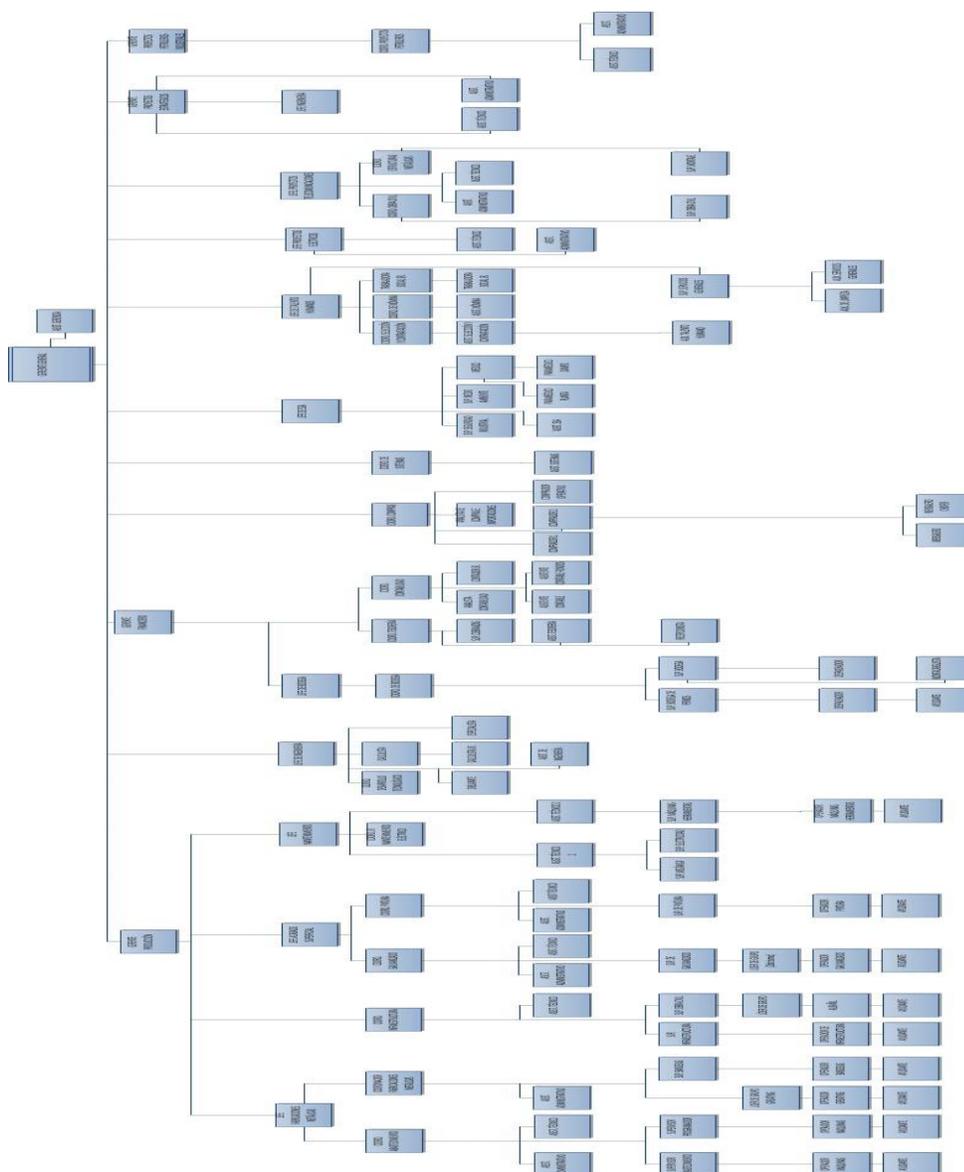
La misión de esta empresa es “Generar soluciones innovadoras para proyectos de infraestructura”.

3.2.3. Visión

La visión valorada para la empresa: “Estar entre las 200 empresas más grandes del país a nivel de facturación y eficiencia, entre las 20 primeras empresas como el mejor lugar para trabajar en Ecuador y apertura por lo menos una filial comercial y productiva en la región andina” (SEDEMI, 2015)

3.2.4. Organigrama

El organigrama corporativo de Sedemi, hace referencia al manual de calidad MCL GCL 01



3.3. Unidades de producción

SEDEMI S.C.C. tiene su planta de producción instalada en el km 4 ½ vía Sangolquí - Amaguaña, lotización El Carmen Lote N° 4, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, su producción se derivan en sus cuatro unidades operativas:

- ✓ Planta de Fabricaciones Metálicas
- ✓ Planta del Calderería y Rolados
- ✓ Montajes Electromecánicos de todo tipo de Estructura Metálica: liviana o pesada, apernada o soldada, galvanizada o pintada.
- ✓ Construcciones civiles.

**Planta de
Fabricaciones
Metálicas**



**Planta del
Calderería
y Rolados**





Figura 19 Unidades de producción

Con la información del mercado y de oportunidades de negocios obtenida por los Gerentes y/o Coordinadores de proyectos se manejará una base de datos de proyectos potenciales, para dar seguimiento y control a posibles proyectos en los que pueda tener alguna participación SEDEMI ofertando los siguientes productos y/o servicios.

3.3.1. Planta de fabricaciones metálicas

- ✓ Edificios metálicos
- ✓ Galpones y naves industriales
- ✓ Soportes para equipos
- ✓ Puentes transportadores
- ✓ Puentes grúas
- ✓ Vigas y columnas armadas
- ✓ Cercha y estructuras para túneles
- ✓ Sistema de almacenamiento modular
- ✓ Pisos industriales (Grating)
- ✓ Campamentos mineros
- ✓ Montaje Mecánico e Industrial
- ✓ Proyectos llave en mano
- ✓ Puentes de Viga de Alma llena
- ✓ Puentes colgantes
- ✓ Puentes Atirantados
- ✓ Puentes Peatonales
- ✓ Señalización vertical
- ✓ Postes Metálicos
- ✓ Obras Civiles

3.3.2. Planta del calderería y rolados

- ✓ Tuberías de Presión y Conducción de Gran Diámetro
- ✓ Codos, Reducciones, Bifurcados, Trifurcadores, etc.
- ✓ Compuertas automatizadas radiales y deslizantes.
- ✓ Equipos y componentes Hidromecánicos.
- ✓ Ingeniería y gestión en el diseño de los equipos paquetizados.

3.3.3. Montajes electromecánicos de todo tipo de estructura metálica: liviana o pesada, apernada o soldada, galvanizada o pintada

Sedemi ofrece el Servicio de Galvanizado por inmersión en caliente.

- ✓ Estructuras y perfiles de hasta 6 m. (simple inmersión)
- ✓ Estructuras y perfiles entre 6 y 11 m. (doble inmersión)
- ✓ Tanques de almacenamiento
- ✓ Centrifugado
- ✓ Arandelas

También la protección con la aplicación de recubrimientos industriales:

- ✓ Una capa de recubrimiento industrial
- ✓ Sistema de bi- capa de recubrimiento industrial
- ✓ Sistema de tri-capa de recubrimiento industrial
- ✓ Sistema dúplex (galvanizado – pintado)

3.3.4. Construcciones civiles

- ✓ Torres de transmisión eléctrica
- ✓ Postes de acero
- ✓ Estructura y soportes para subestaciones
- ✓ Torres para iluminación
- ✓ Bandejas portacables
- ✓ Tableros eléctricos
- ✓ Herrajes para electrificación
- ✓ Torres autosoportadas y atirantadas
- ✓ Polos y monopolos
- ✓ Herrajes para estructuras
- ✓ Obra de ingeniería asociada
- ✓ Planes de mantenimiento
- ✓ Líneas de transmisión:

Estudios (impacto ambiental, rutas de líneas, Mecánica de suelos, Levantamiento topográfico, conductor económico, coordinación de aislamiento)

- ✓ Diseños (Estructuras, ubicación de estructuras, Fundaciones)
- ✓ Suministros (Torres y postes de acero, aisladores, herrajes y accesorios, conductores, fibra óptica)
- ✓ Construcciones (Obras civiles Montaje de líneas y reposición de líneas colapsadas).

Gracias a la investigación y desarrollo de nueva tecnología aplicable al diseño, construcción y montaje de todo tipo de estructuras metálicas SEDEMI S.C.C ha logrado un selecto grupo de clientes:

3.4. Mapa de procesos de Sedemi

Los procesos estratégicos, claves y de apoyo de Sedemi se encuentran definidos en este diagrama el cual muestra su secuencia e interacción entre ellos

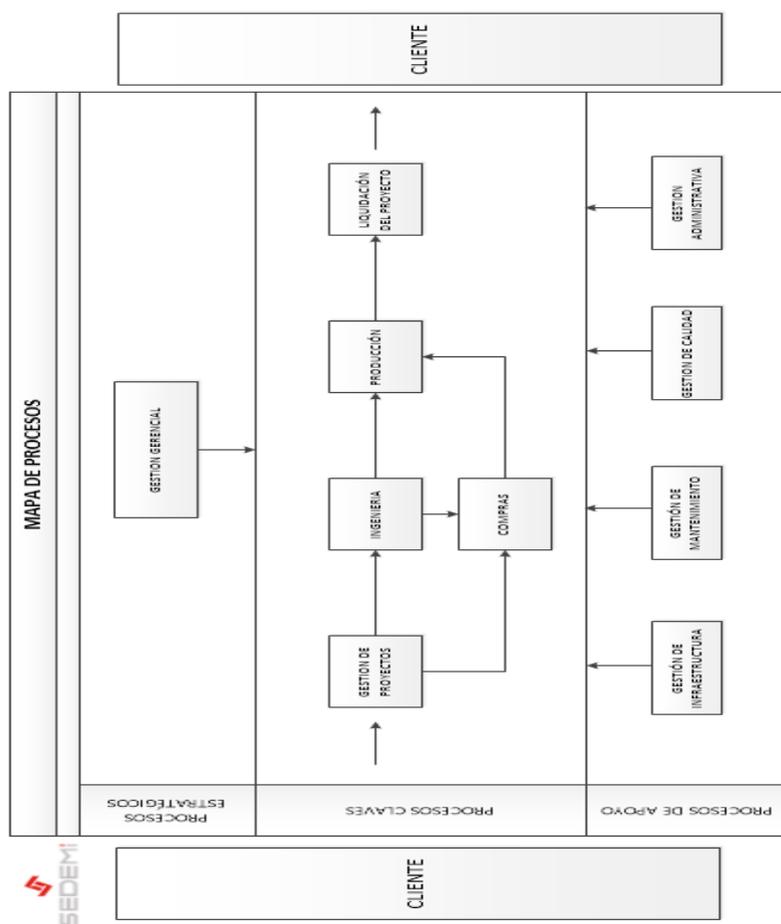


Figura 20 Mapa de proceso

Se han identificado los procesos que conforman Sedemi, existiendo una buena relación y apoyo entre todos los procesos, capaces de satisfacer los requerimientos necesarios para la ejecución y el cumplimiento de los diferentes proyectos adjudicados.

3.4.1. Proceso general del departamento de producción

El proceso general de producción se ha descrito secuencialmente en el siguiente diagrama de Flujo.

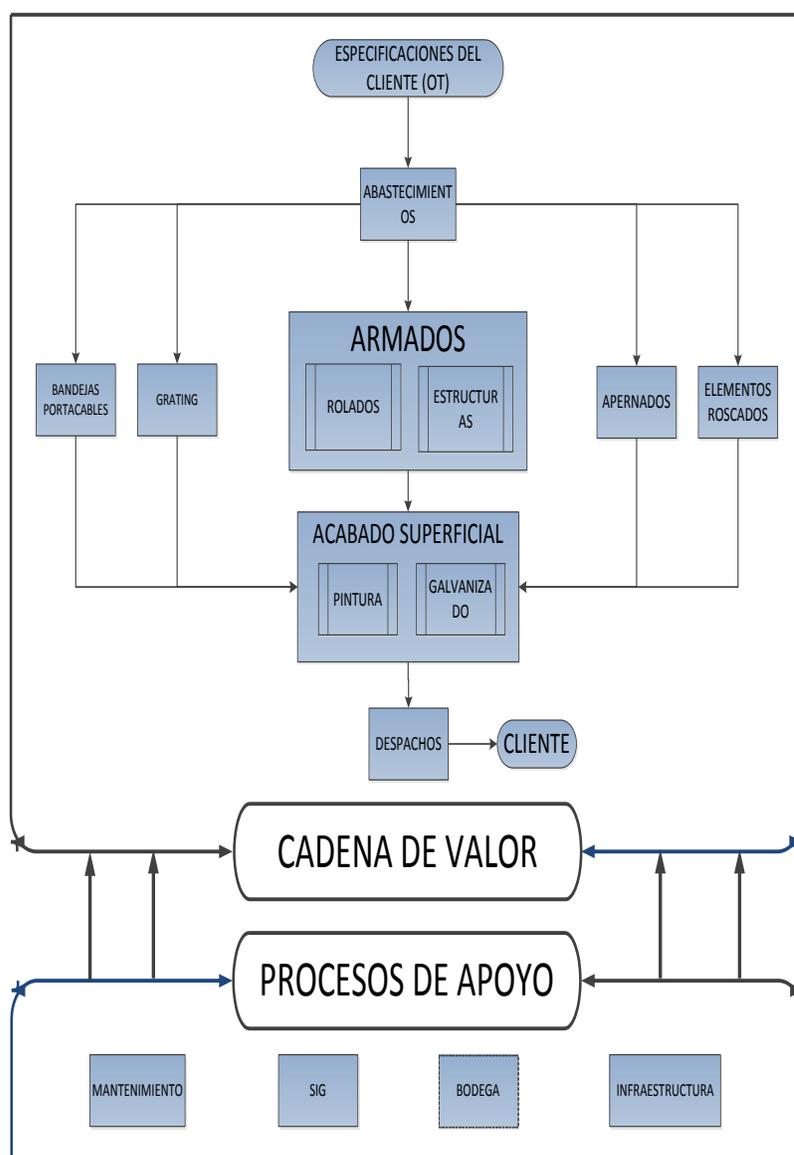


Figura 21 Proceso general de producción

3.4.1.1. Inventarios de procesos

Se han identificado los procesos de producción, los mismos que se agrupan en el inventario de procesos; y se encuentra codificado como se muestra a continuación: Las dos letras iniciales corresponden al proceso, el dígito que le acompaña al Proceso y el último dígito al Subproceso.

Tabla 2

Inventario de procesos

NOMBRE	CÓDIGO
DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL	DC.1.
Diseño de Proyectos	DC.1.1.
Elaboración de Órdenes de Fabricación	DC.1.2.
ABASTECIMIENTOS	AB.1.
Optimización	AB.1.1.
Corte	AB.1.2.
Perforación	AB.1.3.
Doblado	AB.1.4.
Rolado	AB.1.5.
Elementos roscados	AB.1.6.
ARMADOS	AR.1.
Rolados de estructuras	AR.1.1.
Armado de estructuras	AR.1.2.
APERNAOS	AP.1.
Fabricación de ángulos	AP.1.1.
BANDEJAS PORTACABLES	BP.1.
Aluminio	BP.1.1.
Corte	BP.1.2.
Plegado	BP.1.3.
Despunte	BP.1.4.
Armado bandejas	BP.1.5.
Soldadura GMAW	BP.1.6.
Liberación	BP.1.7.
GRATING	G.1.
Dentado	G.1.1.
Corte	G.1.2.
Perforado	G.1.3.
Alizado	G.1.4.
Armado habitual	G.1.5.
SOLDADURA GMAW	G.1.6.
Liberación del producto final	G.1.7.
ACABADO SUPERFICIAL	AS.1.
Galvanización de estructuras metálicas	AS.1.1.
Pintado de estructuras metálicas	AS.1.2.
DESPACHO DE PRODUCTO FINAL	DP.1.
Despacho del material en negro	DP.1.1.
Despacho del material galvanizado o pintado	DP.1.2.
MANTENIMIENTO	M.1.
Gestión de Mantenimiento en Producción	M.1.1.
Gestión de Mantenimiento en Equipos de Oficina	M.1.2.
SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN	SIG.1.
Gestión de Calidad	SIG.1.1.
Gestión de Seguridad	SIG.1.2.
Gestión de Salud Ocupacional	SIG.1.3.
Gestión de Medio Ambiente	SIG.1.4.
BODEGA	B.1.
Despacho de materia prima	B.1.1.
Despacho de equipos y herramientas	B.1.2.
Despacho de equipos de protección personal	B.1.3.
INFRAESTRUCTURA	I.1.
Acondicionamiento de las infraestructuras de trabajo	I.1.1.
Implementación de sistemas de información y comunicación	I.1.2.
SIMBOLOGÍA	
PROCESO	PG.1.
SUBPROCESO	PG.1.1.

3.4.1.3. Subproceso pintado de estructuras metálicas

El subproceso pintado de estructuras metálicas está conformado por las siguientes actividades que se detallan a continuación:

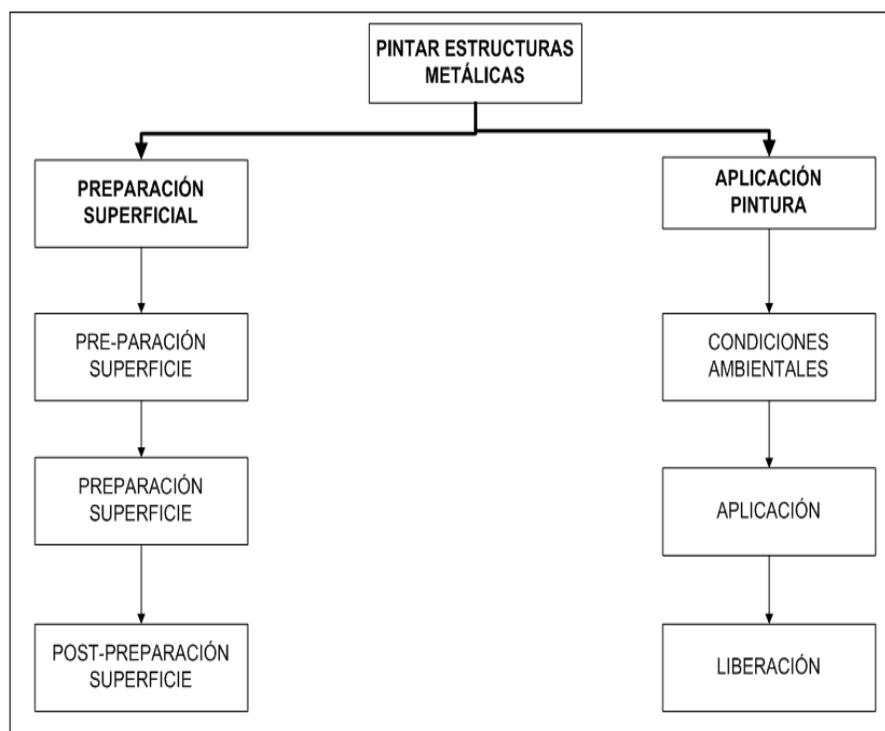


Figura 22 Subproceso pintado de estructuras metálicas

Este subproceso es ampliamente usado en la protección contra la corrosión, la principal ventaja que induce al empleo de este tipo de protección son la diversidad de los mismo, sencilla aplicación, diversidad de colores, un costo bajo y la posibilidad de combinación con recubrimientos metálicos galvanizados, aluminio y acero inoxidable.

3.4.1.4. Diagrama de flujo

El subproceso general de pintado de estructuras metálicas se ha descrito en el siguiente diagrama de flujo:

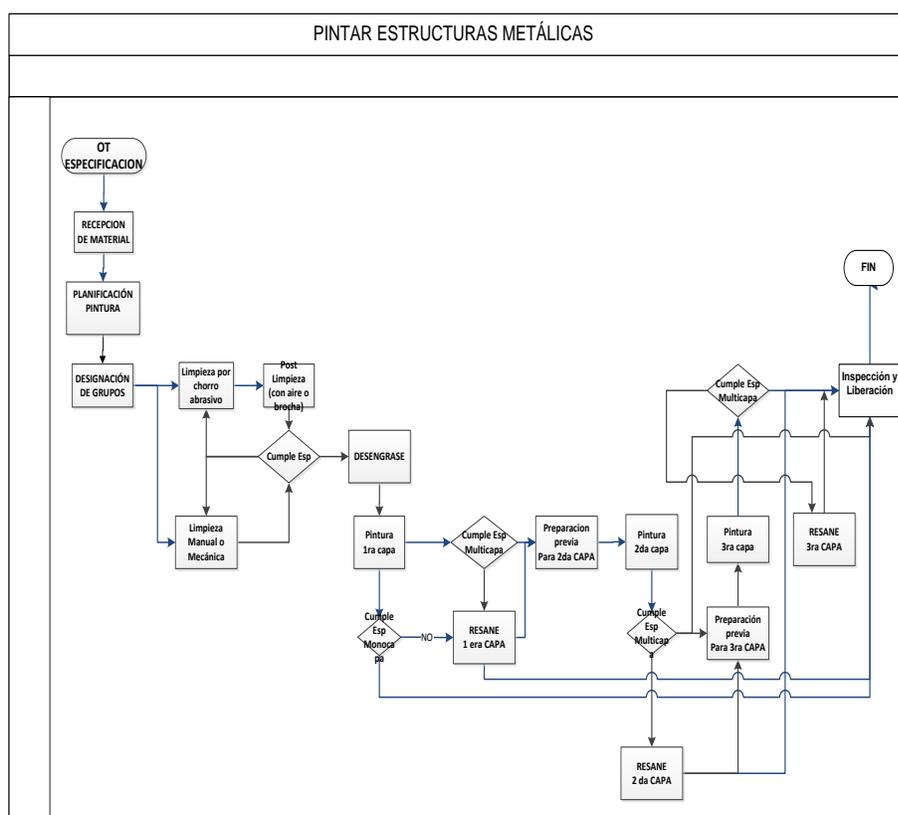


Figura 23 Diagrama de flujo pintar estructuras metálicas

3.4.1.5. Caracterización del subproceso pintado de estructuras metálicas

De acuerdo al subproceso pintado de estructuras metálicas se detalla la caracterización de proceso.

Tabla 3

Caracterización del proceso

 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO					
NOMBRE DEL PROCESO	Pintado de Estructuras Metálicas	CODIFICACIÓN		EDICIÓN No	1
PROPIETARIO DEL PROCESO	Coordinador de Pintura	REQUISITO DE LA NORMA	SSPC - PA2	FECHA	17/03/2014
ALCANCE	Desde la Planificación de Pintura hasta la Liberación del Producto				
RECURSOS					
FISICOS	Insumos, Máquinaria e Infraestructura	ECONÓMICOS	Presupuesto por Proyecto		
TÉCNICOS	Equipos de Inspección de Calidad para Liberación	RRHH	Personal técnico y personal operativo		
PROVEEDORES	ACTIVIDADES			CLIENTES	
Fabricaciones Metálicas	Recepción de Materiales Planificar trabajos de pintura Designación de grupos de trabajo Limpieza por chorro abrasivo Limpieza manual o mecánica Post- limpieza brocha Limpiar con desengrasante las estructuras Aplicar primera capa de pintura Resane de laprimera capa Preparar la estructura para la aplicación segunda capa			Despachos Montaje	
ENTRADAS	Aplicar segunda capa de pintura			SALIDAS	
Ordenes de Acabdo Superficial	Resane de la segunda capa			Material Pintado	
Material en Negro	Preparar la estructura para la aplicación tercera capa			Certificados de calidad	
Matrial Galvanizado	Aplicar tercera capa de pintura				
	Resane tercera capa				
	Liberación				
	OBJETIVO			REGISTROS/ANEXOS	
	Pintar estructuras metálicas de acuerdo a las especificaciones de nuestros clientes, garantizando una adecuada calidad, con la aplicación de normas técnicas				
INDICADORES	PROCEDIMIENTOS - INSTRUCTIVOS - FORMATOS				Registros de Inspección y Liberación Registros de Certificado de Calidad Registros de Material de Recepción Registros de Solicitud de Granallado
De cumplimiento	Formatos:				
De producto No conforme	Recepción de Materiales FOR PIN 01				
Área Pintada	Control y Planificación Proceso Pintura FOR PIN 02				
Peso Granallado	Plan de Inspección Pintura FOR PIN 03				
	Verificación de Especificaciones FOR PIN 05				
	Liberación de Pintura FOR PIN 06				
	Medición Detención de Discontinuidades FOR PIN 07				
	Medición de Adherencia de Pintura FOR PIN 09				
	Diario de Producción FOR PIN 08				
	Orden de Reproceso FOR PIN 10				
	Instructivos:				
	INS PIN 01				
	Procedimientos:				
	PRO ACS 01 Acabado Superficial				
	Normas Intercionales SSPC PA2, SSPC AB3				
	Normas de seguridad y salud ocupacional				
ELABORADO POR:	REVISADO POR			APROBADO POR:	
Marco Figueroa	Alex Espinoza			Paulina Loya	
Asistente Técnico	Coordinador de Pintura			Jefe de Acabado Superficial	

3.4.1.6. Descripción de las actividades del subproceso

La descripción de las actividades del subproceso pintado de estructuras metálicas se describe a continuación:

3.4.1.6.1. Preparación superficial

La preparación de la superficie involucra etapas que tienen por finalidad la remoción de los contaminantes que puedan afectar a los recubrimientos. Los recubrimientos modernos requieren tanto una superficie limpia así como una rugosa para que puedan tener una estabilidad a largo plazo.

Las superficies de acero que se van a dar la aplicación del recubrimiento superficial a menudo requieren algo de limpieza previa para evitar fallas prematuras debidas a una inadecuada preparación de la superficie la inspección en busca de contaminantes, incluyendo depósitos pesados de grasa, tierra, polvo, sucio o pepas de soldadura, debe eliminarse su presencia por completo.

3.4.1.6.1.1 Pre – Preparación de la superficie

Mediante un SSPC- SP1, utilización de un desengrasante biodegradable, ya que el uso de diluyentes de pintura no logra remover todos los contaminantes y muchos de ellos tienen componentes grasos en su composición para evitar la rápida evaporación.

La superficie metálica y también los recubrimientos que se usarán en la aplicación pueden presentar factores que afectan a la selección del método de preparación de la superficie, el cual puede presentar 4 grados iniciales de corrosión, siendo éstos definidos por la SSPC e ISO como son:

- ✓ **Grado de corrosión A:** Presenta escama de laminación en el 100% del área.



Figura Grado A

- ✓ **Grado de corrosión B:** Presenta escama de laminación y óxido, distribuidos de manera similar.

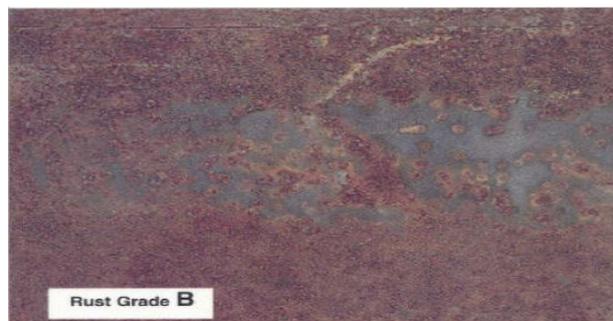


Figura Grado B

- ✓ **Grado de corrosión C:** Presenta toda la superficie cubierta de óxido, poco o casi nada pits de corrosión.



Figura Grado C

- ✓ **Grado de corrosión D:** Presenta superficie totalmente corroída y pits producto de la corrosión

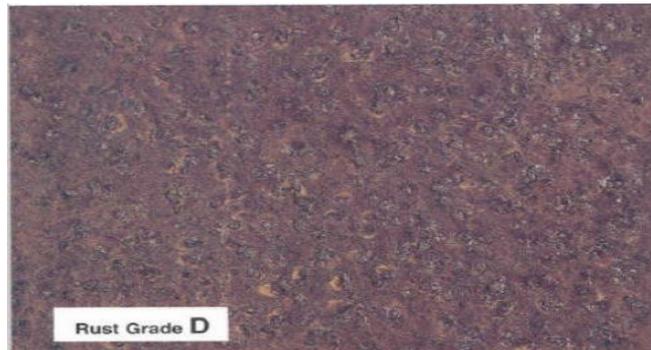


Figura Grado D

3.4.1.6.1.2 Preparación de la superficie

- ✓ **SSPC –SP2.- Limpieza con herramientas manuales**

Es un método para preparar la superficie de acero mediante instrumentos no motorizados. La limpieza con herramientas manuales elimina toda la calamina, óxido, pintura y otro material foráneo perjudicial.

Las herramientas usadas en la limpieza manual incluyen:

- ✓ Cepillos de alambre
- ✓ Raspadores y espátulas
- ✓ Cinceles



Figura 24 Herramientas manuales

✓ **SSPC –SP3.- Limpieza con herramientas de poder**

Es un método para preparar las superficies de acero usando herramientas mecánicas de limpieza, impulsadas por una fuente de poder. Este proceso puede eliminar la calamina suelta, óxido, pintura y otro material foráneo perjudicial, pero no está diseñado para remover calamina, óxido y pintura adheridos, se consideran adheridos cuando no se puede levantar con una espátula sin filo.

Las herramientas usadas en la limpieza manual incluyen:

- ✓ Cepillos de alambres rotatorios
- ✓ Discos de desbaste y lijadoras
- ✓ Lijadoras de disco
- ✓ Bristle Blaster



Figura 25 SSPC-SP3 Herramientas de poder

✓ **Limpieza abrasiva centrífuga**

El granallado es una técnica de tratamiento de limpieza superficial por impacto con el cual se puede lograr un acabado superficial, son cabinas de limpieza abrasiva centrífuga, están diseñada para trabajar de forma continua, mediante bandas transportadoras que moverán las partes a través de la cabina en su interior contiene un sistema de ruedas giratorias con aspas(turbinas) para propulsar el abrasivo metálico a alta velocidad, estas cabinas tienen un sistema de recuperación y reciclado de abrasivo, y son capaces de brindar altas tasas de limpieza.

El abrasivo metálico se compone de partículas casi esféricas de acero obtenido por granulación de una corriente fundida de metal, se ajustarán a la norma SSPC-AB 3 "Ferrous abrasivo metálico" en términos de dureza, composición química, tamaño y micro estructura, actualmente se está empleando una mezcla de abrasivo metálico compuesto por (S-330, S-280, S-230) esférica.



Figura 26 Limpieza centrifuga

✓ **Limpieza abrasiva seca**

Sandblasting es una técnica abrasiva utilizada para la remoción del óxido, la calamina u otros contaminantes superficiales, mediante la aplicación de un chorro de arena de origen natural a gran presión (87 Psi).



Figura 27 Limpieza abrasiva seca

3.4.1.6.1.3 Post - preparación de la superficie

La última etapa de preparación consiste en eliminar todos los residuos generados durante la preparación como residuos de polvo, esto puede incluir el uso de aire seco a presión incluso con aspiradoras industriales. El grado de limpieza alcanzado debe cumplir con la especificación solicitada.



Figura 28 Limpieza con aire seco

✓ Medición del perfil de rugosidad

Es una medida de la aspereza de la superficie preparada, siendo la distancia promedio entre “picos y valles”, emplea una unidad de medida llamada mils, la cual equivale a 25.4 micrones, se pueden medir por medio de unas cintas replicas en las que se clasifica en Gruesa (0,8 a 2 mils) y extra gruesa (1,5 a 4,5 mils) y con la ayuda de un micrómetro, ASTM D4417 (Método estándar), Fig. Equipo de medición.



Figura 29 Equipo de medición de rugosidad

Un pedazo de cinta con un cuadrado pequeño de espuma comprimible fijado a una película de plástico no comprimible (Mylar) se coloca sobre la superficie preparada abrasivamente Figura. 1.1.3.3.1-8. cinta testex, con el lado mate hacia abajo. Se usa entonces un objeto duro y redondo (herramienta plástica), como un agitador de bebidas, para aplastar la espuma sobre la superficie preparada, causando que la espuma forme una impresión inversa exacta (replica) del perfil de rugosidad real.



Figura 30 Cinta testex y herramienta plástica de punta redonda

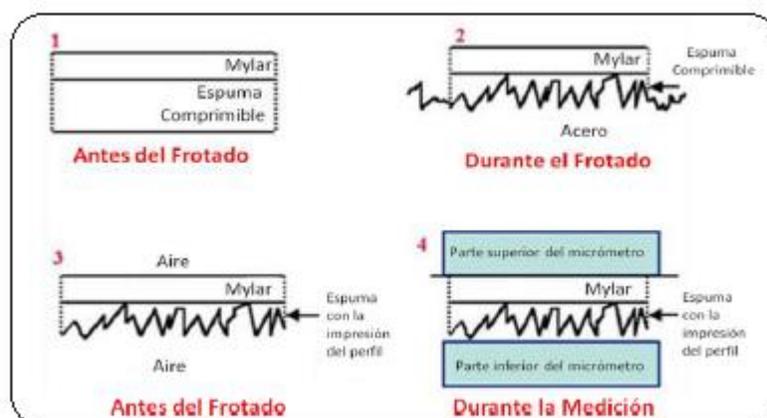


Figura 31 Funcionamiento de la cinta replica

La cinta se desprende de la superficie y se usa un micrómetro figura, para medir el espesor de la espuma y del plástico. El espesor de la película de Mylar ($50\ \mu\text{m}$ o 2 mils), se resta de la lectura del micrómetro, y el resultado es la profundidad del perfil de rugosidad, el mismo que debe cumplir con lo establecido en la especificación.



Figura 32 Medición con el micrometro y la cinta

También se utiliza para la medición del perfil de rugosidad un equipo digital denominado micrómetro digital de profundidad o perfilometro ASTM D4417 (Método estándar).



Figura 33 Medidor digital del perfil de rugosidad

La base del instrumento descansa sobre los picos del perfil de la superficie, mientras la punta tensada por resortes se proyecta hacia los valles, indicando el valor en el punto de medición, el mismo que debe cumplir con lo establecido en la especificación.

El resultado final del perfil de rugosidad se registra el siguiente formato de control “inspección de condiciones ambientales.

3.4.1.6.2. Aplicación del recubrimiento

Una vez que la preparación de la superficie se ha completado y se ha demostrado estar en conformidad con las especificaciones, es el momento de aplicar la pintura.

3.4.1.6.2.1. Interpretación de las condiciones ambientales

Las condiciones ambientales pueden afectar enormemente todas las fases de una operación de pintura, el cual se realiza un control a los siguientes parámetros involucrados como son:

✓ **Temperatura de la superficie**

La superficie y la temperatura del aire son los primeros parámetros necesarios para determinar el riesgo de formación de humedad sobre un sustrato. La temperatura de la superficie que será preparada o pintada, y la temperatura del aire cercana a esta superficie, pueden tener un gran efecto en la aplicación de los recubrimientos.

La norma ASTM 3276, indica que la temperatura mínima de la superficie para la aplicación de la pintura es generalmente 5°C (40 °F) y la temperatura máxima de la superficie para la aplicación de la pintura es 50°C (125 °F). Adicionalmente, debemos aplicar solamente la pintura a un sustrato cuando esté por lo menos 3°C (5 °F) sobre el punto de rocío, para evitar que se cubra una superficie humedecida.

Para medir la temperatura de la superficie se utiliza el siguiente instrumento que se detalla a continuación:

✓ **Termómetro mecánico de superficie de contacto magnético.**

Consiste de un elemento sensor bimetálico, protegido contra ráfagas, incluye también dos imanes en lado del sensor que son atraídos a la superficie del acero

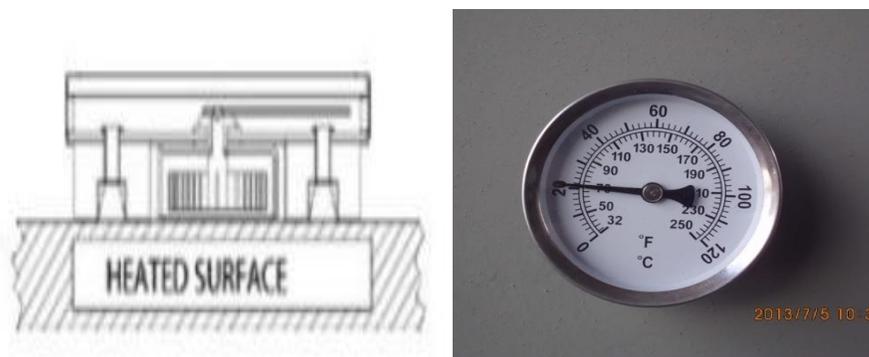


Figura 34 Termómetro mecánico magnético

Esperar que el instrumento se estabilice antes de tomar las lecturas, el tiempo de estabilización varia, pero es probable que este entre 2 a 3 minutos. Una vez que esté estabilizado, tome la lectura y registre los resultados.

✓ Humedad relativa HR

Es una medición de la cantidad de humedad en el aire comparada con el nivel de saturación, puede afectar la operación aplicación de pintura cuando los valores de humedad son muy altos o muy bajos, muchas especificaciones de la pintura restringen la aplicación cuando se espera que la humedad relativa sea demasiado alta, podría originar que no haiga ningún espacio disponible para que el solvente se evapore. Si esto sucede, los solventes quedarán dentro de la pintura causarán problemas con la película aplicada, tales como solvente atrapado y falta de curado.

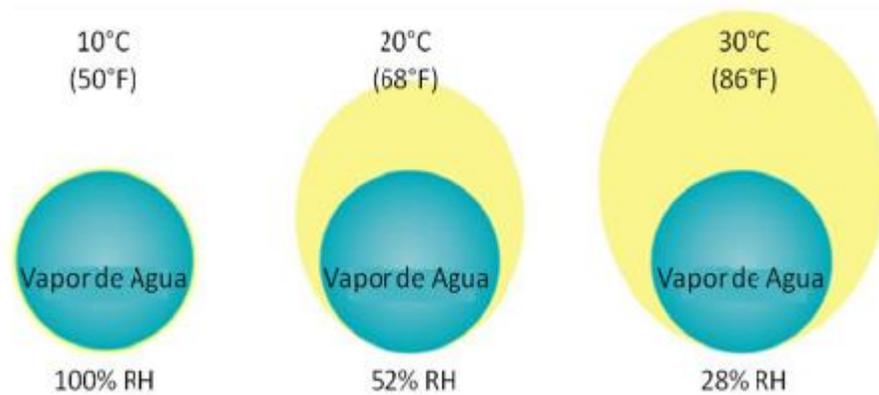


Figura 35 La humedad relativa cambia aumenta la temperatura.

✓ **Punto de rocío**

Es la temperatura a la cual la humedad comenzará a formarse sobre una superficie de acero.

Para determinar la humedad relativa, la temperatura del aire y la temperatura de rocío se utiliza los siguientes instrumentos que se detallan a continuación:

✓ **Psicómetro giratorio**

Se emplea para medir la temperatura ambiente (temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo), ten cerca del sitio de trabajo como sea posible.

Esta información se usa entonces para calcular el punto de rocío y humedad relativa.



Figura 36 Psicómetro giratorio

El termómetro de bulbo seco mide la temperatura del aire; el termómetro de bulbo húmedo mide una temperatura más baja, producto de la pérdida de calor latente debido a la evaporación de agua de la manga humedecida. Para usar el psicómetro, hay que saturar la manga con agua limpia y girar el instrumento rápidamente por aproximadamente 40 segundos, el proceso se repite hasta que la temperatura del bulbo húmedo y seco se estabilice y se registra el resultado.

✓ **Higrómetro digital electrónico**

Este instrumento digital electrónico determina la humedad relativa, la temperatura del aire y la temperatura del punto de rocío.



Figura 37 Higrómetro digital electrónico

Muchos proyectos de pintura se realizan en exteriores, sin protección del medio ambiente, esto plantea muchos desafíos para el dueño y el contratista, lo principal es que la temperatura y la humedad pueden ser controladas y en un rango estrecho observando y registrando todas las mediciones ambientales necesarias para que se ejecute el proyecto en exteriores.

3.4.1.6.2.2. Mezclado

La mezcla de la pintura debe ser completa con precisión para que la pintura pueda alcanzar a vida útil esperada.

A continuación se desglosan los pasos básicos durante el mezclado:

- ✓ Revise las instrucciones del fabricante para la mezcla de los materiales que se utilizarán.
- ✓ Asegúrese que los materiales que se mezclan son los correctos, en el color correcto y con los componentes adecuados en la proporción correcta.
- ✓ Observe el mezclado de los materiales
- ✓ Utilice un mezclador de poder diseñado para remover la pintura sedimentada en el fondo del envase.
- ✓ Se tamice antes de ser agregado a la mezcla
- ✓ Mezcle cada componente por separado para después combinarlos y mezclarlos de nuevo
- ✓ Adicionar el solvente en una cantidad medida que no exceda la cantidad permitida.
- ✓ El mezclado debe hacerse a una velocidad lenta para evitar un vórtice profundo en la pintura que introduzca aire en la mezcla

- ✓ Esperar el tiempo de inducción si lo hubiere antes de añadir el material mezclado al depósito de la bomba.
- ✓ Utilizar la pintura dentro del tiempo de vida útil de la mezcla (pot life)



Figura 38 Mezclado del recubrimiento

3.4.1.6.2.3. Aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial

La aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial se lo realiza con un equipo denominado AIRLESS (Atomización sin aire), es una bomba de pistón succiona el material de un recipiente y lo fuerza a través de una línea de alta presión de hasta $633 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ (9000 psi / 62 MPa), el material entonces se fuerza a través de un orificio en el extremo de la pistola de aplicación y rompiéndose en gotas muy pequeñas, la pistola no posee control alguno; sólo un simple gatillo para accionar el flujo de material. Al apretar el gatillo, se libera toda la fuerza y el volumen de la pintura.

El único control que el aplicador tiene cuando utiliza un equipo AIRLESS es cambiar la boquilla de la pistola.



Figura 39 Tipos de boquillas

La selección del tamaño de la boquilla es importante porque controla la atomización de la pintura y el ancho del patrón de rociado, ambos son muy importantes para la calidad del acabado.

✓ **Espesor de película húmeda**

Durante y después de la aplicación se debe tomar lecturas de espesor de película húmeda (EPH) utilizando un medidor de peine. Esta lectura se usara para determinar la cantidad de recubrimiento anticorrosivo que están aplicando. El aplicador capacitado continúa monitoreando su EPH cada vez que cambia de ubicación o cambia la configuración de la zona a recubrir.



Figura 40 Medición espesor película húmeda

El espesor de película húmeda se calcula su unidad micras:

$$EPH = EPS * \% \text{ Sólidos Volumen}$$

Dónde:

EPH = Espesor de película húmeda

EPS = Espesor de película Seca

% Sólidos Volumen = Referirse a la hoja técnica del producto

✓ **Espesor de película seca**

Una vez que el recubrimiento anticorrosivo aplicado haya curado al tacto de acuerdo a las condiciones ambientales expuestas, se procederá a realizar mediciones de la película de espesor seco (EPS), tal como lo indica la norma SSPC – PA2, el cual pide un número mínimo de lecturas si se encuentra valores que están fuera del rango especificado, en base al tiempo de repintado se aplicara otra capa del recubrimiento para ajustar los espesores descritos en la especificación.



Figura 41 Medidor de espesores de película seca

3.4.1.6.3 Liberación de la estructura metálica pintada

En la especificación escrita por el cliente describe el proceso de inspección final solicitada, el resultado dependerá del criterio de aceptación o rechazo, acerca del estado general de la pintura aplicada.

- **Documentación**

Los registros de la inspección y liberación deben demostrar todas las condiciones ambientales y actividades implicadas en el tratamiento previo, limpieza y aplicación, así como todos los materiales usados en el proyecto.

CAPITULO IV: EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

4.1. Definición el proyecto

	<h2>CONTROL ESTADÍSTICO</h2>
PROYECTO	CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE PINTURA DE SEDEMI.S.C.C
META	Aumentar la productividad del recubrimiento anticorrosivo lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites.
JUSTIFICACIÓN	<p>Los espesores de película seca y el rendimiento práctico (m^2/gal), consumo, son importantes por que permiten tener un mejor conocimiento de la cantidad de recubrimiento que va ser necesario en el proyecto, lo que permitirá evitar sustos de último momento por no tener contempladas partidas de recubrimiento no proyectadas.</p> <p>De igual forma permite comparar objetivamente las calidades del recubrimiento obteniendo un precio definitivo por superficie aplicada es decir $\frac{\\$}{m^2}$, que es en definitiva lo que interesa al costo del proyecto, valor que puede ser subjetivo y engañoso respecto del final del proyecto.</p> <p>El cálculo del rendimiento práctico (m^2/gal), ha sido calculado a partir del dato teórico, continua</p>

el rendimiento práctico (m^2/gal), está expresado para un espesor de película seca del recubrimiento anticorrosivo superficial determinado, pero en ocasiones podemos desear dar un espesor diferente por lo que el cálculo del consumo es diferente. El desperdicio de pintura es diferente en cada proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial en las estructuras metálicas.

Una vez que el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo este controlado, y permanezca dentro de las especificaciones planteadas, podemos establecer una línea base de comparación mediante los indicadores relacionados al espesor de película seca y el rendimiento del recubrimiento anticorrosivo superficial (m^2/gal), realizando semestralmente los resultados expuestos nos permitirá seguir estableciendo nuevas acciones de mejora para el proceso de aplicación de recubrimiento anticorrosivo superficial, esto es una ventaja importante ya que permitirá ejecutar una reducción en los costos por adquisición y compra de la pintura establecido en la planificación al inicio de cada proyecto a ejecutar, beneficiando directamente a la empresa, y se verá reflejado en la entrega de un producto con alto nivel de calidad, seguridad y bajo el estricto cumplimiento de las especificaciones y normas técnicas.

Para la ejecución de este proyecto, se solicitó autorización al Gerente de Producción y al Jefe del departamento de Acabados Superficiales, para organizar y coordinar la ejecución con la experimentación de la prueba de hipótesis con los datos obtenidos del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

El Coordinador del área de pintura es el responsable directo de la planificación, elaboración y ejecución del presente proyecto de mejora mediante la aplicación de herramientas estadísticas. El trabajo del auditor del proyecto se evidenciará en la fase de medición y estandarización del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

El Jefe del departamento de Acabados Superficiales se ha considerado como asesora técnica del proceso de aplicación, impartiendo conceptos técnicos de cambios o rectificaciones necesarias para alcanzar la estandarización del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo.

Con respecto a los demás participantes, se ha considerado al supervisor del área de pintura, los aplicadores de recubrimientos y ayudantes que serán parte fundamental del grupo de trabajo, así como apoyo en las ideas de mejora.

Tabla 4

Equipo de trabajo

FUNCIÓN	NOMBRE
Líder del Proyecto	Alex Javier Espinoza Guerrero
Auditor del Proyecto	Marco Figueroa
Asesora del Proceso	Paulina Emperatriz Loya Pachacama
Participantes	Víctor Panezo, Alfonso Rivera, Miguel Panezo, Luis Pachacama, Pedro Sinailín, David Vasco, Marco Puentes, Mario Tipan, Francisco Shiguango, Clemente Tsanimp, Danny Cheme, Ítalo Rivera, Guido Paucar, Geovanny Iza, Jorge Hipo, Andrés de la Cruz, Alex Bejarano, Rodolfo Cachumba, Jorge Chanigna

El cronograma establecido para las reuniones de trabajo será periódico, donde se trate temas y conceptos específicos del proceso de aplicación, se realizará una invitación formal a miembros externos con conocimientos técnicos y actualizados referente a los temas, siendo un gran apoyo, en la ejecución de los trabajos.

Se ha designado todos los días sábados la reunión del grupo de mejora para determinar el grado avance en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo, el lugar designado es el salón del comedor operativo ubicado en las MAGNOLIAS.

El supervisor operativo del área de pintura es el encargo de aclarar y hacer cumplir todas las actividades de mejora propuestas en la reunión del grupo de trabajo, a todo el personal operativo que tengan participación directa e indirecta en el tema o son beneficiarios del mismo.

4.1.1. Definir la meta

Tabla 5

Pérdidas teóricas

CLIENTE	ÁREA, m ²	PESO, kg	SISTEMA DE PINTURAS	EPS (MICRAS)	%SÓLIDOS VOLUMEN	REN. TEÓRICO m ² /GAL	% PÉRDIDAS	REN. PRÁCT m ² /GAL	GAL ESTIMA	COSTO \$/GALÓN	COSTO \$/M ²	COSTO \$/kg
CUERPO EJERCITO	4685	29640	JET ANTICORROSIVO	75	42	21,196	40	13	52	9	0,71	0,016
			THINNER LACA						6	4,5	0,04	0,001
TOTAL				75							0,75	0,017

La meta es mantener en forma constante el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), del recubrimiento anticorrosivo superficial que está directamente relacionada con el espesor de película seca, en un rango del 45% del desperdicio, en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

Se toma el 40% en pérdidas establecido en la hoja técnica del recubrimiento anticorrosivo superficial para calcular el rendimiento teórico ($\frac{m^2}{gal}$) descrita en de cada producto, y poder determinar la cantidad del recubrimiento anticorrosivo superficial que se requiere para aplicar en la estructura metálica, pero de acuerdo al diseño de las estructuras él % de desperdicio pueden ser mayor y por ende aumenta el consumo de pintura.

4.2. Descripción de la situación Inicial

4.2.1. Características del problema

De acuerdo al seguimiento, análisis y los resultados de la implementación de la metodología “ruta de la calidad” en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial definido en el primer proyecto de ejecución, permitió identificar una variación en la productividad en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial en taller, el cual implica realizar re-procesos en el producto final para cumplir con las especificaciones del cliente.

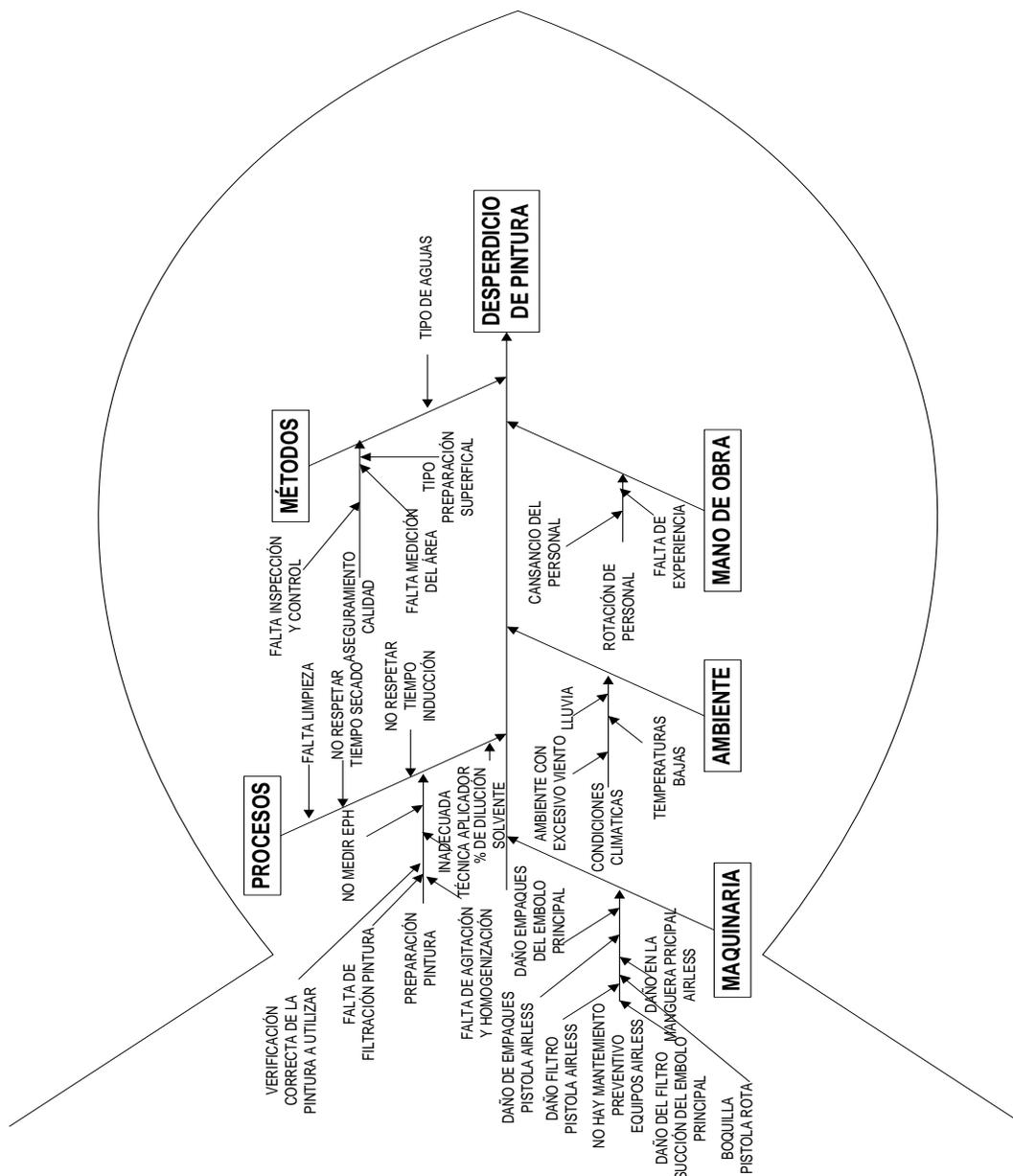


Figura 42 Características del problema en proceso de aplicación

La deficiente aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial genera una variación en los espesores de película seca, y en el valor del rendimiento práctico (m^2/gal), del recubrimiento anticorrosivo superficial dando como resultado un mayor consumo del recubrimiento anticorrosivo superficial del cual estaba planificado afectando directamente en la calidad del producto final.

Basándose en el reporte de inspección de control de calidad se realizó la siguiente tabla en donde se registra la frecuencia con la que se presenta los diferentes defectos después de la aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

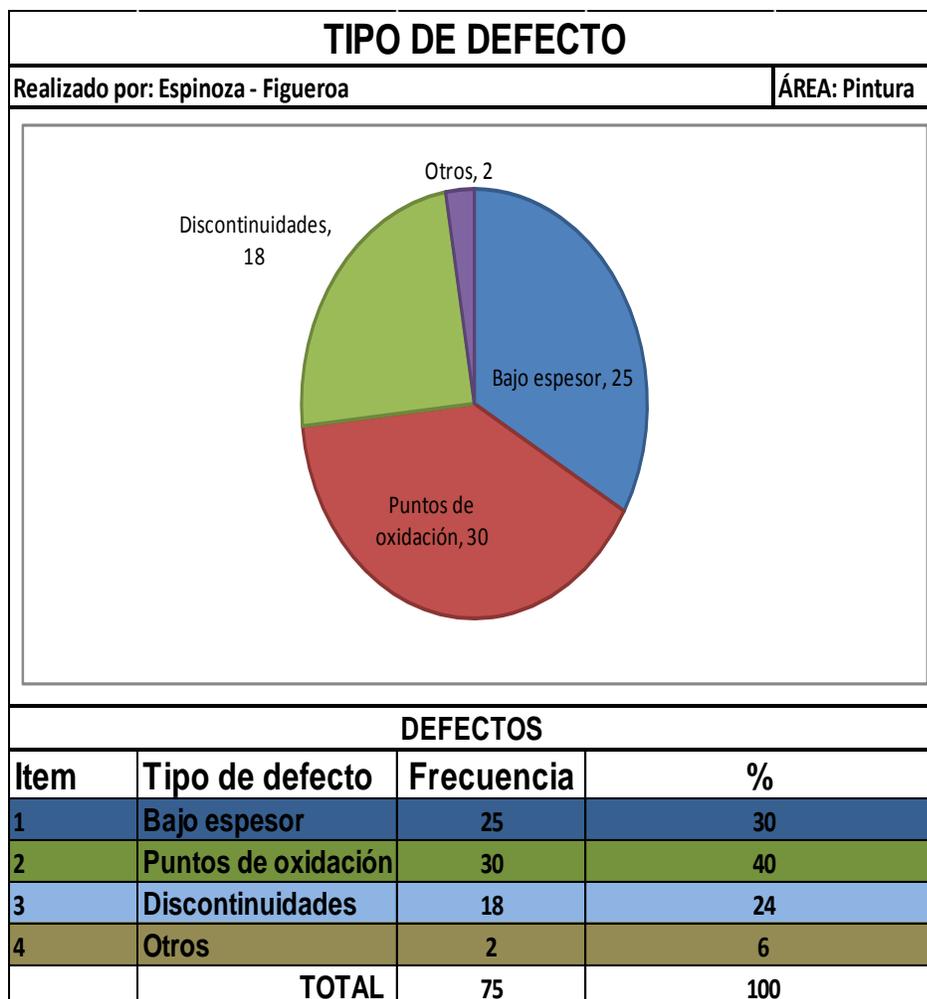


Figura 43 Tipos de defectos

Como resultado del análisis de la distribución de los datos, los puntos de oxidación representan el 40% del problema que está directamente correlacionado al bajo espesor de la película seca (EPS) del recubrimiento anticorrosivo superficial, por lo que se decidió atacar a estos dos aspectos englobados.

Los datos correspondientes al mes de Enero, Febrero y Marzo refleja que el espesor de película seca (EPS) no cumple con las especificaciones referenciadas, bajo la norma SSPC-PA2 (Medición de espesores de película seca con calibres magnéticos), y el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$) del recubrimiento anticorrosivo es muy variable.

4.2.2. Recolección de datos

Para describir la situación actual del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial en la empresa SEDEMI, se realizó el formato FOR PIN 06 , en la cual se recogerá la información del espesor de película seca de las diferentes estructuras metálicas VER ANEXO 8, y el formato FOR PIN 08, se recogerá la información del valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), del recubrimiento anticorrosivo superficial que se gastó para la ejecución del trabajo VER ANEXO 9, es de fácil uso y manejable para los operadores, el objetivo es empezar a crear una cultura y mantener el ingreso de datos durante el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial, y poder validar su ejecución. La información recolectada será en la jornada normal de trabajo durante la semana.

La información recopilada sobre el recubrimiento anticorrosivo superficial, es directamente después de cada aplicación en las estructuras metálicas, como punto de partida enunciaremos los meses Noviembre, Diciembre, correspondiente al año 2013 y Enero, Febrero Marzo, Abril correspondiente al año 2014, respectivamente, según el ANEXO I. El responsable del ingreso de la información es el líder de cada grupo trabajo.

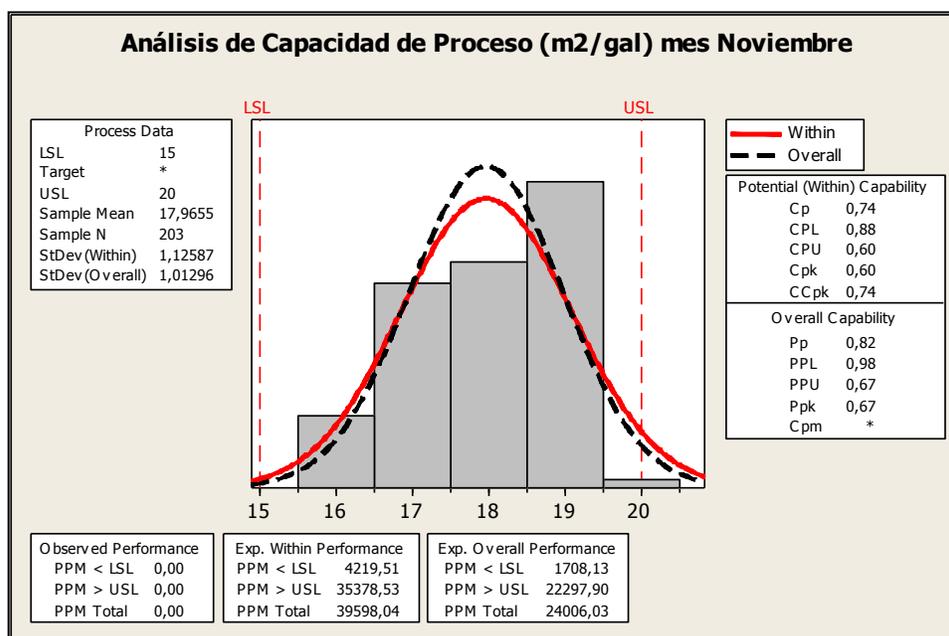
Todos los datos recopilados serán validados para identificar si existe alguna inconsistencia durante la ejecución del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

4.2.3. Representación de datos

Toda la información recopilada en el ANEXO I, es representada gráficamente y analizada con el programa MINITAB (Licencia de uso Educativo) para fines del presente estudio toma mando en cuenta todas sus opciones y aplicaciones operativas.

Representar gráficamente la información es un paso fundamental para el análisis de los datos, permitiéndonos detectar anomalías e irregularidades en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial y su correspondiente gastó.

✓ Mes de Noviembre



✓ Mes de Diciembre

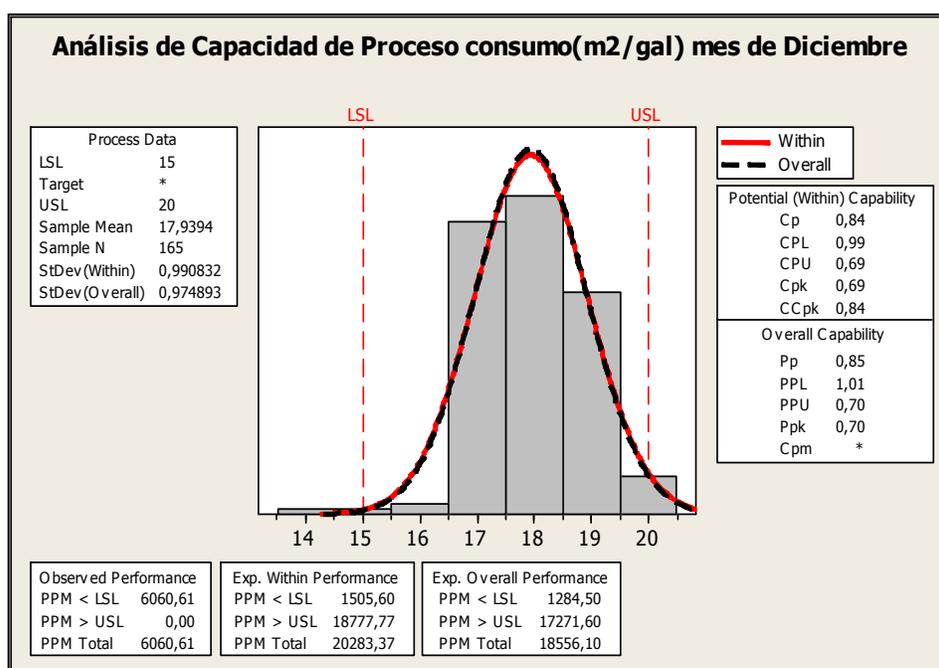


Figura 44 Análisis capacidad de proceso aplicación

Las acciones definidas en el plan de acción del primer proyecto de implementación de la metodología “ruta de la calidad”, se enfocó principalmente de disminuir el alto desperdicio del recubrimiento anticorrosivo superficial, para tener la seguridad de que las contramedidas funcionan correctamente, fue necesario hacer un seguimiento permanente al desarrollo de las acciones, pues sus resultados irán decidiendo si se va por el camino indicado o si es necesaria alguna corrección.

SEDEMI PLAN ACCIÓN															
MEJORAR EL PROCESO DE APLICACIÓN DE RECURRIMIENTOS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA EMPRESA SEDEMI															
N° ACCIÓN	QUÉ (ACCIONES)	QUIÉN (RESPONSABLE)	DÓNDE (ÁREA)	CUÁNDO (SEMANAS)											
				1	2	3	4	5	6	7	8				
				CÓMO											
1	Designar más personal técnico y capacitado para el control y seguimiento del proceso de aplicación de sistemas de recubrimiento	Líder de Proyecto AE, Responsable de Talento Humano	Galpón de Pintura / Salón de las Magnolias												El personal destinado al control, calidad y seguimiento del proceso de aplicación de pintura debe estar constantemente junto al personal operativo del área de pintura. Realizar trimestralmente capacitaciones de actualización en forma teórica y práctica en base a temas de preparación superficial y aplicación de recubrimientos, con la participación interna y expositores externos a lineados al proceso de aplicación de recubrimientos.
2	Generar un Plan de Pintado por cada proyecto	Líder de Proyecto AE, Auditor de Proyecto MF	Oficina Técnica												Con el packaging list y las especificaciones técnicas del cliente, realizar el Plan de Pintado general, que será diferente para cada proyecto y orden de trabajo, este documento rigirá el desarrollo de todo el proceso de preparación superficial y aplicación del sistema de recubrimientos
3	Rotación de personal	Líder de Proyecto AE, Responsable de Talento Humano	Talento Humano												Incentivar al personal operativo con charlas de motivación y con reconocimientos personales por su buen desempeño, colaboración y responsabilidad en su puesto de trabajo
4	No hay mantenimiento preventivo de los equipos de aplicación (AIRLESS)	Líder de Proyecto AE, Responsable de mantenimiento	Mantenimiento												Coordinar con el responsable de mantenimiento, para establecer un cronograma de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas Airless, con el objetivo de no afectar a la producción
5	Condiciones climáticas	Líder de Proyecto AE, Jefe Acabado Superficial Gerencia de Producción Mantenimiento	Mantenimiento												Coordinar con todas las áreas involucradas para la presentación del proyecto, cotización e implementación de la cabina de pintura completamente cerrada y encapsulada, esto ayudará a obtener unas condiciones climáticas adecuadas para la aplicación de la pintura y su rápido secado para su manipulación inmediata

Figura 45 Plan de acción

✓ **Generar un plan de pintado por cada proyecto en ejecución.**

Es un documento que es elaborado para la planificación del trabajo en los diferentes proyectos y órdenes en ejecución, en él se resumen las etapas de la preparación de superficie definiendo el método usado para su limpieza y la aplicación del sistema de recubrimientos con un orden pre establecido para el mejor uso de sus propiedades, identificando el método con el cual se aplicara el recubrimiento.

También se proporcionan espesores de aplicación en húmedo y seco, galones estimados, rendimientos ($\frac{m^2}{gal}$), tiempos de secado, tiempos de repintado.

El plan de pintado cumple con los requisitos establecidos en la especificación del cliente, es una base de apoyo para el supervisor y los operarios del área de pintura, en cual pueden recurrir a solventar cualquier duda o inquietud que se presente antes, durante y después del proceso, y puedan desenvolverse normalmente, y controlar cada una de las fases de operación, como el rendimiento práctico de los recubrimientos industriales ($\frac{m^2}{gal}$), y el porcentaje de pérdidas reales en taller, está información permitirá comparar con el rendimiento teórico calculado y el porcentaje de perdidas teóricas definidas en la hoja técnica del producto, los resultados ayudará a definir los costos reales ($\frac{\$}{m^2}$), del proyecto en ejecución.

Tabla 6

Periodo 2015

PERIODO 2015									
MES	AREA (m2)	ESPOSOR PELICULA SECA mils	% PERDIDA TEORICO	RENDTO TEORICO (m ² /gal)	CONSUMO ANTICORROSIVO TEORICO (gal)	ESPOSOR PELICULA SECA EN TALLER mils	RENDTO PRÁCTICO EN TALLER (m ² /gal)	% PERDIDA REAL EN TALLER	ANTICORROSIVO UTILIZADO EN TALLER (gal)
ENERO	1151,01	1,5	45	24	48	3	13	42	89
FEBRERO	1144,40	1,5	45	24	48	3	13	42	88
MARZO	1008,79	1,5	45	24	42	3	13	42	78

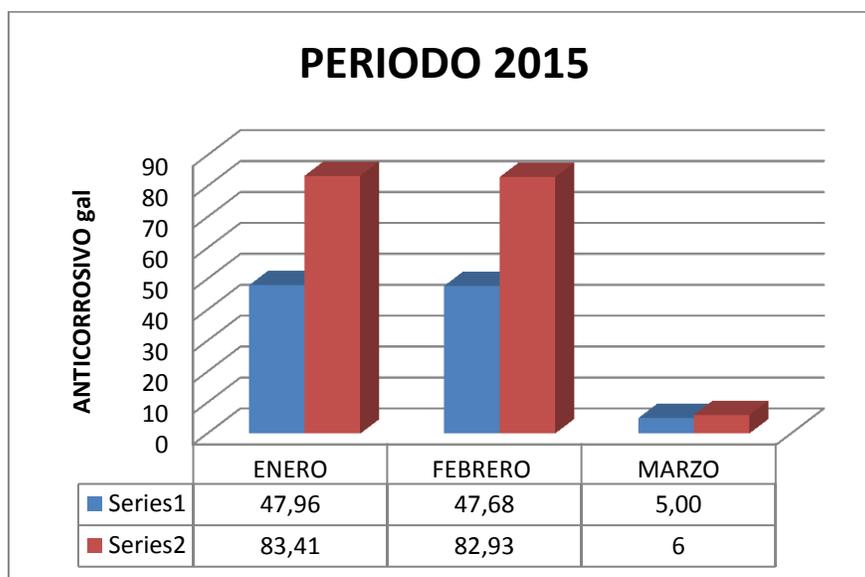


Figura 46 Representación de datos

4.2.3.1 Determinación de los límites naturales del proceso aplicación del recubrimiento anticorrosivo.

Para la determinación de los límites naturales de los espesores de película seca se ha referenciado bajo la norma SSPC – PA2 (Medición de espesores de película seca con calibres magnéticos), el cuál identifica que para su aprobación respectiva se sujeta al $\pm 20\%$ del valor de la

especificación o solicitud del cliente. En referencia a los limites naturales del valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), se ha referenciado a la hoja técnica del recubrimiento anticorrosivo Jet estándar STD.

✓ Mes de Enero

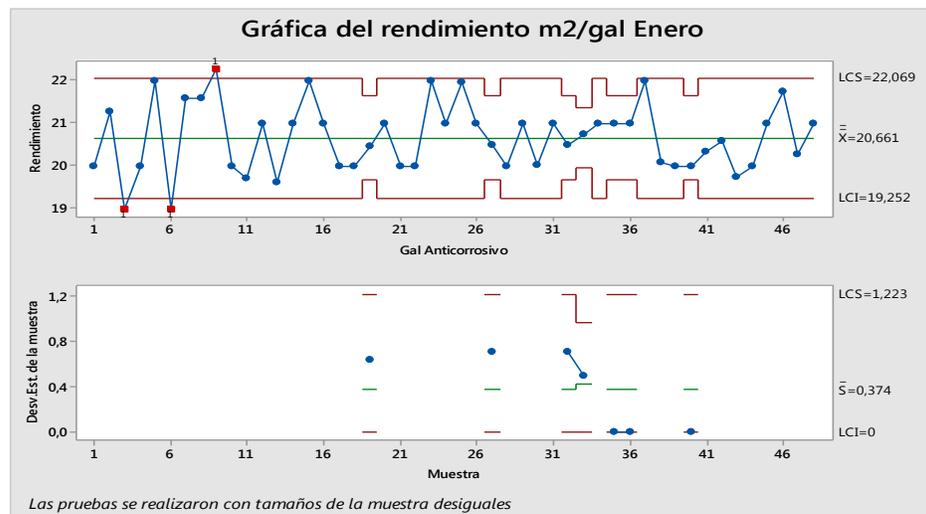
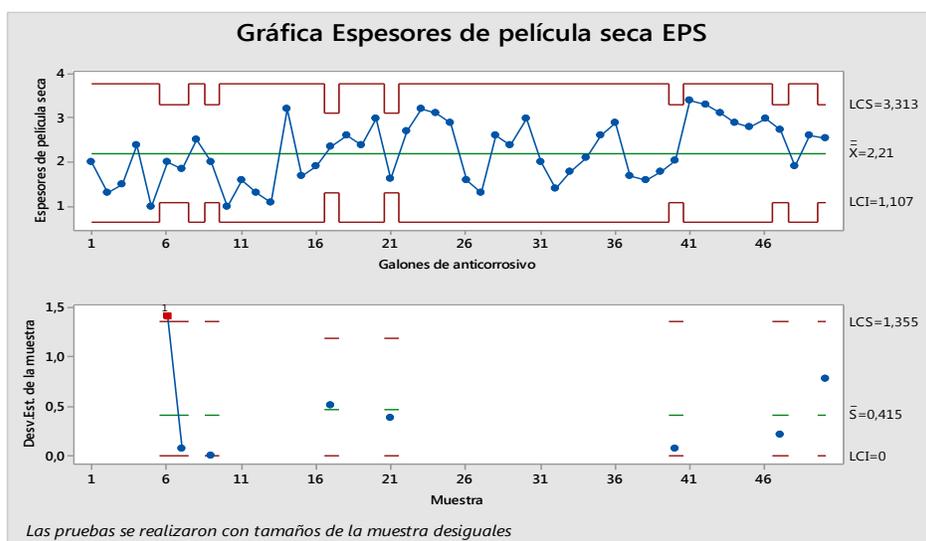


Figura 47 Espesores de película y rendimiento Enero

Tabla 7.

Rendimiento práctico Enero

		ESPECIFICACIÓN			
PRODUCTO	ESPEJOR PELÍCULA SECA (mils)	RENDO TEÓRICO HOJA TÉCNICA (m2/gal)	RENDO PRÁCTICO (m2/gal)	LES	LEI
ANTICORROSIVO	1,5	24	20,66	22,1	19,2

✓ Mes de Febrero

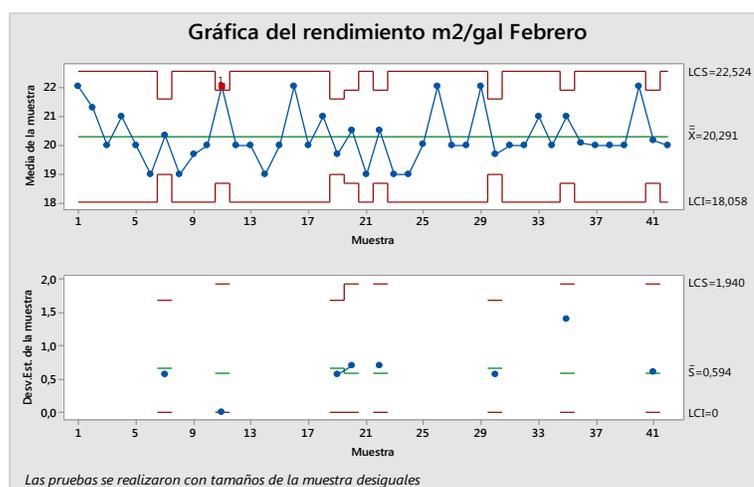
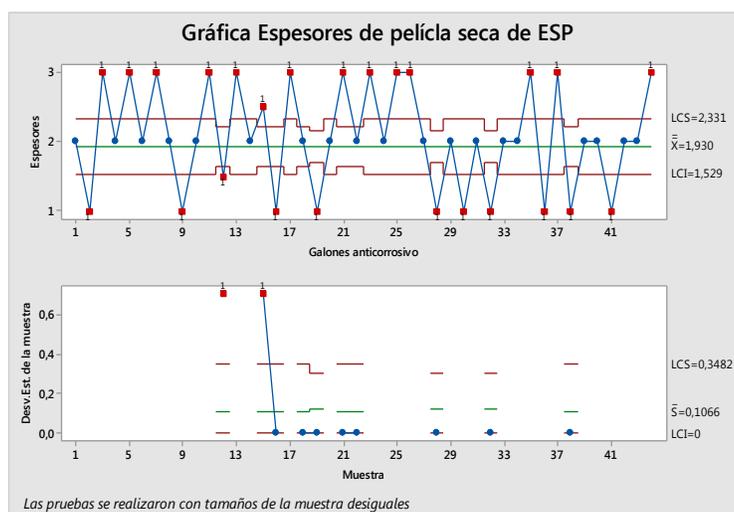


Figura 48 Espesores de película seca y Rendimiento Febrero

Tabla 8.

Rendimiento práctico Febrero

		ESPECIFICACIÓN			
PRODUCTO	ESPESOR PELÍCULA SECA (mils)	RENDTO TEÓRICO HOJA TÉCNICA (m2/gal)	RENDTO PRÁCTICO (m2/gal)	LES	LEI
ANTICORROSIVO	1,5	24	20,29	22,5	18,1

✓ Mes de Marzo

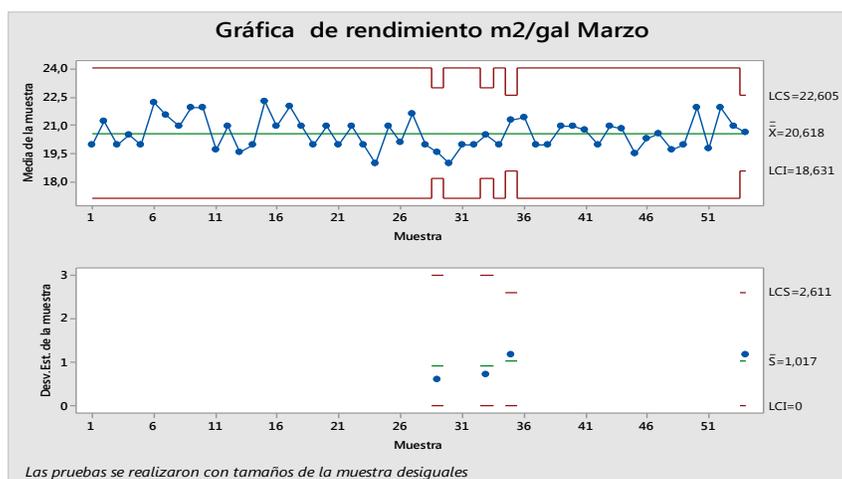
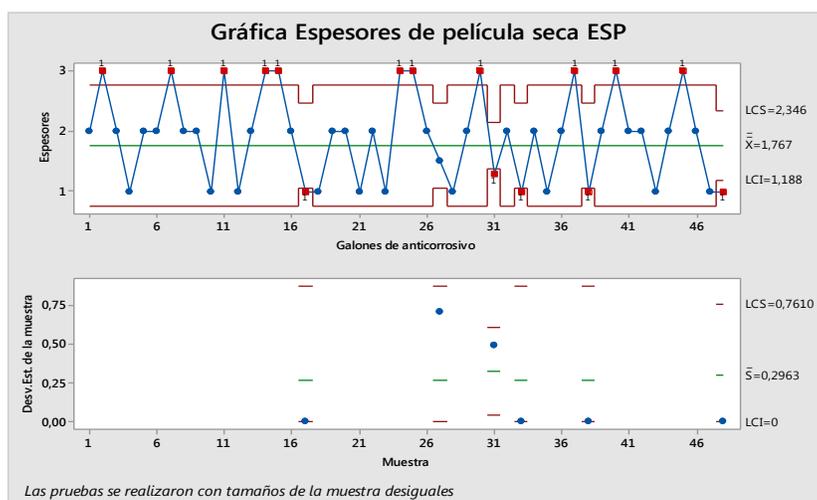


Figura 49 Espesores de película seca y Rendimiento Marzo

Tabla 9

Rendimiento práctico Marzo

		ESPECIFICACIÓN			
PRODUCTO	ESPEJOR PELÍCULA SECA (mils)	RENDTO TEÓRICO HOJA TÉCNICA (m ² /gal)	RENDTO PRÁCTICO (m ² /gal)	LES	LEI
ANTICORROSIVO	1,5	24	20,61	22,6	18,6

En el mes de Enero, la media del espesor de película seca es 2,21 mils y el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en taller está en 20,6 y en el mes de Febrero la media del espesor de película seca es 1,9 mils y el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en taller está en 20,29 y en el mes de Marzo la media del espesor de película seca es 1,7 mils y el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en taller está en 20,61 con respecto al valor inicial del rendimiento teórico 24 ($\frac{m^2}{gal}$), definido en la especificación de la hoja técnica del recubrimiento anticorrosivo superficial, en todos los gráficos presentan valores atípicos tanto en el límite inferior como en el límite superior respecto al punto medio.

Se escogió este proyecto, con el objetivo definir el mejor valor del espesor de película seca (EPS) y del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en taller del recubrimiento anticorrosivo superficial mediante la ejecución y validación de pruebas estadísticas para disminuir y controlar los defectos que se presentan por bajo espesor de la película seca, el incremento en el consumo del recubrimiento anticorrosivo que influyen directamente a los costos de adquisición del recubrimiento anticorrosivo para la ejecución de los proyectos.

Se procedió a efectuar el análisis de la capacidad del proceso de aplicación del recubrimiento industrial superficial, respectivamente.

✓ Mes de Enero

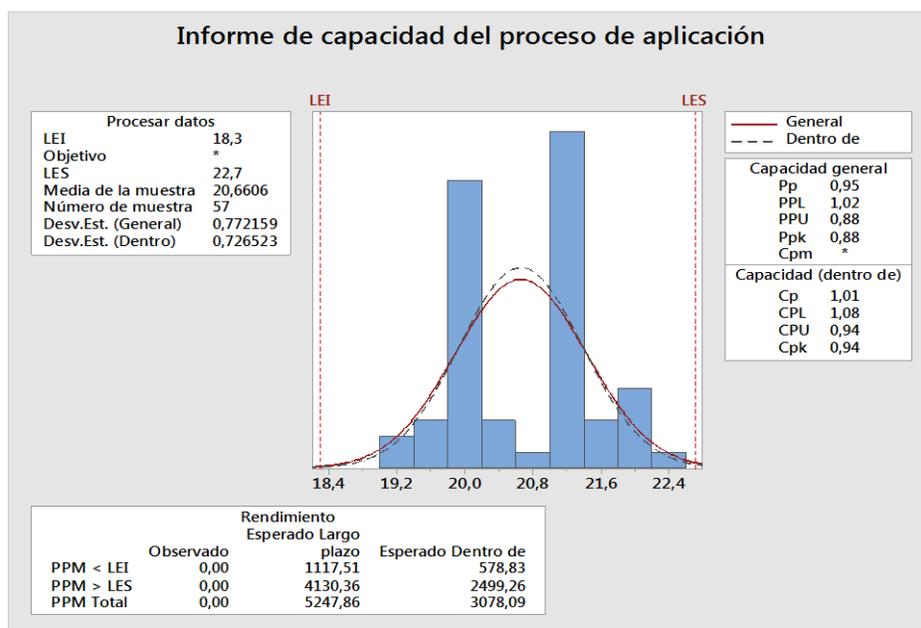
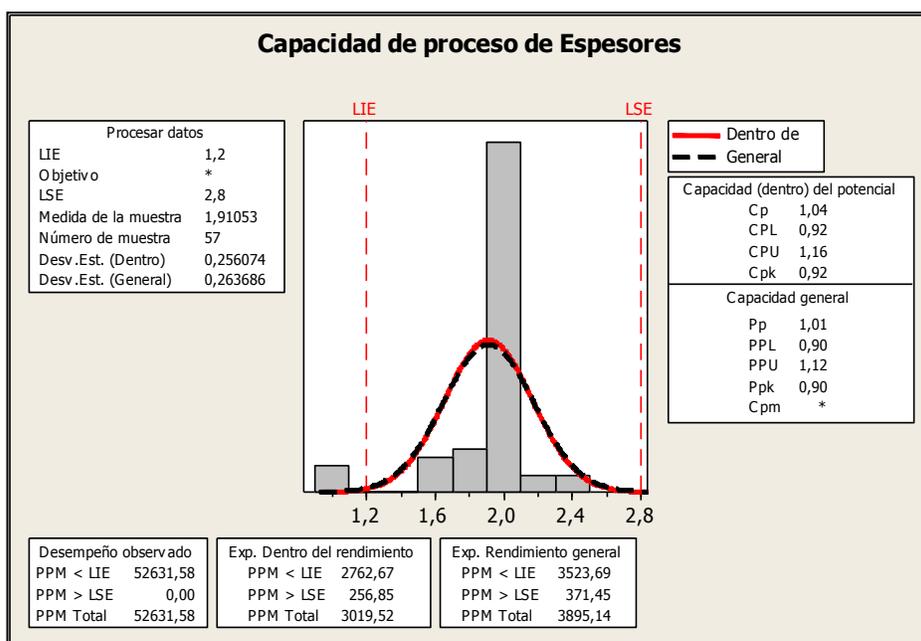


Figura 50 Análisis de capacidad de espesores y del proceso aplicación Enero

✓ Mes de Febrero

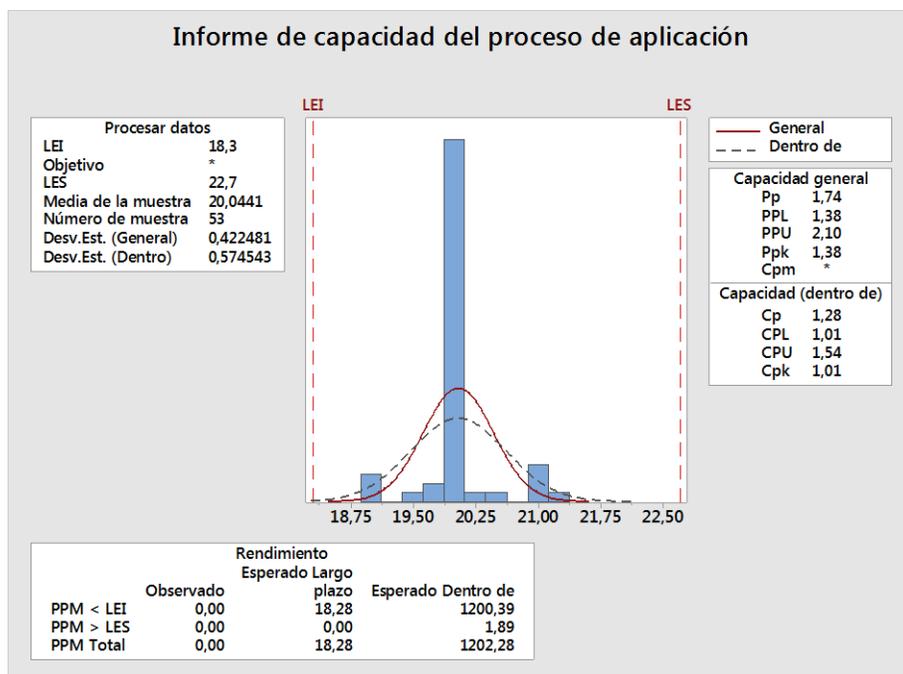
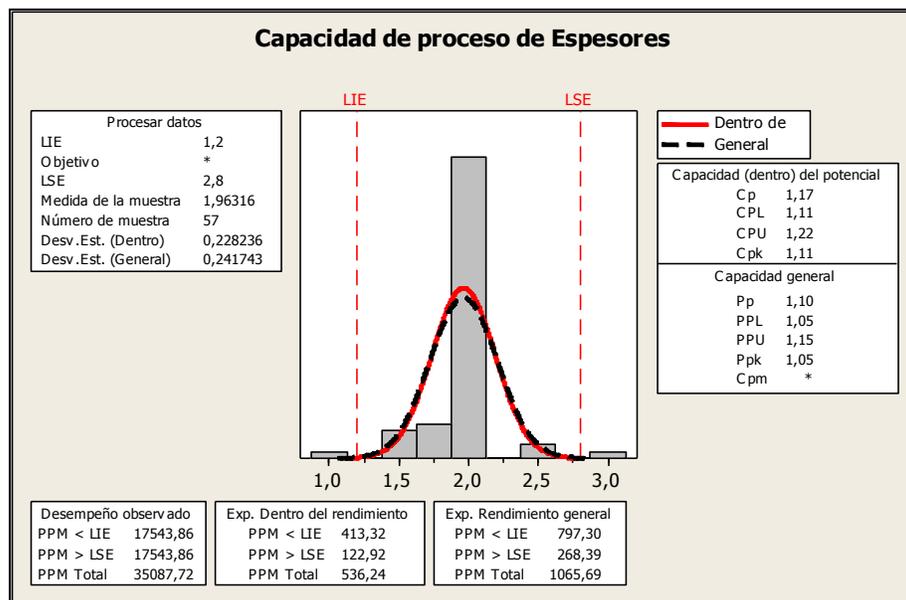


Figura 51 Análisis de capacidad de espesores y del proceso aplicación Febrero

✓ Marzo

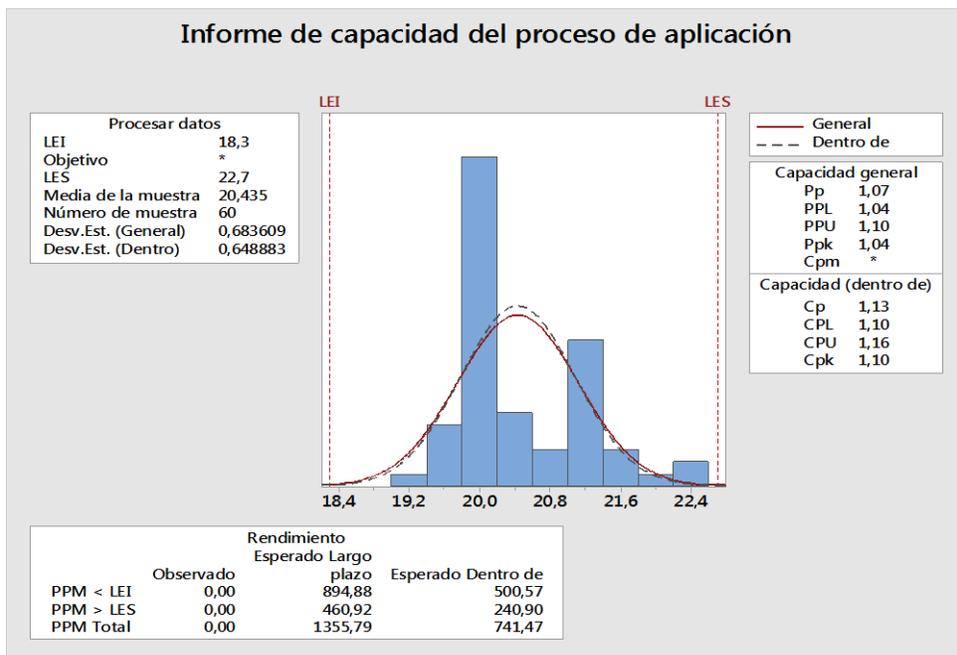
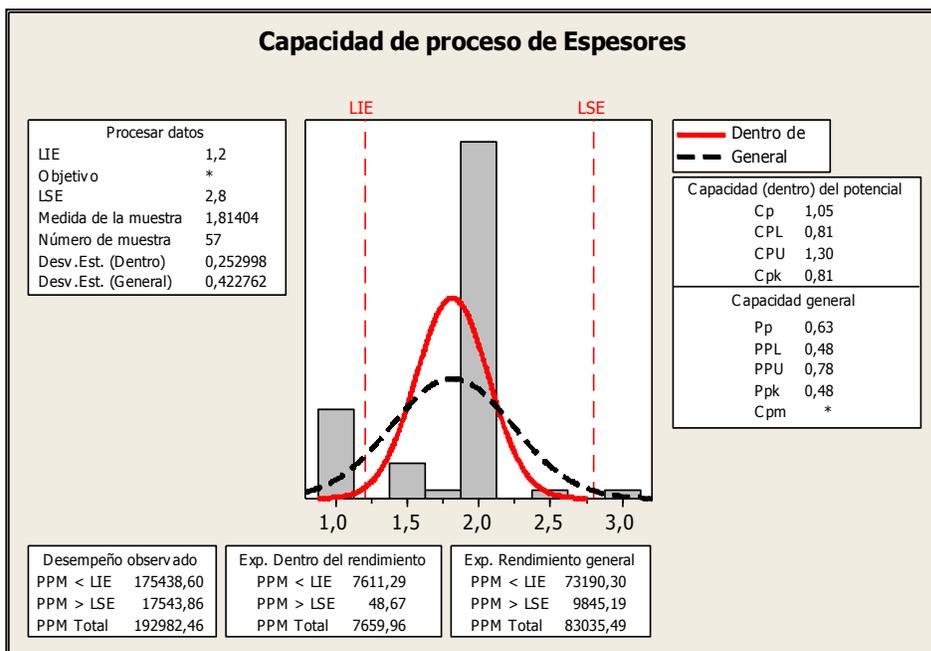


Figura 52 Análisis de capacidad de espesores y del proceso aplicación Marzo

Se procedió a efectuar el análisis de la capacidad del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial en función de su productividad determinando el espesor de película seca (mils) y su rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en taller, de acuerdo a la hoja técnica del producto de Jet Anticorrosivo STD, presentando los siguientes límites naturales, como límite inferior 18,3 ($\frac{m^2}{gal}$) y el límite superior de 22,7 ($\frac{m^2}{gal}$), a 1,5 mils en espesor en seco (EPS), pero en condiciones reales el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial se encuentra parcialmente adecuado, y todavía requiere de un control y seguimiento continuo para obtener un mejor desarrollo del trabajo, pues en términos generales, nos indica una capacidad real $C_p= 1,01$ y el índice de capacidad real $C_{pk}= 0,94$ correspondiente al mes de Enero y una capacidad real $C_p= 1,28$ índice de capacidad real $C_{pk}= 1,01$ correspondiente al mes de Febrero y una y una capacidad real $C_p= 1,13$ índice de capacidad real $C_{pk}= 1,10$ correspondiente al mes de Marzo.

Al comparar el rango de tolerancia especificada para los espesores de película seca y el rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$) en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial se puede observar que el proceso se está controlando con un monitoreo continuo, con respecto a la distribución del punto medio entre la variación natural del proceso y el rango de especificación.

Fue importante poder identificar las causas principales que originan el desperdicio del recubrimiento anticorrosivo superficial aplicado en las diferentes estructuras metálicas en el primer proyecto de implementación de la metodología “ruta de la calidad”, las cuales originaban los diferentes tipos de defectos, y la variación en el proceso y saber si es posible cumplir con el rango de tolerancia especificada.

✓ **INDICE Cp: CAPACIDAD POTENCIAL DEL PROCESO**

De acuerdo a la variabilidad que presenta el proceso:

Capacidad potencial (Enero) estable

$C_p < 1$ = La variación es mayor que la tolerancia

Capacidad potencial (Febrero) estable

$C_p < 1$ = La variación está más cercana a la tolerancia

Capacidad potencial (Marzo) estable

$C_p < 1$ = La variación está más cercana a la tolerancia

✓ **INDICE Cpk: CAPACIDAD REAL DEL PROCESO**

A lo que respecta a su desplazamiento:

Capacidad real (Enero) es satisfactoria

Cpk < 1 = La variación está cercano del centro de las especificaciones.

Capacidad real (Febrero) es satisfactoria

Cpk < 1 = La variación está cercano del centro de las especificaciones.

Capacidad real (Marzo) es satisfactoria

Cpk < 1 = La variación está cercano del centro de las especificaciones.

El resultado estadístico de los valores tanto del espesor de película seca y del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en la aplicación del recubrimiento industrial en taller se muestra a continuación.

Como se puede observar los datos que se refleja en los meses de Enero, Febrero y Marzo son totalmente independientes recolectadas en los días de jornada normal trabajados en todo el mes, ejecutando el mismo proceso de aplicación del recubrimiento industrial.

De acuerdo al procedimiento normal de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial, el primer procedimiento es calcular el área total de la estructura metálicas y se divide para el valor del rendimiento teórico ($\frac{m^2}{gal}$) descrita en la hoja técnica del anticorrosivo superficial, el cual está referenciado con él 40% en pérdidas y determinamos la cantidad de recubrimiento anticorrosivo superficial que se necesitará para la aplicación en taller. Todos los datos recopilados serán validados para identificar si existe alguna inconsistencia durante la ejecución del proceso de aplicación.

El incremento en el consumo del recubrimiento anticorrosivo superficial que se presenta es corresponsal al incremento del espesor de la película seca, lo que origina un consumo adicional del recubrimiento representando un costo extra al presupuesto total del proyecto en ejecución.

4.3. Análisis de datos

4.3.1 Resultados de la tendencia central y dispersión

Como resultado del análisis de la base de información recolectada durante los tres meses sobre el espesor de película seca y el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$) del recubrimiento anticorrosivo superficial a un espesor seco de 1,5 mil en taller, se obtuvieron los datos de tendencia central: media, mediana y moda para definir el centramiento y la desviación estándar para analizar la variabilidad del proceso con respecto a la especificación.

✓ Enero

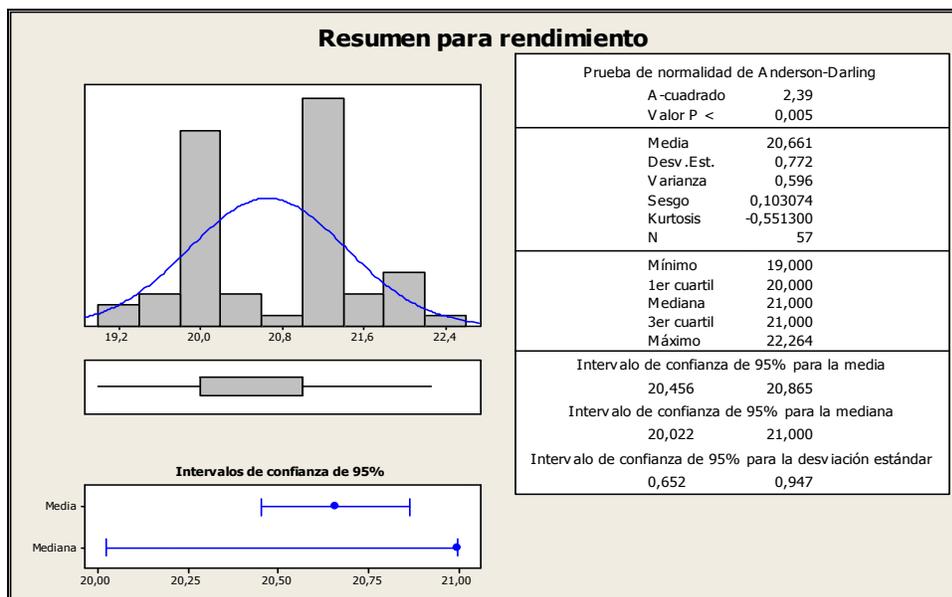
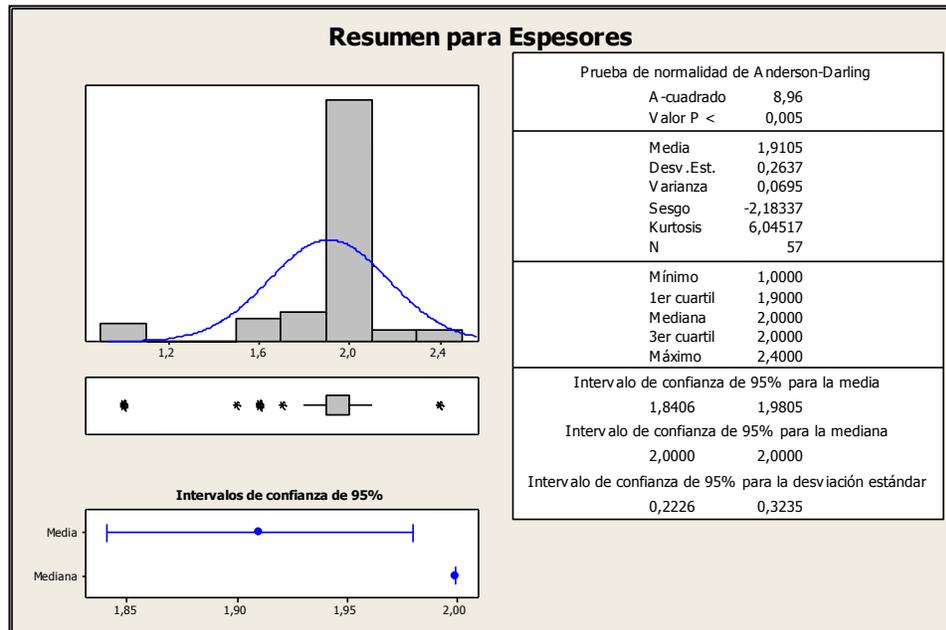


Figura 53 Resultados de la tendencia central y dispersión Enero

✓ Febrero

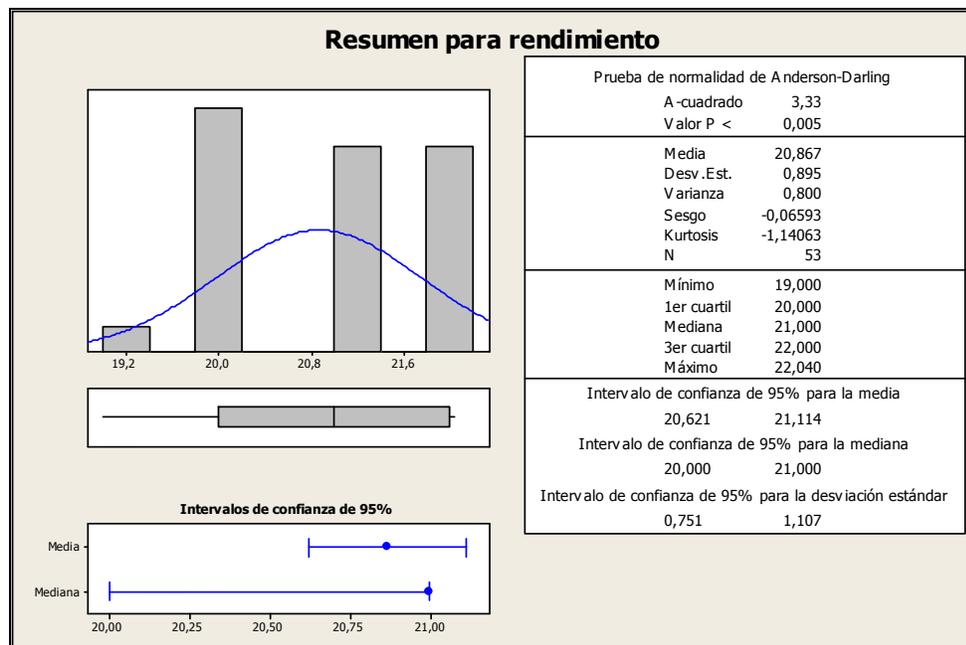
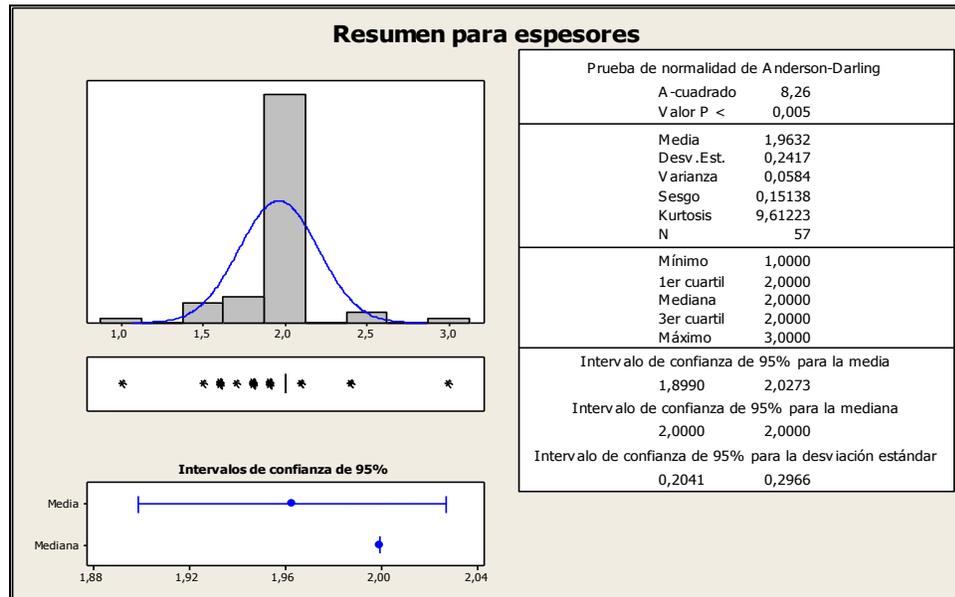


Figura 54 Resultados de la tendencia central y dispersión Febrero

✓ Marzo

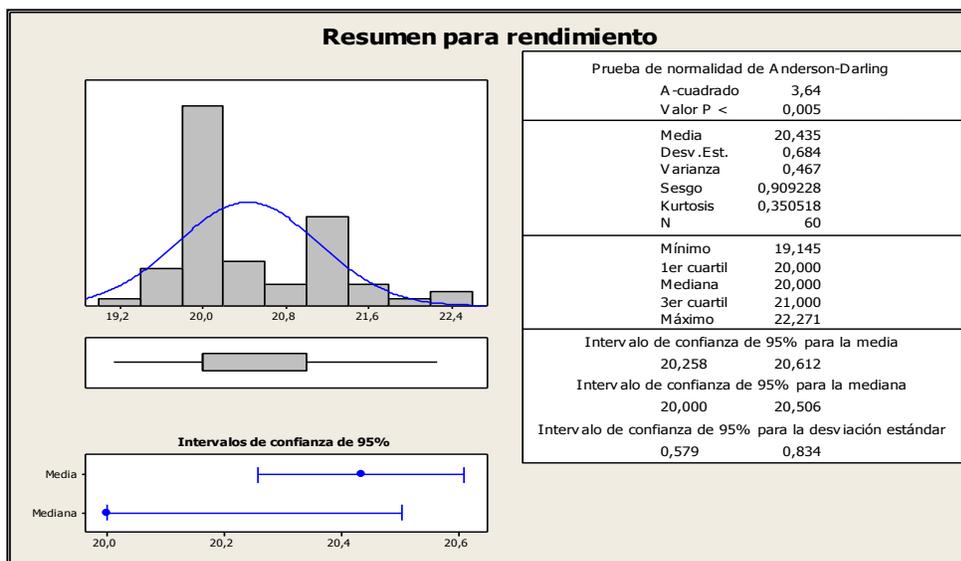
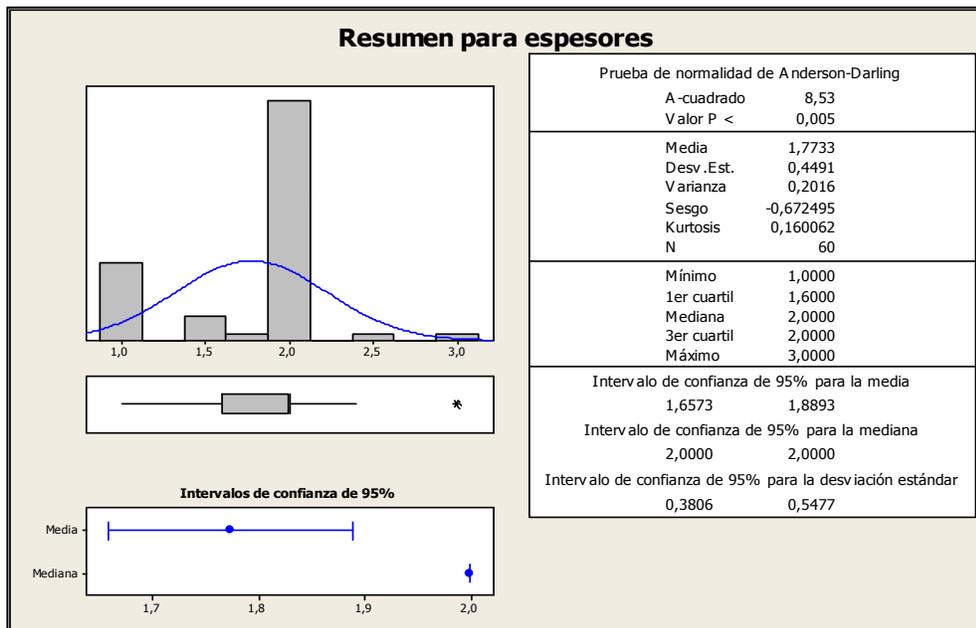


Figura 55 Resultados de la tendencia central y dispersión Marzo

Se realizó el análisis de los espesores de película seca y el rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$) del recubrimiento anticorrosivo superficial con los datos obtenidos en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo en los meses de Enero, Febrero y Marzo se obtuvieron los datos de tendencia central: media, mediana y moda para definir el centramiento y la desviación estándar para analizar la variabilidad del proceso con respecto a la especificación.

De los gráficos obtenemos los siguientes datos:

Tabla 10.

Resumen de la tendencia central y dispersión

PRODUCTO	RENDTO PRÁCTICO	RENDTO PRÁCTICO	RENDTO PRÁCTICO
ANTICORROSIVO STD	20,66	20,86	20,43
ESPESOR DE PELÍCULA SECA	(1,2 mil)	(1,4 mil)	(1,1 mil)
Media	20,66	20,86	20,43
Desviación Estándar	0,77	0,89	0,68
Varianza	0,59	0,8	0,47
Mínimo	19	19	19
Primer Cuartil	20	20	20
Mediana	21	21	20
Tercer Cuartil	21	22	21
Máximo	22,26	22,04	22,27

4.3.2 Prueba de hipótesis de las medias

Una vez obtenidos los datos procedemos a realizar la prueba de hipótesis de la media de dos muestras totalmente independientes.

Los parámetros de operación de prueba se determinaron mediante el cálculo descrito en la hoja técnica:

$$Rt = \frac{1,57 * \% \text{ Volumen de Sólidos}}{EPS}$$

Dónde:

% Volumen de Sólidos

EPS: mils

Comprobar la hipótesis $\mu_1 = \mu_2$ contra la hipótesis alternativa $\mu_1 \neq \mu_2$ con un nivel de significancia de 0,05 con un grado de confianza del 95%.

Con Z tabla = 1,96

Riesgo alfa	Valor z con dos colas	Valor con una sola cola	Nivel de confianza
0.100	1.64	1.28	90.0%
0.050	1.96	1.64	95.0%
0.025	2.24	1.96	97.5%
0.010	2.58	2.33	99.0%

Figura 56. Riesgo alfa valor z

El proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial de dos muestras totalmente independientes se presenta definidos en la siguiente tabla:

Tabla 11.

Prueba de media de dos muestras

ESPECIFICACIÓN		
PRODUCTO	RENDTO PRÁCTICO	RENDTO PRÁCTICO (P2)
	(m ² /gal)	(m ² /gal)
ANTICORROSIVO STD	24,0	13,8
ESPEORES DE PELÍCULA SECA	(1,5 mil)	(3mil)
n	57	57
X	20,65	12
σ	0,89	0,65
Hipótesis	H0 = μ1 = μ2	H1 = μ1 ≠ μ2

Según la siguiente ecuación:

$$Z_{PRUEBA} = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

$$Z_{PRUEBA} = 4$$

De acuerdo al resultado estadístico de prueba se rechaza $H_0 = \mu_1 = \mu_2$, y se acepta la hipótesis alternativa $H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$, ya que Z_{PRUEBA} es mayor que Z_{TABLA} por lo cual se opta este nuevos parámetros de operación.

4.3.3. Análisis de la tendencia central y dispersión

De acuerdo al resultado obtenido en la prueba de hipótesis de dos muestras al comparar las medias del rendimiento práctico $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$, del recubrimiento anticorrosivo superficial podemos concluir que los dos procesos son diferentes, la hipótesis alternativa se acerca al punto medio del centro con la especificación 13,80 $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$, con un espesor de película seca de 3 mils el cuál presenta óptimos resultados en la protección contra la corrosión, y el proceso se encuentra centrado a la especificación.

Si comparamos la desviación estándar de ambos procesos podemos ver que la variabilidad del segundo proceso rendimiento práctico 12 $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$, es menor que el del primer proceso cuyo rendimiento práctico 20,65 $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$.

El histograma del rendimiento práctico 12 $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$, nos indica distribución unimodal la cuál es la más común para los procesos industriales, la media, mediana y moda refleja su distribución de datos en forma simétrica.

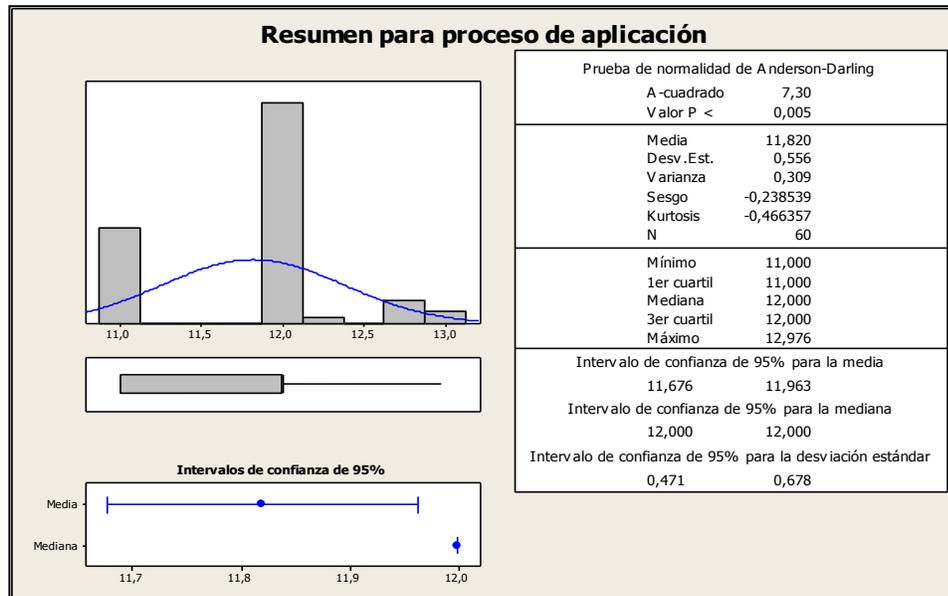


Figura 57 Resultados de la tendencia central y dispersión Abril

4.3.4. Resultados del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

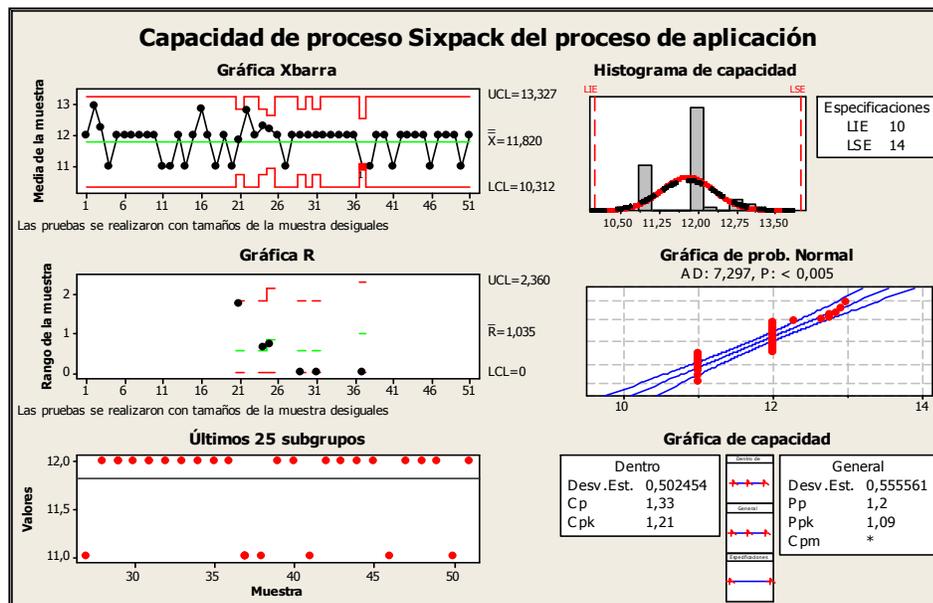


Figura 58 Resultados del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo.

Tabla 12.

Resultados aplicación del recubrimiento anticorrosivo.

ESPECIFICACIÓN	
PRODUCTO	RENDTO PRÁCTICO
	(m ² /gal)
ANTICORROSIVO STD	12
	(3mil)
LCS	14
LCI	10
Cp	1,33
Cpk	1,21

4.3.5 Análisis capacidad del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial

Presento los siguientes resultados del rendimiento práctico $12 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$, en taller del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial.

✓ INDICE Cp: CAPACIDAD POTENCIAL DEL PROCESO

De acuerdo a la variabilidad que presenta el proceso

Capacidad potencial (Abril) adecuado

$C_p > 1,33$ = La tolerancia del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial es el adecuado para su trabajo.

✓ **INDICE Cpk: CAPACIDAD REAL DEL PROCESO**

A lo que respecta a su desplazamiento

Capacidad real (Abril)

$Cpk = 1,21$ = La media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, y si se con la corrección en forma continua el problema de descentrado se alcanzará la capacidad indicada por el índice Cp.

El control y seguimiento por parte del supervisor técnico de calidad y el compromiso del personal operativo en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial ha permitido obtener una disminución representativa en la desviación del espesor de película seca y en el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en taller esto significa la eliminación de los defectos que se presentaba en las estructuras metálicas como la presencia de puntos de oxidación por bajo espesor y los re-procesos, facilitando la liberación visual y el cumplimiento de las especificaciones del cliente en el producto terminado.

CAPITULO V: VERIFICACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ACCIONES DESARROLLADAS EN EL PROCESO DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO SUPERFICIAL.

5.1 Verificación de los resultados

Para tener la seguridad de que las medias funcionan correctamente, es necesario hacer un seguimiento permanente de los espesores de la película seca y del valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), del recubrimiento anticorrosivo superficial en taller, pues sus resultados irán decidiendo si se va por el camino indicado o si es necesaria alguna corrección.

5.1.1 Validación de los resultados del proceso de aplicación

El líder del proyecto debe convocar a una reunión de trabajo los días viernes de cada semana, para realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de la ejecución de documentos y registros generados en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial y poder determinar estadísticamente el nivel de cumplimiento alcanzado, si se llegó a la meta o si el grado de mejoramiento deseado se va a lograr, en caso contrario, debe detenerse o revisar qué está fallando para corregir errores, mediante sugerencias encaminadas por el grupo de mejora a solucionar los problemas que se presentaron en el transcurso de la semana.

El espesor de película seca 3 mils y el rendimiento práctico $12 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$, del recubrimiento anticorrosivo superficial que se aplicó en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo a las diferentes estructuras metálicas.

El resultado estadístico de la variable del espesor de película seca y el rendimiento $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}\right)$ en la aplicación del recubrimiento industrial se procedió a realizar el análisis de capacidad el del proceso correspondiente al mes de

➤ Mes de Abril

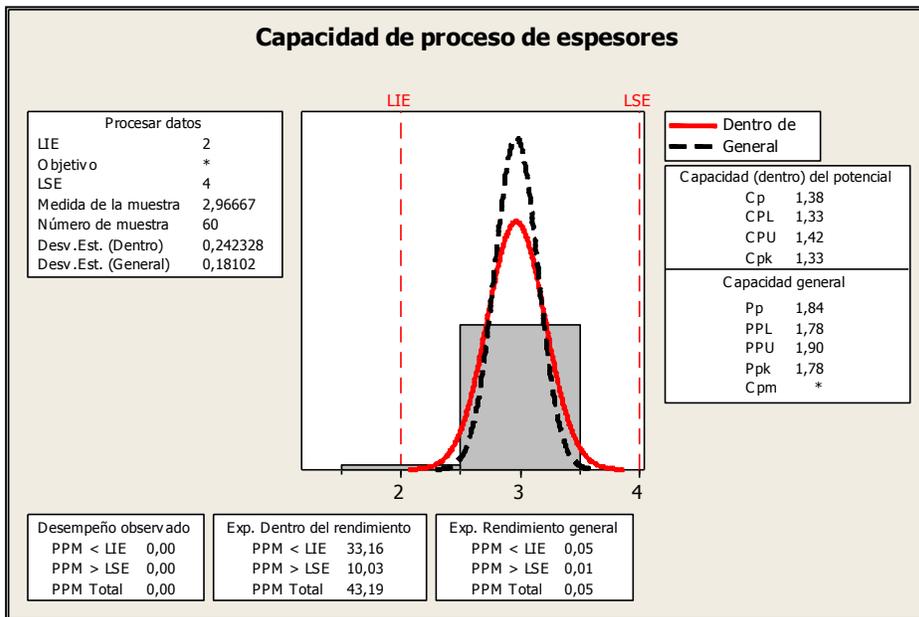


Gráfico 1 Capacidad del proceso espesores

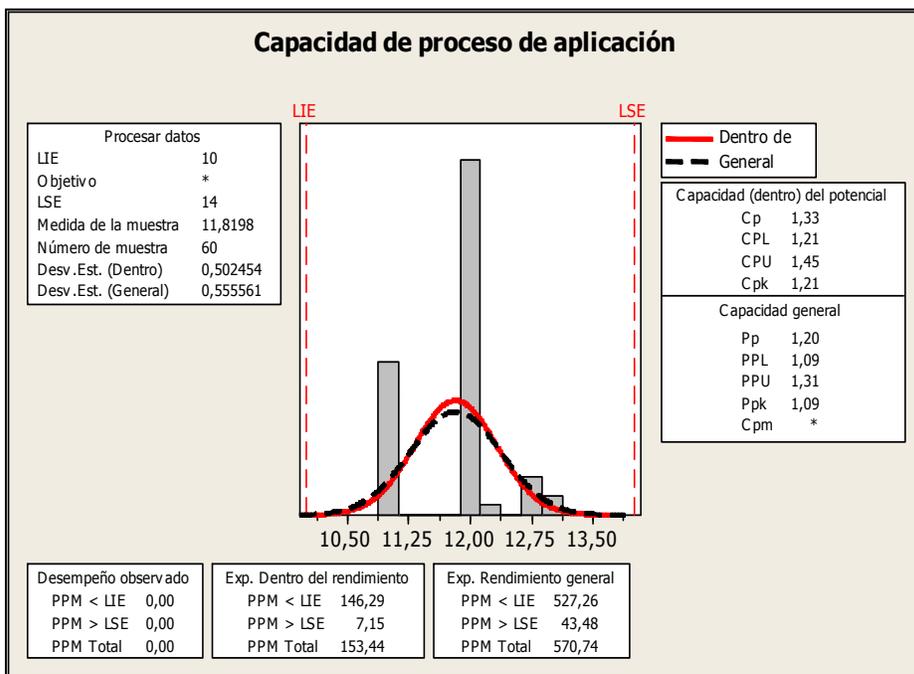


Figura 59 Capacidad del proceso espesores

La meta es reducir la variabilidad en los espesores de película seca y en el rendimiento práctico (m^2/gal) del recubrimiento anticorrosivo superficial lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites.

Se toma el 40% en pérdidas teóricas como referencia para calcular el rendimiento teórico ($\frac{\text{m}^2}{\text{gal}}$) descrita en la hoja técnica del Jet Anticorrosivo STD y poder determinar el recubrimiento anticorrosivo que se requiere para aplicar en la estructura metálica.

Durante el mes de Abril se obtuvo un 42% en pérdidas reales en taller, presentando un rango tolerante de $\pm 2\%$, en referencia al porcentaje teórico de pérdidas del 40%, este resultado nos permite seguir mejorando en el espesor de película seca correspondiente a 3 mils y en el rendimiento práctico $12 \frac{\text{m}^2}{\text{gal}}$ del Jet Anticorrosivo STD en taller, y tener un producto final que cumpla con las especificaciones y tener mayor avance de producción y un mejor control en el consumo del recubrimiento anticorrosivo superficial para cada proyecto en ejecución.

El costo se incrementa en 0,78 \$/m² y 0,019 \$/Kg que influye directamente a la parte económica del presupuesto establecido en el proyecto adjudicado, este incremento se justifica con la eliminación de los re-procesos y defectos originando una mayor rentabilidad económica para la empresa.

Tabla 14.

Resultados de costos

CLIENTE	ÁREA, m ²	PESO, kg	SISTEMA DE PINTURAS	EPS (MICRAS)	% SÓLIDOS VOLUMEN	REN. TEÓRICO m ² /GAL	% PÉRDIDAS	REN. PRÁCT m ² /GAL	GAL ESTIMA	COSTO \$/GALÓN	COSTO \$/M ²	COSTO \$/kg
CHAIDE-CHAIDE	2975	123962,4	JET ANTICORROSIVO	37,5	42	42	45	23	128	9	0,39	0,009
			THINNER LACA						16	4,5	0,02	0,001
TOTAL				37,5							0,41	0,010
CLIENTE	ÁREA, m ²	PESO, kg	SISTEMA DE PINTURAS	EPS (MICRAS)	% SÓLIDOS VOLUMEN	REN. TEÓRICO m ² /GAL	% PÉRDIDAS	REN. PRÁCT m ² /GAL	GAL ESTIMA	COSTO \$/GALÓN	COSTO \$/M ²	COSTO \$/kg
CHAIDE-CHAIDE	2975	123962,4	JET ANTICORROSIVO	75	42	21	42	12	242	9	0,73	0,018
			THINNER LACA						30	4,5	0,05	0,001
TOTAL				75							0,78	0,019

✓ **INDICE Cp: CAPACIDAD POTENCIAL DEL PROCESO**

De acuerdo a la variabilidad que presenta el proceso

Capacidad potencial (Abril) estable

$C_p > 1,33$ = La tolerancia del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial es el adecuado para su trabajo.

✓ INDICE Cpk: CAPACIDAD REAL DEL PROCESO

A lo que respecta a su desplazamiento

Capacidad real (Abril)

Cpk = 1,21 = La media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, y si se con la corrección en forma continua el problema de descentrado se alcanzará la capacidad indicada por el índice Cp.

El control y seguimiento por parte del supervisor técnico de calidad y el compromiso del personal operativo en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial ha permitido obtener una disminución representativa en la desviación del espesor de película seca y en el valor del rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$), en taller esto significa la eliminación de los defectos que se presentaba en las estructuras metálicas como la presencia de puntos de oxidación por bajo espesor y los re-procesos, facilitando la liberación visual y el cumplimiento de las especificaciones del cliente en el producto terminado.

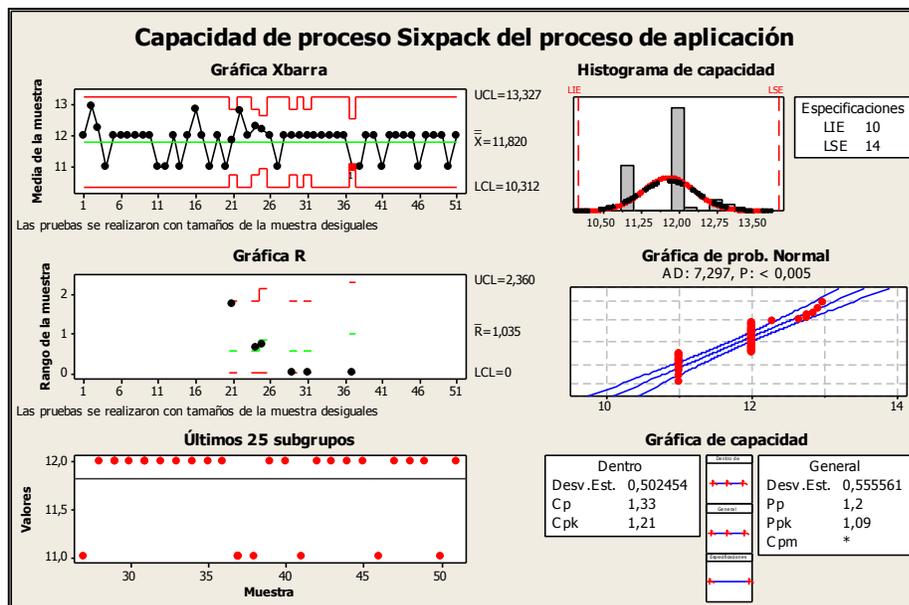


Figura 60 Capacidad proceso sixpack del proceso de aplicación

5.2. Estandarización del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo

Es fundamental estandarizar las acciones de mejora ejecutada con el control estadístico en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial para mantener los logros alcanzados y que se conviertan en el estado normal de desempeño del personal técnico y operativo en cada puesto de trabajo del área de pintura, para alcanzar este objetivo la educación y el entrenamiento juegan un papel determinante para la mejora continua y así evitar que el proceso regrese a su estado anterior y vuelva a estar fuera de control.

Al estandarizar el espesor de película seca y el rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$) en taller, se mejora el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial y se debe registrar como un procedimiento estándar de operación (PEO), estos cambios deben reflejarse en el instructivo INS PIN 01 para que las personas se capaciten sobre este nuevo estándar y puedan adquirir las habilidades exigidas para la ejecución correcta del trabajo.

Para garantizar el estándar de operación se seguirá en forma precisa y continuamente por el personal operativo del área de pintura, adicional se realizará un seguimiento y verificación de los resultados numéricos mediante una gráfica de control, y podemos darnos cuenta si cumple con los niveles de desempeño o se ha regresado a los niveles anteriores.

Tabla 15.

Procedimiento estándar de operación

Ubicación		Máquinaria/Herramientas	Materiales	EPP	Ambiente
Actividades			Medición		
Resultado Esperado			Acciones correctivas		
Realizado por: Marco Figueroa Asistente Técnico		Revisado por: Ing. Alex Espinoza Coordinador Pintura		Revisado por: Ing. Paulina Loya Jefe Acabado Superficial	

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- ✓ El desarrollo de este proyecto se lo realizó en el área de Pintura – SEDEMI S.C.C. y como se lo explica en el desarrollo de cada uno de los capítulos en la parte de diagnóstico se tomó esta sección como piloto para la realización del estudio porque la empresa es grande y es mejor tomar una sección para de allí partir y a medida de los resultados se puede ir incentivando a las demás secciones a que se interesen en aplicar los principales conceptos de Control Estadístico.

- ✓ Se determinó los límites de control naturales correspondiente al proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial rendimiento práctico $12 \left(\frac{m^2}{gal}\right)$ del, y LCS: 14 y LCI: 10, valores que permite el desempeño normal del proceso de aplicación.

- ✓ La capacidad del proceso y el índice de capacidad real referente al proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial presento los siguientes resultados: **Cp= 1,33** y el **Cpk= 1,21**, estos resultados se obtuvieron correspondiente al mes de Abril, entonces el proceso produciría 0.0096% de estructuras metálicas pintadas fuera de las especificaciones, el proceso de aplicación del recubrimiento es adecuado para el trabajo y permite alcanzar una calidad satisfactoria.

- ✓ El análisis de la variación de la productividad del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial se consideró dos aspectos fundamentales y de intervención directa, colocando en el resultado del estudio solo los puntos más importantes para el diagnóstico:
 - ✓ Espesor de película seca (mils)
 - ✓ El rendimiento práctico ($\frac{m^2}{gal}$) del recubrimiento anticorrosivo superficial.

- ✓ Se determinó que si hubo diferencia en la variación de la media (Prueba de Hipótesis $H1 = \mu1 \neq \mu2$), y se aceptó la hipótesis alternativa correspondiente al rendimiento práctico 13,8 ($\frac{m^2}{gal}$), del recubrimiento anticorrosivo superficial como nuevo parámetro de operación.

- ✓ Con la aplicación del control estadístico en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial, se obtuvo un incremento en la productividad del recubrimiento anticorrosivo superficial, a un espesor de 3 mils influenciando directamente en el rendimiento práctico $12 \left(\frac{m^2}{gal}\right)$, en taller, disminuyendo drásticamente los re-procesos por los dos defectos principales, generando un ahorro en el costo y en la cantidad de recubrimiento que se requiere para la ejecución del proyecto adjudicado.

- ✓ El costo se incrementa en 0,78 \$/m² y 0,019 \$/Kg que influye directamente a la parte económica del presupuesto establecido en el proyecto adjudicado, este incremento se justifica totalmente con la eliminación de los re-procesos y defectos que se presentaba en el producto final, obteniendo la satisfacción del cliente.

- ✓ El procedimiento estándar de operación (PEO), se detalla la información con las nuevas condiciones de operación que estabiliza el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial, permitiendo obtener una regularización en el espesor de la película seca y en la productividad del proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial $\left(\frac{m^2}{gal}\right)$, generando los siguientes beneficios: incremento de la vida útil de las estructuras metálicas contra la corrosión, reducción de costos, incremento en la producción y calidad, esto originará una mayor rentabilidad para la empresa y principalmente la confianza del cliente.

- ✓ El procedimiento estándar de operación (PEO), permite ejecutar un seguimiento y control en forma diaria por el técnico de calidad en todas las etapas (antes, durante y después) en el proceso de aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial verificando el fiel cumplimiento del POE (Procedimiento Estándar Operación), por parte de todo el personal operativo del área de pintura, eliminar o bloquear las causas principales generadoras del problema en la aplicación del recubrimiento anticorrosivo superficial y obtener un buen resultado en salida del producto terminado.

6.2. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda que las acciones de mejora se deben enfocar en tener una adecuada gestión del trabajo; esto es un buen plan de trabajo, seguimiento y control del avance, como también, la comunicación y respaldo motivacional por parte de la dirección superior.
- ✓ Este concepto estadístico es fácilmente moldeable para su aplicación en otros sistemas de recubrimientos superficiales, en el cuál no se ha definido sus condiciones de operación más óptimas para que el proceso de aplicación tenga un excelente desempeño.

- ✓ Finalmente se concluye que el ser humano es la parte modular de toda empresa, ya que sin su participación los resultados que se obtengan no serán excelentes. Sin embargo para lograr esos resultados es necesario que quien dirige una organización muestre una actitud humanista capaz de desarrollar las potencialidades de los integrantes de la misma. Por lo tanto la calidad es el resultado de la actitud y esfuerzo humano para su propia satisfacción.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SEDEMI. (2015).

CARROPAZ, R. (2004). *Control Estadístico de Procesos*. Mexico.

COCHRAN, W. (1993). *Diseño y Experimentos*. México: COMILLAS.

GUTIERREZ, H. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma. En H. GUTIERREZ, *Control estadístico de calidad y seis sigma*. México: McGRAW-HILL.

QUALIPLUS, E. (2004). *Manual Qualiplus Excelencia Empresarial*. México: McGraw-Hill.

Revolución industrial. (s.f.). Obtenido de http://www.mistrabajos.8k.com/revolución_industrial.htm

RUIZ, A. (2006). *Control estadístico de procesos*. Madrid: COMILLAS.

