

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**MEJORA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA
MANUFACTURERA DE ALAMBRES DE ACERO APLICANDO LA
METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presentan los
bachilleres:

Leandro Barahona Castillo
Jessica Navarro Infante

ASESOR: Ing. César A. Corrales Riveros

Lima, septiembre del 2013

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea reducir el consumo de zinc aplicando como herramienta de mejora la metodología Lean Six Sigma. Se desarrollan las fases de definición, medición, análisis y mejora, utilizando herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma.

En la fase de definición se identifica el problema principal del área de galvanizado mediante una matriz de enfrentamiento que considera una serie de factores para cada uno de los problemas encontrados, dando como principal problema el alto consumo de zinc. Además, se elabora el Project Charter, la voz del cliente, los diagramas de proceso y el cronograma de trabajo.

En la fase medición se describe la situación actual del proceso a través del mapa de flujo de valor, se identifican las variables de entrada-salida de cada uno de los procesos del área de galvanizado para seleccionar las variables críticas del proceso que influyen en el problema principal y se evalúa el costo de la no calidad. Se emplea la prueba R&R, gráficos de control y el análisis de la capacidad del proceso para obtener la situación actual del proceso en estudio.

La fase analizar se divide en dos grupos: análisis del proceso y análisis de datos. En el primer grupo se identifican los desperdicios en base al mapa de flujo de valor y las oportunidades de mejora a través del uso de las herramientas de lean manufacturing, donde se hace un planteamiento de la situación actual. En el segundo grupo se efectúa el análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables correspondientes a este grupo, donde se obtienen que la longitud de inmersión en la tina de zinc (m) y la velocidad de recogido (m/min) son variables causa raíz que influyen en el problema principal.

La fase mejorar es la última que se desarrolla y se divide en dos grupos: mejoras utilizando herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma. En el primer grupo se desarrolla el planteamiento de la mejora propuesta por cada herramienta analizada en la fase anterior y su beneficio. En el segundo grupo se desarrolla el diseño de experimentos para las dos variables que influyen en el problema principal, analizadas en la fase anterior. De esta manera se obtienen los valores de las variables que optimizan el valor de la capa de zinc a 274.7 g/m².

Finalmente la evaluación económica nos ofrece los beneficios económicos alcanzados luego de ejecutarse la fase de mejora.

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial
ALUMNO : **LEANDRO BARAHONA CASTILLO**
JESSICA NAVARRO INFANTE
CÓDIGO : 20062316.5.12
20067097.9.12
PROPUESTO POR : Ing. César A. Corrales Riveros
ASESOR : Ing. César A. Corrales Riveros
TEMA : MEJORA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN UNA
EMPRESA MANUFACTURERA DE ALAMBRES DE ACERO
APLICANDO LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA
Nº TEMA :
FECHA : San Miguel, 16 de abril del 2012

JUSTIFICACIÓN:

En la actualidad, la producción mundial de acero crudo, según World Steel Association, ha crecido a una tasa promedio de 5.6% por año desde el 2000, a pesar de la crisis financiera internacional en el 2008-2009. En el año 2011, la producción mundial de acero crudo fue de 1490 millones de toneladas métricas, es decir un incremento del 75% respecto del año 2000.

Por otro lado, la producción de acero crudo en la región de Sudamérica durante el año 2011, representó el 3.2% de la producción mundial con 48.3 millones de toneladas métricas, siendo Brasil el mayor productor de la región con 35.1 millones de toneladas métricas.

Además, la producción de acero crudo en el Perú durante el año 2011 fue de 925 mil toneladas métricas, representando el 6to lugar de la región como productor por debajo de Argentina (5 655), Venezuela (3 070), Chile (1 620) y Colombia (1290).

Por otra parte, el sector manufactura en el Perú creció 5.56% durante el año 2011, también la actividad fabril no primaria creció un 4.41% en el cual la producción de bienes intermedios creció un 5.56%. La rama de otros productos elaborados de metal como alambres diversos, planchas, bobinas de acero inoxidable, entre otros presentó un incremento del 14.84% en el 2011 respecto el 2010, según el INEI-Ministerio de la Producción.

De esta manera, las empresas dedicadas a la fabricación de productos de hierro y acero, requieren mejorar sus procesos para ser competitivos y brindar productos y servicios de calidad. El ajuste estratégico de las empresas entre la eficiencia y la capacidad de respuesta va a determinar la competitividad de la empresa para mejorar el nivel de servicio al cliente.

El proceso de fabricación de alambre galvanizado en caliente se inicia en la recepción del alambre trefilado hasta su recubrimiento con zinc de acuerdo a las especificaciones del cliente. Sin embargo, la variabilidad de la capa de recubrimiento en el alambre genera insatisfacciones de los clientes (alambres galvanizados con defectos y fuera de especificación) y mayores costos de producción (mayor consumo de zinc y desperdicios).

Por lo expuesto, se plantea la propuesta de mejora al proceso de Galvanizado de una Empresa Manufacturera de Alambres de Acero aplicando la Metodología Lean Six Sigma.

OBJETIVO GENERAL:

Reducir el alto consumo de zinc y disminuir las devoluciones de productos fuera de especificación y con defectos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- ✓ Identificar la voz del cliente.
- ✓ Definir el proceso y sus requerimientos.
- ✓ Evaluar el desempeño actual del proceso.
- ✓ Analizar las variables de entrada y salida del proceso.
- ✓ Plantear acciones de mejora.
- ✓ Evaluar el impacto económico y financiero.

PUNTOS A TRATAR:

a. Marco teórico.

En este punto se desarrollarán los conceptos teóricos relacionados a las herramientas de mejora de procesos correspondientes al Lean Manufacturing y Six Sigma, las cuales serán de utilidad para el análisis y la propuesta de mejora.

b. Descripción y definición del proyecto

En este punto se describe a la empresa, el aspecto organizacional y operacional, los procesos productivos así como los principales productos que elabora, la maquinaria, equipos y los agentes externos que intervienen en el negocio.

c. Diagnóstico del proceso

En este punto se cuantificará el costo de la no calidad, se identificarán las variables más relevantes y se analizará la relación entre los resultados del proceso y dichas variables.

d. Análisis y propuesta de mejora

En este punto se desarrollarán las herramientas de mejora de procesos, incluyendo las de Lean Manufacturing, así como la metodología DMAIC que permitan solucionar los problemas de mayor impacto.

e. Evaluación económica y financiera

En este punto se evalúa el impacto económico para la organización estimado antes y después de ejecutada las mejoras.

f. Conclusiones y recomendaciones



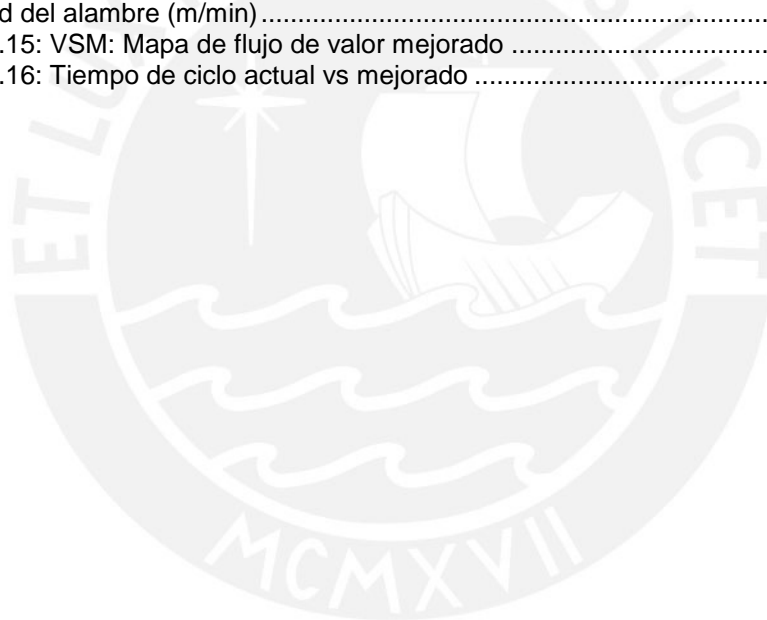
ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Definición de proceso	3
1.2 Clases de procesos	3
1.2.1. Según el tipo de flujo del producto	3
1.2.2. Según el tipo de servicio al cliente	4
1.3 Mejora de procesos	4
1.4 Mejora de procesos y calidad	5
1.5 Herramientas para la mejora de procesos	6
1.6 Sistema Lean	17
1.7 Six Sigma	20
1.8 El enfoque Lean Six Sigma y la metodología DMAIC	25
2. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN	26
2.1 La empresa	26
2.2 Sector y actividad económica	26
2.3 Perfil organizacional	26
2.4 Organización	27
2.5 Entidades participantes en el modelo del negocio	28
2.6 Instalación y medios operativos	29
2.7 El Producto	30
2.8 El Proceso Productivo	31
2.9 El control de Calidad	34
3. DESARROLLO DE LA FASE DEFINIR	36
3.1 Descripción e identificación del problema	36
3.2 El cuadro del Proyecto	39
3.3 Matriz QFD (<i>Quality Function Deployment</i>)	39
3.4 Los diagramas de proceso	40
3.5 Programa de trabajo	43
4. DESARROLLO DE LA FASE MEDIR	44
4.1 Mapa detallado del proceso (VSM)	44
4.2 Lista de X's y Y's	45
4.3 Costos de la calidad	47
4.4 Análisis del sistema de medición	48
4.5 Validación del sistema de medición	49
4.6 Capacidad y desempeño del proceso	51
5. DESARROLLO DE LA FASE ANALIZAR	53
5.1. Análisis del proceso	53
5.2 Análisis de datos	60
6. DESARROLLO DE LA FASE MEJORA	83
6.1 Mejoras utilizando herramientas de Lean Manufacturing	83
6.2 Mejoras utilizando herramientas de Six Sigma	93
6.3 Mejoras aplicando Lean Manufacturing y Six Sigma	98
7. EVALUACIÓN ECONÓMICA	100
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
8.1 Conclusiones	103
8.2 Recomendaciones	104
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	106

ÍNDICE DE FIGURAS

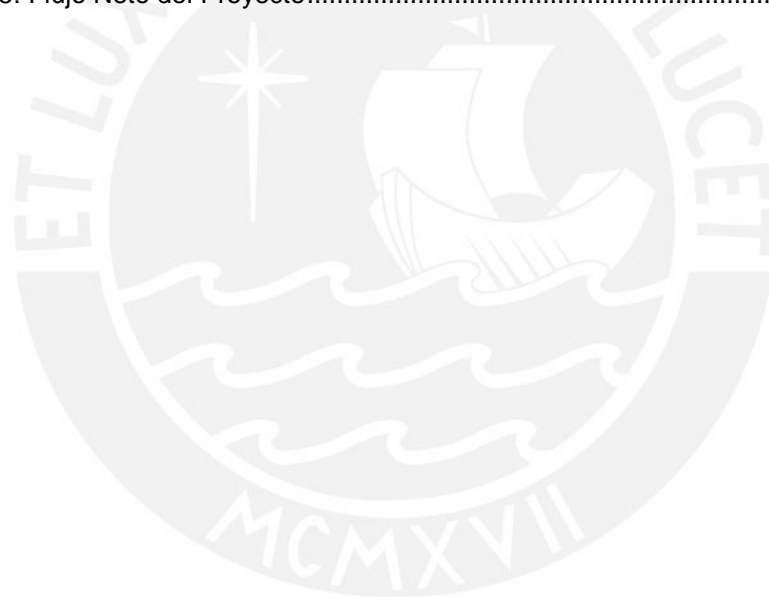
Figura 1.1 Ciclo PDCA	6
Figura 1.2 Árbol CPC	7
Figura 1.3 Causas comunes y especiales de variación de un proceso.....	8
Figura 1.4 SIPOC Process Diagram for Purshasing a Home	9
Figura 1.5 Tipos de relación.....	10
Figura 1.6 Tipos de relación.....	11
Figura 1.7 Diagrama de comportamiento (Tendencia)	12
Figura 1.8 Mapa de flujo de valor	14
Figura 1.9 La sombrilla de Kaizen	19
Figura 1.10 Límites de aleatoriedad causados por la desviación estándar.....	21
Figura 1.11 Iceberg de los costos de la mala calidad.....	23
Figura 1.12 Función de pérdida de Taguchi	24
Figura 2.1 Organigrama de la empresa	28
Figura 2.2 Diagrama de proceso de la empresa.....	31
Figura 2.3 Diagrama del Proceso de Galvanizado	32
Figura 2.4 Diagrama de Análisis del Proceso de Control de calidad del alambre galvanizado	35
Figura 3.1. Matriz QFD (Quality Function Deployment).....	40
Figura 3.2: Mapa de Proceso Nivel 1	41
Figura 3.3: Mapa de Proceso Nivel 2.....	41
Figura 3.4: Mapa de Proceso Nivel 3.....	42
Figura 3.5: SIPOC del Proceso de Galvanizado	42
Figura 3.6: Programa del Proyecto Lean Six Sigma.....	43
Figura 4.1: VSM: Mapa de flujo de valor actual	44
Figura 4.2: Diagrama de Pareto de las variables de entrada KPIV	46
Figura 4.3: Costos de la calidad	47
Figura 4.4: Gráfica R&R del sistema de medición (ANOVA)	50
Figura 4.5: Resultados de la prueba R&R para el sistema de medición	51
Figura 4.6: Resumen del estudio R&R del sistema de medición.....	51
Figura 4.7: Gráfica de control de la masa de zinc en el alambre	52
Figura 4.8: Análisis de la capacidad del proceso usando Minitab 16	52
Figura 5.1: Sobreproducción en la línea de galvanizado.....	53
Figura 5.2: Inventario en proceso	54
Figura 5.3: Imagen del proceso de recubrimiento en la tina de zinc	55
Figura 5.4: Rollos en mal estado	55
Figura 5.5: Estante actual portaboquilla	56
Figura 5.6: Imagen del equipo DDK.....	58
Figura 5.7: Seguimiento de la posición de la hebra en la boquilla en un rango de una hora.....	59
Figura 5.8: Rodillos tensionadores para disminuir la vibración del alambre	60
Figura 5.9: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la longitud de inmersión	61
Figura 5.10: Resumen para longitud de inmersión 2.4 m y 3.3 m	62
Figura 5.11: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m ²) y la longitud de inmersión (m)	62
Figura 5.12: Gráfica de residuos para la capa (g/m ²) y la longitud de inmersión (m).....	64
Figura 5.13: Gráfica de intervalos para la capa (g/m ²) vs la longitud de inmersión (m)	64
Figura 5.14: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la temperatura del zinc.....	65
Figura 5.15: Resumen para la temperatura en la tina de zinc.....	66
Figura 5.16: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m ²) y la temperatura de la tina zinc (m).....	67
Figura 5.17: Gráfica de residuos para la capa (g/m ²) y temperatura de la tina zinc (°C)	68
Figura 5.18: Gráfica de intervalos para la capa (g/m ²) vs la temperatura de la tina zinc (°C).....	69
Figura 5.19: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la concentración del flux.....	69
Figura 5.20: Resumen para la concentración del flux (°Brix)	70
Figura 5.21: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m ²) y concentración del flux (°Brix)	71
Figura 5.22: Gráfica de residuos para la capa (g/m ²) y concentración del flux (°Brix)	72
Figura 5.23: Gráfica de intervalos para la capa (g/m ²) vs concentración del flux (°Brix).....	73
Figura 5.24: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la temperatura del flux.....	73
Figura 5.25: Resumen para la temperatura del flux (°C)	75
Figura 5.26: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m ²) y temperatura del flux (°C)	75
Figura 5.27: Gráfica de residuos para la capa (g/m ²) y la temperatura del flux (°C)	76
Figura 5.28: Gráfica de intervalos para la capa (g/m ²) vs la temperatura del flux (°C)	77

Figura 5.29: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la velocidad del alambre (m/min) .	77
Figura 5.30: Resumen para la velocidad del alambre (m/min)	79
Figura 5.31: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m ²) y la velocidad del alambre (m/min)	80
Figura 5.32: Gráfica de residuos para la capa (g/m ²) y la velocidad del alambre (m/min)	81
Figura 5.33: Gráfica de intervalos para la capa (g/m ²) vs la velocidad del alambre (m/min)	82
Figura 6.1: Organigrama del equipo 5S	83
Figura 6.2: Formato de tarjetas rojas para la clasificación de maquinarias y equipos.	84
Figura 6.3: Distribución según colores para almacenamiento de boquillas en los estantes cercanos a la tina de zinc	85
Figura 6.4: Placa de identificación de la boquilla	86
Figura 6.5: Órdenes de trabajo a emplear para las actividades realizadas por el área de mantenimiento	88
Figura 6.6: Mesa de mantenimiento de boquillas	89
Figura 6.7: Herramienta para retirar boquillas	89
Figura 6.8: Formato para el control semanal de las boquillas	90
Figura 6.9: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados Término vs Efecto estandarizado	94
Figura 6.10: Diagrama de interpretación para la capa entre la velocidad del alambre (m/min) y la longitud de inmersión (m).....	95
Figura 6.11: Gráfica de residuos para la capa (g/m ²) y factores A y B	96
Figura 6.12: Gráfica del contorno de capa vs longitud de inmersión y velocidad del alambre	96
Figura 6.13: Gráfica cubos (media de los datos) para la capa	97
Figura 6.14: Gráfica de optimización de la capa con 2 factores: la longitud de inmersión (m) y la velocidad del alambre (m/min).....	97
Figura 6.15: VSM: Mapa de flujo de valor mejorado	98
Figura 6.16: Tiempo de ciclo actual vs mejorado	99



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Matriz de enfrentamiento de los principales problemas encontrados	38
Tabla 3.2: Escala de criterios.....	38
Tabla 3.3: El cuadro del Proyecto (Project Charter).....	39
Tabla 4.1: Escala de puntuación del nivel de impacto.....	45
Tabla 4.2: Lista de colaboradores para la matriz de priorización	45
Tabla 4.3: Matriz de priorización	46
Tabla 4.4: Variables de entrada críticas que influyen en la capa de zinc.....	47
Tabla 4.5: Costos de la no Calidad	48
Tabla 4.6: Tabla de datos tomados en los tres turnos de trabajo.....	49
Tabla 4.7: Resultados de la prueba de medición para la prueba R&R	50
Tabla 5.1. Resumen de causa raíces	82
Tabla 6.1. Cantidad de boquillas a almacenar.....	85
Tabla 6.2. Grupos de equipos según necesidad de servicio	92
Tabla 6.3: Diseño factorial de la longitud de inmersión (m).....	94
Tabla 6.4: Resumen de las mejoras Lean Manufacturing y Six Sigma	98
Tabla 6.5: Recursos requeridos para la implementación de las mejoras	99
Tabla 7.1: Producción Mensual de alambre galvanizado	100
Tabla 7.2: Mejoras propuestas utilizando Lean Six Sigma.....	100
Tabla 7.3: Ahorro del consumo de zinc (\$) esperado	101
Tabla 7.4: Inversión para el proyecto Lean Six Sigma	102
Tabla 7.5: Flujo Neto del Proyecto.....	102



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cuadro de conversión. Nivel en sigma a partir de los DPMO	1
Anexo 2: Técnicas utilizadas en la metodología DMAIC según el enfoque Lean Six Sigma.....	2
Anexo 3: Cuadro maquinarias, materias primas e insumos.....	3
Anexo 4: Principales productos de la empresa.....	6
Anexo 5: Mapa de flujo de valor actual de la empresa.....	7
Anexo 6: Gráfico de las entradas y salidas en los diferentes procesos del área de Galvanizado	8
Anexo 7: Lista de chequeo para la implementación de la limpieza en la línea de galvanizado	9
Anexo 8 : Cronograma de implementación para las 5 S	10
Anexo 9 : Lista de chequeo de las actividades de limpieza y lubricación para el mantenimiento autónomo	11
Anexo 10 : Ficha de información de maquinaria	12
Anexo 11 : Ficha de historial de fallas	13
Anexo 12 : Ficha de control de paradas	14
Anexo 13 : Ficha de chequeo para inspección del grupo 2 y 3.....	15
Anexo 14 : Ficha de chequeo para inspección del grupo 4 y 5	16
Anexo 15 : Ficha de control de órdenes de trabajo	17
Anexo 16 : Ficha de reposición de materiales	18
Anexo 17 : Ficha de reporte mensual	19
Anexo 18 : Programa de rutinas del mantenimiento preventivo	20



INTRODUCCIÓN

La presente investigación se efectúa en la línea de galvanizado de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de alambres de acero en la ciudad de Lima.

El motivo de la investigación es disminuir la variabilidad en la capa de recubrimiento del alambre galvanizado, reducir el consumo de zinc y eliminar los desperdicios y defectos, los cuales se reflejan en las insatisfacciones del cliente y los sobrecostos de producción. Actualmente, las empresas buscan la satisfacción total de sus clientes cumpliendo sus requisitos de calidad y tiempos de respuesta. Para esto, es necesaria en primera instancia la eliminación de actividades que no agreguen valor y reducir la variabilidad del proceso para eliminar los defectos.

El presente trabajo de investigación contiene 9 capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el primer capítulo se presenta el marco conceptual donde se desarrolla los diferentes conceptos teóricos referentes a temas de calidad, mejora de procesos, la metodología *Lean Six Sigma* y sus herramientas estadísticas.

En el segundo capítulo se presenta una breve descripción de la empresa, el sector al cual pertenece, los recursos que utiliza, el producto y el proceso productivo.

En el tercer capítulo se desarrolla la fase de definición, donde se describe e identifica el problema principal mediante una matriz de priorización de los problemas encontrados. Además, se identifican los requerimientos del cliente (CTQ 'S) y se elabora un cuadro de proyecto (*Project Charter*).

En el cuarto capítulo se desarrolla la fase de medición, donde se elabora un mapa detallado del proceso actual (VSM), se determina el proceso a mejorar, se identifican las variables a medir y los costos de la no calidad, se realiza un estudio Gage R&R de las variables del proceso, se calcula la capacidad y el desempeño del proceso (nivel 6σ del proceso).

En el quinto capítulo se desarrolla la fase de análisis, donde se analizan las causas raíces (KVIP'S) del problema que inciden significativamente en la satisfacción del

cliente mediante una análisis del proceso (*lean manufacturing*) y un análisis de datos (*six sigma*).

En el sexto capítulo se desarrolla la fase de mejora, donde se plantean las propuestas de mejoras determinadas en la fase de análisis mediante el desarrollo de las herramientas *Lean Six Sigma* optimizando los valores de las variables de proceso y estableciendo planes de acción para la mejora.

En el séptimo capítulo se desarrolla la Evaluación Económica, donde se determina el impacto financiero que representa la mejora para el cliente y la organización.

Finalmente, en el octavo capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llega de acuerdo a la investigación realizada.



1. MARCO TEÓRICO

1.1 Definición de proceso

Eckes (2004), define proceso como una secuencia de actividades coordinadas que se realizan bajo ciertas circunstancias con un fin determinado: generar productos o servicios.

Dos características esenciales de todo proceso son:

- Variabilidad del proceso. Al repetir un proceso se producen ligeras variaciones en la secuencia de actividades realizadas, que a su vez, generan variabilidad en los resultados del mismo. Ejemplo: cada vez que se estampa un tornillo la característica longitud varía ligeramente.
- Repetitividad del proceso. Los procesos se crean para producir un resultado. Esta característica de repetitividad permite trabajar sobre el proceso y mejorarlo.

1.2 Clases de procesos

Según Krajewski (2008), los procesos se pueden clasificar de la siguiente manera:

1.2.1. Según el tipo de flujo del producto

a. En línea.

Se caracteriza por su diseño orientado a producir un bien o servicio. Posee altos niveles de eficiencia; sin embargo, tiene poca adaptación para fabricar otros productos y exige bastante cuidado para mantener balanceada la línea de producción, pues el paro de una máquina ocasiona un cuello de botella que afecta a las operaciones posteriores.

b. Intermitente.

Se organizan en centros de trabajo, donde se agrupan las máquinas similares. Su producción es por lotes a intervalos intermitentes, donde el producto solo pasa por el centro de trabajo que requiere. De esta manera, se pueden producir gran variedad de productos.

c. Por proyecto.

Su producción es única, lo que conlleva diseñar un proceso único para cada proyecto.

1.2.2. Según el tipo de servicio al cliente

- a. Producción para inventarios
- b. Producción para surtir pedidos

1.3 Mejora de procesos

La mejora de procesos es el conjunto de actividades que, dentro de una organización, pretenden conseguir que las secuencias de actividades cumplan lo que esperan los destinatarios de las mismas, según Lefcovich (2009). La mejora de procesos comprende los siguientes pasos:

1.3.1. Hacerlo ocurrir tal y como queremos que ocurra

Se empieza por definir la forma de ejecutar el proceso, las instrucciones para ejecutar las actividades del proceso, comprobar que el proceso siga dichas instrucciones y garantizar que la próxima repetición se va desarrollar de acuerdo a ellas.

1.3.2. Mejorarlos una vez que lo hemos hecho ocurrir

Cuando el proceso no se adapta a las necesidades del cliente, es necesario aplicar el ciclo de mejora. Estas mejoras se deben reflejar en una mejora de los indicadores del proceso. Existe un sinnúmero de herramientas que se explicarán más adelante.

1.3.3. Tipos de mejoras del proceso

- a. Mejoras estructurales.

Las herramientas o técnicas que se emplean son de tipo conceptual como las encuestas a clientes, la reingeniería, el análisis de valor, el QFD (Despliegue de función calidad) y otras. Dentro de esta categoría se encuentran: la redefinición de destinatarios, de expectativas, de intervinientes, de secuencia de actividades y de los resultados generados por el proceso.

- b. Mejoras en el funcionamiento.

Las herramientas o técnicas que se emplean son el diseño de experimentos y otras basadas en datos, así como la eliminación de desperdicios (5 S's y demás). Ejemplo: Mejorar el porcentaje de tornillos que están fuera de tolerancia.

1.4 Mejora de procesos y calidad

1.4.1. Calidad

Para concretar ideas, Gómez (2003) describe cuatro definiciones distintas de la palabra calidad.

a. Definición de calidad según Joseph J. Juran

Juran define calidad como “la aptitud para el uso” basándose en que la calidad no sucede por accidente. Es decir, considera la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad del producto, así como el grado en que éste satisface las especificaciones dadas por el cliente. Por lo tanto, la filosofía sostiene que la mayoría de los problemas de calidad se deben más a una mala dirección que a los trabajadores.

b. Definición de calidad según la serie de normas ISO 9000

La definición de calidad es “el conjunto de características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas y las implícitas”. Además la norma ISO 9000 nos indica, que debemos revisar de manera periódica los requerimientos de calidad, ya que las necesidades del cliente varían a lo largo del tiempo.

c. Definición de calidad según Armand V. Feigenbaum

Según Armand V. Feigenbaum, la calidad es “el conjunto completo de las características de marketing, ingeniería, fabricación y mantenimiento de un producto o servicio, a través del cual el producto o servicio cumplirá las expectativas del cliente”.

d. Definición de calidad según Dr. Genichi Taguchi

La calidad es “la pérdida que produce un producto o servicio para la sociedad”.

1.4.2. Necesidad de la mejora de la calidad

Mayor calidad significa hacer bien las cosas a la primera y al mismo tiempo buscar mejoras en la forma de hacer las cosas. En ocasiones puede significar invertir más dinero y tiempo en las fases iniciales de un proyecto para asegurar que se hace lo correcto. A menores problemas a corregir, menor será el tiempo invertido en su corrección y menor será la cantidad de materiales y tiempo procesado despilfarrado.

1.4.3. La estrategia de la mejora de la calidad

Gómez (2003) menciona que la calidad es el resultado de esfuerzos inteligentes basados en la experiencia, y ésta no puede delegarse. La transición hacia la cultura de la mejora continua de la calidad requiere el liderazgo activo de todos y cada uno de los miembros de la organización. La implantación de la mejora continua comienza cuando la dirección se compromete con la mejora de la calidad de los productos y/o servicios.

1.5 Herramientas para la mejora de procesos

1.5.1. Ciclo PDCA

En la Figura 1.1, se muestra el ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act) o círculo de Deming. Según Gómez (1997), consiste de los siguientes pasos:

- Planificar** los objetivos de mejora y la manera en que se va alcanzar.
- Ejecutar** las actividades planificadas para la mejora del proceso.
- Comprobar** la efectividad de las actividades de mejora.
- Actualizar** la “nueva forma de hacer ocurrir el proceso” con las mejoras que hayan demostrado su efectividad.

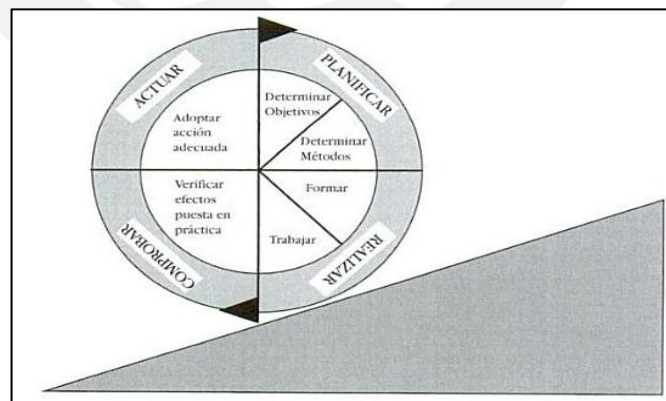


Figura 1.1 Ciclo PDCA

Fuente: Las siete nuevas herramientas para la mejora de la calidad. Gómez (1997).

1.5.2. El árbol crítico para la calidad

Se usa para producir una tormenta de ideas y validar las necesidades y requisitos del cliente del proceso a mejorar.

Eckes (2004) menciona los siguientes pasos para crear el árbol:

- Identificar al cliente del proceso que se va mejorar.
- Identificar la necesidad del cliente.
- Identificar el primer nivel de requisitos de dicha necesidad.
- Pasar a niveles más detallados si es necesario.

La Figura 1.2, es un ejemplo del árbol CPC para un hospital donde el paciente es el cliente del proceso de registro. Se puede ver, en los niveles, que hay requisitos que determinan si el cliente ha recibido un servicio satisfactorio.

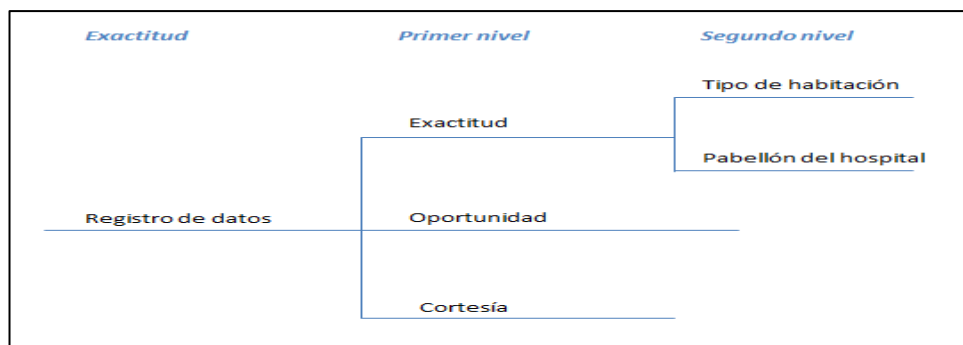


Figura 1.2 Árbol CPC
Fuente: El Six Sigma para todos. Eckes (2004)
Elaboración propia

1.5.3. Histograma

Según Escalante (2003), es un despliegue gráfico del número de veces que ocurre un hecho determinado en una serie de observaciones, en donde la tendencia más alta del gráfico indica la tendencia central de los datos. Es una herramienta útil cuando se trabaja con datos continuos.

Además se debe tener en cuenta las seis componentes, llamadas también las 5M's y la P, que influyen en la variación de estos gráficos: las máquinas, los métodos, los materiales, las mediciones, la madre naturaleza o el ambiente y el personal que está en el proceso.

La Figura 1.3 muestra una variación de causas comunes, lo cual significa que ninguno de los componentes de esa variación ejerce influencia indebida sobre el resultado.

Además, muestra una variación de causas especiales, donde la distribución no tiene forma de campana como en la figura anterior. Esto se debe a que alguna de las 5M's o la P han tenido influencia en el proceso. Asimismo se debe tener en cuenta que solo del 5 al 15% de las veces la variación de causa especial se debe al personal. En un ambiente manufacturero, la causa predominante de la variación son las máquinas; y en un ambiente de servicios, la causa predominante de la variación son los métodos.

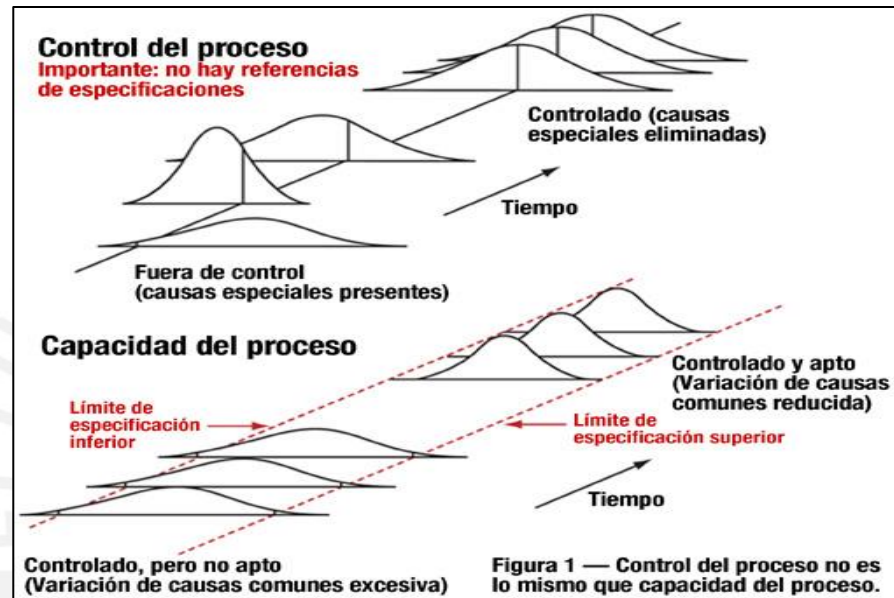


Figura 1.3 Causas comunes y especiales de variación de un proceso
Fuente: La diferencia entre capacidad y control. Neubauer, Dean V. (2011)

1.5.4. El diagrama de proceso o SIPOC

Eckes (2004) define “diagrama de proceso” ó “SIPOC” a una representación gráfica de los pasos actuales del proceso que se ha escogido para mejorar. Comprende cinco categorías principales:

- S: identifica a los proveedores del proceso
- I: identifica los insumos que recibe de los proveedores
- P: identifica el proceso a evaluar y las actividades que lo componen
- O: identifica el producto que sale de cada actividad
- C: identifica el cliente

En la Figura 1.4, se muestra el diagrama SIPOC para ver el diagrama de flujo de actividades y de información.

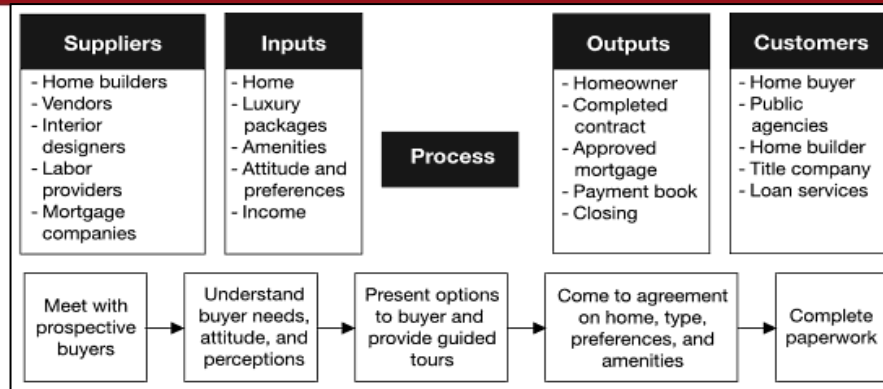


Figura 1.4 SIPOC Process Diagram for Purchasing a Home
Fuente: Lean Six Sigma Service Excellence. Taylor (2009)

1.5.5. El diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto se elabora con base en la frecuencia con que ocurre un hecho en cierto intervalo de tiempo. Sin embargo, también se puede elaborar con base en el impacto. Es una herramienta útil cuando se trabaja con datos discretos. (Gómez, 2003).

1.5.6. Hoja de resumen de análisis del proceso

La hoja de resumen de análisis del proceso es un diagrama en el cual se indica qué pasos agregan valor y cuáles no. Además estos últimos se clasifican según el tipo de actividad. (Eckes, 2004).

Se considera que un paso del subproceso agrega valor cuando:

- El cliente de ese paso lo considera importante
- Hay un cambio real en el producto o servicio
- Se hace correctamente desde la primera vez

Si alguno de los pasos no satisface los tres criterios mencionados, se deben clasificar en uno de los siguientes tipos de actividades:

- Falla interna
- Falla externa
- Demora
- Control y/o inspección
- Preparación
- Traslado
- Habilitación de valor

1.5.7. El diagrama de causa-efecto

El diagrama de causa efecto también llamado diagrama de Ishikawa es una herramienta utilizada para encontrar las posibles causas de un problema. Si el sistema es productivo, el diagrama puede estar relacionado con uno o más factores de las 5M's y la P.

Gómez (2003), refiere que se utiliza este diagrama para identificar características y parámetros clave, identificar las distintas causas que afectan a un problema y para lograr entender un problema por parte de un grupo.

1.5.8. El diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una gráfica simple entre dos variables cuyo objetivo es visualizar el tipo y grado de relación entre aquellas. Además, este diagrama permite validar las causas raíces identificadas en el diagrama de causa efecto.

“Hay tres métodos de validación que el equipo puede usar: una recolección de datos básicos, un experimento diseñado o un diagrama de dispersión.” El Six Sigma para todos. George Eckes (2004).

Cuando una variable crece o decrece modificando en la misma dirección a la otra variable, se produce una relación directa. En caso contrario, se produce una relación indirecta. Ver Figura 1.5.

Asimismo, un alineamiento de los puntos de manera clara y con una dirección bien definida significa que la relación es fuerte entre las dos variables. El grado de relación empieza a debilitarse a medida que dicha nube de puntos se hace más dispersa. Ver Figura 1.6.

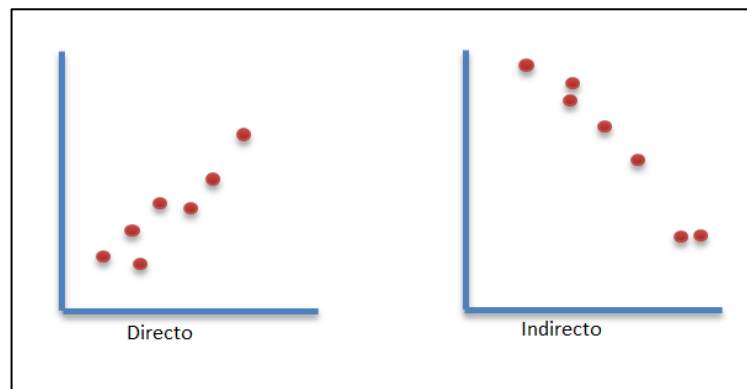


Figura 1.5 Tipos de relación
Fuente: Seis Sigma. Metodología y técnicas. Escalante (2003)
Elaboración propia

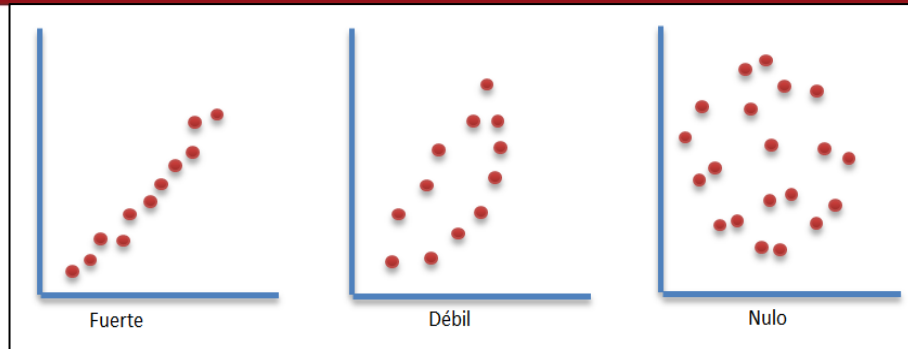


Figura 1.6 Tipos de relación
Fuente: Seis Sigma. Metodología y técnicas. Escalante (2003)
Elaboración propia

1.5.9. El diagrama de control

Según Walter Shewhart (1931), los diagramas de control son herramientas estadísticas que muestran el comportamiento de cierta característica de calidad de un proceso con respecto al tiempo. El objetivo de estos diagramas es evaluar, controlar y mejorar procesos. Asimismo permite identificar cambios a través del tiempo, ya que sirve para distinguir entre causas comunes y especiales de variación.

Según Escalante (2003), concretamente los gráficos de control se utilizan:

- Para evaluar el desempeño de un proceso por medio de estudios de capacidad.
- Para mejorar el desempeño de un proceso al dar indicaciones sobre las posibles causas de variación.
- Para mantener el desempeño de un proceso al indicar el tiempo de ajustes del mismo.

Existen dos tipos de gráficos de control:

- Gráfico de control para variables. Son utilizadas para controlar características de calidad medibles en una escala continua. Por ejemplo: altura, diámetros, longitudes. Un tipo de gráfica común es el de medias y desviación estándar.
- Gráfico de control para atributos. Son utilizadas para medir características discretas; es decir, medibles sobre una escala de valores puntuales. Por ejemplo: número de artículos defectuosos. Sus tipos son: grafica p, grafica np, grafica c, grafica u.

1.5.10. El diagrama de comportamiento

El diagrama de comportamiento registra algún elemento de un proceso que se desarrolla en el transcurso del tiempo.

El término tendencia se aplica a un proceso en el cual el diagrama muestra siete puntos consecutivos de ascenso o de descenso.

En la Figura 1.7, se observa una tendencia descendente del peso de un saco al pasar de las horas. Eckes (2004).

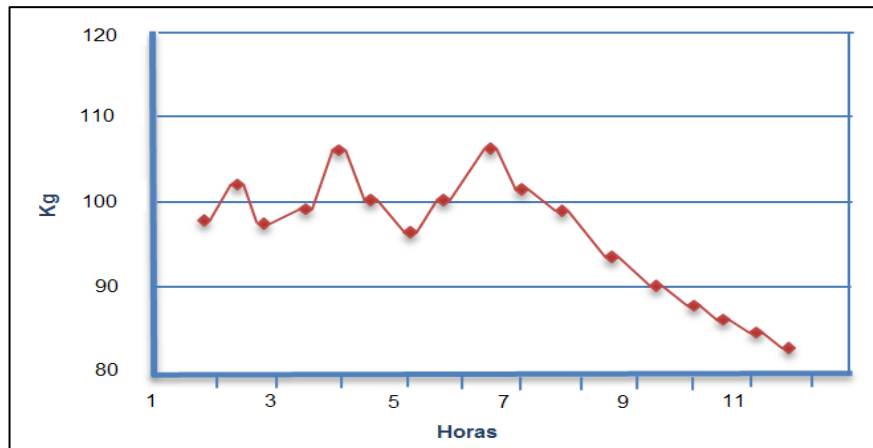


Figura 1.7 Diagrama de comportamiento (Tendencia)
Fuente: El Six Sigma para todos. Eckes (2004)
Elaboración propia

1.5.11. El diagrama de torta o circular

Se utiliza para representar datos cualitativos o cuantitativos discretos. Se usa frecuentemente para fines comparativos, ya que muestran la relación que hay entre cantidades al dividir la torta completa en trozos más pequeños. Moya (2007).

1.5.12. QFD (Quality Function Deployment)

Molteni (2008), define QFD como una técnica que utiliza la información de clientes obtenida de encuestas, focus group y otros. Provee una disciplina para asegurar que esos requerimientos estén presentes en el diseño y manufactura de un producto, y posteriormente, en el proceso mismo.

1.5.13. Pruebas de hipótesis

Se usan para comprobar afirmaciones sobre la forma de distribución de una población o sobre los valores de sus parámetros utilizando una muestra aleatoria escogida de esa población. Escalante (2003).

Los elementos de una prueba de hipótesis son:

- Hipótesis nula y alternativa. Se denomina hipótesis nula (H_0) a la aceptada provisionalmente como verdadera y cuya validez será sometida a comprobación experimental. Se denomina hipótesis alternativa (H_1) a la suposición contraria a la H_0 , y se acepta en el caso que esta última sea rechazada.
- La muestra. Información que se obtiene de la población.
- El estadístico de prueba (EP). Variable aleatoria que resume la información de la muestra.
- La región de rechazo. Es una parte de la distribución de referencia en la cual si el EP se encuentra ahí, se rechaza H_0 .
- El nivel de confianza de la prueba.

1.5.14. Value stream mapping

Permite sintetizar el proceso y sus principales indicadores para identificar desperdicios y oportunidades de mejora. También llamado “mapa de flujo de valor”, es un método que ayuda a visualizar los flujos del proceso identificando todo aquello que no añade valor. Molteni (2008).

Este método se basa en cuatro pasos:

- Elegir una familia de productos
- Dibujar su mapa de valor
- Dibujar el mapa de la situación futura
- Elaborar un plan de trabajo

El modelo a seguir es el mostrado en la figura 1.8, donde se tienen los procesos con sus respectivos cuadros de información (tiempo de ciclo, tiempo de setup, disponibilidad y número de operadores). Además se pueden visualizar los días de inventario y los tiempos totales de valor y no valor agregado.

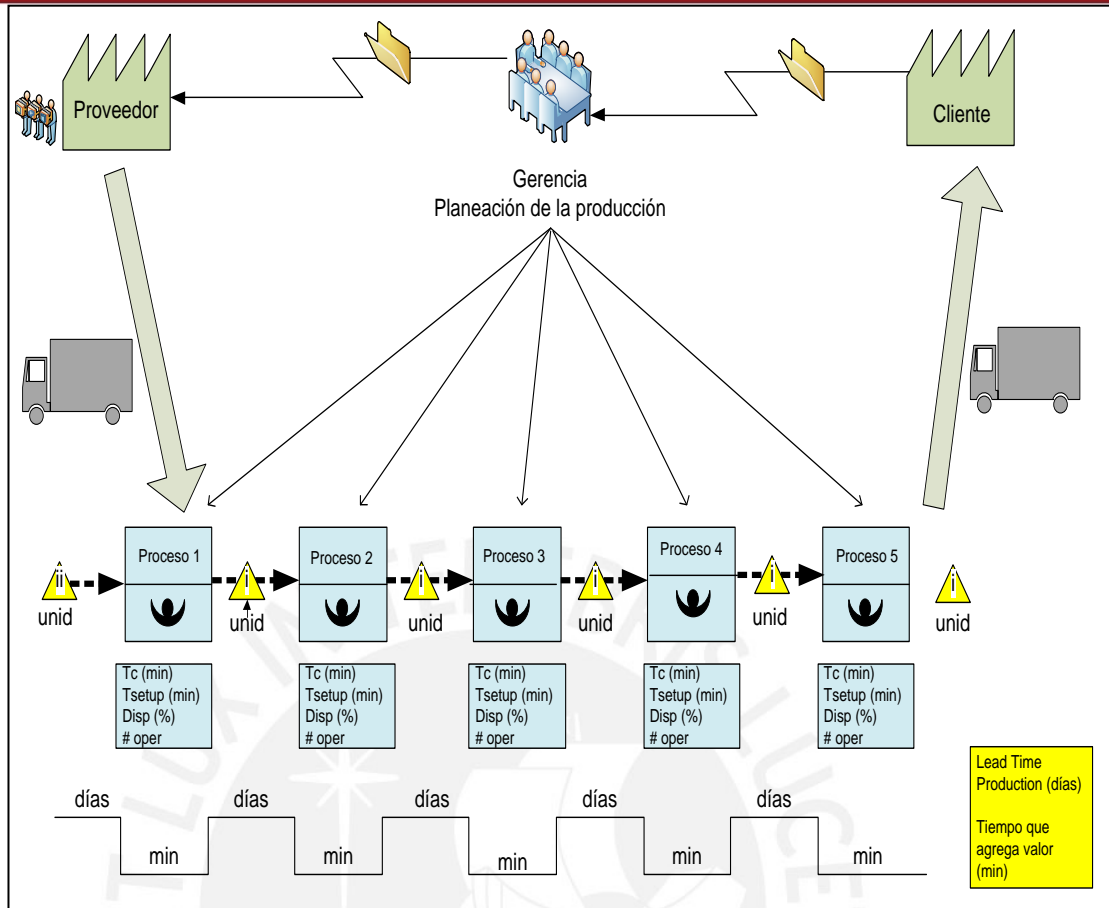


Figura 1.8 Mapa de flujo de valor
Fuente: Van. R. (2005). Mapping the Value Stream.
Elaboración propia.

El tiempo *Takt* es la cadencia a la cual el cliente exige que la empresa fabrique los productos. Está determinado por la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo takt} = \frac{\text{tiempo disponible}}{\text{demanda diaria}}$$

1.5.15. Estudio R&R

Escalante (2003) señala que el método de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) es la combinación de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad. Permite verificar hasta qué punto el sistema de medición está contribuyendo con una proporción significativa de la variación total detectada, y que por lo tanto no puede ser atribuida al proceso.

Repetibilidad es la variación en las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se define como la

variación alrededor de la media. Las causas posibles pueden ser: suciedad, fricción, desajuste, desgaste.

Reproducibilidad es la variación entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición.

Se concluye que:

- Si la repetibilidad es grande comparada con la reproducibilidad, las razones posibles son las siguientes: el calibrador necesita mantenimiento, el calibrador debería ser rediseñado, mejorar la sujeción o localización de la pieza, existe mucha variación entre las piezas.
- Si la reproducibilidad es grande comparada con la repetibilidad, las razones posibles son las siguientes: el operario necesita entrenamiento en el uso del calibrador, las calibraciones en la escala del instrumento no están claras, tal vez sea necesario usar algún dispositivo de fijación del calibrador para que el operario lo pueda usar con facilidad.

1.5.16. Análisis de varianza o ANOVA

Es un método alternativo al de R&R para comparar procesos o grupos utilizando la prueba F de Fisher, es decir, se comparan varianzas insesgadas de muestras pequeñas para comprobar si son iguales las medias de dos poblaciones independientes.

El método consiste en descomponer la variación total de los datos en:

- La variación interna o natural de los grupos
- La variación entre grupos de medias para decidir si existe diferencia o no entre ellas.

Cada método de análisis de varianza se representa mediante modelos, los cuales se clasifican según el número de factores o variables independientes.

Si el ANOVA es de un factor se denomina de clasificación simple, si es dos factores, se denomina de clasificación doble. Escalante (2003).

Las ventajas son:

- Las varianzas pueden ser estimadas con mayor exactitud.
- Se puede obtener mayor información como la interacción entre las piezas y los operarios.

1.5.17. Benchmarking

Metodología con la cual se analizan las prácticas, sistemas y resultados de empresas o áreas que se consideran exitosas en un determinado campo para aprender de ellas e introducir mejoras en procesos, productos y servicios. Molteni (2008).

1.5.18. Diseño y análisis de experimentos

El diseño y análisis de experimentos (DOE), según Escalante (2003), se puede definir como un conjunto de técnicas estadísticas usadas para planear experimentos y analizar sus resultados.

Cuenta con tres principios básicos a ser considerados:

- El orden de los experimentos debe ser aleatorio. Aleatoriedad en el orden de las pruebas neutraliza, fuentes de variación que puedan estar presentes durante el experimento. Dichas fuentes son desconocidas. Por ejemplo: cansancio del trabajador durante la realización de las pruebas.
- Es recomendable replicar cada experimento. El objetivo es obtener un estimado del error. Se define como réplica genuina la obtenida en una sola prueba o medición para cada combinación de los factores, y volver a repetir dichas condiciones para cada réplica adicional.
- Pueden existir variables presentes en un experimento, cuyo efecto no se desea probar y que incluso pueden afectar o encubrir la influencia de las variables con las que se desea experimentar. Por lo tanto, es necesario bloquear o neutralizar el efecto de tales variables.

1.5.19. AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas)

Según Rosales (2009), el AMEF es un grupo sistemático de actividades con el propósito de:

- Reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso, y los efectos de dichas fallas.
- Identificar acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales.
- Documentar todo el proceso.

1.6 Sistema Lean

1.6.1. El desperdicio

Según Womack y Jones (2005), desperdicio es todo aquello que no agrega valor y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar. El objetivo del sistema Lean es minimizar el desperdicio. *Toyota* ha identificado siete tipos:

- Sobreproducción
- Espera
- Transporte innecesario
- Sobre procesamiento o procesamiento incorrecto
- Inventarios
- Movimiento innecesario
- Productos defectuosos o re trabajos

1.6.2. Principios del pensamiento Lean

La manufactura esbelta tiene un proceso de 5 pasos o principios (Womack y Jones. 2005):

- Definir valor desde la perspectiva del cliente
- Definir y hacer el mapa de proceso
- Crear flujo continuo
- Jalar el trabajo, no empujarlo
- Esforzarse por la excelencia y buscar la perfección

1.6.3. Herramientas Lean

a. 5 S

Las 5 S son cinco palabras japonesas cuyos caracteres romanos empiezan con la letra S: seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke; que significan arreglo apropiado, orden, limpieza, normalización y disciplina respectivamente. Hirano define los siguientes hechos:

- Una fábrica limpia y aseada tiene una productividad más elevada.
- Una fábrica limpia y aseada fabrica menos productos defectuosos.
- Una fábrica limpia y aseada hace más entregas dentro de plazo.

b. TPM (*Total Productive Maintenance*)

Según Nakajima (1991), el TPM es un enfoque innovador que optimiza la efectividad del equipo y promueve el mantenimiento autónomo por los operarios. La meta dual del TPM es el cero averías y cero defectos. Al eliminar estas, las tasas de operación del equipo mejoran, los costos se reducen, el stock puede minimizarse y la eficiencia del personal aumenta.

c. Poka-Yoke

Kogyo (1991) define *poka-yoke* como una técnica para evitar los simples errores humanos en el trabajo. Shigeo shingo desarrolló la herramienta para alcanzar el cero defectos, liberando tiempo y mente de un trabajador para que se dedique a las actividades que agregan valor. Algunos mecanismos *poka-yoke* para detectar o evitar defectos causados por errores humanos son: detección errores y alarmas, conmutadores de limite, contadores y listas de chequeo.

d. SMED (*Single-Minute Exchange of Die*)

Shingo (1990), define SMED como una herramienta de reducción del tiempo de preparación de máquinas, cuyas operaciones de preparación son de dos tipos fundamentales:

- Preparación interna: como montar o desmontar matrices, que puede realizarse sólo cuando una máquina está parada.
- Preparación externa: son actividades que pueden realizarse cuando la máquina está en operación, como transportar las matrices viejas al almacén o llevar las nuevas hasta la máquina.

Las etapas se basan en: diferenciar las IED y OED, separación de las IED y OED, convertir la IED en OED y perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación.

e. Kaizen

Según Imai (1992), Kaizen significa mejoramiento progresivo que involucra a todos, incluyendo tanto a gerentes como a trabajadores. La esencia de las prácticas administrativas más “exclusivamente japonesas”, ya sean de mejoramiento de la productividad, actividades para el CTC (control de la calidad total) pueden reducirse a este concepto. En la Figura 1.9, se muestra la sombrilla Kaizen que cubre dichas prácticas.



Figura 1.9 La sombrilla de Kaizen
 Fuente: KAIZEN. La clave de la ventaja competitiva japonesa. Imai (1992).
 Elaboración propia.

f. JIT (*Just in Time*)

Hirano (1991) define el JIT, por sus siglas en inglés, como una metodología enfocada en fabricar y comprar “justo lo que se necesita, cuando se necesita, y en el momento que se precisa”. Además el concepto JIT no solo debe aplicarse a la fabricación, sino también a todos los demás aspectos del negocio, incluyendo subcontratación, distribución, otros. Resulta una herramienta muy efectiva para erradicar el despilfarro en manifestaciones tan comunes como el despilfarro de la sobreproducción, el despilfarro del tiempo vacío, el despilfarro del almacenaje, el despilfarro del transporte.

g. Pull System o Kanban

Krajewski (2008) refiere que la expresión Kanban significa “tarjeta” o “registro visible” y se utilizan para controlar el flujo de la producción en la fábrica. Kanban, según Hirano (1991), es uno de los instrumentos utilizados para mantener la producción JIT. Para que una fábrica tenga kanban debe tener inventario en proceso, y ese tipo de inventario es en sí una forma de despilfarro. Se tienen dos sistemas, el sistema de empuje trata de la información relacionada con la producción en general, y el sistema de arrastre, trata con información específica

de procesos y transporte de mercancías. Una de las ventajas de esta herramienta es que permite el control visual.

1.7 Six Sigma

El Six Sigma empezó en Motorola con Mikel Harry. Él y sus diversos colegas estudiaron las variaciones de los diversos procesos dentro de Motorola, concentrándose en aquellos que producían mayor variación. No sólo mejoraron la efectividad y la eficiencia sino que comprometieron al director ejecutivo Bob Galvin. Este transmitió su experiencia a Lawrence Bossidy, director de Allied Signal. Finalmente, Bossidy al centro de entrenamientos de ejecutivos de General Electric. Sin embargo, a pesar del éxito que tuvieron Motorola y Allied Signal en la implementación del Six Sigma, fue General Electric la que empleó este sistema de una manera más impresionante ya que en menos de dos años después de la aplicación inicial del Six Sigma, se habían obtenido ahorros en costos por 320 millones de dólares. Eckes (2004)

Como métrica, Six Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en base a su nivel de productos fuera de especificación. Como filosofía de trabajo, significa mejoramiento continuo de procesos y de productos apoyado en la metodología Six Sigma o DMAIC. Como meta, un proceso con nivel de calidad Six Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial de 3.4 DPMO. Escalante (2003)

Six sigma tiene dos dinamizadores. El primero es la reducción de los costes ocasionados por la deficiente calidad. El segundo es la ruptura de la complacencia, ya que Six sigma impulsa una sensación de necesidad de situarse en los niveles de estándar mundial con el propósito de aumentar la rentabilidad y la competitividad. Gómez (2003).

1.7.1. Las métricas del Six Sigma

a. Variación (σ):

La variación es un atributo de los procesos que representa el nivel de confiabilidad en sus resultados. La desviación estándar (σ) es una medición de la variación. Ver Figura 1.10.

Sigma (σ) es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio, de modo que cuanto menor sea sigma, menor sea el número de defectos. Lefcovich (2009).

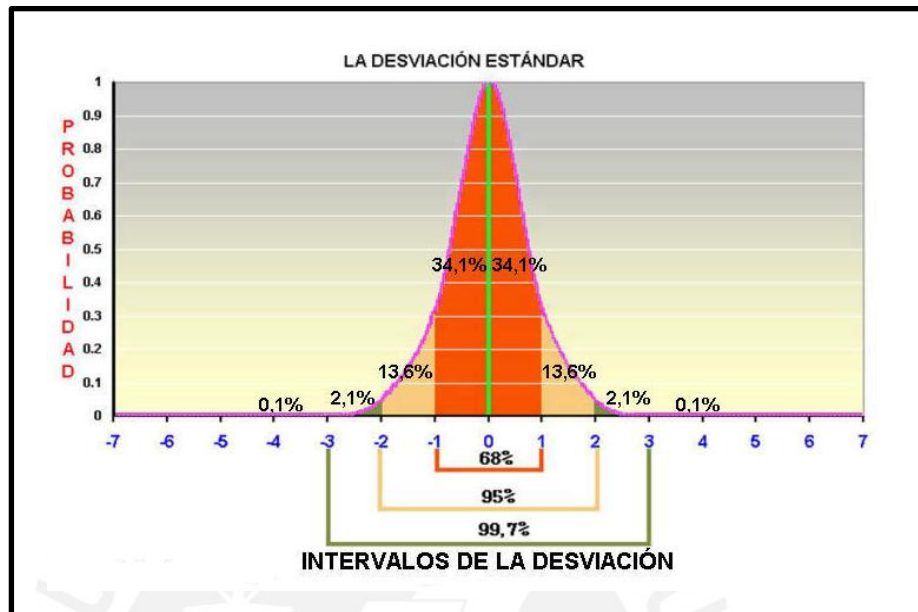


Figura 1.10 Límites de aleatoriedad causados por la desviación estándar
Fuente: Eye in the sky group. Nelson García L. (2005)

b. DPMO:

Sus siglas significan defectos por millón de oportunidades y se calcula dividiendo el número total de defectos encontrados entre el número total de oportunidades de defectos por un millón.

“Las compañías rupturistas se esfuerzan por obtener productos y servicios 100% libres de defectos” Larry Bossidy. CEO 1991-99 Allied Signal Inc.

$$DPMO = \frac{\text{Nº total de defectos encontrados}}{\text{Nº total de oportunidades de defectos}} \times 1000000$$

Para conocer a qué nivel de sigma equivale los DMPO, se utilizará la tabla de conversión presentada en el Anexo 1. Se observa que un nivel de 6 sigma sólo tiene 3.4 defectos por millón de oportunidades lo que equivale a un 99.9997 % de eficacia.

c. Rendimiento de primera vez

Se calcula de la siguiente manera:

$$YFT = [1 - dpmo/10^6]n$$

Donde n es el número de oportunidades de defectos por unidad.

d. Capacidad del proceso:

Escalante (2003) menciona que el índice de capacidad del proceso es una comparación entre la variabilidad natural y la variabilidad especificada. Para ello se define el índice de capacidad del proceso C_p , llamado también potencial del proceso.

$$C_p = \frac{\text{Variabilidad especificada}}{\text{Variabilidad natural}} = \frac{LTS - LTI}{6\sigma}$$

La definición de capacidad de un proceso puede expresarse como:

$$C_p \geq 1 \rightarrow \text{Proceso Capaz}$$

$$C_p < 1 \rightarrow \text{Proceso No Capaz}$$

Sin embargo, el índice C_p no es adecuado para aquellos casos en los que el proceso no este centrado en el nominal de la especificación. Para estos casos se utiliza el índice C_{pk} .

$$C_{pk} = \text{menor} \left[\frac{LTS - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LTI}{3\sigma} \right]$$

En estos casos, la definición de capacidad de un proceso puede expresarse como:

$$C_{pk} \geq 1 \rightarrow \text{Proceso Capaz}$$

$$C_{pk} < 1 \rightarrow \text{Proceso No Capaz}$$

En ambos casos, el proceso dará lugar a una característica capaz de satisfacer la especificación, encontrándose la mayor parte (más del 99.73%) del producto resultado del proceso dentro de tolerancia.

1.7.2. Six Sigma y los costos

Six sigma es una metodología que tiene como fin el mejorar la calidad, por lo tanto, reducir defectos. Mejorar la calidad no significa aumentar los costes en las empresas. Si bien la calidad cuesta dinero, la no calidad es más cara. Los costes de la no calidad suponen la diferencia entre lo que cuesta el producto o servicio y lo que costaría si el mismo producto se hiciera sin ningún defecto. Gómez (2003).

En la Figura 1.11, se puede ver aquellas actividades que resultan de hacer cosas para reparar otras que fueron mal hechas o que simplemente no agregan valor al producto o servicio desde la percepción del cliente. Esta imagen es llamada Iceberg de los costos de la no calidad, donde la parte visible es aquella que está registrada en las cuentas contables. Sin embargo, la parte sumergida muestra los costos ocultos que requieren un abordaje y eliminación de sus causas, lo cual es objetivo de los proyectos Six Sigma.

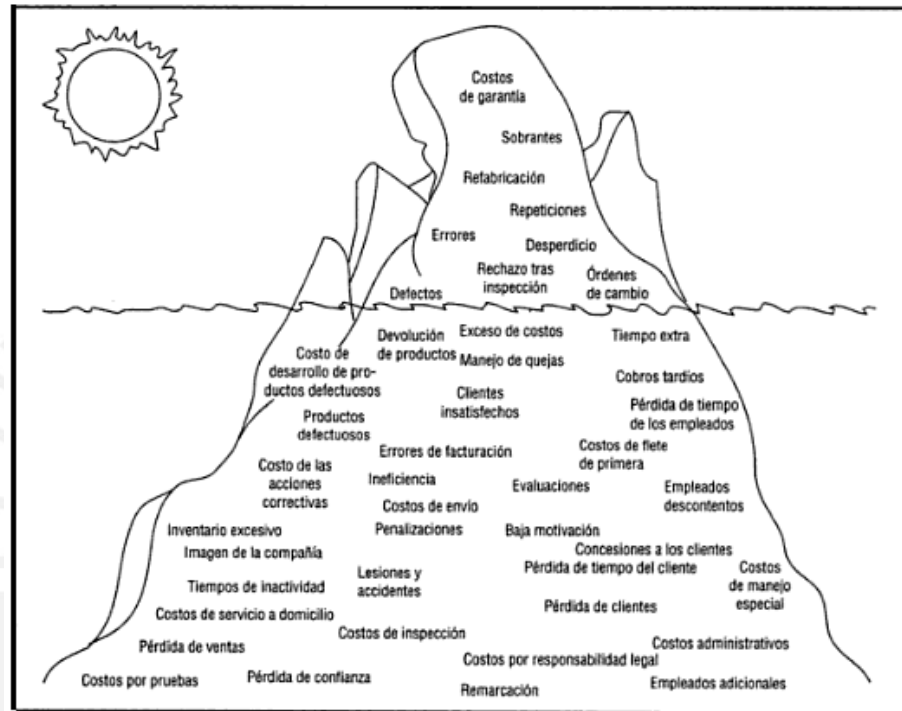


Figura 1.11 Iceberg de los costos de la mala calidad
Fuente: Administración de la calidad. Donna C.S. Summers (2006).

Los costos de la calidad son:

- **Costos de prevención.** Costos incurridos para evitar que se cometan defectos, es decir, productos fuera de especificación.
- **Costos de evaluación.** Son aquellos incurridos en detectar cuál de las unidades individuales de los productos no se apegan a las especificaciones.
- **Costos de fallas internas.** Corresponden a aquellos incurridos al detectarse un producto defectuoso antes de llegar al cliente.
- **Costos de fallas externas.** Corresponden a aquellos incurridos al detectarse un producto defectuoso después de enviarse al cliente.

Genichi Taguchi plantea el modelo de la función de la pérdida. Básicamente consiste en que al alejarse la media del proceso del objetivo, se produce un incremento de los costos. Ver Figura 1.12.

De esta manera los costos no deseados se relacionan con cualquier desviación del valor obtenido de una característica de la calidad.

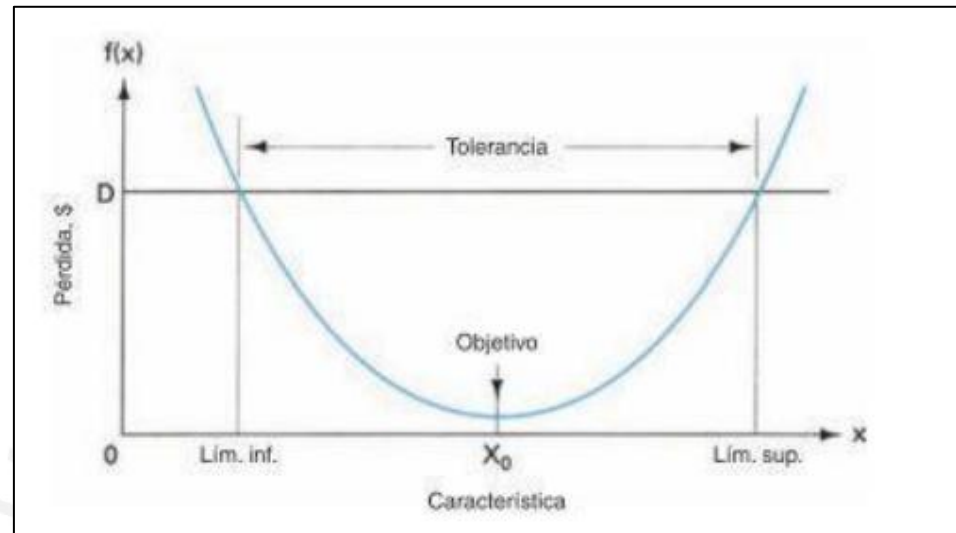


Figura 1.12 Función de pérdida de Taguchi
Fuente: Control de calidad. Besterfield, Dale (2009).

1.7.3. PROYECTO SIX SIGMA

Gómez (2003), indica que un programa Six sigma debe implicar a todas las personas de la organización en el que cada individuo tiene un papel importante en la búsqueda de la excelencia de la empresa.

- **Los campeones.** Normalmente son los líderes de las unidades de negocio. Los campeones son los responsables de escoger a las personas que difundirán los conocimientos Six Sigma por toda la empresa.
- **Los cinturones negros.** Cada uno puede completar entre 4 y 6 proyectos por año. Debido a que dedica el 100% de su tiempo al programa pueden elevar drásticamente el nivel sigma de una organización propiciando beneficios extraordinarios.
- **Los cinturones verdes.** Normalmente se involucran en proyectos directamente relacionados con su trabajo del día a día. Su dedicación es a tiempo parcial, por lo que tienen menos responsabilidad.

Las características de un buen proyecto son:

- Ligado a las prioridades del negocio.

- De gran importancia y entendible para la organización
- De alcance razonable
- Común a todos los miembros del equipo
- Tiene una métrica adecuada
- Cuenta con el apoyo y aprobación de la administración
- El impacto financiero debe ser validado por el área de finanzas.

1.8 El enfoque Lean Six Sigma y la metodología DMAIC

El enfoque *Lean Six Sigma*, según Molteni (2008), provee una metodología para abordar los procesos y eliminar lo que no agrega valor, eliminar la variación y centrar el proceso a las especificaciones del cliente.

La metodología *DMAIC* consiste en cinco pasos que son necesarios para definir y mejorar procesos. Para esto, también se utilizaran las herramientas y técnicas de *Lean Manufacturing* y *Six Sigma* para reducir desperdicios y defectos. Las herramientas usadas en cada paso del *DMAIC* se muestran en el Anexo 2.

Los pasos son:

- **Definir.** Consiste en la definición del problema o la selección del proyecto con la finalidad de entender la situación actual y definir objetivos. Además se selecciona el equipo.
- **Medir.** Consiste en la definición y descripción del proceso. Además se hace una evaluación de los sistemas de medición.
- **Analizar.** Consiste en la determinación de las variables significativas por medio de estudios como el diseño de experimentos. Además se hace una evaluación de la estabilidad y capacidad del proceso.
- **Mejorar.** Consiste en la optimización del proceso. Si el proceso no es capaz, se deberá optimizar para reducir su variación. Además se debe realizar la validación de la mejora a través de una medición actual de la capacidad.
- **Controlar.** Consiste en controlar y dar seguimiento al proceso. Una vez que el proceso es capaz, se deberán buscar mejores condiciones de operación, materiales, procedimientos, etc., que conduzcan a un mejor desempeño del proceso.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

En este capítulo se realizará una descripción de la empresa, sus principales productos, clientes, operaciones industriales y procesos de producción.

2.1 La empresa

Actualmente, Productos de Alambres es la empresa líder a nivel nacional en la fabricación y comercialización de alambres, derivados y afines. La empresa cuenta con 18 años de experiencia en la industria del acero, permitiendo que sus productos lleguen al mercado internacional como Sudamérica, Centro América y el Caribe, América del Norte, Europa y Oceanía.

Los productos son fabricados de acuerdo a normas nacionales e internaciones de calidad como SAE, ITINTEC, ASTM, EURONORM, BRITISH STANDARD, AFNOR, entre otras. Además, la Empresa está certificada en Calidad (ISO 9001:2008), Medio Ambiente (ISO 14001:2004) y en Seguridad y Salud Ocupacional (OHSAS 18001:2007). Su compromiso por la calidad total en todos sus productos y servicios, permiten brindar un producto de calidad, diseñados y producidos con equipos de última generación.

La concepción de cliente para la empresa es muy importante dado que ofrece un servicio integral al cliente que inicia desde el momento en que se evalúa el proyecto hasta la post-venta. Sus clientes son nacionales como internacionales. Además, la empresa cuenta con diversas unidades de negocio dándole un mejor soporte y atención personalizada al cliente.

2.2 Sector y actividad económica

Según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), el sector y la actividad a la que pertenece la industria manufacturera le correspondería la codificación del tipo 27102, que hace referencia a las actividades de Fabricación de Hierro y Acero.

2.3 Perfil organizacional

Visión: Ser reconocida como un proveedor de productos y servicios de clase mundial en el sector de alambres, derivados y afines.

Misión: Somos una empresa que satisface necesidades en el negocio de alambres, derivados y afines, consistente con nuestro código de conducta.

Valores Organizacionales:

- Orientación al cliente.
- Respeto a la comunidad.
- Respeto por el medio ambiente.
- Honestidad e Integridad.
- Compromiso con en el cambio.
- Calidad

Política de Calidad: La Empresa cuenta con una política claramente definido y difundido en toda la organización el cual está basada en su Sistema Integrado de Gestión (SIG: Calidad, Seguridad, Ambiente y Responsabilidad Social).

“Somos una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos de alambre, derivados y afines, que considera a sus clientes, trabajadores, proveedores, accionistas, ambiente y comunidad; como los factores fundamentales para su desarrollo sostenible. Estamos comprometidos con entregar productos y servicios con calidad, a fin de satisfacer a nuestros clientes externos e internos; cumpliendo con la legislación y otros compromisos aplicables en temas ambientales, de seguridad, de salud ocupacional y responsabilidad social; trabajando sobre la base de la innovación, la mejora continua, la prevención de la contaminación del medio ambiente, de los daños a las personas y activos y el deterioro de la salud de las personas como elementos vitales para nuestro crecimiento sostenido y rentable”.(Fuente: La Empresa, 2011).

2.4 Organización

La empresa cuenta con Unidades de Negocios el cual tiene un gerente por cada unidad. Estas unidades de negocios están enfocadas a brindar asesoría y respaldo técnico-comercial a sectores específicos como la minería, agricultura, construcción, soluciones ambientales y el comercio minorista (retail). Por otro lado, la gerencia de operaciones tiene a cargo las subgerencias de logística, mantenimiento y proyecto, producción y CSA (Calidad, Seguridad y Ambiente).

Además, esta gerencia cuenta con el Área Técnica formado por ingenieros de procesos que dan el apoyo y soporte a los diferentes procesos productivos, además desarrollan e implementan proyectos de mejora en la producción. En la Figura 2.1 se muestra el organigrama de la organización.

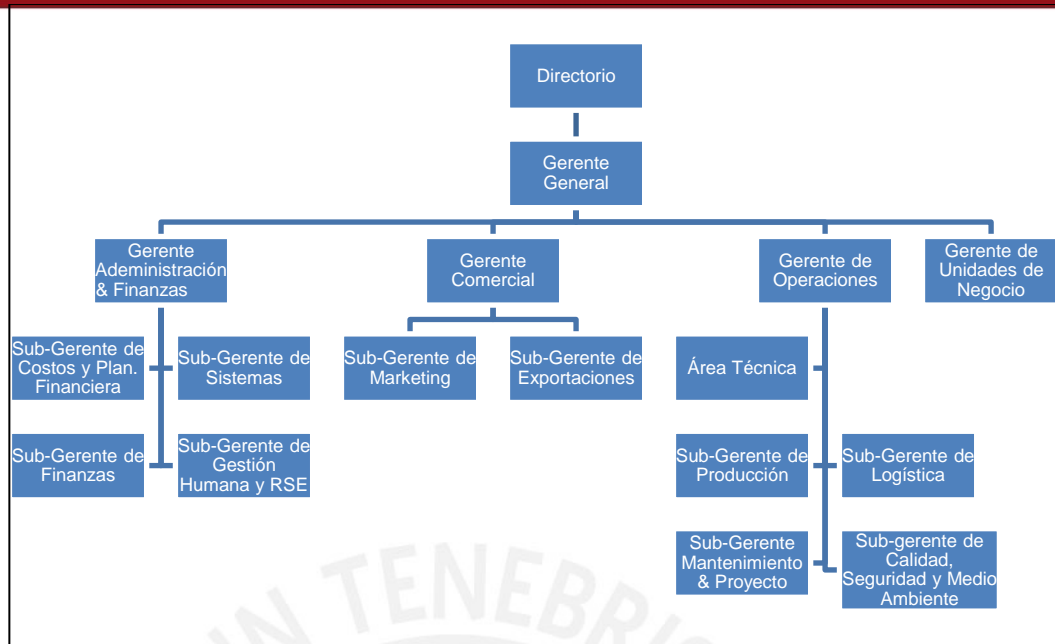


Figura 2.1 Organigrama de la empresa

 Fuente: La empresa
 Elaboración propia

2.5 Entidades participantes en el modelo del negocio

2.5.1. Clientes

Los clientes de La Empresa son de diversos sectores entre ellos se encuentran:

- Sector Minero (Yanacocha, Antamina, Milpo, Tintaya, etc).
- Sector Construcción (Paz- Centenario, Los Portales, etc).
- Sector Industrial (CIA Industrial Continental, El Cisne, etc).
- Sector Retail (Sodimac, Maestro Home Center).
- Sector Agrícola
- Sector Medio Ambiental

2.5.2. Proveedores

Entre los principales proveedores de la empresa se encuentra:

- ArcelorMital
- Deacero
- Gerdau
- Tecnifajas
- AGA

2.5.3. Competidores

Las organizaciones con las cuales compite la Empresa en los productos de alambre galvanizado son empresas importadores. Sin embargo, en productos

como alambre trefilado, clavos, gaviones y productos de acero dimensionado compite principalmente con empresas como Aceros Arequipa, Inkaferro, Maccaferri y Trefide.

2.6 Instalación y medios operativos

2.6.1. Distribución de Planta

El área del terreno de la Empresa es de 80 000 m². En su interior cuenta con dos edificios para oficinas administrativas y de operaciones, con un área aproximada de 1 000 m². En el edificio administrativo se encuentran los departamentos de: Finanzas, Comercial, Unidades de Negocio, Marketing, Sistemas, Compras y la Gerencia General. Por otro lado, en el edificio de operaciones, se encuentran los departamentos de: Producción, Logística, Calidad, Seguridad, Medio Ambiente, Mantenimiento y Proyecto, el área de Ingeniería de Procesos y la Gerencia de Operaciones.

Además, cuenta con un comedor tanto para trabajadores operarios como empleados, servicios higiénicos tanto en los edificios como en interior de las naves y campo deportivo. También cuenta con un almacén para la materia prima (alambrón) con un área aproximada de 10 000 m². En cuanto a la planta de producción, la empresa cuenta con 2 naves de aproximadamente 15 000 m² (Nave de Gaviones) y 35 000 m² (nave de Trefilado, Galvanizado y Productos Terminados).

2.6.2. Tipo de Producción

El tipo de producción actual de la empresa es por lotes (batch), debido a los diferentes procesos que se realizan. Entre las características para este tipo de distribución se encuentran:

- El trabajo se inicia por una orden de fabricación.
- La demanda es fluctuante.
- El volumen de producción por producto es de bajo a medio.
- La variedad de productos es de media a alta.

2.6.3. Maquinarias y Equipos

La empresa cuenta con 30 máquinas trefiladoras con una producción promedio de 320 ton/día. Además, cuenta con una línea de galvanizado con una

producción promedio de 80 ton/ día. La descripción de las maquinarias utilizadas en la empresa se detalla en el Anexo 3.

2.6.4. Materias primas e insumos

La materia prima principal es el alambón el cual es una barra larga de acero de sección circular que se produce por laminación en caliente, puede venir en diámetros que varían entre 5.50 y 14.00 mm y en rollos de 1 a 2 toneladas y presenta diferentes calidades de resistencia y composición. Además, se clasifican en función al contenido de carbón: alambón ACC (alto contenido de carbono) y alambón BCC (bajo contenido de carbono). Los rollos de alambón son almacenados, para posteriormente ser sometidos a un proceso de limpieza el cual permite eliminar los óxidos e impurezas de la superficie, favoreciendo con esto la adherencia de algunos revestimientos posteriores. La descripción del alambón, lubricantes, y otros insumos se detallan en el Anexo 3.

2.7 El Producto

Entre sus principales productos que fabrica la empresa se encuentran categorizados en alambres trefilado y galvanizado. Además, cuenta con alambres recocidos, clavos, mallas electro soldadas, mallas ganaderas, mallas olímpicas, gaviones y entre otros (Anexo 4).

El producto que se encuentra en estudio es el alambre galvanizado con triple capa de recubrimiento de zinc, el cual es materia prima para la fabricación de los productos gaviones, alambres púas así como productos terminados en alambres galvanizados en rollos de 50kg o 100kg. Este producto es elaborado en la línea de galvanizado utilizando el sistema Jet Wipe para su recubrimiento. Este sistema utiliza boquillas especiales por el cual ingresa el alambre luego de haberse sumergido en la tina de zinc. Esta boquilla en su interior contiene orificios por el cual ingresa nitrógeno de forma continua y uniforme permitiendo regular la capa de zinc. El alambre tiene que estar concéntrico a la boquilla y sin vibración para evitar variaciones en la capa de zinc. Este sistema puede funcionar de forma manual y automática. A la salida del proceso de galvanizado (recogedoras) existen dos dispositivos (DDK y DDM) el cual permite determinar la capa de zinc y en función a ello van ajustando la capa (aumentar o disminuir el flujo de nitrógeno) en el sistema automático.

2.8 El Proceso Productivo

El proceso para la fabricación de un alambre galvanizado de triple capa se inicia con la recepción y almacenamiento del alambcón. Luego, los rollos de alambcón son decapados para luego ser trefilados. El alambre trefilado es recogido en spyder (cuerpo cilíndrico, fabricado de tubos, en el cual se enrolla el alambre para poder transportarlo y almacenarlo. Su capacidad varía entre 600 a 1200 kg.) Estos spyder son transportados con montacargas o puentes grúas. El alambre trefilado es la materia para línea de galvanizado (devanado) el cual sigue una serie de procesos para finalmente realizar el recubrimiento con zinc y el alambre galvanizado es recolectado en spyder, para luego ser derivado a otras áreas como materia prima.

La Figura 2.2 muestra el proceso productivo de la fabricación del alambre galvanizado, detallando los procesos que se realizan en la etapa de galvanizado.

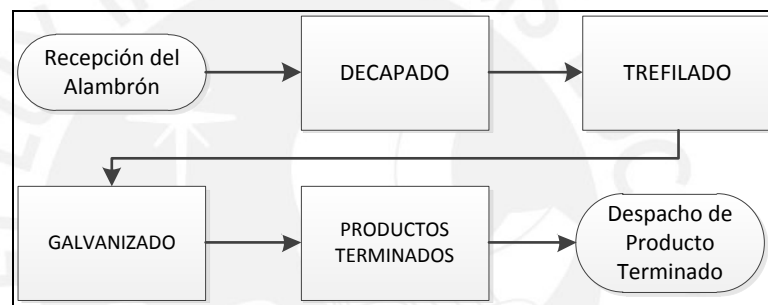


Figura 2.2 Diagrama de proceso de la empresa
Fuente: La empresa
Elaboración propia

a. Decapado

El alambcón es sometido a un proceso de limpieza por ataque químico mediante inmersión dentro de tinas con ácidos que permite eliminar óxidos e impurezas de la superficie favoreciendo su procesamiento y además, la adherencia de revestimiento posterior como el bórax y fosfato.

El decapado químico se realiza con ácido clorhídrico diluido y a temperatura ambiente. El tiempo de decapado depende del grado de oxidación superficial del alambcón y de la concentración de la solución de ácido.

b. Trefilado

El trefilado es un proceso de deformación por estirado en frío que tiene por objeto reducir la sección del alambcón o alambre para obtener un menor diámetro. La principal herramienta del proceso es el dado, el cual contiene una abertura cónica, por la cual se estira el alambcón o alambre mediante una fuerza mecánica. En este proceso la masa se conserva, no hay pérdida de material

dato que a medida que el diámetro se reduce, se obtiene un aumento de longitud. Por otro lado, en el interior del alambre, la estructura de los granos se estiran aumentando su resistencia a la tracción. En este proceso, el insumo utilizado es el lubricante de borax que cual genera una película por deposición (básico) y forma una gran presión y fricción entre el dado y el alambre, generando una capa entre los dos metales para evitar el rozamiento en seco.

c. Galvanizado

El proceso de galvanizado inicia desde la recepción del alambre trefilado en la zona de devanado hasta acumular el alambre galvanizado en spyder en la zona de recogedora (Figura 2.3).

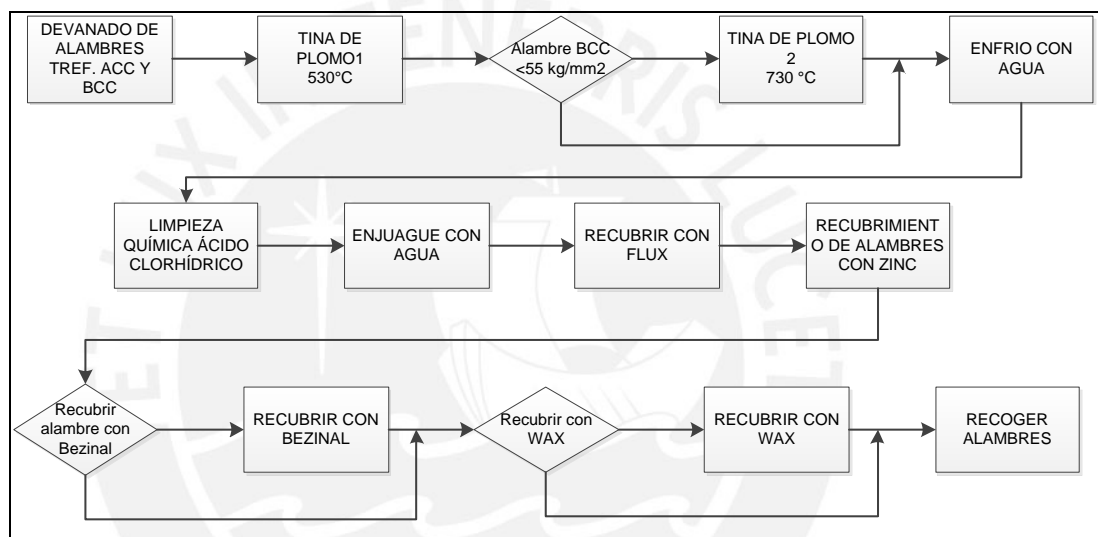


Figura 2.3 Diagrama del Proceso de Galvanizado
Fuente: La empresa
Elaboración propia

- **Devanado:** Es el proceso en el cual se enhebra el alambre trefilado en la posición o línea en función del tipo de recubrimiento a realizar.
- **Tina de Plomo 1 y 2:** Es un proceso en cual el alambre trefilado llega a temperaturas de 550°C y 750°C en la tina 1 y tina 2, respectivamente, para realizar un tratamiento térmico.
- **Enfriamiento con agua:** Es un proceso para enfriar y definir la estructura final (tensión y ductilidad) del alambre.
- **Limpieza química con HCl:** Es un proceso en el cual se realiza la limpieza (residuos del lubricante, suciedad, oxidación y grasas) de la superficie, mediante HCl, para asegurar la adherencia del zinc.
- **Enjuague con agua:** Consiste en lavar el ácido residual porque se forma nueva oxidación rápidamente.

- **Recubrir con Flux:** El alambre ingresa por la tina de flux para generar un recubrimiento necesario para la adherencia de la capa de zinc mediante una reacción química.
- **Recubrimiento del alambre con zinc:** En este proceso de galvanizado en caliente, el alambre atraviesa por un baño de zinc fundido (450°C). El contacto del acero con zinc fundido, las moléculas exteriores de Fe se alean con las de Zn. En este proceso se genera el dross el cual es un residuo de Zn precipitado en la superficie de la tina, no permitiendo un adecuado recubrimiento (galvanizado).
- **Recubrimiento del alambre con zinc y aluminio:** Este proceso consiste en sumergir el alambre recubierto con una capa fina de zinc (Tina de Zinc) en una tina de zinc y aluminio para ofrecerle al producto una mayor resistencia a la oxidación.
- **Recubrimiento con Wax:** El alambre galvanizado ingresa por una tina de wax el cual tiene la función de enfriar el alambre galvanizado y recubrir con una capa de lubricante para disminuir la fricción y el desgaste en los procesos de fabricación de productos como mallas ganaderas, gaviones, etc.
- **Recogedoras:** En este proceso el alambre es recogido a través de sistemas de carretes que van a permitir almacenarlo en spyder. La velocidad de recogido (m/s) es la que determina la velocidad de las líneas del alambre galvanizado, el cual se determina en función del tipo de recubrimiento (capa simple, doble o triple) y el tipo de máquina de recogido.

d. Productos Terminados

En función al tipo de producto final a elaborar, el alambre galvanizado ingresa a las diversas áreas de fabricación, por ejemplo, peso exacto, gaviones, mallas ganaderas, mallas olímpicas, alambres púas, mallas electro soldadas, entre otros procesos de fabricación para productos terminados.

e. Almacenamiento y despacho

Luego de haber sido fabricado el producto, este es almacenado a la espera de ser entregado al cliente según el programa de despacho. Para los clientes locales, se utilizan unidades de transporte que entregan la mercadería en el local

del cliente, en caso de ser enviado a provincias, se envían a las sucursales y luego es entregado al cliente.

2.9 El control de Calidad

La empresa cuenta con un departamento de Aseguramiento de la Calidad, el cual se encarga de realizar inspecciones o pruebas de muestreo para verificar que las características del producto y/o proceso se encuentren dentro de las especificaciones del cliente. Asimismo, utiliza la metodología del control estadístico por procesos para determinar las desviaciones del proceso a través de las cartas de control.

Los inspectores de calidad realizan pruebas de resistencia (kg/mm^2) a las muestras tomadas en la recepción de la materia prima (alambión) para verificar que se encuentren dentro de las especificaciones solicitadas por la empresa.

En el proceso de trefilado los inspectores realizan pruebas de resistencia (kg/mm^2) a las muestras tomadas al inicio de cada orden de fabricación. Por otro lado, en el área de galvanizado (Líneas Térmicas 24H) se realizan pruebas de resistencia (kg/mm^2) y capa de recubrimiento (g/m^2) a las muestras tomadas al final de cada spyder producido, para determinar si cumplen con las especificaciones solicitadas por el cliente. En caso que el producto no cumpla las especificaciones (producto no conforme) se rechaza, enviándose a reprocesar ó a otra área para otros usos.

Además, cuentan con un laboratorista químico para realizar los controles de los procesos; por ejemplo, medir la concentración de ácido (g/l HCl) en la línea de galvanizado y la concentración de las tinajas de Flux ($^{\circ}\text{Brix}$) y Wax ($^{\circ}\text{Brix}$).

Finalmente, se realiza el consolidado de las insatisfacciones reportadas por los clientes durante el mes para determinar las causas raíz y tomar acciones correctivas. Por ejemplo, auditorías de proceso en las áreas críticas con mayor número de insatisfacciones.

En la Figura 2.4, se mostrará un DAP del inspector de calidad para realizar el ensayo de tracción y capa de recubrimiento de un alambre galvanizado en el Área de Aseguramiento de la Calidad y Galvanizado (Líneas Térmicas 24H).

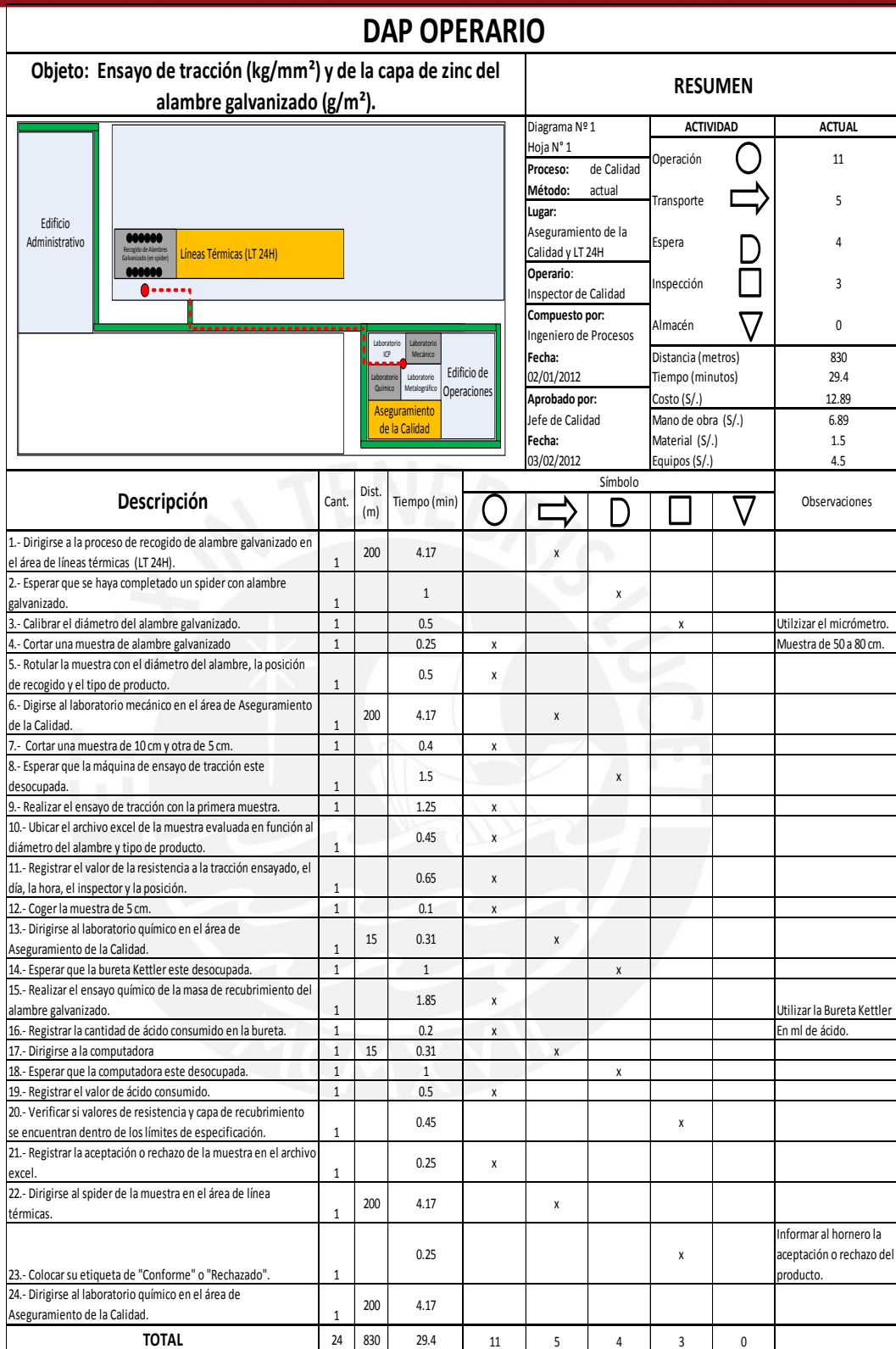


Figura 2.4 Diagrama de Análisis del Proceso de Control de calidad del alambre galvanizado

Fuente: La empresa
Elaboración propia

3. DESARROLLO DE LA FASE DEFINIR

En este capítulo se definirá el problema principal de la organización mediante una Matriz de Priorización de Problemas. Además, se presentará el cuadro de proyecto, la Matriz QFD (*Quality Function Deployment*), los diagramas de procesos, el SIPOC del proceso y el programa de trabajo del proyecto.

3.1 Descripción e identificación del problema

En esta fase se identificarán los principales problemas presentados en la organización durante el 2011, los cuales se muestran a continuación:

a. Insatisfacciones de clientes por entregas de productos fuera de especificación

Son aquellos productos devueltos por los clientes por no cumplir con las especificaciones. Entre las principales especificaciones se encuentran: la resistencia a la tracción (kg/mm^2), capa de zinc (g/m^2), alambres sin manchas, grumos y varios tramos de alambre en cada rollo (máximo debería haber 2 tramos). Estos productos fuera de especificación generan pérdidas por devoluciones, reproceso, pago de infracciones entre otros costos, representando el 0.06% de las ventas anuales, que equivale a \$ 90 000 por año.

b. Productos entregados fuera de tiempo

Son aquellos pedidos no entregados a tiempo generados principalmente por retrasos en la producción. Esto se debe a la falta de material, programación inadecuada, paradas de máquina por falta de mantenimiento. Actualmente el indicador de pedidos entregados a tiempo (fulfillment rate) es 98%. El 2% genera una penalidad de \$ 12 000 anuales.

c. Altos consumo de Zinc en líneas térmicas.

El proceso de galvanizado contiene los más altos costos de fabricación debido al alto consumo de zinc (kg/ tonelada producida) que se utiliza para el recubrimiento del alambre. Actualmente el 60% de la producción promedio (2666 ton/mes) es de los alambres 3Zn con sistema de recubrimiento Jet Wipe, generando una capa promedio de 315 g Zinc/m^2 (equivalente en promedio a 45

kgZn/ton producida); sin embargo, las especificaciones del cliente son de 260 g Zinc/m² como mínimo. Por otro lado, los consumos promedios de zinc están valorizados en \$ 4 318 920 anualmente (considerando el costo del Zn en 3 \$/kg Zn y la producción promedio de alambre galvanizado de 2666 ton/mes). Sin embargo, considerando una capa promedio de 275 g Zn/m² (equivalente en promedio a 41 kg Zn/ton producida) el consumo de Zn debería ser de \$ 3 935 016 anualmente. Por lo tanto, el exceso de consumo de zinc es de \$ 383 904 anualmente.

d. Alto consumo de Ácido en líneas térmicas.

El ácido es uno de los principales insumos utilizados en el proceso de galvanizado el cual durante los últimos años su consumo ha sido de 24 kg HCl/tonelada producida. Sin embargo, el consumo debería ser de 20 kg HCl (consumo promedio de otras plantas en el mundo). Este exceso de 4 kg HCl/ton producida de alambre galvanizado representa \$ 44 788 anualmente (considerando el costo del ácido en 350 \$/ton HCl y la producción promedio de alambre galvanizado de 2666 ton/mes).

e. Quiebre de stock de materia prima

Son aquellos quiebres de stock por falta de materia prima (el alambón) durante el año. Estos quiebres generan que disminuya la producción hasta en un 70% por día además de retrasos en las entregas de pedidos a los clientes internos, incrementa la disponibilidad de mano de obra y máquinas entre otras. Las pérdidas anualizadas por este problema representan aproximadamente \$240 000 al año (considerando 8 días de quiebres de stock durante el año).

f. Alto índice de rotura de alambre en el proceso de trefilado

El principal problema en el proceso de trefilado son las roturas de alambre. El índice de roturas es en promedio de 4.25 roturas/ton de alambre trefilado. Sin embargo, el promedio de roturas en otras plantas del mundo es de 3.75 roturas/ton de alambre trefilado. Esta diferencia de 0.5 roturas/ton de alambre trefilado representa un costo aproximado de \$ 162 000 por año (considerando un costo promedio de 3 \$/rotura y una producción de 9000 ton/mes de alambre trefilado).

En la Tabla 3.1, se muestra la escala de criterios para seleccionar el principal problema mediante una matriz de priorización de problemas (ver Tabla 3.2.)

Tabla 3.1: Escala de criterios de la Matriz de Priorización de Problemas

Item	Criterio	Explicación	Descripción	Puntaje
1	Duración del trabajo	Es el tiempo que tomará en solucionar el problema	Hasta 3 meses	50
			De 3 a 6 meses	30
			De 6 a 12 meses	10
			Más de 12 meses	5
2	Implicancia del problema	Es el grado en que el problema afecta al lugar de trabajo y a los clientes internos y/o externos	Afecta solo al área	15
			Afecta al área y a una parte de los clientes internos	45
			Afecta al área, clientes internos y tiene impacto directo en clientes externos.	75
3	Inversión para solucionar el problema	Es el monto a invertir para implementar la solución del problema	Baja Inversión: Gastos mínimos en que se incurrirán para solucionar el problema (Menos de \$ 80 000).	175
			Mediana inversión: Gastos moderadas en que se incurrirán para solucionar el problema (Entre \$80 000 y \$ 200 000).	105
			Alta inversión para solucionar el problema (Más \$ 200 000).	35
4	Resultados esperados	Mide los efectos tangibles e intangibles de las mejoras	Bajo impacto económico o intangible (Menos de \$ 50 000/año).	40
			Moderado impacto económico o intangible (Entre \$ 50 000 y \$ 250 000).	120
			Alto impacto económico o intangible (Más de \$ 250 000/año).	200

Fuente: La empresa
Elaboración propia

Tabla 3.2: Matriz de Priorización de Problemas

Item	Problemas	Duración del trabajo	Implicancia del problema	Inversión para solucionar el problema	Resultados esperados	Puntaje Total
1	Insatisfacciones de clientes por entregas de productos fuera de especificación	50	75	105	120	350
2	Productos entregados fuera de tiempo	5	75	105	40	225
3	Altos consumo de Zinc en líneas térmicas.	10	45	175	200	430
4	Alto consumo de Ácido en líneas térmicas.	10	15	35	40	100
5	Quiebre de stock de materia prima	30	45	35	120	230
6	Alto índice de rotura de alambre en el proceso de trefilado	5	15	105	120	245

Fuente: La empresa
Elaboración propia

Según la matriz de priorización de problemas, el alto consumo de zinc en líneas térmicas y las insatisfacciones de clientes por entregas de productos fuera de especificación son los principales problemas que hay en la empresa. Sin embargo, el problema elegido a analizar será el “alto consumo de zinc en líneas térmicas”.

3.2 El cuadro del Proyecto

La Tabla 3.3, nos muestra el cuadro resumen del proyecto (Project Charter).

Tabla 3.3: El cuadro del Proyecto (Project Charter).

Proyecto	Reducción de la variabilidad de la masa de recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados fabricados por el proceso de inmersión en caliente JET WIPE.
Definición	Durante el año 2011 el consumo de zinc para la línea de galvanizado fue de 45 kgZn/ton producido; este exceso de 4 kgZn/ton producidas representa un impacto al costo anualizado de \$ 383 904.
Objetivo	Reducir el alto consumo de zinc y disminuir las devoluciones de productos fuera de especificación y con defectos.
Metas	Reducir el promedio de capa de recubrimiento de 315 a 275 g/m ² .
Sponsor	Gerente General
Equipo de Trabajo	Gerente de Operaciones (Champion) Jefe de Calidad (Black Belt) Supervisor de Producción de la línea de galvanizado (Green Belt) Inspector de Calidad (Green Belt) Ingeniero de Procesos (Leandro Barahona) Ingeniero de Procesos (Jessica Navarro) Analista de Finanzas (Analista) Operario de la línea de galvanizado
Alcance	El proyecto abarca desde la obtención del alambre trefilado hasta el recubrimiento del alambre con el zinc, por proceso de inmersión en caliente utilizando el sistema JET WIPE.
Voz del Negocio	La empresa espera reducir sus costos de fabricación e incrementar su rentabilidad.
Recursos	Los recursos necesarios son: Mano de obra de operario de la línea de galvanizado Inspector de Calidad 08 Toneladas de alambre trefilado BCC y disposición de 3 posiciones de la línea por un periodo acumulado de 120 horas aproximadamente. 01 laptop y equipos de medición de la capa (DDK).
Duración	02/07/2012 - 01/07/2013

Fuente: La empresa
Elaboración propia

3.3 Matriz QFD (*Quality Function Deployment*)

Para determinar los requerimientos del cliente (CTQ'S) de desarrollará la matriz QFD (Despliegue de Función de Calidad por sus siglas en inglés) basadas en la

voz del cliente. Para ello, se toman como base los siguientes puntos: metas del negocio, encuestas, quejas, datos de Benchmarking, discusiones ejecutivas, discusiones de trabajo específico, tendencias del mercado futuras. En la Figura 3.1, se muestra la matriz QFD en el cual en función a los requerimientos del cliente se cuantifica la intensidad de la relación de cada requerimiento contra cada proceso para la fabricación del producto solicitado por el cliente. Según esta matriz, también llamada “La casa de la Calidad”, el proceso con mayor importancia es el Galvanizado. Es por ello, que el principal objetivo estará enfocado en el proceso de galvanizado.

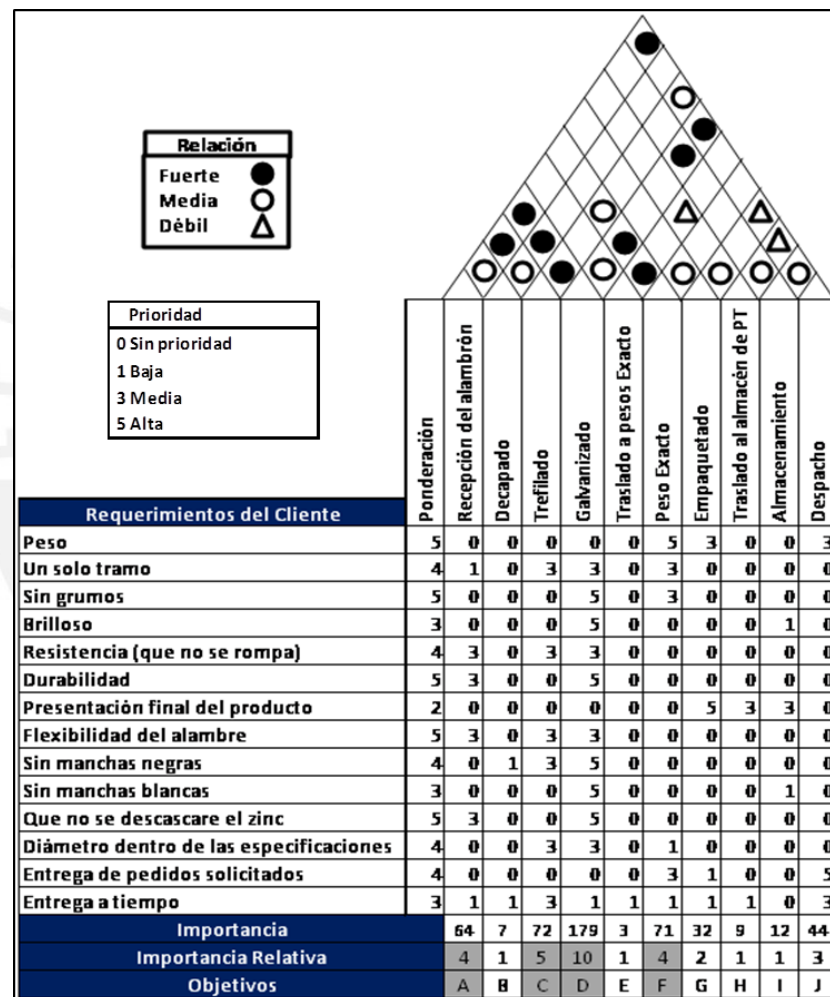


Figura 3.1. Matriz QFD (Quality Function Deployment)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

3.4 Los diagramas de proceso

A continuación se mostrarán los mapas de proceso nivel 1, 2 y 3 (Figura 3.2, Figura 3.3 y Figura 3.4, respectivamente).

Estos mapas de flujo del proceso muestran la interrelación de la empresa, cliente y proveedores (Nivel 1). Luego, se identifica el flujo del proceso en la producción (Nivel 2). Finalmente, se muestra a detalle el proceso de galvanizado (Nivel 3).

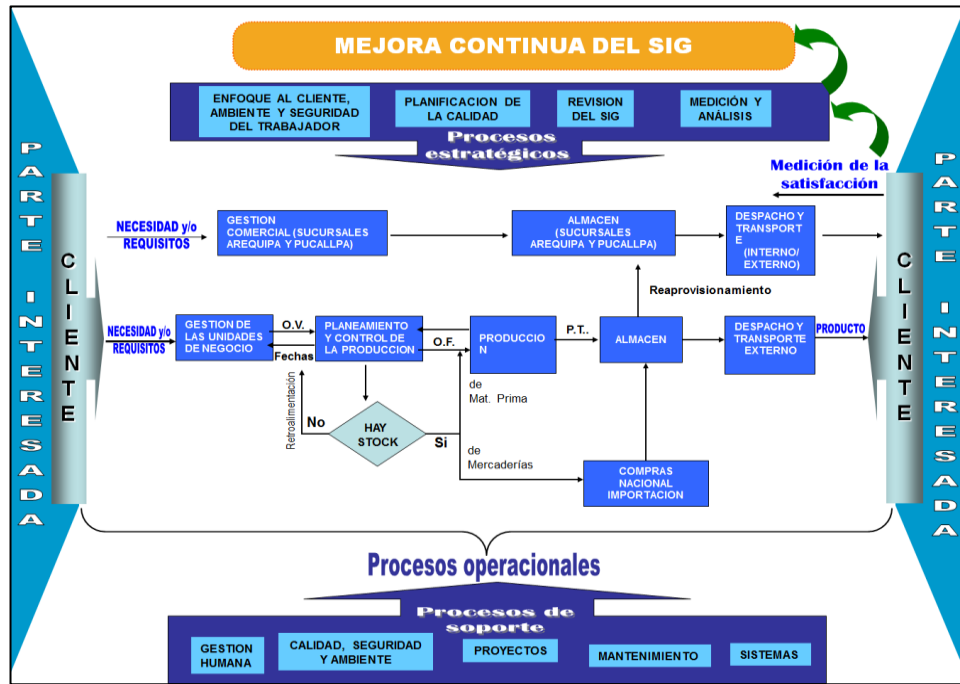


Figura 3.2: Mapa de Proceso Nivel 1
Fuente: La empresa

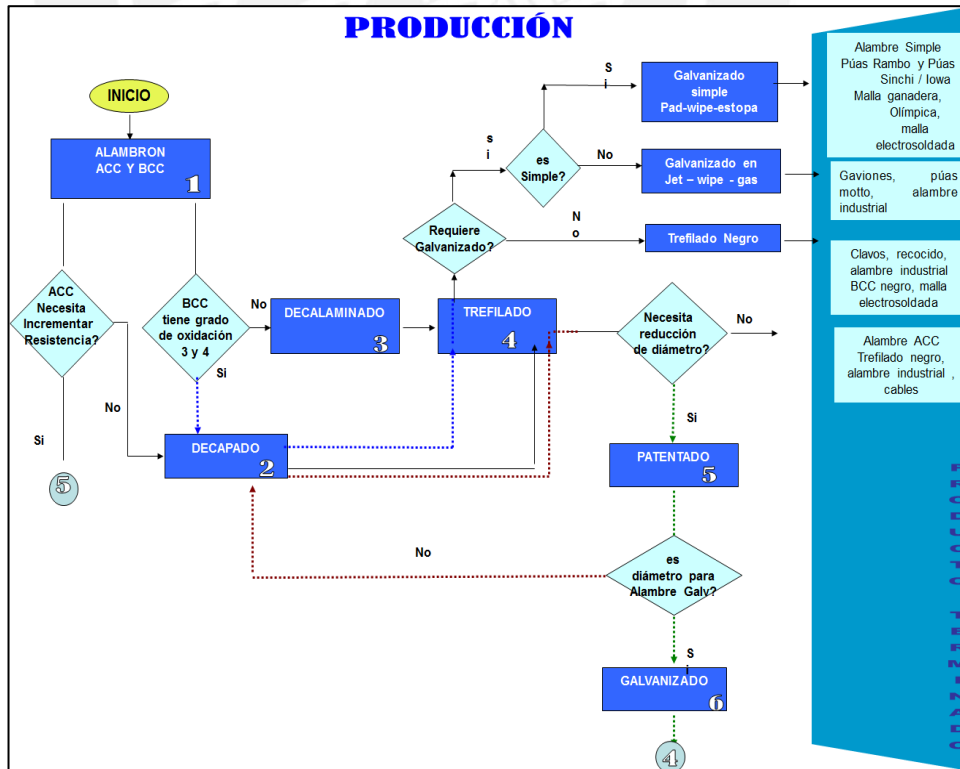


Figura 3.3: Mapa de Proceso Nivel 2
Fuente: La empresa

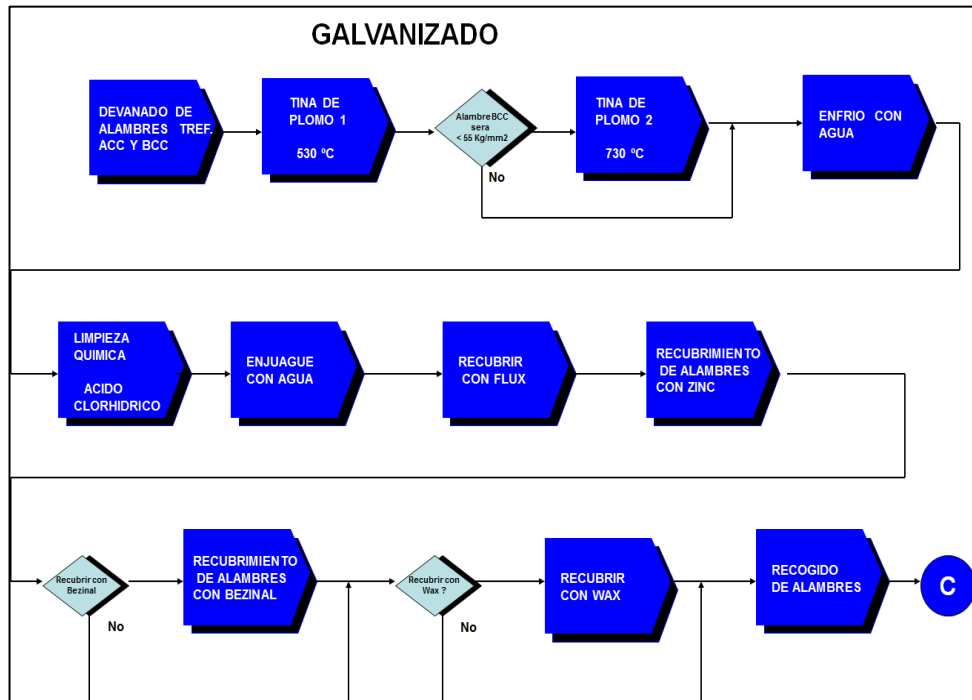


Figura 3.4: Mapa de Proceso Nivel 3
Fuente: La empresa

En la Figura 3.5 , nos muestra el SIPOC del proceso de galvanizado.

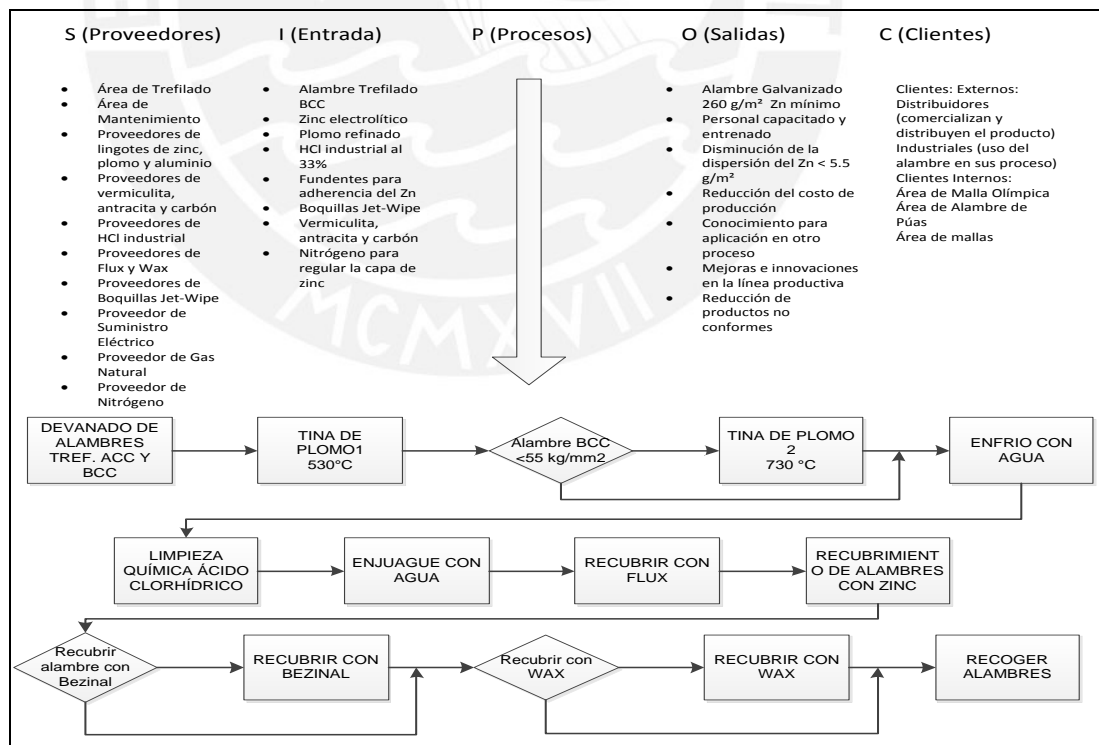


Figura 3.5: SIPOC del Proceso de Galvanizado
Fuente: La empresa
Elaboración propia

3.5 Programa de trabajo

En la Figura 3.6, se describe el detalle del proyecto Lean Six Sigma, con una duración de 364 días, iniciando el 02/07/2012.

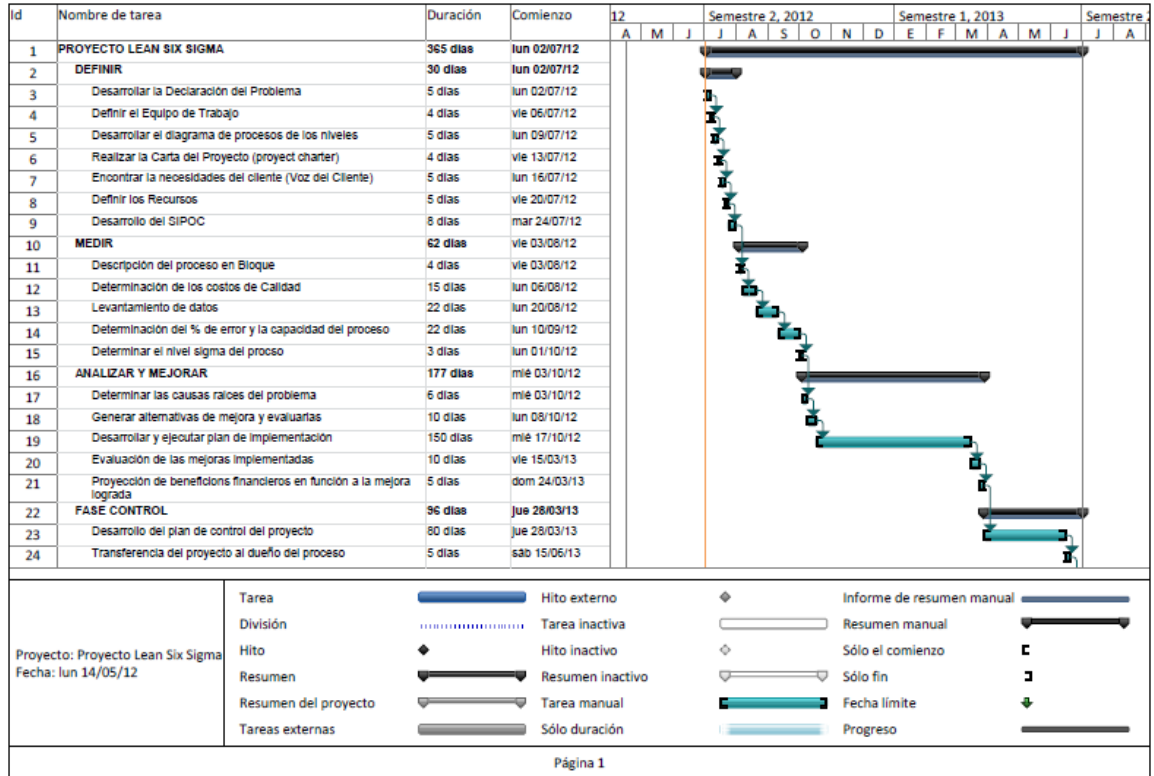


Figura 3.6: Programa del Proyecto Lean Six Sigma
Fuente: La empresa
Elaboración propia

4. DESARROLLO DE LA FASE MEDIR

4.1 Mapa detallado del proceso (VSM)

El tiempo Takt del cliente es:

$$Tiempo\ takt = \frac{24\ horas * \frac{60\ min}{hora}}{\left(\frac{1500\ rollos\ alam.\ galv.}{mes}\right) * \frac{0.1\ ton}{1\ rollo\ alam.\ galv.} * \frac{1\ mes}{30\ días}} = 288\ min/ton$$

Del mapa de flujo de valor actual (Figura 4.1), se tiene un lead time de 4.7 días, donde el mayor lead time se encuentra al inicio de la línea de galvanizado. Asimismo el tiempo que agrega valor es en total 444 minutos, de los cuales el área de galvanizado demanda 320 minutos, excediendo en 11% el tiempo Takt.

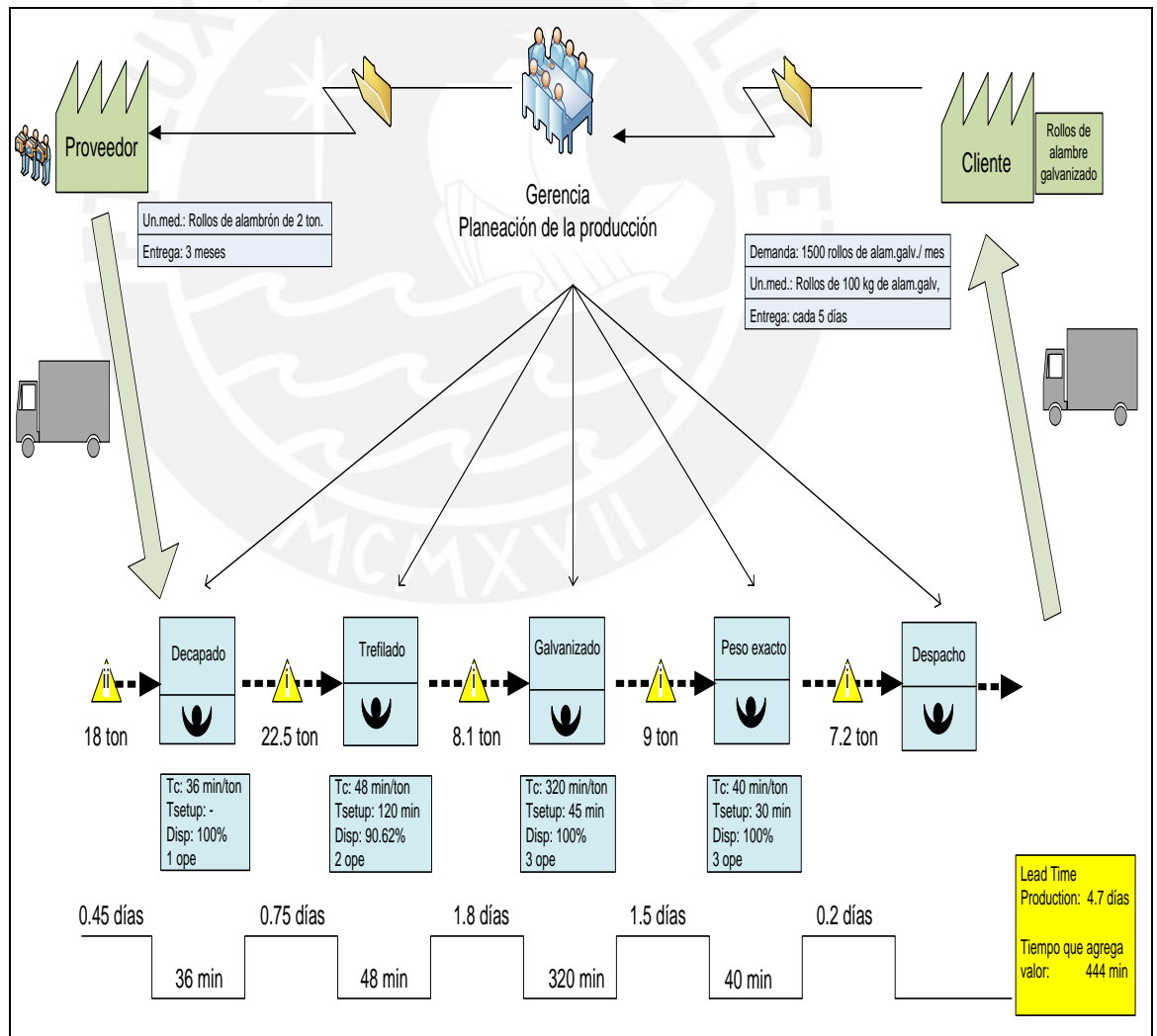


Figura 4.1: VSM: Mapa de flujo de valor actual
Fuente: La empresa
Elaboración propia

4.2 Lista de X's y Y's.

La obtención del alambre galvanizado recubierto con zinc comprende varios procesos, partiendo del proceso de trefilado (reducción del diámetro), donde se generan tensiones en el alambre. Para eliminarlas, se sumerge el alambre en las tinas de plomo (líquido a altas temperaturas). Luego el alambre pasa al proceso de decapado en tinas de ácido donde se limpia la superficie de impurezas. Se elimina el ácido del alambre y se trata con una solución de Flux para una óptima adherencia de zinc. Posteriormente se cubre el alambre con zinc, y se lubrica con una solución Wax.

En el Anexo 6, se presentan las variables de entrada (KPIV) de cada uno de los procesos que influyen en la variable de salida capa de zinc.

Para determinar las variables de entrada críticas que influyen en la capa de zinc, se hará una matriz de priorización donde participarán 5 personas relacionadas al proceso y asignaran un puntaje, según una escala determinada, del nivel de impacto que tienen las variables de entrada en la variable de salida.

En las Tabla 4.1 y Tabla 4.2, se muestra la escala de puntuación y la lista de colaboradores respectivamente.

En la Tabla 4.3 se muestran todas las variables de entrada y su puntaje, el cual ha sido determinado por las suma de todos los puntajes asignados por cada uno de los colaboradores.

Tabla 4.1: Escala de puntuación del nivel de impacto

	Nivel de impacto
0	Nada
1	Bajo
3	Mediano
5	Alto

Elaboración propia

Tabla 4.2: Lista de colaboradores para la matriz de priorización

	Colaboradores
A	Ingeniero de procesos
B	Supervisor de línea
C	Jefe de calidad
D	Supervisor de mantenimiento
E	Operador de línea

Elaboración propia

Tabla 4.3: Matriz de priorización

Proceso	Variables de entrada del proceso (X's)	Y: Capa de Zinc					Suma
		A	B	C	D	E	
Devanado	Velocidad del alambre	3	3	3	0	0	9
Inmersión (Tina de plomo 1)	Longitud de inmersión	0	0	0	0	1	1
	Temperatura	0	0	0	0	0	0
Inmersión (Tina de plomo 2)	Longitud de inmersión	0	0	0	0	1	1
	Temperatura	0	0	0	0	0	0
Enfriamiento 1 (Tina 1 de H ₂ O)	Temperatura	0	0	0	0	1	1
Decapado 1 (Tina de ácido 1)	Concentración de HCl	3	3	1	1	1	9
	Concentración de Fe	3	1	1	1	1	7
	Temperatura	1	0	1	0	0	2
	Tiempo de inmersión	1	0	0	0	0	1
	Agitación de la tina	0	0	0	0	0	0
Decapado 2 (Tina de ácido 2)	Concentración de HCl	3	3	1	1	1	9
	Concentración de Fe	3	1	1	1	1	7
	Temperatura	1	0	1	0	0	2
	Tiempo de inmersión	1	0	0	0	0	1
	Agitación de la tina	0	0	0	0	0	0
Enjuague (Tina 2 de H ₂ O)	Ph	1	1	1	1	0	4
	Temperatura	0	0	0	0	0	0
Recubrimiento con flux	Concentración (*Brix)	5	3	5	3	1	17
	Temperatura	5	3	3	5	1	17
Galvanizado (Tina de zinc)	Longitud de inmersión	5	5	3	5	5	23
	Temperatura	5	5	5	3	5	23
	Ajuste del alambre en la boquilla	5	5	5	5	5	25
	Limpieza de la boquilla	5	5	5	5	3	23
	Flujo de nitrógeno	3	3	3	1	1	11
Enfriamiento 2 (Tina 3 de H ₂ O)	Temperatura	0	0	0	0	1	1
	Dureza	1	0	1	0	0	2
Lubricación (Tina de Wax)	Longitud de inmersión	0	0	0	0	0	0
	Temperatura	0	0	0	0	0	0
	Concentración (*Brix)	0	0	0	0	0	0
Recogido	Velocidad del recogido (m/min)	3	3	5	3	3	17
	Impedancia del alambre (DDK)	1	1	1	0	0	3

Elaboración propia

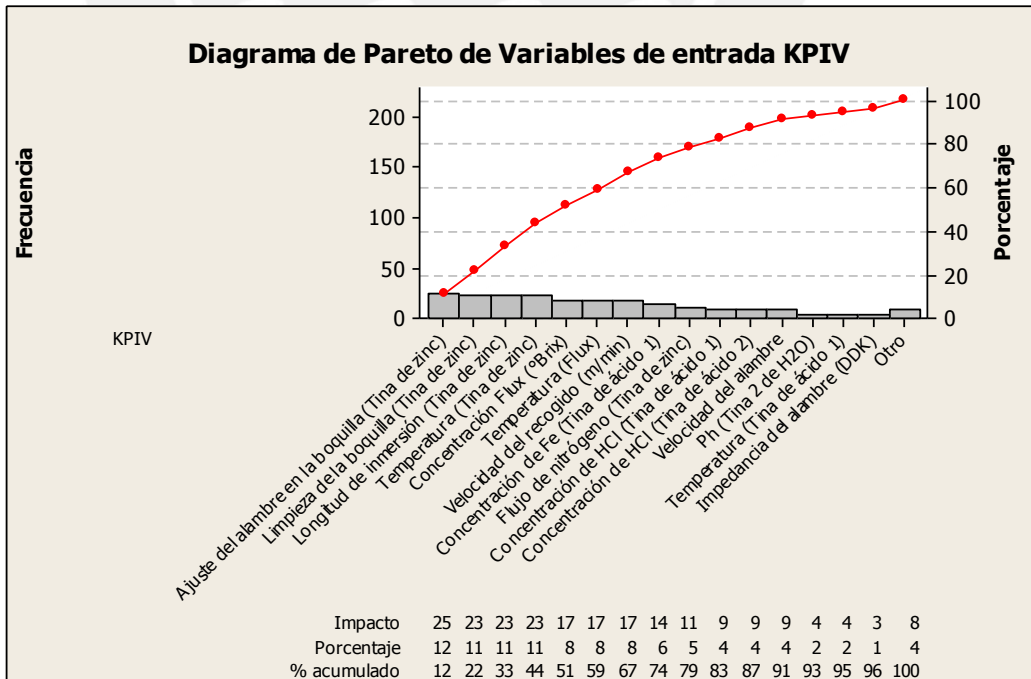


Figura 4.2: Diagrama de Pareto de las variables de entrada KPIV

Fuente: La empresa

Elaboración propia

Del diagrama de Pareto, Figura 4.2, de las variables de entrada se seleccionan las variables críticas que influyen en la masa de zinc en el alambre, las cuales se muestran en la Tabla 4.4

Tabla 4.4: Variables de entrada críticas que influyen en la capa de zinc

N	Variables de entrada KPIV
1	Ajuste del alambre en la boquilla (Tina de zinc)
2	Longitud de inmersión (Tina de zinc)
3	Temperatura (Tina de zinc)
4	Limpieza de la boquilla (Tina de zinc)
5	Concentración Flux (°Brix)
6	Temperatura (Flux)
7	Velocidad del recogido (m/min)

Elaboración propia

4.3 Costos de la calidad

En la siguiente Tabla 4.5, se muestra el cálculo del costo de la calidad, observándose que el costo total de la calidad mensualmente es de \$ 111 137.64 de los cuales el 39.3% es debido a los Costos de Fallas Internas que representa \$ 43 678.25. Además, el exceso de materia prima representa el 29.45% de costo total de la calidad es decir \$32 728.32 debido principalmente al alto consumo de zinc para el recubrimiento de alambre galvanizado (ver Figura 4.3).

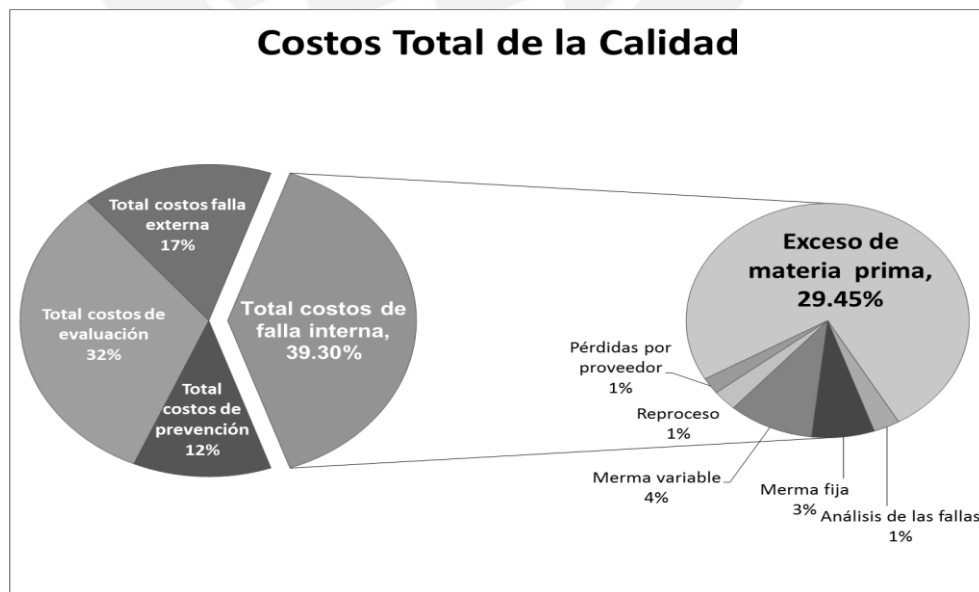


Figura 4.3: Costos de la calidad

Fuente: La empresa
Elaboración propia

Tabla 4.5: Costos de la Calidad

Tipo de Costo	Costo de Calidad	Costo (\$)	%
Costos de Prevención	Administración de la calidad	\$ 4,200.77	3.78%
	Ingeniería de la calidad	\$ 4,859.71	4.37%
	Otros costos de planeamiento	\$ 2,306.30	2.08%
	Capacitación	\$ 1,812.10	1.63%
Costos de Evaluación	Inspección	\$ 13,837.82	12.45%
	Pruebas	\$ 20,262.53	18.23%
	Control de proveedores	\$ 576.58	0.52%
	Control de equipos	\$ 906.05	0.82%
	Material de prueba	\$ 164.74	0.15%
	Auditoría del producto y proceso	\$ 247.10	0.22%
Costos de falla interna	Merma fija	\$ 3,129.98	2.82%
	Merma variable	\$ 4,278.12	3.85%
	Reproceso	\$ 1,235.52	1.11%
	Pérdidas por proveedor	\$ 988.42	0.89%
	Exceso de materia prima	\$ 32,728.32	29.45%
	Análisis de las fallas	\$ 1,317.89	1.19%
Costos de falla externa	Falla en manufactura	\$ 4,777.34	4.30%
	Falla ingeniería	\$ 823.68	0.74%
	Falla ventas	\$ 1,482.62	1.33%
	Falla en la entrega	\$ 1,400.26	1.26%
	Cargos por garantía	\$ 7,248.38	6.52%
	Análisis de las fallas	\$ 2,553.41	2.30%
	Costos de Calidad Total	\$ 111,137.64	100%

Fuente: La empresa
Elaboración propia

4.4 Análisis del sistema de medición

Para la medición de la masa del recubrimiento de zinc del alambre se utiliza la norma EN 10244-1 2010 “Alambre de acero y productos de alambre. Recubrimientos metálicos no ferrosos sobre alambre de acero”.

La empresa en estudio produce alambres de distintos diámetros. Para el presente trabajo, se tomarán datos de los rollos cuyo diámetro es 2.70 mm.

La muestra será de mínimo 203 datos, considerando una población infinita, un nivel de confianza de 95%, un nivel de precisión de 3% y un nivel p de 0.5. Los datos han sido tomados en los tres turnos de trabajo durante los meses de enero y febrero del 2012 y se muestran en la Tabla 4.6. Los datos están expresados en g/m².

Tabla 4.6: Tabla de datos tomados en los tres turnos de trabajo

N°	Valores	N°	Valores	N°	Valores	N°	Valores	N°	Valores	N°	Valores
1	362	41	385	81	266	121	308	161	353	201	330
2	337	42	321	82	305	122	311	162	289	202	276
3	273	43	269	83	279	123	266	163	298	203	289
4	269	44	279	84	327	124	314	164	292	204	337
5	279	45	382	85	305	125	321	165	353	205	273
6	279	46	346	86	314	126	292	166	369	206	337
7	276	47	292	87	305	127	279	167	375	207	269
8	263	48	298	88	330	128	353	168	398	208	330
9	353	49	279	89	289	129	324	169	301	209	321
10	295	50	305	90	321	130	269	170	289	210	308
11	282	51	273	91	285	131	333	171	289	211	282
12	285	52	266	92	305	132	337	172	369	212	314
13	298	53	298	93	337	133	308	173	263	213	282
14	298	54	305	94	314	134	292	174	333	214	353
15	391	55	382	95	337	135	273	175	311	215	269
16	330	56	276	96	285	136	301	176	350	216	276
17	330	57	260	97	314	137	353	177	282	217	269
18	330	58	276	98	305	138	263	178	391	218	362
19	285	59	353	99	282	139	366	179	359	219	305
20	273	60	285	100	369	140	298	180	266	220	276
21	321	61	289	101	321	141	279	181	305	221	292
22	276	62	317	102	321	142	321	182	324	222	282
23	317	63	321	103	359	143	394	183	321	223	289
24	353	64	385	104	340	144	369	184	276	224	276
25	321	65	340	105	305	145	337	185	266	225	285
26	273	66	295	106	295	146	301	186	305	226	276
27	301	67	333	107	330	147	388	187	321	227	314
28	308	68	401	108	295	148	337	188	273	228	337
29	346	69	305	109	321	149	298	189	282	229	305
30	398	70	324	110	321	150	305	190	289	230	321
31	330	71	369	111	321	151	314	191	321		
32	289	72	298	112	279	152	327	192	295		
33	295	73	375	113	321	153	372	193	276		
34	398	74	285	114	289	154	356	194	285		
35	340	75	337	115	337	155	378	195	353		
36	353	76	305	116	321	156	359	196	289		
37	305	77	266	117	337	157	321	197	276		
38	295	78	289	118	305	158	263	198	321		
39	324	79	289	119	292	159	353	199	298		
40	321	80	285	120	279	160	308	200	305		

Fuente: La empresa
Elaboración propia

4.5 Validación del sistema de medición

Para la validación del sistema de medición se empleará la prueba de R&R. Para esto se seleccionarán 10 muestras de los rollos, 3 operadores con dos mediciones por cada uno.

Los resultados de dichas mediciones se muestran en la Tabla 4.7. Los datos están expresados en g/m².

Tabla 4.7: Resultados de la prueba de medición para la prueba R&R

Operario	Muestra									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	262	290	292	305	278	314	365	325	362	345
1	263	289	294	304	279	315	369	328	368	348
2	265	285	296	302	272	317	372	330	375	350
2	266	284	298	303	273	316	368	329	378	352
3	269	283	295	309	275	312	375	322	372	349
3	270	284	294	308	277	313	376	320	368	351

Fuente: La empresa
Elaboración propia

De los gráficos estadísticos mostrados en las Figura 4.4, Figura 4.5 y Figura 4.6, se puede concluir que el 10 % de toda la variación del proceso se le puede atribuir al sistema de medición. Por lo tanto la capacidad del sistema de medición es aceptable.

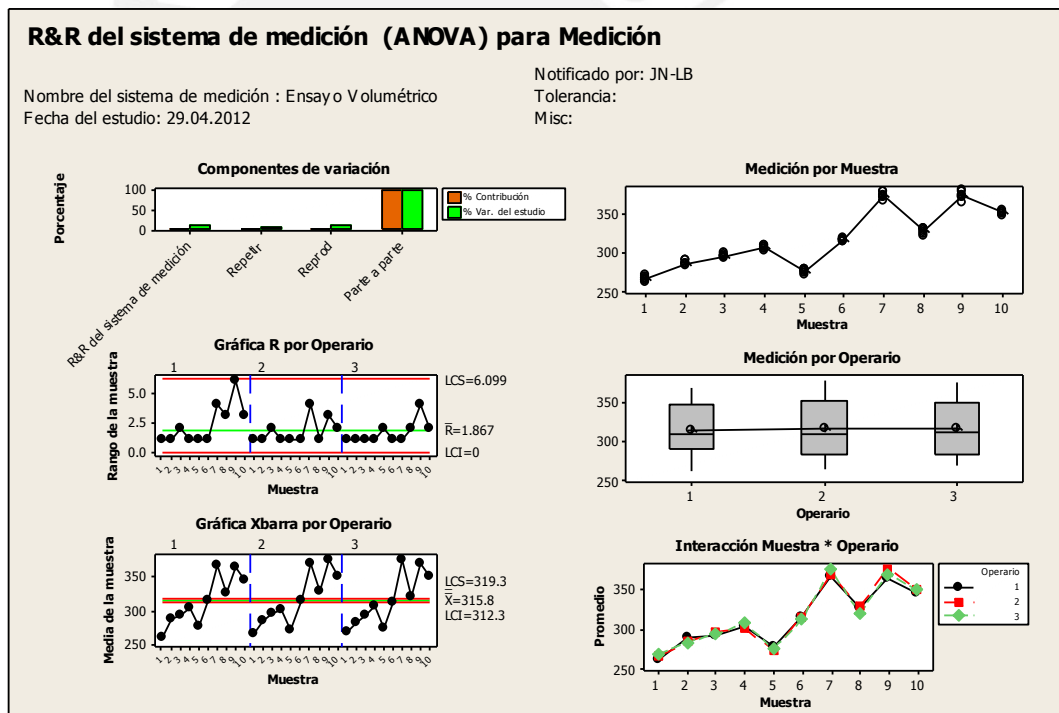


Figura 4.4: Gráfica R&R del sistema de medición (ANOVA)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

R&R del sistema de medición		
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	14.20	0.99
Repetibilidad	2.53	0.18
Reproducibilidad	11.67	0.82
Operario	0.00	0.00
Operario*Muestra	11.67	0.82
Parte a parte	1416.93	99.01
Variación total	1431.13	100.00
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. del estudio (6 * DE)
R&R del sistema de medición total	3.7682	22.609
Repetibilidad	1.5916	9.550
Reproducibilidad	3.4155	20.493
Operario	0.0000	0.000
Operario*Muestra	3.4155	20.493
Parte a parte	37.6421	225.853
Variación total	37.8302	226.981
Fuente	%Var. del estudio (%VE)	
R&R del sistema de medición total	9.96	
Repetibilidad	4.21	
Reproducibilidad	9.03	
Operario	0.00	
Operario*Muestra	9.03	
Parte a parte	99.50	
Variación total	100.00	
Número de categorías distintas = 14		

Figura 4.5: Resultados de la prueba R&R para el sistema de medición
Fuente: La empresa
Elaboración propia

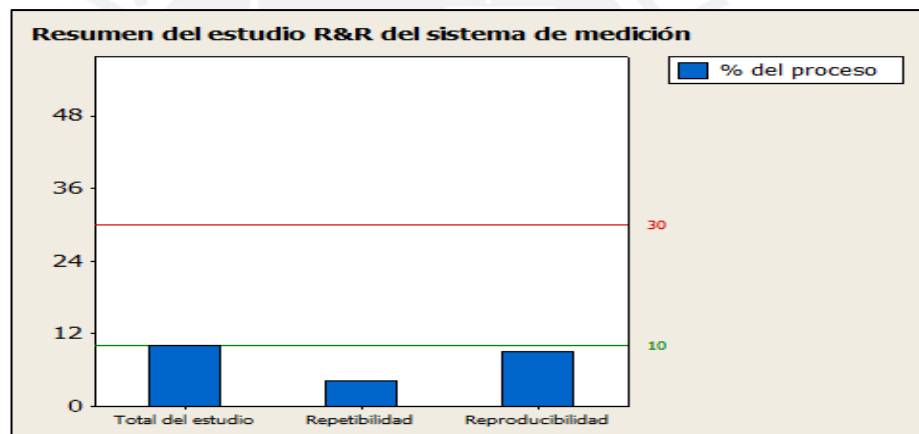


Figura 4.6: Resumen del estudio R&R del sistema de medición.
Fuente: La empresa
Elaboración propia

4.6 Capacidad y desempeño del proceso

Para establecer la línea base, en la Figura 4.7, se muestra la gráfica de control de la variable individual y del rango móvil de la masa de zinc en el alambre, donde se puede observar que el proceso se encuentra bajo control estadístico. Por otro lado, se observa que la media del proceso de los datos mostrados es 312.7 g/m².

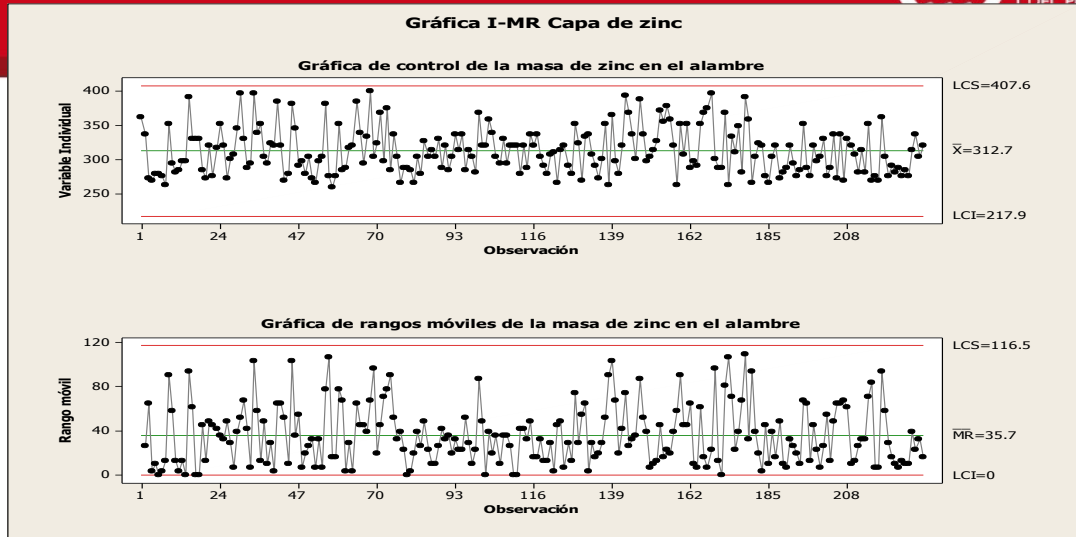


Figura 4.7: Gráfica de control de la masa de zinc en el alambre

Fuente: La empresa
 Elaboración propia

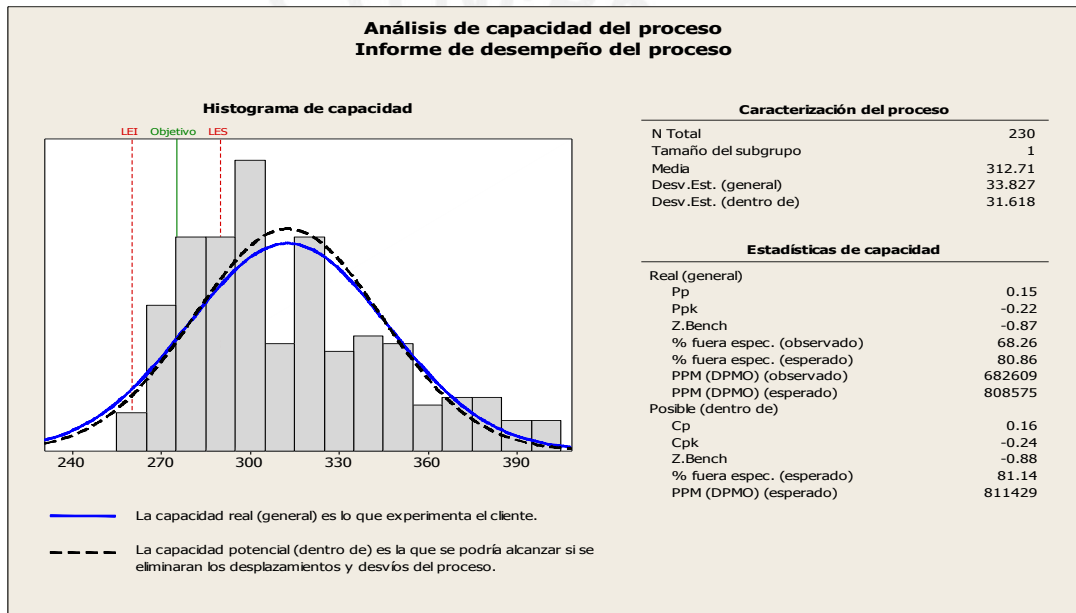


Figura 4.8: Análisis de la capacidad del proceso usando Minitab 16

Fuente: La empresa
 Elaboración propia

En la Figura 4.8, se observa que el C_p es $0.16 < 1$, lo cual significa que no es un proceso capaz. Además un C_{pk} negativo (-0.24) nos indica que la media del proceso está fuera de especificaciones, considerando un límite superior de 290 g/m². Sin embargo, las especificaciones del cliente solo requieren un límite de especificación inferior, el cual es 260 g/m². Por lo tanto el porcentaje real de productos defectuosos es mucho menor.

Además, la capacidad del proceso es de 0.16, y el nivel de sigma es 0.88. Por lo tanto, según el Anexo 1, el DPMO es 734050, con un rendimiento de 26.60 %.

5. DESARROLLO DE LA FASE ANALIZAR

En esta etapa se analizarán las causas raíces (KVIP'S) que influyen en la variable principal Y, capa de zinc g/m² (Ver Tabla 4.4), mediante el análisis del proceso y análisis de datos utilizando las herramientas *Lean Manufacturing* y *Six Sigma* respectivamente. El análisis está enfocado en la línea de galvanizado al considerarse un área crítica identificada en el mapa de flujo de valor actual (Ver Figura 4.1) y la matriz QFD (Ver Figura 3.1).

5.1. Análisis del proceso

A continuación se analizarán las causas que generan demoras y/o paradas en el proceso de fabricación.

5.1.1 Identificación de desperdicios

A lo largo de todo el proceso (Ver Figura 4.1), se han analizado los siete desperdicios mortales, de los cuales los más importantes se describen a continuación:

a. Sobreproducción

Este desperdicio se refleja en el stock mínimo aceptable por la compañía, stock de seguridad, que permite asegurar el flujo de producción de los tiempos largos de setup, su principal causa. Asimismo, las fallas de máquina y los productos con defectos detectados en el proceso también influyen en este desperdicio. En la Figura 5.1, se muestra la sobreproducción actual en la planta.



Figura 5.1: Sobreproducción en la línea de galvanizado
Fuente: La empresa

b. Exceso de Inventario

Se cuenta con almacenes para productos terminados y materias primas. Además se cuenta con inventarios entre las diferentes áreas, los cuales no son los óptimos. En la Figura 5.2, se muestra el exceso de inventario en proceso para la fabricación de alambre galvanizado, el cual se encuentra sobrestockeado generando costos de inventarios y produciendo a su vez desorden.



Figura 5.2: Inventario en proceso
Fuente: La empresa

c. Exceso de movimientos

En el área de galvanizado se observa una cantidad de movimientos innecesarios por parte de los empleados al buscar las boquillas adecuadas para el producto que se está procesando. El problema radica en que no se tienen las suficientes en el estante ubicado cerca a la tina de zinc. De esta manera, el operador debe buscar la adecuada en el almacén de boquillas, o de lo contrario, en carencia de alguna, utilizar otra que cumpla las características de la solicitada.

d. Espera

Es un desperdicio generado en todas las áreas desde el decapado hasta el galvanizado. Se presenta mayormente en las líneas de galvanizado cuando la máquina está parada esperando ser reparada. En este caso el tiempo muerto es más crítico, puesto que el área de galvanizado es el cuello de botella y necesita estar operando todo el día. Por otro lado, también se tiene una espera por los operadores de dicha área, los cuales se encuentran supervisando la mayor parte del tiempo. La Figura 5.3, muestra el proceso de recubrimiento en la tina de zinc supervisado por un operador.



Figura 5.3: Imagen del proceso de recubrimiento en la tina de zinc
Fuente: La empresa

e. Defectos

El rechazo de los productos defectuosos interrumpe la producción y requiere una costosa repetición del trabajo. Además, muchos de estos productos frecuentemente deben descartarse o reprocesarse, lo que implica un importante uso de recursos. En la Figura 5.4, se observan los productos que han sido separados en las distintas áreas por la detección de algún defecto.



Figura 5.4: Rollos en mal estado
Fuente: La empresa

5.1.2 Identificación de oportunidades

Consideraciones iniciales.

Se aplicarán las siguientes herramientas de manufactura esbelta: 5 S y TPM.

Estas herramientas nos permitirán solucionar dos de las variables de entrada críticas que influyen en la capa de zinc: el ajuste del alambre en la boquilla y la

limpieza de la boquilla (Ver Tabla 4.4.). También nos permitirá eliminar el desperdicio que genera un tiempo de ciclo mayor al *Tack Time*. Las demás variables serán analizadas utilizando las técnicas de *Six sigma*.

5.1.2.1 Planteamiento de la situación actual: 5 S

Aplicar las 5 S's en el área de galvanizado para disminuir el tiempo en búsqueda de herramientas y por lo tanto, mejorar el tiempo destinado al ajuste de máquina y un adecuado cambio de boquilla.

Actualmente no existe un control ni un almacenamiento adecuado de las boquillas produciendo confusión al momento de la búsqueda y exceso de movimientos de personal. Además, por falta de boquillas limpias utilizan otras tipos boquillas para mayor diámetro generando mayor cantidad de capa de zinc en el recubrimiento. Por otro lado, no hay una identificación en la boquilla, solo está identificado en la misma boquilla pero cuando está trabajando en la línea ya no se puede visualizar que tipo de boquilla están utilizando y por lo tanto no se puede hacer el seguimiento y/o corrección por parte de ingeniero de procesos.

Finalmente, el procedimiento del retiro y/o cambio de una boquilla en la línea de galvanizado no es el adecuado, dado que solo jalan de la cadena generando en algunos casos contacto con el zinc y formándose una bola de zinc en la boquilla lo cual dificulta su limpieza; y en otros casos se caen al fondo de la tina y no se recuperan, 50% de probabilidad de poder volver a utilizar una boquilla, hasta que se realiza la limpieza completa de la tina de zinc 2 veces por año (Figura 5.5).

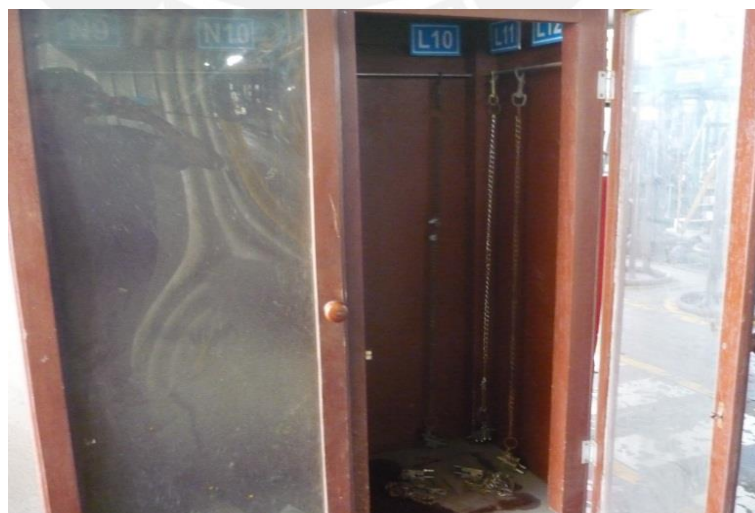


Figura 5.5: Estante actual portaboquilla
Fuente: La empresa

Con esta herramienta se mejorará los siguientes puntos:

a. Empleo la boquilla correcta.

Se tienen boquillas según el diámetro del producto final para un correcto flujo del nitrógeno. Sin embargo es crítico la disponibilidad de las boquillas en la línea, y en muchos casos, éstas se encuentran lejos del área de trabajo. Es necesario hacer comprender a los operadores la importancia de utilizar la boquilla correcta.

b. Limpieza de la boquilla

La limpieza es muy importante ya que asegura el correcto flujo de nitrógeno. Las boquillas no se encuentran en buenas condiciones de limpieza en el momento que se necesitan.

Actualmente un operador se demora unos 45 minutos en cambiar una boquilla y realizar los ajustes respectivos de máquina. El porcentaje de veces que se demora por búsqueda de herramientas es 60%.

En las zonas cercanas a la tina de zinc se dispone del estante de boquillas, el cual se encuentra sin enumerar y desordenado. El tiempo promedio de búsqueda de un operario ha sido de 20 a 30 minutos.

5.1.2.2 Planteamiento de la situación actual: TPM

Aplicar la herramienta de mantenimiento autónomo y preventivo en el área de galvanizado, para disminuir las fallas de las máquinas lo que genera desperdicio reflejado en los tiempos muertos, productos con defectos y generación de altos stock de seguridad.

a. Área de mantenimiento

El área de mantenimiento está compuesta por el gerente de mantenimiento, el jefe de taller y cinco encargados de las funciones del área, las cuales comprenden el mantenimiento de la maquinaria, la administración de los repuestos y los materiales de la maquinaria, señalización y protección de la maquinaria. Se utilizan las órdenes de trabajo para reportar los trabajos realizados.

b. Inventario de repuestos

Es elaborado de forma manual por uno de los encargados del área de mantenimiento. La reposición de materiales está basada en la experiencia del

jefe de taller y de la persona encargada del inventario de repuestos. Asimismo, se tiene un control de lo que se ingresa a través de un formato de recepción de materiales.

c. Mantenimiento actual

Actualmente no se tienen mantenimientos de máquina programados y se atienden las fallas conforme se presenten. El índice de fallas presentadas al año es de 15%.

Toda la maquinaria que se utiliza es cambiada continuamente debido al trabajo que realiza y a las condiciones extremas de calor y corrosión. Entre éstos podemos mencionar los rodillos, las guías, las cadenas. Además, La limpieza de las boquillas y del equipo DDK demanda un tiempo considerable, para cualquier tipo de limpieza (limpieza fácil o complicada) lo realiza el personal de mantenimiento. El tiempo que se demora en devolver las boquillas limpias es de 1 día hasta incluso 2 días dependiendo de la dificultad de la limpieza y de la cantidad de boquillas llevadas para su mantenimiento. Por otro lado, la falta de limpieza en el interior del equipo DDK genera errores en la lectura de la capa del alambre, requiriendo una limpieza de una vez al día realizada por el área de mantenimiento (Figura 5.6).



Figura 5.6: Imagen del equipo DDK
Fuente: La empresa

El área de galvanizado comprende una serie de controles, pero estos no garantizan óptimas condiciones para el recubrimiento del alambre. Estos controles comprenden:

- **Empleo de la boquilla correcta.** La utilización correcta de boquilla de acuerdo al diámetro del alambre y la cantidad de capa de zinc que se requiere según las especificaciones del producto.
- **Limpieza de la boquilla.** Los operadores no tienen claro en qué momento realizar la limpieza de las boquillas y sólo lo hacen cada vez que una de las hebras se detiene. Cuando ocurre esto, la limpian y en el peor de los casos, la reemplazan.
- **Posición de la hebra.** La posición de la hebra es fundamental para la capa de zinc en el alambre. En la Figura 5.7, se observa que cuando la hebra no está centrada, la capa de zinc será mayor a la establecida. Esto se produce por el empleo de la boquilla incorrecta y por las vibraciones del equipo. Además se observa que sólo está controlada en los primeros diez minutos. La gráfica ha sido realizada en un rango de 60 minutos.

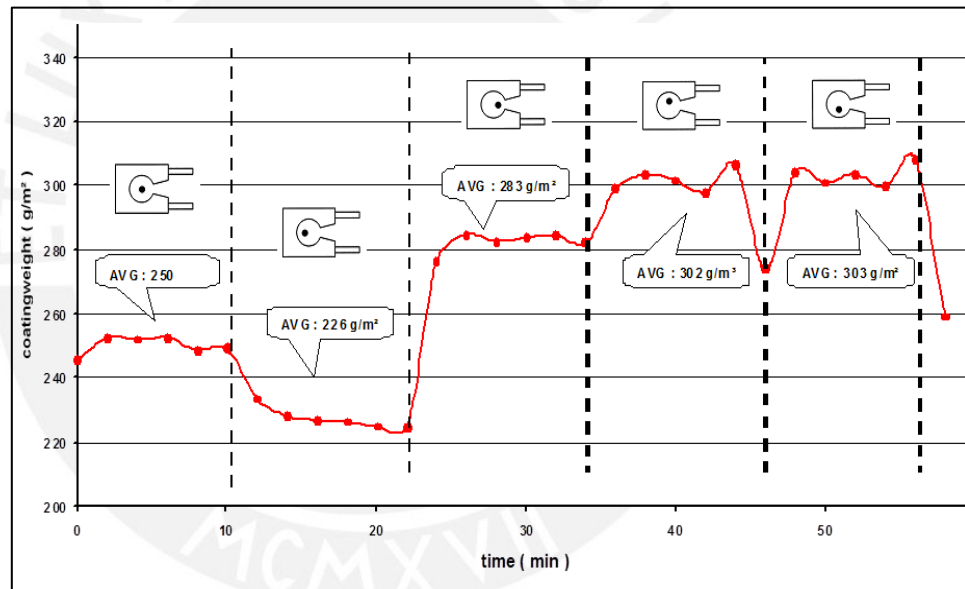


Figura 5.7: Seguimiento de la posición de la hebra en la boquilla en un rango de una hora
Fuente: La empresa

- **Vibración del alambre.** La maquinaria rotativa produce vibraciones mecánicas cuya intensidad puede exceder los límites admisibles y pone en peligro la funcionalidad del equipo. Las causas pueden ser la falla de rodamientos y cojinetes, problemas de engranaje y correa de transmisión, desgaste de piezas internas, excentricidad.

Actualmente, 12 líneas utilizan el sistema Jet Wipe y cada línea requiere pasar por 7 rodillos tensionadores que permiten reducir la vibración en el alambre y por ende la variación en la capa de

recubrimiento. Estos juegos de rodillos tensionadores se encuentran intercaladas arriba y abajo entre cada línea. Sin embargo, algunos rodillos no giran o no hacen contacto con el alambre por falta de mantenimiento y/o cambio de rodillos. Además, los tornillos que permite ajustar la vibración no ajustan. (Figura 5.8)



Figura 5.8: Rodillos tensionadores para disminuir la vibración del alambre
Fuente: La empresa

- **Limpeza de la tina de zinc.** La acumulación de óxido de zinc en la tina puede ser arrastrada por el alambre y quedar atrapado temporalmente en la boquilla. Los operadores no tienen claro en qué momento deben realizar la limpieza en la tina de zinc.
- **Calibración del sistema DDK.** Se producen errores de lectura al emplear boquillas sucias, al no estar concéntrico el alambre y al haber residuos de zinc en el equipo DDK.

5.2 Análisis de datos

Los datos para análisis fueron obtenidos durante los meses de enero y marzo del 2012. Se analizarán estadísticamente cuales son las variables que influyen significativamente en el recubrimiento del alambre galvanizado (Ver Tabla 4.4).

A continuación se realizará el análisis de varianza de los siguientes factores:

- Longitud de inmersión (Tina de zinc)
- Temperatura (Tina de zinc)
- Concentración Flux (°Brix)
- Temperatura (Flux)
- Velocidad del recogido (m/min)

5.2.1 Análisis de varianza de la longitud de inmersión

a. Cálculo del tamaño mínimo de la muestra

Para el cálculo se determinó una potencia de 0.8; una desviación estándar de 25 g/m² y la diferencia máxima entre medias es 40. Por lo tanto se requiere como mínimo un tamaño de la muestra igual a 8 para un factor de 2 niveles (Ver Figura 5.9).

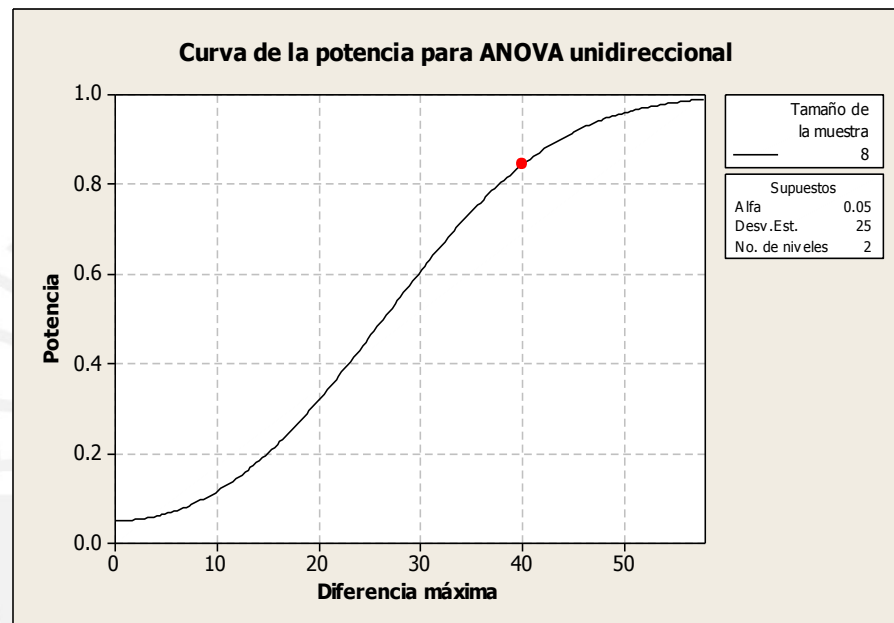


Figura 5.9: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la longitud de inmersión
Fuente: La empresa
Elaboración propia

b. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

Según la Figura 5.10, se puede observar que el valor de P es mayor que 0.05 tanto en la longitud de inmersión de 2.4 m y 3.3 m. Por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

c. Igualdad de varianzas

Según la Figura 5.11, el valor de P tanto en la prueba F y de Levene es mayor que 0.05. Por lo tanto, estos datos no proveen evidencia suficiente para declarar que las poblaciones tienen varianzas desiguales, es decir los datos están normalmente distribuidos con varianzas iguales entre los niveles de factores.

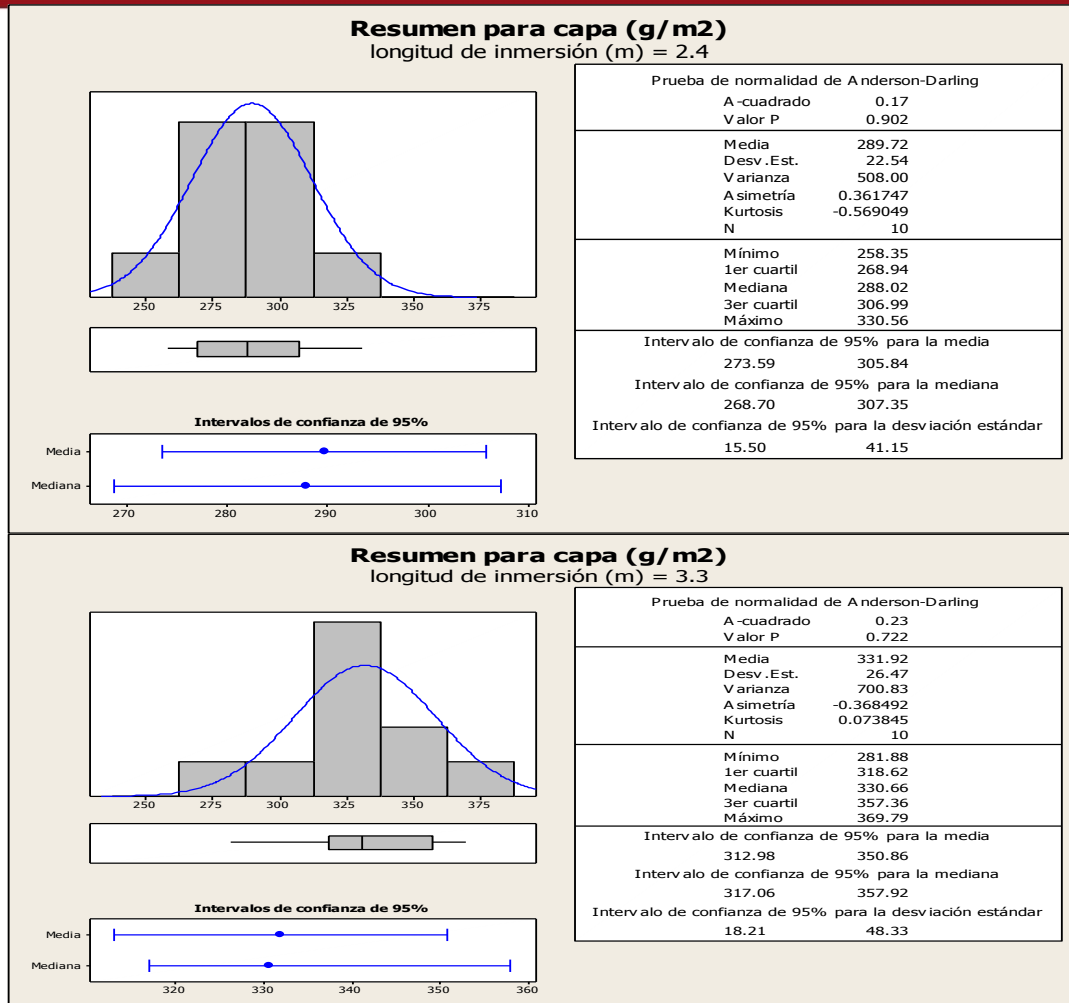


Figura 5.10: Resumen para longitud de inmersión 2.4 m y 3.3 m

Fuente: La empresa
Elaboración propia

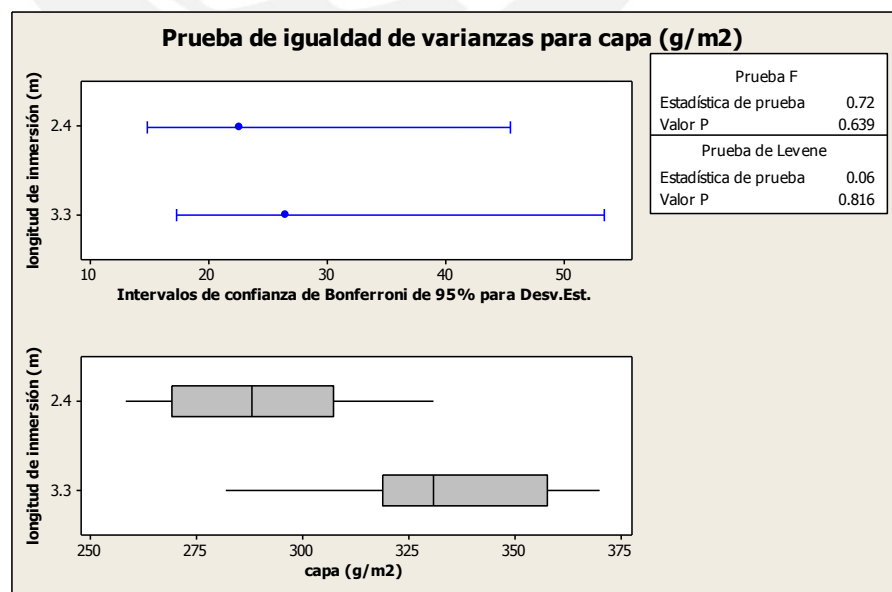


Figura 5.11: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m²) y la longitud de inmersión (m)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

d. Independencia de los grupos de valores

Según el análisis de datos en Minitab, la correlación de Pearson entre la capa (g/m²) y la longitud de inmersión (m) es 0.671 y el valor P es igual a 0.001 (se rechaza H₀: $\rho=0$, donde ρ es la correlación entre un par de variables). Por lo tanto, los datos tienden a presentar una correlación positiva entre las variables.

e. Análisis de varianza

Según el reporte del Anova de Minitab, el valor de P es menor que 0.05; entonces, se rechaza H₀ (las medias de los niveles de los factores son iguales) y por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa (las medias de los niveles son diferentes), es decir la longitud de inmersión influye en la masa de zinc en el alambre.

ANOVA unidireccional: capa (g/m²) vs. Longitud de inmersión (m)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Longitud de inmersión (m)	1	8905	8905	14.73	0.001
Error	18	10879	604		
Total	19	19784			

S = 24.58 R-cuad. = 45.01% R-cuad.(ajustado) = 41.95%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	IC Inferior	IC Superior
2.4	10	289.72	22.54	(-----*-----)	-----+-----+-----+-----+-----
3.3	10	331.92	26.47	(-----*-----)	-----+-----+-----+-----+-----

-----+-----+-----+-----+-----
280 300 320 340

Desv.Est. agrupada = 24.58

f. Validación de los resultados

Según la Figura 5.12, los residuos cumplen una distribución normal, los datos muestran un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0 y respecto al orden de observación de los residuos se muestra que no hay una correlación unos a otros.

g. Intervalo de confianza

En la Figura 5.13, se muestra la diferencia de los grupos de datos al variar la longitud de inmersión del alambre.

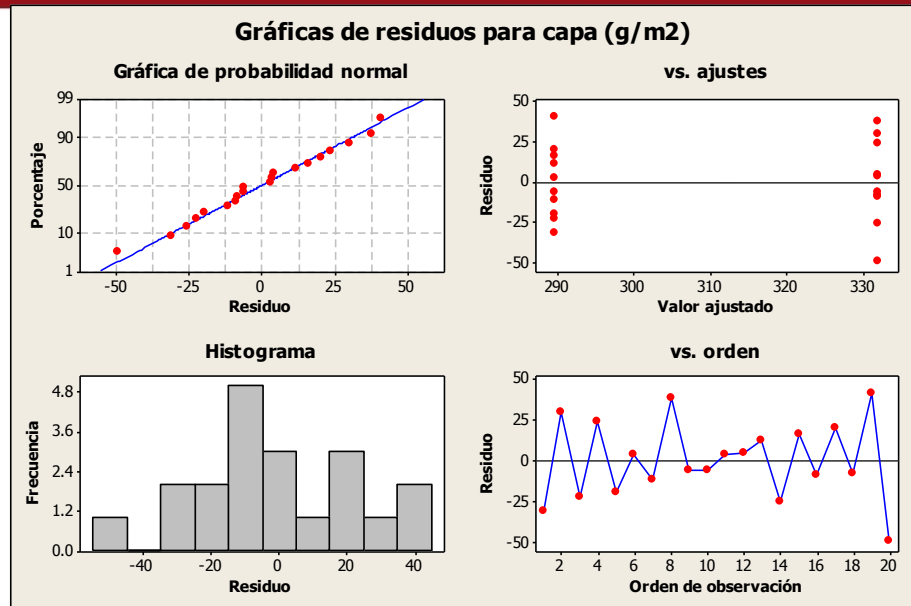


Figura 5.12: Gráfica de residuos para la capa (g/m²) y la longitud de inmersión (m)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

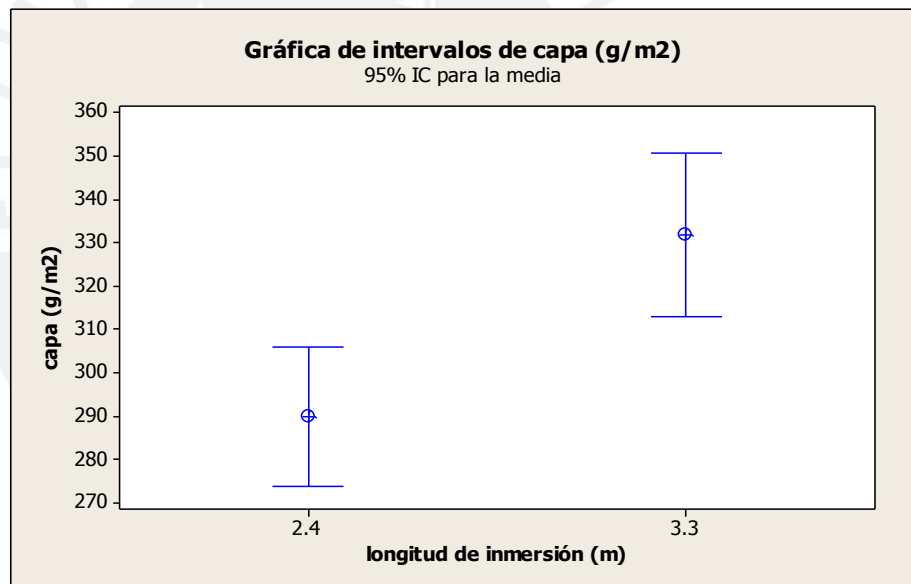


Figura 5.13: Gráfica de intervalos para la capa (g/m²) vs la longitud de inmersión (m)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

5.2.2 Análisis de varianza de la temperatura en la tina de zinc

a. Cálculo del tamaño mínimo de la muestra

Para el cálculo se determinó una potencia de 0.8; una desviación estándar de 20 g/m² y la diferencia máxima entre medias es 30. Por lo tanto se requiere como mínimo un tamaño de la muestra igual a 12 para un factor de 5 niveles (Ver Figura 5.14).

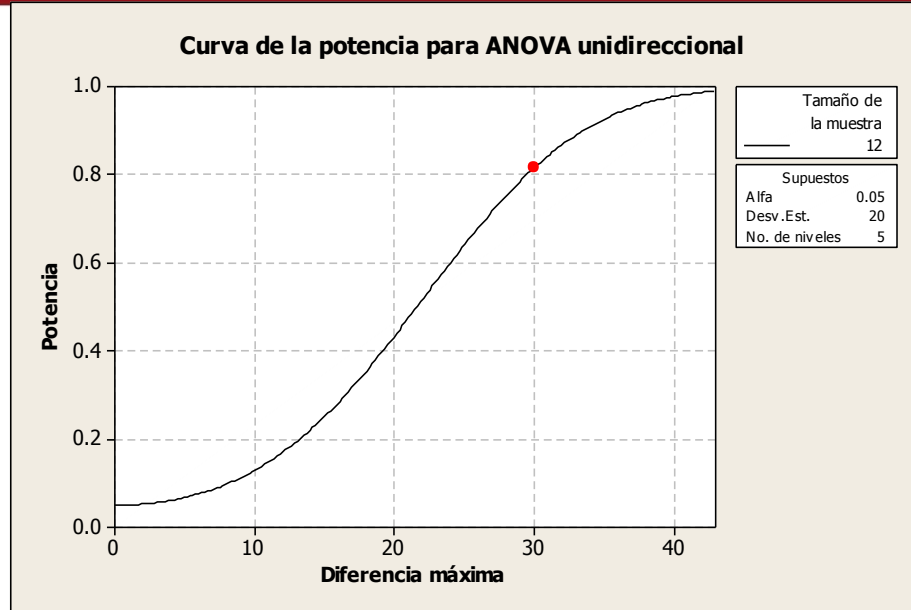
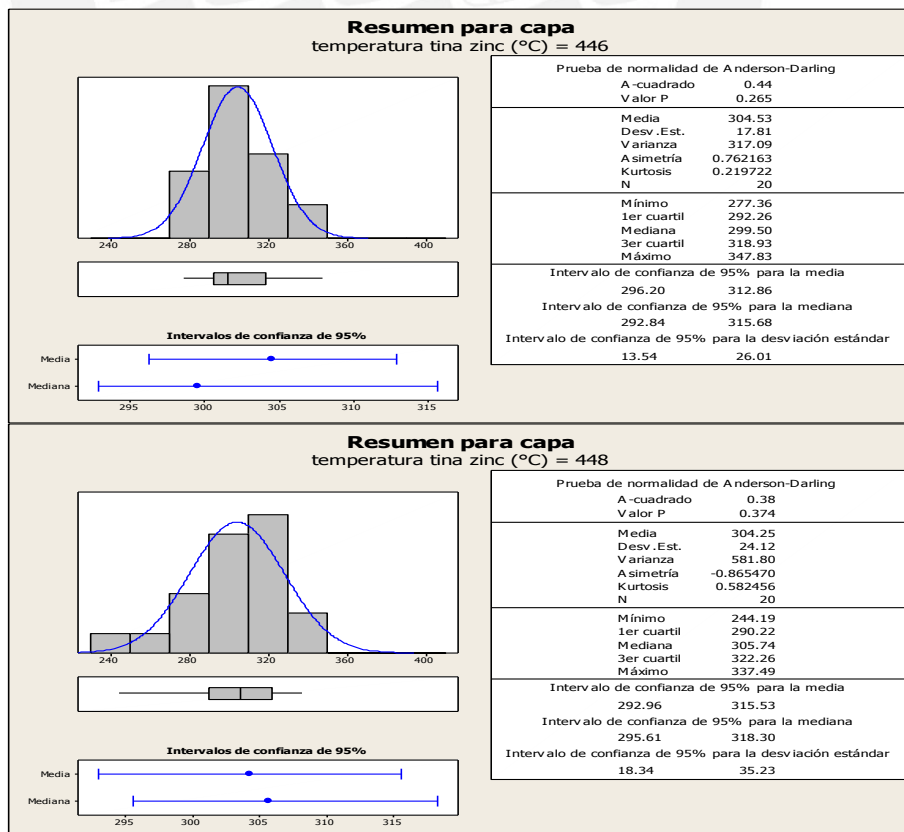


Figura 5.14: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la temperatura del zinc
Fuente: La empresa
Elaboración propia

b. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

Según la Figura 5.15, se puede observar que el valor de P es mayor que 0.05 en las diferentes temperaturas de la tina del zinc (446 ° C, 448 ° C, 450 ° C, 452 ° C y 454 ° C). Por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.



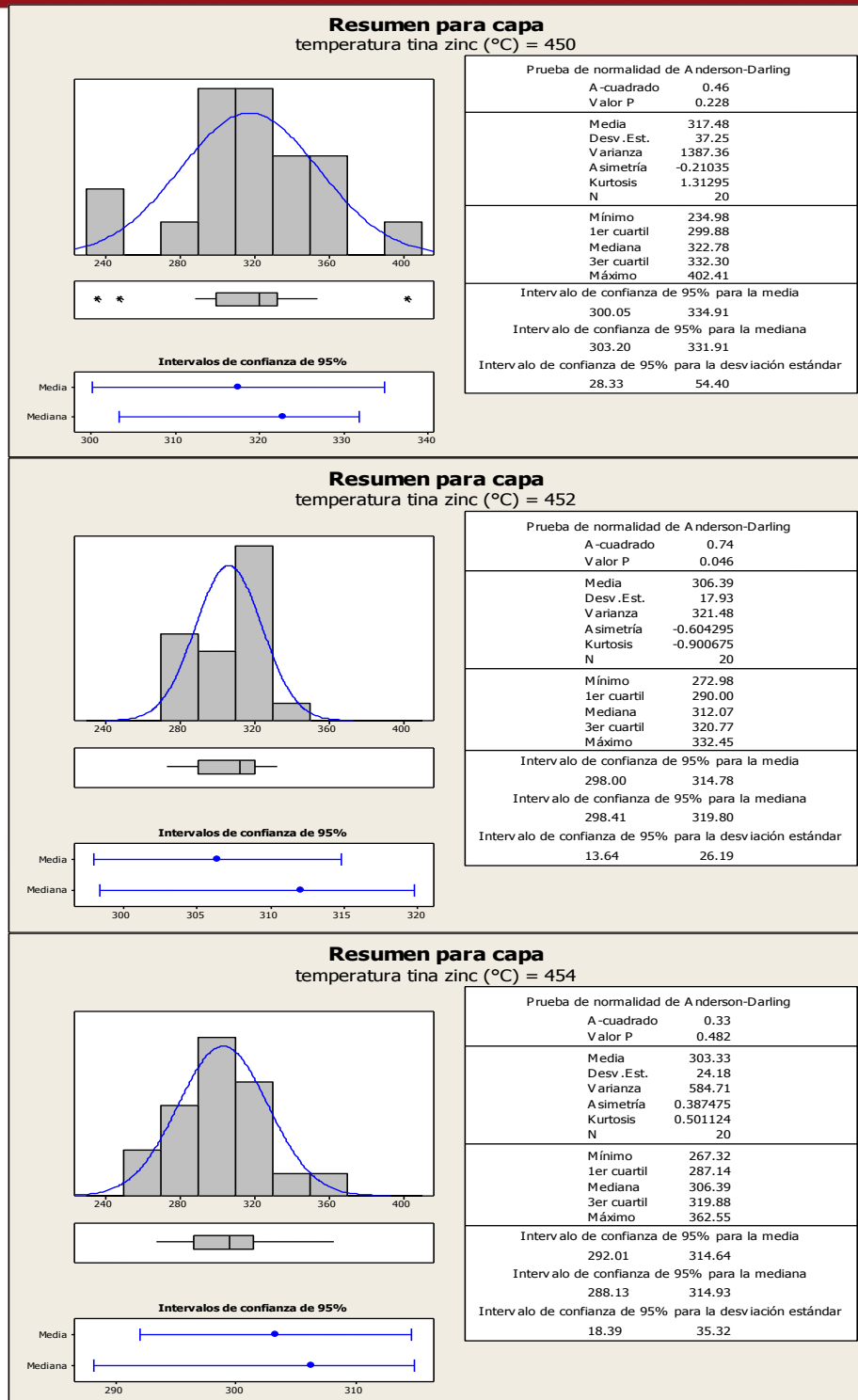


Figura 5.15: Resumen para la temperatura en la tina de zinc

Fuente: La empresa
Elaboración propia

c. Igualdad de varianzas

Según la Figura 5.16, el valor de P en la prueba Levene es mayor que 0.05. Por lo tanto, estos datos no proveen evidencia suficiente para declarar que las

poblaciones tienen varianzas desiguales, es decir los datos están normalmente distribuidos con varianzas iguales entre los niveles de factores.

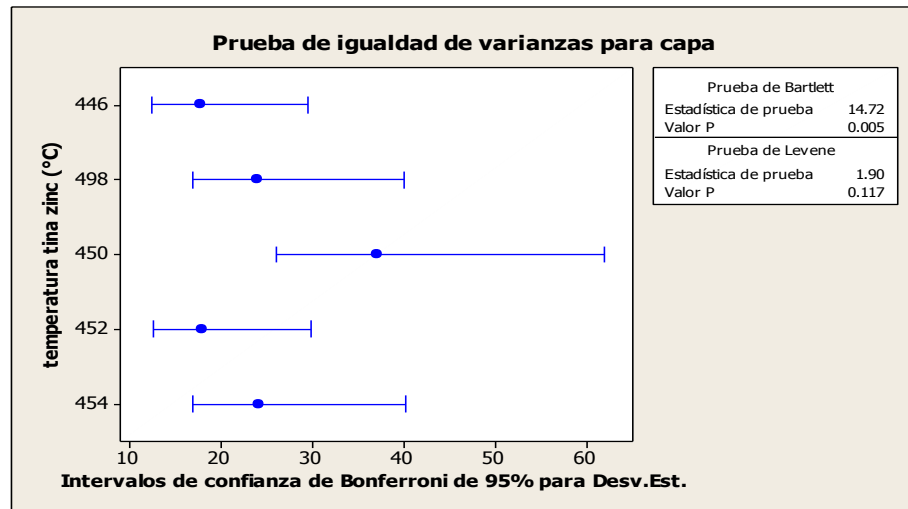


Figura 5.16: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m²) y la temperatura de la tina zinc (m)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

d. Independencia de los grupos de valores

Según el análisis de datos en Minitab, la correlación de Pearson entre la capa (g/m²) y la temperatura tina zinc (°C) es -0.001 y el valor P (0.988) es mayor que 0.05 (se acepta H₀: ρ=0, donde ρ es la correlación entre un par de variables). Por lo tanto, los datos no tienden a presentar una correlación entre las variables.

e. Análisis de varianza

Según el reporte del Anova de Minitab, el valor de P es mayor que 0.05; entonces, se acepta H₀ (las medias de los niveles de los factores son iguales).

ANOVA unidireccional: capa vs. Temperatura tina zinc (°C)

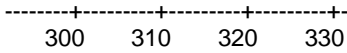
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Temperatura tina zinc	4	2743	686	1.07	0.374
Error	95	60656	638		
Total	99	63399			

S = 25.27 R-cuad. = 4.33% R-cuad. (ajustado) = 0.30%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel N Media Desv.Est. -----+-----+-----+-----+

446	20	304.53	17.81	(-----*-----)
448	20	304.25	24.12	(-----*-----)
450	20	317.48	37.25	(-----*-----)
452	20	306.39	17.93	(-----*-----)
454	20	303.33	24.18	(-----*-----)



Desv.Est. agrupada = 25.27

f. Validación de los resultados

En la Figura 5.17, los residuos cumplen una distribución normal, los datos muestran un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0 y respecto al orden de observación de los residuos se muestra que no hay una correlación unos a otros.

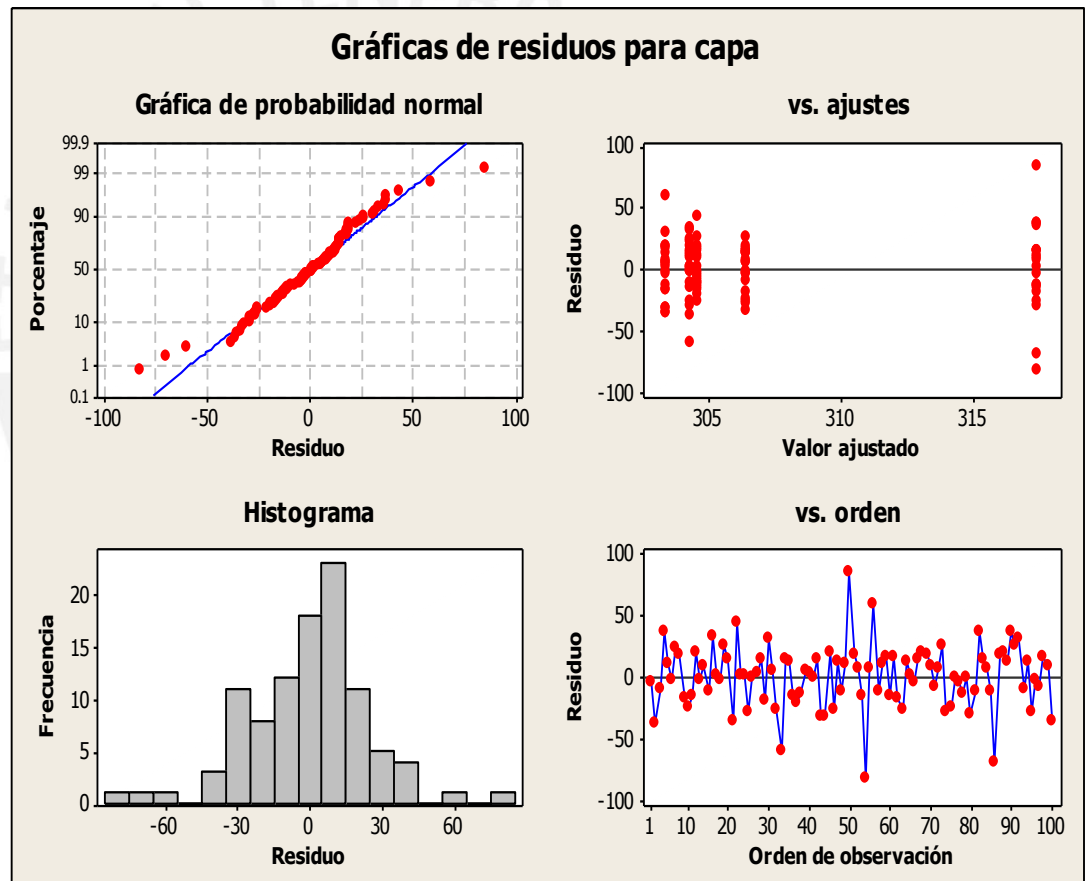


Figura 5.17: Gráfica de residuos para la capa (g/m²) y temperatura de la tina zinc (°C)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

g. Intervalo de confianza

En la Figura 5.18, no se muestra alguna diferencia significativa entre los grupos.

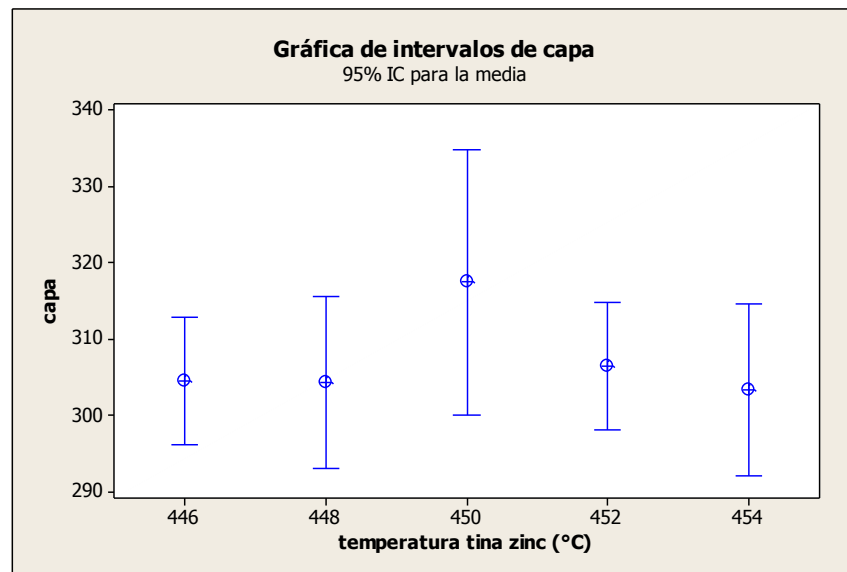


Figura 5.18: Gráfica de intervalos para la capa (g/m²) vs la temperatura de la tina zinc (°C)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

5.2.3 Análisis de varianza de la concentración del flux

a. Cálculo del tamaño mínimo de la muestra

Para el cálculo se determinó una potencia de 0.8; una desviación estándar de 20 g/m² y la diferencia máxima entre medias es 30. Por lo tanto se requiere como mínimo un tamaño de la muestra igual a 10 para un factor de 3 niveles (Figura 5.19).

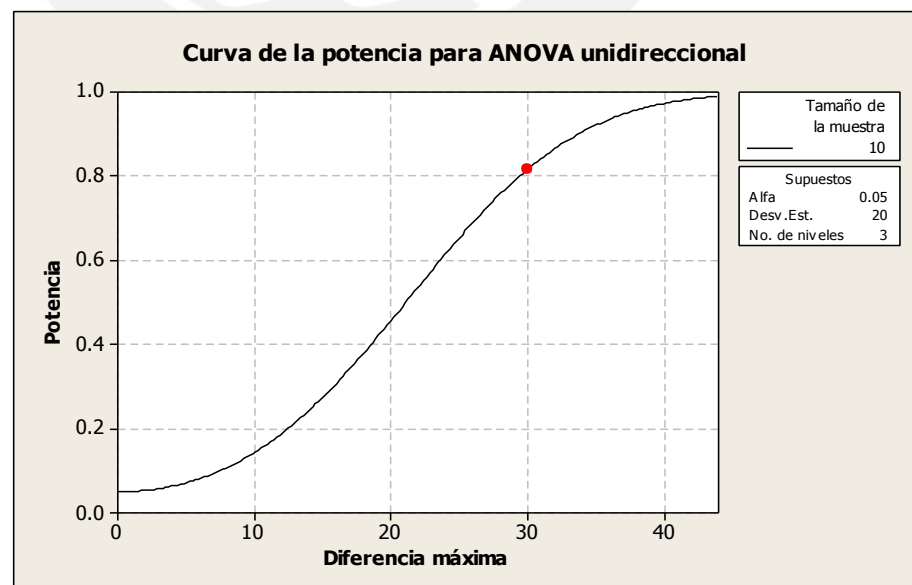


Figura 5.19: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la concentración del flux
Fuente: La empresa
Elaboración propia

b. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

En la Figura 5.20, se puede observar que el valor de P es mayor que 0.05 en las diferentes concentraciones del flux (13, 14 y 15 °Brix). Por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

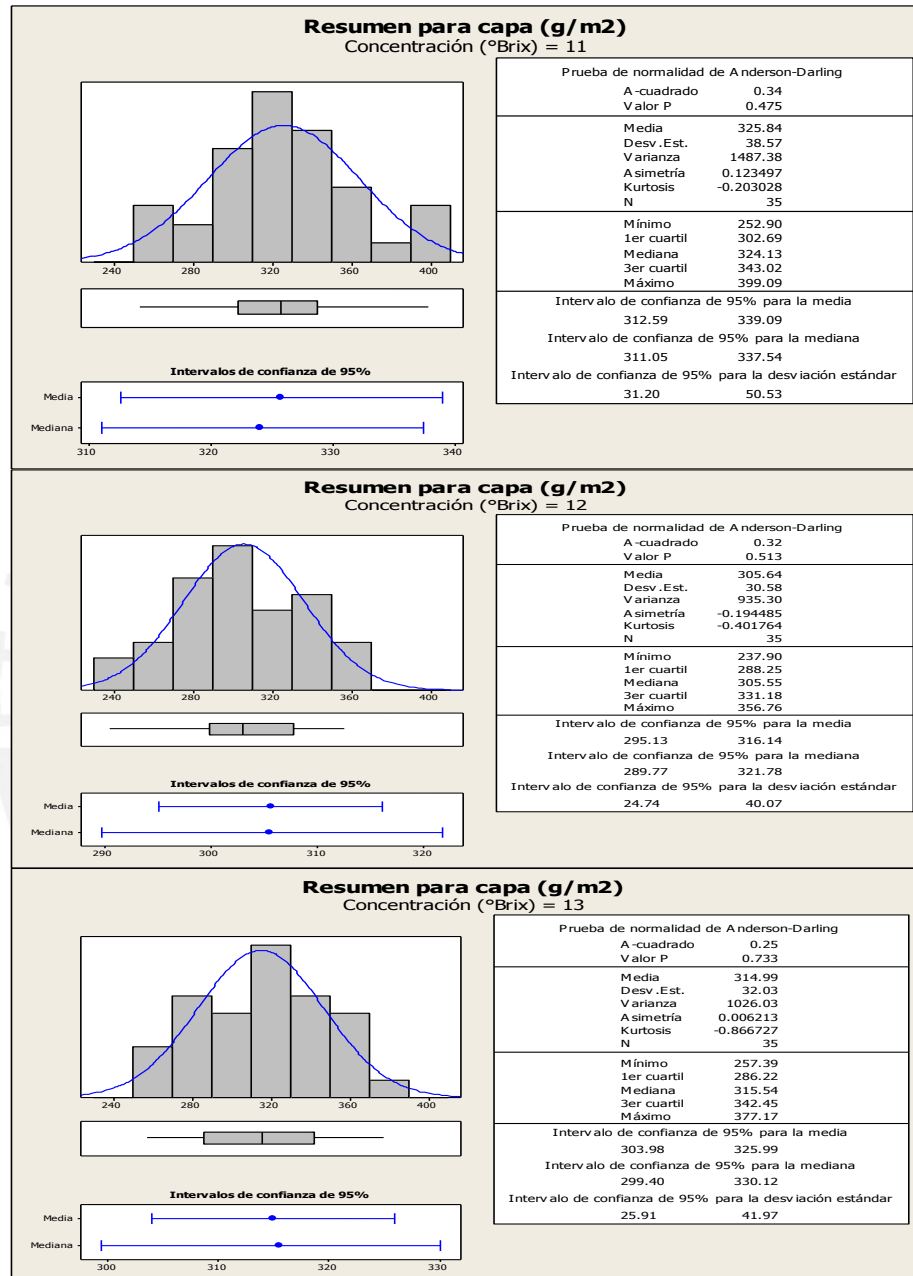


Figura 5.20: Resumen para la concentración del flux (°Brix)

Fuente: La empresa

Elaboración propia

c. Igualdad de varianzas

Según la Figura 5.21, el valor de P en la prueba Levene es mayor que 0.05. Por lo tanto, estos datos no proveen evidencia suficiente para declarar que las

poblaciones tienen varianzas desiguales, es decir los datos están normalmente distribuidos con varianzas iguales entre los niveles de factores.

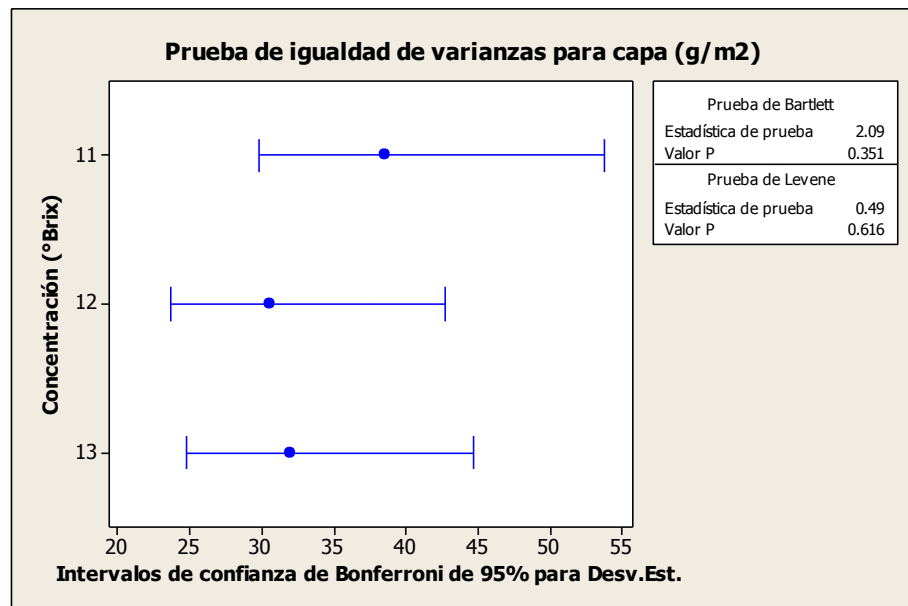


Figura 5.21: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m2) y concentración del flux (°Brix)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

d. Independencia de los grupos de valores

Según el análisis de datos en Minitab, la correlación de Pearson entre la capa (g/m2) y concentración del flux (°Brix) es -0.129 y el valor P (0.191) es mayor que 0.05 (se acepta $H_0: \rho=0$, donde ρ es la correlación entre un par de variables). Por lo tanto, los datos no tienden a presentar una correlación entre las variables.

e. Análisis de varianza

Según el reporte del Anova de Minitab, el valor de P es menor que 0.05; entonces, se rechaza H_0 (las medias de los niveles de los factores son iguales) y por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa (las medias de los niveles son diferentes), es decir la concentración del flux influyen en la masa de zinc en el alambre.

ANOVA unidireccional: capa (g/m2) vs. Concentración del flux (°Brix)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Concentración Flux	2	7153	3577	3.11	0.049
Error	102	117256	1150		
Total	104	124409			

S = 33.91 R-cuad. = 5.75% R-cuad.(ajustado) = 3.90%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.
11	35	325.84	38.57
12	35	305.64	30.58
13	35	314.99	32.03

Desv.Est. agrupada = 33.9

f. Validación de los resultados

En la Figura 5.22, los residuos cumplen una distribución normal, los datos muestran un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0 y respecto al orden de observación de los residuos se muestra que no hay una correlación unos a otros.

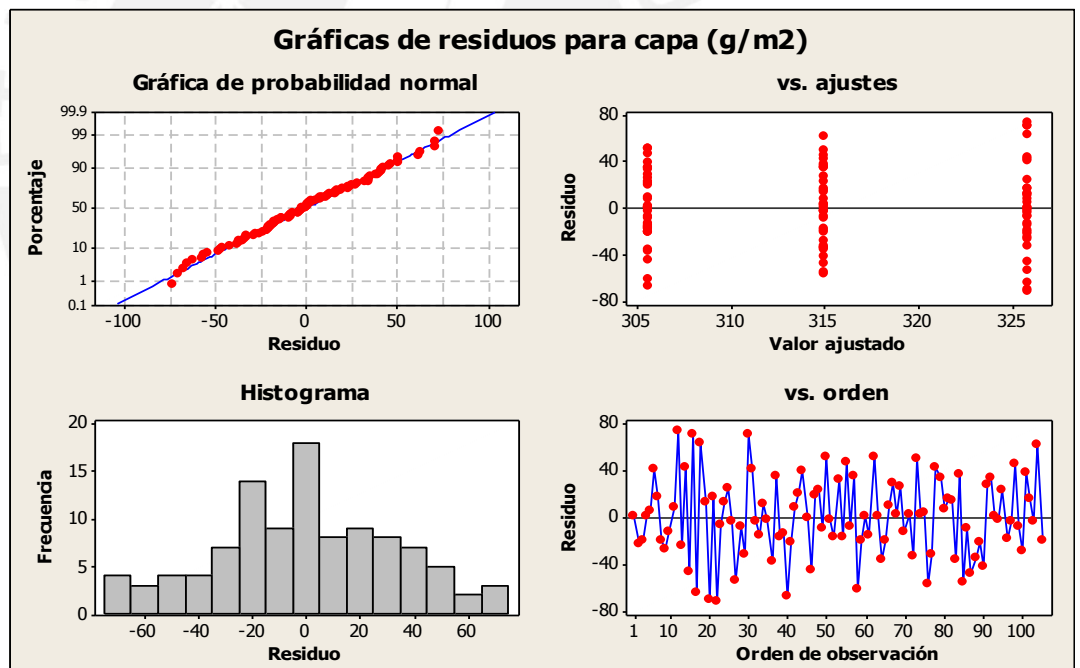


Figura 5.22: Gráfica de residuos para la capa (g/m²) y concentración del flux (°Brix)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

g. Intervalo de confianza

En la Figura 5.23, aunque las medias parecen ser diferentes, la diferencia probablemente no es significativa porque todas las barras de intervalos se superponen fácilmente.

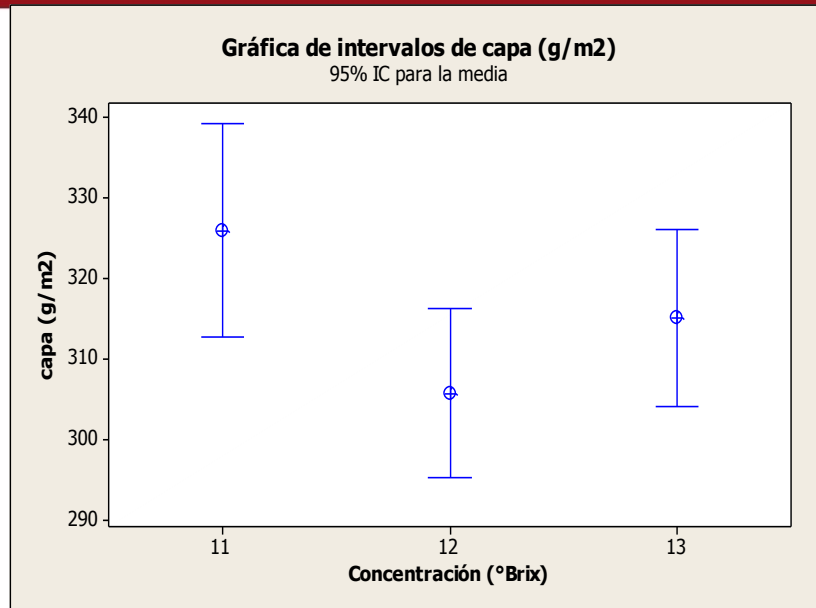


Figura 5.23: Gráfica de intervalos para la capa (g/m²) vs concentración del flux (°Brix)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

5.2.4 Análisis de varianza de la Temperatura del flux

a. Cálculo del tamaño mínimo de la muestra

Para el cálculo se determinó una potencia de 0.8; una desviación estándar de 20 g/m² y la diferencia máxima entre medias es 20. Por lo tanto se requiere como mínimo un tamaño de la muestra igual a 25 para un factor de 5 niveles (Ver Figura 5.24).

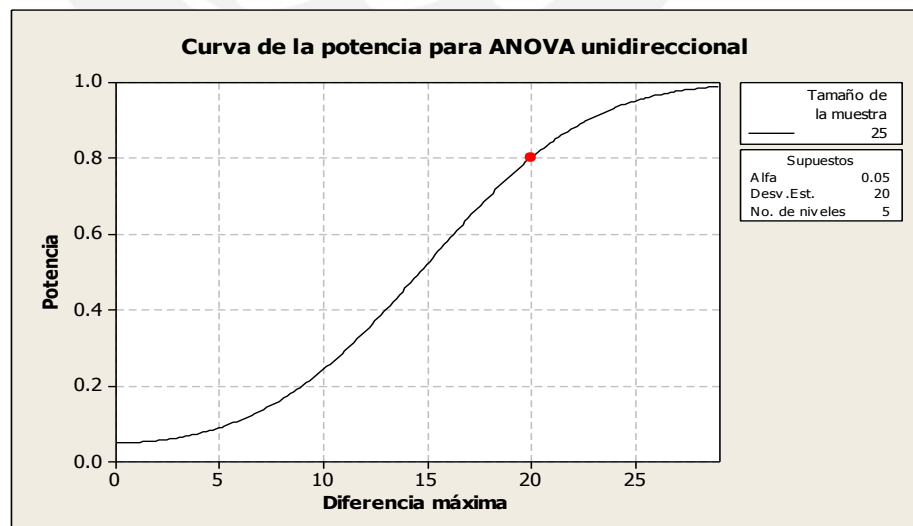
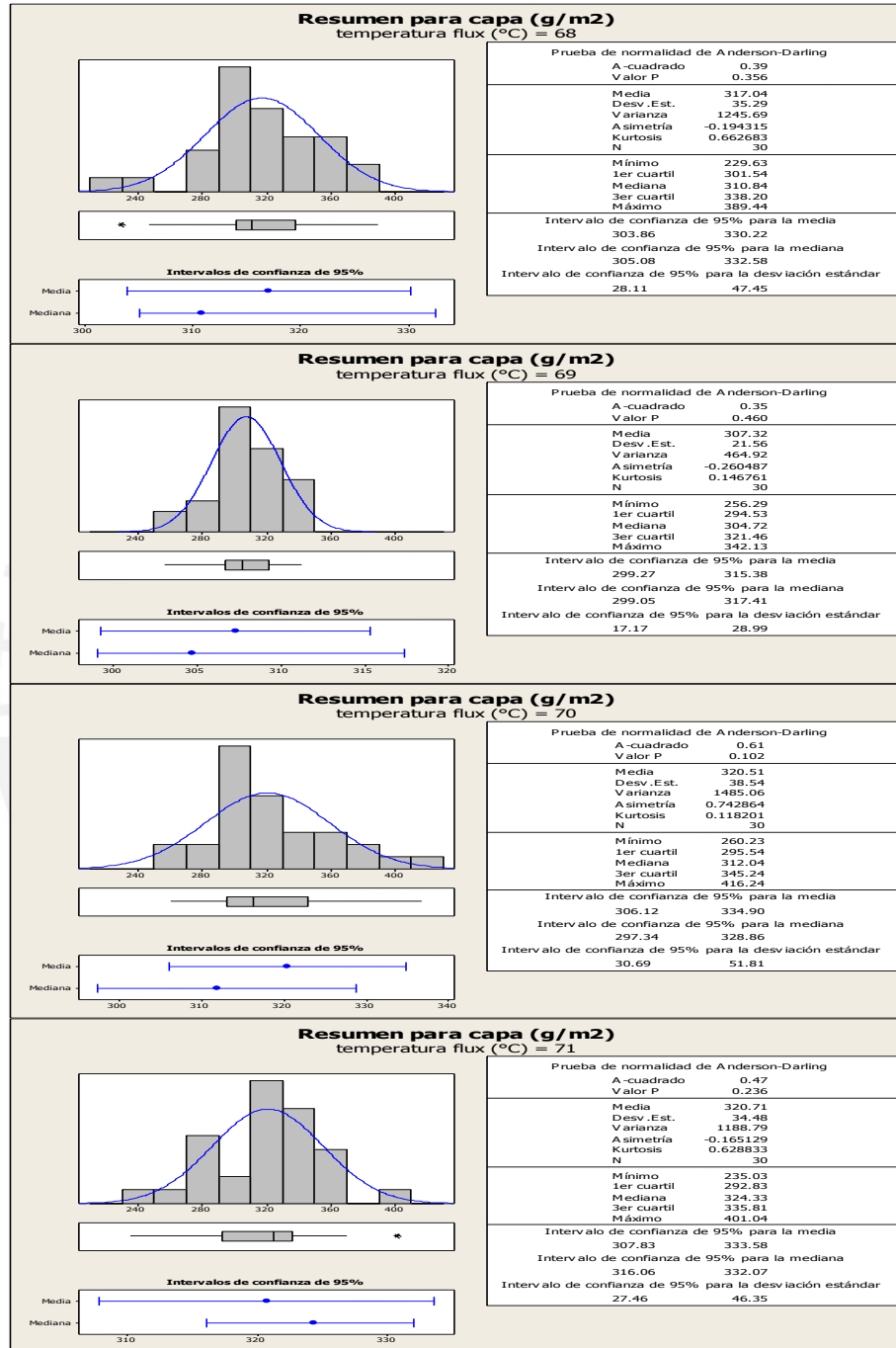


Figura 5.24: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la temperatura del flux
Fuente: La empresa
Elaboración propia

b. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

En la Figura 5.25, se puede observar que el valor de P es mayor que 0.05 en las diferentes temperaturas del flux (68, 69, 70, 71 y 72 °C). Por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.



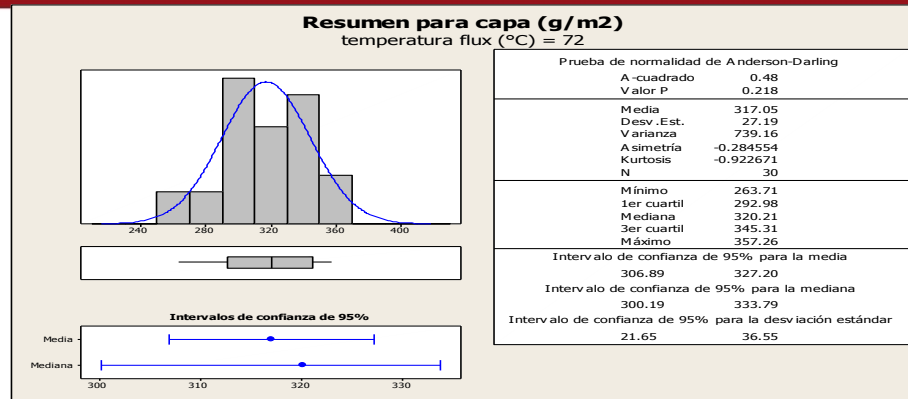


Figura 5.25: Resumen para la temperatura del flux (°C)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

c. Igualdad de varianzas

Según la Figura 5.26, el valor de P en la prueba Levene es mayor que 0.05. Por lo tanto, estos datos no proveen evidencia suficiente para declarar que las poblaciones tienen varianzas desiguales, es decir los datos están normalmente distribuidos con varianzas iguales entre los niveles de factores.

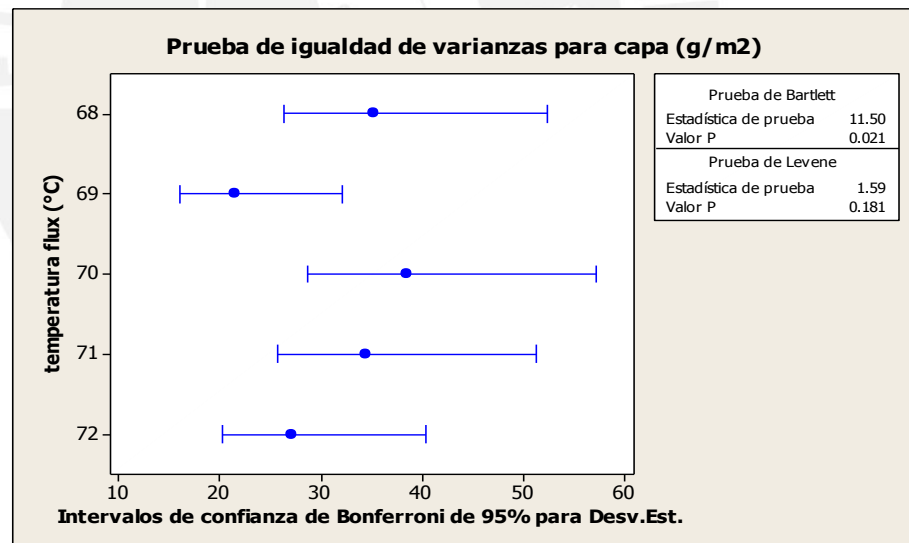


Figura 5.26: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m2) y temperatura del flux (°C)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

d. Independencia de los grupos de valores

Según el análisis de datos en Minitab, la correlación de Pearson entre la capa (g/m2) y la temperatura del flux (°C) es 0.059 y el valor P (0.471) es mayor que 0.05 (se acepta $H_0: \rho=0$, donde ρ es la correlación entre un par de variables). Por lo tanto, los datos no tienden a presentar una correlación entre las variables.

e. Análisis de varianza

Según el reporte del Anova de Minitab, el valor de P es mayor que 0.05; entonces, se acepta H_0 (las medias de los niveles de los factores son iguales). Por lo que la temperatura del flux no influye en la capa del alambre.

ANOVA unidireccional: capa (g/m2) vs. temperatura flux (°C)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
temperatura flux (°C)	4	3558	889	0.87	0.485
Error	145	148585	1025		
Total	149	152143			

S = 32.01 R-cuad. = 2.34% R-cuad.(ajustado) = 0.00%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.
68	30	317.04	35.29
69	30	307.32	21.56
70	30	320.51	38.54
71	30	320.71	34.48
72	30	317.05	27.19

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 300 310 320 330

Desv.Est. agrupada = 32.01

f. Validación de los resultados

En la Figura 5.27, los residuos cumplen una distribución normal, los datos muestran un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0 y respecto al orden de observación de los residuos se muestra que no hay una correlacionan unos a otros.

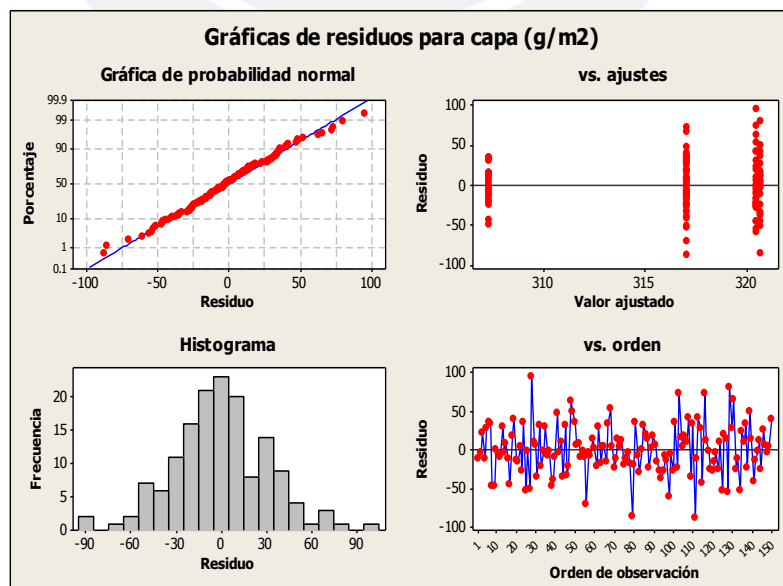


Figura 5.27: Gráfica de residuos para la capa (g/m2) y la temperatura del flux (°C)
 Fuente: La empresa
 Elaboración propia

g. Intervalo de confianza

En la Figura 5.28, no se muestra alguna diferencia significativa entre los grupos.

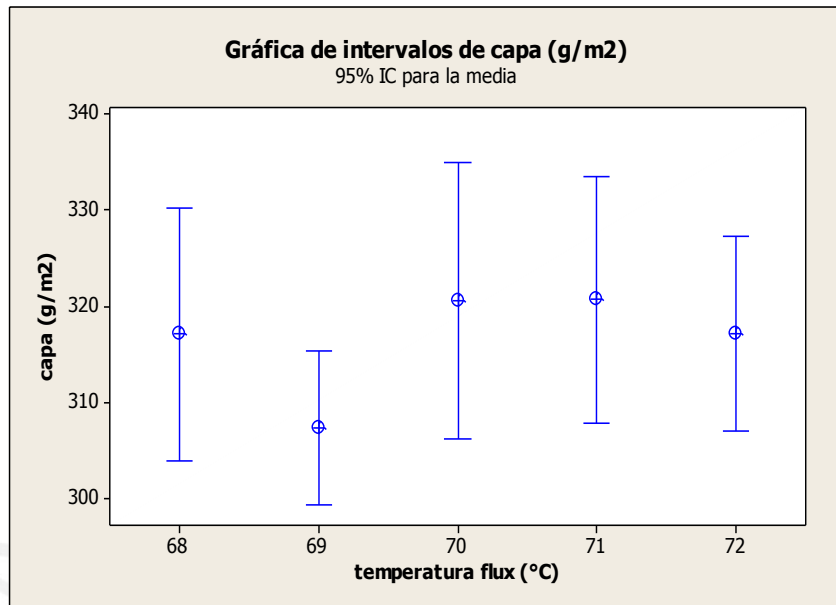


Figura 5.28: Gráfica de intervalos para la capa (g/m²) vs la temperatura del flux (°C)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

5.2.5 Análisis de varianza de la velocidad del alambre

a. Cálculo del tamaño mínimo de la muestra

Para el cálculo se determinó una potencia de 0.8; una desviación estándar de 25 g/m² y la diferencia máxima entre medias es 50. Por lo tanto se requiere como mínimo un tamaño de la muestra igual a 8 para un factor de 6 niveles (Figura 5.29).

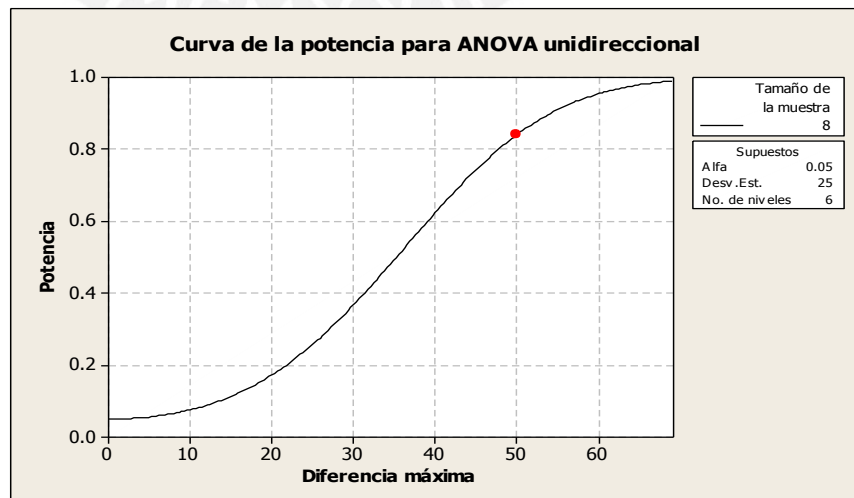
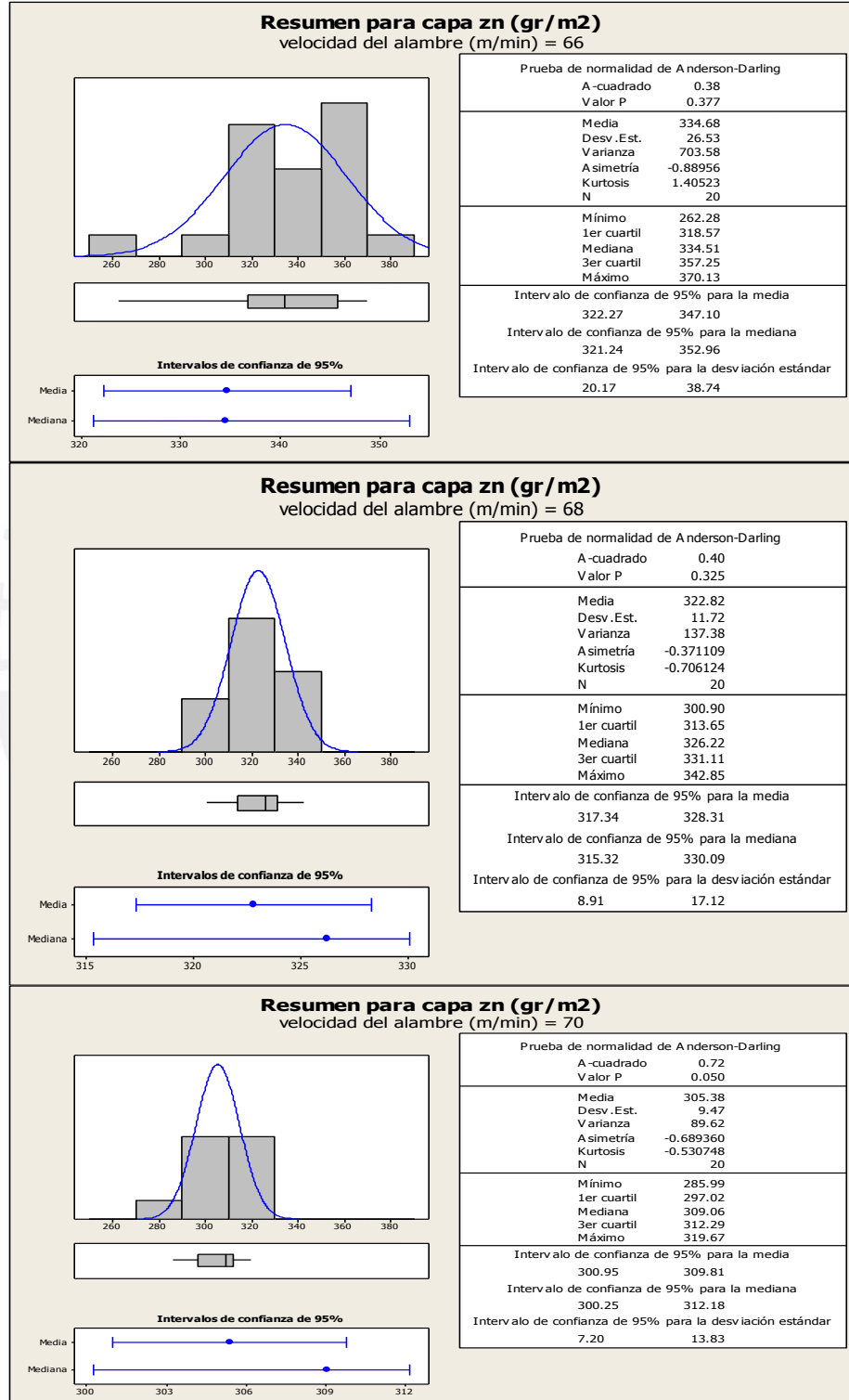


Figura 5.29: Curva de la potencia para ANOVA unidireccional para la velocidad del alambre (m/min)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

b. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

Según la Figura 5.30, se puede observar que el valor de P es mayor que 0.05 en las diferentes velocidades del alambre (66, 68, 70, 72, 74 y 76 m/min). Por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.



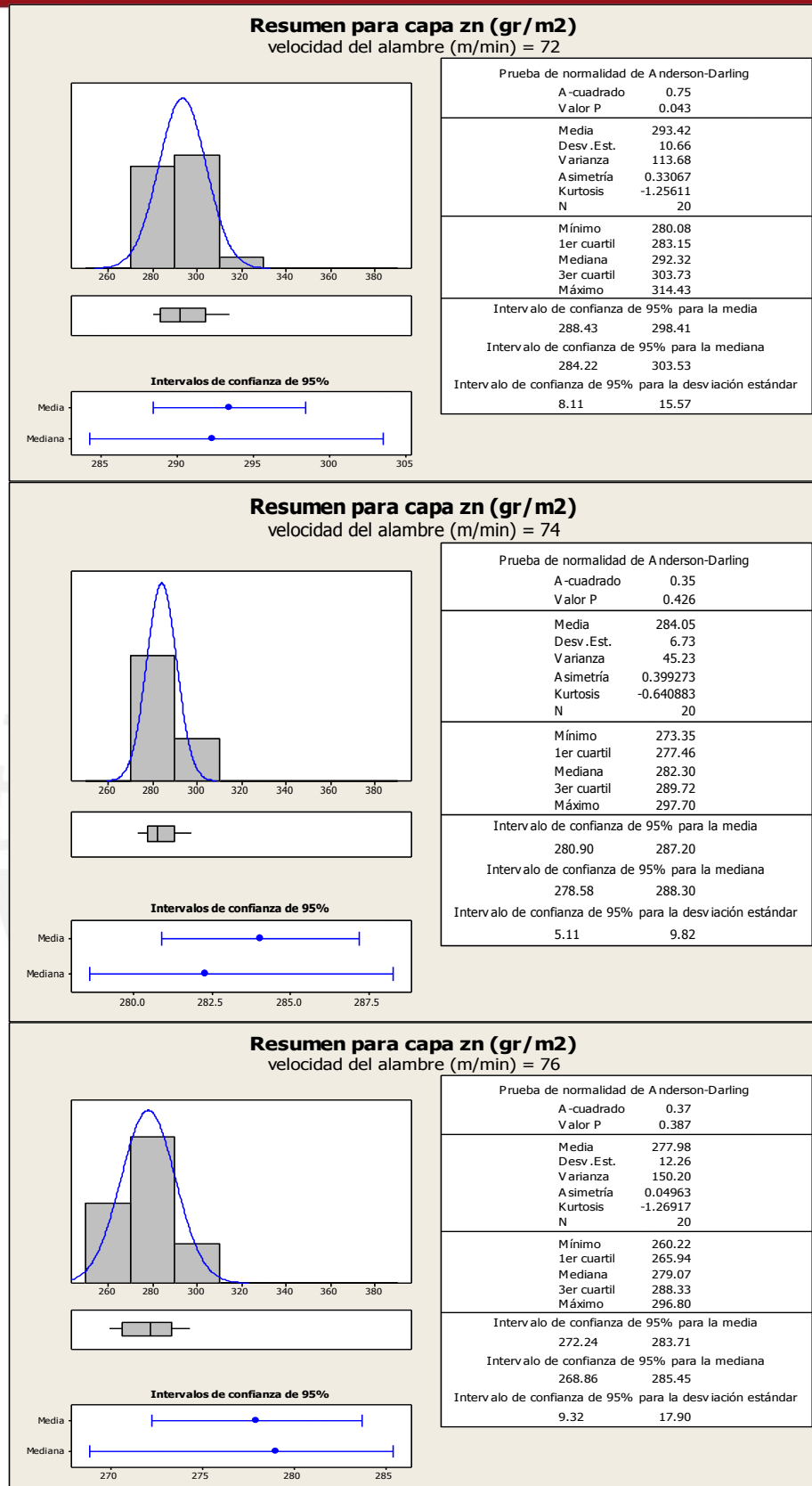


Figura 5.30: Resumen para la velocidad del alambre (m/min)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

c. Igualdad de varianzas

En la Figura 5.31, el valor de P tanto en la prueba Bartlett y de Levene es menor que 0.05. Por lo tanto, las varianzas de los grupos de datos no son iguales.

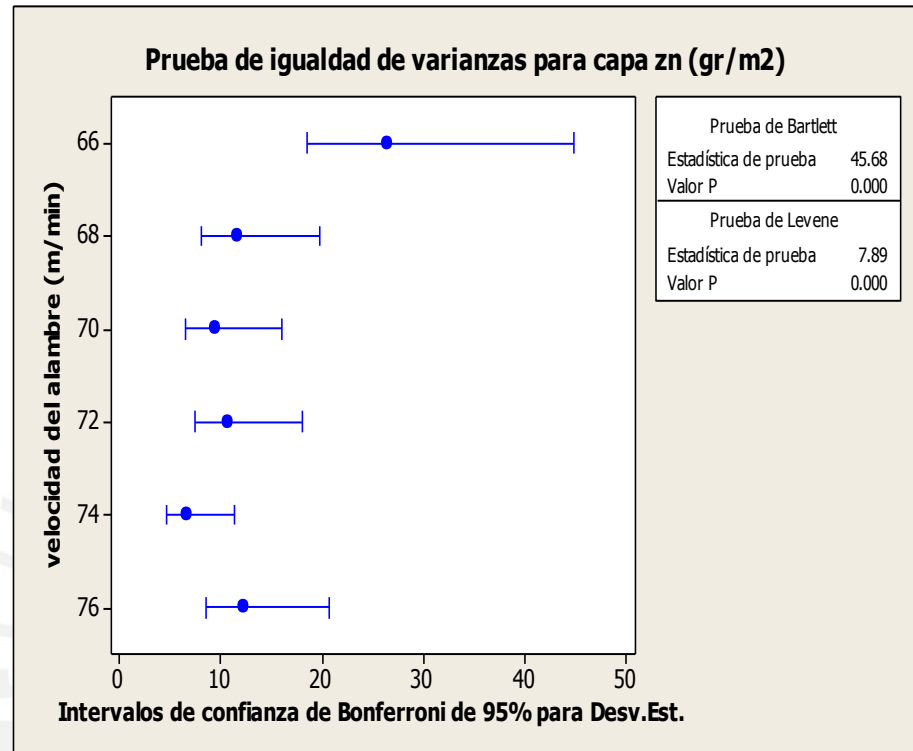


Figura 5.31: Prueba de igualdad de varianzas para la capa (g/m²) y la velocidad del alambre (m/min)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

d. Independencia de los grupos de valores

Según el análisis de datos en Minitab, la correlación de Pearson entre la capa (g/m²) y la velocidad del alambre (m/min) es -0.814 y el valor P es igual a 0.000 (se rechaza $H_0: \rho=0$, donde ρ es la correlación entre un par de variables). Por lo tanto, los datos tienden a presentar una correlación negativa entre las variables.

e. Análisis de varianza

Según el reporte del Anova de Minitab, el valor de P es menor que 0.05; entonces, se rechaza H_0 (las medias de los niveles de los factores son iguales) y por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa (las medias de los niveles son diferentes), es decir la velocidad del alambre influyen en la masa de zinc en el alambre.

ANOVA unidireccional: capa zn (gr/m²) vs. velocidad del alambre (m/min)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
velocidad del alambre (m	5	49591	9918	48.00	0.000
Error	114	23554	207		
Total	119	73145			

S = 14.37 R-cuad. = 67.80% R-cuad.(ajustado) = 66.39%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs
66	20	334.68	26.53	(--*--)
68	20	322.82	11.72	(--*--)
70	20	305.38	9.47	(--*--)
72	20	293.42	10.66	(--*--)
74	20	284.05	6.73	(--*--)
76	20	277.98	12.26	(--*--)

Desv.Est. agrupada = 14.37

f. Validación de los resultados

En la Figura 5.32, los residuos cumplen una distribución normal, los datos muestran un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0 y respecto al orden de observación de los residuos se muestra que no hay una correlación unos a otros.

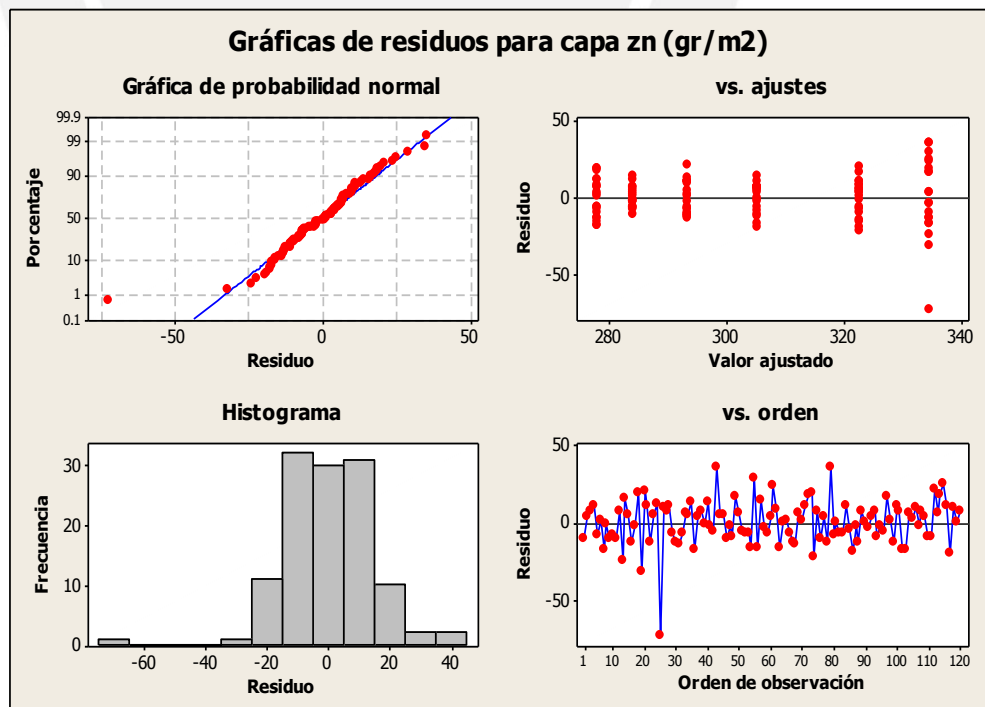


Figura 5.32: Gráfica de residuos para la capa (g/m²) y la velocidad del alambre (m/min)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

g. Intervalo de confianza

En la Figura 5.33, se muestra que a mayor velocidad entonces mayor es la capa de zinc en el alambre (g/m²).

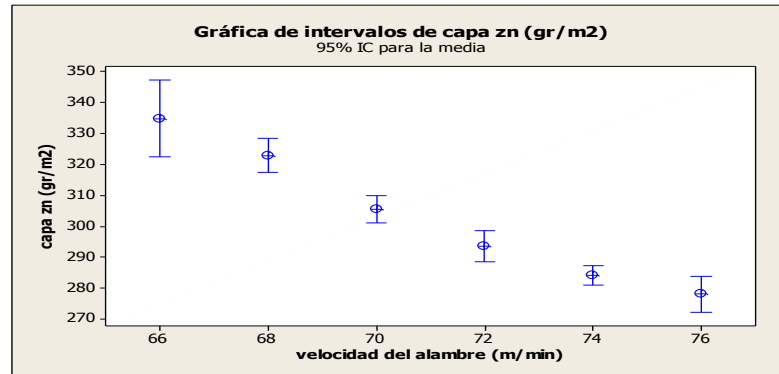


Figura 5.33: Gráfica de intervalos para la capa (g/m²) vs la velocidad del alambre (m/min)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

5.2.6 Validación de las causas raíces

En la siguiente Tabla 5.1, se presenta un resumen de las causas raíces que influyen significativamente en la variable Y (capa g/m²). La concentración del flux es una causa raíz sin embargo presenta un R-cuadrado) igual a 3.9% por lo que no será considerada en las mejoras a realizar.

Tabla 5.1. Resumen de causa raíces

Causa potencia	Test de Verificación	Resultado del Test Rechazo o Aceptación	Conclusión ¿Es causa raíz?	Enunciado del problema
Velocidad del alambre (m/min)	ANOVA	Value-P<0.05 R-cuad(ajdo)= 66.39%	Si	A mayor velocidad, menor es la capa de zinc en el alambre
Longitud de inmersión (m)	ANOVA	Value-P<0.05 R-cuad(ajdo)= 41.95%	Si	A menor longitud de inmersión, menor es la capa de zinc en el alambre
Concentración del flux (°Brix)	ANOVA	Value-P<0.05 R-cuad(ajdo)= 3.9%	Si	A menor concentración del flux, mayor es la capa de zinc en el alambre
Temperatura de la tina de zinc (°C)	ANOVA	Value-P=0.374 R-cuad(ajdo)= 0.3%	No	-----
Temperatura del flux (°C)	ANOVA	Value-P=0.485 R-cuad(ajdo)= 0%	No	-----

Elaboración propia
Fuente: La empresa

Por lo tanto, la velocidad del alambre y la longitud de inmersión son causas raíz significativas con alto nivel de aceptación, 69.39% y 41.95% respectivamente. Estas 2 variables serán consideradas para la fase de mejora.

6. DESARROLLO DE LA FASE MEJORA

En esta fase se plantearán las propuestas de mejora determinadas en la fase de análisis mediante el desarrollo de las herramientas de *Lean Manufacturing* correspondiente al análisis de proceso y la optimización de las variables que influyen significativamente en la capa del alambre correspondiente al análisis de datos.

6.1 Mejoras utilizando herramientas de Lean Manufacturing

6.1.1 Planteamiento de la mejora propuesta: 5 S

a. Lanzamiento del programa

- Capacitar a todas las personas involucradas en los principios básicos de 5s. La dirección debe proporcionar un documento previo donde se le informe a todo el personal los beneficios de la herramienta. Se desarrollarán talleres prácticos de aplicación de 5 horas en una semana, a cargo de un experto en manufactura esbelta.
- Se determinará la organización interna encargada de la promoción y soporte de la metodología 5S en toda la empresa. En la Figura 6.1, se muestra el organigrama del equipo 5 S.

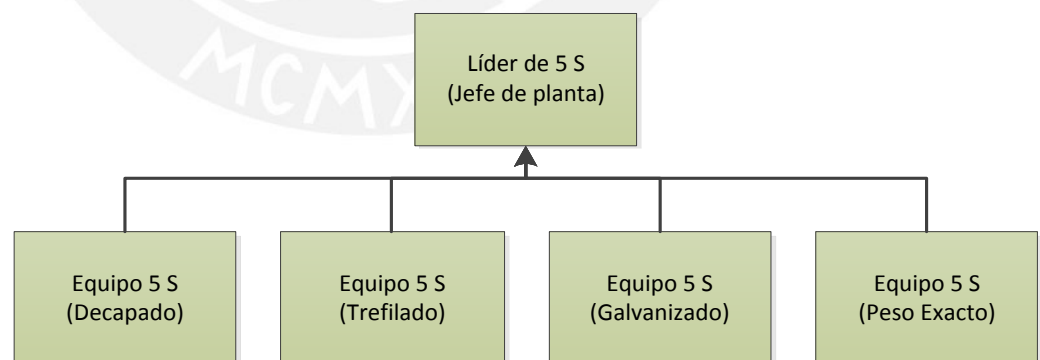


Figura 6.1: Organigrama del equipo 5S
Elaboración propia

b. Clasificación, orden y limpieza

Clasificar

- Acondicionar un lugar para iniciar el proceso de eliminación de desperdicios.
- Asignar a cada objeto y herramienta una etiqueta de un color determinado. Se usarán los colores amarillo y rojo para identificar los elementos usados con poca frecuencia y elementos innecesarios, respectivamente. Una vez marcados los elementos se proceden a registrar en una lista de elementos innecesarios. En la Figura 6.2, se muestran las etiquetas a usar.

Información General

Nombre del elemento:

Fecha de adhesión de la tarjeta:

Cantidad: Unidades:

Area: Emitido por:

Categoría

Maquinaria: Instrumento de medida:

Herramientas: Repuestos:

Materia prima: Producto terminado:

Producto en proceso: Equipos de oficina:

Motivo

No necesario: Obsoleto:

Defectuoso: Otros:

Plan de acción

Botar: Reubicar:

Vender: Otros:

Figura 6.2: Formato de tarjetas rojas para la clasificación de maquinarias y equipos.
Elaboración propia

Ordenar

Para ordenar las herramientas y boquillas utilizadas del puesto de trabajo se aplicarán los siguientes pasos:

- Calcular la cantidad de boquillas que se requiere en función a las toneladas producidas. Además diseñar la distribución de cada tipo de

boquilla mediante zonas de color verde, amarillo, rojo y plomo (Gestión visual de inventario). El estante de boquillas se dividirá en cuatro espacios donde se almacenarán boquillas de diámetros específicos. Se cuenta con 6 tipos de boquilla, los cuales son: NC 5, NC 7, NC 9, NC 10, NC 11 y NC 12. Las boquillas con mayor movimiento son las NC 9 y 10. Por otro lado, las boquillas NC 5, 7, 11 y 12 presentan menos rotación por lo que requieren menos espacio. Por lo tanto, la asignación será como se muestra en la Figura 6.3 y las cantidades de boquillas en cada espacio se muestra en la Tabla 6.1.

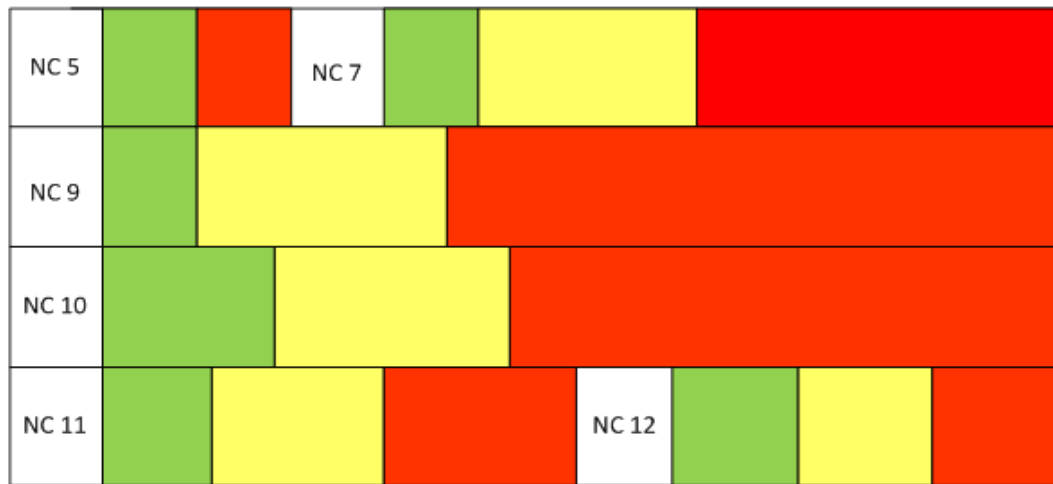


Figura 6.3: Distribución según colores para almacenamiento de boquillas en los estantes cercanos a la tina de zinc
Elaboración propia

Tabla 6.1. Cantidad de boquillas a almacenar

Boquilla	Toneladas Galv. producidas por día Ene-Mar 2012				Número de boquillas necesarias		
	Minimo	Promedio	Máximo	Ton.dia/pos	Verde	Amarillo	Rojo
NC 5	0.25	0.5	0.7	1.5	1	0	1
NC 7	0.18	3.4	6.85	1.7	1	2	5
NC 9	1.59	10	28.25	4	1	3	8
NC 10	5.1	13.45	30.25	5	2	3	7
NC 11	6.25	7.25	8.45	6	2	2	2
NC 12	1.45	4.25	6.75	7	1	1	1

Elaboración propia
Fuente: La empresa

En la Tabla 6.1, se determinó la cantidad de boquillas requeridas por tipo según el promedio de alambre galvanizado producido durante los meses de enero y marzo del 2012. Se puede observar que se requieren 8 boquillas adicionales con

una inversión de \$ 1 200. Por otro lado, se requerirá un estante dividido en 4 colores: verde, amarillo, rojo y gris. El operador empezará a utilizar las boquillas desde el color verde hasta el color rojo. En cambio, el personal de mantenimiento empezará a dejar las boquillas limpias a partir del color rojo hasta el verde. El color gris será utilizado para que el operario deje las boquillas sucias y el encargado de la limpieza de las boquillas se lo lleve y lo traiga al siguiente día. El personal de mantenimiento debe asegurar que la zona de color rojo se encuentre con boquillas limpias, dado que es la cantidad máxima de boquillas que se pueden utilizar en un día. En el caso que se utilicen la máxima cantidad de boquillas, el resto de boquillas queda a la espera de un cambio de boquilla durante el turno en caso que se solidifique partes de zinc y requiera su limpieza. Dado que se ha determinado la cantidad de boquillas a utilizar así como la distribución por tipo de boquilla en función de la cantidad máxima, promedio y mínimo de alambre galvanizado producido y de esta forma se asegura el stock de las boquillas limpias.

.Además, se propone que cada boquilla contenga una placa para identificar rápidamente que tipo de boquilla se están utilizando en la línea de galvanizado (Figura 6.4)



Figura 6.4: Placa de identificación de la boquilla
Elaboración propia

Limpiar

- Establecer grupos de limpieza por áreas, siguiendo la estructura mostrada en el Anexo 7..

c. Fases de soporte

- Dar a los trabajadores control y autonomía sobre sus lugares de trabajo.
- Desarrollar herramientas como eslóganes, insignias, boletines, exhibición de fotografías de antes y después de la implementación, letreros donde se plasmen los resultados y mejoras obtenidas.

- Estandarizar los logros alcanzados con la realización de los pasos anteriores, para lo cual se realizarán auditorías periódicas. Las auditorías se realizarán cada año a cargo de una persona del área cuya función será verificar si se cumple o no los lineamientos establecidos en la lista de chequeo. El cronograma de implementación se muestra en el Anexo 8.

d. Beneficios de la mejora propuesta

- Reducción en 67% el tiempo de cambio de boquilla y ajustes, eliminando el tiempo destinado a la búsqueda de herramientas.
- Mejorar el control de inventarios con la implementación de las 5 S's

6.1.2 Planteamiento de la mejora propuesta: TPM

Capacitar a todas las personas involucradas en los principios básicos del TPM. La dirección debe proporcionar un documento previo donde se le informe a todo el personal los beneficios de la herramienta. Se desarrollarán talleres teóricos y prácticos de aplicación de 5 horas en una semana, a cargo de un experto en manufactura esbelta. Cabe resaltar que el equipo de trabajo será el área de galvanizado.

a. Registrar los mantenimientos.

- Se realizarán visitas rutinarias de observación para detectar algún mal funcionamiento de los equipos. Se hará trabajos de limpieza, chequeo de niveles de lubricantes donde sea necesario.
- Se realizarán inspecciones en los lugares donde es necesario hacer desmontajes para realizar una limpieza profunda. Además, se efectuarán cuando sea reportada alguna anomalía en el equipo.
- Deberán emitirse órdenes de trabajo luego de cada visita, inspección, reparación planeada o reporte de anomalía por parte de algún operario. Para hacer las reparaciones necesarias se debe tener comunicación con el departamento de producción para acordar el momento en el que se debe realizar y no interrumpir las labores de producción. El objetivo es llevar un mejor control sobre las operaciones realizadas sobre la

maquinaria y sobre el inventario de repuestos. En la Figura 6.5, se muestra el formato a emplear para las órdenes de trabajo.

ORDEN DE TRABAJO

Área de mantenimiento Fecha

Prioridad: Puede esperar Urgente

Máquina a reparar: Código

Tipo de desperfecto: Mecánico Eléctrico Otro

Trabajo por efectuar:

.....

.....

.....

Repuestos y materiales necesarios:

.....

.....

.....

Fecha de la reparación: Hora de la reparación:

Observaciones:

.....

.....

..... Firma de responsable Firma de jefe de taller

Figura 6.5: Órdenes de trabajo a emplear para las actividades realizadas por el área de mantenimiento
Elaboración propia

b. Establecer un programa de mantenimiento autónomo para los operarios

- **Se realizará una capacitación a todo el personal de galvanizado sobre la importancia y el uso adecuado de las boquillas.** Así como un entrenamiento para que sepan realizar limpieza de las mismas. En la capacitación se basarán en las mejores prácticas y recomendaciones de otras empresas del mundo. Por ejemplo, si no van a jalar una línea entonces se debe retirar la boquilla del alambre, dado que conforme pasa el tiempo el alambre se solidifica y se forma una masa de zinc que al arrancar nuevamente la línea no puede pasar por la boquilla debido a que el orificio es pequeño y puede hacer que caiga la boquilla hasta incluso romperla. Asimismo en la utilización y adecuado llenado de información en los distintos formatos a usar para el control de la maquinaria y las reparaciones a efectuar sobre la línea de galvanizado. Se utilizará una lista de chequeo de las actividades de limpieza y lubricación, la cual se

muestra en el Anexo 9. Además, se le capacitará al operario en la limpieza de la tina de zinc y correcta utilización del sistema DDK.

- **Instalar una mesa en la línea de galvanizado para el mantenimiento de las boquillas por parte del operador.** El operador realizará las limpiezas de sus boquillas cada vez que retira y/o cambia una boquilla y no se haya acumulado mucho zinc. En caso que la boquilla se haya tenido contacto con el zinc o hay gran cantidad de zinc acumulado entonces la limpieza lo tiene que realizar el personal de mantenimiento dado que se requiere desarmar las boquillas y retirar el zinc en cada pieza (Figura 6.6).

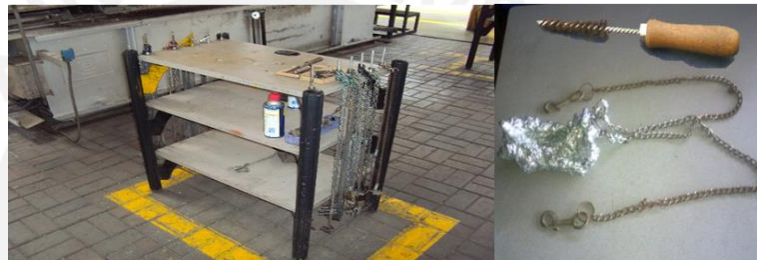


Figura 6.6: Mesa de mantenimiento de boquillas

- **Fabricación herramienta para retiro de boquillas.** Para evitar que las boquillas caigan en la tina se utilizará este dispositivo para el retiro de las boquillas de forma segura y fácil (Figura 6.7).



Figura 6.7: Herramienta para retirar boquillas

- **Elaborar un formato para el control semanal de boquillas.** Este reporte lo realizará tanto el operario (en el caso que alguna boquilla se caiga a la tina de zinc se debe reportar para gestionar su reposición) y el

personal de mantenimiento (diario colocará la cantidad de boquillas limpias dejadas y las boquillas sucias encontradas). Ver Figura 6.8.

		CONTROL DE BOQUILLA SEMANAL																		Fecha:		
																				Revisión:		
																				Código:		
Día		Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes			Sábado			Domingo		
Fecha																						
Estado		S	R	P	S	R	P	S	R	P	S	R	P	S	R	P	S	R	P	S	R	P
TIPO DE BOQUILLA	NC5																					
	NC7																					
	NC9																					
	NC10																					
	NC11																					
	NC12																					




LEYENDA:
 Boquillas "Sucias"
 Boquillas "Repuestas"
 Boquillas "Perdidas"

Figura 6.8: Formato para el control semanal de las boquillas
Elaboración propia

c. Establecer un programa de mantenimiento preventivo

Rutinas de mantenimiento

Para saber si el programa de mantenimiento preventivo se está llevando a cabo se deberán hacer reportes de todo procedimiento utilizando como herramientas de control: ficha de maquinaria, historia de fallas, control de paros, fichas de chequeo para las inspecciones, orden de trabajo, reporte mensual.

- **Fichas de maquinaria.** Se asigna un código a cada máquina y se registran los datos correspondientes a ella, para asignarle el debido programa de mantenimiento basándose en las instrucciones del fabricante y las exigencias de producción. El formato a utilizar se muestra en el Anexo 10.
- **Historial de fallas.** Nos da información de las reparaciones que hemos realizado sobre cada máquina, así como los repuestos, materiales y costos. Además nos ayuda a detectar fallas sistemáticas ya que permite encontrar el momento más adecuado para la reposición sin llegar a esperar que falle el componente. Asimismo nos da la pauta para tomar la decisión si seguir con los equipos actuales o cambiarlos por otros más rentables. El formato a utilizar se muestra en el Anexo 11.
- **Control de paradas.** Se asignaran fichas a cada una de las máquinas en la que se registrarán los paros en las que se muestre información

relevante que permita justificar paros no programados en la línea de producción. Esta será: fecha del paro, hora, duración y motivo. Además deberá estar la rúbrica del operario y del encargado de mantenimiento. El formato a utilizar se muestra en el Anexo 12.

- **Fichas de chequeo para inspección.** Se implementarán para llevar el control de si se están llevando en el tiempo programado las visitas e inspecciones y además si los problemas reportados generaron órdenes de trabajo. Se mostrará información como la fecha, los puntos a inspeccionar y las tareas a realizar. Para realizar las inspecciones se usaran los formatos que se muestran en el Anexo 13 y Anexo 14.
- **Orden de trabajo.** Cuando un problema en la línea de galvanizado sea reportado por una ficha de chequeo o por un operario se debe generar una orden de trabajo indicando la naturaleza de la falla y el tipo de reparación necesaria. La prioridad de la realización del trabajo también será considerada importante. Éstas deben ser autorizadas por el jefe de mantenimiento y el jefe de producción con el fin que no interrumpa las labores de mantenimiento y producción.
- **Control de órdenes de trabajo.** Se crearan fichas donde se coloque la información relacionada a cada orden de trabajo para tener un control sobre ellas. Ésta comprenderá el número correlativo, el equipo a que se refiere y la fecha de ejecución. El formato a utilizar se muestra en el Anexo 15.
- **Reposición de materiales.** Se basa en el análisis del control de las órdenes de trabajo, ya que en éste se especifican los materiales y repuestos utilizados en las distintas actividades del área de mantenimiento. El formato a utilizar se muestra en el Anexo 16.
- **Reporte mensual.** Se debe desarrollar un reporte mensual de las actividades realizadas en la línea de galvanizado por el área de

mantenimiento y presentarlas a gerencia para exponer de forma ordenada los problemas presentes y proponer soluciones. La información que debe contener comprende los trabajos realizados, las duraciones, las causas, las soluciones y los costos de las reparaciones. El formato a utilizar se muestra en el Anexo 17.

Las rutinas de visitas e inspecciones se agruparán para aumentar la eficiencia tomando en cuenta factores como el tiempo de inspección, la complejidad de la maquinaria y la necesidad. Debido a que la maquinaria y equipos difieren en las características mencionadas, la organización en grupos dependerá de la cantidad de servicios a efectuar. Es decir, el grupo 1 necesitará mayor secuencia en el control y el grupo 5 menor control por parte del área de mantenimiento. Estos grupos se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Grupos de equipos según necesidad de servicio

Grupo	1	2	3	4	5
Frecuencia	<i>diario</i>	<i>semanal</i>	<i>quincenal</i>	<i>mensual</i>	<i>trimestral</i>
Equipos	tina de zinc boquillas equipo DDK	rodillos de hule cojinetes de rodillos cadenas calderas	engranajes rodillos de flux cojinetes de transportadoras niveladoras	motores eléctricos cajas reductoras torre de enfriamiento termocoplas extractores	tuberías ventiladores

Elaboración propia

Cronograma de las rutinas. Luego de definir los grupos de visitas e inspecciones se continuará con la guía de trabajo diario en la línea de galvanizado. Además de las consideraciones tomadas para establecer los grupos de inspecciones se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- **Tiempo de servicio y condición:** Se debe poner mayor atención en la maquinaria usada que en la maquinaria nueva.
- **Severidad de uso:** dentro de la línea de galvanizado existen partes que están sometidas a comportamientos extremos como el contacto con ambientes corrosivos y el sometimiento a altas temperaturas.

El programa de rutinas se muestra en el Anexo 18 y el cronograma de implementación del mantenimiento productivo total se muestra en el Anexo 19.

d. Adiestramiento en el mantenimiento

- **Revisión periódica de los programas de mantenimiento.** Verificar que el programa de mantenimiento este acorde a las necesidades de la maquinaria y de producción.
- **Revisión de los programas de producción.** Analizar continuamente los programas de producción para poder adecuar sus necesidades con la disponibilidad del departamento de mantenimiento.
- **Medición de la efectividad del mantenimiento preventivo.**

e. Medición de la eficiencia en las actividades de mantenimiento

Se deben establecer indicadores que midan los avances logrados.

- Tasa de mantenimiento de averías (BM)

$$\text{Tasa BM} = \frac{\text{trabajos BM} \times 100}{\text{total de trabajos de mantenimiento}}$$

- Tasa del cumplimiento de PM (Mantenimiento preventivo)

$$\text{Tasa del cumplimiento del PM} = \frac{\text{total de trabajos PM realizados}}{\text{total de trabajos PM planificados}}$$

- **Capacitación al personal.** En la línea de galvanizado, los integrantes del área de mantenimiento deben recibir capacitación continua sobre lubricantes, calderas, tratamientos térmicos. Asimismo, la capacitación continua a operarios y personal directivo hacen que estos sean más críticos sobre las actividades que realizan.

6.2 Mejoras utilizando herramientas de Six Sigma

En esta etapa se desarrollará el diseño de experimento (DOE) para las variables de longitud de inmersión del alambre (m) y la velocidad del alambre (m/min).

6.2.1 Diseño factorial

En la Tabla 6.3, se muestra el diseño factorial basado en 2 factores con 2 niveles cada uno y una réplica igual a 4.

Tabla 6.3: Diseño factorial de la longitud de inmersión (m) y la velocidad del alambre (m/min)

Orden Corrida	Longitud de inmersión (m)	Velocidad del alambre (m/min)	Capa (g/m ²)
1	2.4	76	281
2	2.4	66	323
3	3.3	76	300
4	3.3	66	381
5	3.3	66	321
6	3.3	76	298
7	3.3	66	354
8	2.4	76	266
9	3.3	76	306
10	3.3	66	361
11	3.3	76	282
12	2.4	66	328
13	2.4	76	281
14	2.4	66	352
15	2.4	66	337
16	2.4	76	271

Elaboración propia
Fuente: La empresa

6.2.2 Análisis de factores

En la Figura 6.9 y Figura 6.10, se puede observar que los factores A y B presentan un efecto estandarizado mayor que 2.179. Influyen en la capa del alambre.

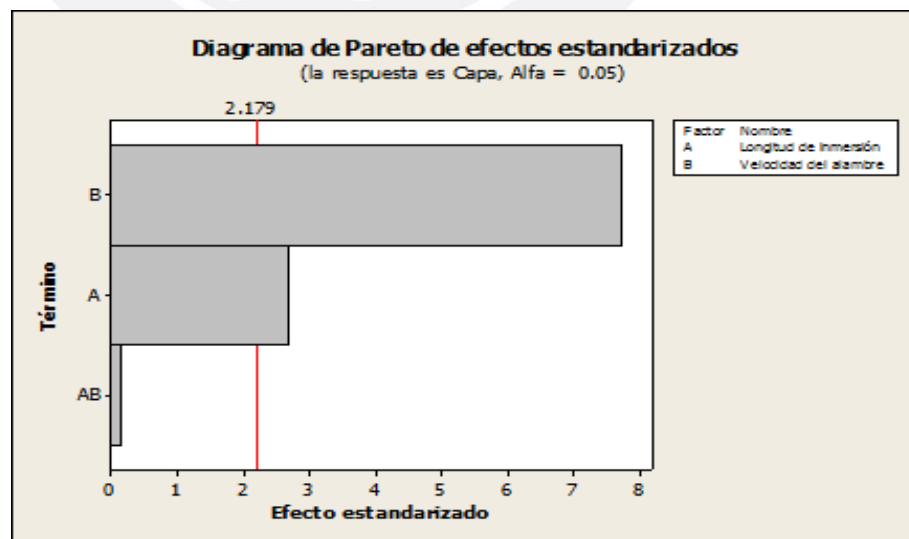


Figura 6.9: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados Término vs Efecto estandarizado
Fuente: La empresa
Elaboración propia

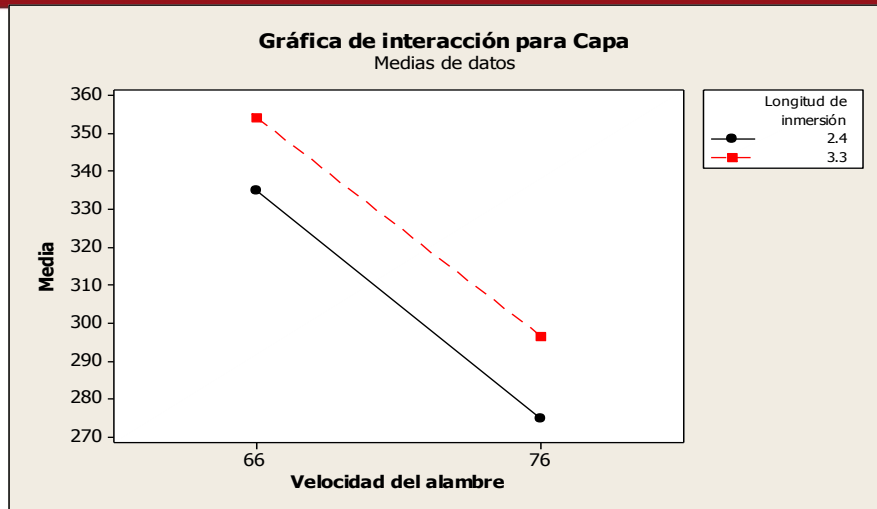


Figura 6.10: Diagrama de interpretación para la capa entre la velocidad del alambre (m/min) y la longitud de inmersión (m)

Fuente: La empresa
Elaboración propia

Efectos y coeficientes estimados para Capa (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		315.11	3.834	82.20	0.000
Longitud de inmersión	20.53	10.26	3.834	2.68	0.020
Velocidad del alambre	-59.10	-29.55	3.834	-7.71	0.000
Longitud de inmersión* Velocidad del alambre	1.17	0.59	3.834	0.15	0.881

S = 15.3347 PRESS = 5016.58
R-cuad. = 84.74% R-cuad. (pred.) = 72.86% R-cuad. (ajustado) = 80.92%

Análisis de varianza para Capa (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Efectos principales	2	15658.8	15658.8	7829.4	33.30	0.000
Longitud de inmersión	1	1685.7	1685.7	1685.7	7.17	0.020
Velocidad del alambre	1	13973.1	13973.1	13973.1	59.42	0.000
2-Interacciones de (No.) factores	1	5.5	5.5	5.5	0.02	0.881
Longitud de inmersión*Velocidad del alambre	1	5.5	5.5	5.5	0.02	0.881
Error residual	12	2821.8	2821.8	235.2		
Error puro	12	2821.8	2821.8	235.2		
Total	15	18486.1				

6.2.3 Validación del modelo

En la Figura 6.11, se puede observar normalidad de los residuos, aleatoriedad y homogeneidad.

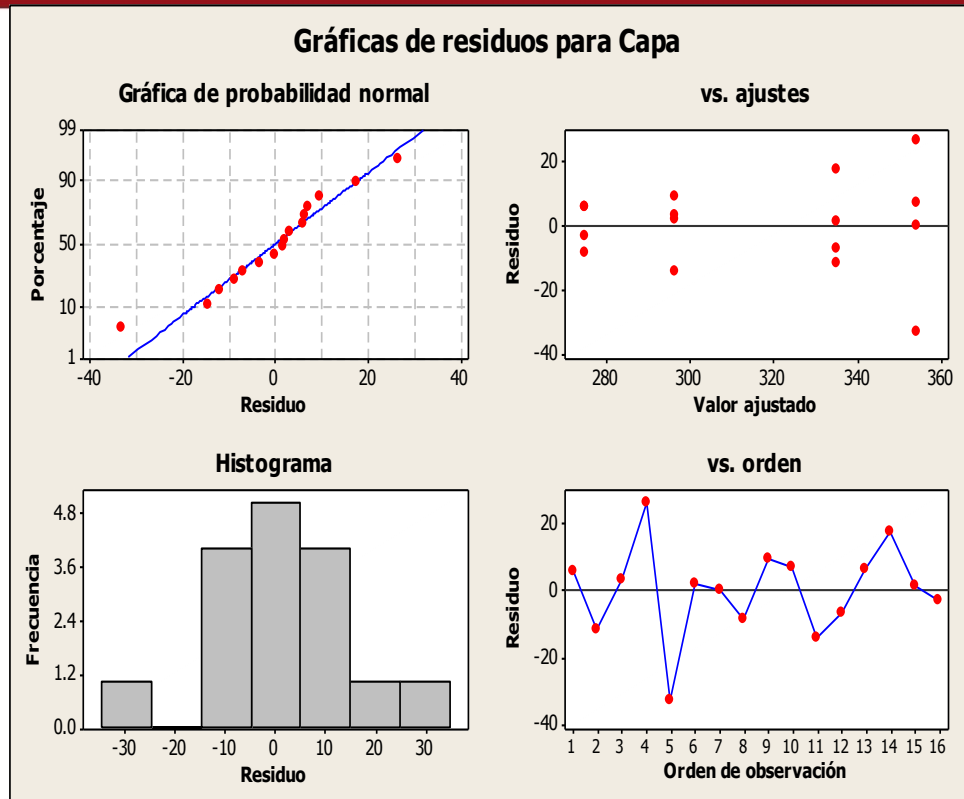


Figura 6.11: Gráfica de residuos para la capa (g/m²) y factores A y B
Fuente: La empresa
Elaboración propia

6.2.4 Gráficas del modelo

En la Figura 6.12 y Figura 6.13, se muestra el comportamiento del modelo.

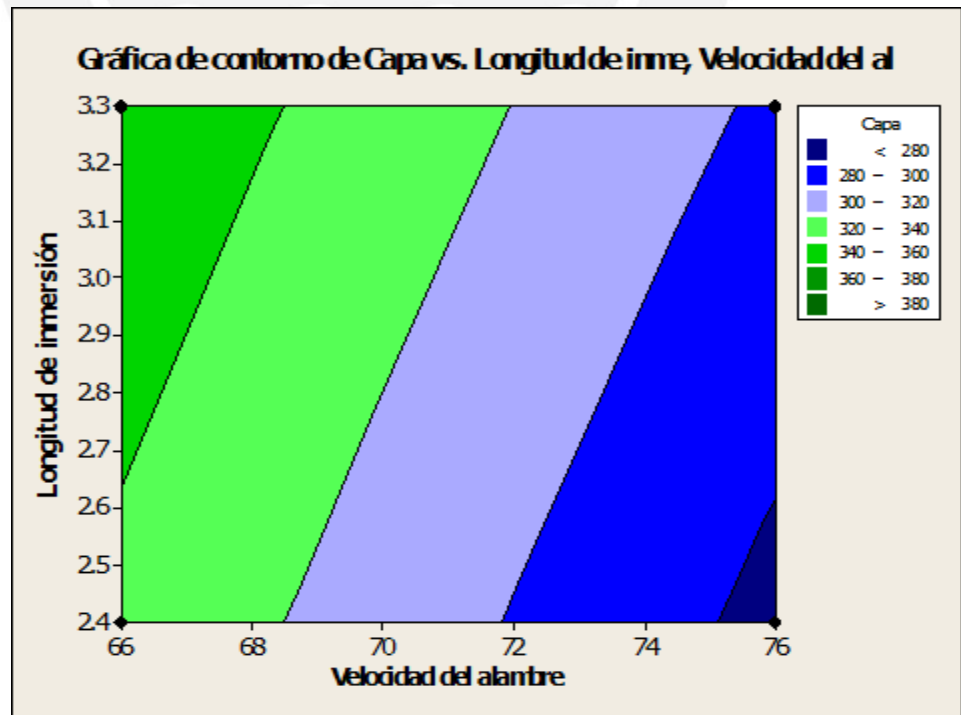


Figura 6.12: Gráfica del contorno de capa vs longitud de inmersión y velocidad del alambre
Fuente: La empresa
Elaboración propia

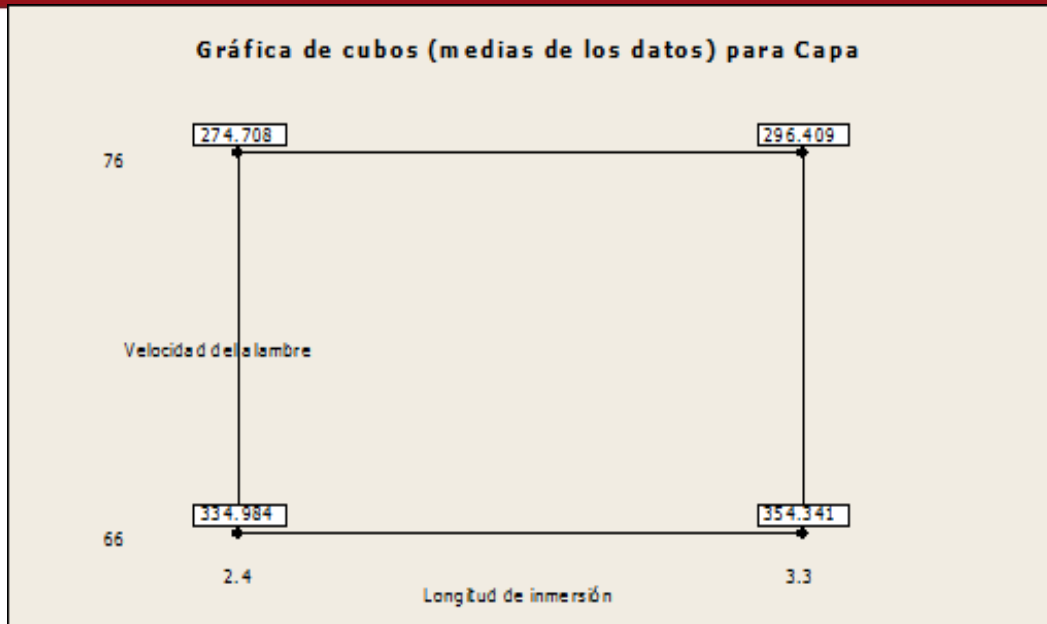


Figura 6.13: Gráfica cubos (media de los datos) para la capa
Fuente: La empresa
Elaboración propia

6.2.5 Optimización

En la Figura 6.14, se obtiene los parámetros de las variables longitud de inmersión y velocidad un valor piloto de 2.4m y 76 m/min, respectivamente. Con estos valores se obtendría una capa de 274.7 g/m².

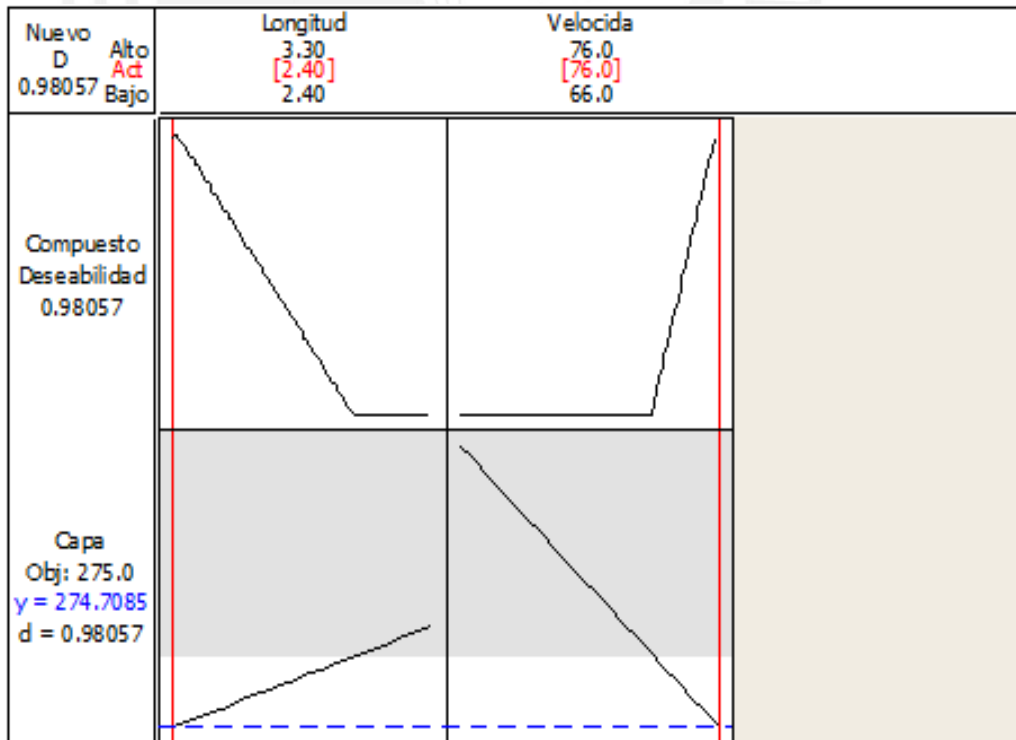


Figura 6.14: Gráfica de optimización de la capa con 2 factores: la longitud de inmersión (m) y la velocidad del alambre (m/min)
Fuente: La empresa
Elaboración propia

6.3 Mejoras aplicando Lean Manufacturing y Six Sigma

En la siguiente Tabla 6.4, se muestra el cuadro resumen de los valores estimados después de la mejora. Las mejoras realizadas se enfocaron en la línea de galvanizado al considerarse un área crítica.

Tabla 6.4: Resumen de las mejoras Lean Manufacturing y Six Sigma

	Líneas de Proceso	Decapado	Trefilado	Galvanizado	Peso Exacto	Despacho	Lead Time (días)	Tiempo de Proceso (min)
Actual	Toneladas/día	40	30	4.5	36	20		
	Tiempo de ciclo (min/ton)	36	48	320	40	72		444
	Tiempo de Setup (min)	0	120	45	30	0		
	Disponibilidad %	98	90.62	100	100	80		
	Inventarios (toneladas)	18	22.5	8.1	9	4		
	Inventarios (días)	0.45	0.75	1.80	0.25	0.20	3.25	
	# operador	1	2	3	3	2		
Mejorado	Toneladas/día	40	30	10.4	36	20		
	Tiempo de ciclo (min/ton)	36	48	138	40	72		262
	Tiempo de Setup (min)	0	120	25	30	0		
	Disponibilidad %	98	90.62	100	100	80		
	Inventarios (toneladas)	18	22.5	4.05	9	4		
	Inventarios (días)	0.45	0.75	0.39	0.25	0.20	1.84	
	# operador	1	2	3	3	2		

Elaboración propia

En la Figura 6.15, se muestra el VSM mejorado. En el flujo de valor mejorado se ha aplicado como herramientas de manufactura esbelta las 5S y el TPM en la línea de galvanizado. Como se puede apreciar en el VSM mejorado, el tiempo de procesamiento en galvanizado disminuyó de 320 a 277 min/ton, este cambio se dio gracias a que se disminuyó el tiempo de ciclo. Para disminuir el tiempo de ciclo en el proceso crítico se aumenta la velocidad de las recogedoras en la línea de galvanizado de 65 m/min a 75 m/min.

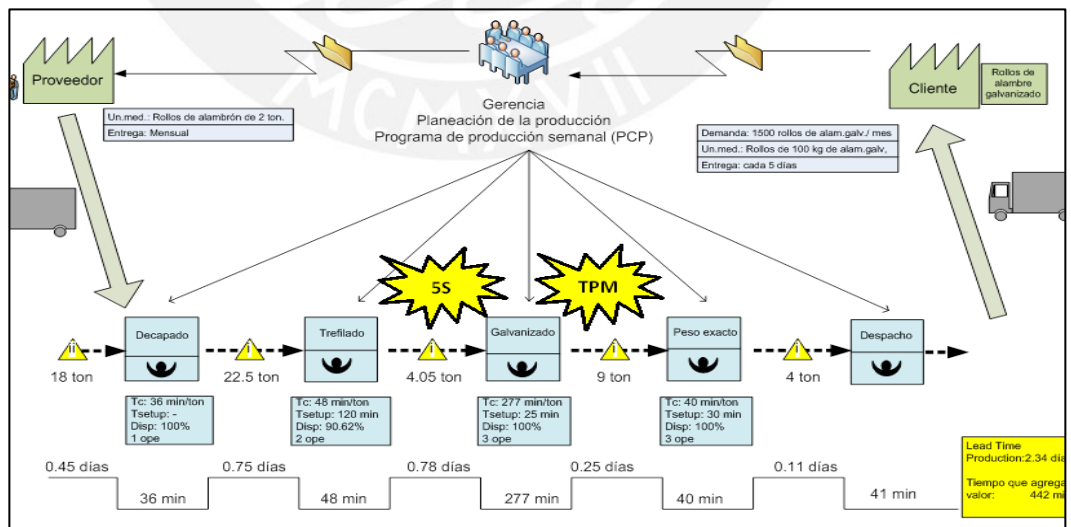


Figura 6.15: VSM: Mapa de flujo de valor mejorado

Fuente: La empresa
Elaboración propia

Por otro lado, se espera disminuir el tiempo de set-up de 45 a 25 min debido a los trabajos realizados en 5S y TPM. Uno de los problemas era la falta de

boquillas, ya sea porque no se había realizado la limpieza de cada boquilla o por falta de boquillas en inventario. Para ello, con la herramienta 5S se va a lograr asegurar tener un inventario de boquillas de acuerdo al promedio de producción realizado y por otro lado evitar tiempos muertos cuando requieren cambiar un producto y no encuentran la boquilla adecuada.

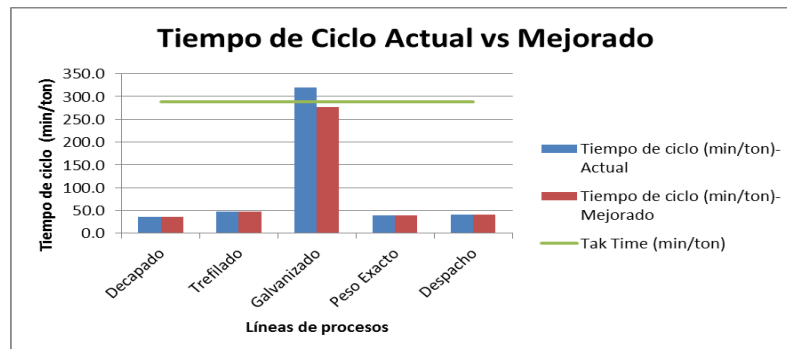


Figura 6.16: Tiempo de ciclo actual vs mejorado

Fuente: La empresa
Elaboración propia

En la Figura 6.16, se observa que se ha reducido un 13% el tiempo de ciclo de galvanizado. Ahora esta área tiene una capacidad mayor de producción respecto lo que solicita el cliente (Tack Time). Esto va a permitir incrementar el volumen de producción y disminuir el tiempo de entrega del producto final.

Tabla 6.5: Recursos requeridos para la implementación de las mejoras

Descripción	Cantidad
5S	
Capacitación (horas)	24
Material visual durante todo el proyecto	1
Estrategia de tarjetas rojas	1
Estrategia de pintura	1
Tablero portaboquilla	1
Implementación de programa de limpieza	1
TPM	
Boquillas faltantes	8
Placas de identificación de boquillas	43
Estación para limpieza de boquillas	1
Dispositivo para retirar boquilla	1
Reemplazo de rodillos tensionadores	24
Reemplazo de tornillos para ajuste en los rodillos tensionadores	1
Instalación de un juego de rodillos tensionadores	1
Capacitación y entrenamiento del personal de mantenimiento y los operarios de la línea de galvanizado (horas).	24
Six Sigma	
Capacitación (horas)	16
Pruebas: kg de merma generada durante el proyecto	6,000

Elaboración propia

Finalmente, en la Tabla 6.5 se presenta el cuadro de recursos requeridos para la implementación de las mejoras utilizando *Lean Manufacturing* (5S y TPM) y *Six Sigma*.

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se realizará la evaluación económica-financiera de la solución óptima y las mejoras propuestas por Six Sigma y Lean Manufacturing, respectivamente determinadas en la fase de análisis.

El proyecto Lean Six Sigma se ha focalizado en la línea de galvanizado. En la Tabla 7.1, se muestra que la línea tiene una capacidad mensual de 2500 ton/mes. El caso de estudio se ha basado en los alambres galvanizado 3Zn que utilizan el sistema de recubrimiento Jet-Wipe el cual representa el 50% de la producción. Además, existen 8 líneas de alambres trabajando en paralelo con una velocidad actual de 65m/min.

Tabla 7.1: Producción Mensual de alambre galvanizado

Sistema de recubrimiento de alambre galvanizado	Especificación de la capa (mínimo)	UND	Tone / mes	Producción (%)	Tipo de Recubrimiento	Tipo de Capa	# líneas	Velocidad m/s
Jet Wipe	260	g/m ²	1250	0.5	3Zn	Capa Triple	8	65
Jet Wipe	240	g/m ²	250	0.1	3Zn-Bz	Capa Triple	4	65
Pad-Wipe	120	g/m ²	750	0.3	2Zn	Capa Doble	8	45
Estopa	70	g/m ²	250	0.1	Zn	Capa Simple	4	45

Elaboración propia
Fuente: La empresa

En la Tabla 7.2, se muestra un resumen de las mejoras determinadas en la fase de análisis utilizando six sigma y lean manufacturing.

Tabla 7.2: Mejoras propuestas utilizando Lean Six Sigma

	Promedio de la capa de zinc en alambre 3Zn (g/m ²)	Desviación estándar de la capa de zinc en alambre 3Zn	Consumo de Zn (kg/ton)	Six Sigma		Lean Manufacturing		
				Velocidad en el sistema Jet Wipe 3Zn (m/min)	Longitud de inmersión (m)	Boquillas	Vibración del alambre	Parada de máquina
Situación actual	312.7	33.8	45	66	3.3	Sucias y sin stock	Con vibración	No hay programa de Mantenimiento
Situación esperada	274.7	10.5	41	76	2.4	Limpias y stock requerido	Sin vibración	Disminución de paradas con TPM

Elaboración propia
Fuente: La empresa

El costo promedio del zinc es de 3 \$/kg. La empresa consume actualmente 112 500 kg de zinc mensual, considerando un promedio de la capa 3Zn en 312.7 g/m² y una velocidad de 66 m/min. Sin embargo, las mejoras propuestas van a permitir reducir la capa a 274.7 g/m² a una velocidad de 76 m/min. Esta reducción de la capa de zinc va a permitir disminuir el consumo de Zn (kg/ton) de 45 a 41 e incrementar la producción de alambre galvanizado en un 8%. Esta reducción del consumo de zinc permite un ahorro de 2 234.85 kg/mes y considerando un precio de 3 \$/kg de zinc, entonces el ahorro en el consumo de zinc estimado sería de 6704.55 \$/mes (Ver Tabla 7.3).

Tabla 7.3: Ahorro del consumo de zinc (\$) esperado

	Promedio de la capa de zinc en alambre 3Zn (g/m ²)	Desviación estándar de la capa de zinc en alambre 3Zn	Consumo de Zn (kg/ton)	Producción alambre galvanizado (toneladas/mes)	Consumo de zinc mensual (kg)	Ahorro de consumo de Zinc mensual (kg)	Ahorro de consumo de Zinc mensual (\$)
Situación actual	312.7	33.8	45	2,500	112,500		
Situación esperada	274.7	10.5	41	2,689	110,265	2,234.85	6,704.55

Elaboración propia
Fuente: La empresa

En la Tabla 7.4, se muestran la inversión requerida para el proyecto Lean Six Sigma el cual es \$ 43 166 durante el tiempo de duración del proyecto que es de 12 meses. Los costos de capacitación fueron obtenidos del registro de capacitación e inducción al personal. Estas capacitaciones son dadas por la consultora Asenta que tiene más de 20 años de experiencia en el mercado y que actualmente viene capacitando a los gerentes de la organización.

Los costos de inversión se han agrupado según las herramientas empleadas en proyecto: *Lean Manufacturing* (5S y TPM) y *Six Sigma* el cual representa el 56% y 44% de costo total de inversión. Por otro lado, las mejoras realizadas con *Lean Manufacturing* contribuyen significativamente con la reducción de la capa, dado que se va a utilizar las boquillas adecuadas y se va a reducir la vibración del alambre. Además, va a permitir reducir las paradas de máquinas y el tiempo de set-up de 45 a 20 min debido a la implementación del TPM.

Tabla 7.4: Inversión para el proyecto Lean Six Sigma

Descripción	Cantidad	P.U. (\$)	Inversión Total (\$)	Mes
5S			\$ 10,326	
Capacitación	24	\$ 188	\$ 4,517	5
Material visual durante todo el proyecto	1	\$ 3,600	\$ 3,600	0
Estrategia de tarjetas rojas	1	\$ 345	\$ 345	6
Estrategia de pintura	1	\$ 764	\$ 764	6
Tablero portaboquilla	1	\$ 250	\$ 250	7
Implementación de programa de limpieza	1	\$ 850	\$ 850	7
TPM			\$ 13,800	
Boquillas faltantes	8	\$ 150	\$ 1,200	9
Placas de identificación de boquillas	43	\$ 3	\$ 150	9
Estación para limpieza de boquillas	1	\$ 350	\$ 350	9
Dispositivo para retirar boquilla	1	\$ 50	\$ 50	9
Reemplazo de rodillos tensionadores	24	\$ 50	\$ 1,200	9
Reemplazo de tornillos para ajuste en los rodillos tensionadores	1	\$ 500	\$ 500	9
Instalación de un juego de rodillos tensionadores	1	\$ 6,300	\$ 6,300	10
Capacitación y entrenamiento del personal de mantenimiento y los operarios de la línea de galvanizado.	24	\$ 169	\$ 4,050	11
Six Sigma			\$ 19,040	
Capacitación	16	\$ 253	\$ 4,040	1
Pruebas: kg de merma generada durante el proyecto	6,000	\$ 3	\$ 15,000	2,3,4
Total			\$ 43,166	

Elaboración propia

Tabla 7.5: Flujo Neto del Proyecto

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingreso (\$)		6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55	6704.55
Egreso (\$)	3600	4040	5000	5000	5000	4517	1109	1100	0	3450	6300	4050	0
Flujo Neto	-3600	2664.55	1704.55	1704.55	1704.55	2187.55	5595.55	5604.55	6704.55	3254.55	404.55	2654.55	6704.55
VAN	\$ 17,799.40												
TIR	66%												

Elaboración propia

El valor actual neto del proyecto (VAN) es de \$17 799.40 considerando una tasa de costo de capital de 10%. Por otro lado, el valor de la tasa interna de retorno (TIR), es el método que introduce el valor del dinero en el tiempo, su tasa de descuento iguala al valor actual de los beneficios y al valor actual de los costos previstos, además el valor de TIR, es la tasa de interés que hace cero el Valor Presente Neto. Como se puede apreciar en la Tabla 7.5, nuestro valor TIR es de 66%, lo cual nos indica que mientras la el inversionista (la empresa) tenga un valor de Tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) menor al TIR, el proyecto es aceptado

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Es indispensable que los directivos, jefes y trabajadores colaboren con la nueva metodología a implementar para que se alcancen los objetivos deseados en el plazo establecido y con el presupuesto planificado.
- En la fase de definición se identifica el problema principal del área de galvanizado mediante una matriz de enfrentamiento que considera los factores de frecuencia, pérdidas mensuales y facilidad de implementación para cada uno de los problemas encontrados. De esta manera, se tiene como principal problema el alto consumo de zinc representando un exceso de consumo de 55 g/m². Además se definen el alcance, los objetivos y las metas del proyecto de mejora teniendo como resultado el Project charter, la voz del cliente, los diagramas de proceso y el cronograma de trabajo.
- En la fase medición se describe la situación actual del proceso a través del mapa de flujo de valor donde se visualiza que el tiempo de respuesta que exige el cliente es menor al del proceso actual, se identifican las variables de entrada-salida de cada uno de los procesos del área de galvanizado (área a analizar) para seleccionar las variables críticas del proceso que influyen en el problema principal mediante una matriz de enfrentamiento y se evalúa el costo de la no calidad. Además se determina que el sistema de medición es aceptable mediante la prueba R&R y que el proceso no es capaz ya que la dispersión sobrepasa los límites de especificación y tiene una eficacia de 76%.
- La fase analizar se divide en dos grupos: análisis del proceso y análisis de datos. De las variables críticas identificadas, dos requieren un análisis del proceso y las demás un análisis de datos. En el primer grupo, análisis del proceso, se identifican los desperdicios en base al mapa de flujo de valor, el cual es un entregable de la fase medición. En adición, se identifican las oportunidades de mejora a través del uso de dos herramientas de lean manufacturing: 5 S y mantenimiento productivo total; donde se hace un planteamiento de la situación actual. En el

segundo grupo, análisis de datos, se efectúa el análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables correspondientes a este grupo, donde se obtiene que solo dos del total, longitud de inmersión en la tina de zinc y velocidad de recogido (m/min), influyen en el problema principal.

- La fase mejorar se divide en dos grupos: mejoras utilizando herramientas de Lean manufacturing y mejoras utilizando herramientas de Six Sigma. En el primer grupo se desarrolla el planteamiento de la mejora propuesta por cada herramienta analizada en la fase anterior y su beneficio. En el segundo grupo se desarrolla el diseño de experimentos para las dos variables que influyen en el problema principal, analizadas en la fase anterior. De esta manera se obtiene una longitud de inmersión en la tina de zinc de 2.4 m y una velocidad de recogido de 76 m/min, que optimiza el valor de la capa de zinc a 274.7 g/m².
- Con las mejoras de Six sigma se logra disminuir la capa de zinc de 330 g/m² a 274.7 g/m². Las mejoras de lean manufacturing se ven reflejadas en un flujo continuo del proceso, al reducir las paradas y las vibraciones de los equipos, lo cual es un soporte para los niveles de velocidad de operación propuestos en la fase anterior.
- Finalmente, el proyecto de Lean Six Sigma con una duración de un año, tiene una inversión de 43,166 dólares y genera un ahorro anual de 80,454.6 dólares. Se concluye que el proyecto es rentable dado que presenta un valor actual neto de 17,799.40 dólares y una tasa interna de retorno de 66%.

8.2 Recomendaciones

- Lo primero que se debe realizar al iniciar el proyecto es concientizar a la alta dirección la importancia e impacto significativo en la organización y el cliente para garantizar el recurso y el apoyo gerencial.
- Se recomienda realizar experimentos similares con otros tipos de producto con diferente tipo de diámetro, por ejemplo para el alambre galvanizado 2.20, 2.40, 3 y 3.20 milímetros, y así poder corroborar los resultados obtenidos en el presente trabajo.

- Elaborar y actualizar los procedimientos de trabajo. Además, elaborar un plan para la formación de instructores. Es decir, operarios seleccionados y capacitados para que sean los encargados de enseñar las buenas prácticas y procedimientos de trabajo al personal nuevo.
- Realizar un seguimiento al programa de mantenimiento, sobre todo en los rodillos tensionadores que permiten disminuir la vibración del alambre.
- Se recomienda realizar auditorías internas de 5S (trimestral) con la participación de los gerentes de la organización. Además, de una auditoría y capacitación anual por una consultora externa. Esto permitirá el involucramiento y concientización de toda la organización en el orden y la limpieza.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- BESTERFIELD, Dale
2009 *Control de calidad*. Octava Edición. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- DOMÍNGUEZ, José Antonio
1995 *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Madrid: McGraw-Hill.
- ECKES, George
2004 *El Six Sigma para todos*. Bogotá: Norma.
- ESCALANTE, Edgardo
2003 *Seis-Sigma: metodología y técnicas*. México, D.F.: Limusa
- GARCÍA L., Nelson
2005 "Límites de la aleatoriedad calculados mediante la desviación estándar".
<<http://www.eyeintheskygroup.com/Azar-Ciencia/Análisis-Estadístico-Juegos-de-Azar/Desviación-Estandar-Aciertos-Maximos-Minimos.htm>>
- GÓMEZ, Fermín, José VILAR y Miguel TEJERO
2003 *Seis Sigma*. Segunda Edición. Madrid: Fundación Confemetal.
- HIRANO, Hiroyuki
1991 *Manual para la implantación del JIT: una guía completa para la fabricación "just-in-time"*. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción.
- IMAI, Masaaki
1992 *Kaizen: la clave de la ventaja competitiva japonesa*. México, D.F.: Compañía Editorial Continental.
- KOGYO, Nikkan.
1991 *Poka-yoke: mejorando la calidad del producto evitando los defectos*. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción.
- KRAJESWSKI, Lee, Larry RITZMAN y Manoj MALHOTRA
2008 *Administración de operaciones. Procesos y cadenas de valor*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- LEFCOVICH, Mauricio
2009 *Seis SIGMA "Hacia un nuevo paradigma en gestión"*. Buenos Aires: El Cid Editor.
- MOLTENI, Raúl y Oscar CECCHI

- 2008 El liderazgo del Lean six sigma. Buenos Aires: Ediciones Macchi.
- MONTGOMERY, Douglas.
2002 *Diseño y análisis de experimentos*. México, D.F.: Limusa Wiley.
 - MONTGOMERY, Douglas.
2005 *Control estadístico de la calidad*. México, D.F.: Limusa Wiley
 - NAKAJIMA, Seiinchi
1991 *Introducción al TPM: mantenimiento productivo total*. Cambridge: Productivity.
 - NEUBAUER, Dean V.
2011 *La diferencia entre capacidad y control*.
<http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPMJ11/datapoints_spmj11.html>
 - ROSALES, Alonso
2009 *Análisis de modos y efectos de fallas potenciales*. Argentina: El Cid Editor.
 - SUMMERS, Donna C.S.
2006 *Administración de la calidad*. Ciudad de México: Pearson Educación.
 - SHINGO, Shigeo
1990 *Una revolución en la producción: el sistema SMED*. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción.
 - VILAR, José Francisco
1997 *Las siete nuevas herramientas para la mejora de la calidad*. Madrid: Fundación Confemetal.
 - WOMACK, James
2005 *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. España: Planeta DeAgostini Profesional y Formación, S.L.