

# MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE GALVANIZADO MEDIANTE SEIS SIGMA Y EL ANALISIS DE LA INFORMACION

## GALVANIZED SERVICE IMPROVEMENT THROUGH SIX SIGMA METHODOLOGY AND INFORMATION STRUCTURE ANALYSIS

Ricardo Alonso Ortiz Lara<sup>1</sup> , Leticia Galleguillos Peralta<sup>2</sup>

### RESUMEN

El servicio de galvanizado perteneciente a una empresa del rubro metalmecánico de la ciudad de Talcahuano, presenta algunas falencias que impiden, por un lado, tener el control total de los costos del proceso y, por otra parte, entregar un servicio de calidad al cliente. Ambas situaciones generan una preocupación constante en la alta gerencia de la organización.

Por tales motivos, en el presente trabajo se elabora una propuesta de mejoramiento del proceso de galvanizado, a través de un análisis de la situación actual, con el objetivo de detectar los principales puntos de la problemática existente, los cuales están relacionados con el control de los insumos (específicamente el consumo de zinc) y con el flujo de la información generada en el proceso.

La metodología utilizada consiste, en primera instancia, en la aplicación integrada de un modelo de "Seis Sigma", con el cual se logra reducir la variabilidad del espesor de los recubrimientos de zinc de los materiales galvanizados, y, por la otra, en el análisis y diseño de un modelo de la información que permita mejorar el flujo informativo generado entre las distintas actividades del proceso de galvanizado. Por último, se utiliza el modelo de Kaplan y Norton para definir una estructura de indicadores de gestión, que permiten medir el desempeño de las mejoras planteadas.

**Palabras claves:** Seis Sigma, Análisis de Información, Indicadores de Desempeño.

### ABSTRACT

Galvanizing Service belonging to a company in the city of Talcahuano, presents some shortcomings that prevent, on the one hand, the total control of the process's costs and on the other hand, providing a quality service to the clients. Both situations generate a constant concern in the senior management of the Organization.

For such reasons, the present paper elaborates a proposal for improving the process of galvanizing, through an analysis of the current situation with the aim of detecting the main points of the existing problems, which are related to the control of inputs (specifically the consumption of zinc) and with the flow of the information generated in the process.

---

<sup>1</sup>Instapanel, Talcahuano, Chile.rortiz@instapanel.cl

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bio-Bío, Concepción, Chile.

Autor para correspondencia: lgalleguillos@ubiobio.cl

Recibido: 01.09.2011 Aceptado: 30.04.2012

The methodology used is in the first instance, the integrated implementation of a model of “Six Sigma”, which will reduce the variability of the thickness of coatings of zinc galvanized materials, and on the other, in the design of a model of the information structure which allows to improve the information flow of the galvanizing process. Finally, Kaplan and Norton model is used to define a structure of management indicators, which allow measuring the performance of the raised improvements.

**Keywords:** Six Sigma, information analysis, indicators.

## INTRODUCCIÓN

El incremento en las necesidades de infraestructura a nivel industrial, en el país, han derivado en el aumento de las operaciones de las empresas involucradas en el sector de la construcción y otras áreas asociadas, las cuales, al tener que operar a niveles cada vez mayores, han tenido que aumentar sus capacidades administrativas y productivas. En este aspecto, la empresa analizada participa activamente con el “Servicio de galvanizado por inmersión en caliente”, satisfaciendo a todos sus clientes, principalmente maestranzas y empresas constructoras que requieran tales recubrimientos en sus proyectos particulares.

Este servicio ha presentado un crecimiento continuo durante los últimos años, razón por la cual la empresa ha visto la necesidad de mejorar el proceso (incluyendo la gestión del mismo) con el objetivo de aumentar la eficiencia del servicio entregado y cumplir con el principal punto de su Sistema Integrado de Gestión, el cual consiste en satisfacer las expectativas del cliente.

Los problemas detectados están asociados a reclamos por atrasos; descoordinación con los clientes al momento de realizar el retiro de sus pedidos; falta de coordinación de la información entre las distintas áreas de la empresa; falta de control en algunas etapas del proceso, especialmente en lo relacionado con el espesor de zinc, y falencias en las actividades administrativas que impiden tener la agilidad que se requiere para dar un buen servicio. Todo esto trae como consecuencia un costo de pobre calidad que asciende aproximadamente a USD 80.000.

El planteamiento de mejoras generadas se basa en un análisis de la situación actual del servicio de galvanizado, donde se detectan los principales puntos de la problemática existente, los cuales son estudiados a través de la aplicación integrada de un modelo de “Seis Sigma”. Con éste se logra reducir la variabilidad del espesor de los recubrimientos de zinc de los materiales galvanizados, y un modelo de análisis de información que permite mejorar el flujo informativo del proceso de galvanizado. El desempeño de los puntos anteriormente planteados es monitoreado a través de una estructura de indicadores de gestión establecidos según el modelo de Kaplan y Norton (Kaplan *et al.*, 1997).

El servicio de galvanizado, en términos generales consiste en la recepción de los materiales de diversos clientes, el galvanizado de éstos, las revisiones de calidad y la entrega del producto galvanizado al cliente. Para poder llevar a cabo este ciclo son necesarias una serie de actividades productivas y administrativas (Schroeder, 1992).

Con el fin de poder comprender la problemática actual en toda su magnitud, se realizó una descripción detallada de cada una de las etapas del proceso de galvanizado, identificando el personal involucrado en las distintas operaciones y las actividades ejecutadas en cada etapa. Las actividades y personal involucrado en la ejecución del servicio de galvanizado se pueden detallar en las siguientes operaciones:

- Ingreso de camión a planta: En Portería se realiza el pesaje de la carga del camión; se genera la guía de pesaje del pedido.
- Recepción de Material: Personal de despacho se encarga de descargar el pedido en la zona de acopio y se verifica la información de la guía de traslado del cliente.
- Elaboración de nota de venta: El área comercial de la planta se encarga de ingresar el pedido (Kg.) al sistema MFG PRO (sistema ERP utilizado en las dos plantas de la empresa.). Los pedidos son codificados según la información de la guía de traslado del cliente, a través de la clasificación de los materiales a galvanizar indicada en ésta.
- Finalmente la nota de venta es entregada al Departamento de Planificación, junto a las guías de pesaje y traslado.
- Programación del galvanizado: El Departamento de Planificación recibe todos los documentos, asigna un número de lote interno al pedido y elabora un detalle del material, separándolos por espesor, por dimensiones o por tipo de estructura. Luego procede a identificar el material (marcado en patio de acopio) y, finalmente, elabora un “programa galvanizado de terceros” con el detalle de cada uno de los pedidos (este programa es elaborado a través del software MFG PRO), el cual es entregado al Departamento de Producción para su posterior proceso.
- Galvanizado de los materiales: El Departamento de Producción procesa el material según el siguiente procedimiento: Utilizando como guía el “programa galvanizado de terceros” entregado por Planificación, el personal de producción toma el material desde la zona de acopio (“zona denominada patio en negro”) para llevarlo al área de carga. El proceso productivo que continúa se puede detallar a través de las siguientes etapas:
  - Carga de Material: El material se va cargando en distintos tipos de racks, que son las estructuras acondicionadas para sostener diversos materiales durante el proceso de galvanizado; el material se va cargando de acuerdo a la geometría de las estructuras y espesor de éstas.
  - Limpieza Cáustica o Ácida: Se utiliza una solución alcalina caliente o ácida para eliminar los contaminantes orgánicos como la tierra, pinturas al agua y aceites de la superficie metálica.
  - Decapado por Baño Ácido: Las incrustaciones y el óxido normalmente se sacan de la superficie de acero, decapando en una solución diluida de ácido sulfúrico caliente o ácido hidroc্লórico a temperatura ambiente.
  - Inmersión en Sal Flux: Es la etapa final en la preparación de la superficie en el proceso de galvanizado. Esta inmersión elimina los restos de óxido y previene que otros óxidos se formen en la superficie del metal antes de ser galvanizado; además, facilita la unión del zinc líquido a la superficie del acero.
  - Galvanizado: En esta etapa el material está completamente sumergido en un baño de zinc fundido puro. La química del baño está especificada por la American Society of Testing and Materials (ASTM), A123/A123M-02. La temperatura del baño se mantiene en aproximadamente 450 grados Celsius. Las piezas fabricadas se sumergen en el zinc el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura del baño. Los artículos son lentamente retirados y el exceso de zinc se saca estilando por vibración. Los artículos son enfriados, ya sea en agua o aire frío, inmediatamente después de haber sido retirados del baño.
  - En esta etapa se genera un informe de galvanizado, el cual es retirado por personal del departamento de planificación al final de cada turno. En este informe se detalla lo siguiente:
    - Materiales procesados: se detalla la cantidad y los kilogramos galvanizados; además, se indica el micraje promedio de cada rack.
    - Horas de la línea de galvanizado: cantidad de horas en que fueron procesados los diferentes materiales.
- Limpieza del material: Una vez enfriado el material, se traslada a “zona de terminaciones”, lugar donde el personal retira los residuos dejados por el proceso de galvanizado,

tales como cenizas, zinc acumulado (por geometría de la pieza). Además, se cubren algunas zonas que no pudieron ser recubiertas por la inmersión en caliente. Para ello es necesaria la revisión de la totalidad de las piezas procesadas.

- En esta etapa también se genera un “informe de terminaciones”, donde se detalla la cantidad de elementos terminados y las horas en que fueron procesados. Este informe también es retirado por el personal del Departamento de Planificación al final de cada turno.
- Inspección: El personal del Departamento de Calidad inspecciona los productos galvanizados de acuerdo a los estándares aceptados y aprobados por la norma ASTM A123/A123M-02. Estos estándares cubren todos los detalles, desde espesores mínimos necesarios para el recubrimiento, de acuerdo a distintas categorías de materiales galvanizados, hasta la composición del metal zinc utilizado en el proceso.
- Ingreso de la información al sistema MFG PRO: El personal del Departamento de Planificación ingresa la información de cada uno de los turnos al sistema MFG PRO (h y zinc consumidos), reportando de esta forma el material galvanizado y en condiciones de ser despachado.
- Despacho del material: El cliente ingresa a planta a retirar sus pedidos galvanizados, previa coordinación con el área comercial de la planta. Portería comunica al Departamento de Planificación la llegada del cliente, el cual confirma que el pedido esté en condiciones de despacho (galvanizado y terminado), dadas estas condiciones, se comunica a personal de despacho el ingreso del cliente. El personal de despacho procede a cargar el material a través del detalle generado por el Departamento de Planificación, y con la guía de traslado del cliente; todas estas actividades se realizan previa confirmación del contador de costos, quien verifica los aspectos financieros del pedido a través de la nota de venta; finalmente se genera la guía de despacho, sustrayendo los materiales del sistema operativo (MFG PRO).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Como ya se indicó, el presente trabajo se basa principalmente en la aplicación de la metodología Seis Sigma (Gutiérrez, 2009), en lo referente al proceso de propuesta de mejoras, a través de lo cual se genera una propuesta que permite disminuir el espesor de zinc en las estructuras galvanizadas.

Seis Sigma se define como “una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus necesidades. La estrategia  $6\sigma$  se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico. Asimismo, tiene tres áreas prioritarias de acción: Satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos” (Gutiérrez, 2009).

El enfoque Seis Sigma provee una metodología para analizar los procesos de la empresa, centrándose en lo que los clientes desean, eliminando tanto lo que no agrega valor como su variación. Un proceso con capacidad Seis Sigma significa que mantiene una distancia de seis veces la desviación estándar entre la media del proceso y los límites de especificación. En otras palabras, la variación del proceso se reduce de tal forma que sólo se producen 3,4 oportunidades de defecto por cada millón de unidades producidas (de Benito Valencia, 2000).

Las metodologías que tiene a su disposición esta metodología son DMAIC y DMAVC, siendo la primera utilizada en la resolución de problemas, y la segunda en el diseño de productos, servicios o procesos. En el actual proyecto se utilizó DMAIC, siglas que representan a las

etapas de Definir, Medir, Analizar, Mejorar (del inglés Improve) y Controlar, que son los cinco pasos necesarios para definir y mejorar probadamente los procesos, productos y servicios (Eches *et al.*, 2003).

- Definir: determina los objetivos del proyecto y entregas a los clientes (internos y externos).
- Medir: identifica una ó más características del producto o servicio, mapas de proceso, evalúa los sistemas de medición y estima la capacidad.
- Analizar: se evalúan y reducen las variables con análisis gráfico y pruebas de hipótesis e identifican los factores vitales para la mejora de los procesos.
- Mejorar: descubre las relaciones entre las variables vitales, establece tolerancias de funcionamiento y valida las mediciones.
- Control: determina la capacidad para controlar los factores vitales e implementa sistemas de control de proceso.

Por su parte DMADV está asociado a Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar.

- Definir: se determinan los objetivos del proyecto y del cliente (interno y externo)
- Medir: se determinan las necesidades y especificaciones del cliente.
- Analizar: se estudian las opciones del proceso para satisfacer lo que el cliente necesita.
- Diseñar: es el diseño (detallado) del proceso para satisfacer lo que el cliente necesita.
- Verificar: se comprueba el rendimiento y capacidad del diseño para satisfacer las necesidades del cliente

En este trabajo se incluyen las etapas correspondientes al estudio del caso, es decir, la selección del proyecto, definición, medición y análisis, dejando las etapas de implementación de mejoras y control a modo de recomendación, ya que su puesta en marcha queda en manos de la empresa.

Es importante destacar que, conceptualmente, los resultados de los proyectos Seis Sigma se obtienen por dos caminos. Por un lado, los proyectos consiguen mejorar las características del producto o servicio, permitiendo conseguir mayores ingresos y, por otro, el ahorro de costes que se deriva de la disminución de fallos o errores y de los menores tiempos de ciclo en los procesos (de Benito Valencia, 2000).

A través del desarrollo del presente proyecto se utilizan herramientas generales que son utilizadas en cualquier método de mejora Seis Sigma, las cuales son empleadas en la identificación de las variables de entradas claves del presente proyecto; los dos métodos sistemáticos de análisis empleados para este fin son los siguientes:

- Diagrama Causa Efecto
- Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) del proceso completo de galvanizado.

Ambas metodologías permiten identificar causas que pudiesen provocar resultados no esperados, ya el diagrama causa-efecto identifica variables que se mantendrán constantes (C), variables de ruido o no controladas (N), y las variables claves para su posible mejora o experimentación (X).

El AMEF es una técnica de prevención, utilizada para detectar por anticipado los posibles modos de falla, con el fin de establecer los controles adecuados que eviten la ocurrencia de defectos. De acuerdo a la metodología AMEF, los modos de falla que realmente provocan efectos en la salida del sistema en cuestión, y en los cuales se debe acentuar el estudio de los procedimientos y causas de falla, son los modos potenciales que poseen un índice de prioridad de riesgo de acuerdo a lo que plantea AMEF, que superan los 50 puntos. El índice de prioridad de riesgo se calcula para cada modo de falla determinado por el equipo multidisciplinario, y se obtiene multiplicando los factores establecidos según la tabla N°1 (Seis Sigma Green Belt,

2008; Análisis de modo y efecto de la falla, 2011; Procedimiento de elaboración del AMEF, 2011; AMEF, 2011).

**Tabla 1:** Factores de cálculo del índice de prioridad de riesgo del AMEF

Score Categoría	5 (muy Malo)	4	3	2	1 (Bueno)
<b>Severidad (SEV)</b>	<u>Severas</u> (consecuencias de falla)	Alto	<u>Moderada</u> Consecuencia de falla	Menor	<u>Insignificante</u> consecuencia de falla
<b>Ocurrencia (OCC)</b>	<u>Muy Alta</u> Probabilidad de causar el modo de falla	Alto	<u>Moderada</u> Probabilidad de causar el modo de falla	Bajo	<u>Muy baja</u> probabilidad de causar el modo del falla
<b>Detección (DET)</b>	<u>Muy Alta</u> Probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente	Alto	<u>Moderada</u> Probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente	Bajo	<u>Muy Baja</u> Probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente

Fuente: Seis Sigma Green Belt, 2008

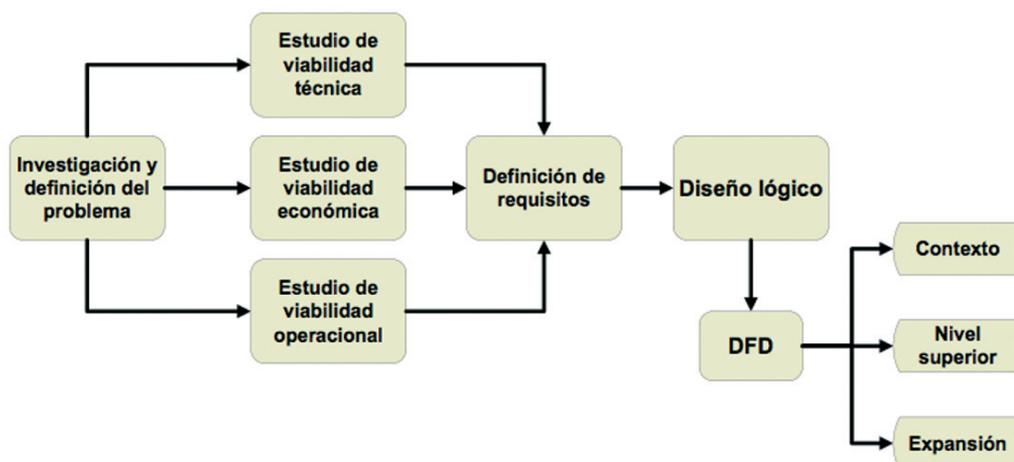
Es importante indicar que, además, se emplean otras herramientas. Entre ellas, las de análisis estadístico, tales como el Contraste de Hipótesis y Análisis de Regresiones (Acuña, 2011; Guía para el análisis de datos, 2011; Baca, 2009). En este último aspecto cabe destacar la utilización de un análisis de regresión elaborado con el propósito de determinar los tiempos de inmersión en la tina de zinc (variable clave analizada en el proyecto Seis Sigma) de acuerdo al tipo de material procesado. Los datos correspondientes al análisis fueron recolectados durante los meses de julio y agosto del año en estudio, cuantificando un total de 319 muestras repartidas en los distintos ítems de la línea base, es decir, Vigas, Perfiles y Cerchas clasificados de acuerdo a los rangos de espesores: 1.5-3.2; 3.2-6.4; >6.4mm. El desglose de las muestras medidas y utilizadas en el análisis de regresión para este análisis se expone en la tabla N°2.

**Tabla 2:** Muestras utilizadas (análisis de regresión)

Espesor (mm)	Muestras		
	Perfiles	Cerchas	Vigas
1.5-3.2	84	38	24
3.2-6.4	58	35	33
> 6.4	10	8	29

El otro fundamento del presente trabajo está referido al análisis de sistemas (Senn, 1992), el cual es aplicado en la propuesta de mejoramiento de los flujos de información correspondiente al proceso del servicio de galvanizado de terceros. En este aspecto cabe destacar el empleo de la especificación estructurada a través del desglose total del ciclo del proceso, utilizando los diagramas de flujo de datos como herramienta fundamental del análisis realizado.

El presente análisis es abordado de acuerdo a los procedimientos establecidos en el diagrama de flujo de la figura N°1.



**Figura N°1:** Diagrama de flujo del análisis y diseño de un SI

Por último, cabe señalar que se utilizó el modelo de Kaplan y Norton, que define una estructura de indicadores de gestión, los cuales permiten medir el desempeño de las acciones planteadas a través de los resultados del proyecto Seis Sigma y del análisis del sistema de información realizado.

Los distintos tipos de análisis y herramientas mencionados anteriormente, fueron desarrollados con el apoyo de aplicaciones informáticas (Excel, statgraphics, SPC XL 2000, Visio, entre otros), las cuales permitieron el procesamiento de datos y cálculos necesarios para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

## RESULTADOS

Los resultados del presente trabajo se exponen de acuerdo a los objetivos específicos planteados, los que apuntan tanto a temas netamente técnicos y pertenecientes al proceso, como lo es el desarrollo del proyecto Seis Sigma ***“Disminución del espesor de recubrimiento de zinc en productos galvanizados de terceros en la planta de Talcahuano”***, como también a aspectos de gestión referidos a los resultados obtenidos a partir del análisis y diseño del sistema de información del servicio de galvanizado de terceros.

### Proyecto Seis Sigma

Una vez establecida la etapa de definición del proyecto y determinada la línea base del mismo, se procede a realizar la recolección de los datos, etapa que se efectúa a través del examen de los registros desde el 01 de marzo del 2007 al 29 de febrero del 2008. La muestra tomada corresponde al 100% de la producción real total de estos meses. Los resultados generados a través de este estudio, junto con los límites especificados por la norma que rige el galvanizado en caliente (Norma ASTM A123/ A 123M-02) y las metas establecidas para el proyecto Seis Sigma, se resumen en la siguiente tabla N°3.

**Tabla N° 3:** Micraje actual de los elementos de la línea Base

Espesor (mm)	Norma	Meta 6-Sigma	Micraje Promedio Actual		
			Perfiles	Vigas	Cerchas
1.5-3.2	65	75	98	93	97
3.2- 6.4	85	95	121	120	109
Sobre 6.4	100	125	143	147	146

Medición del proceso actual, Capacidad actual del sistema. La capacidad o aptitud que tiene un proceso para satisfacer las especificaciones técnicas que demanda un producto o requerimiento es medida a través de los indicadores Cp (Capability Process), utilizado cuando la media nominal es igual a la media de los datos y Cpk, usado cuando la media nominal es diferente de la media de los datos. El índice K Indica qué tan lejos está la media del proceso respecto de la media nominal. Es necesario señalar que la interpretación de los índices Cp y Cpk se fundamenta en los supuestos de que la variable se distribuye normal, que el proceso es estable y que se conoce la desviación estándar del proceso.

En el caso del presente estudio, el cálculo actual de la capacidad del proceso se realizará a partir del índice Cpk; esto, debido a que las especificaciones del proceso (norma asociada) están establecidas sólo por un mínimo, es decir, por el límite de especificación inferior, no teniendo una media nominal.

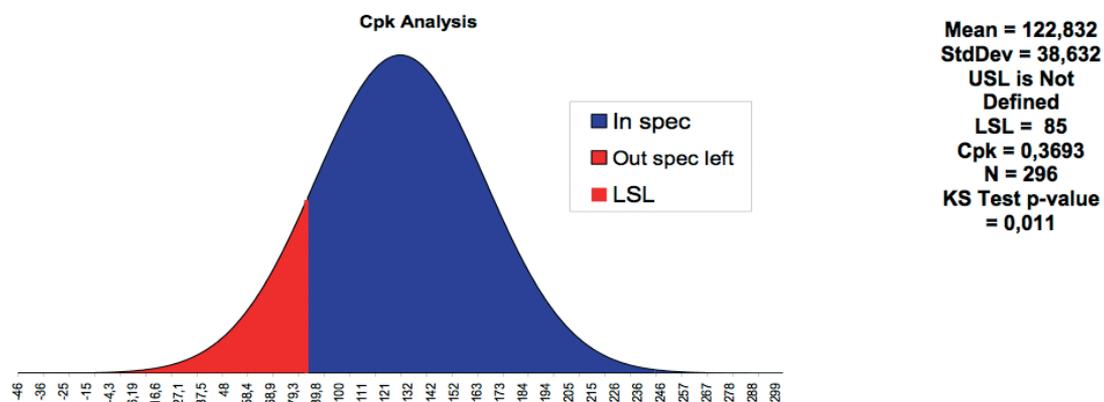
La capacidad del proceso actual indica cuál es el comportamiento del proceso referente a las especificaciones solicitadas. De aquí se deriva la importancia de este análisis, ya que si un proceso no está cumpliendo con lo requerido, se deben buscar las variables claves que inciden en el resultado final del producto, las cuales deben ser estudiadas y analizadas con el fin de modificar el índice de capacidad actual. Los criterios básicos para juzgar la capacidad o aptitud de un proceso dividen la distancia de los límites de especificación con los límites reales del proceso; por lo tanto, se tiene que:

Si  $Cp$  (o  $Cpk$ )  $> 1$  El proceso es capaz (ya que la amplitud especificada es mayor a la amplitud real proceso).

Si  $Cp$  (o  $Cpk$ )  $= 1$  El proceso tiene potencial (está en el límite de igualdad).

Si  $Cp$  (o  $Cpk$ )  $< 1$  El proceso no es capaz (los límites reales del proceso tienen mayor amplitud que las especificaciones, es decir, existe desperdicio).

La etapa de medición finaliza realizando el cálculo de la capacidad actual del proceso, el cual fue obtenido a través del software **SPC XL 2000** (es una aplicación estadística de Excel especialmente diseñada para análisis del tipo Seis Sigma). A continuación, en la figura N°2 se expone un ejemplo del análisis realizado en cada elemento de la línea base, donde cabe señalar que además de obtener el cálculo de la capacidad del proceso ( $Cpk$ ) que indica cuál es el comportamiento del proceso referente a las especificaciones solicitadas, se comprueba la normalidad de los datos a través del test de Kolmogorov Smirnov, donde la probabilidad asociada al estadístico resultó ser menor a 0.05 en todos los casos analizados (Kiemele *et al.*, 2000).



**Figura N° 2:** Ejemplo de análisis de capacidad para Perfiles 3.2-6.4mm  
Software SPC XL2000

En la tabla N°4 se muestran los valores calculados para el índice de capacidad del proceso para cada uno de los elementos pertenecientes a la línea base.

**Tabla N° 4: Cpk Actual de los elementos de la línea Base**

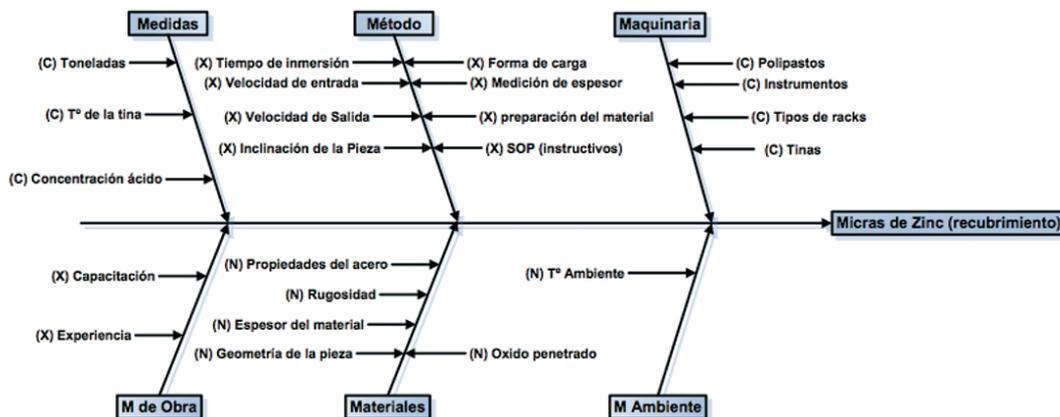
Espesor (mm)	Cpk actual		
	Perfiles	Vigas	Cerchas
1.5-3.2	0.4359	0.5166	0.5401
3.2- 6.4	0.3693	0.3814	0.3485
Sobre 6.4	0.4119	0.4375	0.351

Tal como se puede apreciar, los Cpk correspondientes a los distintos ítems en estudio tienen un valor mucho menor a 1. Por lo tanto, el proceso actualmente no es capaz de cumplir con las especificaciones solicitadas.

También se elaboraron gráficas de control X barra y cartas de rangos para cada uno de los ítems de la línea base, en los cuales se puede apreciar que el proceso no se encuentra bajo control estadístico, por lo que se debe analizar tanto la información perteneciente al proceso en sí (galvanizado) como las variables de las etapas que están presentes a través de todo el ciclo productivo y que tengan intervención en el resultado final obtenido.

Con el fin de trabajar en la dirección correspondiente a la identificación de las variables claves de entrada, y los pasos del proceso en los que se debería enfocar el presente estudio, se elaboran dos métodos sistemáticos de análisis. Estos son:

- Diagrama Causa Efecto, mostrado en la figura N°3.
- Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) del proceso completo de galvanizado, mostrado en la figura N°4.



C = Variables que se mantienen constantes  
N = Variables no controlables  
X = Variables claves para su análisis

**Figura 3: Diagrama Causa Efecto**

Pasos de Proceso	Modo de Falla	Efectos de Falla (consecuencia de Modo de Falla)	Causas (de modo de Falla)	Controles Actuales	SEV	OCC	DET	IPR
Material en Negro	Oxido Penetrado	Exceso de Decapado, Exceso de Recubrimiento	Material recibido con óxido	Inspeccionar Material	5	3	2	30
	Tipo de Acero	El comportamiento del acero varía drásticamente según el tipo de acero	Cliente no entrega o no sabe especificaciones técnicas del acero que trae	Experiencia de Jefes de Máquina y Operarios	5	5	4	100
	Material con distintos Espesores	No tener claro que espesor considera para el tiempo de inmersión de la tina de zinc	Variable propia del Material	Considerar espesor más representativo	5	4	3	60
	Diversidad Geométrica del Material	Hace más difícil la estandarización de los materiales y procedimientos de trabajo	Variable propia del Material	Clasificación del material	4	4	2	32
Zona de Carga	Falla de Perforaciones	Fiabilidad de la pieza, exceso de recubrimiento, reprocesos	Inspección deficiente, poca experiencia	Experiencias de Operarios	5	2	2	20
	Angulo de inclinación inadecuado	Afecta al ángulo de inmersión	Poca Experiencia, poca capacitación	Experiencias de Operarios Zona de Carga	4	5	3	60
	Mala estiba del material	Riesgo que se desmonte la pieza, exceso de recubrimiento	Poca Experiencia, poca capacitación	Experiencias de Operarios Zona de Carga	5	2	2	20
	Combinar espesores en un rack	No tener claro que espesor considerar para el tiempo de inmersión en la tina de zinc	Optimizar el uso de un rack (productividad)	Considerar el espesor más representativo	5	5	3	75
	Combinar distintas clasificaciones	Que algunos elementos del rack salgan con demasiado recubrimiento	Diversidad de materiales	Mejorar clasificación de materiales	4	4	2	32
	Piezas sobre dimensionadas	Dificultad de inmersión de la pieza en la tina de zinc, exceso de recubrimiento	Variable propia de Material	Inspección de Control de Calidad	5	3	1	15
Etapa de Decapado	Exceso del tiempo de Inmersión de decapado	Exceso de decapado y por lo tanto exceso de recubrimiento	Falta de control y capacitación de parte de operadores	Experiencia, capacitación, instructivos	5	4	3	60
	Procedimiento de Trabajo inadecuado	Utilizar criterios propios en los procedimientos de trabajo. Exceso de decapado o falta de decapado. Exceso de recubrimiento o falta de recubrimiento	Instructivos de trabajo ambiguos	Experiencia, capacitación	5	3	2	30
	Material particulado en superficie de la pieza	Falta de escurrimiento en tina de zinc, exceso de recubrimiento	Falta de enjuague	Inspección, reforzar enjuague con manquera	4	2	2	16
	Velocidad de entrada muy lenta	Aumenta tiempo de inmersión, exceso de recubrimiento	Falta de control y capacitación de parte de operadores	Controlar de acuerdo a geometría de la pieza y experiencia	5	4	3	60
Etapa de Galvanizado	Baja T° del baño de zinc	Menos escurrimiento del zinc, exceso de recubrimiento	Falta de control y capacitación de parte de operadores	Esperar T° adecuada para inmersión	5	2	2	20
	Corte de energía	Mayor tiempo de inmersión, exceso de recubrimiento	Equipo electrógeno no operativo durante corte de energía	Chequear equipo electrógeno	5	3	2	30
	No considerar Espesor entregado en programa	Dar un tiempo de inmersión inadecuado, exceso de recubrimiento o falta de recubrimiento	Falla operacional	Dar tiempos de inmersión en base a experiencia	5	3	5	75
	T° ambiente	A bajas temperaturas, poco escurrimiento, aumento de recubrimiento	Variable ambiental	Velocidad de salida lenta, menos tiempo de inmersión	3	2	2	12
	Tiempo excesivo de inmersión en tina de zinc	Exceso de Recubrimiento	Falta de control y capacitación de parte de operadores	Controlar con cronómetro tiempo de inmersión en base a experiencia	5	4	4	80
	Velocidad de salida muy rápida	Poco escurrimiento, exceso de recubrimiento	Falta de control y capacitación de parte de operadores	Controlar de acuerdo a geometría de la pieza	5	4	3	60
Medición de Micras	Falla operacional	Exceso de tiempo de inmersión, exceso de recubrimiento	Falta de control y capacitación de parte de operadores (demora en el papeleo)	Experiencia, capacitación y control	5	3	2	30
	Procedimientos de Trabajo inadecuado	Utilizar Criterios propios en la forma de medir el micraje.	Instructivos de Trabajo muy generales	Experiencia, criterio propio	4	3	2	24

SEV	Severidad
OCC	Ocurrencia
DET	Detección

Figura N° 4: AMEF. Espesor de recubrimiento de zinc de materiales galvanizados.

A continuación se exponen los resultados de la combinación de las soluciones generadas por ambos métodos, los cuales permiten identificar las entradas claves del proceso en estudio:

**Tabla5:** Combinación de ambas metodologías

<b>Modo de Falla (variable clave)</b>	<b>Índice AMEF</b>	<b>Tipo de variable</b>
Composición del Acero	100	NC
Tiempo excesivo de inmersión en tina de zinc	80	X
No considerar Espesor entregado en programa	75	X
Combinar espesores en un rack	75	X
Material con distintos Espesores	60	NC
Angulo de inclinación inadecuado	60	X
Exceso del tiempo de Inmersión en decapado	60	X
Velocidad de entrada muy lenta	60	X
Velocidad de salida muy rápida	60	X

A partir del análisis detallado realizado para cada variable que tiene incidencia en el recubrimiento de zinc, se elaboró un plan de mejoramiento, en el que intervienen principalmente los procedimientos actuales de trabajo de cada variable en análisis, y está centralizado en la obtención del resultado planteado en los objetivos del presente proyecto Seis Sigma.

El plan de mejoramiento a implementar consiste en desarrollar un modelo que permita predecir el micraje para un material en proceso (modelo de regresión). Cabe señalar que el tiempo de inmersión en la tina de zinc es la única variable de predicción a utilizar en el análisis del espesor del recubrimiento, por lo que el modelo de regresión planteado será lineal.

Es importante destacar que todas las actividades planteadas en el plan de mejoramiento serán incluidas en los instructivos de trabajo de las respectivas áreas del proceso, previa capacitación al personal involucrado (tal como lo exige el sistema de gestión integrado de calidad existente en la organización).

A modo de ejemplo, en la figura N°5 se presenta el análisis de regresión elaborado para las Vigas (3.2-6.4mm); este análisis se llevó a cabo en todos los elementos de la línea base.

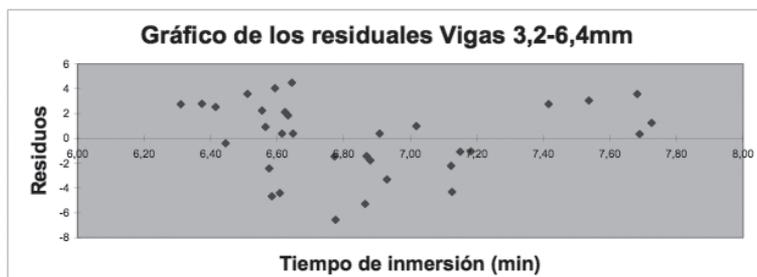
**Resumen**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coef. de correlación (R)	0,971725204
Coef. de determinación R <sup>2</sup>	0,944249871
R <sup>2</sup> ajustado	0,94245148
Error típico	3,004505303
Observaciones	33

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	4739,676536	4739,676536	525,0525283	5,38581E-21
Residuos	31	279,8386156	9,027052115		
Total	32	5019,515152			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-100,6856968	9,214762392	-10,92656462	3,70465E-12
Variable X 1	30,7355919	1,341344102	22,91402471	5,38581E-21



**Figura 5:** Ejemplo de análisis de regresión

A continuación, en la tabla N°6 se expone un resumen de los diferentes parámetros evaluados en cada uno de los análisis ejecutados en los ítems pertenecientes a la línea base, donde destacan el coeficiente de correlación (R), el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), los parámetros de la ecuación muestral (b<sub>0</sub> y b<sub>1</sub>), el estadístico T (correspondiente a las pruebas de hipótesis de la pendiente), el valor F (que indica si la ecuación de regresión muestral explica un porcentaje significativo de la varianza de la variable) y la apreciación de los resultados gráficos del análisis residual.

**Tabla N°6:** Resumen del análisis de regresión

Tipo	(mm)	R	R <sup>2</sup>	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	Prob. T	Valor F	Análisis Residual	Muestras (n)
Perfiles	1.5-3.2	0.88	0.78	42.74	14.29	4.55E-22	175	aleatorio	84
	3.2-6.4	0.90	0.82	-83.98	41	7.40E-23	264	aleatorio	58
	> 6.4	0.89	0.8	4.2	16.25	0.0047	14.98	aleatorio	10
Cerchas	1.5-3.2	0.85	0.72	36.29	18.56	1.33E-11	94.4	aleatorio	38
	3.2-6.4	0.85	0.74	-50	28.12	4.10E-11	92.8	aleatorio	35
	> 6.4	0.86	0.75	-9.13	18.09	0.0050	18.61	aleatorio	8
Vigas	1.5-3.2	0.93	0.88	-3.58	16.38	1.18E-11	163	aleatorio	24
	3.2-6.4	0.97	0.94	-100.78	30.73	5.39E-21	525	aleatorio	33
	> 6.4	0.93	0.87	-102.09	26.65	1.082E-13	188	aleatorio	29

Cabe señalar que todos los parámetros evaluados se encuentran dentro de los rangos admisibles de aceptación, razón por la cual se puede afirmar que los diferentes modelos lineales expuestos para cada ítem de la línea base representan en un alto grado el comportamiento del espesor de recubrimiento de zinc, en función del tiempo de inmersión en la tina de zinc.

Los diferentes modelos de ecuaciones de regresión muestral planteados (coeficientes  $b_0$  y  $b_1$  de la tabla N°6) se usan para hacer predicciones puntuales de la variable “espesor de recubrimiento de zinc en materiales galvanizados de terceros”; sin embargo, estas estimaciones puntuales no proporcionan información sobre la distancia a la que se encuentra esta variable del parámetro poblacional (considerando la serie de eventualidades que se dan en el proceso real). Para determinar esta información se desarrollaron intervalos de confianza para cada modelo señalado, los cuales determinan un valor medio del espesor de recubrimiento de zinc para un valor dado de tiempo de inmersión, a través de un nivel de confianza específico, lo que se muestra en la tabla N°7

**Tabla 7: Resultados de los intervalos de confianza**

Ítem en estudio	Tiempo de inmersión (x)	Tiempo de inmersión en min, seg. (x)	Micras de zinc pronosticadas	Intervalo de confianza			Micras según meta 6-sigma	Micras según norma
				Límite inferior	Límite superior	confianza		
<b>Perfiles (mm)</b>								
1.5-3.2	2.35	2' 21"	76	65	87	95%	75	65
3.2-6.4	4.5	4' 30"	100	85	115	95%	95	85
>6.4	7.4	7' 24"	124	101	147	95%	125	100
<b>Cerchas (mm)</b>								
1.5-3.5	2.2	2' 12"	77	65	89	95%	75	65
3.2-6.4	5.38	5' 23"	101	85	118	95%	95	85
>6.4	7	7' 00"	117	100	135	95%	125	100
<b>Vigas (mm)</b>								
1.5-3.2	4.82	4' 49"	76	66	86	95%	75	65
3.2-6.4	6.35	6' 21"	94	88	101	95%	95	85
> 6.4	7.95	7' 57"	110	100	119	95%	125	100

De acuerdo a los datos expuestos, si se asigna el tiempo de inmersión establecido (x) en cada ítem, existe un 95% de confianza de que el espesor promedio de recubrimiento de zinc se encuentre dentro de los intervalos establecidos para cada caso, los cuales tienen una media acorde con las metas fijadas en el proyecto Seis Sigma y tienen un límite inferior mayor o igual al valor mínimo establecido por la norma que rige el espesor del galvanizado en elementos estructurales.

### Resumen del plan de mejoramiento según el proyecto Seis Sigma

A continuación se expone un resumen de los resultados obtenidos (mejoras planteadas) a través del análisis de las variables claves en espesor del recubrimiento de zinc en los materiales galvanizados de terceros:

- Mediante la realización del análisis de regresión lineal elaborado en función de la medición de tiempos de inmersión efectuada a los distintos ítems de la línea base, se establecen las siguientes tablas de apoyo para el proceso (tabla 8), en las cuales se expone el tiempo de inmersión, según el tipo y espesor de los materiales a galvanizar; los resultados aseguran con un 95% de confianza que el valor promedio del micraje corresponda al valor indicado, y que el valor mínimo obtenido en el proceso se encontrará por sobre el valor mínimo exigido por la norma:

**Tabla 8:** Modelo planteado para el proceso

Tipo	(mm)	Tiempo de inmersión (min':s'')	Micras de zinc pronosticadas
Perfiles	1.5-3.2	2' 21"	76
	3.2-6.4	4' 30"	100
	>6.4	7' 24"	124
Cerchas	1.5-3.2	2' 12"	77
	3.2-6.4	5' 23"	101
	>6.4	7' 00"	117
Vigas	1.5-3.2	4' 49"	76
	3.2-6.4	6' 21"	94
	>6.4	7' 57"	110

Es importante indicar que el modelo planteado sirve únicamente si las demás variables claves analizadas a través del plan de mejoramiento están controladas; cabe señalar que estas variables no se incluyeron en el modelo de regresión, debido a que no asumen un cierto valor numérico, sino que su comportamiento está definido según las características mencionadas a través del análisis realizado. Estas variables fueron examinadas individualmente y las acciones resultantes forman parte del plan de mejoramiento planteado. Un resumen de estas acciones se expone a continuación:

- Se solicitará a las maestranzas que antes de entregar las piezas a galvanizar indiquen en la guía de traslado la composición del acero utilizado en la fabricación de los productos enviados. Esta actividad estará a cargo del área comercial de la empresa y será supervisada por el Departamento de Planificación.
- En el caso de que una estructura posea más de un rango de espesor (variable que no depende del proceso), debe ser considerado el mayor espesor que existe en el elemento a galvanizar; de esta forma se evitarán los rechazos por bajo recubrimiento en este tipo de materiales.
- A modo de controlar las operaciones relacionadas con la combinación de espesores, se determina que se deberán cargar sólo materiales del mismo rango de espesor en un mismo rack, es decir, no se deben combinar distintos elementos con distintos rangos de espesores.

- Un operario de la línea de galvanizado será destinado para realizar la programación de la zona de precarga (lugar donde se pesan los materiales), quien, con la guía del programa de galvanizado (entregado por planificación) deberá dirigir la programación de la carga de material.
- En la zona de carga del proceso se debe estibar el material con el mayor ángulo posible (el ángulo de inclinación estará definido por el tipo de material y por los kilogramos cargados); para ello se habilitarán cadenas de carga de distintos tamaños, de modo de dar la mayor inclinación posible al rack.
- La velocidad de entrada debe ser lo más rápida posible (en el caso de los polipastos actuales, deben funcionar en el nivel tres, cuya velocidad corresponde a 3,6mts/min, ya que la idea es que la totalidad de la pieza permanezca en el interior de la tina de zinc sólo el tiempo requerido para alcanzar el micraje exigido por la norma.
- La velocidad de salida del material debe ser lo más lenta posible, con el fin de que el cambio de temperatura del producto no sea demasiado significativo; de esta forma se presenta un mejor escurrimiento del zinc, bajando el espesor de recubrimiento de zinc en la pieza. La velocidad de salida en este punto corresponde al nivel uno de los polipastos, la cual corresponde a 1 mt/min.
- Se establece el término de rotación de los operarios la zona de tina de zinc, con lo cual se pretende alcanzar la especialización necesaria para enfrentar situaciones que escapen a lo normal.
- En relación a los aspectos referidos a la capacitación del personal, cabe señalar que se establece la inclusión de las acciones resultantes del plan de mejoramiento planteado en los instructivos de trabajo de la empresa. Con tal acción, se garantiza que la capacitación y entrenamiento sobre las temáticas planteadas en el presente plan de mejoras serán incluidas en el plan de capacitación anual regulado por Sistema Integrado de Gestión existente en la organización.
- Por último, se recomienda realizar un estudio de tiempos de decapado de los distintos materiales. Los resultados de este estudio permitirán encontrar una relación que sirva para determinar el tiempo de decapado promedio según el tipo de material, clasificado según el espesor y tipo de material.

### **Desarrollo del Análisis y Diseño de un Sistema de Información para el Servicio de Galvanizado**

De los resultados del diagnóstico de los problemas asociados al flujo de la información, se desprende un conjunto de falencias existentes y problemas específicos detectados en el servicio de galvanizado, los cuales conforman la base del problema a resolver. Son los siguientes:

- Tiempo excesivo desde que el pedido entra a la planta hasta que se ingresa a programa de producción.
- Información centralizada en el Departamento de Planificación, lo que deja al área comercial sin conocimiento del status del proceso del material, lo que, a su vez, impide dar una buena respuesta a los clientes.
- La información no es oportuna. El Departamento de Producción entrega la información al Departamento de Planificación al final del turno, por lo que no se tiene conocimiento de los pedidos que están en condiciones de ser entregados durante el transcurso del turno (no existe información *on line*)

- No existe información entre las áreas de los pedidos que están atrasados y no serán entregados en la fecha comprometida, generándose de esta forma los reclamos por atrasos.

Los resultados del análisis de factibilidad indican que el proyecto es aceptado debido a que el problema definido tiene una solución técnicamente realizable, vale decir, con los recursos y conocimientos técnicos disponibles en la empresa se puede diseñar un sistema y en este caso modificar el actual, que resuelva los problemas anteriormente planteados. Además, es posible llevar a la práctica desde un punto de vista operacional el sistema planteado, es decir, la cultura organizacional de la empresa permite la ejecución del sistema. Por último, cabe señalar que no existe una inversión económica de gran envergadura, que limite la implementación del proyecto, cuyos beneficios son intangibles (dirigidos principalmente a la mejora en la atención del cliente), sin embargo, se puede hacer referencia al proyecto en general, es decir, si se incluye el proyecto Seis Sigma elaborado, se puede proyectar un ahorro anual que asciende aproximadamente a USD 80.000. Esta cifra es bastante significativa, por lo que cualquier análisis de inversión que se elabore cuenta con un excelente respaldo desde el punto de vista económico.

### **Requerimientos del sistema**

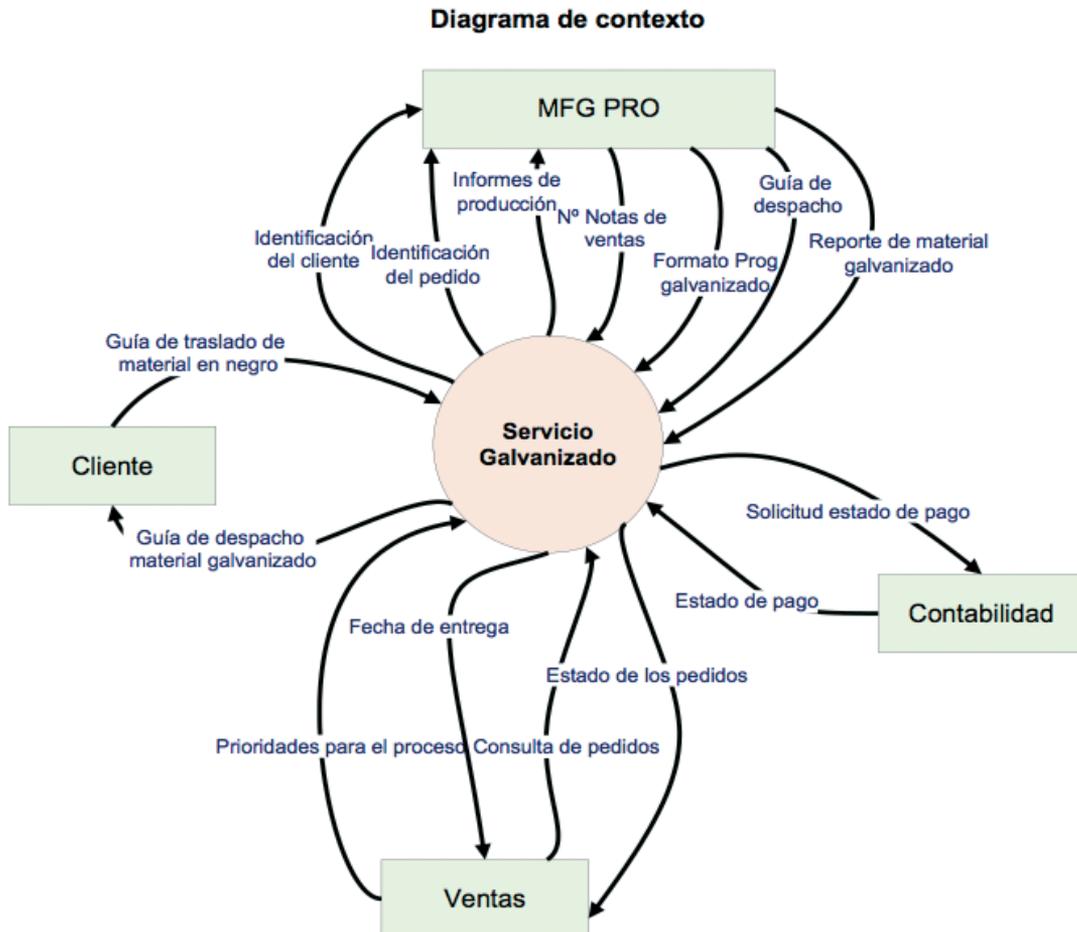
Los resultados de los datos reunidos en el análisis realizado a las distintas áreas involucradas en el proceso, basado principalmente en entrevistas y observación del trabajo, se traducen en los siguientes requisitos del sistema:

- La Nota de Venta (NV) que debe ser la identificación del pedido y la identificación del material deben asignarse cuando los pedidos entren a la planta, de modo que el material pueda ingresarse al programa de galvanizado en el menor tiempo posible. Esto, a su vez, permitirá tener mayor agilidad y flexibilidad en la programación del galvanizado, lo que deriva en una mejora de los plazos de entrega a los clientes.
- Cada usuario debe tener aplicaciones que permitan agregar la información correspondiente a su funciones específicas; por ejemplo, el área de administración de ventas debe agregar el precio. De esta forma se irá completando la información del pedido en paralelo al proceso de galvanizado del material, acortando el tiempo de ciclo total del producto.
- La información sobre el proceso de galvanizado se debe ingresar durante el transcurso del proceso de los materiales, esto es, mediante un sistema on line. Los operadores capacitados en el ingreso de la producción irán alimentando el sistema con los productos procesados durante el turno. Esta actividad se llevará a cabo a través de las nuevas aplicaciones volantes del MFG PRO, las cuales serán diseñadas para este procedimiento.
- La información del proceso y el estado de los materiales debe ser visualizada por todo el personal involucrado en el servicio de galvanizado; para esto se habilitará una opción en el MFG PRO, en la cual se pueda observar el estado de todos los pedidos que se encuentran en proceso, la idea es que todos los usuarios y especialmente el área de atención de clientes, tengan conocimiento de esta aplicación con el fin de poder responder a las consultas referidas sobre algún pedido en particular.

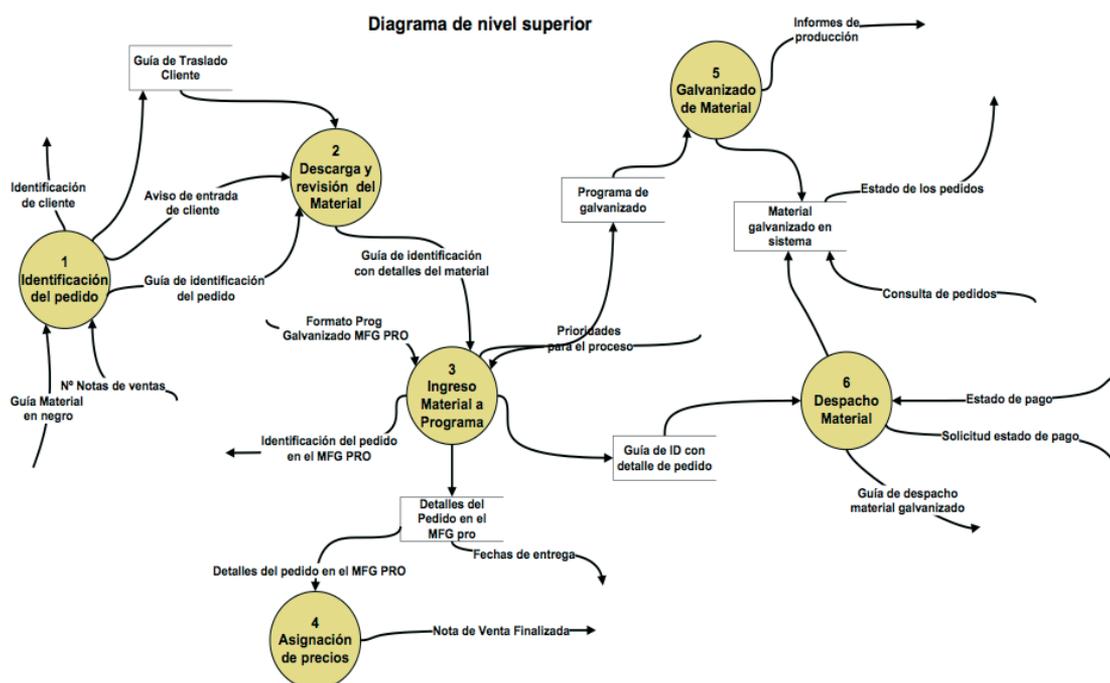
### **Diseño del Sistema**

En la figura N°6 se expone el diagrama de contexto del modelo planteado (Gane & Sarson 1987), en el cual se muestran todas las entidades externas que interactúan con el sistema y los flujos de datos entre estas entidades y el servicio de galvanizado; las entidades correspondientes son: Clientes, Ejecutivo de ventas, Área de Contabilidad y Software ERP de la organización (MFG PRO).

Además, en la figura N°7 se muestra el diagrama de nivel superior del nuevo sistema de información, el cual está elaborado considerando las mejoras propuestas con el objetivo de satisfacer todos los requisitos señalados anteriormente, para lo cual se reasignaron algunas tareas en las distintas áreas involucradas en el servicio de galvanizado, eliminando de esta forma algunos procesos; además, se implementan cambios que permiten disminuir el ciclo del pedido en la planta, principalmente en los aspectos referidos a la ejecución de tareas en paralelo.



**Figura 6:** Diagrama de Contexto del Proceso de Galvanizado



**Figura 7:**Diagrama de Nivel Superior del Sistema de Información Propuesto

### Resultados del nuevo diseño del sistema de información

A través de los nuevos procedimientos establecidos en cada uno de los procesos expuestos en el diagrama de nivel superior, se cumplen los requerimientos solicitados para el nuevo sistema. A continuación se indica el detalle de cada una de las mejoras alcanzadas en las diferentes etapas del ciclo productivo, mediante el nuevo sistema de información expuesto:

- Con las modificaciones realizadas al flujo de información en el primer proceso del pedido referido a la identificación del pedido, etapa en la que actualmente sólo se pesa el pedido y en la recepción del material, fase que ahora agrega el marcado del material en terreno, se disminuye prácticamente en su totalidad el tiempo que transcurre entre la entrada del pedido a planta hasta que se encuentra en condiciones de ser procesado por producción, debido a que el programa de galvanizado puede ser elaborado apenas el camión sea descargado y verificado.
- Al realizar la implementación del ingreso del material galvanizado por parte del personal de producción al sistema MFG PRO, se consigue el objetivo referido a la necesidad de contar con la información del proceso productivo en forma oportuna y on line, ya que el sistema se va alimentando durante el transcurso del proceso.
- Las distintas mejoras que deben ser realizadas en los reportes (salidas) del sistema ERP de la organización (MFG PRO), referidas específicamente a los mejoramientos de máscaras de entrada y salida de datos, permiten que los usuarios puedan ir agregando la información según la función correspondiente. Ejemplo de esto es el caso de la nota de venta, la cual se va elaborando proceso a proceso, esto es, en Portería se asigna el número, en Planificación se ingresan los códigos del pedido y en Ventas se ingresa el precio del servicio. Esto permite que el proceso de galvanizado del material se realice en

forma paralela a los procesos administrativos asociados al servicio, y no en secuencia como actualmente se realizan, disminuyendo en gran medida el tiempo de ciclo del producto desde que se encuentra en condiciones de ser despachado.

- En relación al requerimiento establecido en función de que todas las áreas estén al tanto del estado de cualquier pedido en específico, cabe señalar que será habilitada la aplicación MFG PRO que reporta el material galvanizado en planta a todas las áreas involucradas en el servicio de galvanizado, especialmente el área de atención al cliente. Es importante mencionar que el formato de salida de la aplicación (máscara) será modificado con el fin de adecuarlo a los nuevos usuarios del sistema, de modo que sea una pantalla que entregue la información necesaria en forma clara, sencilla y detallada.

### Indicadores de gestión

Otro objetivo del presente trabajo fue definir, a modo general, un conjunto de indicadores de gestión alineados con los objetivos corporativos y que, además, le permitieran a la empresa medir de manera cuantitativa los efectos de las distintas mejoras propuestas y sus implicaciones. Para este efecto se diseñaron los indicadores mostrados en la tabla N°9, agrupados según la clasificación de Kaplan y Norton (Kaplan & Norton, 1997; Pereira, 2011).

**Tabla 9:** Indicadores de gestión para los objetivos planteados

Perspectiva	Seis Sigma	Sistema de Información
<b>Financiera</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorro en \$(zinc)/mes</li> <li>• Utilidad del servicio/mes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingresos del servicio de Galvanizado / mes</li> </ul>
<b>Cliente</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de quejas y reclamos/mes</li> <li>• Grado de satisfacción del cliente</li> <li>• Pedidos / cliente</li> </ul>
<b>Procesos Internos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micraje promedio de zinc según rango de espesor</li> <li>• Kg. zinc utilizada /ton de acero galvanizada</li> <li>• Kg. zinc utilizado /h. en línea de galvanizado</li> <li>• % de producto no conforme/mes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kg. procesados / mes</li> <li>• Tiempo medio entre llegada del material</li> <li>• Tiempo de proceso / espesor</li> </ul>
<b>Aprendizaje y Crecimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de capacitación / mes</li> <li>• Costo de la capacitación/ mes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de capacitación /mes</li> <li>• Costo de la capacitación/mes</li> </ul>

La principal característica de los Indicadores de Gestión planteados consiste en su fácil obtención, debido a que la mayoría se puede visualizar a través de reportes existentes en el programa ERP existente en la planta, los que deben ser calculados mensualmente. Es importante mencionar que los datos necesarios para el cálculo de estos indicadores de gestión fueron considerados en el sistema de información diseñado para el servicio de galvanizado.

La recolección, análisis, control y presentación de todos los indicadores de gestión, que serán presentados mensualmente a la alta gerencia de la organización, son responsabilidad del equipo líder del proyecto en la empresa, es decir, el Departamento de Planificación de la planta.

Las métricas establecidas para el proyecto Seis Sigma fueron incluidas dentro de los indicadores de gestión mencionados, de tal modo que en forma paralela se pueda realizar el control de los ítems mencionados y el cálculo del ahorro real obtenido en la ejecución del proyecto perteneciente a la etapa de control de la metodología DMAIC.

Los indicadores que dependen del Sistema de Gestión Integrado de la organización serán solicitados al área comercial de la planta, quienes actualmente elaboran los cuestionarios y/o formularios correspondientes y calculan estos índices con una periodicidad de un mes.

Por último, cabe señalar que el control de los Indicadores de Gestión, cuya información es recopilada a través de los informes de producción, se debe realizar semanalmente, verificando los antecedentes de la producción correspondiente a los ítems de la línea base en estudio.

El nivel deseado para los indicadores del proyecto Seis Sigma (micraje promedio, ahorro en zinc, y kilogramos de zinc por tonelada de acero en negro) se encuentran definidos según los objetivos puntuales existentes en los casos de las métricas del proyecto, las que están referidas a las micras promedio de zinc mostradas en presente trabajo.

## CONCLUSIONES

Dentro del marco de análisis planteado, y como conclusión principal del presente trabajo, se menciona el logro del objetivo fundamental propuesto, que consiste en la elaboración de una propuesta de mejoramiento del proceso de gestión del servicio de galvanizado en la empresa estudiada. Esta propuesta se ve reflejada en los siguientes aspectos especificados en el desarrollo del trabajo:

- Elaboración de un plan de acciones establecidas, obtenidas como resultado del proyecto seleccionado: “Disminución de espesor de recubrimiento de zinc de los materiales galvanizados a terceros”, desarrollado bajo la metodología Seis Sigma, el cual incluye la realización de un análisis de regresión realizado a los tiempos de inmersión, estandarización de procesos y modificaciones a los actuales procedimientos de trabajo, resultados que fueron obtenidos mediante la aplicación de la metodología DMAIC, la cual expone en detalle durante el desarrollo del trabajo y que, además, constituye una guía práctica para iniciar proyectos Seis Sigma en otros procesos de la planta, así como también en otras organizaciones.
- Presentación detallada de un nuevo modelo de estructura de información para el servicio de galvanizado, cuyo análisis y diseño se encuentran acordes con la estrategia establecida para el servicio de galvanizado de terceros de la Planta. Es decir, todas las acciones y procedimientos implementados siguen una línea de actuación conforme a una metodología enfocada en el cliente.

La propuesta de mejoramiento es completada con una estructura de indicadores de gestión, que permite medir y controlar el desempeño de ambas temáticas planteadas anteriormente.

La implementación de las acciones propuestas a través de los diferentes ítems del plan de

mejoramiento planteado quedan en manos de la empresa; sin embargo, cabe señalar que el proyecto Seis Sigma “Disminución de espesor de recubrimiento de zinc de los materiales galvanizados a terceros”, se encuentra aprobado por el Jefe de Gestión de Calidad.

Es importante mencionar que el impacto del plan de mejoramiento propuesto se ve reflejado en los aspectos referidos a la disminución de pérdidas no controladas de zinc (COPQ), lo cual, a su vez, implica disminuir y tener el control detallado de los costos en que incurre el proceso de galvanizado.

Por otro lado, la mejora en el flujo de información del servicio de galvanizado significa tener un ciclo productivo más fluido, eliminando los problemas administrativos de comunicación y gestión presentes en la actualidad, los que impiden tener la agilidad y flexibilidad que se requiere en un proceso cuyos resultados afectan directamente al cliente. De esta forma se pretende entregar un servicio de alta calidad y con un fuerte foco en el compromiso de la satisfacción del cliente.

Otro punto importante a considerar dentro del impacto que el presente trabajo tiene en la empresa, consiste en destacar la activa participación del personal productivo que trajo consigo la elaboración del mismo, quienes formaron parte activa del equipo multidisciplinario a cargo del proyecto Seis Sigma, asumiendo el papel de “dueños del proceso”. Además, constituyen parte importante de la nueva estructura de información propuesta para el servicio de galvanizado de terceros, debido a que deben ser los alimentadores del nuevo sistema de información.

Finalmente, y de acuerdo a la teoría existente, el éxito del desarrollo de un proyecto Seis Sigma está en función del liderazgo ejercido en el equipo de trabajo. El papel de líder del proyecto requirió de condiciones tanto profesionales (conocimiento) como personales, debido a que constantemente se debe estar motivando al equipo, guiándolos al logro de los resultados y siguiendo una metodología establecida. Además, se debe poseer un fuerte grado de comprensión, intuición y sentido común, que apunte de forma directa al cumplimiento de los objetivos planteados, utilizando de manera óptima las herramientas y técnicas de mejora descritas.

## REFERENCIAS

**Acuña, E. 2011.** Análisis de Regresión. Departamento de Matemáticas, Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.[en línea]. Disponible en<<http://math.uprm.edu/~edgar/textoreg.pdf>>[consulta: junio 2011].

**Análisis de modo y efecto de la falla.** [en línea]. Disponible en<[www.todaydocs.com/doc/www.icicm.com/](http://www.todaydocs.com/doc/www.icicm.com/)>[consulta: abril 2011].

**Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF).** [en línea].Disponible en <[http://www.e-formacion.com.mx/public\\_msalas/seissigma/02Medicion/AMEF.pdf](http://www.e-formacion.com.mx/public_msalas/seissigma/02Medicion/AMEF.pdf)> [consulta: 25 abril 2012].

**ASTM, American Society for Testing and Materials. 2002.** Norma estándar para recubrimientos de zinc (galvanizado por inmersión en caliente) en productos de Acero y Hierro. A123/A123-02. 2002. 20 p.

**Baca, S. 2009.** Modelos Estadísticos [en línea]. Perú, Lima. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos30/regresion-correlacion/regresion-correlacion.shtml>> [consulta: mayo 2011].

**de Benito Valencia, CM. 2000.**La mejora continua en la gestión de calidad Seis sigma, el camino para la excelencia. Juran Institute de España S.A. *Economía Industrial* 331: 59-66

**Eckes, G.2003.**Six sigma for everyone / George Eckes. Copyright © 2003 by George Eckes. All rights reserved. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

**Gane, Ch. & Sarson, T.1987.**Análisis Estructurado de Sistemas. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina.

**Guía para el análisis de datos.** Análisis de regresión lineal. [en línea] <[http://www.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D\\_departamento/materiales/analisis\\_datosyMultivariable/18reglin\\_SPSS.pdf](http://www.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/18reglin_SPSS.pdf)> [consulta: agosto 2011].

**Gutierrez, H.** Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. Editorial Mc Graw-Hill, 2009, México D.F.

**Kaplan, R. & Norton, D, 1997.** El cuadro de mando Integral.1a ed. Barcelona, Gestión 2000. 321p

**Kiemele, M. & Schmidt, S. 2000.** Estadística básica. Herramientas para el mejoramiento continuo. 4ª ed. Colorado, Colorado Springs. 290p

**Pereira, J.** Cuadro de Mando Integral, CMI [en línea] Disponible en <[http://www.mercadeo.com/41\\_scorecard.html](http://www.mercadeo.com/41_scorecard.html)>[consulta: julio 2011].

**Procedimiento de elaboración del AMEF.** [en línea]. Disponible en <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2570/Capitulo6.pdf>> [consulta: enero 2011].

**Schroeder, R.1992.** Administración de Operaciones, Toma de decisiones en la función de operaciones. Editorial McGraw Hill.855p

**SEIS SIGMA GREEN BELT. 2008.**Curso de Capacitación. 3 - 8 marzo 2008. Santiago, Instapanel S.A, Departamento de Calidad. 210p

**Senn, J. A.1992.** Análisis y diseño de sistemas de información. 2ª ed. México. McGraw-Hill. 942 p

## **INSTRUCCIONES GENERALES A LOS AUTORES PARA LA PRESENTACION DE TRABAJOS**

El Comité Editor será el encargado de autorizar la publicación de los trabajos en Español y/o Portugués, cuyo contenido será de responsabilidad exclusiva del autor o autores. Los originales evaluados por un comité de examinadores que sean aceptados, no serán devueltos. Las modificaciones o rechazos se indicarán con notas explicativas. El Comité Editorial podrá considerar trabajos presentados en congresos y reuniones científicas nacionales e internacionales.

Cualquier contribución deberá enviarse al correo electrónico de la revista (revista.industrial@ubiobio.cl) con las siguientes consideraciones: procesador de texto Microsoft Word, empleando letra Arial de 11 puntos, e interlineado sencillo.

1. Los artículos no podrán tener una extensión mayor a 15 páginas respetando el siguiente formato:
  - Papel tamaño carta: 21,59 \* 27,94 cm.
  - Márgenes:
    - Superior 2 cm.
    - Inferior 2 cm.
    - Izquierdo 2,5 cm.
    - Derecho 2 cm.
    -
2. El texto será digitado en forma continua.
3. Se usará la función de paginación automática incorporada al procesador de texto.

### **Estructura del Documento**

#### Titulo del Trabajo

Debe ser claro e informativo, no debe incluir abreviaturas, neologismos ni fórmulas y debe llevar una traducción al Inglés. Ambos escritos en negritas con letra mayúscula tipo Arial 14. Los títulos de cada sección en el texto deberán ir centrados con letra tipo Arial 12 y no ser enumerados. Los subtítulos del texto deberán ir justificados a la izquierda, en negritas, con mayúsculas y minúsculas, y letra Arial 11 puntos. Cada párrafo deberá ir seguido de una línea en blanco después de la última línea del abstract.

#### Nombre de los Autores

Se señalarán todos los autores que hayan participado directamente en la ejecución del trabajo. Cada autor se identificará mediante: nombre completo, apellidos paterno y materno.

#### Institución(es)

Se indicará: Departamento, Facultad, Universidad, ciudad, País. Para señalar la afiliación de los autores a diferentes instituciones, se usarán números superíndice <sup>1,2,3</sup>... tras el nombre de cada autor.

Debe indicarse al autor que recibirá la correspondencia precisando: dirección completa de Correo postal y correo electrónico.

#### Resumen

Debe ser escrito en página nueva. Consignará en forma concisa el propósito de la contribución,