

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DEL PROCESO DE GALVANIZADO
EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

DAVID ZAPAC BAYAS

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi Señor Jesús por haber tomado mi mano y no soltarme a pesar de las circunstancias de mi vida.

A mi tío Rommel Bayas que en paz descanse, quien fue una voz de perseverancia en mi vida y que mi sueño fue también el suyo.

A mis padres por su apoyo moral, comprensión y sacrificio me brindado la oportunidad de culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos Tatiana y Pamela, quienes nunca dudaron de mis capacidades y que con entusiasmo y cariño me motivaron siempre a ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado la convicción, el valor y la fuerza para seguir adelante en el transcurso de mi formación profesional y poder culminar con éxito esta tan anhelada meta.

Agradezco a mi familia al haberme apoyado durante todo este tiempo en especial a mi madre por su comprensión, confianza y apoyo incondicional que ha manifestado a lo largo de mi vida.

A todos mis profesores por orientarme hacia la excelencia.

A mi tutora, la PhD. Ingrid Adanaqué Bravo por guiar con dedicación y compromiso el presente proyecto, y por compartir conmigo sus valiosos conocimientos.

Finalmente agradezco a mi persona por no haberme rendido y creído hasta el final.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *David Zapac Bayas* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



David Zapac

Autor 1

EVALUADORES

.....
Msc. María Laura Retamales García

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Phd. Ingrid Elsa Adanaque Bravo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Los procesos son la parte fundamental de la rentabilidad de una empresa, y por ende la falta de control sobre ellos genera pérdidas en muchos aspectos que llegan al punto de poner en bancarrota la compañía que mal lo aplique. Desde problemas de mal ambiente laboral hasta falta de disponibilidad de los equipos y el no cumplimiento de las entregas a tiempo son problemas que tienen como consecuencia directa o indirecta un mal control sobre las actividades de una compañía, los cuales se van desfasando de su estado natural a través de la creación de operaciones que no agregan valor. El proyecto en cuestión propone la estandarización del proceso y configuración de equipos además de realizar un modelo de control y programación de medidas preventivas en el área de galvanizado que permita mejorar de manera significativa la disponibilidad de los equipos en una compañía metalmeccánica.

Como resultados, se tuvo el incremento del 38% de toneladas producidas, reducción del 10% en costos de producción, incremento en la satisfacción de los operadores en un 20% y en la parte ambiental la reducción del 14.87% en las emisiones de CO₂, mientras que el porcentaje de disponibilidad de la línea de galvanizado incrementó en promedio 5% las últimas semanas de agosto.

Finalmente, las soluciones implementadas tienen potencial de escalar en el tiempo, de tal manera que pueda ser replicado en otras áreas, debido al control digital que se tiene en el corto y largo plazo, siendo un factor diferenciador en un mundo tecnológico.

Palabras Clave: DMAIC, parametrización, disponibilidad, preventivas.

ABSTRACT

The processes are the fundamental part of the profitability of a company, and therefore the lack of control over them generates losses in many aspects that reach the point of bankruptcy of the company that misapplies it. From problems of bad working environment to lack of availability of equipment and failure to deliver on time are problems that have as a direct or indirect consequence a bad control over the activities of a company, which are out of step with its natural state through the creation of operations that do not add value. The project in question proposes the standardization of the process and configuration of equipment as well as a model of control and programming of preventive measures in the galvanizing area that will significantly improve the availability of equipment in a metal-mechanical company.

The DMAIC methodology is the one that allowed to adequately carry out the project, through tools such as brainstorming, Ishikawa diagram, Pareto diagram, impact-effort matrix, statistical tests, among others, with which it was possible to find efficient and sustainable solutions over time.

The results were a 38% increase in tons produced, a 10% reduction in production costs, a 20% increase in operator satisfaction, and an environmental reduction of 14.87% in CO2 emissions, while the percentage of availability of the galvanizing line increased by an average of 5% in the last weeks of August.

Finally, the implemented solutions have the potential to scale in time, in such a way that it can be replicated in other areas, due to the digital control in the short and long term, being a differentiating factor in a technological world.

Keywords: DMAIC, parameterization, availability, preventive.

INDICE GENERAL

EVALUADORES.....	III
<i>ABSTRACT</i>	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 1.....	2
1. Introducción	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del proyecto	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 DMAIC	4
1.4.2 SIPOC.....	5
1.4.3 Diagrama de Ishikawa.....	5
1.4.4 Diagrama de Pareto.....	5
1.4.5 Pruebas estadísticas.....	6
1.4.6 Gráficas de control y análisis de capacidad	7
1.4.7 Matriz impacto - esfuerzo.....	7
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología	9
2.1 Definición.....	9
2.1.1 Voice of Customer	9

2.1.2	CTQ	10
2.2	Medición	14
2.2.1	Validación de la data	18
2.3	Análisis	31
2.3.1	Lluvia de ideas (<i>Brainstorming</i>) e Ishikawa	31
2.4	Implementar	62
2.5	Control	68
CAPÍTULO 3.....		71
3.	ResultADOS Y ANÁLISIS	71
3.1	Resultados.....	71
3.2	Análisis	72
CAPÍTULO 4.....		50
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	50
4.1	Conclusiones	50
4.2	Recomendaciones.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....		76
APÉNDICE A		
APÉNDICE B		

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 CTQ TREE de necesidades	10
Figura 2.2 SIPOC del proceso	11
Figura 2.3 Serie de tiempo de disponibilidad de línea de galvanizado.....	12
Figura 2.4 Gráfica de barras de disponibilidades promedio por sku	14
Figura 2.5 Gráfica de Pareto de disponibilidades por tipo de parada	15
Figura 2.6 Diagrama funcional del proceso de galvanizado	16
Figura 2.7 Hoja de reporte digital de las horas de producción planeadas.....	19
Figura 2.8 Tabla de reporte diario del sistema de marcación laboral.....	19
Figura 2.9 Reporte de tiempo de la jornada de producción obtenido por Horometro.....	20
Figura 2.10 Toma de tiempo de producción en el área operativa (<i>GEMBA</i>).....	20
Figura 2.11 Gráfica de normalidad para tiempos de producción por Horómetro.....	21
Figura 2.12 Gráfica de normalidad para tiempos de producción por observación	21
Figura 2.13 Resultado prueba "T de 2 muestras" para tiempo de producción	22
Figura 2.14 Gráfica de cajas de muestras para los tiempos de producción.....	22
Figura 2.15 Toma de tiempo de paradas operacionales.....	23
Figura 2.16 Toma de tiempo de paradas mecánicos.....	24
Figura 2.17 Gráfica de normalidad para tiempos de paros no programados obtenidos de la base de información.....	24
Figura 2.18 Gráfica de normalidad para tiempos de paros no programados obtenidos del <i>GEMBA</i>	25
Figura 2.19 Resultado prueba "T de 2 muestras" para tiempo de paros no programados	25
Figura 2.20 Gráfica de cajas de muestras para los tiempos de paros no programados	26
Figura 2.21 Gráfica de normalidad para los desperdicios obtenidos de la base de información	27
Figura 2.22 Gráfica de normalidad para los desperdicios obtenidos del <i>GEMBA</i>	27
Figura 2.23 Resultado prueba "T de 2 muestras" para cantidad de desperdicios	28
Figura 2.24 Gráfica de cajas de muestras para los desperdicios.....	28
Figura 2.25 Gráfica I-MR de disponibilidad de la línea de galvanizado	29
Figura 2.26 Gráfica de normalidad de la disponibilidad promedio de línea envasadora	30
Figura 2.27 Análisis de capacidad de la disponibilidad de la línea de envasado	30

Figura 2.28 Diagrama de Ishikawa de las causas del problema enfocado 1	32
Figura 2.29 Diagrama de Ishikawa de las causas del problema enfocado 2	32
Figura 2.30 Diagrama de Pareto de las causas enfocadas 1	34
Figura 2.31 Diagrama de Pareto de las causas enfocadas 2	35
Figura 2.32 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin herramientas averiadas.....	37
Figura 2.33 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin herramientas averiadas	38
Figura 2.34 Prueba T de student - Con/sin herramientas averiadas.....	39
Figura 2.35 Análisis de regresión de tiempo de amarrado de estructura vs disponibilidad	39
Figura 2.36 Análisis de regresión	40
Figura 2.37 Porcentaje de ajuste de los datos.....	40
Figura 2.38 Análisis de regresión de tiempo de tinas de pretratamiento vs disponibilidad	41
Figura 2.39 Análisis de regresión	42
Figura 2.40 Porcentaje de ajuste de los datos.....	42
Figura 2.41 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin herramientas incompletas	43
Figura 2.42 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin herramientas completas	43
Figura 2.43 Prueba T de student - Con/sin herramientas completas.....	44
Figura 2.44 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin equipo mal configurado.....	45
Figura 2.45 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin equipo mal configurado.....	45
Figura 2.46 Prueba T de student - Con/sin equipo mal configurado.....	46
Figura 2.47 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin material atascado.....	47
Figura 2.48 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin material atascado	48
Figura 2.49 Prueba T de student - Con/sin material atascado.....	49
Figura 2.50 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin personal ausente.....	51
Figura 2.51 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin personal ausente	52
Figura 2.52 Prueba Mann Withney - Con/sin personal ausente.....	53
Figura 2.53 Manguera de presión de vapor rota y remachada por falta de stock de materiales en bodega	53

Figura 2.54 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin equipos sucios	54
Figura 2.55 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin equipos sucios	55
Figura 2.56 Prueba T de student - Con/sin equipos sucios	56
Figura 2.57 Análisis de regresión de tiempo de mantenimiento preventivo	57
Figura 2.58 Análisis de regresión	57
Figura 2.59 Porcentaje de ajuste de los datos.....	58
Figura 2.60 Matriz de relación causas raíz – soluciones paradas operacionales	62
Figura 2.61 Matriz de relación causas raíz – soluciones paradas mecánicas.....	63
Figura 2.62 Información de costos de implementación de las soluciones	64
Figura 2.63 Matriz impacto - esfuerzo	64
Figura 2.64 Elementos y equipos críticos en el área de galvanizado	67
Figura 2.65 Modelo predictivo de mantenimiento para línea de galvanizado.....	68
Figura 2.66 Lección de un punto para estandarización del proceso de configuración de equipos.....	69
Figura 2.67 Práctica demostrativa de uso del modelo predictivo de mantenimiento.....	70
Figura 2.68 Práctica demostrativa de uso del modelo predictivo de mantenimiento de manera visual	70
Figura 3.1 Cálculo de toneladas a partir de la implementación de las mejoras	71
Figura 3.2 Cálculo de reducción de CO2.....	72
Figura 3.3 Disponibilidad de línea de galvanizado mejorada.....	72
Figura 3.4 Gráfica de probabilidad normal para datos de disponibilidad	73
Figura 3.5 Análisis de capacidad para disponibilidad de la línea de galvanizado mejorada	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Plan recolección de datos.....	17
Tabla 2.2 Matriz de causa y efecto del diagrama de Ishikawa 1.....	33
Tabla 2.3 Matriz de causa y efecto del diagrama de Ishikawa 2.....	33
Tabla 2.4 Plan de verificación de causas del problema enfocado 1	36
Tabla 2.5 Plan de verificación de causas del problema enfocado 2	50
Tabla 2.6 Aplicación del "5 Por qué?" para obstrucción de las boquillas.....	59
Tabla 2.7 Aplicación del "5 Por qué?" para unión de las cintas transportadoras	60
Tabla 2.8 Tabla de nueva configuración digital para cambios de setup en el sistema...	66
Tabla 2.9 Tabla de control para las soluciones.....	68

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto es desarrollado en una de las principales empresas metalmeccánicas del Ecuador, esta fue creada en la ciudad de Quito en 1996 y desde entonces se ha caracterizado por ofrecer productos innovadores que ayuden al área de la construcción y metalmeccánica. La producción al mes dentro de su línea de negocio de productos ronda las 3.583 toneladas, los cuales van desde revestimientos, cubiertas fotovoltaicas, productos para edificaciones metálicas, cerrajería, tuberías de acero, hasta encofrados y servicios metalmeccánicos, todos ellos poseen características que logran cumplir las necesidades de diferentes sectores demandantes. Los productos se comercializan de manera local e internacional, esto incrementa el compromiso de los trabajadores y cadena de valor de la empresa en brindar productos competitivos en el mercado, además que cada vez se está involucrando en la creación de productos sustentable siendo conscientes con el ambiente sin olvidar los pilares económicos y sociales. Tiene una sucursal en Guayaquil creada en el 2004, en la cual incrementó su producción y se enfocó en el mercado de la costa. De manera general, estas características le han permitido a la empresa ir creciendo en el mercado, con productos confiables y de calidad, además de ir ganando mercado en diferentes sectores.

Dentro de su línea de producción, existe la línea de galvanizado, la cual tiene como objetivo alargar la vida útil del acero negro, ya que son productos que están expuestos a ambientes de alta o baja corrosión, por tal motivo es importante que mantenga el ritmo operativo de los procesos previos para así evitar ser el cuello de botella, pero este proceso tiene muchas variables que afectan su disponibilidad limitando la producción.

Por este motivo, el proyecto se encargará de determinar las causas que generan el problema y así realizar mejoras en el tiempo que permitan aumentar el indicador de disponibilidad.

1.1 Descripción del problema

El proceso de creación de productos galvanizado empieza por la recepción de los *sku* para posteriormente pasar al pretratamiento que ayuda al material estar listo en ingresar al baño de zinc, el cual le da las características técnicas para cumplir con su función de evitar la corrosión, luego pasa al sistema de soplado donde se retira el exceso de zinc interno y externo, dejando el producto acorde a las necesidades del cliente, finalmente se embala y pasa a la bodega de producto terminado para su respectivo despacho.

En el proceso descrito se encuentra la tarea de pretratamiento, baño de zinc o también conocido como inmersión del producto y la tarea de soplado, estas tres forman el 80% de las actividades de la línea de galvanizado, y aquí es donde se genera el cuello de botella, dado que las máquinas sufren paros no programados por diferentes aspectos que se suscitan en el área, por tal motivo la disponibilidad total cae debajo del mínimo requerido y no se logra la eficiencia esperada, afectando directamente a los procesos contiguos, retrasando la producción.

Las variables que generan este problema se basan en falta de repuestos en stock, equipos sucios o en mal mantenimiento, mal control de las soluciones realizadas, entre otras.

Estos problemas de manera general provocan que los equipos no funcionen en su capacidad total y por tal motivo se tenga retrasos de producción, o no cumplimiento de la cantidad especificada por el cliente, lo que influye en pérdidas económicas debido a elevados costos de producción y a su vez limitación de rendimiento por no tener la disponibilidad mínima requerida, además de la afectación ambiental por el incremento en el consumo de galones de combustibles por toneladas y generación de gases contaminantes CO₂ al no ejecutar la tarea del baño de zinc.

1.2 Justificación del proyecto

Conociendo los problemas previamente mencionados, el objetivo es reducirlos y eliminar la mayor cantidad de ellos, por este motivo se definió el siguiente enunciado con ayuda de la metodología *SMART*:

“La disponibilidad en la línea de galvanizado durante los turnos de trabajo desde el mes de enero 2021 hasta abril del 2022, ha ido en tendencia baja, siendo la media del 50% con un valor máximo alcanzado del 66%”.

Esto nos ayuda a enfocar el problema sobre el indicador de disponibilidad de tal manera que se pueda cumplir la meta. A su vez se debe minimizar los costos operativos como consecuencia de las mejoras realizadas y tener un mejor control en las tareas inmersas de la línea de galvanizado, al aumentar la disponibilidad de las maquinas se mejorará la cantidad de *sku* procesados, teniendo un mejor indicador de procesamiento de productos por unidad de tiempo también conocido como *Throughput*.

Para lograr este objetivo, deben ser identificadas las causas que lo provocan, y la metodología *DMAIC* es la herramienta principal que ayudará a encontrarlas, además de generar planes de contingencia, para la implementación y control de las soluciones de tal manera que se evite réplicas del problema al corto y largo plazo, buscando así la sostenibilidad tanto en la parte económica, social y ambiental, mejorando la competitividad global del proceso y la empresa.

A su vez estas soluciones tendrán como consecuencia mejoras que permitan tener una mejor sinergia de comunicación en el equipo, por ejemplo, reducción de paros no programados, cantidad necesaria de stocks en bodega, eliminar fugas no contempladas y toxicas para los operadores, configuraciones correctas en los activos productivos, entre otros.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Aumentar el aprovechamiento de horas máquinas de la línea de galvanizado mediante el uso de herramientas Lean para el aumento de la disponibilidad y nivel de producción de la línea de galvanizado durante los turnos de trabajo.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Reducir el porcentaje de desperdicio de material galvanizado y acero negro.
2. Reducir el costo (dólares/toneladas) de producción de la línea de galvanizado.
3. Estandarizar las operaciones manuales para la línea de galvanizado
4. Evaluación e impacto económico de las propuestas de mejora

1.4 Marco teórico

Para lograr la comprensión adecuada del proyecto se necesita tener claro conceptos de la metodología, que van desde sus etapas hasta las herramientas que se hacen uso, de tal manera que se facilite el desarrollo de esta.

1.4.1 DMAIC

Esta metodología consta de cinco etapas las cuales son conocidas por sus nombres en inglés como *Define, Medition, Analysis, Improve* y *Control*, o por sus siglas *DMAIC*, esta se centra en la mejora continua de los procesos ya existentes, con el objetivo de optimizar los recursos del área involucrada y generar ahorros significativos para la empresa en cuestión. (Lokkerbol & De Mast, 2012)

Se encuentra dentro del universo de metodologías esbeltas (*lean*), la cual combinada con la estrategia *six sigma* permite reducir la variabilidad del proceso involucrado, llegando hasta tener una eficacia mayor al 99.9% en el

Throughput del flujo de producción, esto es lo mismo decir que por cada millón de productos sólo tres o cuatro salgan con defectos, rentabilizando su implementación al corto plazo.

1.4.2 SIPOC

El diagrama *Supplier, Input, Process, Output, Customer* o por sus siglas SIPOC, es una herramienta que permite plasmar de forma sistemática un proceso, con el objetivo de visualizar todas las partes involucradas y la interacción de información tanto física como digital entre ellos. (Gueorguiev, 2018)

1.4.3 Diagrama de Ishikawa

También conocido como espina de pescado, esta herramienta permite clasificar ideas bajo la estructura de la metodología de las 5M, cuya clasificación es, materiales, medio ambiente, mano de obra, máquina y medición de procesos o equipos. Bajo este modelo se limita la creación de ideas repetidas, o con conceptos diferentes pero basado en un mismo contexto, además ayuda a involucrar de manera dinámica a todos los implicados, no solo las partes gerenciales o jefaturas, sino todo el equipo de trabajo. (Luca, 2016)

1.4.4 Diagrama de Pareto

También conocido como 80/20, es una gráfica que ordena la información en forma descendente relacionada a un problema, con el objetivo de encontrar las causas que generan el mayor impacto, en otras palabras, indica cuales son el 20% de las causas que influyen en el 80% del problema, dichas proporciones pueden variar acorde al problema. Con ello, se puede enfocar la búsqueda de información, optimizando los recursos a través de no involucrarse en las causas de menor impacto. (Wilkinson, 2012)

1.4.5 Pruebas estadísticas

Una parte fundamental de la metodología *DMAIC* es el uso de herramientas estadísticas, ya que permiten tomar decisiones basadas en análisis de información, sin inferir en las conclusiones. Todas ellas permiten finalizar el análisis de la muestra estudiada de la población bajo un factor de error estadístico, lo que permite concluir con una precisión del 95% que es el valor recomendable. Debido a que los datos siguen distintas distribuciones, existen varias pruebas y herramientas estadísticas ya definidas, esto a su vez varía dependiendo si los datos poseen comportamiento normal o no paramétrico, teniendo esta información se aplica la prueba para determinar si la muestra en estudio tiene implicación significativa o no sobre la causa. (Cressie & Whitford, 1986)

Las pruebas para datos normales son:

- Prueba T pareada, prueba T de 2 muestras (*T de Student*)
- Anova para 3 o más muestras
- Prueba de varianza para 1 muestra, prueba de varianza para 2 muestras

Para datos no paramétricos:

- Prueba Mann Whitney para 2 muestras
- Prueba Kruskal Wallis para 3 o más muestras

Para observar el comportamiento de las muestras de manera gráfica, se usa dependiendo si los datos son continuos o categóricos, entre ellos se encuentran los siguientes:

- Histograma
- Gráfica de cajas (Box plot), gráfica de dispersión (Scatter plot)
- Regresión lineal

1.4.6 Gráficas de control y análisis de capacidad

Estas herramientas estadísticas permiten visualizar el estado de cualquier proceso medible. La primera, conocida como grafica de control, ayuda a ver el comportamiento del proceso bajo los limites naturales que posee, es decir, analiza la estabilidad del proceso respecto a la variabilidad que se genera al momento de hacer sus funciones, anexo a ello se puede observar si hay patrones o puntos fuera de control que permitan indagar en posibles causas que lo generen, como mala calibración, incorrecto uso de las operaciones, sobrecargas físicas en el producto, entre otros. (Zhang, 2012)

A partir de llegar a la estabilidad del proceso, se puede realizar el análisis de capacidad, esta herramienta es importante ya que nos provee de indicadores que tienen estándares mundiales, es decir, el proceso se puede comparar de manera operativa respecto a altos estándares. Este ayuda a visualizar si el proceso en estudio es capaz de realizar sus funciones con una eficiencia elevada respecto a los límites que el cliente imponga.

Entre los indicadores que provee, se tiene si el proceso es sesgado ya sea bajo el límite inferior o superior de especificación, y pronostica cuantos puntos de desfases se tiene al corto y largo plazo y en qué dirección de sesgo se encuentra, además de indicar problemas de centralización o variabilidad del proceso. (Rodriguez, 1992)

1.4.7 Matriz impacto - esfuerzo

Esta matriz ayuda a posicionar ideas o soluciones, dependiendo si es de alto o bajo impacto, como de alto o bajo esfuerzo, de tal manera que permite tomar decisiones basándose en la ley del menor esfuerzo pero que a su vez la solución sea de gran impacto. (Ilbahar, Kahraman, & Cebi, 2022)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología de mejora continua DMAIC, esta se basa en generar soluciones sobre las causas que generan el problema definido, de tal manera que el proceso en estudio sea mejorado en el corto y largo plazo, buscando la sostenibilidad en el tiempo, controlándola de manera sencilla y radical.

La metodología en mención se conforma de 5 fases: Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar.

El proyecto se basará en el proceso de galvanizado de tal manera que se pueda cumplir con los objetivos planteados.

2.1 Definición

En la primera fase, se realizó en conjunto con el equipo de proyecto sesiones de trabajo sobre las cuales se desarrollaron y establecieron los objetivos, el indicador o *target* que se desea lograr y el alcance sobre el cual influyó el proyecto, a la par de estas variables se realizó un análisis de la situación del proceso en términos de capacidad y productividad, además de las variables que se manejan para ejecutar las tareas del área y la información real que se tiene almacenada para el posterior análisis.

Las sesiones fueron realizadas con los operadores de línea y el jefe del área, esto permitió ver las necesidades tanto desde el área operativa como administrativa, ayudando a esclarecer la información en todo el desarrollo del proyecto y a su vez la interacción que el proceso en estudio tiene con las áreas continuas.

Se analizó los tiempos de la línea de galvanizado para determinar la tarea cuello de botella y definir la línea base, es decir, el tiempo mínimo, promedio y máximo que ha llegado de disponibilidad el proceso, de tal manera que se ayudó a

establecer el objetivo planteado.

Finalmente se concluyó a través del análisis que la empresa necesitaba implementar un proyecto de mejora continua en la línea de galvanizado, de tal manera que se reduzca los paros que limitan el tiempo requerido de disponibilidad, mejorando así el indicador principal en el área.

2.1.1 Voice of Customer

El paso posterior de esta fase se basó en implicar a los operadores que manipulan los equipos de la línea de galvanizado, debido a que ellos tienen los conocimientos técnicos del funcionamiento de estos, así como el uso de fábricas ocultas que ejecutan en el día a día, de manera indirecta.

Para conocer las necesidades que tenía la línea de galvanizado, se tuvo una reunión en conjunto con el equipo de proyecto y con ayuda de la herramienta *Brainstorming* o lluvia de ideas se procedió a enunciar todos los requerimientos que tiene el área para lograr cumplir con el objetivo planteado.

Entre las necesidades anunciadas se tuvieron:

- Arranque rápido de la línea.
- Eliminar riesgos operacionales.
- Mejorar el mantenimiento de los equipos de la línea.
- Estandarizar los parámetros de calibración de la línea.
- Incrementar el nivel de producción diario.
- Reducir la cantidad de reprocesos.
- Disponibilidad de espacio en las áreas de recepción.
- Salvaguardar la integridad del personal operativo.
- Eliminar cuellos de botella.
- Reducir los costos de producción.

2.1.2 CTQ

Con las necesidades recolectadas se usó la herramienta de diagrama de afinidad, la cual nos ayudó a agrupar las ideas acordes a una característica en común llamada *driver*, estableciendo así un orden lógico. Posteriormente se creó el *Critical to Quality* (CTQ), la cual es una herramienta que a través de los *drivers* creados permite encontrar las variables críticas de calidad, de tal manera que la necesidad enunciada pueda ser medida y trabajada como un indicador de mejora.

Estas variables de afinidad son seguridad, actividades operacionales eficientes y costos. Mientras que entre los CTQ's establecidos estuvieron:

- Nivel de conocimiento sobre la línea de producción.
- Tiempo y cantidad de órdenes de producción pendientes para abastecimiento.
- Porcentaje de disponibilidad por turno de trabajo
- Porcentaje de desperdicio de material galvanizado
- Costo de mantenimiento por tonelada galvanizada
- Cantidad total en dólares por tonelada galvanizada

Estos criterios se los puede visualizar en la Figura 2.1, los cuales también tienen inclusión en los 3 pilares sostenibles del problema, social, ambiental y económico.

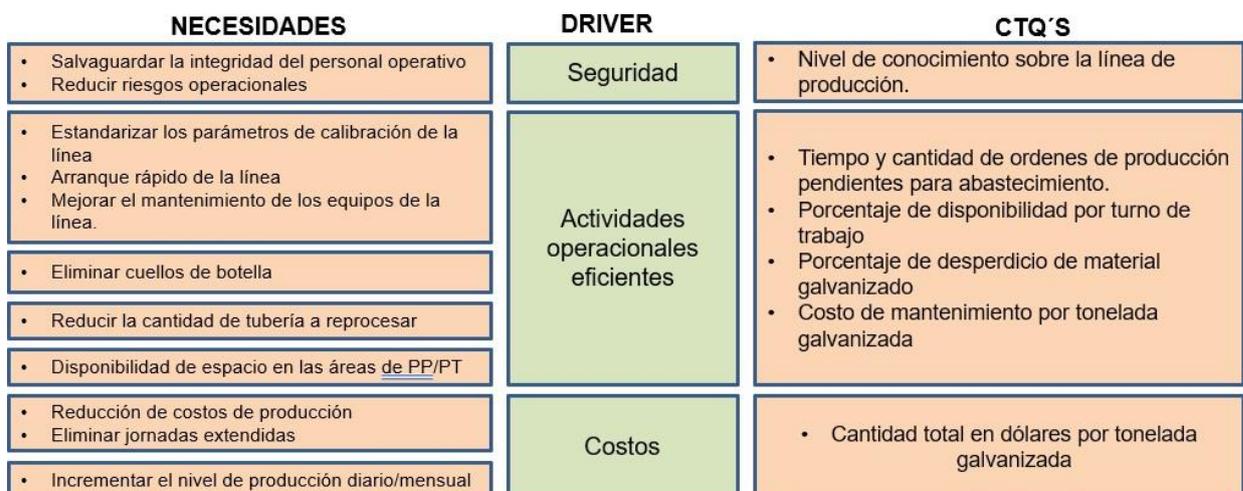


Figura 2.1 CTQ TREE de necesidades

Para la parte económica se tuvo el porcentaje de disponibilidad en la línea de

galvanizado, costo de mantenimiento por tonelada y cantidad total en dólares por tonelada galvanizada, el primero es el indicador principal del proyecto; en la parte social se tiene el nivel de conocimiento sobre la línea de producción, mientras que para la parte ambiental se tiene el porcentaje de material galvanizado desperdiciado.

Con los indicadores estructurados se realizó un SIPOC del proceso, para poder visualizar el alcance del proyecto, y así determinar las áreas involucradas en las mejoras que se llegaron a realizar. Figura 2.2.

En esta herramienta se evidenció que las tareas enfoque del problema son pretratamiento y sistema de soplado, el pretratamiento es la actividad que marca el ritmo de producción sobre el área de soplado por tal motivo están involucradas ambas, por tal motivo hay que tener en consideración estos procesos para que no se transformen en cuellos de botella para los subsiguientes.

SIPOC - GALVANIZADO

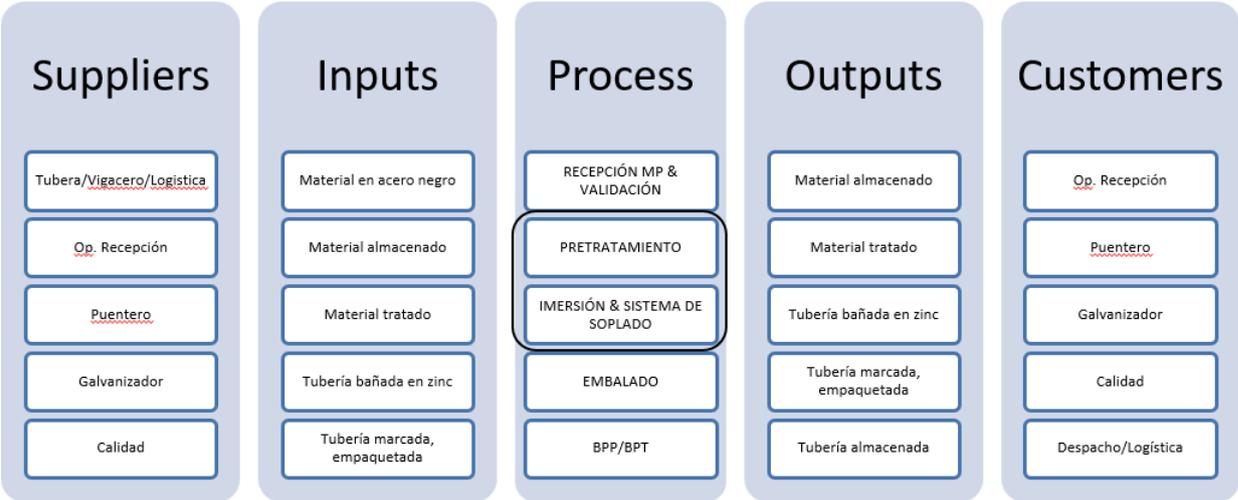


Figura 2.2 SIPOC del proceso

Complementando la información, se tiene que el área está compuesta por cuatro estaciones de trabajo, las cuales a su vez están conformadas por armado, pretratamiento, inmersión-sistema de soplado y embalaje, lo que se muestra en el SIPOC, hay dos turnos de trabajo con ocho horas de producción planificada, hay

la existencia de planes de mantenimiento correctivo, pero no preventivo lo que genera inconvenientes en el desarrollo de la producción.

La empresa tiene un contador de horas y minutos llamado horómetro que provee diariamente la disponibilidad diaria de los equipos en la estación de trabajo.

Con ayuda de esta herramienta se obtuvo los valores de disponibilidad de la línea del último año móvil, en la Figura 2.3 se observa la gráfica de tiempo de las disponibilidades, mientras que con rojo se muestra el valor promedio de disponibilidad en el periodo calculado, estos datos nos ayudaron a calcular el valor del objetivo.

El valor promedio de la disponibilidad es del 50%, donde se ha llegado a un máximo de 66% en el mes de julio del 2021, por este motivo se tiene un GAP del 16% y la empresa tiene como objetivo incrementar un 50% de dicho valor, es decir llegar al 58%.

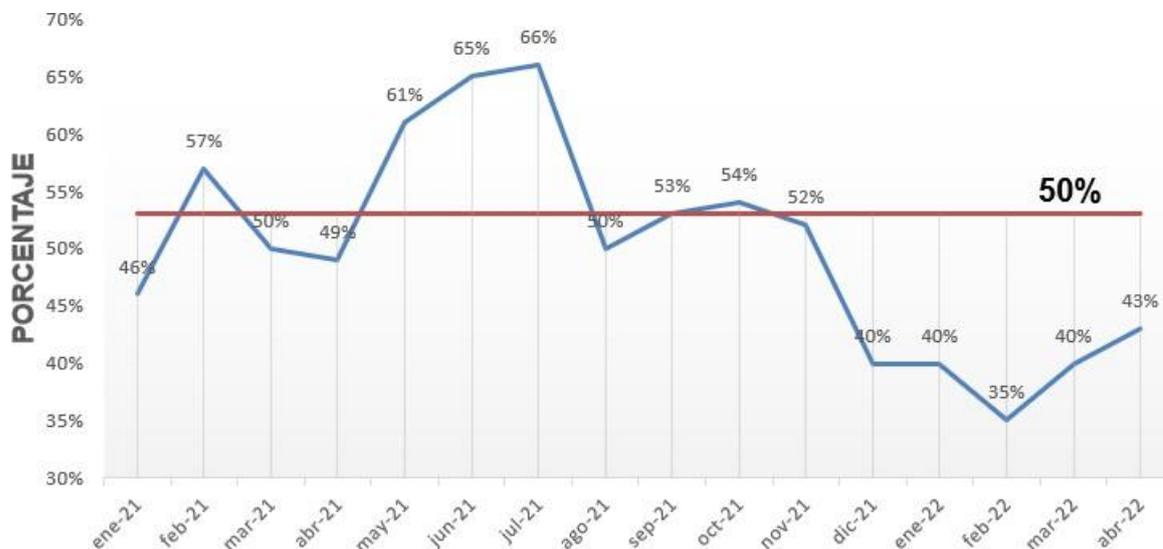


Figura 2.3 Serie de tiempo de disponibilidad de línea de galvanizado

Teniendo estas medidas definidas se muestra la ecuación que permitirá calcular y dar seguimiento la disponibilidad de la línea. Ecuación 2.1.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo utilizado para producir}}{\text{Tiempo planificado para producir}} * 100\% \quad (2, 1)$$

Con el problema expresado de manera matemática, se realizó la definición del problema, a través de la herramienta 4W+2H:

- ¿Qué? Baja disponibilidad
- ¿Quién? Línea de galvanizado
- ¿Dónde? Estaciones de trabajo
- ¿Cuándo? Desde enero 2021 hasta la actualidad
- ¿Qué tanto? Disponibilidad de la línea en promedio es del 50%
- ¿Cómo lo sé? El valor máximo ha sido de 66%.

Teniendo como resultado el siguiente problema:

“La empresa necesita mejorar su bajo porcentaje de disponibilidad en la línea de galvanizado durante los turnos de trabajo de cada estación desde el mes de enero 2021 hasta la actualidad, siendo la media del 50% con un valor máximo alcanzado del 66%”.

En tanto que en las restricciones se tienen los siguientes:

- Personal desconoce cómo actuar frente a diferentes circunstancias relacionadas con las paradas de la producción.
- Las actividades operacionales de la planta tienen un indicador medio/alto de riesgo.
- Todas las inversiones realizadas deberán ser justificadas para obtener un retorno.

Para la definición del objetivo se tiene que la compañía necesita incrementar el uso de horas productivas en la línea de galvanizado a través de herramientas *lean*, de tal manera que se aumente la disponibilidad y nivel de producción durante los turnos de trabajo.

2.2 Medición

Para la segunda fase se trabajó en la búsqueda de enfoques sobre el problema, de tal manera que se sectorice el lugar sobre el cual se va a trabajar en el área de galvanizado y de manera posterior recolectar los datos asociados a las variables involucradas en la causa, de tal manera que se las pueda validar a través de herramientas estadísticas.

Par el primer enfoque se tuvo las disponibilidades promedio de los últimos seis meses para cada producto que se realiza en la línea de galvanizado, donde se realizó un gráfico de barras, ver Figura 2.4 y a través de ello observar si algún producto pasa el valor objetivo establecido en la fase previa.

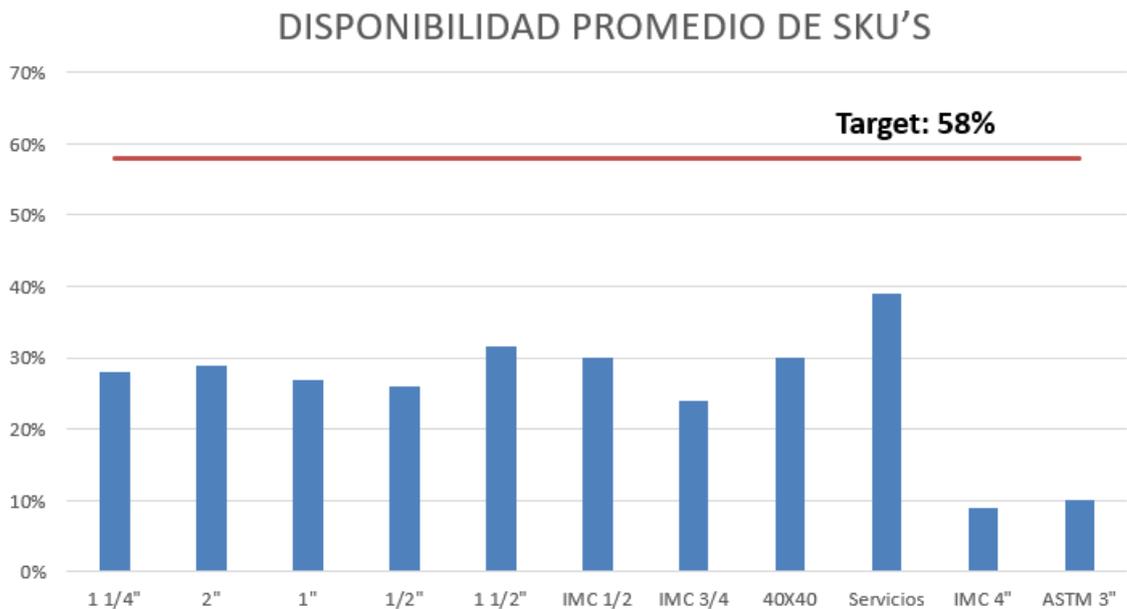


Figura 2.4 Gráfica de barras de disponibilidades promedio por sku

Podemos observar que ninguno cumple con el mínimo de disponibilidad del 58%, todos están por debajo del mismo, por lo que se descalifica este enfoque y se mantiene el análisis de estudio sobre todos los sku, indicando que estos no son parte del problema en su fabricación, sino que hay otros factores.

Para el segundo enfoque se estableció que fuera por el tipo de paradas existentes, ya que este factor influye de manera directa en el valor de disponibilidad, donde se

realizó un Pareto de los tiempos que abarcan esta variable de los últimos tres meses, y así observar cuales son los tipos de paradas que se llevan el 80% del tiempo en para.

En la Figura 2.5, se puede observar como el tipo de parada mecánica y operacional engloban en mayor proporción la variable en estudio, por lo tanto, este enfoque es significativo en la variable respuesta.

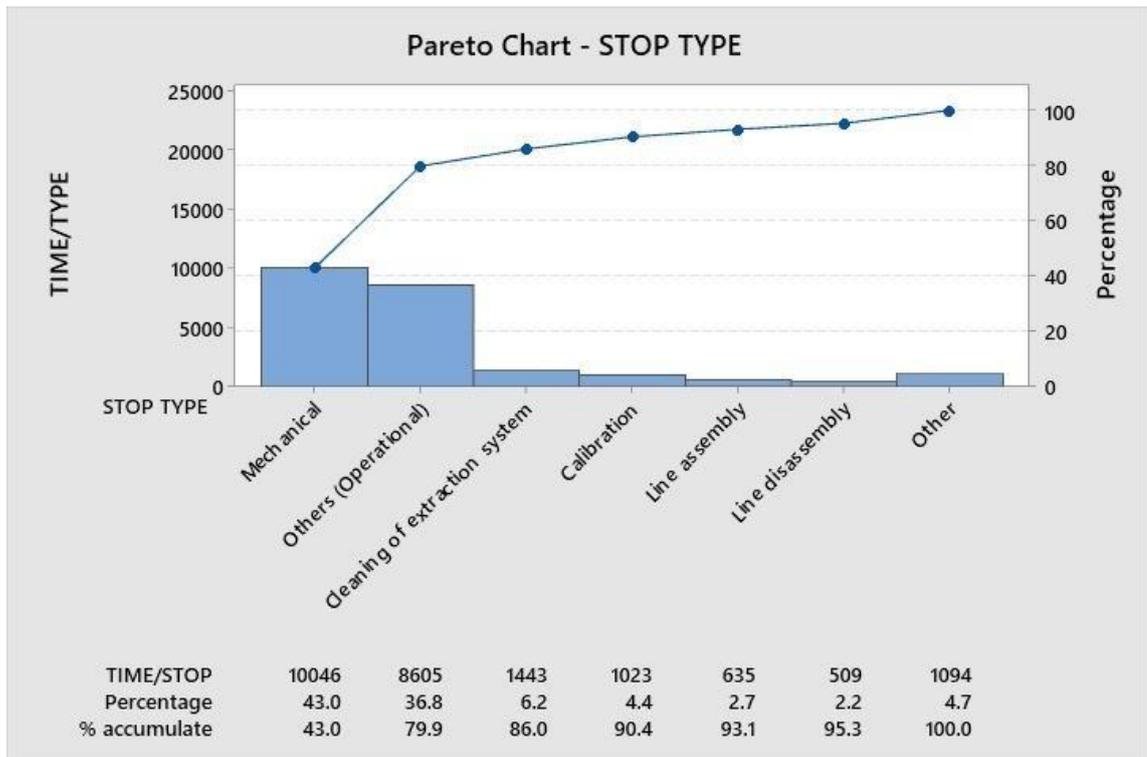


Figura 2.5 Gráfica de Pareto de disponibilidades por tipo de parada

En conclusión, se logró enfocar sobre los tipos de paradas que limitan el tiempo de operatividad, para lo cual la definición queda de la siguiente manera.

“La empresa necesita mejorar su bajo porcentaje de disponibilidad en la línea de galvanizado durante los sucesos de paradas mecánicas y operacionales, desde el mes de enero 2021 hasta la actualidad, el cual influye en el 25% del tiempo planificado habiendo tenido una influencia mínima del 17%.”

Posteriormente se realizó un diagrama del flujo del proceso general, de tal manera que se conozca a detalle el funcionamiento de la línea de galvanizado y determinar así las actividades que agregan valor, las que no, y las que pueden ser omitidas o fusionarse a pesar de ser necesarias, además de observar la actividad cuello de botella que marca el ritmo del *Throughput*.

En la Figura 2.6 se observa el diagrama en la cual la tarea cuello de botella se encuentra dentro del proceso de pretratamiento.

Se conoció además que existen seis actividades que agregan valor, lo cual representa el 25% del proceso, mientras que hay diez actividades que no agregan valor representando el 42% y ocho actividades que no agregan valor, pero son necesarios representando el 33%, este último conjunto son las tareas que se pueden unificar acorde a sus características con actividades que si agreguen valor, o se las debe transformar. Mientras que las que no agregan deben ser eliminadas de manera inmediata.

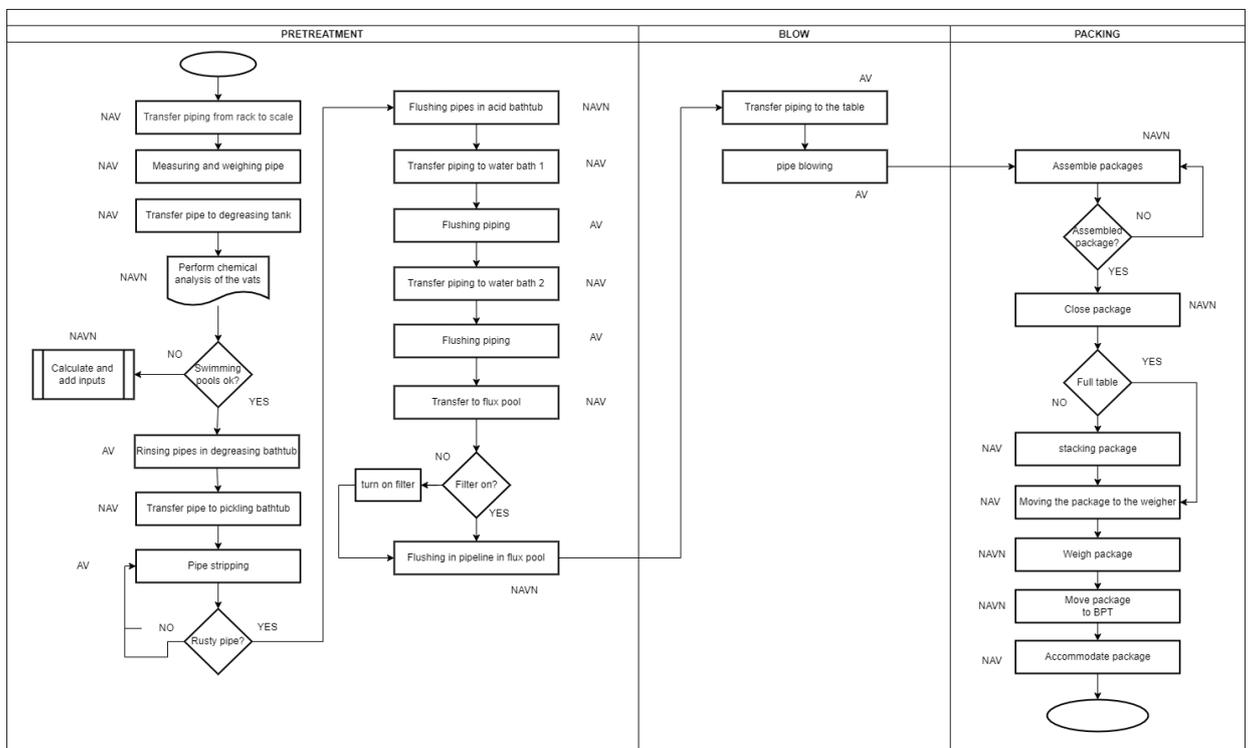


Figura 2.6 Diagrama funcional del proceso de galvanizado

Teniendo la información recolectada y el enfoque realizado, el siguiente paso fue realizar el plan de recolección de datos, el cual ayudó a validar la información otorgada relacionada con la variable respuesta, todas estas variables fueron sustentadas ya sea con análisis estadístico u observación en la planta de producción, mejor conocido como *GEMBA*.

En la Tabla 2.1 se tiene el plan de recolección, donde hay cinco variables:

- Tiempo planeado de producción
- Tiempo operativo
- Tiempo de parada no programada, por los dos tipos de para enfocados
- Porcentaje de desperdicio
- Costos de producción

Tabla 2.1 Plan recolección de datos

Qué			Cuando	Dónde	Cómo		Por qué	Quién	
Variable	Unidad de medida	Tipo de dato	Cuando lo recolecto	Dónde lo recolecto	Método de observación	Método de colección	Por qué se recolectó	Fuente de información	Personal a cargo
Tiempo planeado de producción	horas/minutos	Cuantitativo continuo	13/06/2022 a 16/06/2022	Área de galvanizado	Uso de data histórica, Software de planificación	Base de datos históricos	Conocer el tiempo de producción planificado por turno de trabajo para el posterior cálculo de disponibilidad.	Base de datos	Coordinador de producción
Tiempo operativo	horas/minutos	Cuantitativo continuo	13/06/2022 a 16/06/2022	Área de galvanizado	GEMBA	Base de datos histórica	Conocer el tiempo de funcionamiento utilizado durante el turno de trabajo.	Base de datos	Coordinador de producción
Tiempo de parada no programada por tipo de parada	horas/minutos	Cuantitativo continuo	13/06/2022 a 16/06/2022	Área de galvanizado	GEMBA	Base de datos histórica	Permitirá saber qué tipo de parada genera más pérdida de disponibilidad.	Base de datos	Coordinador de producción
% de desperdicio	-	Cuantitativo continuo	13/06/2022 a 16/06/2022	Área de galvanizado	GEMBA	Base de datos histórica	Conocer el porcentaje de chatarra generada al mes.	Base de datos	Coordinador de producción
Costos de producción	Dólares/tonelada	Cuantitativo continuo	13/06/2022 a 16/06/2022	Área de galvanizado	Uso de data histórica	Base de datos histórica	Sepa cómo el tonelaje afecta directamente el costo de la planta.	Base de datos	Coordinador de producción

La validación de la información se basa en una comparación entre la información que otorga la empresa y la que el líder del proyecto observa y recolecta, para la primera parte la empresa posee una base de datos que ayuda a obtener los valores deseados mientras que para la segunda parte se definió formatos que permitan la practicidad de la recolección y además sea entendible para los operadores.

Referente a la base datos, al ser extensa, se tomó la decisión de calcular un tamaño de muestra a la población de datos almacenados en el mismo período de tiempo que se definió el problema, ya que validar mucha información no es recomendable por los recursos que se tiene, para calcular este valor representativo se hizo uso de la siguiente ecuación.

$$n = \frac{N * Z^2 * \sigma^2}{(N - 1) * E^2 + Z^2 * \sigma^2} \quad (2, 2)$$

Donde se obtuvo un valor de n igual a 49, debido a que el tamaño de la población era de 129 datos de tiempos, mientras que el valor de z basado en la distribución normal es de 1.96, el margen de error del 5% y la varianza de los datos de tiempo es de 0.051.

Este valor se usó para todas las variables de interés.

2.2.1 Validación de la data

Para la validación de la información se usaron herramientas estadísticas que permitieron a través de la probabilidad generar una hipótesis y concluir de manera efectiva.

Primero se tiene el tiempo planeado de producción, donde se compararon los tiempos del reporte digital que lleva el jefe del área, y los tiempos de marcación de los operadores, como se los visualiza en la Figura 2.7 y 2.8, al ser un valor estándar de ocho horas no fue necesario aplicar de manera criteriosa un análisis estadístico. Pero para las siguientes validaciones, se tienen ambas muestras recolectadas, la que otorga la empresa y a la medida por el líder del proyecto, a la cuales se les procedió aplicar la prueba de normalidad para verificar que los datos tengan distribución normal o si estos siguen una tendencia no paramétrica y con esta información definir el tipo de prueba estadística a usar, bajo este mismo esquema se midieron a las demás variables.

Se obtuvieron las 49 muestras de ambas poblaciones, valor obtenido por la formula previamente descrita y se aplicó la herramienta.

SEMANA DEL 27 AL 1 DE			
1ER. TURNO 23:30 A 07:30		2DO. TURNO 07:00 A 15:30	
CUMBREROS		SACON ERNESTO	
PUENTERO		SALVADOR NOBOA DIEGO(LIDER)	
KUBIZINC		ORTIZ CHAMBA JOSE XAVIER	

Figura 2.7 Hoja de reporte digital de las horas de producción planeadas

Empleado [000129] - [LEON ARREAGA - CARLOS DANIEL]						
Codigo	Fecha_Ing	Hora_Ingreso	Hora_Salida	Hora_Ing	Hora_Sal	Total
000129	17/05/2022	7:00:00	15:30:00	7/05/2022 7:00:00	7/05/2022 15:30:00	8:00:00
000129	18/05/2022	7:00:00	15:30:00	8/05/2022 7:00:00	8/05/2022 15:30:00	8:00:00
000129	19/05/2022	7:00:00	15:30:00	9/05/2022 7:00:00	9/05/2022 15:30:00	8:00:00
000129	20/05/2022	7:00:00	15:30:00	10/05/2022 7:00:00	10/05/2022 15:30:00	8:00:00

Figura 2.8 Tabla de reporte diario del sistema de marcación laboral

La segunda variable es el tiempo real de operación el cual se basa sobre el tiempo planificado, la empresa tiene un dispositivo llamado horómetro el cual calcula en tiempo real productivo, dicho valor obtenido lo plasman sobre el reporte diario, Figura 2.9. Para poder validar esta variable, se tomó tiempo de producción y se comparó con los valores reportados, como se lo ve en la Figura 2.10.

A estos datos se les aplicó prueba de normalidad para luego en base al resultado validar si es información confiable y no hay diferencia significativa con los valores otorgados.

KUBIEC MÁS QUE UN BUEN ACERO		SERVICIO DE GALVANIZADO		REGISTRO DE PRODUCCIÓN LINEA GALVANIZADO				CODIGO: RPK-180301 REVISIÓN No: 0 FECHA: 07/09/2020	
SERIADOS <input checked="" type="checkbox"/>		ESTRUCTURA <input type="checkbox"/>		FECHA: 15/06/2022	TURNO: 2		NUMERO DE OPERADORES: 6		
LIDER DE GRUPO: Danny Marios									
(1) PRODUCTO_PRIMERA									
HOROMETRO		FORMADO		GALVANIZADO					
INICIO	FIN	CODIGO	MP	CODIGO	DESCRIPCION_GALVANIZADO	CANTIDAD PRODUCCION (K)	PESO (K. UNIDADES)	PESO (K. TOTAL) (K)	PESO (K. TOTAL) (K)
1508.03	1509.59	TELE00001	02150622	TELE00011	Cable de acero galvanizado Hrc 2.0 x 1/2" x 3000	541	2.84		1536.44
	116								
1509.59	1511.29	TELE00002	02150622	TELE00012	Cable de acero galvanizado Hrc 2.20 x 3/4" x 6000	357	3.97		1417.29
	90								
TOTAL:		206				898			2953.73

Figura 2.9 Reporte de tiempo de la jornada de producción obtenido por Horómetro



Figura 2.10 Toma de tiempo de producción en el área operativa (GEMBA)

En la Figura 2.11 y 2.12, se observa como los valores de probabilidad (valor p) son mayores al valor de probabilidad 0.05 (error de significancia), previamente se tiene que conocer que la hipótesis nula de la prueba de normalidad (H_0) es que los datos siguen una distribución normal y la hipótesis alterna (H_1) es que los datos no siguen distribución normal.

En este caso para ambas muestras no se rechaza la hipótesis nula debido al valor de probabilidad, con un 95% de confianza se indica que los datos siguen distribución normal.

Ahora se logró determinar que la prueba estadística a usar para comparar las muestras es la “T de 2 muestras”, la cual compara las medias y en base a probabilidad indica si son similares y representativas una de otra.

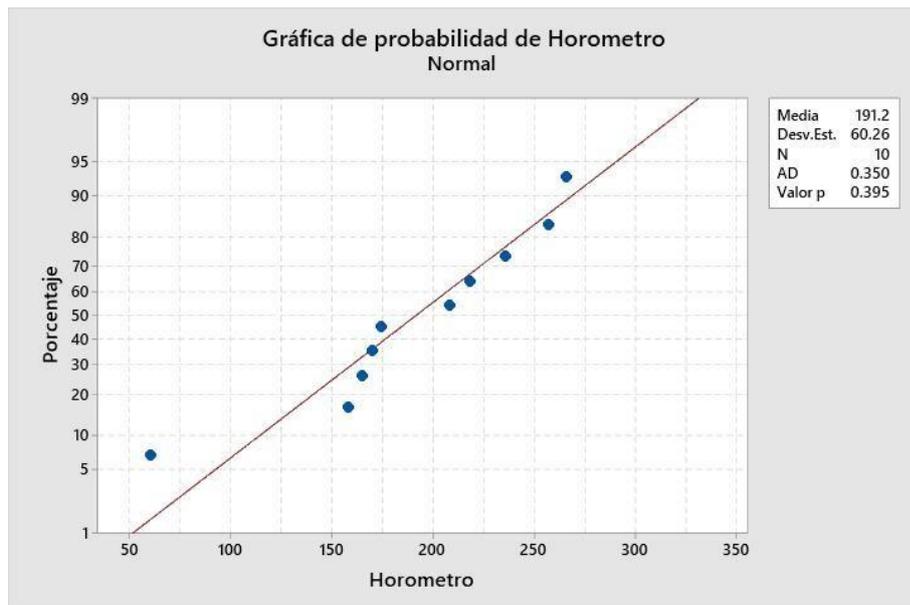


Figura 2.11 Gráfica de normalidad para tiempos de producción por Horómetro

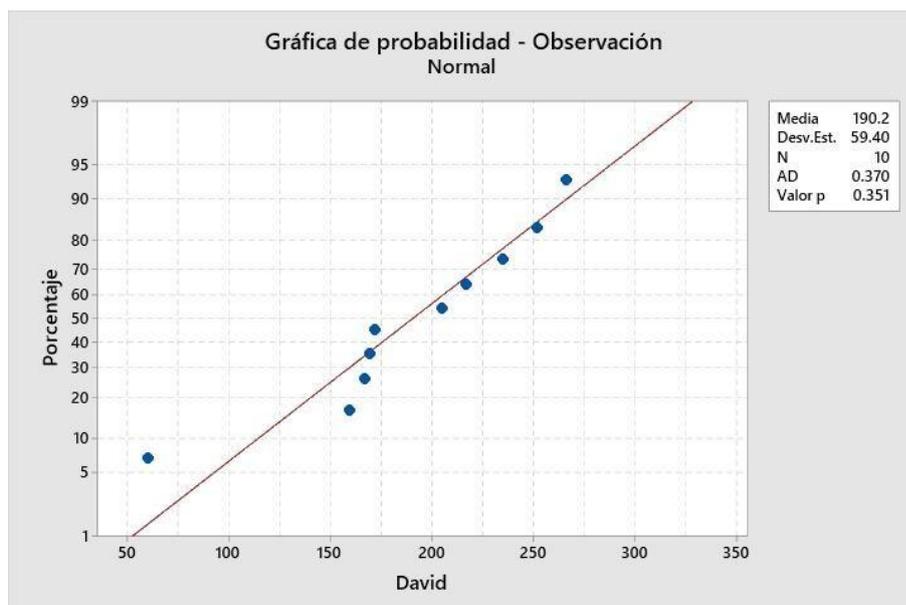


Figura 2.12 Gráfica de normalidad para tiempos de producción por observación

En la Figura 2.13, se muestra la prueba aplicada donde la hipótesis nula (H_0) es que la media de la muestra del horómetro es igual a la media de los tiempos calculados en el *gamba*, donde el valor obtenido es 0.971 el cual es mayor al error de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y con un 95% de confianza se indica que las muestras son estadísticamente iguales, validando los datos de la variable.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

0.04 17 0.971

Figura 2.13 Resultado prueba "T de 2 muestras" para tiempo de producción

En la Figura 2.14, se tiene la gráfica de cajas o "*Boxplot*", la cual es una manera gráfica de visualizar los resultados previos, donde se observa que la media entre ambas muestras está ligeramente desfasada, además que la amplitud de las cajas indica que tan variables se encuentran los datos de cada muestra en donde se observa que tienen un tamaño similar.

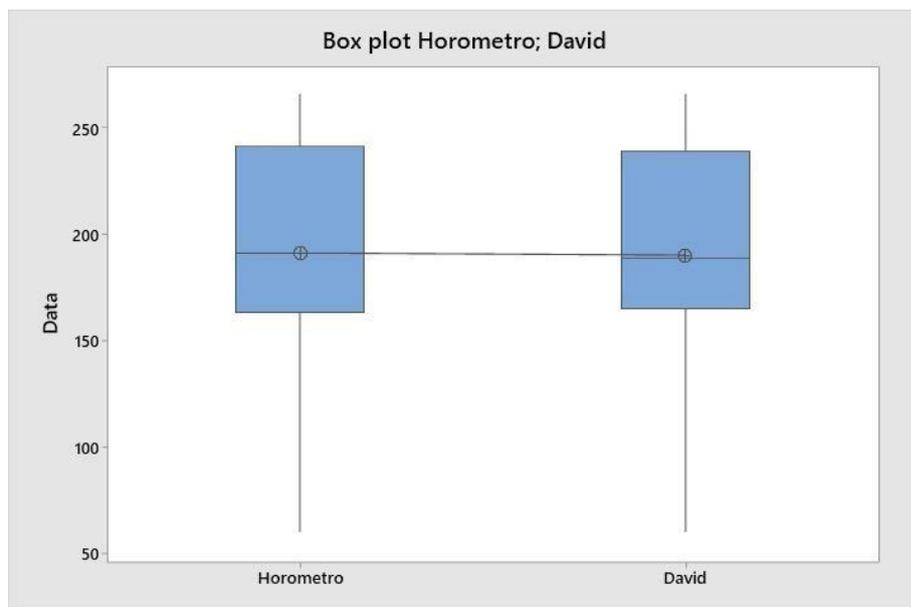


Figura 2.14 Gráfica de cajas de muestras para los tiempos de producción

La tercera variable es el tiempo de paros no programados la cual se divide en paros operacionales y mecánicos, al igual que en el caso anterior se usó la base de datos de la empresa a través del horómetro y para poder validarlo se tomó tiempos de dichas paradas en el *gemba* y compararlos entre sí, como se lo ve en la Figura 2.15 y 2.16.

A estos grupos de datos se les aplicó la prueba de normalidad para luego en base al resultado validar si es información confiable y si no hay diferencia significativa con los valores otorgados.



Figura 2.15 Toma de tiempo de paradas operacionales

En la Figura 2.17 y 2.18, se observa como los valores de probabilidad (valor p) son mayores al valor de probabilidad 0.05 (error de significancia).

En este caso para ambas muestras no se rechaza la hipótesis nula debido al valor de probabilidad, con un 95% de confianza se indica que los datos siguen distribución normal.

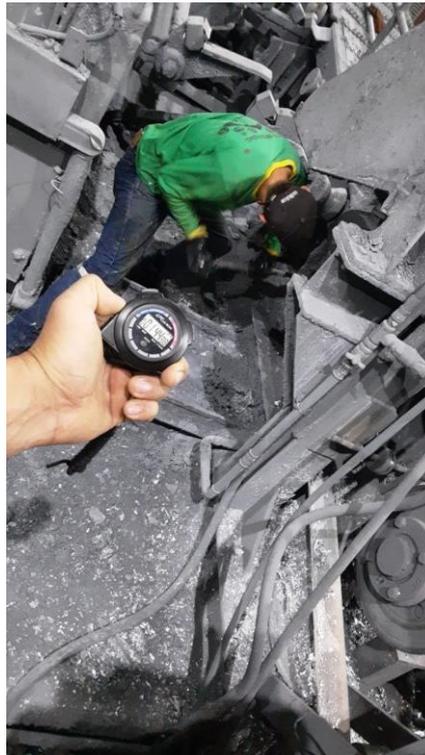


Figura 2.16 Toma de tiempo de paradas mecánicas

Ahora se logró determinar que la prueba estadística a usar para comparar las muestras es la “T de 2 muestras”, si las muestras son no paramétricas se debería haber usado la prueba *Mann Withney*.

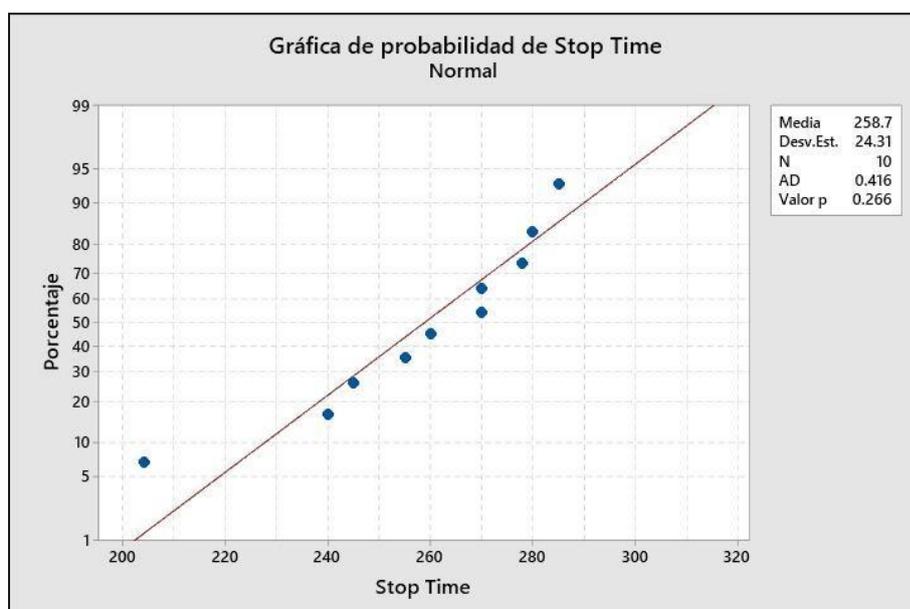


Figura 2.17 Gráfica de normalidad para tiempos de paros no programados obtenidos de la base de información

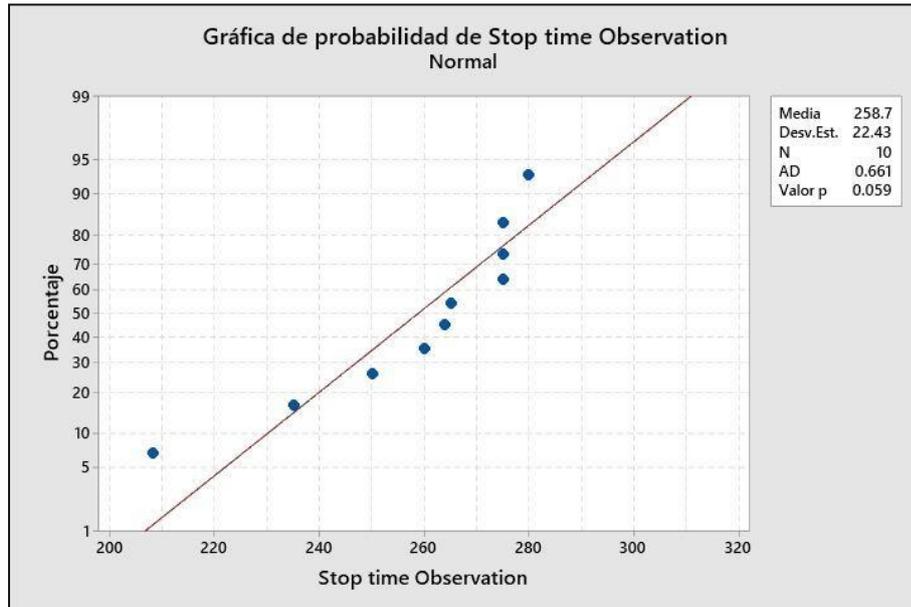


Figura 2.18 Gráfica de normalidad para tiempos de paros no programados obtenidos del GEMBA

En la Figura 2.19, se muestra la prueba aplicada donde la hipótesis nula (H_0) es que la media de la muestra de los tiempos de paros no programados de la base de datos de la empresa es igual a la media de los tiempos calculados en el *gemba*, donde el valor obtenido es 1 el cual es mayor al error de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y con un 95% de confianza se indica que las muestras son estadísticamente iguales, validando los datos de la variable.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

0.00 17 1.000

Figura 2.19 Resultado prueba "T de 2 muestras" para tiempo de paros no programados

En la Figura 2.20, se tiene el "Boxplot", la cual es una manera gráfica de visualizar los resultados previos, donde se observa que la media entre ambas muestras es igual, además que la amplitud de la caja de los tiempos de la empresa tiene más variación que los recolectados en el *gemba*.

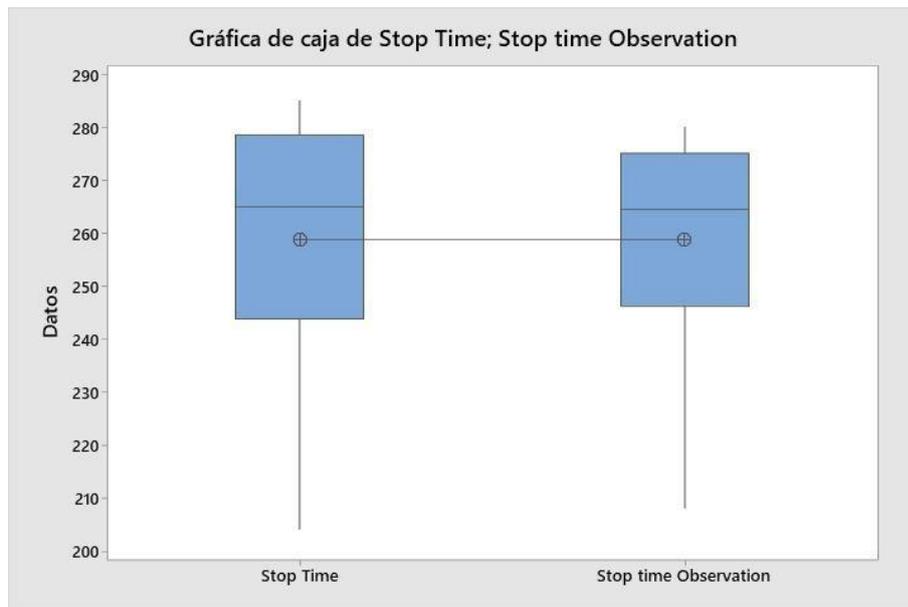


Figura 2.20 Gráfica de cajas de muestras para los tiempos de paros no programados

La cuarta variable es la cantidad de desperdicio de material en la línea, en este caso la empresa a través de los operadores lleva un reporte manual de la cantidad diaria de desperdicio que se genera y esa fue comparada con los valores que se recolectaron en el *gemba*.

A estos grupos de datos se les aplicó la prueba de normalidad para luego en base al resultado validar si es información confiable y si no hay diferencia significativa con los valores otorgados.

En la Figura 2.21 y 2.22, se observa como los valores de probabilidad (valor p) son mayores al valor de probabilidad 0.05 (error de significancia).

En este caso para ambas muestras no se rechaza la hipótesis nula debido al valor de probabilidad, con un 95% de confianza se indica que los datos siguen distribución normal. Con este resultado se indica que la prueba a usar es la “T de 2 muestras”.

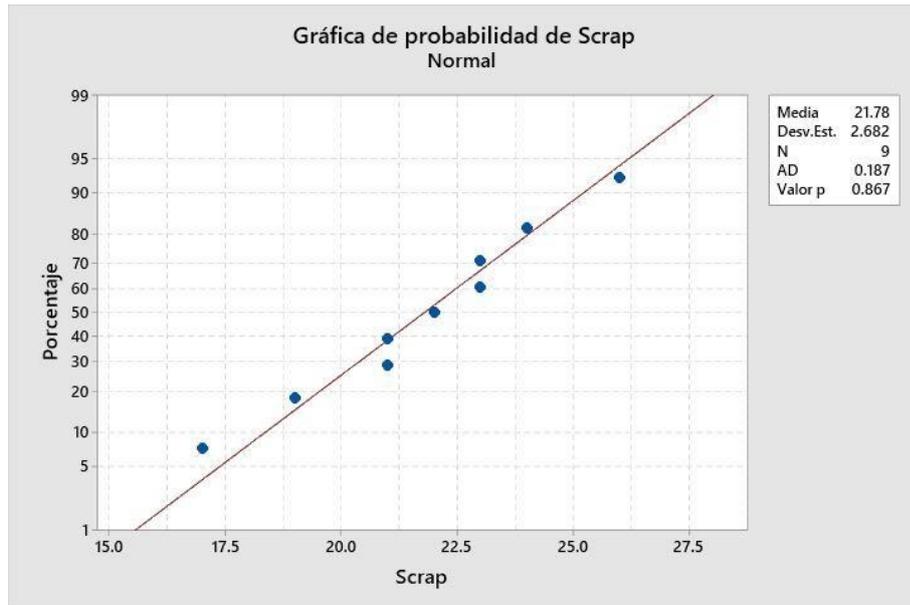


Figura 2.21 Gráfica de normalidad para los desperdicios obtenidos de la base de información

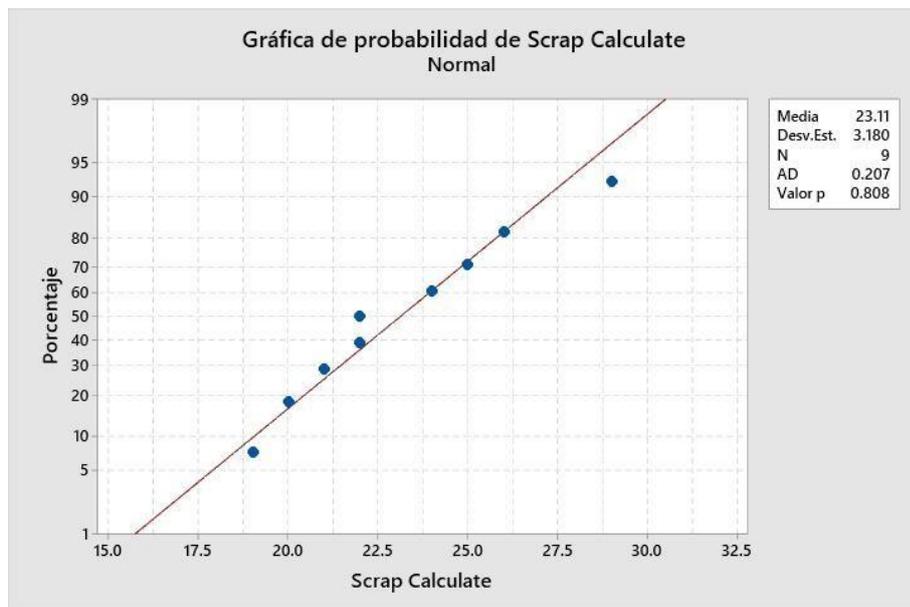


Figura 2.22 Gráfica de normalidad para los desperdicios obtenidos del GEMBA

En la Figura 2.23, se muestra la prueba aplicada donde la hipótesis nula (H_0) es que la media de la cantidad de desperdicios correspondientes a la información de la empresa es igual a la media de la información recolectada en el *gemba*, donde el valor obtenido es 0.352 el cual es mayor al error de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y con un 95% de confianza se indica que las muestras son estadísticamente iguales, validando los datos de la variable.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

-0.96 15 0.352

Figura 2.23 Resultado prueba "T de 2 muestras" para cantidad de desperdicios

En la Figura 2.24, se tiene el "Boxplot", la cual es una manera gráfica de visualizar los resultados previos, donde se observa que la media entre ambas muestras se encuentra ligeramente desfasadas, la de los valores obtenidos por el líder del proyecto es mayor, además que la amplitud de la caja de esta es más grande por lo tanto la muestra recolectada tiene más variabilidad.

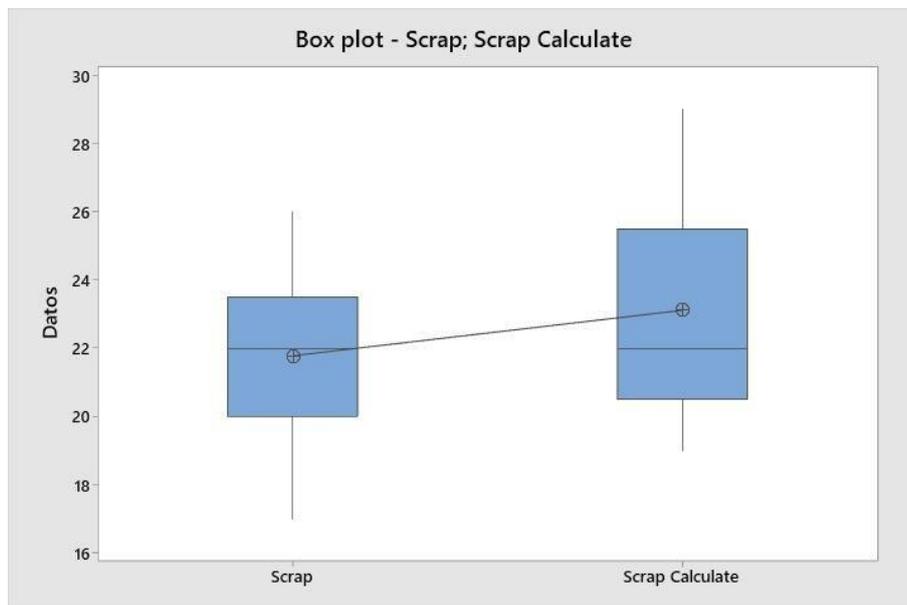


Figura 2.24 Gráfica de cajas de muestras para los desperdicios

Finalmente se validó la confiabilidad de todas las variables medidas, de manera posterior se realizó una gráfica de control para conocer la estabilidad del proceso o si la disponibilidad de la línea genera patrones que puedan indicar alguna anomalía en la gráfica.

Primero, en la Figura 2.25, se usó la gráfica I-MR dado que se tienen valores individuales de disponibilidad de las últimas 10 semanas.

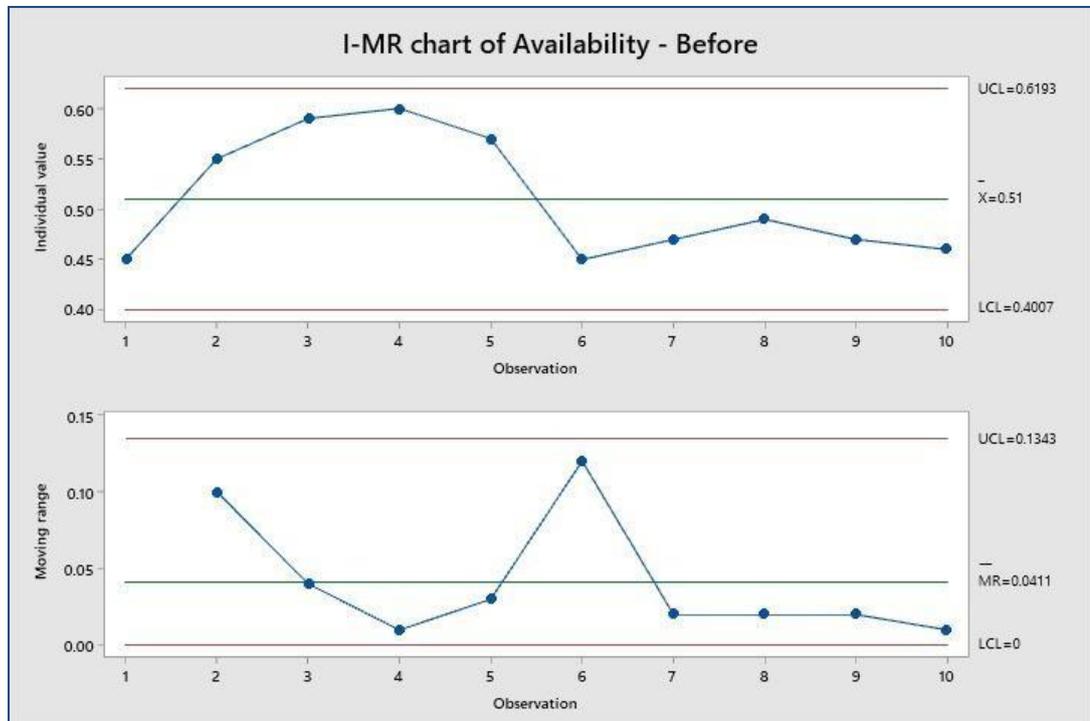


Figura 2.25 Gráfica I-MR de disponibilidad de la línea de galvanizado

Como podemos observar no hay patrones o puntos fuera de los límites estadísticos del proceso, por lo que podemos asegurar que se encuentra estable. De manera posterior se calculó la normalidad de los mismos datos, para realizar el análisis de capacidad.

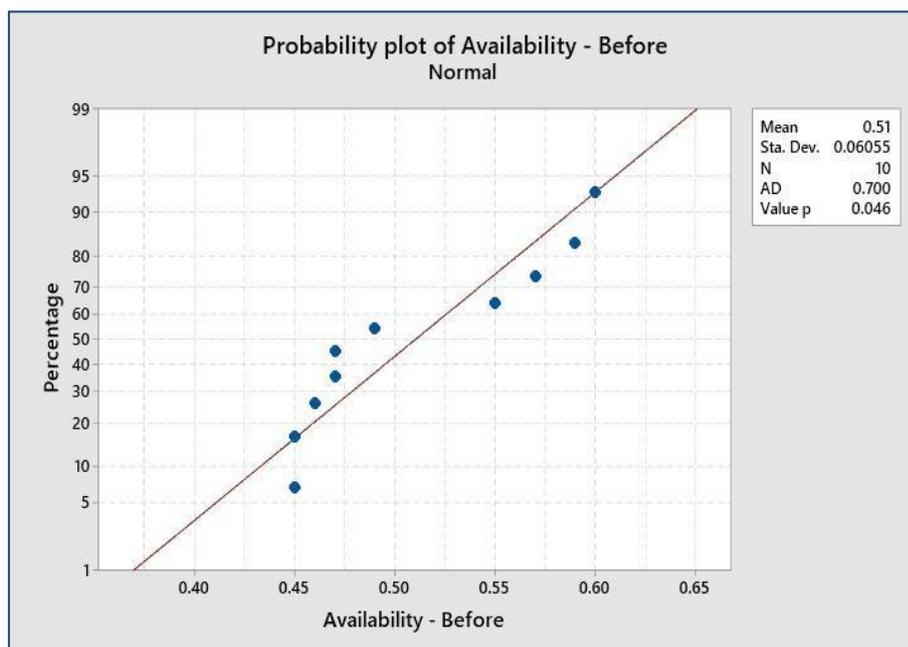


Figura 2.26 Gráfica de normalidad de la disponibilidad promedio de línea envasadora

En la Figura 2.26, se tiene la prueba de normalidad, donde el valor p es de 0.046 menor que el error de significancia 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula con un 95% de confianza que los valores de disponibilidad no tienen una distribución normal, por lo tanto, es necesario realizar el análisis de capacidad para datos no normales.

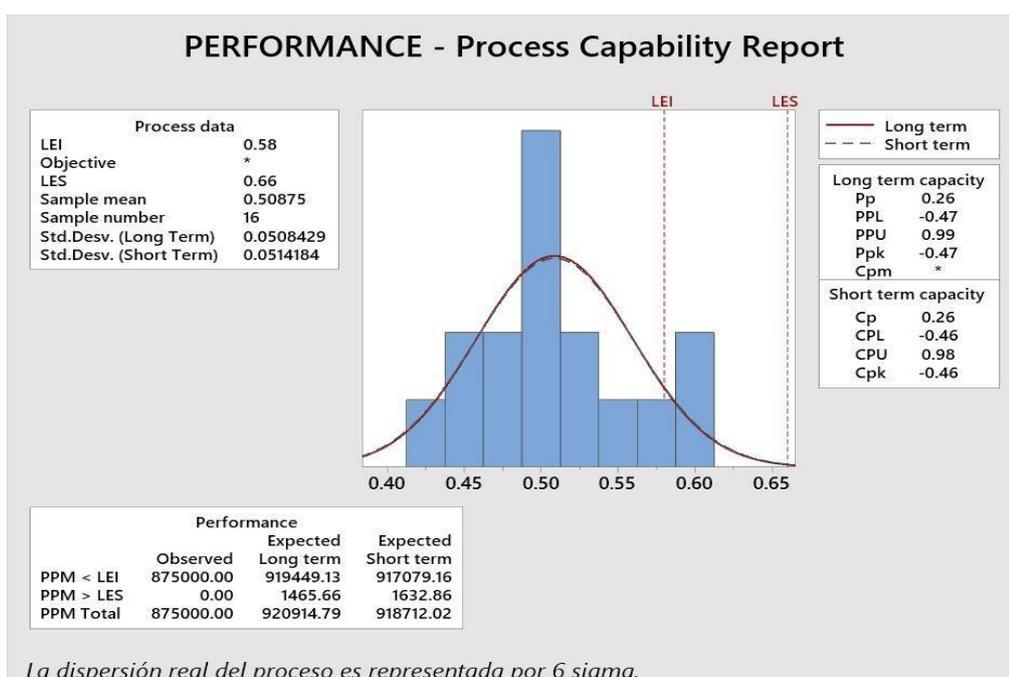


Figura 2.27 Análisis de capacidad de la disponibilidad de la línea de envasado

En la Figura 2.27 se tiene el análisis de capacidad, donde se aprecia que el proceso tiene problemas tanto de localización como de dispersión de los datos de disponibilidad, para el primer problema mencionado se lo corrobora a través de que el valor de CPK es menor que el valor de CP , esto nos indica que los datos no se encuentran dentro de los límites establecidos por el cliente, por lo tanto no hay una centralización del proceso, el segundo problema es la dispersión y se lo observa dado que el CP es menor que el valor mínimo establecido de 1.33, el cual es un indicador mundial que ayuda a ver si el proceso en estudio es capaz de generar productos o servicios con requerimientos mínimos del cliente, estos dos problemas se los puede solucionar a través de estandarización de actividades, estandarización del *setup* y mejoras en la calibración.

En la misma imagen se puede evidenciar como al corto plazo de cada millón de productos que realiza el proceso más de novecientos mil tienen sesgo hacia la izquierda, es decir con disponibilidad menor al establecido, la misma situación al largo plazo, mientras que no hay probabilidad que ningún producto tenga una disponibilidad superior al mínimo establecido.

2.3 Análisis

En esta etapa se hizo uso de metodologías que ayudaron a determinar las posibles causas que generan los problemas definidos, y posterior a ello se hizo uso de herramientas estadísticas para determinar las causas significativas y consecuentemente las causas raíz de estas, con ello ver posibles soluciones de implementación que ayuden a alcanzar el objetivo establecido.

2.3.1 Lluvia de ideas (*Brainstorming*) e Ishikawa

Para poder pensar en las posibles soluciones primero se creó una reunión con el equipo para poder generar lluvia de ideas de las causas que generan los problemas, ver en el Apéndice A.

Recolectada esta información, fue agrupada a través de la herramienta diagrama de Ishikawa o espina de pescado, en la cual está implícita la metodología de las

6M (Máquina, medio ambiente, método, material, medición, mano de obra) y se pudo generar un orden de agrupación de las ideas. Figura 2.28 y 2.29.

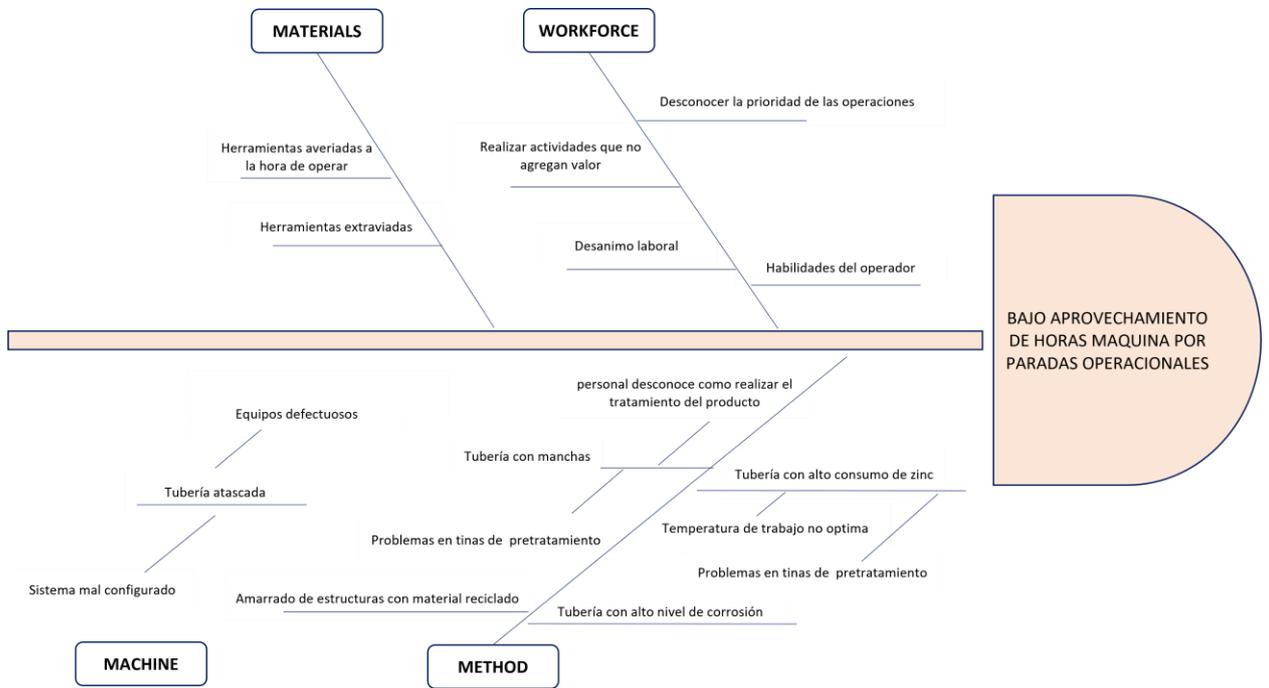


Figura 2.28 Diagrama de Ishikawa de las causas del problema enfocado 1

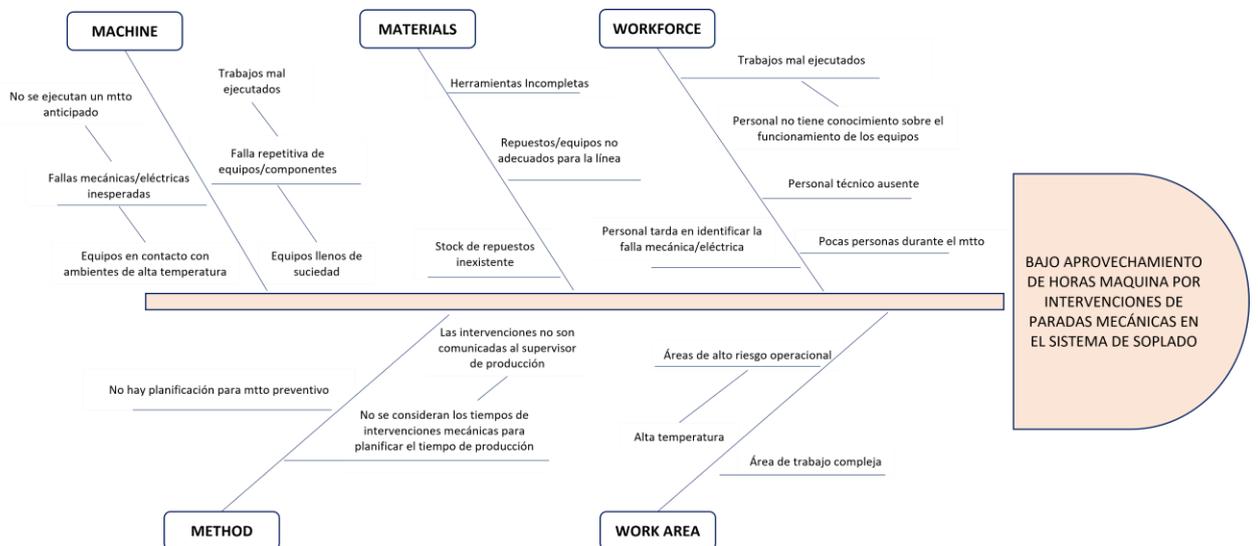


Figura 2.29 Diagrama de Ishikawa de las causas del problema enfocado 2

Del problema enfocado 1 se tienen 4 agrupaciones de ideas, que son materiales, mano de obra, máquina y método de trabajo, en tanto que en el problema

enfocado 2 se tiene máquina, materiales, mano de obra, método y medio ambiente laboral.

Con la información agrupada se realizó la matriz causa y efecto, esta pondera las ideas con tres niveles de impacto sobre la variable respuesta, 1, 3 o 9, y a su vez este valor fue multiplicado por el valor de diez para dejar todo bajo esa base. Ver Tabla 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2 Matriz de causa y efecto del diagrama de Ishikawa 1

CAUSE EFFECT MATRIX			OUTPUT VARIABLE Y'S			
			Paros operacionales			
INPUT VARIABLES X'S	#		10			
			Ingeniero de planta_Producción	Lider de grupo 1	Lider de grupo 2	MODA
	1	Desconocer la prioridad de las operaciones	1	1	1	10
	2	Realizar actividades que no agregan valor	1	1	1	10
	3	Habilidades del operador	3	3	3	30
	4	Desánimo laboral	1	1	3	10
	5	Personal no estable	1	1	1	10
	6	Herramientas averiadas a la hora de operar	9	9	9	90
	7	Herramientas extraviadas	9	9	9	90
	8	Equipo mal configurado	9	9	3	90
	9	Piezas de la cuba defectuosas	9	9	9	90
	10	Amarrado de estructuras con material reciclado	9	9	9	90
	11	personal desconoce como realizar el tratamiento del producto	3	1	3	30
	12	Problemas en tinas de pretratamiento	9	9	9	90
13	Temperatura de trabajo no optima	1	1	1	10	
14	Tubería con alto nivel de corrosión	3	1	1	10	

Tabla 2.3 Matriz de causa y efecto del diagrama de Ishikawa 2

CAUSE EFFECT MATRIX			OUTPUT VARIABLE Y'S					
			Tiempo o numero de Paros mecánicas					
INPUT VARIABLES X'S	#		10					
			Jefe de área Seriadados	Ingeniero de planta_Producción	Ingeniero de planta_Mtto	Lider de grupo 1_Carlos	Lider de grupo 2_Kenny	MODA
	1	Personal no esta capacitado para intervenciones mecánicas de su línea	9	3	1	1	3	30
	2	Personal técnico ausente	1	1	1	3	3	10
	3	Pocas personas durante el mtto	3	3	9	3	9	30
	4	Personal tarda en identificar la falla mecánica/eléctrica	1	1	1	1	9	10
	5	Herramientas incompletas	1	3	1	1	9	10
	6	Repuestos/equipos no adecuados para la línea	1	1	3	3	9	10
	7	Falta de stock de repuestos críticos	1	1	3	3	3	30
	8	Mtto mal realizado	3	1	3	3	9	30
	9	Equipos llenos de suciedad	9	9	3	9	3	90
	10	Equipos en contacto con ambientes de alta temperatura	1	1	1	1	3	10
	11	Las intervenciones en su mayoría son correctivas	9	9	3	9	9	90
	12	Las intervenciones no son comunicadas al supervisor de producción	3	1	1	1	1	10
13	Alta temperatura	1	1	3	1	1	10	
14	Área de trabajo compleja	1	1	3	1	1	10	

La primera matriz fue calificada por el ingeniero de planta y los lideres de producción, mientras que la segunda matriz fue calificada por el ingeniero de planta, Ing de mantenimiento y jefe del área de seriados, así como los lideres, para ambos casos se eligió la moda de cada causa calificada de tal manera que sea medida integralmente y graficada a través de diagramas de Pareto. Figura 2.30 y 2.31.

El objetivo de estos diagramas es filtrar las causas que generan el 80% del problema de disponibilidad, estas son llamadas causas potenciales, del diagrama uno asociado al problema uno se obtuvo las siguientes:

- Herramientas averiadas
- Herramientas extraviadas
- Equipo mal configurado
- Piezas de la cuba defectuosas
- Amarrado de la estructura con material reciclado
- Problemas en tinas de pretratamiento

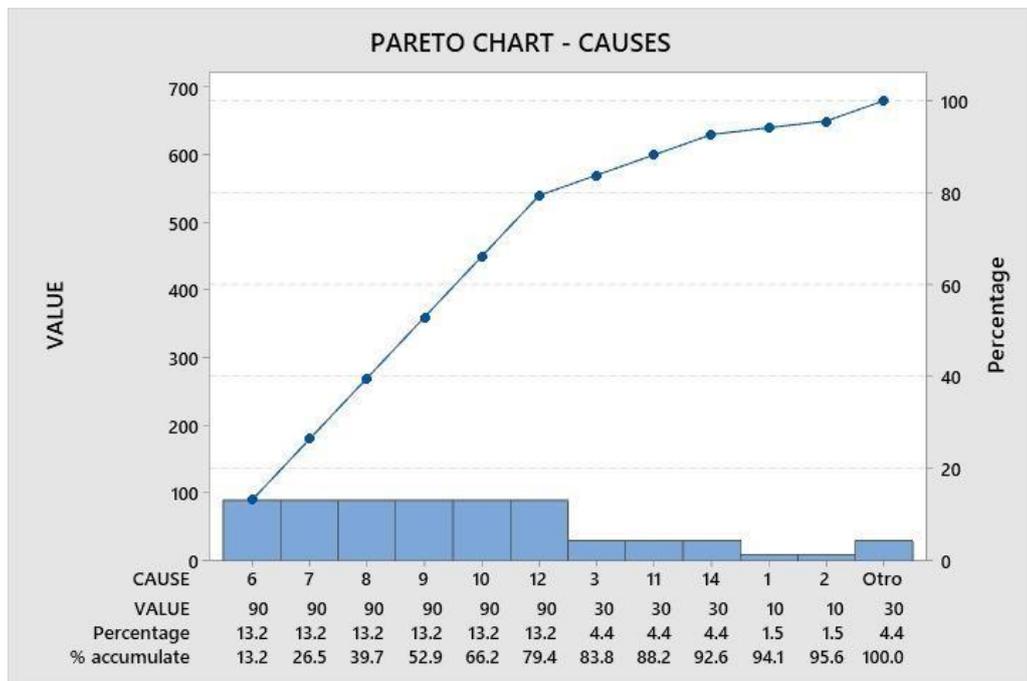


Figura 2.30 Diagrama de Pareto de las causas enfocadas 1

Mientras que del diagrama dos asociados al problema dos, se obtuvieron:

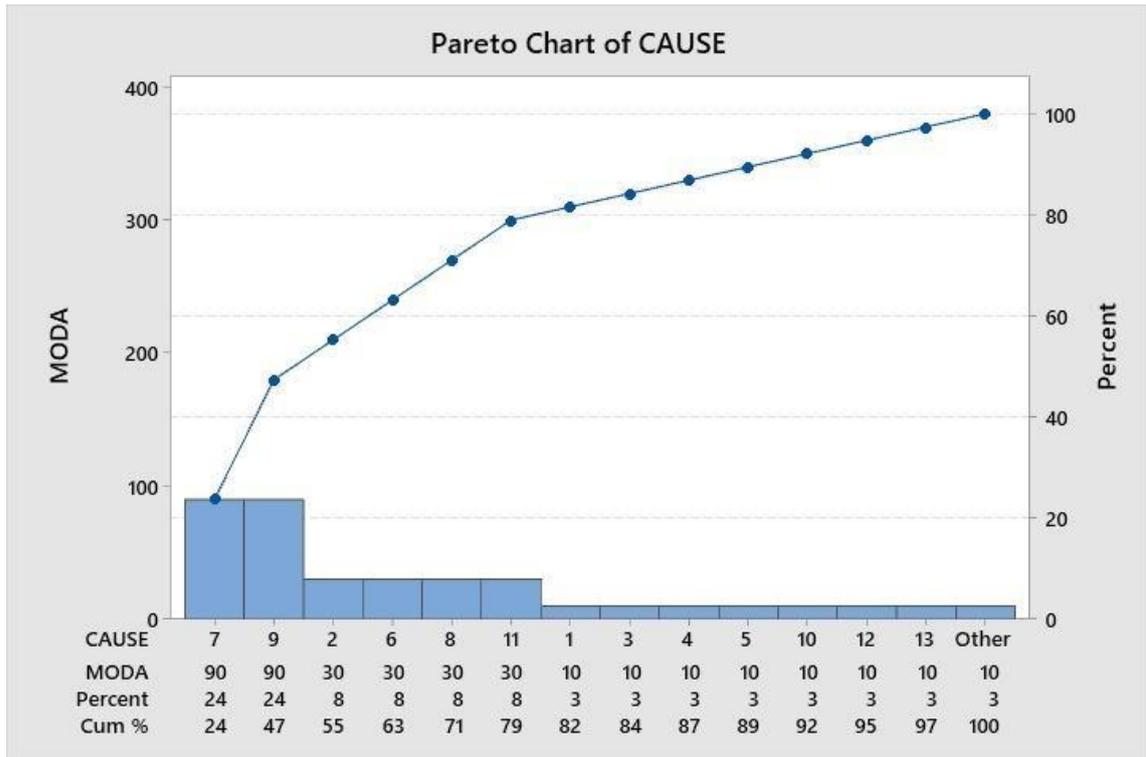


Figura 2.31 Diagrama de Pareto de las causas enfocadas 2

- Equipos llenos de suciedad
- Las intervenciones en su mayoría son correctivas
- Personal no esta capacitado para intervenciones mecánicas de su línea
- Pocas personas durante el mantenimiento
- Falta de stock de repuestos críticos
- Mantenimiento mal realizado

Para estas causas se crearon planes de verificación, la cual permite ver el impacto de estas variables sobre los problemas definidos y el indicador de disponibilidad, además de determinar la significancia de cada una de ellas mediante el uso de estadística.

En la Tabla 2.4, se visualiza el plan de verificación del problema enfocado por el tipo de paradas mecánicas.

Tabla 2.4 Plan de verificación de causas del problema enfocado 1

X'S	Causa potencial X's	Teoría de impacto	¿Cómo la verificamos? (incluyendo datos y herramientas)	Estado
1	Herramientas averiadas a la hora de operar	El tener herramientas averiadas para trabajar provoca que el personal no realice correctamente sus operaciones al instante y teniendo que realizar paradas de emergencias para evitar problemas mas grandes. Esto disminuye el tiempo disponible de producción.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
2	Herramientas extraviadas	El no tener todas las herramientas necesarias, provoca un retraso en los arranques o solución a problemas de la línea por equipos averiados o mal calibrados.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
3	Equipo mal configurado	Tener un sistema de soplado mal configurado provoca un desfase en la sincronización de los equipos del sistema semi automático, provocando atascamientos y doblado de tubería dentro de la cuba, esto aumento las micro paradas y disminuye el tiempo disponible de producción.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
4	Piezas del sistema de gusanos defectuosas	Piezas defectuosas en el sistema soplado provoca que la línea pare por atascamientos de tubería dentro y fuera de la cuba, incrementando el numero, tiempos y micro paradas durante la producción.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
5	Amarrado de estructuras con material reciclado	El amarrado de estructuras influye en el número de balancines que se galvanizan, afectando al tiempo operativo en la cuba durante el turno de trabajo.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
6	Problemas en tinas de pretratamiento	No tener bajo control las tinas de pretratamiento provoca que el tubo salga con defectos de calidad. Teniendo que realizar paradas de la línea y reduciendo el tiempo disponible de producción.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso

Posteriormente se detallará la resolución de cada causa.

- **Herramientas averiadas**

Se obtuvieron 8 datos de disponibilidad de línea de galvanizado en los turnos que había herramientas listas para operar y 8 datos cuando había al menos una averiada.

En este caso al tener una variable categórica se realizó una gráfica de cajas de los valores obtenidos para verificar de manera visual la diferencia de las medias y variación de los datos, y así tener un indicio sobre la influencia que tiene en la variable respuesta.

En la Figura 2.32 se observa la gráfica descrita, donde ambas medias son menores al 35% y la muestra con disponibilidad que no tiene herramientas averiadas es levemente mayor que la muestra con herramientas averiadas, la variación de ambas tiene un mismo tamaño de caja.

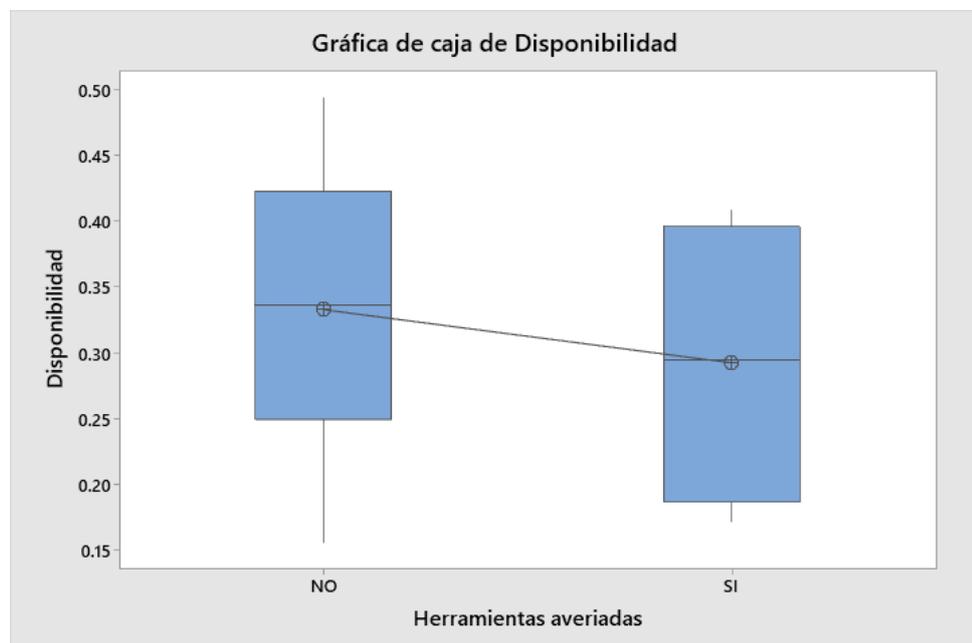


Figura 2.32 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin herramientas averiadas

Para concluir estadísticamente se generó una prueba de normalidad, de tal manera que se pueda observar si los datos siguen una distribución normal. Figura 2.33.

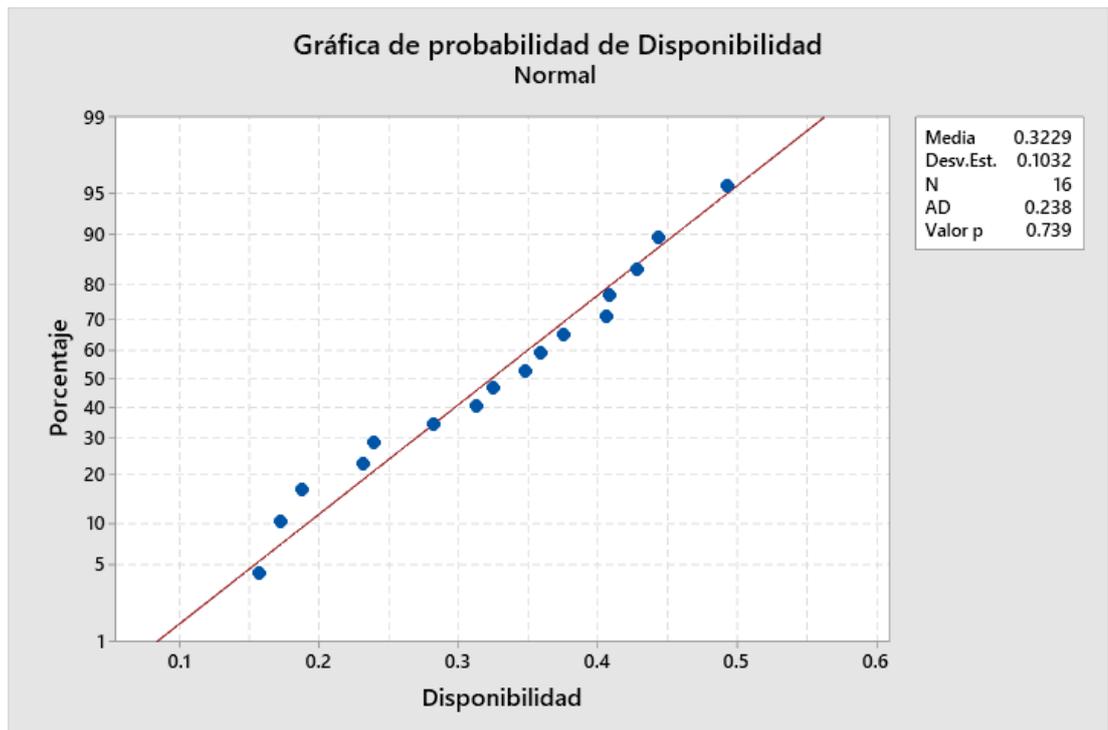


Figura 2.33 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin herramientas averiadas

Donde se observa que el valor p es mayor que el error 5% de la prueba, por lo tanto, se puede concluir con un 95% de confianza que no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y los datos siguen una distribución normal.

Finalmente se realizó la prueba estadística “T de 2 muestras” donde la hipótesis nula (H_0) es que las medias de ambas muestras son iguales.

El valor p obtenido fue de 0.554 el cual es mayor al 5% de error de significancia, por lo que se puede asegurar con un 95% de confianza que no se rechaza la hipótesis nula. Figura 2.34.

Por lo tanto, la cantidad de herramientas averiadas no es una causa significativa sobre la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0.65	4	0.554

Figura 2.34 Prueba T de student - Con/sin herramientas averiadas

- **Amarrado de estructuras**

Se obtuvieron 15 datos de disponibilidad de línea de galvanizado en los turnos donde no había amarrado de estructuras, y se comparó con el tiempo que tomó cada dato. Al ser ambas variables continuas se realizó una regresión lineal, para verificar si hay relación entre ellos.

Se puede observar en la Figura 2.35, la gráfica de regresión, donde también se tiene la ecuación que se genera con la disponibilidad, así como los puntos que lo genera. Tiene tendencia negativa, indicando que, a mayor tiempo de amarre de estructuras, menor será el valor de disponibilidad de la línea.

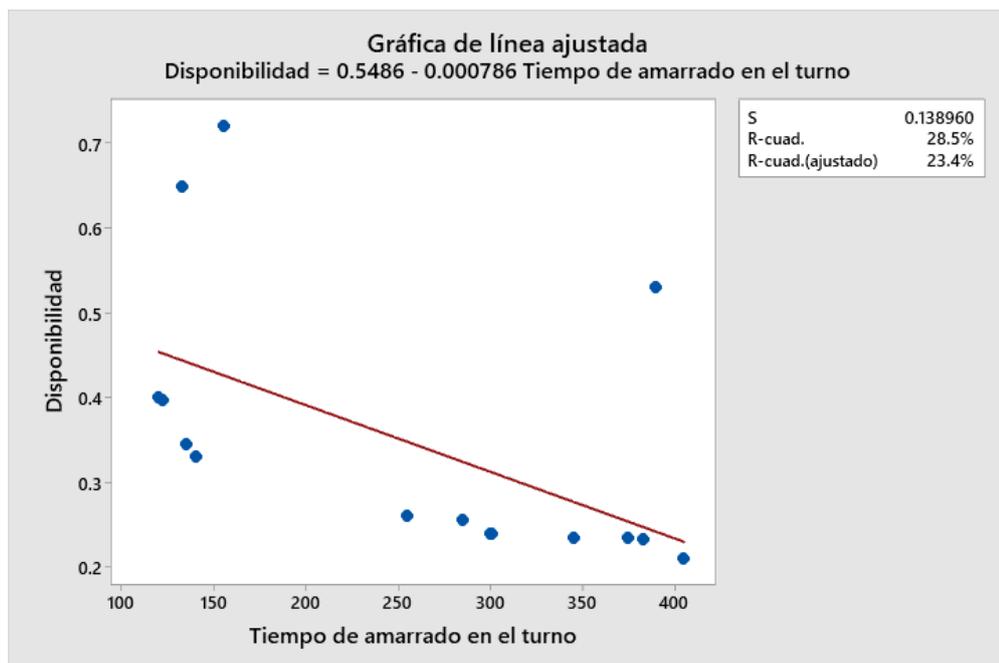


Figura 2.35 Análisis de regresión de tiempo de amarrado de estructura vs disponibilidad

En la Figura 2.36, observamos el valor de probabilidad (P) de la regresión con el que se puede concluir, previamente se debe conocer que la hipótesis nula es que los valores *betha* (β) que conforman la ecuación de regresión son iguales a cero, en otras palabras, no existe relación entre la causa y la variable respuesta, mientras que la hipótesis alterna indica que los *betha* (β) son diferentes de cero y si hay relación.

El valor p es 0.033 el cual es menor al error de 5%, por tal motivo, se rechaza la hipótesis nula con un 95% de confianza y se concluye que el amarrado de estructuras influye significativamente en la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	0.107935	0.107935	5.59	0.033
Error	14	0.270340	0.019310		
Total	15	0.378275			

Figura 2.36 Análisis de regresión

La Figura 2.37 muestra el valor de R-Sq(adj), el cual indica que los datos obtenidos de la causa expresan en un 23.43% a la variable respuesta.

Resumen del modelo

		R-cuad.
	<u>S R-cuad. (ajustado)</u>	
0.138960	28.53%	23.43%

Figura 2.37 Porcentaje de ajuste de los datos

- **Tinas de pretratamiento**

Se obtuvieron 15 datos de disponibilidad de línea de galvanizado en los turnos donde las tinas de pretratamiento tenían fallas, y se comparó con el tiempo que tomó cada dato. Al ser ambas variables continuas se realizó una regresión lineal, para verificar si hay relación entre ellos.

Se observa en la Figura 2.38, que los puntos generan una tendencia negativa, indicando que, a mayor tiempo de análisis de pretratamiento, menor será el valor de disponibilidad de la línea.

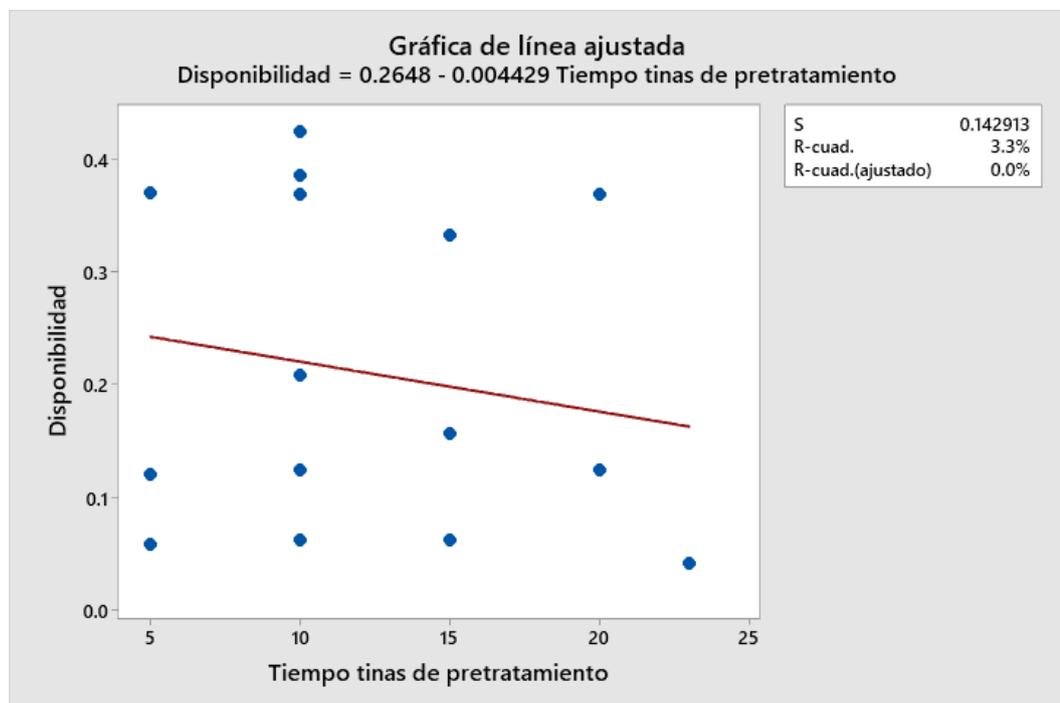


Figura 2.38 Análisis de regresión de tiempo de tinas de pretratamiento vs disponibilidad

En la Figura 2.39, el valor p es 0.498 el cual es mayor al error de significancia 5%, por tal motivo, no se rechaza la hipótesis nula y con un 95% de confianza se concluye que el tiempo en análisis de tinas en pretratamiento no influye significativamente en la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	0.009877	0.0098774	0.48	0.498
Error	14	0.285937	0.0204241		
Total	15	0.295815			

Figura 2.39 Análisis de regresión

La Figura 2.40 muestra el valor de R-Sq(adj), el cual indica que los datos obtenidos de la causa expresan en un 0.0% a la variable respuesta.

Resumen del modelo

	S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad.
	0.142913	3.34%	0.00%

Figura 2.40 Porcentaje de ajuste de los datos

- **Herramientas incompletas**

Se obtuvieron 8 datos de disponibilidad de línea de galvanizado en los turnos que había herramientas listas para operar y 8 datos cuando había al menos una incompleta.

En este caso al tener una variable categórica se realizó una gráfica de cajas de los valores obtenidos para verificar de manera visual la diferencia de las medias y variación de los datos, y así tener un indicio sobre la influencia que tiene en la variable respuesta.

En la Figura 2.41 se observa la gráfica descrita, donde ambas medias son menores al 50%, la muestra con disponibilidad que no tiene herramientas incompletas es mayor a la muestra que si tiene herramientas incompletas, además de una diferencia palpable de la variación de los datos dado por el tamaño de las cajas.

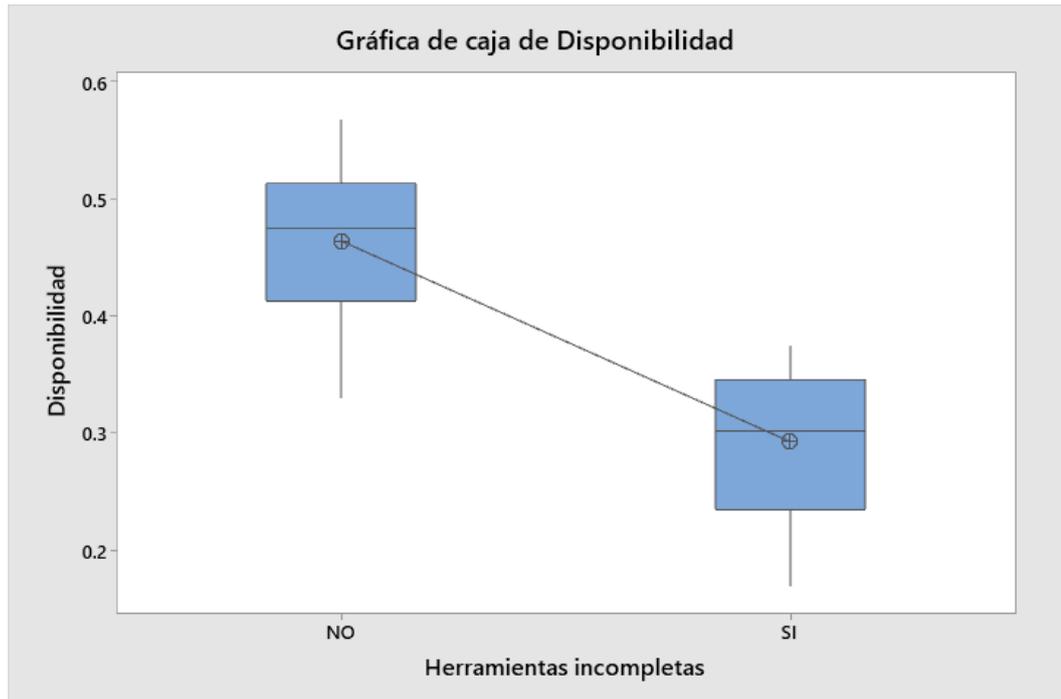


Figura 2.41 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin herramientas incompletas

Para concluir de manera estadística se realizó la prueba de normalidad, de tal manera que se pueda observar si los datos siguen una distribución normal. Figura 2.42.

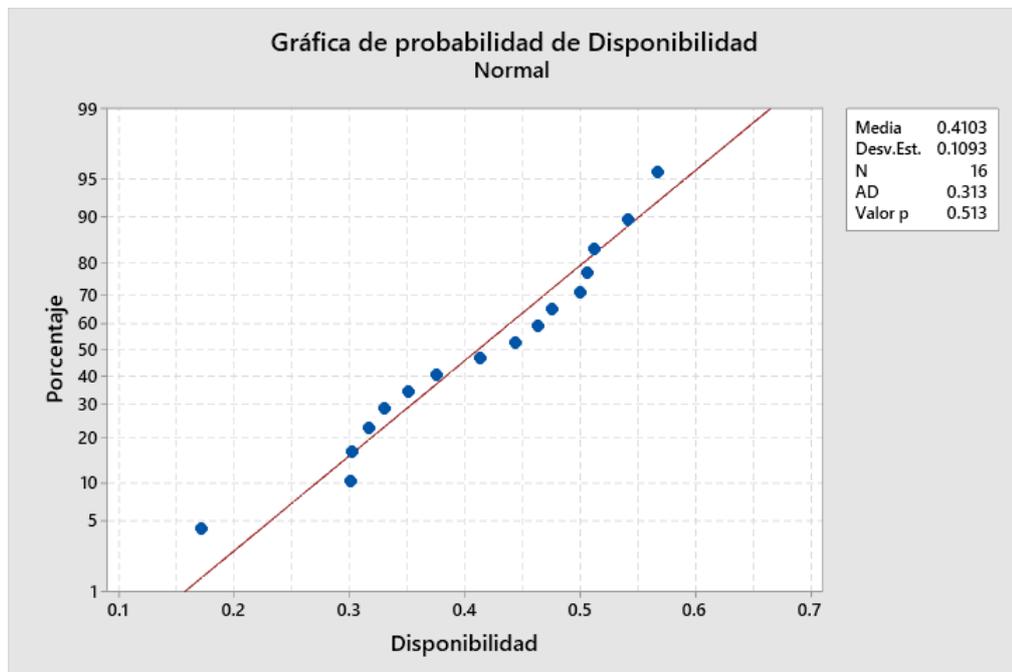


Figura 2.42 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin herramientas completas

Donde se observa que el valor p es mayor que el error 5% de la prueba, por lo tanto, se puede concluir con un 95% de confianza que no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y los datos siguen una distribución normal.

Finalmente se realizó la prueba estadística “T de 2 muestras” donde la hipótesis nula (H_0) es que las medias de ambas muestras son iguales.

El valor p obtenido fue de 0.004 el cual es menor al 5% de error de significancia, por lo que se puede asegurar con un 95% de confianza que se rechaza la hipótesis nula. Figura 2.43.

Por lo tanto, la cantidad de herramientas completas es una causa significativa sobre la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

4.22 7 0.004

Figura 2.43 Prueba T de student - Con/sin herramientas incompletas

- **Equipo mal configurado**

Se obtuvieron 8 datos de disponibilidad de línea de galvanizado en los turnos donde el equipo de la línea estaba mal configurado y 8 datos cuando estaba en bien configurado.

En este caso al tener una variable categórica se realizó una gráfica de cajas de los valores obtenidos para verificar de manera visual la diferencia de las medias y variación de los datos, y así tener un indicio sobre la influencia que tiene en la variable respuesta.

En la Figura 2.44 se observa la gráfica descrita, donde ambas medias son menores al 45%, la muestra con disponibilidad del equipo bien configurado es

mayor a la muestra con mala configuración, además de una diferencia relativa entre la variación de los datos dado por el tamaño de las cajas.

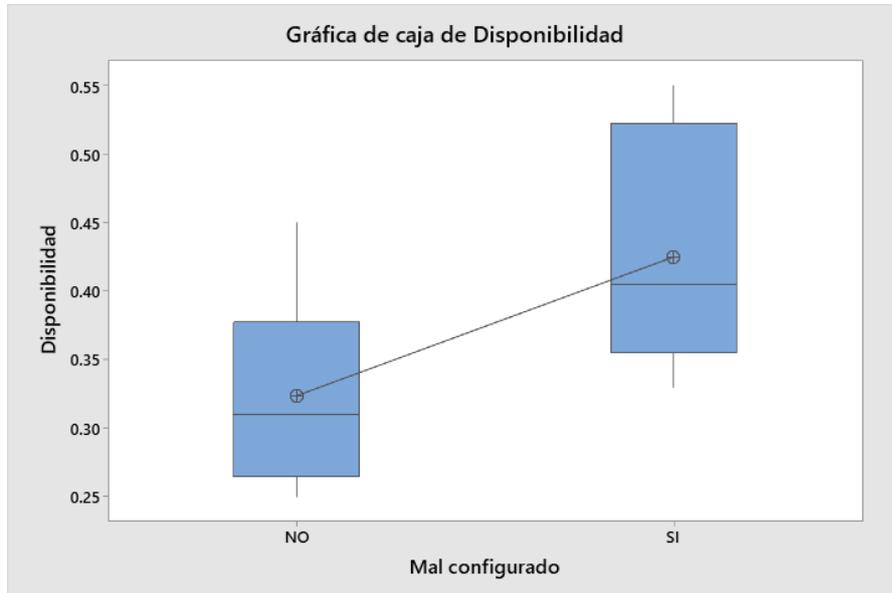


Figura 2.44 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin equipo mal configurado

Para concluir de manera estadística se realizó la prueba de normalidad, de tal manera que se pueda observar si los datos siguen una distribución normal. Figura 2.45.

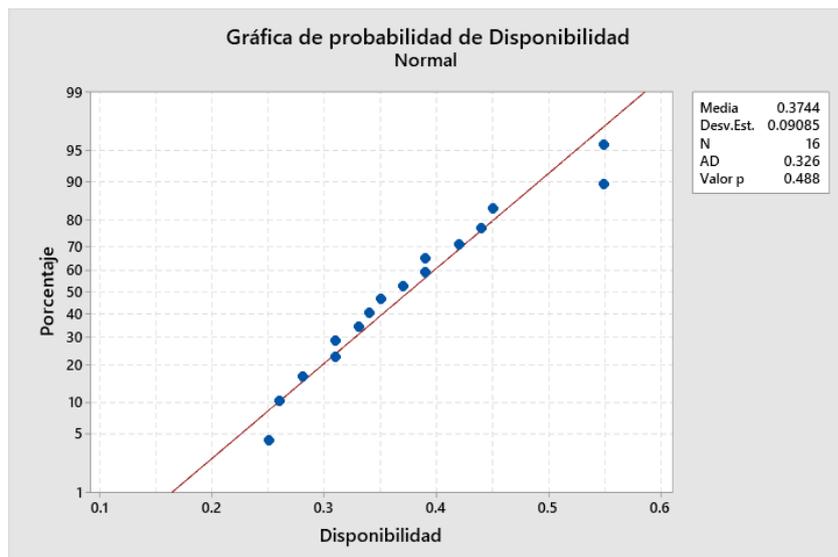


Figura 2.45 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin equipo mal configurado

Donde se observa que el valor p es mayor que el error 5% de la prueba, por lo tanto, se puede concluir con un 95% de confianza que no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y los datos siguen una distribución normal.

Finalmente se realizó la prueba estadística “T de 2 muestras” donde la hipótesis nula (H_0) es que las medias de ambas muestras son iguales.

El valor p obtenido fue de 0.021 el cual es menor al 5% de error de significancia, por lo que se puede asegurar con un 95% de confianza que se rechaza la hipótesis nula. Figura 2.43.

Por lo tanto, la mala configuración del equipo es una causa significativa sobre la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

-2.63 13 0.021

Figura 2.46 Prueba T de student - Con/sin equipo mal configurado

- **Piezas del sistema de gusano defectuosas/material atascado**

Se obtuvieron 8 datos de disponibilidad de línea de galvanizado con material atascado en el sistema de gusano y 8 datos cuando no había atasco.

En este caso al tener una variable categórica se realizó una gráfica de cajas de los valores obtenidos para verificar de manera visual la diferencia de las medias y variación de los datos, y así tener un indicio sobre la influencia que tiene en la variable respuesta.

En la Figura 2.47 se observa la gráfica descrita, donde ambas medias son menores al 40%, la muestra con disponibilidad cuando no hay atasco de material

es mayor casi en el 100% a la muestra cuando si hay atasco, además de una diferencia relativa entre la variación de los datos dado por el tamaño de las cajas.

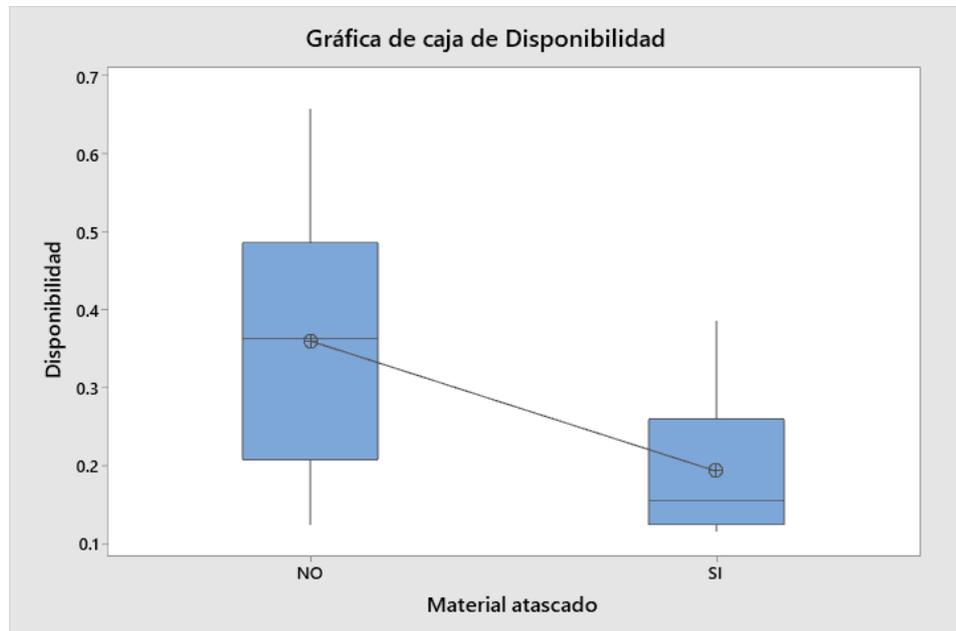


Figura 2.47 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin material atascado

Para concluir de manera estadística se realizó la prueba de normalidad, de tal manera que se pueda observar si los datos siguen una distribución normal. Figura 2.48.

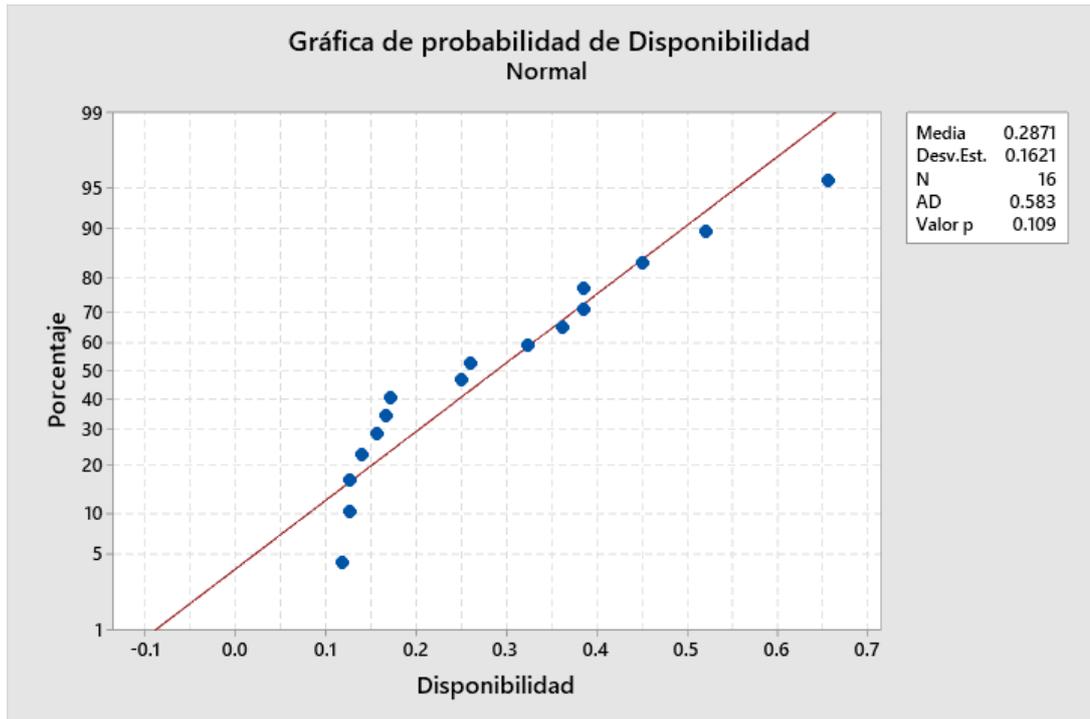


Figura 2.48 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin material atascado

Donde se observa que el valor p es mayor que el error 5% de la prueba, por lo tanto, se puede concluir con un 95% de confianza que no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y los datos siguen una distribución normal.

Finalmente se realizó la prueba estadística “T de 2 muestras” donde la hipótesis nula (H_0) es que las medias de ambas muestras son iguales.

El valor p obtenido fue de 0.028 el cual es menor al 5% de error de significancia, por lo que se puede asegurar con un 95% de confianza que se rechaza la hipótesis nula. Figura 2.43.

Por lo tanto, el atasco del sistema de gusano es una causa significativa sobre la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

2.48 13 0.028

Figura 2.49 Prueba T de student - Con/sin material atascado

Tabla 2.5 Plan de verificación de causas del problema enfocado 2

X'S	Causa potencial X's	Teoría de impacto	¿Cómo la verificamos? (incluyendo datos y herramientas)	Estado
1	Equipos llenos de suciedad	Mantener los equipos llenos de suciedad provoca que los equipos expuestos al sistema semiautomático presenten averías con mayor frecuencia.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
2	Las intervenciones en su mayoría son correctivas	No ejecutar un correcto plan de mtto preventivo aumenta el número de intervenciones correctivas, disminuyendo el tiempo disponible de producción.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
3	Personal no capacitado para intervenciones mecánicas en la línea	No contar con personal operativo capacitado para realizar intervenciones mecánicas en los activos productivos de la maquina influye en un mayor tiempo de atención y resolución de las fallas de los equipos afectando al tiempo productivo de la línea.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
4	Poco personal técnico durante el mtto	No tener al personal técnico adecuado al momento de las fallas inesperadas afecta al tiempo de paradas debido a que el problema es atendido y resuelto en mayor tiempo, disminuyendo el tiempo disponible para producir.	Estadística descriptiva, t estudent	En proceso
5	Falta de stock de repuestos críticos	No tener los repuestos necesarios en stock para la reparación de lo equipos dañados inesperadamente provoca que la línea demore en sus reparación y su arranque.	Gemba, fotos	En proceso
6	Mtto mal realizado	Un trabajo mal ejecutado aumenta las frecuencias de intervenciones para la reparación de un activo productivo, disminuyendo la disponibilidad de la línea.	Gemba, fotos	En proceso

- **Poco personal técnico durante el mantenimiento**

Se obtuvieron 8 datos de disponibilidad de línea de galvanizado cuando había al menos un personal técnico presente y 8 datos cuando estaban completos o más de uno.

En este caso al tener una variable categórica se realizó una gráfica de cajas de los valores obtenidos para verificar de manera visual la diferencia de las medias y variación de los datos, y así tener un indicio sobre la influencia que tiene en la variable respuesta.

En la Figura 2.50 se observa la gráfica descrita, donde ambas medias son menores al 30%, la muestra con disponibilidad cuando no está completo el personal técnico ausente es relativamente menor a cuando están completos, además de una diferencia mínima entre la variación de los datos dado por el tamaño de las cajas.

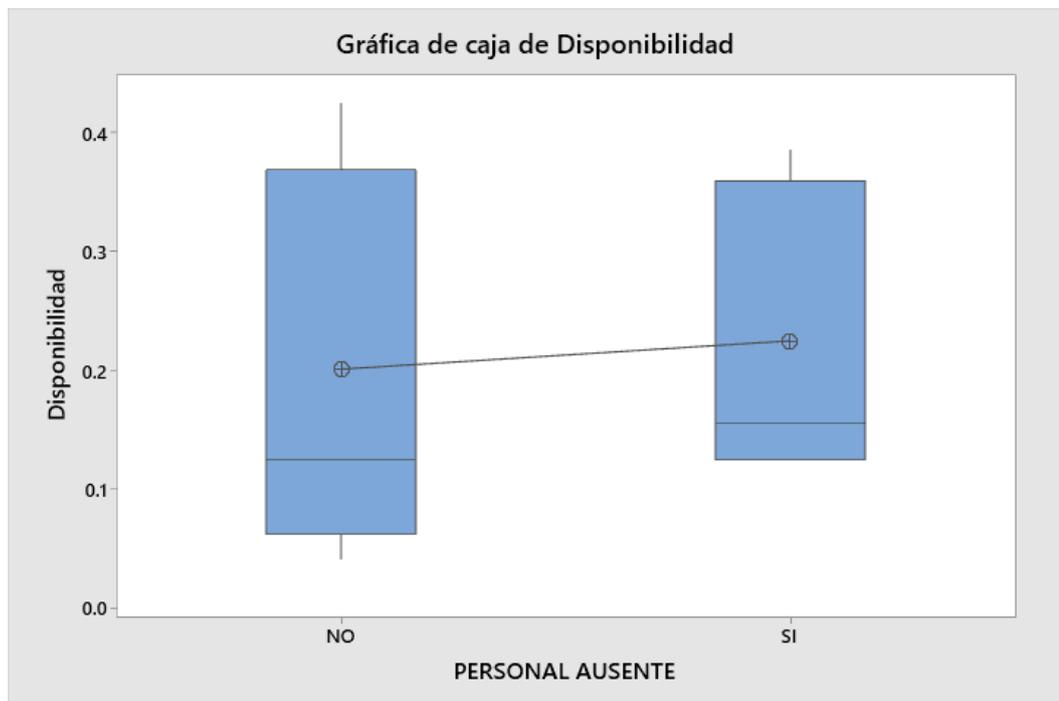


Figura 2.50 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin personal ausente

Para concluir de manera estadística se realizó la prueba de normalidad, de tal manera que se pueda observar si los datos siguen una distribución normal. Figura 2.51.

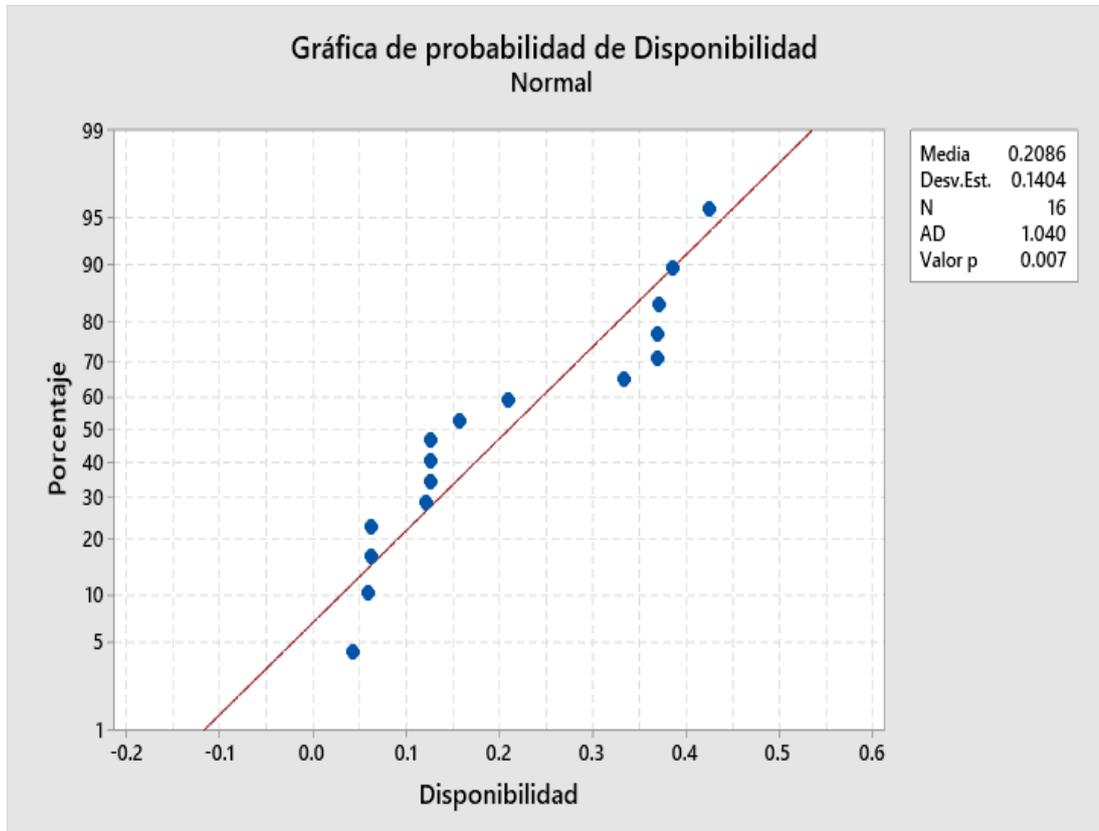


Figura 2.51 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin personal ausente

Donde se observa que el valor p es menor que el error 5% de la prueba, por lo tanto, se puede concluir con un 95% de confianza que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y los datos no siguen una distribución normal.

Por lo tanto, para este caso se realizó una prueba Mann Withney donde la hipótesis nula (H_0) es que las medianas de ambas muestras son iguales y la hipótesis alterna (H_1) que no son iguales.

El valor p obtenido fue de 0.497 el cual es mayor al 5% de error de significancia, por lo que se puede asegurar con un 95% de confianza que no rechaza la hipótesis nula. Figura 2.43.

Por lo tanto, la falta de personal técnico no es una causa significativa sobre la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	87.00	0.497
Ajustado para empates	87.00	0.495

Figura 2.52 Prueba Mann Withney - Con/sin personal ausente

- **Falta de stock en repuestos**

Esta causa fue validada en el *gemba*, donde se demostró que no hay repuestos en la bodega de inventario, además de las implicaciones que esto acarrea, como se observa en la Figura 2.53 la fuga de vapor por todos lados de la máquina debido a que no hay manguera que permite la expulsión por un solo flujo de la máquina.



Figura 2.53 Manguera de presión de vapor rota y remachada por falta de stock de materiales en bodega

- **Equipos llenos de suciedad**

Se obtuvieron 7 datos de disponibilidad de línea de galvanizado con los equipos sucios y 7 datos cuando todos los equipos estaban limpios.

En este caso al tener una variable categórica se realizó una gráfica de cajas de los valores obtenidos para verificar de manera visual la diferencia de las medias y variación de los datos, y así tener un indicio sobre la influencia que tiene en la variable respuesta.

En la Figura 2.54 se observa la gráfica descrita, donde ambas medias son menores al 40%, la muestra con disponibilidad cuando no hay suciedad es más de 100% mayor a la muestra cuando si la hay.

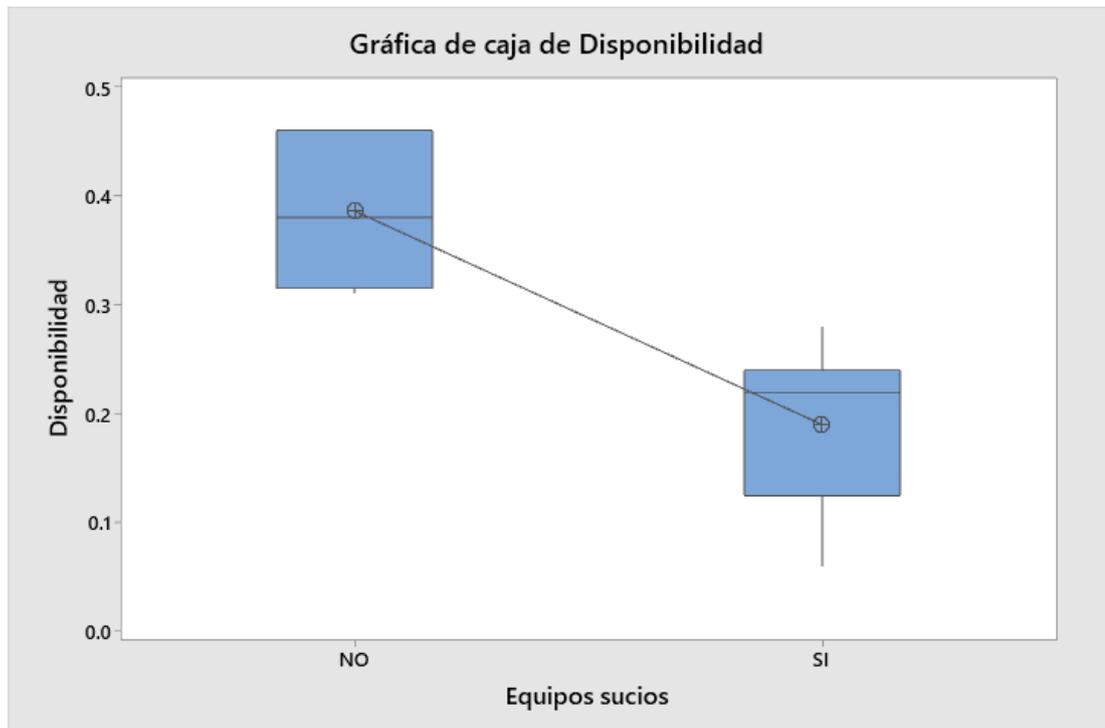


Figura 2.54 Gráfica de cajas de disponibilidad con/sin equipos sucios

Para concluir de manera estadística se realizó la prueba de normalidad, para observar si los datos siguen una distribución normal. Figura 2.55.

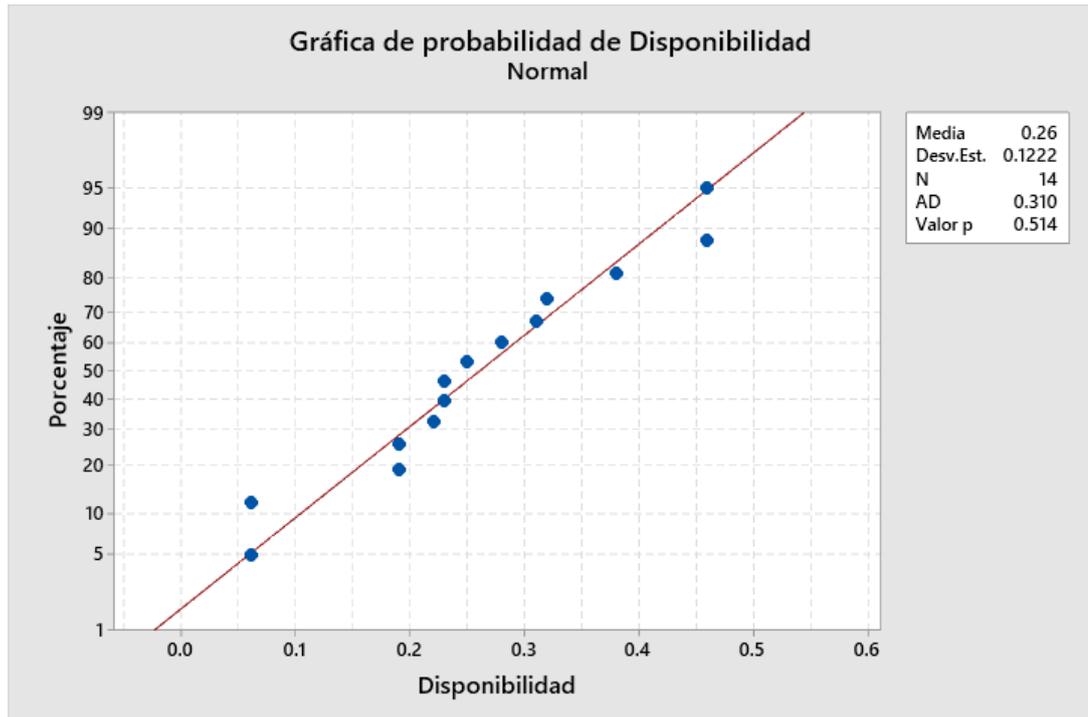


Figura 2.55 Gráfica de prueba de normalidad de disponibilidad con/sin equipos sucios

Donde se observa que el valor p es mayor que el error 5% de la prueba, por lo tanto, se puede concluir con un 95% de confianza que no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y los datos siguen una distribución normal.

Finalmente se realizó la prueba estadística “T de 2 muestras” donde la hipótesis nula (H_0) es que las medias de ambas muestras son iguales.

El valor p obtenido fue de 0.514 el cual es mayor al 5% de error de significancia, por lo que se puede asegurar con un 95% de confianza que no se rechaza la hipótesis nula. Figura 2.56.

Por lo tanto, la suciedad de los equipos no es una causa significativa sobre la disponibilidad de la línea de galvanizado.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

<u>Valor T</u>	<u>GL</u>	<u>Valor p</u>
4.69	9	0.001

Figura 2.56 Prueba T de student - Con/sin equipos sucios

- **No hay planificación de mantenimiento preventivo**

Se obtuvieron 15 datos de disponibilidad de línea de galvanizado en los turnos donde se tenía planificado mantenimiento preventivo, y se comparó el tiempo de ejecución con el tiempo planificado. Al ser ambas variables continuas se realizó una regresión lineal, para verificar si hay relación entre ellos.

Se puede observar en la Figura 2.57, la gráfica de regresión, donde también se tiene la ecuación que se genera con la disponibilidad, así como los puntos que lo genera. Tiene tendencia positiva, indicando que, a mayor tiempo planificación del mantenimiento preventivo, mayor tiempo de ejecución, lo que implica que se realiza mal el pronóstico del tiempo o no se sigue el proceso y se toma más de lo establecido, implicando de manera directa a la disponibilidad de la línea, ya que a mayor tiempo de mantenimiento menor será la disponibilidad.

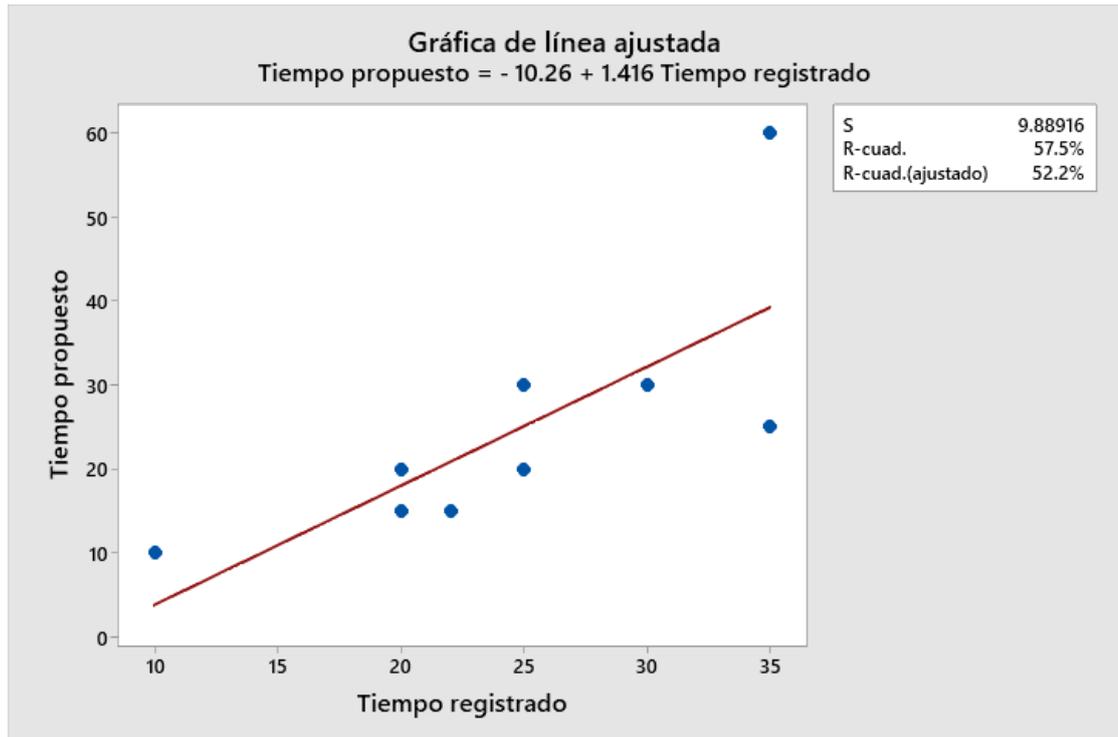


Figura 2.57 Análisis de regresión de tiempo de mantenimiento preventivo

En la Figura 2.58, observamos el valor de probabilidad de la regresión el cual es 0.011 siendo menor al error de 5%, por tal motivo, se rechaza la hipótesis nula con un 95% de confianza y se concluye que el mal manejo del tiempo en el mantenimiento preventivo influye sobre la disponibilidad en la línea de galvanizado.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	1057.64	1057.64	10.81	0.011
Error	8	782.36	97.80		
Total	9	1840.00			

Figura 2.58 Análisis de regresión

La Figura 2.59 se muestra el valor de R-Sq(adj), el cual indica que los datos obtenidos de la causa expresan en un 52.17% a la variable respuesta.

Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
	9.88916	57.48%	52.17%

Figura 2.59 Porcentaje de ajuste de los datos

Teniendo todas las causas validadas, se tiene que las significativas dada los problemas enfocados, son:

- Herramientas incompletas
- Equipo mal configurado
- Sistema de gusano defectuoso
- Amarrado de estructuras
- Falta de stock de repuestos
- Equipos llenos de suciedad
- Intervenciones en su mayoría son correctivas

Se tienen siete causas significativas en total, las cuales siguiendo el proceso se les aplicó la herramienta del “5 Por qué”, con el objetivo de obtener la raíz de los problemas y posteriormente ver las alternativas de acciones que puedan eliminar estos inconvenientes y lograr optimizar el valor de disponibilidad de la línea.

La primera causa, es las herramientas incompletas, como se observa en la Tabla 2.6 al realizar el cuestionamiento del “¿por qué sucede?”, se concluyó que no existe lugares designados para cada herramienta, por tal motivo existen las pérdidas ya que los operadores dejan todo en cualquier sitio

La acción para aplicar es la implementación de la herramienta 5s, que ayuda a organizar, eliminar y controlar las herramientas de uso en el área.

Tabla 2.6 Aplicación del "5 Por qué?" para paros operacionales

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Hipótesis	Acción
¿Por que hay herramientas incompletas?		¿Por que no se ubican en el lugar adecuado las herramientas?				5S
El personal no ubica las herramientas en el lugar adecuado	Yes	No existe un lugar para cada cosa	Yes			
¿Por que las Piezas del sistema de gusanos estan defectuosas?	yes	¿Por qué sucede el atascamiento?		¿Por qué existe el desfase de los equipos en movimiento?		Estandarización de la configuracin del equipo
Atascamiento de tubos durante el proceso de inmersión y extracción	yes	Desfase de los equimos en movimiento del sistema	yes	Configuración seleccionada erronea para la puesta en marcha	Yes	
		¿Por qué el espesor del acero es delgado?				
Espesor de las estructuras de acero son delgadas	Yes	Temperatura y aleaciones de la cuba consumen el acero de las piezas	Yes			
¿Por qué el Amarrado de estructuras es un problema?		¿Por qué la operación requiere de tiempo?				Estandarización del proceso
La operación requiere de tiempo para ser ejecutada	Yes	Varias operaciones que no agregan valor	Yes			
				¿Por qué las estructuras dificultan el amarrado?		
		Estructuras complejas dificultan el amarrado	Yes	Orificios pequeños y material alambrado duro	Yes	
¿Por qué los equipos se encuentran mal configurados?		¿Por qué se desconoce la configuración correcta?		¿Por qué no se encuentran identificadas?		Estandarización de la configuracin del equipo
Se desconoce cual es la configuración correcta para cada tubería	Yes	Configuraciones no identificadas para cada tubería	Yes	Configuraciones modificadas por el personal	Yes	

La segunda causa es defectos en el sistema de gusanos, como se observa en la Tabla 2.6 al realizar el cuestionamiento del “¿por qué sucede?”, se concluyó que la configuración seleccionada en el equipo es errónea para la puesta en marcha, por este motivo se atascan los tubos.

La acción para aplicar es la implementación de la estandarización de la configuración del equipo al momento de poner en marcha el proceso, de tal manera que se evite paros no programadas y no afecte la disponibilidad de la línea.

Tabla 2.7 Aplicación del "5 Por qué?" paros mecánicos

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Hipótesis	Acción
Porque los equipos se encuentran con suciedad		¿Por que no es considerada?		¿Por que el tiempo de la acitidad es elevado?		Modelo de control y planificación de mtto - metodo de inspección de los equipos de la línea por parte de los operadores
La limpieza no es considerada durante los turnos de trabajo	Yes	El tiempo de la actividad es muy elevado	Yes	Por que el material adherido no es soluble para ser retirado facilmente	Yes	
¿Porque las intervenciones son en mayoría correctivas?		¿Por qué no hay intervenciones planificadas?		¿Por qué no se evalua el estado de los equipos?		Modelo de control y planificación de mtto - metodo de inspección de los equipos de la línea por parte de los operadores
No hay intervenciones planificadas de los equipos de la línea	Yes	No se evalua el estado de los equipos críticos de la línea	Yes	No hay seguimiento y control del funcionamiento de lo equipos	Yes	
				¿Porque el sistema no tiene registro de falla en la línea?		
		El sistema de planificación de mtto automatico no tiene registros de fallas de la linea para reportar iintervención	Yes	Personal no reporta las fallas presentadas mediante la aplicación	Yes	
¿Por qué el personal no esta capacitado para intervenciones mecánicas de su línea?		Why do they not have knowledge about the operation of the equipment?				Capacitación de condiciones basica de equipos críticos de la línea
Personal operativo no tiene conocimiento sobre el funcionamiento de los equipos	Yes	They are not considered for mtto raids	Yes			
Personal operativo no tiene conocimiento sobre mecánica	Yes					
¿Por qué hay pocas personas durante el mtto?						Capacitación de condiciones basica de equipos críticos de la línea
Only 1 mechanical technician for the line	Yes					
Personal operativo no es considerado para las intervenciones de mtto	Yes					

La tercera causa, es el amarrado de estructuras, como se observa en la Tabla 2.6 al realizar el cuestionamiento del “¿por qué sucede?”, se concluyó que las condiciones de las estructuras dificultan realizar la tarea.

Por lo tanto, la acción para aplicar es la implementación de estandarización del proceso de amarrado de tal manera que se pueda ajustar acorde a la estructura que tiene el equipo sin necesidad de que conlleve el paro de producción.

La cuarta causa, es que los equipos se encuentran mal configurados, como se observa en la Tabla 2.6 al realizar el cuestionamiento del “¿por qué sucede?”, se concluyó que se debe a la manipulación que hacen los operadores en las jornadas de trabajo.

Por lo tanto, la acción para aplicar es la estandarización visual del proceso de configuración del equipo, que permita mantener un mismo parámetro para todas las personas que configuran la máquina.

La quinta causa, es que los equipos se encuentran con suciedad, como se observa en la Tabla 2.7 al realizar el cuestionamiento del “¿por qué sucede?”, se concluyó que se debe a que el material adherido al equipo no es soluble para que sea retirado fácilmente.

Por lo tanto, la acción para aplicar es la inspección y limpieza de manera periódica a través de un plan de control que permita evitar estos inconvenientes en el área operativa.

La sexta causa, es la falta de planificación para mantenimiento preventivo, como se observa en la Tabla 2.7 al realizar el cuestionamiento del “¿por qué sucede?”, se concluyó que se debe a que la empresa no lo considera como un aspecto crítico en la producción.

Por lo tanto, la acción para aplicar es la creación de un modelo de control y planificación del mantenimiento, de tal manera que se evite paros no programados en la línea.

La séptima causa, es la falta de stock de los repuestos para la línea, como se observa en la Tabla 2.7 al realizar el cuestionamiento del “¿por qué sucede?”, se obtuvieron tres respuestas, primero que la empresa no conoce el impacto de tener equipos de reposición en stock; segundo, no son de venta local y tercero, compran repuestos de baja calidad por reposición inmediata en la línea.

Por lo tanto, la acción para aplicar es generar un plan de concientización de tener repuestos escasos en stock y a su vez generar un modelo de control y planificación de mantenimiento que permita eliminar todo tipo de paradas operativas.

2.4 Implementar

Con las acciones definidas como soluciones se procedieron a implementarlas, pero antes se realizó una evaluación a cada una con el objetivo de observar si todas se puedan abarcar en una cantidad mínima de acciones, optimizando de manera adecuada los recursos y ser más eficientes con el indicador definido.



Figura 2.60 Matriz de relación causas raíz – soluciones paradas operacionales



Figura 2.61 Matriz de relación causas raíz – soluciones paradas mecánicas

En el primer análisis para las paradas operacionales se tiene que se tiene que la estandarización del proceso y configuración del equipo es la solución que abarca el 50% de las causas raíz, mientras que la estandarización del proceso de calibración por metodología *SMED* abarca el 33%, por lo que se las tendrá en consideración al final de los análisis. Mientras que, para las paradas mecánicas, se tiene que el modelo de control, planificación y programación de medidas preventivas abarcan el 80% de las causas.

Posteriormente se realizó el análisis de costos de implementación, donde se tomaron en consideración las variables necesarias para ejecutar de manera precisa las soluciones, para luego proyectarlos de manera mensual y ser comparados entre sí.

Todas las soluciones se basan en levantamiento de información y adaptación de procesos o modelos de trabajo en el área de galvanizado, de las opciones que se tienen la implementación de la metodología 5s e inversión de equipos en inmersión son las más costosas de implementar.

Dentro de este mismo campo se realizó un análisis de ponderación, tomando en consideración el costo, impacto y esfuerzo, donde 1 es un nivel bajo y 5 nivel alto, estas fueron calificadas acorde al ponderado de 30% bajo costo, 40% alto impacto y 30% menor esfuerzo, obteniendo como mejor resultado las mismas causas

obtenidas del primer análisis, como se muestra en la Figura 2.21

Solutions Analysis							
Initial estimate cost							
	1	2	3	4	5	6	
Assets	\$ -	\$ -	\$ -		\$ 333,33	\$ 300,00	
Workforce	\$ 119,70	\$ 34,20	\$ 34,20	\$ -	\$ -	\$ -	
Capacitation force	\$ 34,20	\$ 34,20	\$ 34,20	\$ 11,40	\$ 11,40	\$ -	
Aditionals (insumos)	\$ 47,32	\$ 47,32	\$ 47,32	\$ -	\$ -	\$ -	
Opportunity cost	\$ 720,00	\$ 360,00	\$ 180,00	\$ 900,00	\$ -	\$ -	
Total Cost	\$ 921,22	\$ 475,72	\$ 295,72	\$ 911,40	\$ 344,73	\$ 300,00	

Final Analysis							
Lower Cost	30%	1	2	5	1	3	4
High Impact	40%	2	5	4	4	2	3
Less Effort	30%	4	4	3	3	4	5
Final Value		3,1	7	5,5	4,3	3,7	6,1

Figura 2.62 Información de costos de implementación de las soluciones

Finalmente se tiene en la Figura 2.21, la matriz impacto/esfuerzo, en la cual se valida la información obtenida en los análisis previos, las dos soluciones son de alto impacto y de bajo esfuerzo.

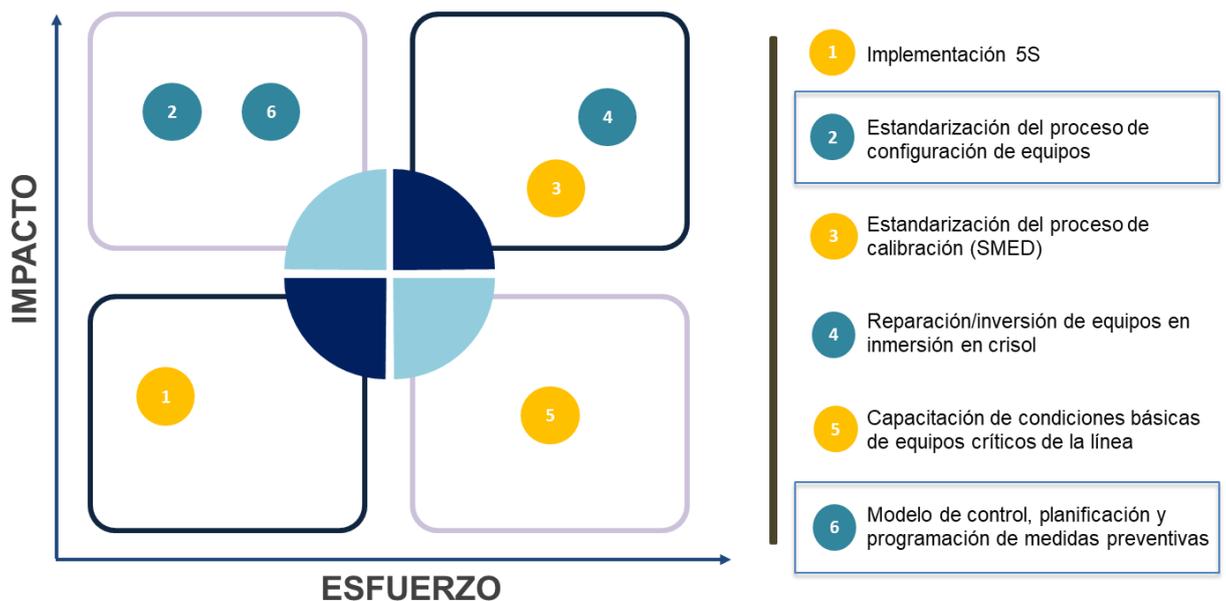


Figura 2.63 Matriz impacto - esfuerzo

Estandarización de equipos

El problema inicial es que cuando hay un cambio de *setup* en el equipo de galvanizado debido a cambios de *sku* a producir, el operador debe necesariamente cambiar la configuración del equipo desde el panel de control, desde ahí resetea el sistema automático, en el cual se modifican variables como bajar o incrementar velocidad, reducir o elevar tiempos de inmersión, estas son determinantes en las características del producto y el costo de fabricación.

Al no existir un manual de ejecución el personal realiza de manera aleatoria las configuraciones hasta obtener lo deseado, perdiendo recursos importantes, debido a la falta de conocimiento del manejo del sistema se procedió a estandarizar dichos parámetros.

Para lograr este objetivo, se procedió a armar configuraciones dentro de los límites establecidos o capacidad técnica que otorga el manual, acorde a esta premisa se generaron datos a través de pruebas pilotos, incrementando la velocidad en proporción a la cantidad de material procesado, logrando así obtener las configuraciones adecuadas, estas fueron ingresadas al sistema de tal manera que el operador solo debe identificar la tubería y colocar la configuración requerida, para posteriormente empezar a trabajar.

En la Tabla 2.8 se muestra el ejemplo de la tubería de 1 ¼" en la cual cada columna representa configuraciones diferentes para velocidad marcado con celeste, y con blanco se encuentra los *outputs* que tendrán con dichos valores ingresados.

Tabla 2.8 Tabla de nueva configuración digital para cambios de setup en el sistema

TUBERÍA 1 1/4"	TASAS DE TRANSFERENCIA EFÉCTIVA (THROUGHPUT)					
TUBOS/MINUTOS	6,67	7,08	7,50	7,92	8,33	9,17
TUBOS/HORA	400	425	450	475	500	550
INCREMENTO DE VELOCIDAD %	6,699%	6%	6%	6%	5%	10%
SPEED TRANSFER DISTRIBUTION	1800	1910,70	2023,70	2136,71	2247,41	2474,57
VELOCIDAD DE RODILLOS ANTES DEL HORNO	2014	2137,86	2264,30	2391,63	2517,50	2769,25
VELOCIDAD DE RODILLOS DEL HORNO	3392	3600,60	3813,56	4028,00	4240,00	4664,00
VELOCIDAD DE RODILLOS PESCADORES	3200	3396,80	3597,69	3800,00	4000,00	4400,00
VELOCIDAD DE TORNILLOS	1561	1657	1755	1853	1949	2146
VELOCIDAD DE RODILLOS GRANDES	2095,62	2224,50	2356,06	2500,96	2654,76	2818,03
VELOCIDAD DE RODILLOS PEQUEÑOS	2412,56	2560,93	2712,39	2864,92	3015,70	3317,27
VELOCIDAD DE RODILLOS DE PRESIÓN	1972	2093,28	2217,08	2341,75	2465,00	2711,50
VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE MEDIA	2305,5	2447,29	2592,03	2737,78	2881,88	3170,06
WT ALIMENTADOR DE TUBOS	10	10,63	11,25	11,88	12,50	13,75
WT DISTRIBUCION DE TRANSFERENCIA	0	0	0	0	0	0
WT EXPULSADOR	0,09	0,0845	0,0795	0,0750	0,0711	0,0640
WT TRASFER 1	0,05	0,0469	0,0441	0,0417	0,0395	0,0355
WT RUEDA DE ESTRELLA	18,8	17,6438	16,6003	15,6733	14,8613	13,3592
SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ABAJO	1,88	1,7644	1,6600	1,5673	1,4861	1,3359
TIEMPO MAXIMO DE LEVANTAMIENTO	4,7	4,4110	4,1501	3,9183	3,7153	3,3398
BOQUILLA DE VAPOR	1,1	1,0324	0,9713	0,9171	0,8695	0,7817
TIPO DE TORNILLOS	1	1	1	1	1	1
WT PAR DE HORNO	100	93,8501	88,0784	82,6617	77,5781	72,8071
LONGITUD DE TUBO	6	6	6	6	6	6

Modelo de control, planificación y programación de medidas preventivas

Primero se describieron todos los elementos y equipos críticos en la línea de galvanizado, los cuales hacen parar el sistema, si uno de ellos falla todo el sistema semiautomático se detiene-

Para ejecutar la planificación predictiva, se consideró tiempo operativo, tiempo inoperativo, tiempo de falla otorgada por el fabricante y numero de fallas presentadas, todo esto en el periodo de tiempo en estudio, en este caso fue un mes.

Componente
Valvulas de control de flujo
Accesorios
Tuberias
Esferas de succión
Brida/contrabrida
Obturador
Vástago
Empaquetadura
Tornillo/resorte - de ajuste
Vastago/disco de valvula
Diafragma
Cilindro neumático
Cadena
Sensor
Sensor
Cilindro neumático

Figura 2.64 Elementos y equipos críticos en el área de galvanizado

Esta información es ingresada por el personal administrativo, la cual es obtenida por el horómetro, esta marca el tiempo operativo de la maquina en el período requerido, el tiempo de fallas es registrado por el operador en el reporte de producción y de igual manera se registra la cantidad de fallas.

Finalmente, el modelo de solución va a indicar o recomendar al planificador de mantenimiento cada cuanto periodo tiene que intervenir en el equipo antes de que suceda la falla, logrando así un mantenimiento predictivo y a su vez indica cuantas intervenciones deberá realizar en promedio al mes o el periodo de estudio.

Este modelo para ser ejecutado usó conceptos de MTBF o tiempo medio entre fallos, MTTF o tiempo medio hasta el fallo y MTTR o tiempo medio hasta la reparación. Como se observa en la Figura 2.65.

MODELO DE CONTROL Y PLANIFICACIÓN DE MTTO

Activo Productivo	Componente	Tiempo Operativo (hr/mes)	Tiempo Inoperativo (hr/mes)	Numero de fallas	MTTF (hr/fallas)	MTTR (hr/fallas)	Frecuencia de intervencion	Intervenciones planificadas/mes
Bomba de agua	Valvulas de control de flujo	117	2	1	117,0	2,0	77	1,0
Unidad de mantenimiento	Accesorios	117	1	1	117,0	1,0	90	1,0
Filtro prensa	Tuberias	117	1	1	117,0	1,0	5	5,0
Bomba de flux filtrada	Esferas de succión	117	2	4	29,3	0,5	18	2,0
Valvulas de control de flujo	Brida/contrabrida	117	0	2	58,5	0,0	90	1,0
Valvulas de control de flujo	Obturador	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Valvulas de control de flujo	Vástago	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Valvulas de control de flujo	Empaquetadura	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Valvulas de control de presión	Tornillo/resorte - de ajuste	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Valvulas de control de presión	Vastago/disco de valvula	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Valvulas de control de presión	Diafragma	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Mesa de llenado	Cilindro neumático	117	4	2	58,5	2,0	90	1,0
Cadena transportadora	Cadena	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Cadena transportadora	Sensor	117	1	3	39,0	0,3	90	1,0
Botador de tubería	Sensor	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0
Botador de tubería	Cilindro neumático	117	0	0	0,0	0,0	179	1,0

Modelo de programación de intervenciones de acuerdo a las fallas registradas en el periodo de tiempo a estudiar y horas de trabajo de los equipos

Recomendación del modelo

Figura 2.65 Modelo predictivo de mantenimiento para línea de galvanizado

2.5 Control

En la última etapa de la metodología se mostraron los resultados de disponibilidad acorde a las soluciones, además de la creación de un plan de control que permita la sostenibilidad de las acciones en el tiempo y su impacto en los tres pilares de sostenibilidad, generando así retorno sobre el valor invertido.

Se armó un plan de control con acciones puntuales y críticas que permitan al jefe de área medir los cambios realizados, y poder tomar decisiones sobre ellas.

Tabla 2.9 Tabla de control para las soluciones

SOLUCION	RESPONSABLE	FRECUENCIA DE CONTROL	¿DONDE?	ESTADO	CONTROL
Estandarización del proceso de configuración de equipos móviles	Operador líder	Por cada cambio de diámetro de tubería	En la planta de galvanizado	Completado /validado	Lección de un punto en cabina de control
Diseño prototipo de modelo de control de planificación de mantenimiento	Supervisor de producción & Supervisor de mantenimiento	Semanal (cada miércoles)	En la planta de galvanizado	En prueba piloto	Cumplimiento de actividades de forma manual durante 1 mes Check list de actividades

Para la primera solución, de estandarización del proceso de configuración de los

equipos móviles, se tiene como control la lección de un punto, esta es una herramienta de la metodología TPM que permite enseñar de manera eficiente conceptos puntuales en los operadores.

LECCIÓN DE UN PUNTO - LUP

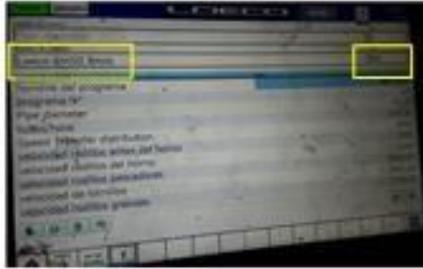
Título:	Cambio de configuración sobre parámetro de tubería			
Realizado por:	Gerente de Mantenimiento	Operador:	Operador de Mantenimiento	
Objetivo:	Identificar y operar el cambio de tubería	Tipología:	Operación	

PASOS PARA CAMBIO DE CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS DINÁMICOS DEL SISTEMA DE SOPLADO

- Identificar el programa por diámetro de tubería a producir

PROGRAMA DE OPERACIÓN	01	02	03	04	05	06	07
DIÁMETRO DE TUBERÍA	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7

- Verificar que el programa selecciona de manera correcta la tubería a producir



- En caso de no cumplirse lo antes mencionado, comunicar al jefe de producción antes de realizar cualquier cambio
- En caso de cumplirse el paso 2, seleccionar el botón de guardado y operación



Figura 2.66 Lección de un punto para estandarización del proceso de configuración de equipos.

Esto será supervisado por el operador líder, y lo realizará cada cambio de diámetro de tubería en el sistema.

En tanto que para la segunda solución del modelo de control prototipado, se tiene entrenamiento semanal, todos los miércoles, que llevará a cabo el supervisor de producción y el de mantenimiento sobre los operadores.

En la Figura 2.67 se tiene prácticas realizadas en la planta para mostrar el diseño

del modelo y uso del mismo antes cualquier cambio de configuración en la línea operativa.

PRÁCTICA DE SELECCIÓN DEL PROGRAMA CONFIGURADO PARA TUBERÍA 1 ¼"



Figura 2.67 Práctica demostrativa de uso del modelo predictivo de mantenimiento

ENTRENAMIENTO Y EXPLICACIÓN DEL USO DEL MODELO

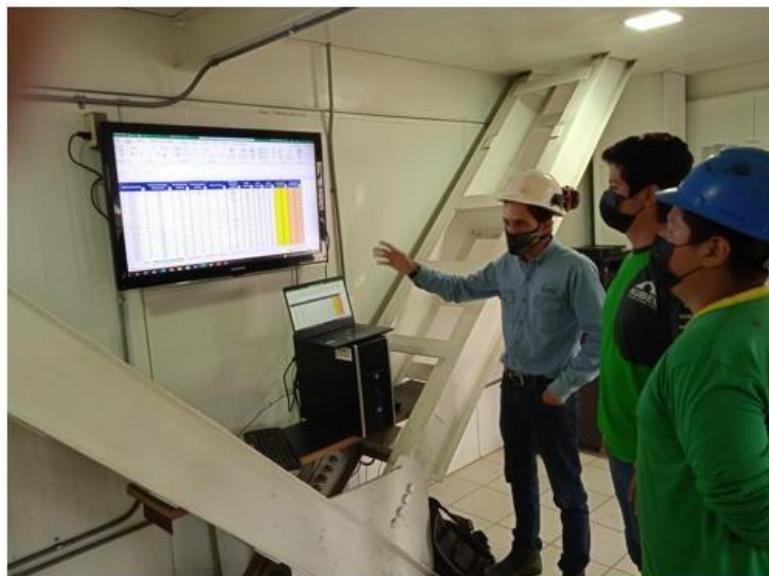


Figura 2.68 Práctica demostrativa de uso del modelo predictivo de mantenimiento de manera visual

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados

En los pilares de sostenibilidad se evaluaron los resultados acordes a los resultados iniciales, para el pilar económico se tiene el incremento del 38% en producción de toneladas pasando de 188 a 259 ton/mes.

PETRILLO	Tonelaje producido	\$/Ton 2022
ene-22	308,7	\$ 561,77
feb-22	177,24	\$ 687,10
mar-22	192,72	\$ 685,56
abr-22	138,75	\$ 780,47
may-22	146,45	\$ 814,71
jun-22	167,53	\$ 806,00
jul-22	215,35	\$ 840,46
ago-22	304,00	\$ 456,00

**PROMEDIO: TONELADAS/MES
DE ENERO - JUNIO 2022 \$188,57**

**PROMEDIO: TONELADAS/MES DE
JULIO - AGOSTO 2022 \$259,68**

**DIFERENCIA: \$259,68 – \$188,57=
71,11 TONELADAS/MES**

Figura 3.1 Cálculo de toneladas a partir de la implementación de las mejoras

Implicando en la reducción del costo de producción, ahorrando en promedio \$19.312 por mes. Esto dado que el promedio de costos por tonelada de enero a junio, meses sin mejoras es igual a \$722.60 y el promedio de julio y agosto, de meses con mejora, es igual a \$684.23, teniendo como diferencia \$74.37 por tonelada, este valor por las toneladas incrementadas en el mismo período dio una optimización de \$19 mil en promedio.

Para la parte social se tiene que la satisfacción del cliente mejoró del 60% al 80%, pasando de un nivel de satisfacción en el área de regular a bueno, dado que ahora se siente más conformes con el tiempo reducido y menor fatiga en la configuración del panel de control de la máquina.

En Anexos se visualiza la encuesta realizada, la cual fue llenado por 5 personas del área, entre jefes y operadores.

Mientras que en la parte ambiental se redujo en 14.87% en la emisión de CO₂, debido al consumo de diésel que tiene la línea de galvanizado, como se muestra en la Figura 2.67 se redujeron 5.16 galones por tonelada, lo que equivale a 1.339 galones por mes, proyectando estos valores en un concepto más tradicional, este ahorro equivale a 46.897 km recorridos en un auto pequeño.

PETRILLO	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22
Tonelaje producido	308,7	177,24	192,72	138,75	146,45	167,53	215,35	304,00
kg Diesel/ton 2022	24,44	32,08	36,71	45,04	37,94	32,52	35,07	24,56
\$/Ton 2022 TOTAL	\$ 561,77	\$ 687,10	\$ 685,56	\$ 780,47	\$ 814,71	\$ 806,00	\$ 840,46	\$ 456,00

PROMEDIO: GALTONELADA DE
ENERO - JUNIO 2022 **34,69 GAL**

PROMEDIO: GALTONELADA DE
JULIO - AGOSTO 2022 **29,53 GAL**

Figura 3.2 Cálculo de reducción de CO₂

3.2 Análisis

Para el análisis se reflejan los cambios logrados en el indicador de disponibilidad de la línea de galvanizado, referente a los valores obtenidos en la etapa 1, en la Figura 3.3, se observa la estabilidad de los datos, el proceso no presenta patrones variables o puntos fuera del límite de control.

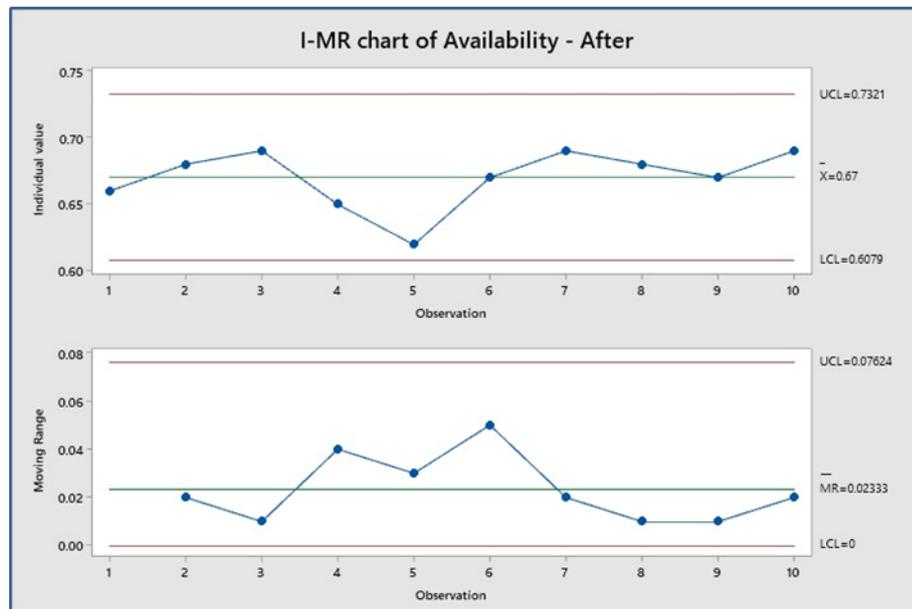


Figura 3.3 Disponibilidad de línea de galvanizado mejorada

Validando la estabilidad se procedió a realizar el análisis de normalidad en la cual bajo el valor p se tiene que no se rechaza la hipótesis nula, concluyendo con el 95% de confianza que los datos siguen una distribución normal

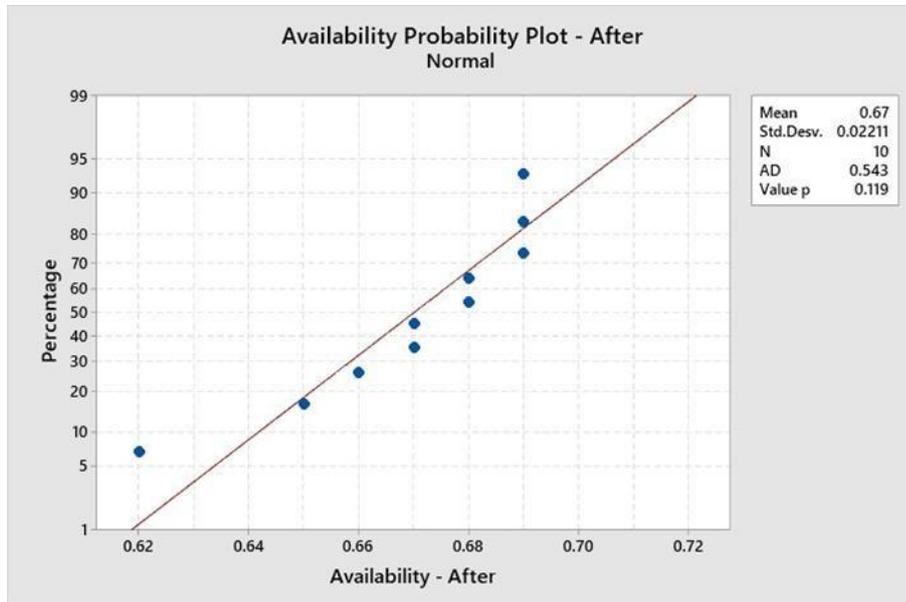


Figura 3.4 Gráfica de probabilidad normal para datos de disponibilidad

Se observa en la Figura 3.5, el análisis de capacidad, donde se mejoró el sesgo que tenía el proceso, el valor de c_{pk} inicialmente se encontraba en -1.37 y actualmente está en 0.16, mejorando 1.53 puntos, teniendo una disponibilidad media de 67% con poco tiempo de implementación, lo cual es un buen indicio de mejora para en el mediano plazo obtener mejores resultados.

Para el caso de valor c_p, este no se evidencia debido a que solo existe un límite inferior ya que el límite superior es el 100% de la eficiencia, por lo tanto, el único problema a solucionar es la localización de los datos y esto se logra con el control efectivo de las soluciones, se debe tener en cuenta que al no haber problemas de variabilidad indica que ya no es común los paros no programados.

En el mediano y largo plazo los datos no tienen un sesgo hacia del límite de especificación esto quiere decir que están centralizados a la línea de referenciade, por lo que se logra equilibrio dentro del objetivo establecido.

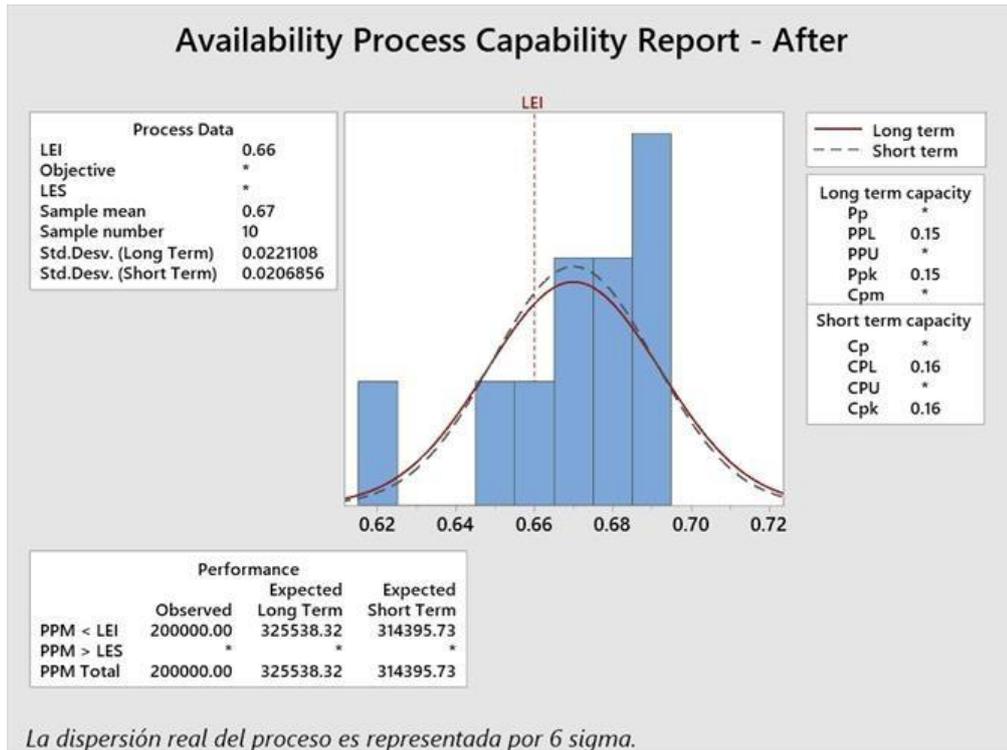


Figura 3.5 Análisis de capacidad para disponibilidad de la línea de galvanizado mejorada

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ejecución del proyecto tuvo un impacto alentador en el área de galvanizado, debido a que las soluciones han logrado optimizar recursos, se mejoró la manipulación de los equipos, y como consecuencia se tiene un mejor ambiente entre el equipo de trabajo.

Las soluciones están inmersas en desarrollos tecnológicos que ayudan al área y a los trabajadores mayor competitividad en el mercado.

4.1 Conclusiones

- La estandarización de las configuraciones en el panel de control del equipo logró reducir de 30 minutos en promedio a 2 minutos el ingreso de *inputs* de la información.
- Los cambios de producción dejaron de ser difíciles de controlar y crear fatiga en el operador, además de pérdida de recursos por testear hasta encontrar los valores adecuados.
- La disponibilidad se logró incrementar en 5% promedio en el mes, con proyección de subir 3 puntos porcentuales más en el mediano plazo para cumplir con el objetivo.
- El modelo predictivo de mantenimiento permitió mejorar los tiempos de paros no programados y además reducir considerablemente, lo cual se visualizó en el análisis de capacidad al reducir la variabilidad de las disponibilidades.
- El impacto económico es gravitante, dado que en el primer mes de implementación se tiene un valor promedio de reducción de costos de \$19.312.

- La reducción de toneladas al mes es de aproximadamente 71 ton, lo que involucra en un gran ahorro para la compañía, al optimizar los recursos.
- La reducción de CO2 es otro factor importante, al optimizar los recursos se desperdicia menos material nocivo para el ambiente.

4.2 Recomendaciones

- Incentivar la cultura de la mejora continua con las soluciones realizadas y con causas nuevas que aparezcan en el tiempo.
- Cumplir con los controles establecidos para ambas soluciones, de tal manera que quede como cultura para las próximas generaciones de operadores.
- Seguir ingresando más información a la configuración del equipo, acorde se vayan realizando más productos en la línea de galvanizado.
- Actualizar los valores de MTBF, MTTF Y MTTR, a medida que los equipos y el control del indicador vaya mejorando, de tal manera que se logre mayor exigencia en la optimización del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Cressie, P. N., & Whitford, H. J. (1986). *How to Use the Two Sample t-Test*. Biometrical Journal.
- Díaz, L., Victoria, E., Vargas, B., & Hernández, C. (2020). *Parametric and non-parametric statistical tests: their classification, objectives, and features*. Hidalgo: Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud .
- Gueorguiev, T. (2018). *Improving the internal auditing procedure by using SIPOC diagrams*. Rusia: Journal of Innovations and Sustainability.
- Ilbahar, E., Kahraman, C., & Cebi, S. (2022). *Evaluation of sustainable energy planning scenarios with a new approach based on FCM, WASPAS and impact effort matrix*. Environment, Development and Sustainability .
- Lokkerbol, J., & De Mast, J. (2012). *An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving*. Amsterdam: ELSEVIER.
- Luca, L. (2016). *A new model of Ishikawa diagram for quality assessment*. Kozani: IOP Publishing Ltd.
- Rodriguez, R. N. (1992). Recent Developments in Process Capability Analysis. *Journal of Quality Technology* , 176-187.
- Wilkinson, L. (2012). Revising the Pareto Chart. En L. Wilkinson, *The American Statistician* (págs. 332-334). California: American Statistical Association.
- Zhang, N. F. (2012). A Statistical Control Chart for Stationary Process Data. En N. F. Zhang, *Technometrics* (págs. 24-38). Boston: American Society for Quality.

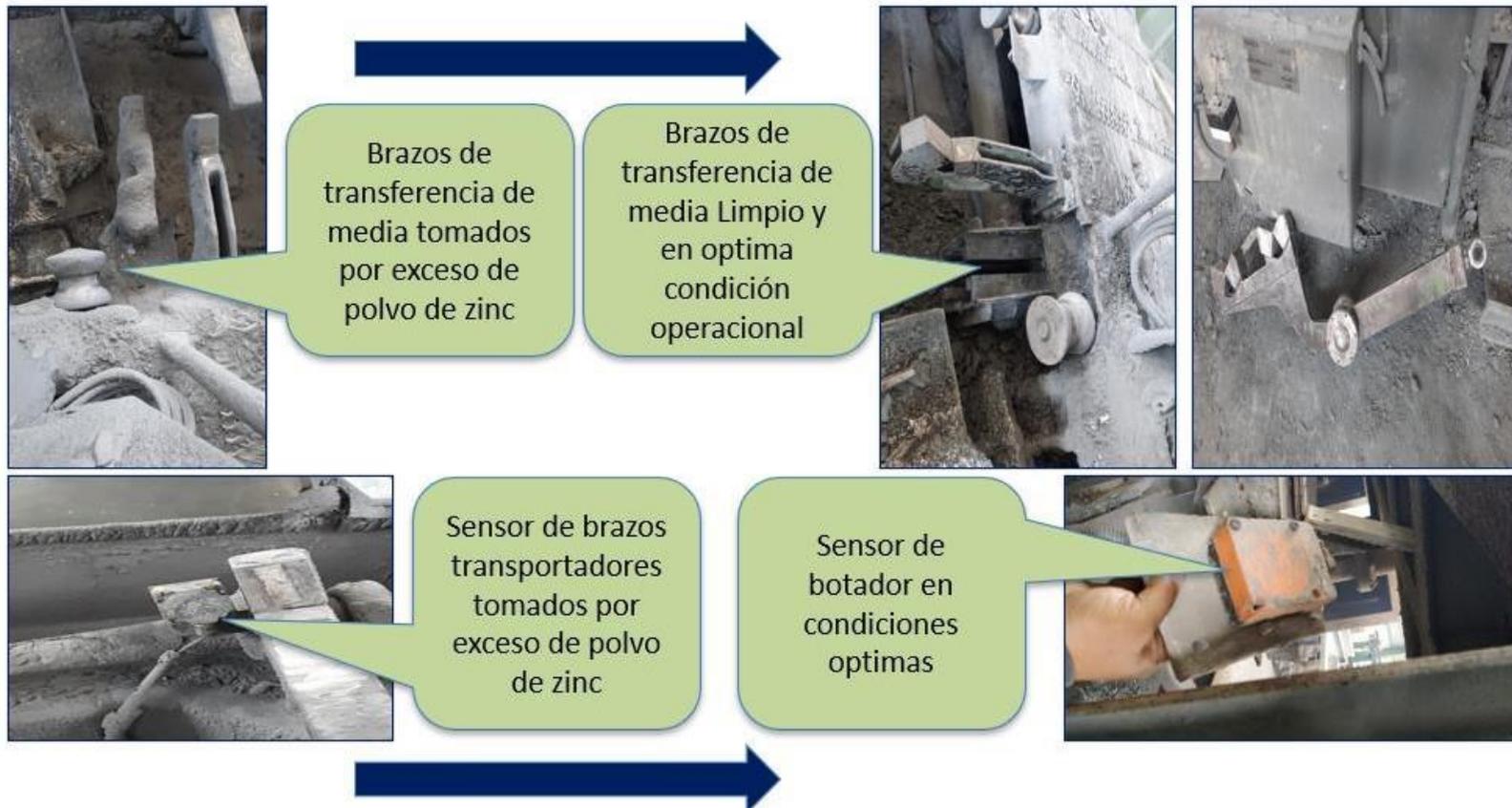
APÉNDICES

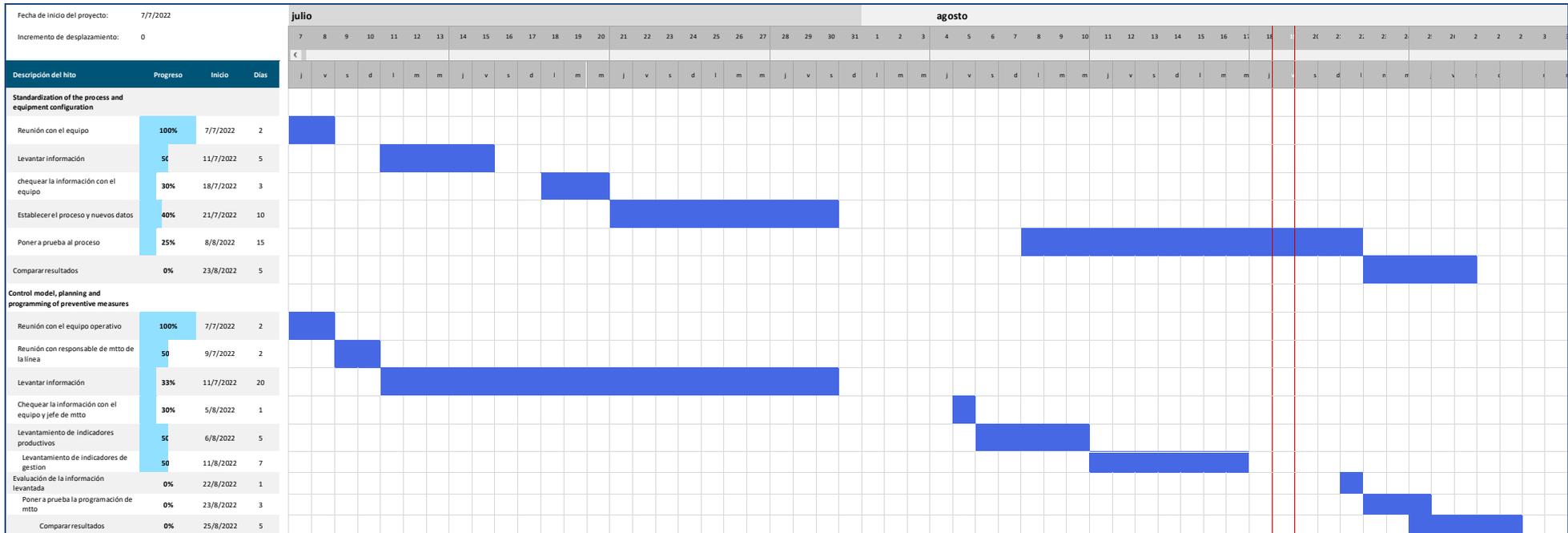
APÉNDICE A

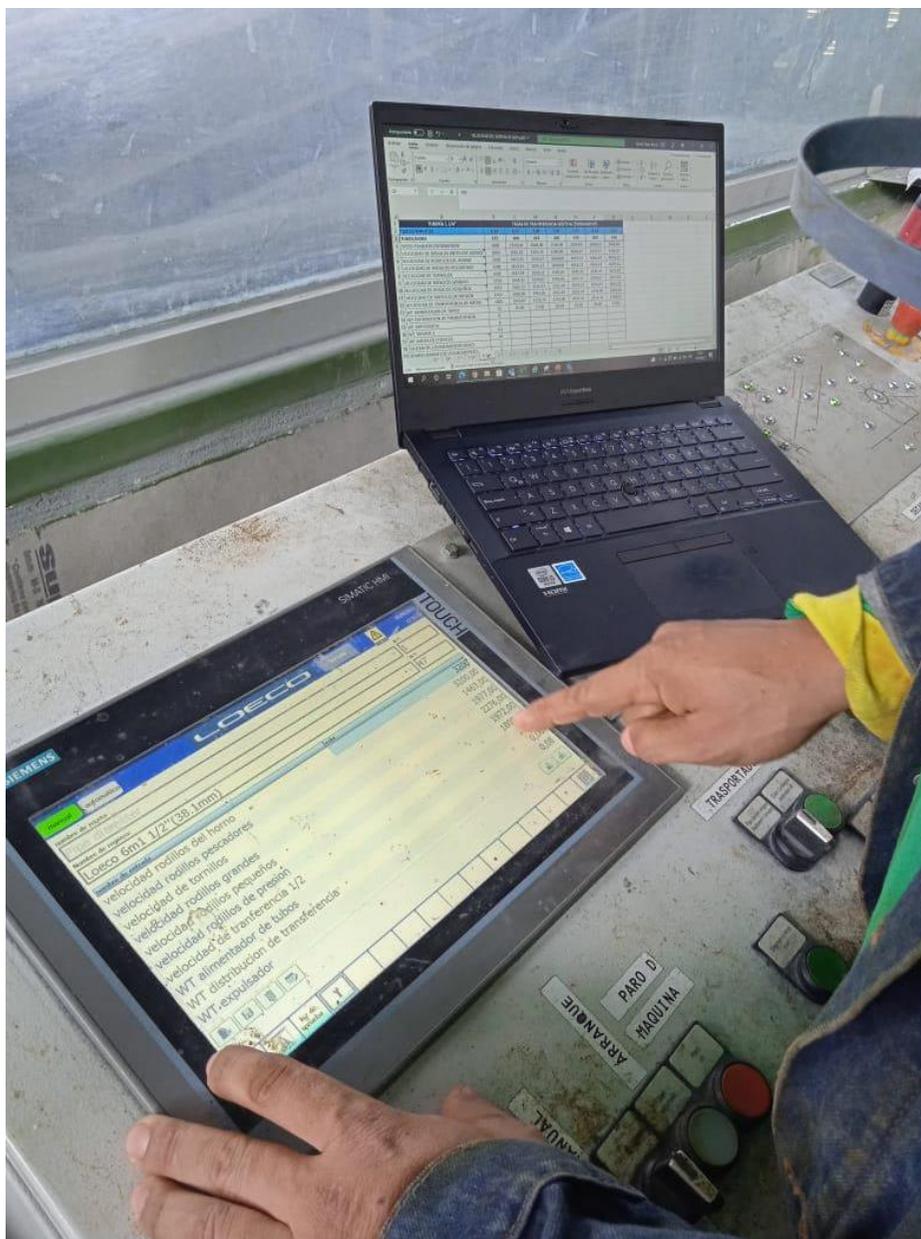


APÉNDICE B

EQUIPOS LLENOS DE SUCIEDAD









ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LA LINEA DE GALVANIZADO

Cargo: _____ Edad: _____

1. ¿Qué tan satisfecho/a se encuentra con el tiempo de respuesta de producción de la línea de galvanizado?

- Muy malo _____
- Malo _____
- Regular _____
- Bueno _____
- Muy bueno _____

2. ¿El área de galvanizado logra cumplir a tiempos sus pendientes de producción?

- Si
- No

3. ¿La tubería galvanizada cumple con los estándares de calidad requeridos?

- Muy malo _____
- Malo _____
- Regular _____
- Bueno _____
- Muy bueno _____

4. ¿Como califica usted el rendimiento de la línea del área de galvanizado?

- Muy malo _____
- Malo _____
- Regular _____
- Bueno _____
- Muy bueno _____

5. ¿Cómo califica la atención de mantenimiento de los activos productivos de la línea de galvanizado?

- Muy malo _____
- Malo _____
- Regular _____
- Bueno _____
- Muy bueno _____