



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“MEJORAMIENTO EN LA EFECTIVIDAD TOTAL DEL EQUIPO EN
PRENSAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMABLE”**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

GLORIA MARÍA VELÁZQUEZ QUIJADA

Director:

M.C. GILBERTO ORRANTIA DANIEL

Hermosillo Sonora, México

Diciembre/2018



DEDICATORIA

Primeramente, quisiera dedicar este trabajo a Dios por haberme permitido la oportunidad de continuar mis estudios.

A mis padres, por todo su apoyo brindado durante estos más de 2 años, en los cuales siempre conté con ellos desde el inicio hasta la culminación de este trabajo.

A mi esposo, por su paciencia ante mis ocupaciones y su colaboración y ayuda durante todo este tiempo.

A mi hija, por ser fuente de inspiración y ese momento de luz en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Utilizaré este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones; a mis padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez, así como el aliento para continuar y no rendirme cuando se presentaron adversidades.

A mi esposo, por haber esperado pacientemente a que pudiera cumplir con mis responsabilidades, por también cuidar a mi hija y por dejar de lado sus propias ocupaciones para brindarme su apoyo.

A mi mamá, ya que sin ella y sin toda su ayuda, dudo que hubiese podido estar escribiendo este agradecimiento; de corazón, le doy gracias por no solo haberse hecho cargo de mis ocupaciones cuando estuve fuera, si no por cuidar a mi hija como si fuese suya.

A mi familia, tíos, primos y conocidos que me acompañaron y que me brindaron su ayuda cuando la necesité.

Agradezco sinceramente a mis compañeros de maestría, ya que su disposición para echarnos la mano unos a otros siempre estuvo presente, así como los breves pero divertidos momentos que pasamos fuera de los salones de clase.

A mi asesor, gracias por su paciencia y consejos durante todo este recorrido.

A los demás profesores que de una u otra manera contribuyeron a la culminación de este proyecto.

A TE Connectivity por permitirme desarrollar mi trabajo dentro de su empresa, por su apoyo y por poner a mi alcance todos los recursos que en su momento necesité. De igual manera, a mis superiores y compañeros de trabajo, que, de una u otra manera, también contribuyeron en esto.

RESUMEN

En este proyecto fue realizado un rediseño en el control de funcionamiento de una prensa estampadora mediante un controlador lógico programable, para reducir los tiempos caídos y aumentar el porcentaje de la eficiencia general del equipo (*OEE*). Para el proceso de estampado, hay 2 componentes fundamentales: la prensa y el troquel, el cual está compuesto por pequeñas piezas llamadas *tooling*; Actualmente, la prensa cuenta con un sistema de protección de troquel, que consiste en un sensor *hall effect* que es comparado con otro sensor llamado *missfeed*, mismo que lleva un conteo continuo de piezas para saber si el material está avanzando. Si el sensor *missfeed* no registra conteo, la prensa se detiene al completar el ciclo de *hall effect*. El problema de ello es que, en ocasiones, la prensa no se detiene sino hasta que da 2 o 3 golpes de más, ya que, por alguna razón, los conteos de los sensores se desincronizan sin alarmar el proceso.

Es importante realizar una mejora a la lógica de programación y erradicar obsolescencia de equipos para acrecentar métricos de *OEE* en base al aumento de la disponibilidad de la prensa y equipos periféricos; al lograr que los conteos siempre estén correctamente correlacionados, serán evitados muchos quiebres de *tooling* al detectarse atoramiento de material dentro del troquel, facilitando así la reparación del mismo sin tanto tiempo muerto por ajustes del dado.

El desarrollo de este trabajo contempla también la teoría utilizada para sustentar las ideas y conocimientos que fueron aplicados, abarca desde el *PLC* hasta los conceptos de mantenibilidad y fundamentos estadísticos con sus tablas y gráficas correspondientes.

Es incluido el desarrollo de la selección de materiales, así como diagramas de flujo que dan forma a la metodología aplicada; la situación inicial de la prensa es descrita ampliamente para poder visualizar el impacto de los resultados que fueron obtenidos al final. El desglose de los valores para comparar los datos antes y después de la mejora también fue agregado, así como el origen de su obtención y las fechas correspondientes. El aumento registrado de *OEE*, partiendo del análisis de los datos antes mencionados, fue del 5%, lo cual indica una mejora considerable tomando en cuenta los valores históricos de este métrico. En cuanto al uso de *tooling*, fueron reportadas disminuciones tanto en consumo como en dinero, la cual también sería parte del impacto de la mejora realizada.

Al final, los resultados son probados estadísticamente para comprobar su veracidad y poder concluir si la hipótesis fue verdadera o no; de acuerdo al análisis, el proyecto repercutió positivamente en el aumento de disponibilidad y *OEE*, por lo que el replicar el proyecto puede considerarse viable para las demás prensas; las últimas páginas son material adicional para una mejor comprensión y sustentación de lo descrito en este trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes del problema	1
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Hipótesis	7
1.4 Objetivos generales	7
1.5 Objetivos específicos	7
1.6 Justificación	8
1.7 Alcances y limitaciones	9
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Automatización	11
2.2 Controladores lógicos programables	13
2.3 El OEE y su historia.	23
2.3.1 Disponibilidad.	27
2.3.2 Desempeño.	32
2.3.3 Calidad.....	33
2.4.- Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad	34
2.5.- Pruebas de hipótesis	35
2.6.- Inferencia sobre la media de una población, varianza conocida.....	36
2.7.- Inferencia para la diferencia en medias, varianzas conocidas.....	38
2.8.- Inferencia sobre la media de una población, varianza desconocida.....	39
2.9.-Inferencia para la diferencia en medias, varianzas desconocidas.	41
2.10.- Comparación de dos varianzas poblacionales.....	41
2.11.- Distribución normal	42
2.12.- Prueba de bondad de ajuste.....	44
2.13.- Estadístico de prueba Anderson-Darling	45

2.14.- Mapeo de proceso	45
3. MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1 Materiales	47
3.1.1 <i>Systemac Starter Kit</i> : NJ101-1000.....	47
3.1.2 NX-ID5342 NX 16Pt, 24 VDC, NPN Input.....	48
3.1.3 NX-OD5121 NX 16Pt 12-24 VDC NPN.....	49
3.1.4 S8VK-G06024 60W 24VDC.....	49
3.1.5 NX-ID3317 NX 4pt, 12-24 VDC, NPN Input.....	50
3.1.7 NX-ECC202 NX I/O EtherCAT Coupler.....	50
3.1.8 6206740 Wall-mounted hinge, horizontal.....	51
3.1.9 6206380 Angle coupling 90°.....	51
3.1.10 6315400 CP caja de mando con asas.....	52
3.1.10 NA515W101B HMI Programmable.....	52
3.2 Metodología	53
3.2.1 Reconocimiento actual en prensa.....	54
3.2.2 Identificación del problema.....	67
3.2.3 Solución propuesta.....	71
3.2.4 Verificar el sistema de procesamiento de datos (<i>Hydra</i>).....	72
3.2.5 Recolección de datos relacionados al tema.....	75
3.2.6 Realizar el plan para la instalación de los dispositivos en prensa:.....	75
3.2.7 Seleccionar los dispositivos.....	75
3.2.8 Creación y obtención de presupuesto.....	75
3.2.9 Implementación de mejora.....	76
3.2.10 Corroboración de hipótesis.....	77
3.2.11 Presentar conclusiones y verificación de viabilidad.....	77
3.3 Técnicas de muestreo / recolección de información	77
3.4 Análisis de información	78
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
4.1- Análisis de datos para Calidad	83
4.1.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.....	83
4.1.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.....	84

4.2.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (Calidad)	85
4.3.- Pruebas de hipótesis para prueba t (Calidad).....	87
4.4- Análisis de datos para Productividad.....	87
4.4.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.....	88
4.4.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.....	89
4.5.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (Productividad).....	90
4.6.- Pruebas de hipótesis para prueba t (Productividad)	91
4.7- Análisis de datos para Disponibilidad	92
4.7.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.....	92
4.7.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.....	93
4.8.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (Disponibilidad)	94
4.9.- Pruebas de hipótesis para prueba t (Disponibilidad)	96
4.10- Análisis de datos para <i>OEE</i>	96
4.10.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.....	97
4.10.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.....	98
4.11.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (<i>OEE</i>).....	99
4.12.- Pruebas de hipótesis para prueba t (<i>OEE</i>)	100
4.13.- Análisis de consumos de <i>tooling</i> antes y después.....	101
4.14.- Interior y exterior del panel de control después de la mejora.....	102
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
6. BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXO A: PUNTOS PORCENTUALES SUPERIORES PARA LA DISTRIBUCIÓN t	112
ANEXO B: PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCIÓN F	113
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	115

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos de OEE y sus componentes antes de la mejora.	9
Tabla 2: Datos de OEE y sus componentes antes de la mejora para disponibilidad. ...	81
Tabla 3: Datos de OEE y sus componentes antes de la mejora para productividad.	81
Tabla 4: Datos de OEE y sus componentes antes de la mejora para calidad.	82
Tabla 5: Datos de OEE y sus componentes después de la mejora para disponibilidad.	82
Tabla 6: Datos de OEE y sus componentes después de la mejora para productividad.	82
Tabla 7: Datos de OEE y sus componentes después de la mejora para calidad.	83
Tabla 8: Resultados de la prueba "sample T " y valores de estadísticos de calidad.	87
Tabla 9: Resultados de la prueba "sample T " y valores de estadísticos de productividad.	92
Tabla 10: Resultados de la prueba "sample T " y valores de estadísticos de disponibilidad.	96
Tabla 11: Resultados de la prueba "sample T " y valores de estadísticos de OEE.	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo auxiliar para llevar a cabo el proceso de selección del PLC más adecuado para el proyecto.	17
Figura 2: Componentes principales de un PLC. (Bolton, 2015).	19
Figura 3: Ejemplos de entradas a) sourcing, b) sinking.....	22
Figura 4: Ejemplos de salidas (a) sourcing, (b) sinking.....	22
Figura 5: Desglose de los componentes de la ecuación de la disponibilidad. (González Fernández, 2005).....	30
Figura 6: Se muestran, por separado, las pérdidas por componente de OEE.	33
Figura 7: La distribución de Z_0 cuando $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera, con la región crítica para $H_1: \mu \neq \mu_0$. (Montgomery & Runger, 2013).	38
Figura 8: Puntos porcentuales de la distribución t. (Montgomery & Runger, 2013).	40
Figura 9: Porcentajes de valores donde comúnmente se encuentran los intervalos de la distribución normal. (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).	44
Figura 10: Mapa de proceso de alto nivel (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).	46
Figura 11: Se muestra PLC físico y sus componentes (OMRON Industrial Automation, Ref A, 2017).....	47
Figura 12: Dispositivo de entradas NPN. (OMRON Industrial Automation, Ref B, 2017).	48
Figura 13: Dispositivo de entradas NPN. (OMRON Industrial Automation, Ref C, 2017).	49
Figura 14: Fuente de alimentación de 24 VDC (OMRON Industrial Automation, Ref D, 2013).....	50
Figura 15: Unidad de comunicación de Ethernet. (OMRON Industrial Automation, Ref G, 2016).	51
Figura 16: Montaje giratorio para sostener HMI. (Rittal-The System, Ref H, 2016).	51
Figura 17: Soporte para el codo del brazo que sostendrá HMI. (Rittal-The System, Ref I, 2016).	52
Figura 18: Caja para HMI. (Rittal, The System, Ref J, 2016).	52

Figura 19: Pantalla HMI para interfaz usuario – máquina (OMRON Industrial Automation, Ref K, 2016).....	53
Figura 20: Diagrama de flujo para la realización del proyecto.....	53
Figura 21: Línea de estampado y sus componentes.....	54
Figura 22: Desenrollador y material inoxidable.	55
Figura 23: Desenrollador de pines.	56
Figura 24: Vista frontal de la prensa estampadora; dentro del círculo rojo se puede ver parte del alimentador.....	57
Figura 25: Prensa estampadora Bruderer de 30 TON.....	58
Figura 26: Vista frontal de un troquel en reparación menor dentro de la prensa.....	59
Figura 27: Herraduras con fibras de luz.	59
Figura 28: Ubicación del sensor dentro del troquel.	60
Figura 29: Sistema de visión ubicado a la salida del material de la prensa.	61
Figura 30: Soldadora de punto.....	62
Figura 31: Enrollador a la parte final del proceso de estampado	63
Figura 32: Panel de control y sus componentes actuales en prensa.	64
Figura 33: Bosquejo de nuevo panel para prensa.....	66
Figura 34: Panel de control antes de la mejora; varía la cantidad de botones de prensa en prensa.	67
Figura 35: Programación en pantalla Proface la cual muestra el conteo después de un paro de prensa.	68
Figura 36: Parte de la prensa donde se muestra el RAM, que, para indicar la posición inicial de los imanes, deberá estar en su punto más alto.....	69
Figura 37: Imágenes que muestran el dispositivo con el circuito integrado dentro, así como los imanes que dan pauta para enviar la señal.	69
Figura 38: Opción remoto o monitor en programa Proface.	70
Figura 39: Parte de la programación donde se muestra que, al no coincidir los contadores, la lógica debería marcar error.....	71
Figura 40: Medialunas de alimentador de prensa.	71
Figura 41: Interfaz de Hydra principal para prensas.	72

Figura 42: Como se puede observar, cada número de status corresponde a una actividad en específico.	73
Figura 43: Gráfico de OEE, en donde se puede observar información importante y componentes principales. (TE Connectivity, 2017).	74
Figura 44: Diagrama de flujo de desarrollo de mejora en prensa 1.....	76
Figura 45: Timeline desglosado de las actividades del proyecto.	77
Figura 46: Mapeo de proceso que se siguió para desarrollar el proyecto de mejora de prensa.	78
Figura 47: Gráficas que indican de dónde se obtienen los tiempos para el OEE.....	79
Figura 48: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de calidad antes de la mejora.	84
Figura 49: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de calidad después de la mejora.	85
Figura 50: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de calidad.	86
Figura 51: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de productividad después de la mejora.	88
Figura 52: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de productividad después de la mejora.	89
Figura 53: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de productividad.	91
Figura 54: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de disponibilidad antes de la mejora.	93
Figura 55: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de disponibilidad después de la mejora.	94
Figura 56: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de disponibilidad.	95
Figura 57: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de OEE antes de la mejora.	97
Figura 58: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de OEE después de la mejora.	98
Figura 59: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de OEE.	99
Figura 60: Reporte de gastos de tooling 2017	101
Figura 61: Reporte de gastos de tooling 2018.	101

Figura 62: Componentes del panel de control que fueron instalados para la mejora.. 102

Figura 63: Pantalla con los botones integrados (salvo paro de emergencia, botón de paro de ciclo, y los 3 botones que inician el ciclo)..... 103

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de este trabajo de investigación, será expuesta la problemática identificada dentro de una empresa seleccionada, sus áreas de oportunidad, el desglose de la misma y una opción de mejora hacia la necesidad de la empresa. En este primer capítulo, serán presentados los tópicos de antecedentes del problema, el planteamiento, hipótesis, objetivos generales y específicos, la justificación y los alcances y limitaciones.

1.1 Antecedentes del problema

AMP Incorporated es una empresa transnacional que cuenta con 185 plantas distribuidas en 36 diferentes países del mundo. Fue fundada el 15 de septiembre de 1941 en Nueva Jersey; hoy en día, las oficinas generales se encuentran situadas en *Harrisburg, Pennsylvania*. Desde sus inicios, *AMP* formaba parte de *AMP Incorporated*, pero a partir de 1999 pasó a formar parte de *Tyco Internacional*, que es una de las 150 corporaciones industriales más grandes del mundo. En la ciudad de Hermosillo Sonora, la filial de *AMP Incorporated* se denomina *AMP Amermex*. Ésta planta inicia operaciones el 10 de diciembre de 1986. Actualmente, la planta en México es conocida como *TE Connectivity*.

El departamento de estampado dentro de *TE Connectivity Industrial*, llegó a tierras hermosillenses alrededor de junio del año 2009, proyecto iniciado por varios ingenieros rotacionales, 5 matriceros, 4 operadores y 2 técnicos de mantenimiento. Las prensas con las que actualmente se cuenta, fueron trasladadas desde la planta de Greensboro, Carolina del Norte, las cuales se encontraban en una bodega ya que no entraban en planes de uso dentro de la misma compañía. El encargado de mantenimiento en ese entonces realizó el viaje a Carolina del Norte para seleccionar las primeras 4 prensas que llegarían al departamento. Como se comentaba, las prensas se encontraban en un almacén, desechadas por nuevas adquisiciones de otras compañías de Tyco las cuales se fueron almacenando, permitiendo la apertura del departamento en México. Al ser las prensas enviadas de diferentes destinos, las modificaciones que se les habían realizado a los paneles de control variaban mucho dependiendo del lugar de procedencia.

Al recibir las primeras prensas y después de su completa instalación, se comienzan a hacer planes para establecer ciertas mejoras que ayudaran a mejorar el desempeño de las mismas. Después de algunos estudios e investigaciones, se encontró que no se tenía un correcto control en cuanto al sistema de protección del troquel, ya que como se ha

comentado, al no ser los primeros en operar el equipo y no contar con los diagramas eléctricos de funcionamiento y modificaciones, era muy difícil poder establecer el patrón de conducta de las diversas señales requeridas para la protección.

El pobre monitoreo de señales y su capacidad de expansión insuficiente para cubrir todos los puntos empujaron al encargado del área de mantenimiento de estampado, junto con sus 2 técnicos y un proveedor, a encontrar los componentes necesarios para cubrir y manipular todas las señales necesarias. “Nos dimos cuenta también que, si se presentaba una falla, no había manera de saber de qué parte del proceso procedía, ni tampoco el departamento de producción podía justificar algún retraso en el plan de ordenes ya que no tenían información suficiente” (Sugich Beltrán, 2016). No se llevaban tampoco registros de *tooling* dañado, tiempo muerto, o algún tipo de métrico que diera un poco más de información de la productividad del proceso.

Después de unos meses de haber instalado las prensas, fue cuando se puso en marcha la implementación del nuevo sistema de detección de señales, resultando un avance significativo y permitiendo estandarización hasta cierto punto. Para ello, se utilizó un mini sistema de *PLC (Programmable Logic Controller)* con *HMI (Human Machine Interface / Interfaz Hombre-Máquina)* integrada, marca *Proface*, serie *LT3200*, el cual cuenta con 12 entradas, de ellas, 4 son de alta velocidad, y 8 salidas a relevador. Se energiza con 24 V, y las entradas pueden ser positivas o negativas, dependiendo de cómo el operador configure el punto común. En el caso de las prensas, por seguridad, el común se configuró positivo para obtener las señales negativas de los equipos. Este dispositivo tiene la particularidad de tener pantalla *touch* integrada al *PLC*, la cual puede ser programada mediante botones e indicadores de una manera muy sencilla, en el mismo programa en el que realizas la programación en escalera.

Después de terminada la instalación y de las pruebas iniciales, se liberaron las prensas para poder seguir con el plan de producción correspondiente. Lo mismo sucedió con las 6 prensas subsecuentes que llegarían de la misma procedencia al departamento, hasta cubrir por completo el equipo total. La implementación tomó algo de tiempo, pero ya terminada, se comenzaron a notar los primeros beneficios; mejor muestreo de señales, y un sistema que recabara un poco de información del proceso representaron un avance tecnológico en el casi recién inaugurado departamento de estampado.

Con el paso del tiempo, se notificó a todas las plantas *TE* pertenecientes al rubro que la planta de Greensboro cerraría sus puertas, abriendo el camino para reforzar la carga de producción en las demás plantas industriales. Este último grupo de prensas que llegaría presentaba la peculiaridad de conformarse por prensas integradas, lo que significa que son prensas que corren 2 tipos de material al mismo tiempo, para dar el resultado final en una sola pieza.

A pesar de que el sistema de protección funcionaba correctamente, al paso del tiempo comenzó a observarse que, en ocasiones, la señal encargada de detener la prensa, si se presentaba un atoramiento de material, no se detenía al momento, o no se detenía del todo. Poco a poco comenzó a recaudarse información acerca de este mal procedimiento, hasta que internamente, en el programa escalera del *PLC*, se encontraron algunos errores que no permitían su correcto funcionamiento. Sin entrar en mucho detalle, se corrigieron ciertos problemas de operación con simples movimientos de contactos dentro del programa, pero persistió uno que hasta la fecha no se ha podido corregir, afectando a varias partes del proceso en sí.

Por lo anterior, se identifica la necesidad de mejora dentro del proceso, ya que los tiempos muertos, costos de material, baja productividad y desempeño que genera la falla antes descrita, también repercuten directamente sobre los métricos de eficiencia de la planta. Debido a ello, se pretende realizar una corrección de lógica y actualización de panel de control de prensa mediante la implementación de un *PLC*, con el fin de aumentar niveles de *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*), reducir tiempos muertos, aumentar disponibilidad, reducir costos y estandarizar el proceso

El *PLC* se ha utilizado como mejora en muchas empresas con problemáticas de diferentes índoles, tal y como se presenta en las investigaciones que se mencionan a continuación; un ejemplo se puede encontrar en el experimento que se llevó a cabo sobre los efectos positivos del *TPM* (*Total Productive Maintenance*) en la mejora del *OEE* (Batumalay & Santhapparaj, 2009) en donde menciona que, en muchas industrias, el área de mantenimiento ahora es vista como una potencial fuente para ahorros económicos y mejoras en el proceso. Al integrar el departamento de ingeniería, mantenimiento y otros procesos de manufactura, es posible aumentar la disponibilidad, rentabilidad, y, sobre todo, mejorar desempeño de las operaciones internas *OEE*, que es parte de lo que se pretende con la mejora que se implementará en el caso anteriormente descrito.

Es importante también recalcar que, aparte de echar mano de la tecnología para mejorar los procesos, se aplique como auxiliar para los cálculos de *OEE*. Se desarrolló una plataforma en *Visual Basic* para capturar todos los datos requeridos por parte de los operadores, y así poder realizar los cálculos de una manera más eficiente y precisa; derivado de ello, pudieron identificar áreas de mejora en cuanto a fallas y tiempos caídos (Singh, Shah, Gohil, & Shah, 2013). De igual manera, se han realizado diseños de experimentos para ver de qué manera afectan las variables de entrada al ser modificadas en cuanto a su valor. Por ejemplo, si se detecta un proceso deficiente, se pueden tomar los datos y modificarlos para ver de qué manera impactan el resultado final, y ver cuál etapa del mismo atacar primeramente para ver cambios más significativos en el porcentaje final (Relkar & Nandurkar, 2012).

Si bien es cierto que la tecnología es un gran punto de partida para mejorar procesos, se cuenta también con demás herramientas para ello, como lo es la relación del *FMEA* (*Failure Mode and Effect Analysis*) y el *OEE*; el *OEE* monitorea, por así decirlo, la efectividad de los procesos de manufactura mientras que el *FMEA* una técnica de ingeniería usada para definir, identificar y eliminar fallas conocidas o potenciales, problemas, errores del sistema, procesarlos o darles el servicio necesario para evitar que lleguen a los clientes. Es una técnica para identificar y dar enfoque a aquellas áreas en el diseño y los procesos de manufactura para la prevención, reducción y eliminación de los puntos defectuosos en la producción de algún producto; por lo tanto, se encontró que los *RPN* (*Risk Priority Number*) se relacionan inversamente proporcional al parámetro de disponibilidad de *OEE*, por lo que, al disminuir los valores de severidad, ocurrencia y detección, la disponibilidad de los equipos aumentará (Ahiret & Relkar, 2012). Mismo caso ocurre con un método para optimización del *OEE*, el cual, se enfoca en el parámetro de productividad; para obtener este último, se calcula la razón de la velocidad de operación (tiempo de ciclo estándar/tiempo de ciclo real). Por aritmética, se sabe que, si el tiempo de ciclo real se minimiza, la razón de la velocidad de operación se incrementará, aumentando los valores de *OEE*. De ahí, se utiliza la función objetivo para optimización, y se sustituye en ella la sumatoria del tiempo máximo de las operaciones. El valor mínimo de esta función es obtenido cuando la línea de manufactura está balanceada (Mainea, Luminita, Patric, & Caciula, 2010).

Desviando ligeramente el enfoque hacia el *OEE* como medición de eficiencia, ampliar el contexto de utilizar una sola herramienta para mejorar el proceso, suele arrojar resultados

favorables; tal es el caso de la medida de la productividad, que no solamente monitorea la eficiencia del proceso, si no que se enfoca en las variables de entrada y salida del procedimiento de manufactura, o bien, causa y efecto que provocan fallos o tiempos muertos, así como el uso de recursos y personal. Dicho de otra manera, ambos conceptos se pueden complementar involucrando diferentes variables las cuales se traducen a una mejor estabilidad del proceso (*OEE*) y el cambio de restricciones del mismo para aumentar su productividad (Andersson & Bellgran, 2015).

1.2 Planteamiento del problema

Dependiendo del tipo de empresa a la que se analice, cada una cuenta con diferentes problemáticas que derivan en un sin fin de motivos, las cuales, deben ser solucionadas para permitir así el crecimiento de la empresa y permitir la estabilidad de la misma, ante un mundo laboral cambiante y en constante actualización. Por lo mismo, se ha seleccionado, como objetivo principal de este estudio, la actualización de proceso de prensas estampadoras dentro de la empresa *TE Connectivity*.

En el área de estampado, se cuenta con 17 prensas de 30 toneladas, las cuales se utilizan para crear terminales electrónicas mediante troqueles; estos se componen por pequeñas piezas (*toolings*) que son las que, estación por estación, van dando forma a la pieza final. Debido al costo elevado y los tiempos muertos que un *tooling* dañado acarrea, se utilizan sensores que ayudan a proteger dichos elementos cuando hay algún problema dentro del troquel; la señal que lo protege en caso de algún atoramiento se llama *missfeed*. Ésta, a su vez, se compara con otra señal llamada *hall effect* la cual le indica a la prensa que debe detenerse cuando se atora material dentro del troquel.

El sistema actual de control de todas las señales, incluyendo las que se mencionan anteriormente, es deficiente en cuanto a su funcionamiento y lógica. Igualmente, los componentes obsoletos y meramente mecánicos no van alineados a las velocidades que se manejan en las prensas; es ahí cuando surge la idea de establecer las bases para realizar un rediseño del sistema de detección de señales para hacerlo más eficiente y práctico; no solo se contribuirá con el departamento de mantenimiento, sino también para impactar positivamente recursos financieros, reducción de tiempos muertos, mejoramiento de *OEE*, y a la par, estandarización y manejo de información de forma más eficiente.

En cuanto a métricos de *OEE*, mucho del tiempo muerto de *set up* es provocado por la falla que se describe en párrafos anteriores. Realizada la mejora en la prensa, repercutirá a eliminar tiempo considerable en el ajuste de *set up*, modificando los métricos de disponibilidad de prensas, aumentando el porcentaje de *OEE* y mejorando el rendimiento y reducción de tiempo de muertos de mantenimiento.

El operador, o más bien, el técnico de mantenimiento, verá también facilitado su trabajo al contar principalmente con un diagrama confiable y exacto de los procesos de la prensa, permitiéndole identificar fallas, y a su vez, prevenirlas, ya que también se pretende anexar un apartado donde se muestren los niveles y/o estados de las partes fundamentales del funcionamiento de la prensa.

¿Qué otro beneficio se puede obtener mediante esta actualización? En primer lugar, como empresa de clase mundial, se busca que todos sus procesos cumplan con las reglas y requerimientos que exigen los estándares mundiales que rigen la mayoría de los procesos industriales, y en este caso, la tecnología utilizada para lo mismo, no puede ser la excepción. Las prensas que se manejan dentro del área datan de 1970, lo cual dista mucho en cuanto a la utilización de tecnologías y dispositivos actuales, ya que, por ejemplo, solo para visualizar un panorama general, la misma red de *Internet* ni siquiera se desarrollaba del todo por esos años...

Seguido, ¿Realmente será un proyecto viable para la empresa? De acuerdo con investigaciones y experiencias personales, si puede ser un punto de partida para comenzar a mejorar en cuanto a métricos de *OEE* se refiere, sobre todo para aumentar la productividad y disponibilidad de equipos. En base a lo que se tiene pensado lograr de ahorro, el proyecto puede verse redituado al cabo de algunos meses.

Avanzando con el planteamiento, ¿De qué manera facilitará dicha mejora a los operarios el manejo de proceso? Si bien el proceso interno es el que se llevará la mayoría de los cambios, también se ha pensado en la manera como el operador interactúa con la máquina. El objetivo principal de este concepto es la actualización y la facilitación de proceso en cada uno de sus puntos, y para este caso, el panel de control pretende conservar su estructura original de funcionamiento, adoptando una postura ergonómica y cambiando la botonería por modelos actuales; también contará con una HMI que permita visualizar de una manera más clara datos de utilidad para el operador, permitiéndole saber en qué parte del proceso se encuentra y si hay algún elemento faltante dentro de la operación.

Llegando al punto principal, ¿Cómo se realizará la mejora? Para esto, se pretende utilizar un *PLC* en sustitución de la lógica de relevadores con la que opera la prensa, así como la eliminación de componentes meramente mecánicos y el cambio de voltaje de control de *AC* (corriente alterna) a *DC* (corriente directa). Se pretende anexar las mismas intervenciones en todas las máquinas y cambiar ciertos dispositivos de funcionamiento, tales como válvulas de embrague y freno de seguridad.

1.3 Hipótesis

Realizar un rediseño al control de operación de una prensa estampadora, reducirá tiempos muertos y aumentará la disponibilidad de equipos, y con ello, aumentará los porcentajes de *OEE*.

1.4 Objetivos generales

El objetivo general de esta investigación es probar que, mediante la mejora y actualización del proceso interno de la prensa, serán muchos los beneficios en diversos rubros dentro de la empresa. Atacar el tiempo muerto que producen los paros por diversas causas que son provocadas por fallas dentro del algún punto del funcionamiento de la prensa, resulta uno de los puntos principales a atacar con esta mejora.

De igual manera, aportar una mejor respuesta como departamento de mantenimiento ante algún problema que se vea identificado en la prensa, utilizando herramientas de vanguardia para atacarlos prácticamente en tiempo real, ya que anteriormente, debido a los métodos practicados, esta operación era llevada a cabo al pasar cierto periodo de tiempo.

1.5 Objetivos específicos

En cuanto a objetivos específicos, 3 han sido los que fueron identificados como principales para atacar mediante este estudio:

Mejorar porcentajes de la eficiencia general del equipo: se busca con este proyecto mejorar porcentajes de *OEE* y reducir extensos periodos de tiempos muertos en ajuste de *set up* de troquel. La meta a cumplir se estará analizando en base a los registros que se obtengan de este métrico dentro de las primeras semanas después de la mejora.

Aumentar disponibilidad de equipos: Dada la naturaleza de este proyecto, los porcentajes de disponibilidad deben de verse aumentados, por lo tanto, estarán proporcionalmente ligados con el primero.

Reducir el consumo de *tooling*: Al mejorar la seguridad del troquel mediante la mejora, cantidad y costos de estos deben verse disminuidos en el proceso.

1.6 Justificación

Pasando un poco a otras índoles importantes, como se sabe, los proyectos de investigación son procedimientos que se van estructurando paso a paso, y es necesaria la disponibilidad de recursos para poder llevarlos a cabo. En cuanto al proceso anteriormente descrito, se cuenta con la total disponibilidad de acceso a la planta, ya que actualmente me encuentro laborando como parte del departamento de mantenimiento, lo que, a su vez, facilita también el acceso a las prensas y a los métricos a mejorar durante el proyecto. Al tener seleccionados los componentes, el presupuesto aproximado presentado a gerencia para continuar el proceso de obtención de capital financiero, el cual, dentro de la empresa, es conocido como "*CER (Capital Expenditure Request)*", fue de alrededor de 20,000 dólares.

En cuanto a personal humano, son contemplados integrantes del área de mantenimiento de estampado, la cual cuenta con 1 gerente, 1 supervisor y 3 técnicos. De igual manera, el proveedor "*IIPSA*" que manejó el costo de los componentes y aportó también ideas y sugerencias dentro del proyecto, así como también un grupo de integradores los cuales van de la mano con el mismo proveedor.

Por parte del departamento de mantenimiento, es identificada la necesidad de revisar y reparar la parte de la lógica (que será explicada a detalle en otro capítulo) que estaba presentando errores, como, por ejemplo, tiempos más prolongados de *set up*, menos tiempo de maquinaria disponible, menor porcentaje de *OEE*, entre otros. De ahí surge la necesidad de proyecto de esta tesis para corroborar que mediante actualización de componentes obsoletos y mejoras en el proceso (lógica de prensa) es posible mejorar lo anterior descrito. A continuación, los métricos de disponibilidad y porcentajes de *OEE* iniciales en la tabla 1:

Tabla 1: Datos de OEE y sus componentes antes de la mejora.

Fecha	Disponibilidad	Productividad	Calidad	OEE
15-21 julio	63	67	96	40
22-28 julio	63	70	98	43
29 julio - 4 agosto	68	73	99	49
5-11 agosto	58	64	95	35
12-18 agosto	58	67	98	38
19-25 agosto	56	72	97	39
26 agosto - 1 septiembre	40	75	95	29
2-8 septiembre	40	70	97	27
9-15 septiembre	40	64	93	24
16-22 septiembre	61	69	97	41
23-29 septiembre	69	67	98	46
30 septiembre - 6 octubre	47	74	93	32
7-13 octubre	42	65	97	26
14-20 octubre	43	64	96	26

Fechas de los datos antes de realizar la mejora, junto con los valores de OEE, disponibilidad, productividad y calidad.

Como prototipo, se presentará a gerencia la actualización de una prensa. La máquina por mejorar está dentro del grupo de prensas integradas, las cuales son llamadas así debido a que trabajan con dos distintos materiales a la vez, para unirlos y dar como resultado una sola pieza; al ser prensas que generalmente tienen carga de trabajo asignada (se trabajan 24/7) el proyecto deberá tener mayor impacto en dichos métricos.

1.7 Alcances y limitaciones

En cuanto a alcances de proyecto, se centrará primeramente en las prensas llamadas integradas, ya que son las que presentan una línea de carga mucho más estable que las demás, y la mayor parte del año registran horas de producción que reportar. El prototipo de la actualización es realizado en "Prensa 1", misma que será punto de partida de esta tesis y en la cual serán realizados todos los experimentos indicados para comprobar su funcionamiento. Las prensas integradas son cuatro, dos de ellas manejan un material llamado *pin* y las otras un tipo *socket*. La prensa 1 entra dentro del rango de los *pin*s, pero debido a que se cuenta con otra prensa similar, se pasará la carga a esa prensa, ayudando

a que el tiempo perdido no sea demasiado y no impacte demasiado el reporte de horas terminadas a la semana. Al tener listo el prototipo en la prensa 1, se realizarán las pruebas correspondientes para determinar si la mejora impactó positivamente en los objetivos establecidos, y de ser así, se propondrá, primeramente, establecer la mejora en las tres prensas integradas restantes, y de ahí, las otras trece.

En cuanto a limitaciones, el presupuesto que se ha otorgado para el proyecto es de \$20,000 dólares, cifra que se utilizó para la selección de componentes y mano de obra que se contrató para apoyo del personal de mantenimiento.

2. MARCO TEÓRICO

En este apartado será presentada la teoría que fundamenta el proyecto con base al planteamiento del problema que se ha realizado. Esto consiste en buscar las fuentes científicas que permitan detectar, extraer y recopilar la información de interés pertinente. Se ha seleccionado ya el tema objeto de estudio, por lo que el siguiente paso, consiste en realizar una revisión de la literatura sobre el tema, la cual se expone en párrafos posteriores.

Partiendo desde un punto de vista general, la actualización y automatización de equipos son técnicas probadas que brindan a los usuarios múltiples beneficios que, aplicados de manera correcta, pueden facilitar el trabajo y mejorarlo para obtener más productividad. Es indispensable que este proceso de mejora se establezca correctamente, así como asentar bases de cómo se realizará, y de qué manera se medirá el impacto. Hoy en día, dado el auge tecnológico que forma parte tanto de las actividades cotidianas como de los múltiples procesos empresariales, cada vez es más difícil encontrar maquinaria que no cuente con algún dispositivo electrónico que no ofrezca mejoras o facilidades de operación, por lo que actualmente la automatización es un tema que no se puede dejar de lado. Para el proyecto de esta tesis, la parte de actualización y automatización juega un papel importante, ya que de ahí se generará el punto de partida para que los objetivos y la hipótesis se cumplan.

2.1 Automatización

La automatización para la industria es usar tecnología que integre un proceso de control a través de dispositivos capaces de tomar decisiones e interactuar con otros, basándose en un programa establecido por el integrador para el manejo de algunas variables, mediante su monitoreo y comparación con un valor esperado del proceso; esto se realiza de manera automática, generando en el sistema mayor productividad, confiabilidad, estabilidad y calidad en sus resultados. (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero A., 2005).

Un proyecto de automatización se inicia cuando una empresa identifica una oportunidad de mejora dentro de sus procesos productivos susceptibles de ser automatizados. Tal oportunidad puede ser un incremento en la producción, el perfeccionamiento en los atributos y cualidades de alguna línea de productos para enfrentar la competencia de otros proveedores o lo más común, mantener la fabricación y calidad dentro de las normas actuales, pero disminuyendo los costos totales asociados a la producción. (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero A., 2005).

En fin, cualquiera de los motivos anteriores puede ser que desligue una serie de decisiones para iniciar un proyecto de automatización. Iniciar un proyecto de automatización industrial es una decisión que involucra a todos los niveles de la organización. También obliga a invertir una gran cantidad de recursos económicos, materiales, humanos y tecnológicos. Por la complejidad de la mayoría de los sistemas de automatización y la diversidad de tecnologías existentes, así como las necesidades muy particulares de cada proyecto, es muy difícil que un solo proveedor de productos de automatización pueda satisfacer todas las expectativas que tiene un cliente sobre los resultados que desea obtener, como son tecnología de punta, largo ciclo de vida del sistema, bajo costo de inversión en el proyecto, asistencia técnica, etc. (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero A., 2005).

Los actuales retos que impone la globalización de la economía, con mercados cada vez más exigentes y cambiantes, hacen que la industria adquiera estrategias para el desarrollo competitivo y la adaptación de nuevas prácticas productivas que integren amplia y ordenadamente los recursos con los que cuenta, para alcanzar mejores niveles de producción. Como ejemplo a lo anterior, expuesto es el caso del diseño de implementación de un sistema de control para un pozo de agua potable utilizando una *HMI* y un *PLC*; dado lo anterior, los operadores se benefician en cuanto a la interpretación de los procesos y detección de fallas, aumento de métricos en cuando a los tiempos de solución y reparación de problemas, siendo éstos algunos de los puntos que se pretenden atacar con el desarrollo de este proyecto. (Quezada Quezada, Flores García, Quezada Aguilar, & Bautista López, 2013)

Hay líneas de investigación las cuales indican que la idea de automatizar e instalar dispositivos inteligentes para el funcionamiento o mejora de máquinas, es llegar al punto en donde la información recabada ya sea de fallas, reparaciones, manejo del equipo, entre otros; podrán ser extraídas de *PLC*'s, sensores, programas, etc. para ponerlas a disposición del personal mediante un *software* amigable y bases de datos para comenzar a convertir los procesos cada vez más autónomos, evitando intervenciones del personal experto, aumentando la disponibilidad de los equipos y mejorando métricos de mantenimiento. (Prinz, Kreimeier, & Kuhlenkotter, 2017).

La automatización de los procesos productivos es una herramienta fundamental que permite a las empresas un desarrollo propio, dinámico y competitivo, facilitando la relación

entre las diferentes áreas de la organización o empresa. Por lo tanto, es muy importante encontrar una buena metodología o procedimiento adecuado y eficaz, que permita a la industria regional, automatizar bienes de producción particularmente con el uso de *PLC*. Por otro lado, hay un costo asociado a la adquisición de nueva tecnología en equipos y programas; y aún, teniendo la tecnología más moderna, la automatización puede ser ineficiente y no operativa si no fue realizado previamente un análisis de las necesidades de la organización, de las diferentes ofertas tecnológicas existentes en el mercado y un diseño de los sistemas adecuado a las funciones de la organización como a la tecnología. (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero A., 2005).

Por lo tanto, antes de iniciar una automatización es importante tener en cuenta que:

1. Las organizaciones son complejas y realizan diversas funciones que están relacionadas entre sí, que sus necesidades de manejo de información cambian y crecen, y que además del manejo operativo de la información hay una necesidad de contar con un acceso global que permita una mejor toma de decisiones.
2. La tecnología es muy cambiante, cada vez hay mayor variedad de equipos y sistemas más completos de costos diversos, lo que complica la selección de la tecnología adecuada.
3. El diseño, la programación y la operación de los sistemas requieren en la mayoría de los casos de especialistas.

Por todo lo antes mencionado, si se pretende que una automatización no solamente cause una mejora de la producción, sino que además resulte una inversión rentable en cuanto a la adquisición de una tecnología adecuada, es necesario contar con una metodología para llevar a cabo dicha automatización. (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero A., 2005). El diagrama de flujo para la metodología de este proyecto será mostrado en el capítulo 3.

Como se mencionó anteriormente, uno de los dispositivos más utilizados para realizar automatizaciones es el *PLC*, entre otra gama de dispositivos electrónicos que ayudan al control y a la conectividad. En este proyecto, la mejora se llevó a cabo mediante un controlador de este tipo, del cual se explicará más a detalle.

2.2 Controladores lógicos programables

Dado su gran impacto y creciente implementación en la mayoría de procesos y sistemas tecnológicos, el *PLC* es un elemento principal utilizado en un sin fin de aplicaciones gracias

a su flexibilidad de uso y numerosas ventajas en cuanto a funcionamiento. Gracias a sus componentes, el *PLC* permite controlar desde las funciones internas de un equipo, hasta todo un complejo sistema industrial. Todo lo anterior lo realiza gracias a su estructura interna de programación en escalera, la cual permite realizar la lógica de comportamiento que debe ejecutar cada uno de los elementos que componen algún sistema en específico; estos elementos se representan mediante entradas y salidas físicas, las cuales permiten al *PLC* lograr el control deseado.

El *PLC* es una forma especial de microprocesador que usa memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones como la lógica, secuencias, conteos, temporizadores y cálculos matemáticos para controlar máquinas y procesos. Los diseñadores de *PLC* lo han programado para que el control del programa pueda ser utilizado de una manera simple. (Bolton, 2015).

Aparte de este proyecto, existen muchas otras aplicaciones en las cuales se ha utilizado el *PLC*, como en el caso de la implementación de una máquina controlada por *PLC* que automatizó el proceso de producción de papas en sus tres etapas, logrando ser más eficientes y resguardando la seguridad de los operadores, los cuales eran expuestos a quemaduras de aceite y objetos afilados. (Schlenker, Morales, Patiño, & Montoya, 2013). La seguridad e integridad de los operadores nunca debe pasarse a segundo plano en ningún tipo de implementación o proyecto, por lo que hay hoy en día filtros para que los *PLC* no puedan ser modificados en sus líneas programadas para la seguridad, como lo demuestran en su artículo Riera, Benlorhfar, Annebicque, Gellot y Vigario (2011), mismos que desarrollaron un fuerte filtro el cual no permite la modificación de ciertas entradas o salidas del mismo aunque el acceso sea remoto.

Igualmente, en un sistema de limpieza y llenado de botellas de agua, fue utilizado un *PLC* para controlar los niveles de agua en tres procesos principales, mismos por los que pasaban hasta 170,000 botellas por hora, por lo que mantener el control se complicaba con solamente sensores que trabajaban independiente uno del otro. Con el *PLC*, y mediante un control *PI* (*Proportional Integral*), se logró el manejo de señales y actuadores para automatizar el proceso. Igual que en este proyecto, mediante una HMI se facilitó la interacción del operador con el proceso. (Patel, Patel, & Singh, 2014).

El término “lógica” es aplicable debido a que deben establecerse las condiciones para que ocurran ciertos sucesos o sean completadas actividades específicas con sus

respectivas restricciones; por ejemplo, si “A” o “B” ocurren, será activada “C”. Si “A” y “B” ocurren, se desactivará “C” y encenderá “D”. Los dispositivos de entrada y salida controlados son conectados al *PLC*. El operador, entonces, digita la secuencia de instrucciones (programa) en la memoria del *PLC*. El controlador monitorea las entradas y salidas de acuerdo al programa y sigue al pie de la letra las instrucciones que le han sido asignadas. (Bolton, 2015).

Los *PLC* fueron utilizados por primera vez alrededor de los años 60's, cuando una importante empresa automotriz se dio cuenta de la necesidad de implementar un sistema más sofisticado que permitiera manejar de una manera más sencilla y flexible, las variables que denotaban control para los procesos dentro de sus instalaciones. Anteriormente, la lógica se llevaba a cabo mediante relevadores mecánicos que eran cableados hacia los actuadores, lo cual representaba bastantes dificultades, como, por ejemplo, el exceso de cableado, atoramientos mecánicos de los relevadores propios de la velocidad del proceso, numerosos componentes que ocupaban bastante espacio, ya que lo que representan dos líneas de programación en escalera, pueden ser numerosos relevadores que son difíciles de acomodar. Para ello, la empresa formuló ciertas características que su nueva alternativa de control debía proporcionar, los cuales incluyeron lo siguiente:

1. El aparato debía soportar los rudos ambientes industriales.
2. Flexibilidad a la hora de realizar cambios y/o modificaciones.
3. Lograr controlar los procesos mediante lenguaje de programación en escalera.
4. Poder controlar mediante cableado las entradas y salidas del proceso.

Con los puntos anteriores establecidos, la empresa generó lo que hoy conocemos como *PLC*, solo que en una versión muy diferente a la que conocemos actualmente.

2.2.1 Metodología para la aplicación de *PLC*.

Los pasos sugeridos para la realizar una automatización de *PLC*, serían los siguientes. (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero A., 2005).

1.Descripción del sistema: en este punto se define el procedimiento que se debe seguir en la operación (paro, arranque), los dispositivos que intervendrán en el proceso (sensores, motores), las variables a medir y a controlar, rangos de operación, entradas y salidas, entre otros.

2. Diagrama de flujo: es la representación gráfica de los pasos en un proceso y es útil para determinar cómo funciona realmente el proceso.

3. Descripción de los equipos del sistema: descripción de todos los dispositivos que intervienen en el proceso; se describe su función e identifica las entradas y salidas del sistema. Ayuda también a conocer más a detalle el proceso y tener una visión más amplia de la siguiente etapa.

4. Requerimientos del cliente: Estos se obtienen, de las entrevistas realizadas con los operadores y jefes de mantenimiento, los cuales indican características de operación, características de los equipos, rango de operación y en algunos casos el rango del costo de los equipos a utilizar.

5. Selección del autómatas programable: Para llevar a cabo la selección del autómatas se deben de realizar dos evaluaciones, una para seleccionar el tipo de autómatas y la otra para seleccionar la marca, esto debido a las diferentes opciones que brinda el mercado actualmente.

6. Matriz de decisiones para la selección de PLC: Para realizar la matriz de selección fue realizada una serie de pasos (ver figura 1).

7. Programación del PLC: en base a los puntos descritos anteriormente, se realiza la estructura del programa

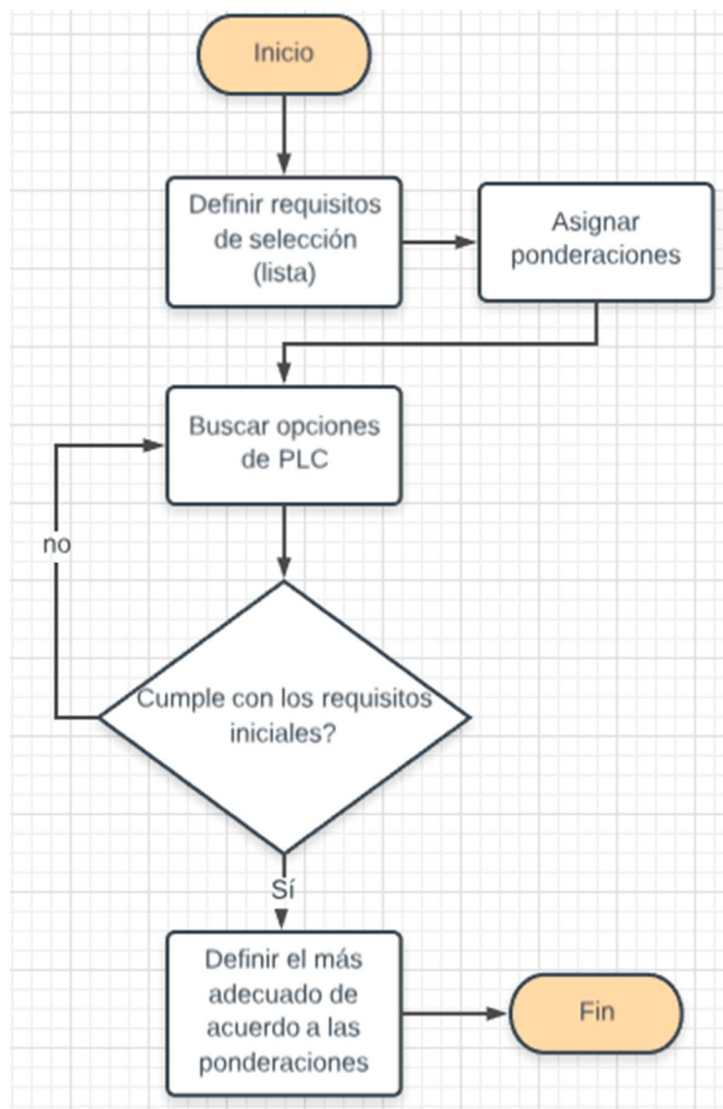


Figura 1: Diagrama de flujo auxiliar para llevar a cabo el proceso de selección del PLC más adecuado para el proyecto.

2.2.2 Campos de aplicación.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del *hardware* y *software* amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades de demanda de los cada vez más sofisticados procesos de producción. Su utilización se fundamenta en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización. Sus reducidas dimensiones, la extrema facilidad de su montaje, posibilidad de almacenar programas, entre otras, hace

que su eficiencia se aprecie en procesos en que se producen necesidades como: (Bolton, 2015).

1. Espacio reducido
2. Procesos de producción periódicamente cambiantes
3. Procesos secuenciales
4. Maquinaria de procesos variables
5. Verificación de programación centralizada de las partes del proceso

2.2.3 Ventajas de la utilización de un PLC.

Las ventajas son las siguientes (Ephrem & Mohammad, 2016), (Bolton, 2015): a) flexibilidad al momento de querer realizar algún cambio, no es necesario hacer cambios en el cableado o alguna parte del *hardware*; b) son inmunes al ruido; c) son fáciles de manejar y de programar; d) la instalación no es costosa ni complicada; y e) la expansión de módulos de *IO* (In/Out).

2.2.4 Desventajas de la utilización de PLC.

Las desventajas son las siguientes (Ephrem & Mohammad, 2016), (Bolton, 2015):

1. En comparación a la *PC* (*Personal computer*), puede decirse que no son tan rápidos ni manejan grandes cantidades de memoria.
2. No hay tanta disponibilidad de equipo como las *PC*.
3. En ocasiones, por su precio, no son muy costeables para aplicaciones sencillas.

2.2.5 Hardware de PLC.

La estructura externa de un PLC es mostrada en la figura 2 y comienza con una descripción de sus componentes principales. A continuación, se muestra la lista de los mismos con una breve descripción.

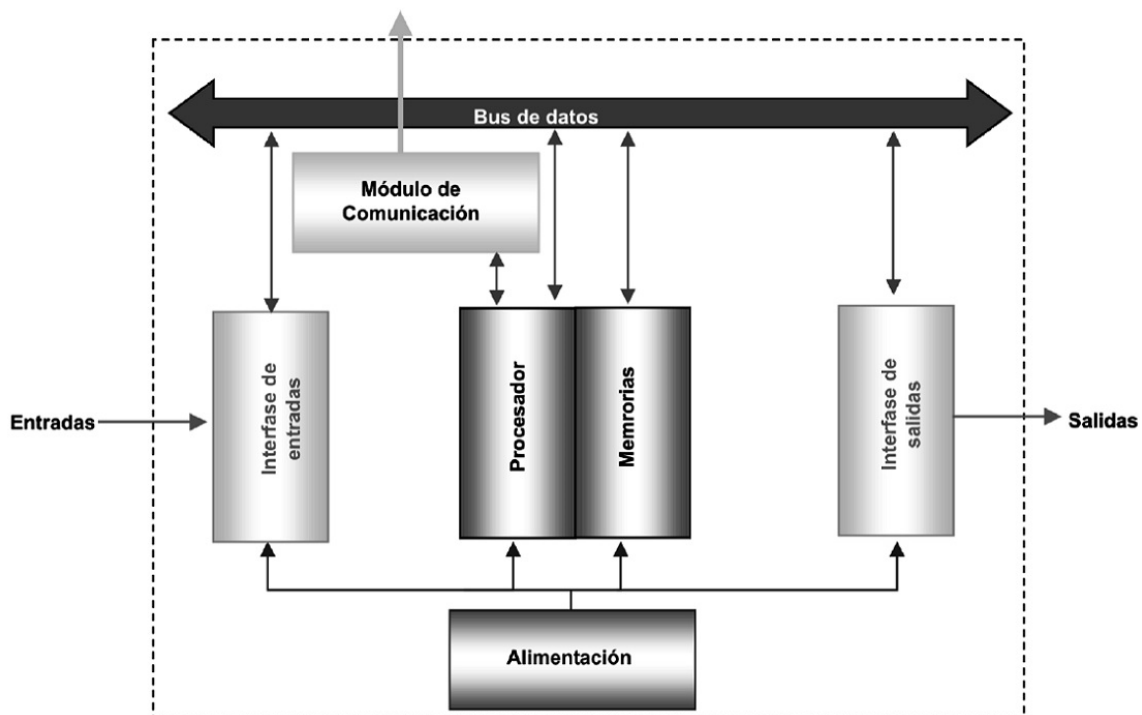


Figura 2: Componentes principales de un PLC. (Bolton, 2015).

1. Ensamble de módulos: prácticamente la parte en la que van conjuntas todas las partes del PLC, ya que se junta el módulo donde se encuentra el procesador, la fuente de alimentación, y las entradas y salidas del mismo. El tamaño del PLC depende muchas veces de la cantidad de módulos que se tengan de las IO ya que muchos de ellos tienen la opción de extender los módulos para conveniencia de la aplicación. Su instalación es sencilla, ya que solamente se inserta el módulo en la parte indicada de la tarjeta madre, y tras la configuración correspondiente en software, se puede comenzar a trabajar con las IO adicionales. (Ephrem & Mohammad, 2016).

2. Fuente de alimentación: como su nombre lo indica, es la parte del controlador que recibe el voltaje AC de la toma de corriente para darle salida al voltaje DC (*direct current*) necesario para lograr el funcionamiento del dispositivo. (Bolton, 2015).

3. Dispositivo de programación: se puede decir que es lo que nos permite ingresar el programa a ejecutar en el PLC. (Bolton, 2015). Para ello existen diversas técnicas, las cuales varían entre las preferencias de los usuarios, por ejemplo, y sobre todo anteriormente, se utilizaban unos dispositivos con teclado y una pequeña pantalla que iban mostrando una pequeña parte del programa. Actualmente, lo más común es utilizar una PC

(*laptop*) para realizar la programación y de igual manera descargarla en el dispositivo, misma que es más práctica de utilizar y permite al operador una mejor visión del programa si es que se llega a presentar alguna falla. (Ephrem & Mohammad, 2016). La *PC* utiliza diversos tipos de medios de comunicación hacia el *PLC*, los cuales varían desde puertos seriales (los cuales deben ser configurados en el *software* para establecer la comunicación), hasta comunicación por medio de conectores *USB (Universal Serial Bus)*, lo cual representa una ventaja, ya que todas las computadoras actuales poseen puertos de este tipo y prácticamente no necesitan configuración.

4. Sección de entradas y salidas: mediante estos módulos, se reciben las señales físicas a monitorear por el procesador, las cuales son necesarias para que la programación funcione; de igual manera se externalizan las señales que llegan al estado “verdadero” interno para activar o hacer funcionar lo que corresponda dependiendo de la programación. (Bolton, 2015). Por lo general, se conocen dos tipos, los compactos y los modulares. En cuanto a los compactos, se refiere a que, por diseño de fábrica, el *PLC* cuenta con determinadas entradas y salidas, las cuales siempre serán las mismas en cuanto a cantidad, impidiendo su expansión; los modulares son los que presentan la flexibilidad de ser tan extensos o sencillos como el operador lo necesite. Es necesario agregar que se debe tener protección hacia los componentes internos del *PLC*, electrónicamente hablando, por lo que estos módulos cuentan con un sistema de opto-aislamiento; si se está manejando *DC*, se utiliza un fototransistor; para *AC*, se utiliza un *TRIAC*. (Ephrem & Mohammad, 2016).

Para las entradas, existen dos tipos de captadores (sensores, interruptores, pulsadores), ya sea activos o pasivos; ambos se diferencian solamente por su sistema de activación. Para las salidas, dependiendo de la aplicación que se le dé, se tienen las salidas a relevador, a *TRIAC* y a transistor, las cuales se caracterizan dependiendo de la aplicación que se desee manejar. (Ephrem & Mohammad, 2016). En las salidas a relevador, la señal de la salida del *PLC* se utiliza para operar un relevador y es capaz de manejar algunos amperes en un circuito externo. Mediante este tipo de salida, se protege al *PLC* de cualquier circuito externo. Sin embargo, los relevadores tienden a ser algo lentos en cuanto a su operación, al mismo tiempo que son ideales para manejar conmutaciones de corriente alterna y directa. (Bolton, 2015). Mediante la salida a transistor, se utiliza el mismo para conmutar un circuito externo. Son considerablemente más rápidos que los relevadores, pero, solamente funcionan con corriente directa, y pueden ser dañados fácilmente por una sobrecarga. Se

recomienda utilizar fusibles u optoacopladores para su protección. (Bolton, 2015). Las salidas *TRIAC*, con optoacopladores para protección, son usados para control de cargas externas que están conectadas a una fuente de corriente alterna. Solamente funcionan con este tipo de corriente, e igualmente son sensibles a cualquier tipo de sobrecarga. (Bolton, 2015).

Otra clasificación se deriva dependiendo del tipo de *IO*'s utilizadas, las cuales se pueden clasificar en:

Entradas y salidas analógicas. En un principio solo se manejaban los estados de “encendido” y “apagado” en la recepción de entradas o distribución de salidas, impidiendo que el *PLC* pudiera tener total control del proceso en sí. Señales analógicas se refiere a, por ejemplo, temperatura, presión, velocidad, entre otras, las cuales ya sea que se incrementen o decrementsen, arrojan una medida de voltaje diferente con valores continuos. (Ephrem & Mohammad, 2016), (Bolton, 2015).

Entradas y salidas digitales. Como se ha venido comentando, detectan la ausencia o presencia de un cierto voltaje (generalmente 24 V) los cuales se traducen en un “encendido”, “ON” o bien un “1” lógico.

5. CPU (Central Processing Unit): en pocas palabras, es el cerebro del *PLC*. El *CPU* se encarga de procesar todas las operaciones internas e interpreta las instrucciones del programa establecidas del operador, para así comparar las entradas y salidas y generar los procesos correspondientes. Se compone de tres puntos principales, que son: procesador, *ALU* (unidad aritmética lógica) y memoria *RAM* (*Random Access Memory*).

6. Procesador: está constituido por un microprocesador y se encarga de operaciones internas, como, por ejemplo, coordinar *ALU* o memorias.

7. Memoria RAM: se encarga de retener momentáneamente la información mientras las acciones o decisiones se realizan en el programa (Ephrem & Mohammad, 2016). Las memorias del *PLC* deben ser capaces de almacenar datos del proceso (señales de entrada y salidas, variables internas, datos alfanuméricos) y datos de control (Instrucciones de usuario, configuraciones).

2.2.6 “Sourcing” y “sinking”.

Los términos “sourcing” y “sinking” son usados para describir la manera en la que algún dispositivo de corriente directa se conecta a un PLC. En las figuras 3 y 4, se puede visualizar un ejemplo gráfico de lo que es *sourcing* y *sinking*. (Bolton, 2015).

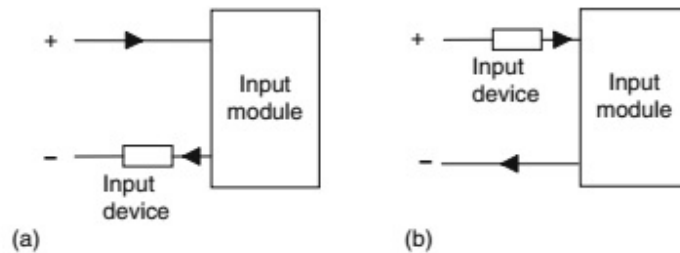


Figura 3: Ejemplos de entradas a) sourcing, b) sinking.

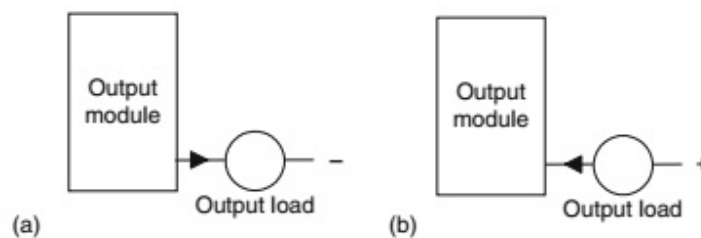


Figura 4: Ejemplos de salidas (a) sourcing, (b) sinking.

2.2.7 Programación de PLC.

El proceso para realizar la programación es simple; primeramente, se establece la comunicación entre el PLC y la PC, para la cual se necesita la programación, dependiendo del modelo, de ciertos puertos de la PC, o bien, realizar simples configuraciones de *software*, como el caso de las conexiones en puertos *USB*. De ahí, se envían las instrucciones del programa al *CPU*, el cual es convertido a pulsos electrónicos, los cuales se envían a las entradas y salidas correspondientes (Ephrem & Mohammad, 2016).

Los programas utilizados en el PLC pueden ser escritos en muchos tipos de formatos. Para facilitar el trabajo a las personas que no tienen mucha experiencia con programación, se creó la “lógica en escalera”. Muchos de los fabricantes de PLC adoptaron este método de escritura de programas debido a su facilidad; sin embargo, cada uno ha desarrollado sus

propias versiones, por lo que se ha adoptado un estándar internacional para la programación en escalera y todos los métodos utilizados para la programación del *PLC*. (Bolton, 2015).

2.2.8 Ciclos de operación de un *PLC*.

Un *PLC* trabaja continuamente leyendo un programa; los tres pasos de ciclo de operación de un *PLC* son (Khandagale & Korhale, 2011):

1. Tiempo de lectura de entradas. Tiempo requerido para verificar el *status* de la entrada y almacenarla en la memoria de datos.
2. Tiempo de ejecución de lectura. Tiempo requerido por el *PLC* para ejecutar la lógica del diagrama en escalera. El programa es ejecutado secuencialmente, comenzando desde la primera línea, hasta llegar a la última.
3. Tiempo de lectura de salidas. Tiempo requerido por el *PLC* para actualizar el estado de las salidas.

Teniendo en cuenta la información que ya se mencionó del *PLC*, dispositivo fundamental para el cumplimiento de la hipótesis de esta tesis, es importante revisar también el contenido general sobre el métrico (*OEE*) que quiere aumentarse concluido el proyecto, el cual proporcionará a través de sus valores la validación, ya sea exitosa o no, de la mejora.

2.3 El *OEE* y su historia.

En algún punto, todos los elementos de un sistema productivo merman su desempeño debido a su natural desgaste, dependiendo, en gran parte, a su instalación inicial y a su cuidado a lo largo de toda su etapa productiva. Derivado de ello, a mediados del siglo XX, emergen en Japón los primeros paradigmas para la gestión de mantenimiento, que han sustituido poco a poco el mantenimiento correctivo (reparar y/o intervenir cuando el equipo ya no está funcionando), por estrategias preventivas, predictivas, entre otras. Igualmente, dada la importancia que se la ha dado a este punto (mantenimiento), en su momento olvidado, dentro del proceso de manufactura, por fin se comienza a comprender que la base para el logro de objetivos de producción y el cumplimiento de altos niveles de calidad está en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos con los cuales se fabrica. (Guillén Barrios, 2015).

El funcionamiento básico de cualquiera de las actuales estrategias para la gestión de mantenimiento es íntegramente coordinado con la producción y el aseguramiento de la calidad. Para ello, es indispensable establecer indicadores o parámetros de operación que midan el desempeño de los equipos y sistemas de fabricación. Estos indicadores se miden con cierta frecuencia de forma que su comportamiento en el tiempo determine el resultado de la estrategia. (Guillén Barrios, 2015).

Como se menciona, es importante tener en cuenta indicadores que puedan ser medibles, a lo que actualmente se trabaja con un término mundialmente conocido, el *OEE*. El término *OEE* fue introducido por primera vez (como componente central de la metodología *TPM*) en el libro “*TPM tenkai*” (1982, JIPM Tokyo) de Seiichi Nakajima. Fue implementado por primera vez en la empresa *Toyota* en 1969 por el mismo autor, relacionando la disponibilidad de un proceso de fabricación respecto a su productividad y calidad. (Guillén Barrios, 2015). Al igual que *Toyota*, empresas como *Fuji Photo – Film*, *SEMATECH*, y una amplia variedad de investigadores, los cuales, al pasar los años, comenzaron a darse cuenta del impacto positivo que acarrearía la implementación de este tipo de métricos. (Dunn, 2014). Para finales del año 1980, los conceptos de *TPM* y *OEE* comenzaron a tomar un fuerte impacto en los países de occidente, mediante la introducción de diferentes artículos y libros publicados por el mencionado autor nipón. (Origin of OEE, 2017).

Ambos términos (*OEE* y *TPM*) son aplicados para mejorar la eficiencia del proceso, los cuales, para su implementación, según Hernández, Escobar, Larios y Noriega (2015) deben de verse involucrados todos los niveles de la organización, desde la contribución y liderazgo de la alta administración, hasta los niveles operativos que integran la empresa. Es importante la aplicación de programas y rutinas de mantenimiento que se enfoquen al mejoramiento de las operaciones, como también implementación de estándares de limpieza y acomodo y creación de la cultura del trabajo en equipo del área.

A pesar de todas las ventajas de los métricos como el *OEE*, es importante tener en cuenta que, aunque se manejen sistemas especializados para la recolección de grandes cantidades de datos, de acuerdo a Hedman, Subramaniyan y Almstrom (2016) si no se interpretan y definen correctamente los factores componentes del *OEE*, de nada servirán los datos, ya que no se podrán encontrar causas raíces de fallas ni se podrá aplicar la mejora constante dentro del proceso. Es muy importante el detalle en las pérdidas de

eficiencia de los equipos, ya que, de esta manera, la gerencia podrá tomar decisiones más acertadas en base a ellos.

Mejorar la eficiencia y disponibilidad de los equipos, aparte de utilizar tecnología y sistemas especializados para ello, se pueden utilizar técnicas sencillas, que aplicadas correctamente, pueden elevar también los niveles de *OEE*, tal como lo describen Antonioli, Ferreira y Silva (2017), los cuales implementaron mantenimiento autónomo como parte del *TPM* para aumentar niveles de disponibilidad y eficiencia de los equipos. Las fallas fueron más fáciles de detectar y los operadores se involucraban más con el equipo. El mantenimiento autónomo es un pilar del *TPM*, el cual, implementado correctamente en sus 8 fases, según Singh, Gohil, Desai y Shah (2013) aumentará positivamente el *OEE*, ya que éste es una medida de éxito del *TPM*. Igualmente, Mwanza y Mbohwa (2015) concuerdan en que la aplicación de la metodología antes mencionada es la mejor manera de hacer los equipos más eficientes y fomentar el trabajo en equipo al hacer partícipes a todas las áreas de trabajo.

Nakajima, define al *OEE* como la herramienta de medición fundamental para conocer el rendimiento productivo de la maquinaria industrial. Su reto fue aún mayor al crear un sentido de responsabilidad conjunta entre los operarios de las máquinas y los responsables de mantenimiento para trabajar en la mejora continua y optimizar la Eficacia General de los Equipos (*OEE*). Se puede definir también como un conjunto de métricos los cuales ayudan a determinar la efectividad de los procesos de manufactura que se estén utilizando; la efectividad general del equipo se reduce a: “un método de medición de desempeño productivo que integra datos de la disponibilidad del equipamiento, de la eficiencia del desempeño y de la tasa de calidad que se logra”. (Belohlavek, 2006).

Este concepto se centraliza en la idea de poder operar continuamente el equipo de manufactura a su máxima capacidad, los 365 días del año y las 24 horas al día. Obviamente, esto es prácticamente imposible, ya que en cualquier empresa se presentan conceptos que afectan, tales como el tiempo de inoperatividad de alguna máquina, o bien, algún defecto o falla que se pueda presentar. Para ello, el *OEE* ramifica el desempeño de una unidad o equipo de manufactura en 3 componentes medibles: la disponibilidad, desempeño y la calidad. (Dunn, 2014).

La correcta implementación de un sistema *OEE* repercute directamente en el rendimiento que se va a obtener del proceso de manufactura. Esto se debe a que se

reducen los tiempos en los que las máquinas están paradas, se identifican las causas por las que hay pérdidas de rendimiento (cuellos de botella y velocidades reducidas), y aumenta el índice de calidad del producto, minimizando retrabajos y pérdidas ocasionadas por elaboración de producto defectuoso. No sólo eso, mostrar información fiable en tiempo real del proceso aumenta significativamente la eficiencia de los empleados, y facilita su trabajo. El análisis de la causa raíz de las fallas debe enfocarse en el tipo y grado de pérdida, no en el porcentaje del *OEE* en sí. Se debe involucrar tanto producción como mantenimiento al momento de hacer las mejoras, mejorando cualquiera de los componentes del *OEE*. (Kumar, Mani, & Devraj, 2014).

En cuanto a las ventajas que tiene la implementación de este métrico sobre los operadores, se encuentra que el mismo comienza a familiarizarse con los aspectos técnicos de la máquina y la forma en la que procesa los materiales, así como el enfoque de atención en las pérdidas y a desarrollar un sentimiento cada vez más fuerte de propiedad con su máquina.

Adentrándose un poco en cuanto a la medición del *OEE*, se clasifican los distintos valores de la efectividad global de los equipos como: (Cruelles Ruiz, 2010).

1. $OEE < 65\%$. Inaceptable. Se producen pérdidas económicas de gran impacto. Muy baja competitividad.
2. $65\% < OEE < 75\%$. Regular. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Existen pérdidas económicas. Baja competitividad.
3. $75\% < OEE < 85\%$. Aceptable. En este caso, se debe continuar con las mejoras para superar el 85% y avanzar hacia la Clase Mundial. Se presentan leves pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
4. $85\% < OEE < 95\%$. Buena. Entra en valores de empresas de Clase Mundial. Buena competitividad.
5. $OEE > 95\%$. Excelencia. Valores de empresas de Clase Mundial. Excelente competitividad.

En conclusión, la efectividad global del equipo (*OEE*) es la mejor métrica disponible para optimizar los procesos de fabricación, y está relacionada directamente con los costos de operación. Dicha métrica, informa sobre las pérdidas y cuellos de botella del proceso, y enlaza la toma de decisiones financiera y el rendimiento de las operaciones de planta, ya que permite justificar cualquier decisión sobre nuevas inversiones. (Guillén Barrios, 2015).

Como se mencionaba anteriormente, los componentes del *OEE* son a) disponibilidad; b) eficiencia; y c) calidad.

2.3.1 Disponibilidad.

El término disponibilidad, aplicado a este contexto, indica la relación entre el tiempo que la máquina, teóricamente, pudo haber estado en operación, y el tiempo que realmente estuvo produciendo. Entre algunos de los puntos comunes que reducen la disponibilidad, se encuentran las fallas mecánicas o eléctricas, *set ups*, limpieza de área de trabajo entre cambios de órdenes, espera de material, entre otros. (Dunn, 2014).

De acuerdo a las investigaciones de Nakajima, se puede entender la disponibilidad mediante la evolución de una oración a otra: “si un equipo está descompuesto, no lo arregles”, para aplicarse a: “arregla el equipo antes de que afecte tu proceso de manufactura”. De acuerdo con lo anterior, es fundamental dar la importancia necesaria al mantenimiento, que todavía en muchas empresas, es un punto que no se aprovecha ni se toma en cuenta. (Dunn, 2014).

Los equipos siempre tendrán fallas; hay muchos factores que pueden influir en ello, mismas que pueden ocurrir en intervalos de tiempo que no se pueden definir con exactitud. Para ello, se han creado las rutinas de mantenimiento preventivo, las cuales, se encargan principalmente de tratar de prolongar esos intervalos, mediante la preservación del equipo y el cambio de algún elemento susceptible a fallo dentro de una rutina programada, más no cuando la falla ha tomado lugar. Se conoce también el mantenimiento predictivo, el cual se enfoca más en el monitoreo constante del equipo para identificar cualquier síntoma que indique la proximidad de alguna falla. (Dunn, 2014).

Es también importante tener en cuenta el inventario de partes de repuesto. Aunque el mercado global de equipamiento ha mejorado gracias a las herramientas en línea, siempre se deben considerar los tiempos de entrega, para no dejar equipos fuera del proceso por no tener la refacción a la mano. De igual manera, el control de piso para las entregas de material es muy importante; el “justo a tiempo” para los inventarios de materia prima, permite reducir costos y tiempos de espera en las líneas de producción. Los pronósticos para ello deben ser acordes, y al mismo tiempo permitir cierto grado de flexibilidad en caso de que se presente algún inconveniente para la entrega. (Dunn, 2014).

En los sistemas productivos, todos los equipos necesitan en algún momento que se le realicen actividades de mantenimiento y/o sustitución de piezas de repuesto, lo que hace necesario tener una buena estructura organizacional, así como personal capacitado para realizar las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo correspondientes. Cabe recalcar que cada vez que ocurren eventos no programados por fallas de equipos, se genera pérdida de tiempo de producción y producto fuera de especificaciones. (Guillén Barrios, 2015).

La fórmula para calcular la disponibilidad se desglosa en la ecuación 1: (Stamatis, 2010).

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo programado}} \quad (1)$$

O bien, dicho de otra forma, se tiene la ecuación 2:

$$Disponibilidad = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (2)$$

Otro aspecto importante a tomar en cuenta en cuanto a disponibilidad, es la confiabilidad, misma que abarca los conceptos de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad referentes a fallas. Contempla informes de fallo, análisis detallado y, por último, la definición de un sistema de acciones correctivas dentro de un circuito cerrado de información y actuación que proporciona un medio eficaz para la gestión de defectos de diseño. La fiabilidad de los equipos se define como la probabilidad de que una unidad de producto se desempeñe satisfactoriamente cumpliendo con su función durante un periodo de tiempo diseñado y bajo condiciones previamente especificadas. Una medida de la fiabilidad es el *MTBF* (ecuación 3); ésta se refiere al tiempo transcurrido entre fallas sucesivas de un producto reparable. Sea que existe un periodo de tiempo en el cual el producto o pieza fallada es reparada. Se busca en estos casos desarrollar metodologías que agilicen el tiempo de reparación, ya que mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. (Acuña Acuña, 2003):

$$MTBF = MTTF + MTTR = \frac{1}{\lambda} = (\text{Tiempo operativo}) / (\text{Número de fallos}) \quad (3)$$

Otro concepto importante es la mantenibilidad; ésta se define como la probabilidad de que el equipo, después de un fallo o avería sea puesto en estado de funcionamiento en un tiempo dado (ecuación 4). La mantenibilidad es la capacidad de que un equipo sea mantenido o reparado preventiva y correctivamente con objeto de mejorar su disponibilidad. Durante el proceso de diseño se debe considerar la mantenibilidad como un criterio fundamental para conseguir calidad de servicio y ahorro de costos en el futuro. La experiencia ha demostrado que un ahorro en la inversión inicial puede suponer un gasto mucho mayor en mantenimiento. (Vergara Lazcano, 2014). Una medida de la mantenibilidad es el *MTTR*, el cual se define como el tiempo promedio para restaurar la función de un equipo, maquinaria, línea o proceso de una falla funcional. Incluye tiempo para analizar y diagnosticar la falla, tiempo para conseguir la refacción, tiempo de planeación, etc. Se define también como el intervalo de tiempo obtenido dividiendo el tiempo total de las reparaciones entre el número total de fallas en un sistema. (Acuña Acuña, 2003).

$$MTTR = \frac{1}{\mu} = (\textit{Tiempo reparación}) / (\textit{Número de fallos}) \quad (4)$$

Como se mencionó, la disponibilidad es la probabilidad, en el tiempo, de asegurar un servicio requerido. Hay autores que definen la disponibilidad como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al parque total de equipos o sistemas. No obstante, hay que analizar la disponibilidad teniendo en cuenta o no el mantenimiento preventivo, o, mejor dicho, los paros ocasionadas por dicho preventivo. En la figura 5, se muestran los conceptos mencionados de forma gráfica.

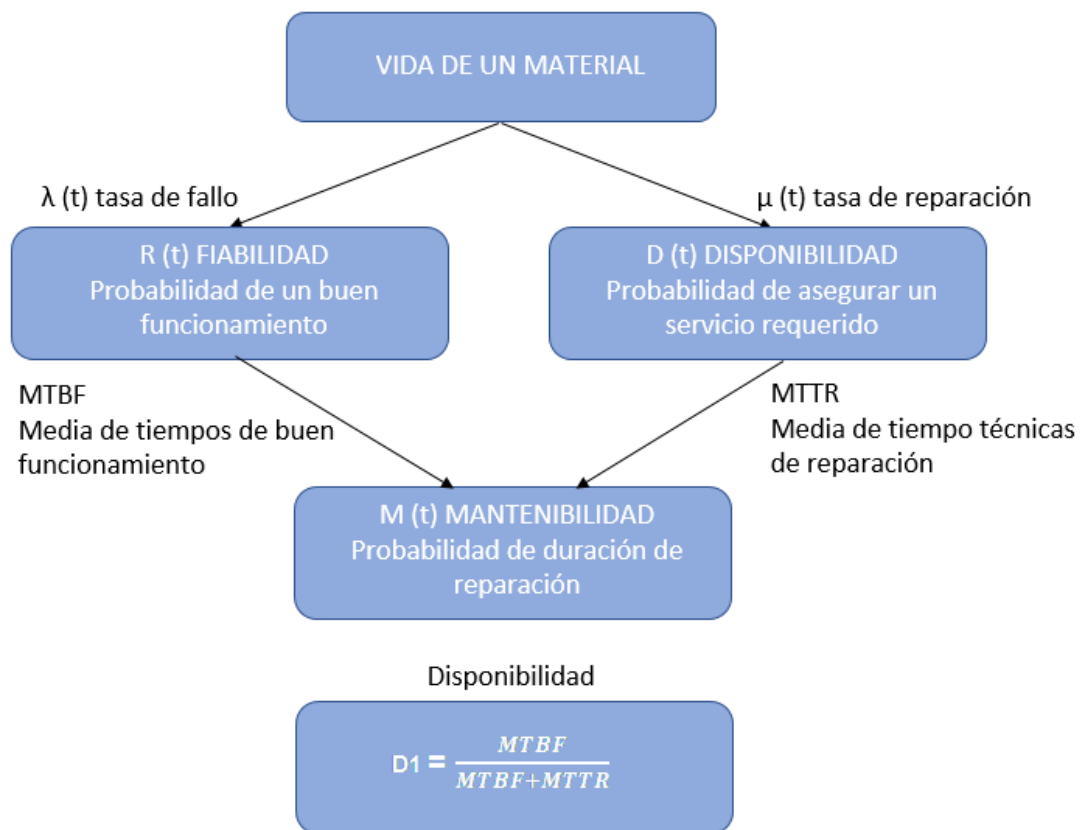


Figura 5: Desglose de los componentes de la ecuación de la disponibilidad. (González Fernández, 2005).

En la expresión de la disponibilidad, el *MTTR* engloba todos los paros del sistema, equipo o instalación. De este razonamiento se deduce que, en este aspecto, habrá dos tasas de control asociados al mantenimiento, a saber, se muestra la ecuación 5. (González Fernández, 2005):

$$D1 = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR1} \quad (5)$$

Donde R1 son las reparaciones asociadas a fallos o averías (ecuación 6):

$$D1 = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR2} \quad (6)$$

Donde R2 son las revisiones sistemáticas preventivas.

Como $MTTR = MTTR1 + MTTR2$, se tienen tres líneas de mejora de la disponibilidad:

1. Mejora asociada a reducir cuantitativamente el número de fallos que redundará en aumentar el *MTBF*.
2. Mejora asociada a disminuir los *MTTR1* o a reducir tiempos de reparación de averías.
3. Mejora asociada a disminuir los *MTTR2*, o a reducir las paralizaciones por mantenimientos preventivos mediante programaciones de actividades más a la medida (predictivas), reduciendo o eliminando el preventivo que no añada valor, o atomizando los planes de mantenimiento en pequeñas operaciones que puedan programarse aprovechando otras paradas. (González Fernández, 2005).

Otro concepto importante es el *MTTF*, el cual se traduce como el Tiempo medio transcurrido para la falla de un producto o pieza no reparable. Por lo tanto, al fallar el producto o pieza, ésta es sustituida por otra de iguales características y funciones, en un tiempo que puede o no ser despreciable. Este último tiempo depende de la complejidad de sustitución, pero su comportamiento es más determinístico que probabilístico. (Acuña Acuña, 2003). Cuando el tiempo requerido para reparar o reemplazar un dispositivo en falla es muy pequeño comparado al *MTTF*, el *MTTF* también representa el *MTBF*. Cuando el tiempo de reparación no puede ser ignorado, el *MTBF* incluye el *MTTR* (ecuaciones 7 y 8) (Rausand, 2004).

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (7)$$

$$MTTF = (\text{Tiempo Operativo} - \text{Tiempo reparación}) / (\text{Número de fallos}) \quad (8)$$

Falla es un evento que ocurre sobre un producto o proceso que hace que éste salga abrupta o paulatinamente fuera de servicio, provocando toda clase de acciones improductivas que se reflejan en el costo y en el comportamiento productivo de sistemas. Las fallas pueden ser causadas por agentes internos o externos y la función esencial de un sistema de confiabilidad es detectar esas fuentes y poner controles sobre ellas. Las fallas se pueden cuantificar en ocurrencia o con el tiempo. La función de falla se denota por $f(t)$. La razón de falla o de daño es la razón de cambio de número de unidades que han fallado en una prueba de laboratorio o de campo sobre el número de unidades que han sobrevivido a esa prueba en un cierto periodo de tiempo. Es un valor que puede tener una magnitud superior a uno pero que es deseable que sea cercana a cero. Se denota por $\lambda(t)$.

La tasa de fallos se conoce como se tiene en la ecuación 9. (González Fernández, 2005):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (9)$$

2.3.2 Desempeño.

¿Qué tan rápido está corriendo la máquina? Dentro de los indicadores de desempeño, “la producción ideal” se refiere a lo que la máquina pudo haber entregado (en términos de producción) si ésta trabajara a su máxima velocidad durante el tiempo establecido para ello. (Dunn, 2014). Algunos de los puntos que afectan la disponibilidad, son los micro paros, la reducción de velocidad y los cambios de rollo, mismos que se traducen en el verdadero indicador de la misma.

El monitoreo del desempeño de una operación de manufactura brinda una perspectiva de cómo se pueden mejorar ciertos puntos que disminuyen la disponibilidad, mismos que aparentemente pueden parecer insignificantes, pero que, al ser identificados, pueden mejorar el proceso sin necesidad de una gran inversión o cambios radicales dentro del mismo. (Dunn, 2014). Por ejemplo, aplicando la enunciación del principio, si se sabe el por qué un operador registró algún micro paro, se puede trabajar para encontrar alguna solución para que no lo haya, o bien, reducir aún más el tiempo del mismo.

Algunos otros puntos a considerar en el desempeño de la manufactura son: (Dunn, 2014).

1. Automatizar equipo no sirve de nada si no se agrega a un plan establecido de producción.
2. Si el equipo corre un producto equivocado (o el correcto, pero mal) repercute en costos, tiempos muertos y desperdicio de materiales.
3. Reducciones en tiempos de *set up* mediante la técnica de “*quick changeover*”.
4. Reducir tiempos de limpieza y preparación de lugar de trabajo para la siguiente carga de producción.

La fórmula para calcular el rendimiento es la expuesta en la ecuación 10. (Stamatis, 2010):

$$Desempeño = \frac{\text{Capacidad real}}{\text{Capacidad estándar}} \quad (10)$$

2.3.3 Calidad.

Es la relación entre el número de unidades producidas y el número de unidades que cumplen las especificaciones lo que conforma el métrico de calidad. El último número engloba deducciones de productos para desechar (*scrap*) y las de re-trabajo. (Dunn, 2014).

La fórmula para la calidad es la descrita en la ecuación 11. (Stamatis, 2010).

$$Calidad = \frac{\text{Unidades buenas}}{\text{Unidades fabricadas}} \quad (11)$$

En tal sentido, el cálculo de la efectividad global del equipo (*OEE*) se representa de la siguiente manera:

Englobando las pérdidas por componente de *OEE* (Stamatis, 2010), de acuerdo a la figura 6:

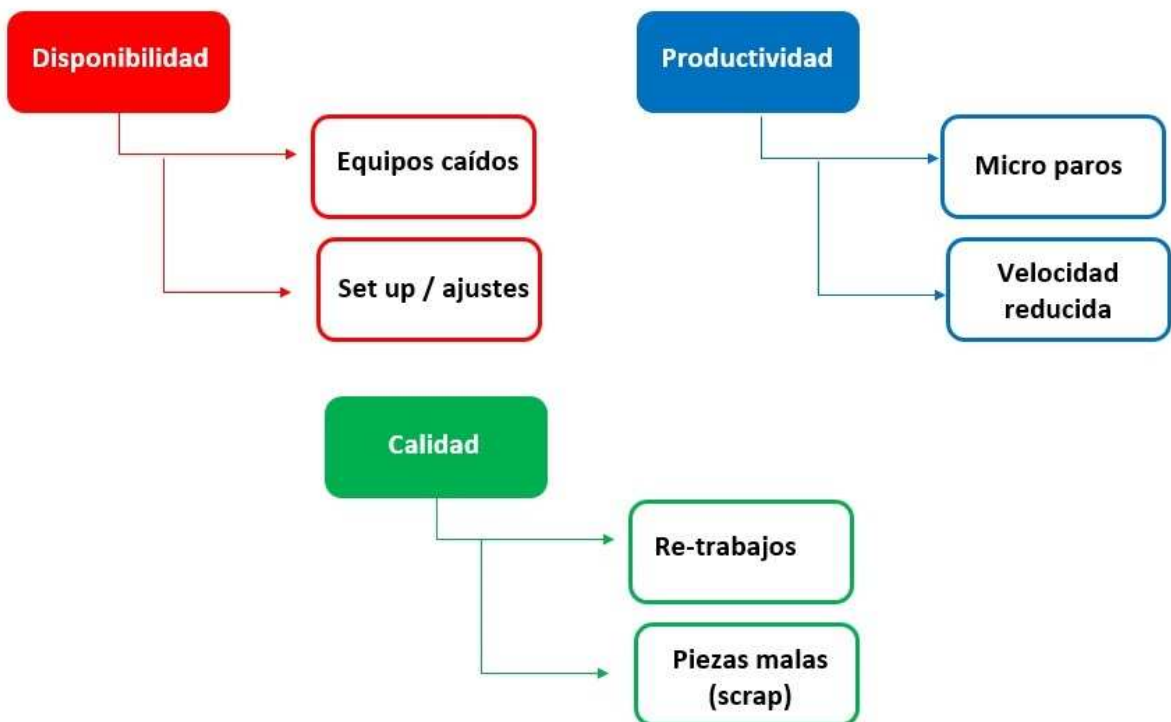


Figura 6: Se muestran, por separado, las pérdidas por componente de OEE.

Resultado de OEE mostrado en ecuación 12:

$$\text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad} = \%OEE \quad (12)$$

2.4.- Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad

Durante los últimos veinte años el mantenimiento ha cambiado quizá más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acortado el costo.

La moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento), las estrategias (definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir esas metas u objetivos), y las responsabilidades en la gestión. Lo anterior permitirá luego, en el día a día, implementar estas estrategias planificando, programando y controlando la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora, teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización. (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012).

Como se mencionaba anteriormente, si algo no se puede medir, no se puede mejorar, por lo que se han desglosado en párrafos anteriores fórmulas y pruebas matemáticas para validar datos, los cuales, mediante análisis estadísticos, pueden arrojar información muy acertada sobre los problemas raíces y sobre las decisiones que se deben tomar para mejorar los procesos. Amir Azizi (2015) realizó una evaluación de la implementación de análisis estadísticos para medición de resultados de TPM en una empresa manufacturera, el cual permitió verificar qué tanto había mejorado la eficiencia y qué tanto habían

disminuido los defectos. A continuación, se mostrarán las herramientas estadísticas y métodos que se utilizaron en el estudio de esta tesis.

2.5.- Pruebas de hipótesis

La hipótesis es un enunciado acerca de algún parámetro el cual debe ser aceptado o rechazado; el procedimiento para tomar decisiones acerca de la hipótesis se llama prueba de hipótesis. Se trata de uno de los aspectos más útiles de la inferencia estadística, ya que muchos problemas de toma de decisiones, pruebas o experimentos pueden formularse como problemas de prueba de hipótesis. (Montgomery & Runger, 2013).

Los procedimientos de prueba de hipótesis se basan en el uso de información contenida en una muestra aleatoria de la población de interés. Si esta información es consistente con la hipótesis, entonces se concluirá que la hipótesis es verdadera; sin embargo, si esta información no es consistente con la hipótesis, se concluirá que la hipótesis es falsa. Se hace hincapié en que el carácter verdadero o falso de una hipótesis particular nunca puede conocerse con toda certeza, a menos que pueda examinarse la población completa, lo cual suele ser imposible en la mayoría de las situaciones prácticas. Por lo tanto, el procedimiento para la prueba de hipótesis debe realizarse teniendo en mente la probabilidad de llegar a una conclusión incorrecta. (Montgomery & Runger, 2013).

El proceso de toma de decisiones para una prueba de hipótesis se puede basar en el valor de probabilidad (valor p) para la prueba específica. Si el valor p es menor o igual a un nivel predeterminado de significancia (nivel α), se rechaza la hipótesis nula y da crédito a la alternativa; si el valor p es mayor que el nivel α , no se rechaza la hipótesis nula y no se puede dar crédito a la hipótesis alternativa.

La estructura de los problemas de prueba de hipótesis es idéntica en todas las aplicaciones que se consideran en este texto. La hipótesis nula es la hipótesis que quiere probarse. El rechazo de la hipótesis nula siempre lleva a aceptar la hipótesis alternativa (Montgomery & Runger, 2013).

Se recomienda el uso de la siguiente serie de pasos al aplicar la metodología para la prueba de hipótesis (Montgomery & Runger, 2013):

1. Por el contexto del problema, identificar el parámetro de interés.
2. Establecer la hipótesis nula H_0 .
3. Especificar una hipótesis alternativa apropiada, H_1 .

4. Elegir un nivel de significación α .
5. Establecer un estadístico de la prueba apropiado.
6. Establecer la región de rechazo del estadístico.
7. Calcular las cantidades muestrales necesarias, sustituirlas en la ecuación del estadístico de prueba, y calcular ese valor.
8. Decidir si deberá rechazarse o no H_0 y contextualizar la decisión en el problema.

El nivel de significancia se designa con la letra griega α e indica que tan grande o pequeña deber ser la diferencia con respecto a lo planteado por la hipótesis nula como para que sea rechazada dado que sea correcta. Una forma de reportar los resultados de una prueba de hipótesis es enunciando que la hipótesis nula fue rechazada o no en un valor α o nivel de significación especificado. Este enunciado de las conclusiones con frecuencia es inadecuado, pues no le da al responsable de tomar decisiones ninguna idea acerca de si el valor calculado del estadístico de prueba apenas llegó a la región de rechazo si se adentró bastante en ella. (Montgomery & Runger, 2013).

A fin de evitar estas dificultades, en la práctica se ha adoptado de manera generalizada el enfoque del valor p . El valor p es la probabilidad de que el estadístico de prueba tome un valor que es al menos tan extremo como el valor observado del estadístico cuando la hipótesis nula H_0 es verdadera. Por tanto, un valor p comunica bastante información acerca del peso de la evidencia en contra de H_0 , y así el responsable de tomar decisiones puede sacar una conclusión con cualquier nivel de significación especificado. (Montgomery & Runger, 2013).

Se acostumbra llamar “significativo” al estadístico de la prueba (y a los datos) cuando la hipótesis nula H_0 es rechazada; por lo tanto, el valor p puede considerarse como el nivel α más bajo en el que los datos son significativos. Cuando se conoce el valor p , el responsable de las decisiones puede determinar por sí mismo qué tan significativos son los datos sin que el analista le imponga un nivel de significación preseleccionado. (Montgomery & Runger, 2013).

2.6.- Inferencia sobre la media de una población, varianza conocida

Se consideran las inferencias acerca de la media μ de una sola población cuando se conoce la varianza poblacional σ^2 . Se partirá del supuesto que se ha tomado una muestra

aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n de la población. Suponiendo que se quieren probar las hipótesis (ecuación 13) (Montgomery & Runger, 2013):

$$\begin{aligned} H_0: \mu &= \mu_0 \\ H_1: \mu &\neq \mu_0 \end{aligned} \tag{13}$$

donde μ_0 es una constante dada. Se tiene una muestra aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n de la población. Puesto que \bar{x} tiene una distribución normal aproximada con media μ_0 y desviación estándar σ/\sqrt{n} si la hipótesis nula es verdadera, sería posible construir una región crítica basada en el valor calculado de la media muestral \bar{x} .

Es más conveniente estandarizar la media muestral y utilizar un estadístico de prueba basado en la distribución normal estándar. Es decir, en el procedimiento de prueba de $H_0: \mu = \mu_0$ se utilice el estadístico de prueba de la ecuación 14.

$$Z_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \tag{14}$$

Si la hipótesis nula $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera, entonces $E(\bar{X}) = \mu_0$, y se sigue que la distribución de Z_0 es la distribución normal estándar (denotada $N(0,1)$). Por consiguiente, si $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera, la probabilidad de que el estadístico de la prueba Z_0 esté entre $-z_{\alpha/2}$ y $z_{\alpha/2}$ es $1-\alpha$, donde $z_{\alpha/2}$ es el punto porcentual $100\alpha/2$ de la distribución normal estándar. La probabilidad de que el estadístico de la prueba Z_0 esté en la región $Z_0 > z_{\alpha/2}$ o $Z_0 < -z_{\alpha/2}$ es α cuando $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera. Una muestra que produzca un valor estadístico de prueba que esté en las colas de la distribución de Z_0 sería extraño si $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera; por lo tanto, se trata de un indicio de que H_0 es falsa. Así, H_0 deberá rechazarse si se cumple:

$$Z_0 > z_{\alpha/2} \tag{15}$$

o si

$$Z_0 < -z_{\alpha/2} \tag{16}$$

y no podrá rechazarse H_0 si:

$$-z_{\alpha/2} \leq Z_0 \leq z_{\alpha/2} \quad (17)$$

La ecuación 17 define la región de aceptación de H_0 , y las ecuaciones 15 y 16 definen la región crítica o región de rechazo. (Montgomery & Runger, 2013). En la figura 7 se muestran gráficamente las ecuaciones anteriores.

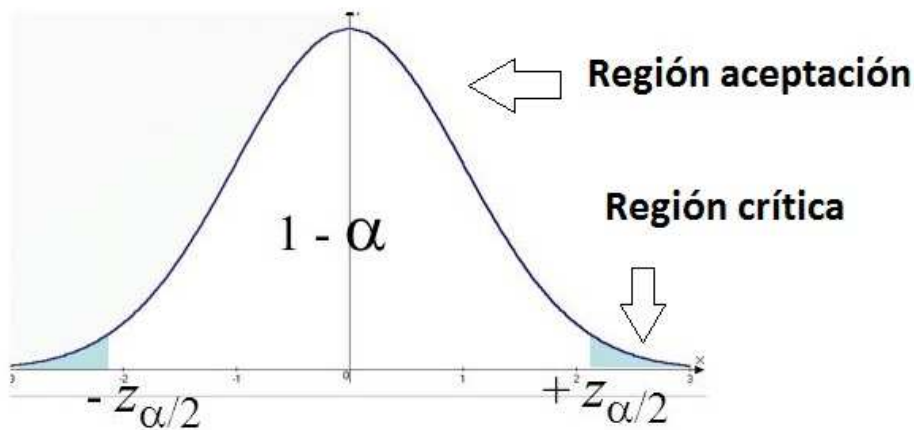


Figura 7: La distribución de Z_0 cuando $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera, con la región crítica para $H_1: \mu \neq \mu_0$. (Montgomery & Runger, 2013).

2.7.- Inferencia para la diferencia en medias, varianzas conocidas.

Se pretende probar que la diferencia de las medias $\mu_1 - \mu_2$ es igual a un valor específico Δ_0 . Por tanto, la hipótesis nula se enunciará como: $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$. En muchos casos se especificará $\Delta_0 = 0$, de tal modo que se estaría probando la igualdad de las dos medias (es decir, $H_0: \mu_1 = \mu_2$). El estadístico de prueba apropiado se encontraría sustituyendo $\mu_1 - \mu_2$ con Δ_0 en la ecuación 18, y este estadístico de prueba tendría una distribución normal estándar bajo H_0 . La hipótesis alternativa sería $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$. Ahora bien, un valor muestral $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ que difiera considerablemente de Δ_0 es evidencia que H_1 es verdadera.

Se tomarían $-z_{\alpha/2}$ y $z_{\alpha/2}$ como los límites de la región crítica (Montgomery & Runger, 2013).

$$Z_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \Delta_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (18)$$

2.8.- Inferencia sobre la media de una población, varianza desconocida.

Para este tema, se tiene el supuesto de que la población de interés tiene una distribución normal con media μ y varianza σ^2 desconocidas. Quiere probarse la hipótesis de que μ es igual a una constante μ_0 . Se supone que se cuenta con una muestra aleatoria de tamaño n , x_1, x_2, \dots, x_n , y sean \bar{X} y S^2 la media y la varianza muestrales, respectivamente. (Montgomery & Runger, 2013).

Se probará la hipótesis alternativa de dos colas (ecuación 19):

$$\begin{aligned} H_0: \mu &= \mu_0 \\ H_1: \mu &\neq \mu_0 \end{aligned} \quad (19)$$

Si se conoce la varianza σ^2 , el estadístico de la prueba es:

$$Z_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (20)$$

Cuando no se conoce σ^2 , un procedimiento lógico es reemplazar σ en la ecuación 20 con la desviación estándar muestral S . Entonces, el estadístico de prueba es el mostrado en la ecuación 21:

$$T_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (21)$$

En el apéndice A se presentan los puntos porcentuales de la distribución t . Se hará que $t_{\alpha,k}$ sea el valor de la variable aleatoria T con k grados de libertad arriba del cual se encuentra un área α . Por tanto, $t_{\alpha,k}$ es un punto porcentual 100α de la cola superior de la distribución t con k grados de libertad. Se ilustra en la imagen 8 ese punto porcentual:

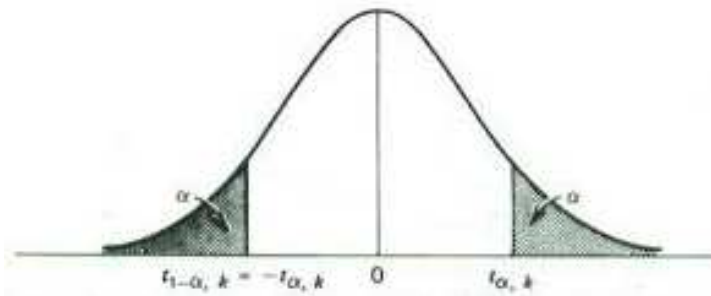


Figura 8: Puntos porcentuales de la distribución t . (Montgomery & Runger, 2013).

Para la tabla del apéndice A, los valores α son los encabezados de las columnas, y los grados de libertad se enlistan en la columna izquierda.

Puesto que la distribución t es simétrica alrededor de cero, se tiene $t_{1-\alpha} = -t_{\alpha}$; es decir, el valor t que tiene un área de $1-\alpha$ a la derecha (y por lo tanto un área de α a la izquierda) es igual al negativo del valor t que tiene un área α en la cola derecha de la distribución, como se observa en la figura 8. (Montgomery & Runger, 2013).

Se observa ahora que la distribución del estadístico de la prueba de la ecuación 22 es t con $n-1$ grados de libertad si la hipótesis nula $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera. Para probar $H_0: \mu = \mu_0$, se calcula el valor del estadístico de prueba t_0 en la ecuación 22 y H_0 se rechaza si:

$$t_0 > t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \quad (22)$$

o si

$$t_0 > -t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \quad (23)$$

donde $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ y $-t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ son los puntos porcentuales $100\alpha/2$ superior e inferior de la distribución t con $n-1$ grados de libertad definidos arriba. (Montgomery & Runger, 2013).

Para la hipótesis alternativa de una cola en la ecuación 24:

$$H_0: \mu = \mu_0 \quad (24)$$

$$H_1: \mu > \mu_0$$

se calcula el estadístico de prueba t_0 , utilizando la ecuación 21 y H_0 se rechaza si (ecuación 25):

$$t_0 > t_{\alpha, n-1} \quad (25)$$

Para la otra hipótesis alternativa de una cola (ecuación 26):

$$H_0: \mu = \mu_0 \quad (26)$$

$$H_1: \mu < \mu_0$$

H_0 se rechaza si se da la ecuación 27:

$$t_0 < t_{\alpha, n-1} \quad (27)$$

2.9.-Inferencia para la diferencia en medias, varianzas desconocidas.

Se considera la prueba de hipótesis sobre la diferencia en las medias $\mu_1 - \mu_2$ de dos distribuciones normales donde las varianzas σ_1^2 y σ_2^2 son desconocidas. Se usará un estadístico t para probar esta hipótesis. Suponiendo que las varianzas son desconocidas, pero iguales, se quiere probar que $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$ y $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$ con una muestra aleatoria de n_1 observaciones de la primera población y una muestra aleatoria de n_2 observaciones de la segunda población. El estadístico de prueba resultante tiene una distribución t con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad (ecuación 28): (Montgomery & Runger, 2013).

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \Delta_0}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (28)$$

Para la región de rechazo, se tomará $t_0 > t_{\frac{\alpha}{2}, n_1+n_2-2}$ y $t_0 < -t_{\frac{\alpha}{2}, n_1+n_2-2}$.

2.10.- Comparación de dos varianzas poblacionales.

Una forma de comparar dos varianzas poblacionales, σ_1^2 y σ_2^2 , es usar la razón entre las varianzas muestrales, $\frac{S_1^2}{S_2^2}$; si el resultado es casi igual a 1, se encuentra poca evidencia para indicar que σ_1^2 y σ_2^2 son iguales. Por otra parte, un valor muy grande o muy pequeño para $\frac{S_1^2}{S_2^2}$

da evidencia de una diferencia en las varianzas poblacionales. La hipótesis nula sería: $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ y la alternativa $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$. Cuando muestras aleatorias se sacan de entre dos poblaciones normales con varianzas iguales, entonces $\frac{s_1^2}{s_2^2}$ tiene una distribución de probabilidad en un muestreo repetido que los estadísticos conocen como distribución F . (Mendenhall, Beaver, & Beaver, 2010).

Al igual que la distribución χ^2 , la forma de distribución F no es simétrica y depende del número de grados de libertad representados como $df_1 = (n_1 - 1)$ $df_2 = (n_2 - 1)$. En la tabla del apéndice B, los valores críticos de F para áreas de cola derecha correspondientes a $\alpha = .100, .050, .025, .010$ y 0.005 están tabulados para grados de libertad df_1 del numerador en el margen superior y df_2 del denominador a lo largo del margen lateral. El estadístico de prueba utilizado es (ecuación 29) (Mendenhall, Beaver, & Beaver, 2010):

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (29)$$

Para la región de rechazo, se tiene que $F > F_{\alpha/2}$ o $p < \alpha$.

2.11.- Distribución normal

La distribución de probabilidad más usada para describir variables aleatorias continuas es la distribución de probabilidad normal. La distribución normal tiene gran cantidad de aplicaciones prácticas, en las cuales la variable aleatoria puede ser el peso o la estatura de las personas, puntuaciones de exámenes, resultados de mediciones científicas, precipitación pluvial u otras cantidades similares. La distribución normal también tiene una importante aplicación en inferencia estadística. En estas aplicaciones, la distribución normal describe qué tan probables son los resultados obtenidos de un muestreo (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).

Un resultado fundamental, conocido como el teorema del límite central, implica que los histogramas con frecuencia tienen una forma de campana característica, al menos aproximadamente. Siempre que se hace la repetición de un experimento aleatorio, la variable aleatoria es igual al resultado promedio (o total) en las repeticiones tiende a tener una distribución normal, cuando el número de repeticiones es grande (Montgomery & Runger, 2013).

Características especiales:

1. Toda la familia de distribuciones normales se diferencia por medio de dos parámetros: la media μ y la desviación estándar σ .
2. El punto más alto de una curva normal se encuentra sobre la media, la cual coincide con la mediana y la moda.
3. La media de una distribución normal puede tener cualquier valor: negativo, positivo o cero.
4. La distribución normal es simétrica, siendo la forma de la curva normal al lado izquierdo de la media, la imagen especular de la forma al lado derecho de la media. Las colas de la curva normal se extienden al infinito en ambas direcciones y en teoría jamás tocan el eje horizontal.
5. La desviación estándar determina qué tan plana y ancha es la curva normal. Desviaciones estándar grandes corresponden a curvas más planas y más anchas, lo cual indica mayor variabilidad en los datos.
6. Las probabilidades correspondientes a la variable aleatoria normal se dan mediante áreas bajo la curva normal. Toda el área bajo la curva de una distribución normal es 1. Como esta distribución es simétrica, el área bajo la curva y a la izquierda de la media es 0.50 y el área bajo la curva y a la derecha de la media es 0.50.

Los porcentajes de los valores que se encuentran en algunos intervalos comúnmente usados se pueden observar en la figura 9, los cuales se desglosan a continuación:

- 68.3% de los valores de una variable aleatoria normal se encuentran más o menos una desviación estándar de la media.
- 95.4% de los valores de una variable aleatoria normal se encuentran más o menos dos desviaciones estándar de la media.
- 99.7% de los valores de una variable aleatoria normal se encuentran más o menos tres desviaciones estándar de la media. (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).

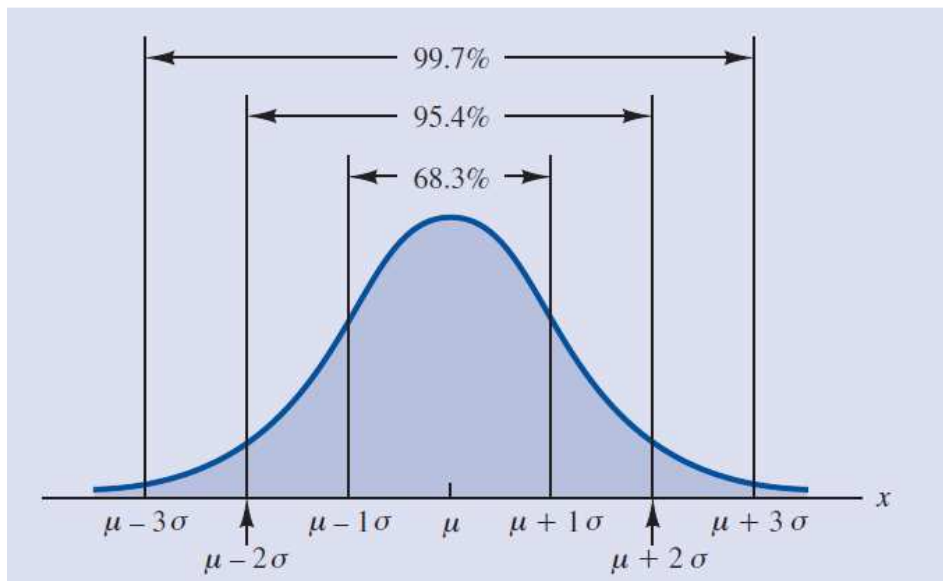


Figura 9: Porcentajes de valores donde comúnmente se encuentran los intervalos de la distribución normal. (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).

2.12.- Prueba de bondad de ajuste

Cuando en un problema no se conoce la población o distribución de probabilidad, se requiere probar la hipótesis de que una distribución particular será satisfactoria como modelo de la población, se describe un procedimiento formal para probar la bondad de ajuste basado en la distribución *ji-cuadrada* (Montgomery & Runger, 2013).

El procedimiento de prueba requiere una muestra aleatoria de tamaño n de la población cuya distribución de probabilidad es desconocida. Estas n observaciones se ordenan en un histograma de frecuencia, con k intervalos de clase. Sea O_i la frecuencia observada en el intervalo de clase i . Se calcula la frecuencia esperada a partir de la distribución de probabilidad hipotética, para el intervalo de clase i -ésimo, denotado E_i . El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 27:

$$X_0^2 = \sum_{i=0}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (30)$$

Puede demostrarse que, si la población sigue la distribución hipotética propuesta, X_0^2 tiene, aproximadamente, una distribución *ji-cuadrada* con $k - p - 1$ grados de libertad, donde p representa el número de parámetros de la distribución hipotética, estimados por los estadísticos muestrales. Esta aproximación mejora conforme n se incrementa. La hipótesis

de que la distribución de la población es la distribución hipotética se rechazaría si el valor calculado del estadístico de prueba $X_0^2 > X_{\alpha, k-p-1}^2$ (Montgomery & Runger, 2013).

2.13.- Estadístico de prueba Anderson-Darling

Prueba de hipótesis de una muestra para determinar si la población de la cual extrajo su muestra es normal, o bien, determinar cuán bien se ajusta un conjunto observado de datos a un conjunto esperado. (Arriola Silva, 2013).

2.14.- Mapeo de proceso

Es frecuente que en los diagramas de flujo que son realizados en la etapa de diseño y documentación de un proceso, se pierdan detalles y actividades que están ocurriendo en el proceso. Por ello, la idea del mapa del proceso es hacer un diagrama de flujo más apegado a la realidad, en donde se especifiquen las actividades que efectivamente se realizan en el proceso. El objetivo es mostrar gráficamente, por medio de símbolos, cuáles son las actividades que se llevan a cabo dentro de una organización o un proceso de tal manera que todo aquel que lo lea sea capaz de comprender el alcance y/o llevar a cabo el proceso. En un diagrama los objetos se unen con líneas y flechas las cuales muestran el flujo y orden del procedimiento o proceso, estas flechas no indican las interacciones con las cuales se identifica quien entrega (proveedor) y quien recibe (cliente), se requiere colocar mensajes o leyendas para identificar los insumos (entradas) y productos (salidas) de cada proceso o subproceso.

Preguntas iniciales que se deben responder para comenzar con la creación del proceso:

1. ¿Qué hace el proceso actualmente?
2. ¿Qué se supone debe producir o realizar?
3. ¿Cómo está relacionado el proceso a las necesidades del cliente?
4. ¿Cuál es la mejor manera conocida al día de hoy para realizar dicho proceso?

Además, un proceso puede ir desde un nivel alto hasta uno micro. En el primer caso no se entra a detalles y de lo que se trata es de tener una visión macro del proceso, que muchas veces es útil para delimitarlo e iniciar el análisis del mismo. En cambio, en un nivel micro es posible analizar de manera minuciosa una parte del proceso, y quizá se especifiquen uno o varios de los siguientes detalles. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).

1. Las principales variables de salida y entrada de cada etapa del proceso.

2. Los pasos que agregan y los que no agregan valor en el proceso
3. Listar y clasificar las entradas clave en cada paso del proceso. La clasificación se puede hacer con los siguientes criterios: crítico, controlable y de ruido.
4. Añadir las especificaciones de operaciones actuales, así como los objetivos de proceso para las entradas controlables y críticas.

En la figura 10 se puede apreciar un ejemplo de lo anterior:

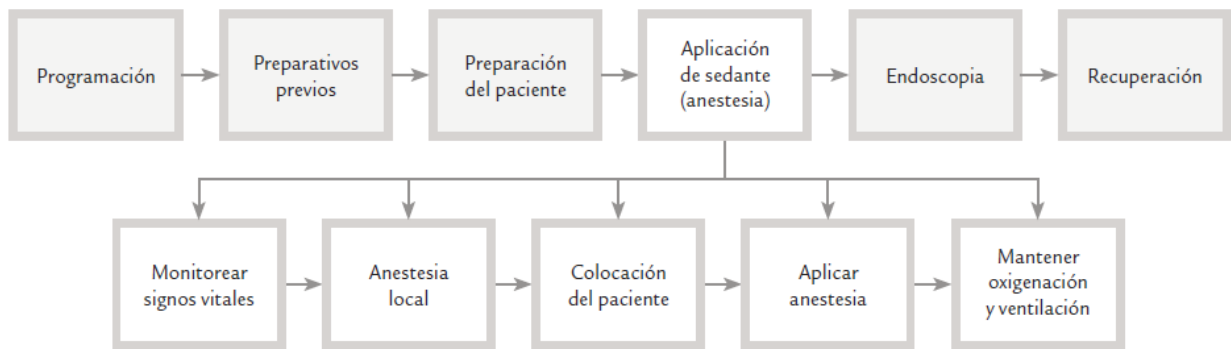


Figura 10: Mapa de proceso de alto nivel (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de esta sección serán mostrados los materiales que fueron utilizados para realizar la mejora de la prensa, características básicas de los mismos e información importante de cada uno de ellos. A la par, se describe la metodología desarrollada para identificar, desglosar, reparar y analizar el objeto de estudio de esta tesis.

3.1 Materiales

A continuación, se hará un desglose de los materiales a utilizar dentro de la implementación de la mejora.

3.1.1 Sysmac Starter Kit: NJ101-1000.

El CPU del PLC se encuentra dentro de esta estructura ideal para la industria, ya que es resistente a altas temperaturas y no es sensible a vibraciones y ruido. *Sysmac Studio* es el *software* que permite desarrollar los ajustes, programación, depuración, entre otros, para el PLC elegido. Este dispositivo se caracteriza por ser muy versátil, ya que puede sincronizarse con múltiples sensores, servomotores y demás aplicaciones. La comunicación entre el PLC y el dispositivo de programación es mediante *Ethernet* con conector de cable RJ45 (*Registered Jack 45*). La velocidad de ejecución de tareas va desde los 3 hasta los 70 nanosegundos. El costo de este dispositivo fue de \$3,432.14 dólares. (OMRON Industrial Automation, Ref A, 2017). En la figura 11, se puede apreciar la carcasa y los componentes principales del PLC señalados:

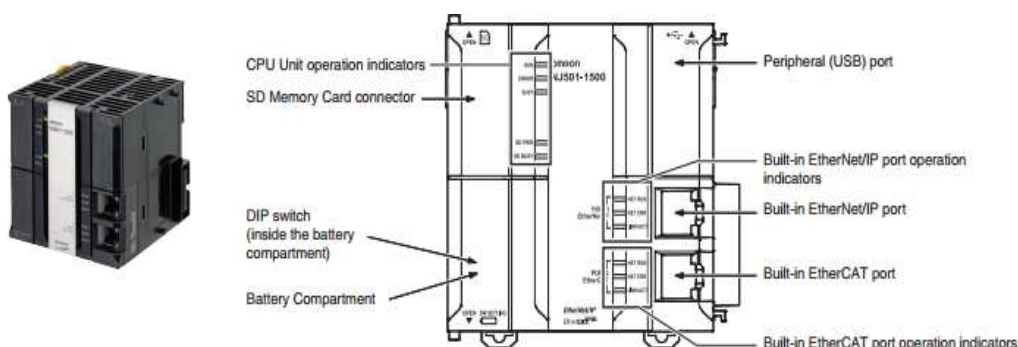


Figura 11: Se muestra PLC físico y sus componentes (OMRON Industrial Automation, Ref A, 2017)

Se seleccionó dicho dispositivo ya que fue el que tuvo una mejor puntuación en la ponderación de los requisitos a tomar en cuenta, entre los que estuvieron:

1. Capacidad de expansión
2. Conectividad
3. *Software*
4. Precio
5. Estructura de programación
6. Disponibilidad de soporte técnico

La diferencia que decantó la selección del *OMRON* fue el precio, ya que entre las 3 últimas opciones que se consideraron, era el más económico.

3.1.2 NX-ID5342 NX 16Pt, 24 VDC, NPN Input.

Controlador de entradas digitales, tal como se muestra en la figura 12, el cual puede ser configurado de 4 hasta 32 entradas *NPN* (24 volts). El seleccionado para el proyecto es de 16 entradas. Su velocidad de respuesta varía de los 20 a los 400 micro segundos. El costo de este dispositivo es de \$71.60 dólares. (OMRON Industrial Automation, Ref B, 2017).

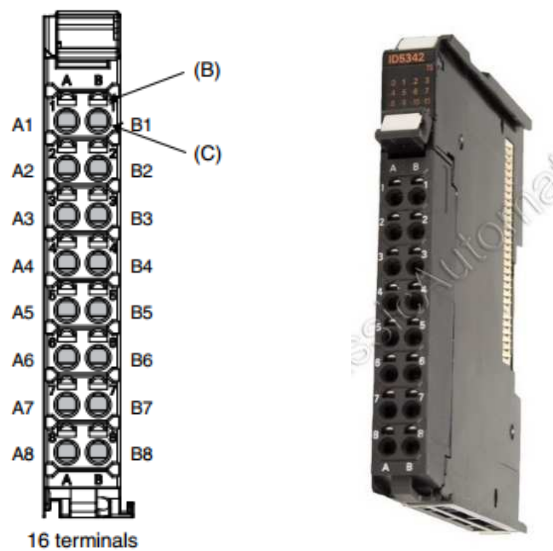


Figura 12: Dispositivo de entradas NPN. (OMRON Industrial Automation, Ref B, 2017).

3.1.3 NX-OD5121 NX 16Pt 12-24 VDC NPN.

Controlador de salidas a transistor *NPN* de 16 puntos, mostrado en la figura 13; puede manejar voltajes de salida de 12 a 24 *VDC*, o de hasta 240 *VAC*. Su tiempo de respuesta es de 1 microsegundo. Se tienen 3 dispositivos para la instalación, y su costo fue de \$92.48 dólares. (OMRON Industrial Automation, Ref C, 2017).

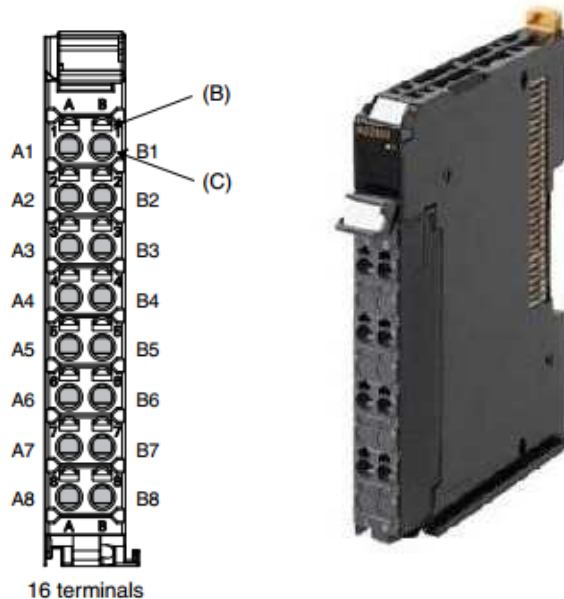


Figura 13: Dispositivo de entradas *NPN*. (OMRON Industrial Automation, Ref C, 2017).

3.1.4 S8VK-G06024 60W 24 VDC.

Fuente de energía, mostrada en figura 14, que está diseñada para reducir el espacio ocupado dentro de las aplicaciones. Construidas para un ambiente industrial, dada su robustez en el armado y su resistencia a distintos cambios de temperatura. No le afecta la vibración y el ruido tampoco es un problema. Se energiza desde 100 a 240 *VAC*, y cuenta con doble salida de 24 *VDC* a 2.5 *amp*. Se cuenta con 2 fuentes para este proyecto, las cuales tuvieron un costo c/u de \$60.94 dólares. (OMRON Industrial Automation, Ref D, 2013).

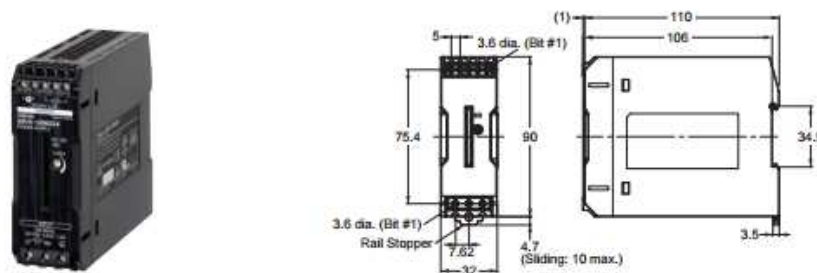


Figura 14: Fuente de alimentación de 24 VDC (OMRON Industrial Automation, Ref D, 2013)

3.1.5 NX-ID3317 NX 4pt, 12-24VDC, NPN Input.

Dispositivo de entradas digitales *NPN* de alta velocidad de 4 puntos, y se energiza de 12 a 24 VDC. Se cuenta con un dispositivo para el proyecto para manejar los contadores de piezas; su costo es de \$37.92 dólares. (OMRON Industrial Automation, Ref E, 2017).

3.1.6 NX-OD3121 NX 4pt 12-24 VDC NPN.

Dispositivo de salidas *NPN* o *PNP* digitales de alta velocidad a transistor de 4 puntos. Maneja voltajes de 12 a 24 VDC, y hasta 240 VAC. Se cuenta con 1 dispositivo para el proyecto, y el costo es de \$42.06 dólares. (OMRON Industrial Automation, Ref F, 2017).

3.1.7 NX-ECC202 NX I/O EtherCAT Coupler.

Unidad de comunicación de *Ethernet*, mostrado en figura 15 que puede conectar hasta 63 unidades de entradas y salidas. Se ajusta a la transmisión de señales de entrada y salida de alta velocidad. Cada módulo de entradas representa un nodo dentro del dispositivo. El *software* que controla al *CPU* del *PLC*, puede también controlar este dispositivo para la comunicación entre *I/O* y *PLC*. Se cuenta con uno para el proyecto, y su costo es de \$152.22 dólares. (OMRON Industrial Automation, Ref G, 2016).

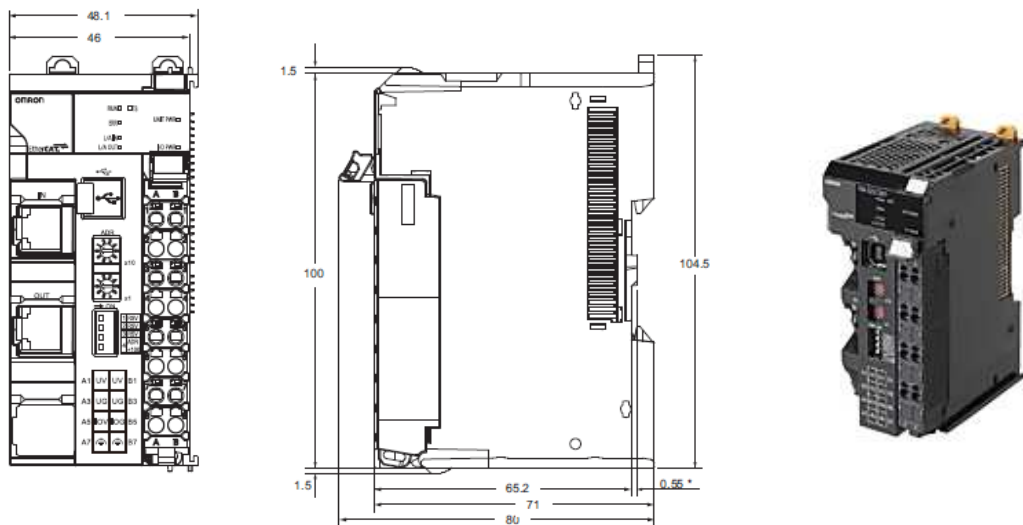


Figura 15: Unidad de comunicación de Ethernet. (OMRON Industrial Automation, Ref G, 2016).

3.1.8 6206740 Wall-mounted hinge, horizontal.

Montaje giratorio de aluminio del soporte del brazo vertical con carcasa para cableado. Para una mejor idea del mismo, consultar figura 16. Cuenta con tornillos ajustables para limitar el giro. Su costo es de \$4309.77 pesos. (Rittal-The System, Ref H, 2016).



Figura 16: Montaje giratorio para sostener HMI. (Rittal-The System, Ref H, 2016).

3.1.9 6206380 Angle coupling 90°.

Sirve como soporte para la parte horizontal (codo) del sistema completo del brazo giratorio. En la figura 17, podemos observar cómo es físicamente, para una mejor idea del mismo. Fabricado también en aluminio, cuenta también con tornillos ajustables para girar. Su costo es de \$3239.99 pesos. (Rittal-The System, Ref I, 2016).



Figura 17: Soporte para el codo del brazo que sostendrá HMI. (Rittal-The System, Ref I, 2016).

3.1.10 6315400 CP caja de mando con asas.

Caja de mando con un moderno diseño de acero, el cual permite el soporte de un brazo de 120 mm de diámetro (ver figura 18). Cuenta con accesos para fácil mantenimiento por delante o por detrás. Cuenta con grado de protección OP 55. Su costo es de \$4635.32 pesos. (Rittal, The System, Ref J, 2016).



Figura 18: Caja para HMI. (Rittal, The System, Ref J, 2016).

3.1.10 NA515W101B HMI Programable.

En la figura 19 se muestra la pantalla LCD (*Liquid Cristal Display*) de 15.4" con 256 MB (MegaBytes) de memoria y una interfaz amigable, tanto para programar, como para utilizar. (OMRON Industrial Automation, Ref K, 2016).



Figura 19: Pantalla HMI para interfaz usuario – máquina (OMRON Industrial Automation, Ref K, 2016).

3.2 Metodología

De acuerdo con la metodología a seguir, a continuación, el diagrama de flujo con información referente al tema principal (figura 20).

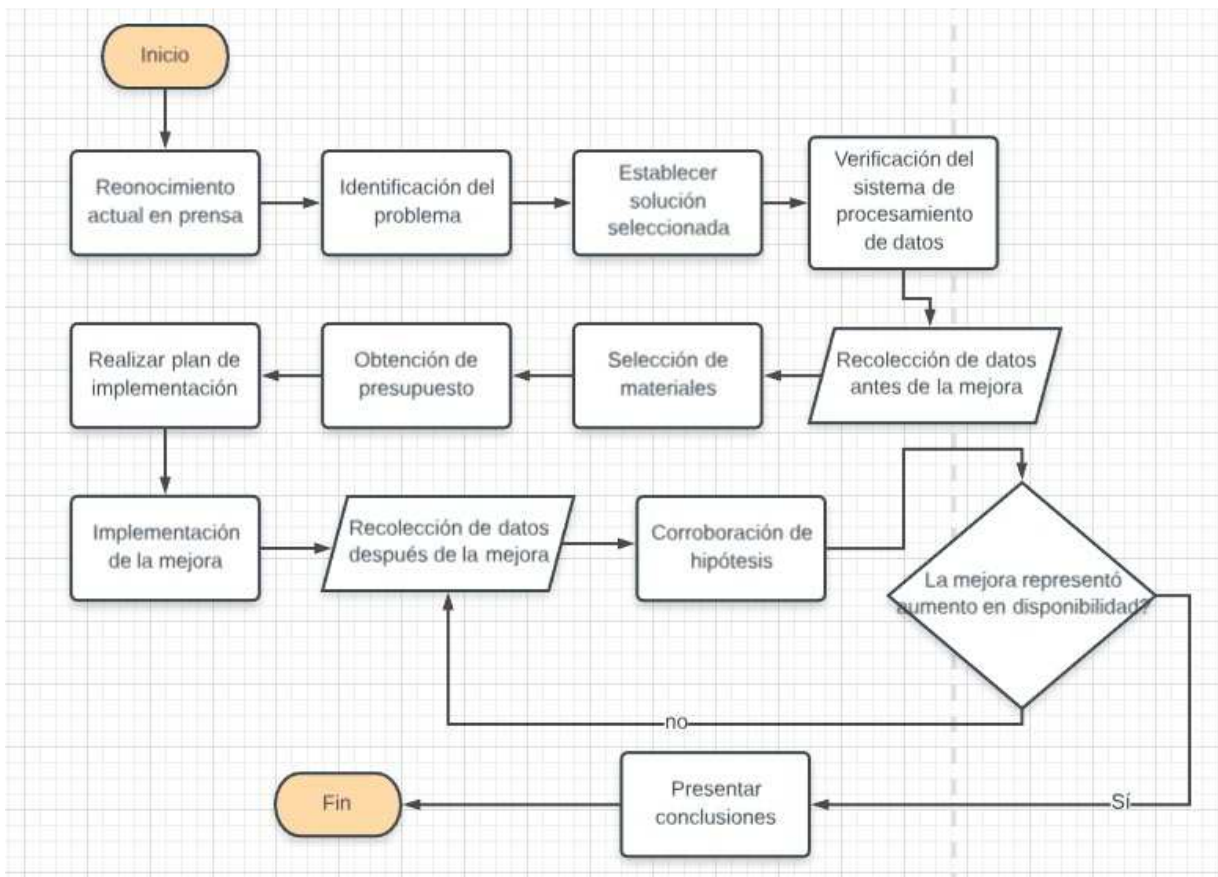


Figura 20: Diagrama de flujo para la realización del proyecto.

3.2.1 Reconocimiento actual en prensa. Se define como estampado al conjunto de operaciones que producen ciertas transformaciones sobre el área determinada de una tira de material, a fin de obtener una pieza de forma geométrica propia.

Para definir un ciclo de estampado, es necesario:

1. Definir la forma de la pieza, que impone cierto número de operaciones, de acuerdo con su complejidad.
2. Determinar las dimensiones.
3. Conocer el material del que se hará la pieza, su plasticidad y elasticidad.
4. La posibilidad de extraer fácilmente la pieza de la matriz.

La prensa a la cual se hará la actualización es una estampadora de 30 toneladas marca *Bruderer*, la cual se encarga de realizar los cortes, perforados y formas a la tira de material que es abastecida hacia el troquel. A continuación, en la figura 21 se muestran las partes elementales del proceso de estampado.

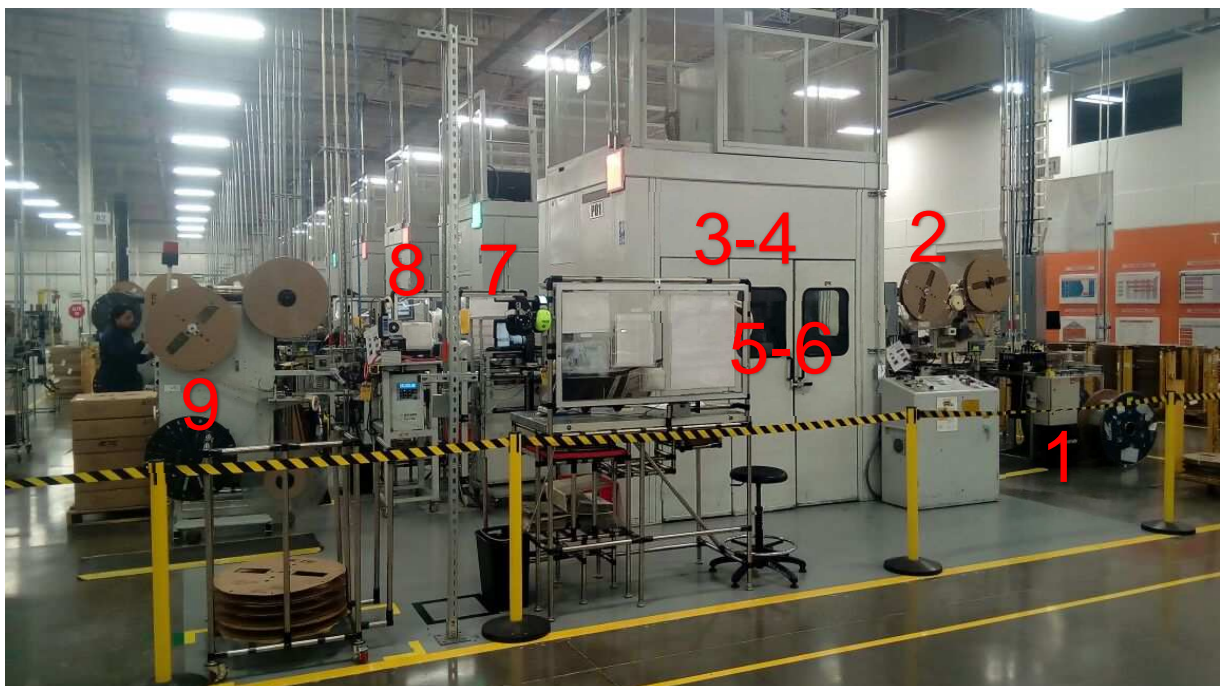


Figura 21: Línea de estampado y sus componentes.

Desenrollador (1): La prensa en cuestión, como se mencionaba, es llamada “integrada” por lo que consta de dos tipos de material que son trabajados por el troquel simultáneamente. Este equipo se encarga de proveer el material de inoxidable (virgen) al troquel. Consta de

un motor, el cual se activa por medio de la señal de la antena ultrasónica que va surtiendo material dependiendo del avance del troquel, mismo que se muestra en la figura 22.



Figura 22: Desenrollador y material inoxidable.

Desenrollador de pines (2): Se muestra el equipo en la figura 23; este se encarga de abastecer de pines que ya han sido platinados a la prensa: Consta también de un motor, el cual va desenrollando la tira de material dependiendo del avance del troquel. Antes de ello, la tira es inspeccionada en un *fixture* que consta de dos sensores, uno que detecta uniones de soldadura en el material, y otro que verifica la presencia de pines. De ahí, mediante un *sprocket*, se verifica a través de una herradura con fibras de luz, que el material no esté chueco, ya que ello puede provocar problemas en el troquel.



Figura 23: Desenrollador de pines.

Alimentador (dentro de prensa) (3): Medialunas de acero que se accionan mediante un sistema mecánico el cual arrastra el material hacia el troquel, mismo que es anticipadamente calibrado en cuanto a espesor y avance correspondiente. Se hace referencia a imagen 24.



Figura 24: Vista frontal de la prensa estampadora; dentro del círculo rojo se puede ver parte del alimentador.

Prensa (4): Diseñada con un robusto sistema mecánico, el cual se compone por un motor de 25 HP (*Horse Power*), transmisión, volante, *clutch* y freno neumáticos, cigüeñal, entre otros, se encarga de levantar y bajar el troquel, previamente ajustado en cuanto a parámetros, el cual realiza operaciones de estampado sobre la tira de material. En este caso, la prensa cuenta con 30 toneladas de fuerza, las cuales son distribuidas sobre el troquel. Se aprecia la imagen de la misma en la figura 25.



Figura 25: Prensa estampadora Bruderer de 30 TON.

Troquel (5): Instrumento cuya principal función es crear marcas, perforaciones o semi cortes sobre la superficie de algún material con propiedades adecuadas para tal actividad mostrado en figura 26. Los elementos de transformación en un troquel, son llamados punzón (macho) y matriz (hembra), ambos deben tener un tratamiento previo de endurecimiento (templado) que debe superar la dureza de los materiales a procesar. La parte superior de la herramienta (parte superior del porta troquel) se sujeta firmemente a la parte superior de la apertura de la prensa, mientras que la parte inferior (porta matrices) se fija a la mesa de la máquina; la alineación entre ambos se mantiene gracias a los postes fijos en el porta troquel y los bujes embalados que se deslizan en las tazas. Al activarse las medialunas que alimentan el material, el troquel se encarga de realizar las actividades de estampado correspondientes.



Figura 26: Vista frontal de un troquel en reparación menor dentro de la prensa.

Sensores de Missfeed (6): Estos sensores se encargan de verificar que la tira de material no se haya quedado atorada dentro del troquel. Mediante fibras de luz, la interrupción del mismo haz por la pieza al pasar, permite el cambio de estado de un sensor, el cual es interpretado por el control de la prensa, que, en efecto, el material está corriendo normalmente. A su vez, el *missfeed* se compara con otra señal llamada *hall effect*, la cual imita el golpe completo de la prensa. La figura 27 muestra la herradura compuesta por las fibras de luz, las cuales, al ser interrumpidas por la pieza, envían señal a la pantalla de control. La herradura se localiza en el punto indicado en la figura 28.



Figura 27: Herraduras con fibras de luz.



Figura 28: Ubicación del sensor dentro del troquel.

Sistema de visión (7): Este filtro de calidad expuesto en la figura 29, consta de una cámara, una *PC* y un software llamado *Inspect*, el cual es útil en la detección de defectos de pieza. Dentro de la programación, se toma una foto base con una tira de material que ya ha sido inspeccionada y liberada por la inspectora de calidad, y se ajustan las medidas correspondientes a cada parte de la pieza que necesita ser revisada. Si la pieza se detecta fuera de especificación de acuerdo a las tolerancias establecidas, la prensa inmediatamente detiene su funcionamiento.



Figura 29: Sistema de visión ubicado a la salida del material de la prensa.

Soldadora (8): En este punto se unen las tiras de material que han tenido que ser cortadas ya sea por defectos de calidad, o cualquier otra razón que haya detenido el proceso. Consta de una fuente de poder, un cabezal neumático, mandos bimanuales para su activación y un sistema de electrodos los cuales adhieren las tiras en cuestión; se pueden observar los componentes en la figura 30.



Figura 30: Soldadora de punto.

Enrollador (9): Exhibido en la figura 31, su principal función es ir enrollando la tira de material que ha pasado por todo el proceso antes mencionado. Consta de dos motores por frente, que son los que detienen los carretes, siendo controlados por una antena situada en la parte lateral derecha. La tira se direcciona mediante unas guías que ayudan a que el material entre sin dobleces en el carrete. Cuenta también con una herradura al principio de las guías, las cuales, mediante el mismo principio de funcionamiento del *missfeed*, cuentan las piezas que van entrando, y al llegar al parámetro establecido, de igual manera detiene la prensa hasta que se hace cambio de rollo nuevo.

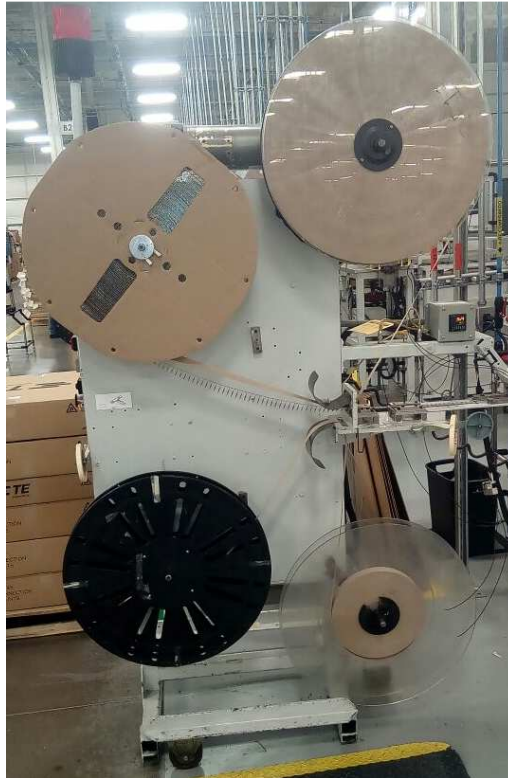


Figura 31: Enrollador a la parte final del proceso de estampado

Dentro de lo que son las actividades del operador, se describirán para las mismas estaciones anteriores: Primeramente, por parte del supervisor de producción, al comenzar una orden nueva, se entrega la papelería correspondiente al operador, misma que incluye el sistema de inspección de primera pieza y de las rutinarias a lo largo de la orden, el formato de especificaciones de trabajo, identificación de *scrap*, formato de liberación de pieza de sistema de visión, entre otros. De ahí, el operador transporta el troquel indicado con un carro especial, desde la mesa de trabajo, hasta la cama de la prensa; se monta y alinea correctamente el troquel, para de ahí, poner el material indicado en los desenrolladores (previamente surtido en *racks* por parte del departamento de platinado), también previamente establecido en las hojas de parámetros. El operador entonces guía el material por el desenrollador, para hacerlo llegar hasta el troquel y comenzar a “enredarlo”, lo que consiste en pasar el material por todas las estaciones del troquel sin ningún atoramiento. Al salir las primeras piezas, se debe hacer una liberación de las mismas realizando las medidas indicadas en los formatos de orden, por parte del operador y de la inspectora; de ser aceptadas, se realiza la configuración en el sistema de visión, y se comienza a correr la

prensa en automático. Cuando pasa la tira por el sistema, se guía hacia el enrollador, y comienza a ser atrapada en los carretes, junto con papel de protección para las terminales. Al terminarse el rollo, se da la salida correspondiente, dependiendo si será producto interno o externo, se empaca en caja de cartón o se monta sobre otro *rack*. En caso de acabarse el rollo de pines, el operador debe sustituirlo por uno nuevo, al igual que el rollo de inoxidable. También, dentro de sus responsabilidades dentro del área, está el realizar reparaciones menores al troquel; en dado caso de ser algo más complicado, solicita la ayuda del matricero. En términos del panel de control, la figura 32 muestra los componentes anteriores a la mejora.

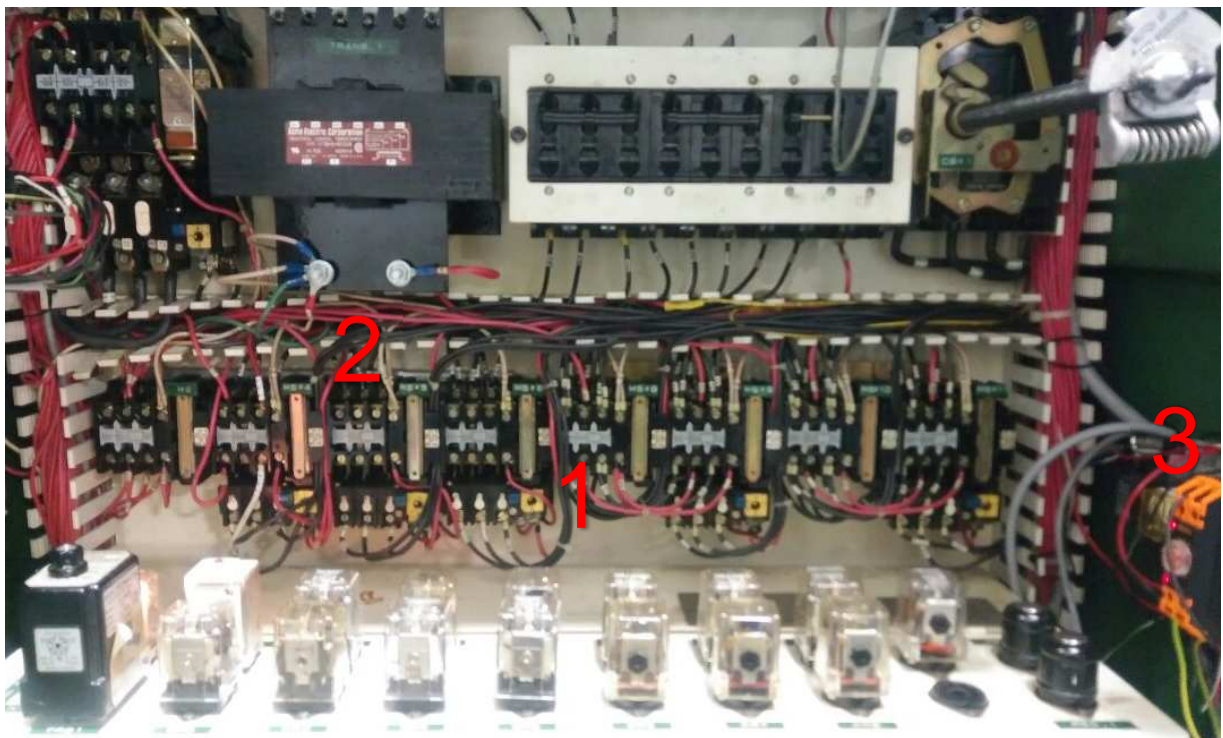


Figura 32: Panel de control y sus componentes actuales en prensa.

1. Lógica de relevadores: Todo el control de componentes, la lógica de funcionamiento y las restricciones del sistema, se realiza mediante relevadores. Al ser componentes mecánicos y debido a las velocidades que se manejan en prensa (500 revoluciones por minuto, aprox.) en ocasiones no responden al momento. Debido a la falta de monitoreo y de diagramas específicos, es ciertamente muy complicado encontrar alguna caída de voltaje o algún problema eléctrico, sin contar la facilidad con la que se puede ocasionar un corto

circuito debido a los cables soldados por debajo del contenedor del relevador; el tiempo muerto debido a ello se eleva considerablemente, aparte de que ya son considerados tecnología obsoleta.

2. Contactores y protecciones de motores: Sirven para propiciar el arranque de motores al energizar la bobina; cada uno maneja su propio amperaje y voltaje. Las unidades utilizadas están obsoletas, por lo que ya no se puede conseguir refacciones nuevas. Mismo problema con las protecciones; en ocasiones, se descalibran y no cumplen su función correctamente.

3. Timers y relevadores sueltos: En las prensas, hay diferentes componentes que realizan diversas funciones de mejora, el detalle es que no hay ninguna estandarización. Mediante la mejora también se pretende agregar todos esos componentes, para compactación y estandarización.

4. Pantalla Proface: Funciona como un mini *PLC* que conjunta las señales de los dispositivos periféricos y sensores de *missfeed*, pero, en ocasiones, las comparaciones que se realizan dentro de la lógica no funcionan correctamente debido a mala recepción de las mismas.

A continuación, se anexa la figura 33, como bosquejo de cómo se pretendía el acomodo del nuevo panel de control.

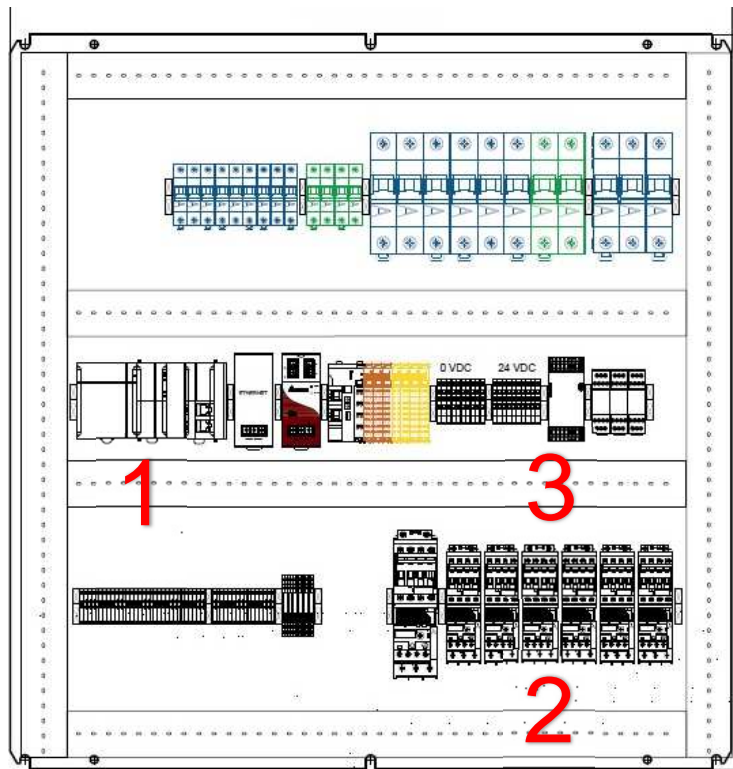


Figura 33: Bosquejo de nuevo panel para prensa

1. La lógica de funcionamiento mejorará mediante el *PLC*, controlará todos los componentes, incluidas todas las mejoras que se han realizado individualmente a la prensa mediante *timers* y relevadores. Se pretende estandarizar las funciones y botonería. A la par, reducir espacio en panel y mejorar tiempos de respuesta de paro y arranque de prensa. En caso de alguna falla, será más sencillo conectarse remoto al *PLC* para verificar en qué parte se ha perdido señal, en lugar de buscar punto por punto en los relevadores. También se ofrecerá una mejor conectividad entre prensa y usuario, tanto para operadores como mantenimiento.
2. Nuevos contactores y protecciones para motor, lo cual asegura una mejor conservación de los motores, evitando daños mayores a componentes.
3. Se añadirá un relevador de seguridad para monitoreo de todos los puntos de seguridad de prensa: guardas frontal, trasera, lateral y del *stroke*.

Físicamente se muestra en la figura 34 el estado del panel antes de la mejora.



Figura 34: Panel de control antes de la mejora; varía la cantidad de botones de prensa en prensa.

Se manejan botones de arranque y paro de prensa, aumento y disminución de velocidad, *display* de RPM (Revoluciones por minuto), para subir y bajar la cama de la prensa, selector ON/OFF/BAR, selector de actividades, entre otros.

3.2.2 Identificación del problema. Se ha detectado una baja en los porcentajes de disponibilidad del OEE de prensas, lo cual se atribuye a troqueles descompuestos y muchas horas de *set up*. Después del análisis, en términos del funcionamiento, se tiene contemplado reparar parte de la lógica del programa de protección de troquel para evitar reparaciones excesivas.

Como se ha comentado en párrafos anteriores, el *missfeed* es el sistema de protección del troquel ante algún atoramiento, para evitar daños internos y piezas de *tooling* quebradas. La falla que ha sido detectada consiste en que, al enviar señal de paro mediante un botón, el contador de *missfeed* registra 2 o 3 conteos de más en comparación a la señal del *hall effect*, que es con la que se compara. Se anexa figura 35 para referencia.

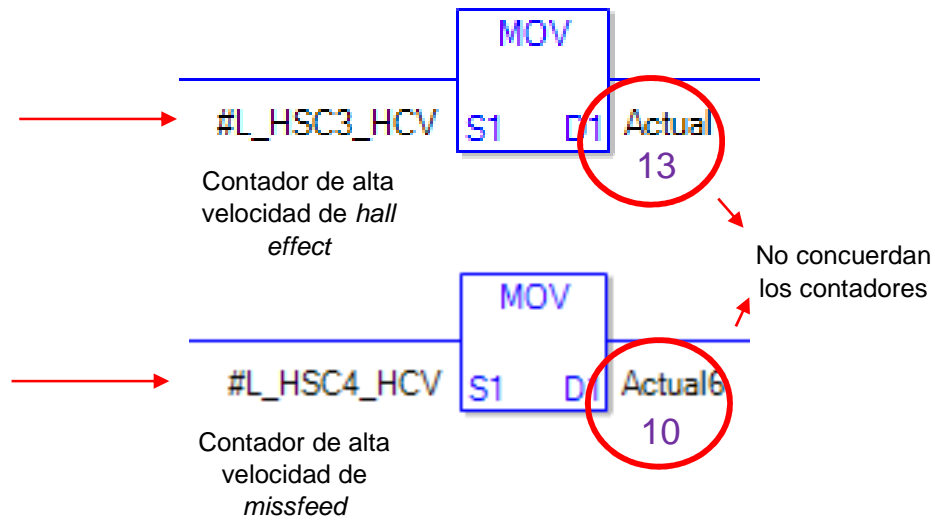


Figura 35: Programación en pantalla Proface la cual muestra el conteo después de un paro de prensa.

En la parte superior de la prensa, se cuenta con 2 imanes (localización indicada en la figura 37, a 20° y 340° respectivamente) estando el RAM en su parte más alta, como se muestra en la figura 36, y un circuito integrado que se enciende y manda señal al Proface de que la señal está activada al tocar el primer imán (20°). Esto significa que está esperando la señal de *missfeed* para corroborar que sí ha pasado una pieza. Si, en efecto, se da el conteo de la pieza, se registra, y al seguir girando la prensa, llega al otro imán (340°) y se apaga la señal; el proceso se repite sucesivamente.



Figura 36: Parte de la prensa donde se muestra el RAM, que, para indicar la posición inicial de los imanes, deberá estar en su punto más alto.

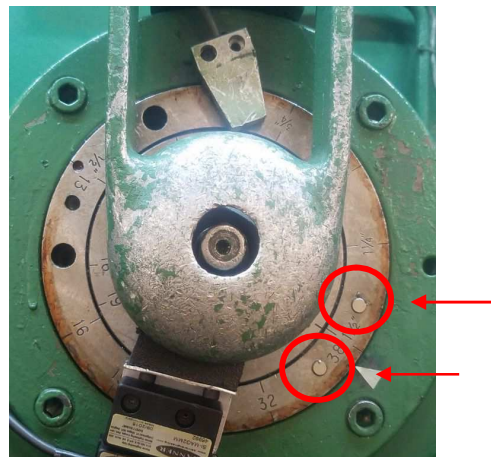
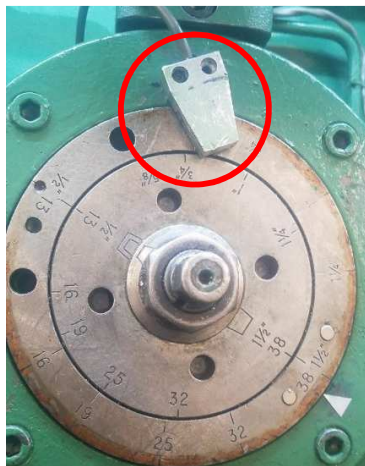


Figura 37: Imágenes que muestran el dispositivo con el circuito integrado dentro, así como los imanes que dan pauta para enviar la señal.

En dado caso de no recibir señal de *missfeed* en ese lapso de ángulos, la prensa se detiene automáticamente. En un análisis realizado al programa mediante la opción de remoto (permite ver en tiempo real lo que está sucediendo en el *PLC*), se ha encontrado

que, en ciertas ocasiones, el registro de piezas de *missfeed* sobrepasa el de *hall effect*; por lo tanto, lo anterior debería ser interpretado por el *PLC* como error, ya que ello da pie a que el conteo no sea del todo fiable, ya que se pierde el hilo de la comparación. En ciertos casos, se ha encontrado también que el conteo de *missfeed* registra menos que *hall effect*, por lo que también debió de haberse detenido. Se pretende con la mejora, realizar una lógica diferente que evite esas situaciones y que la recepción de señales sea mucho mejor. Se observa en la figura 38 el modo “Monitor” del *PLC* mediante el cual se detectó la falla ocasionada por los errores de comparación; en la figura 39, se muestra el punto donde suceden dichas comparaciones. En anexos posteriores, se mostrará la versión final y la prueba de funcionamiento.

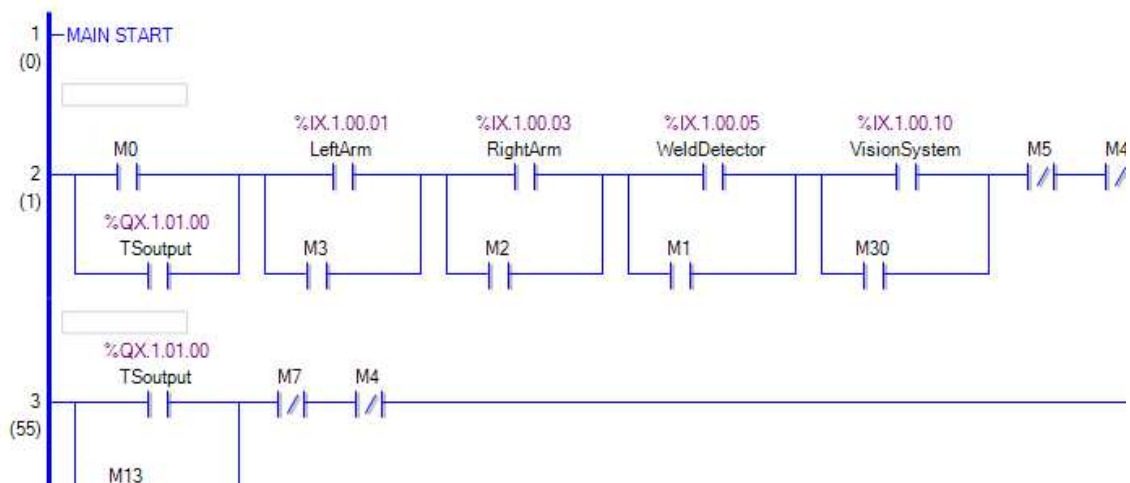


Figura 38: Opción remoto o monitor en programa Proface.

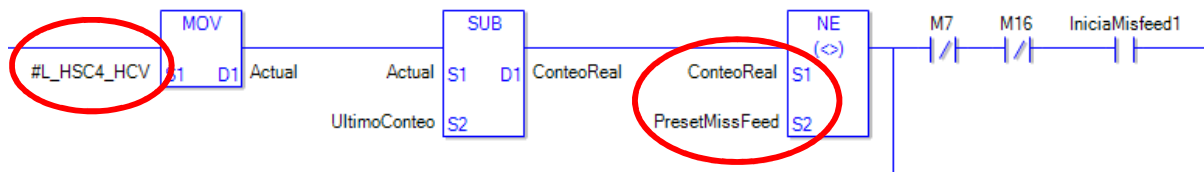


Figura 39: Parte de la programación donde se muestra que, al no coincidir los contadores, la lógica debería marcar error.

3.2.3 Solución propuesta. Para evitar la falla anterior, se ha decidido no utilizar el sensor de *hall effect* y cambiarlo por un sensor que se encuentra en las levas de la prensa mostradas en la figura 40, las cuales imitan el movimiento de la misma mediante media lunas; de esta manera, la comparación será más precisa, ya que los ángulos corresponderán completamente al movimiento sin dejar puntos muertos. El *hall effect* también utiliza contadores para realizar las comparaciones, lo cual entorpece la lógica. La lógica se realizará en el *PLC* seleccionado y serán cambiados dispositivos obsoletos y en mal estado.

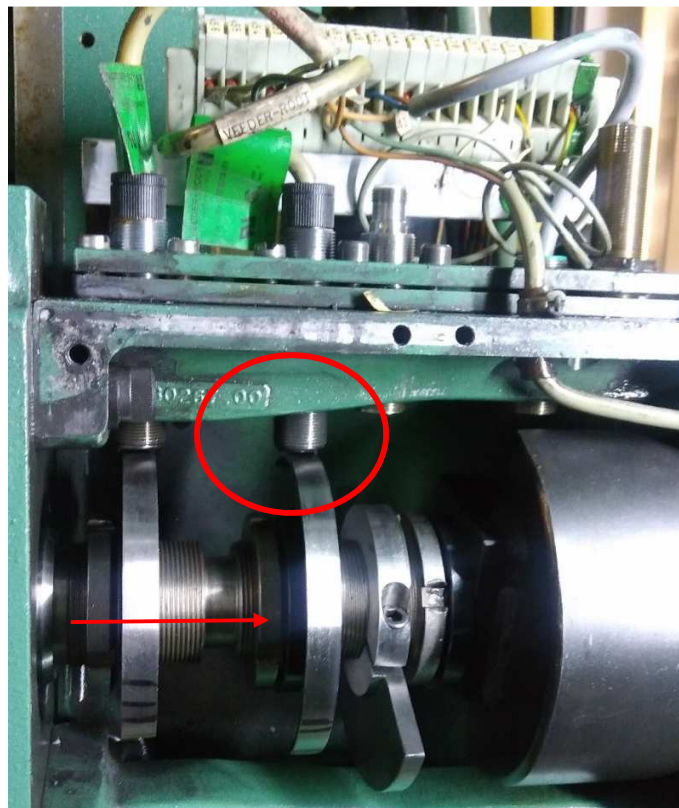


Figura 40: Medialunas de alimentador de prensa.

3.2.4 Verificar el sistema de procesamiento de datos (Hydra). Se debe corroborar que todos los datos sean analizados de manera correcta, aquí el desglose: Para comenzar con el análisis, primeramente se obtienen las horas dedicadas a producción por parte del departamento, es decir, se capturan en el programa las ordenes de material que tendrán las prensas durante la semana; seguido, para el cálculo del *OEE*, se necesita saber la disponibilidad del equipo, la cual se sabrá obteniendo la relación de tiempo entre las fallas de mantenimiento y el tiempo que se tardan los *changeovers* y *setups*. Seguido, se recolectan las capturas de las micro fallas y de las horas perdidas por velocidad debajo del *rate* establecido en las hojas de especificación para el troquel; de esta manera, se obtiene el porcentaje de desempeño. Para la calidad, se capturan las horas perdidas por *scrap* de material y las de re-trabajo. Cabe mencionar que los *status* se capturan manualmente por el operador en turno, es decir, cuando se le presenta algún punto de los anteriormente mencionados, el operador va e ingresa el código de falla correspondiente al sistema *Hydra*, en alguna de las cinco terminales disponibles, las cuales se encuentran en puntos estratégicos dentro del área de estampado. A continuación, se muestra la imagen 41 con la interfaz de captura de datos.

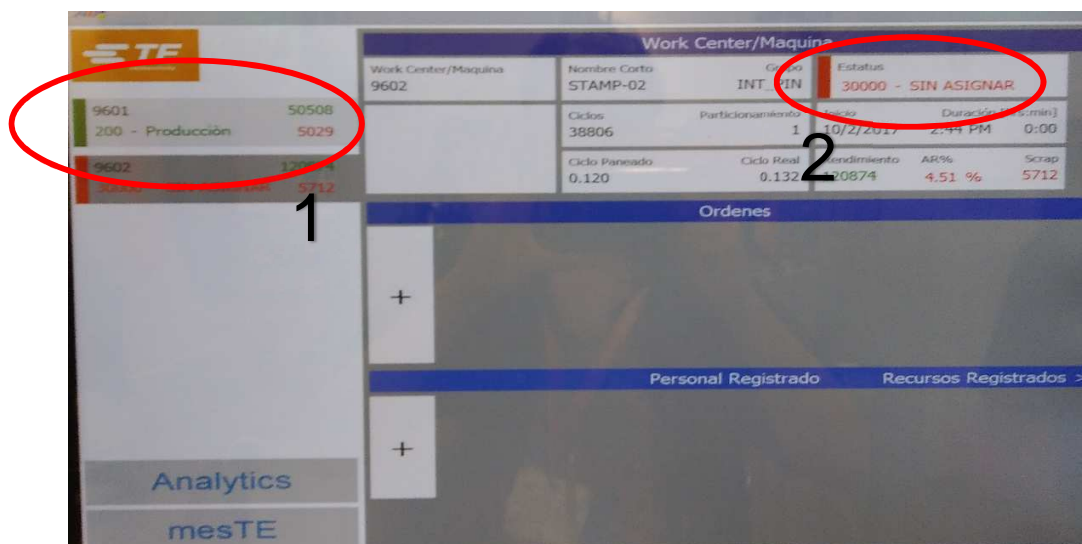


Figura 41: Interfaz de Hydra principal para prensas.

En el círculo 1 se muestra el *status* “Producción” que indica que la máquina correspondiente está funcionando. El 9601 indica que la prensa en cuestión es la 1, el 200 indica el código de *Hydra* para Producción (listado en imagen 46, el valor “50508” representa

la cantidad de piezas que lleva al momento y los dígitos “5029” las piezas que se han registrado de *scrap*. Cuando se ocupa cambiar de *status* dependiendo de la situación que se presente, se presiona el botón del círculo 2, el cual muestra un desplegable con opciones a elegir, las cuales son identificadas por el operador. El tiempo que permanece cualquier *status* activado, es lo que agrega tiempo al cálculo final dependiendo el rubro al que impacte, ya sea disponibilidad, calidad o eficiencia. A continuación, se muestra el listado de *status* con sus códigos correspondientes, de los cuales, el operador puede elegir.

Local Category	Status	Status Text	Description
Setup (Antes de produccion)	105	Setup	Desde que se monta el troquel hasta que sale la primer pieza buena
	111	Cambio de modulos	Cuando se cambia un modulo en prensa
	112	CH/O en prensa	Cambio de NP sin llevar el troquel al taller
	114	Limp. Molde en prensa	cuando se limpia el molde en prensa
	120	Cambio de material	Cuando se cambia la orden y solo cambia el material
	180	Otros impre. En Setup	Cuando se va por tooling o herramienta de soporte
Produccion Durante produccion)	-200	Produccion	
	211	Esp. ate de toolmaker	Cuando no hay personal disponible
	212	Rep. de tool dañado	cuando se rompe tooling durante produccion
	213	Ajuste de calidad	Cuando la pieza comienza a salir fuera de spec durante produccion y se ajusta
	215	Tool sucio	
Mantenimiento (Durante produccion)	310	Falla mecanica	Falla del equipo o prensa (mecanica)
	311	Falla electrica	falla del equipo o prensa (electronica)
	312	Falla en equipo perif	Falla del equipo
	313	Mant. Preventivo plan	Mantenimiento preventivo planeado
	315	Falla hidraulica Pre	
	324	Falta refaccion	
	328	Falla sist de vision	
Material de entrada	329	Falta de Documentos	Cuando no hay papeleria
	331	Falta de material GLOG	Cuando se espera a que llegue materia
	340	Material incorrecto	Cuando se entrega material incorrecto
Personal	352	Falta de toolmaker	
	351	Falta de Tecnico	
	314	Falta tecnico mtto	Persona de mantenimiento no disponible
Ingenieria	370	Muestras de Ingenieria	
	360	Esp. apro de calidad	Cuando hace falta la validacion de calidad durante la corrida
Planeacion	390	Interrupccion de orden	Orden parcial
	399	Espeando Nueva F.O	Esperando nueva F.O
	999	Sin carga	En hora de comida

Figura 42: Como se puede observar, cada número de status corresponde a una actividad en específico.

De esta manera, el programa va almacenando las horas, mismas que son mostradas en el reporte descrito posteriormente. En la figura 43, se muestra de dónde se obtienen los datos para dicho cálculo.

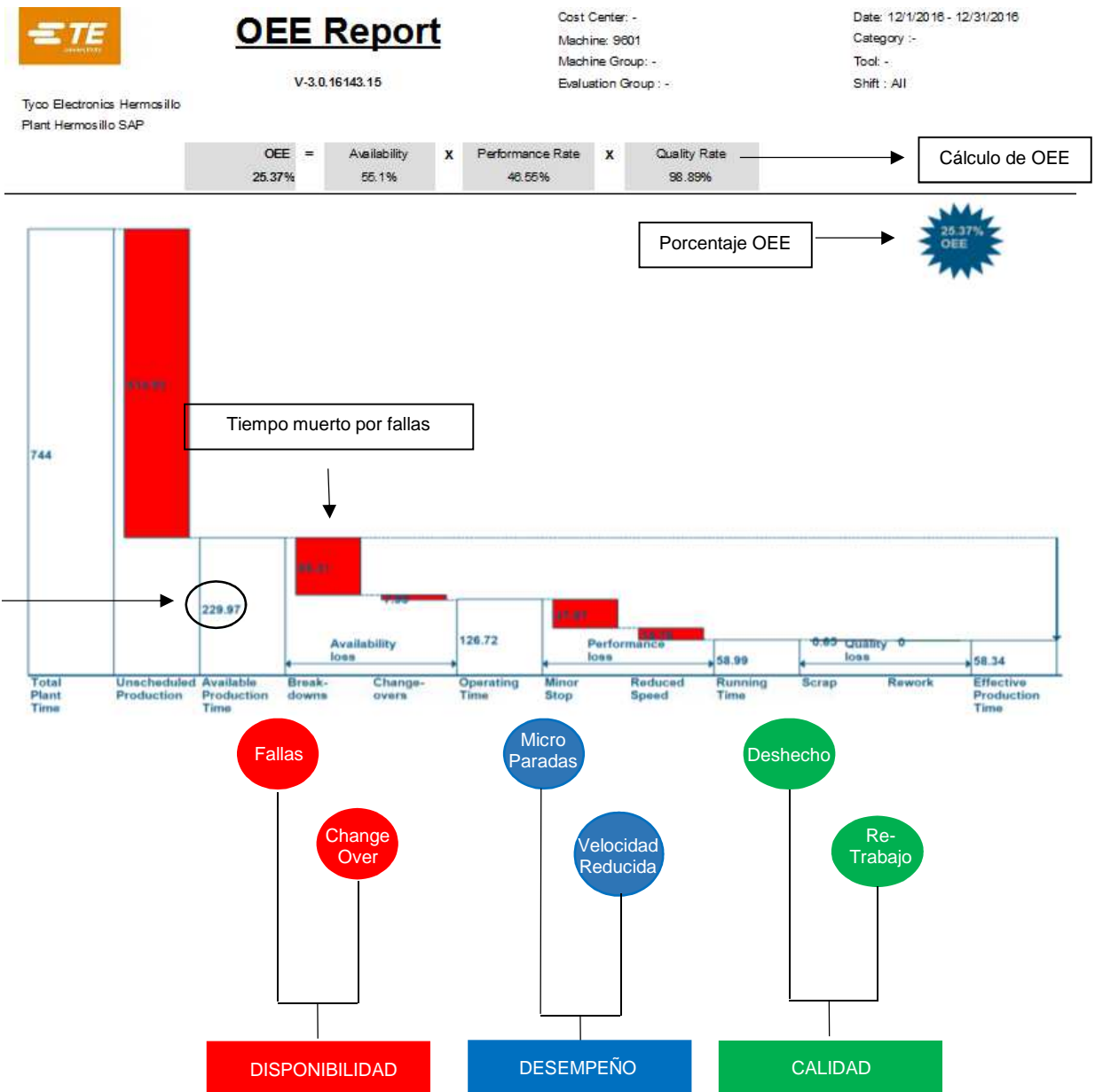


Figura 43: Gráfico de OEE, en donde se puede observar información importante y componentes principales. (TE Connectivity, 2017).

Para el cálculo de la disponibilidad, se toma en cuenta el tiempo reportado sobre alguna falla en el equipo, *setups*, *changeovers*, entre otros. De acuerdo con la imagen anterior, se tienen 744 horas disponibles de la máquina (barra de *total plant time*) y 514.03 horas en las que la prensa no tiene asignada alguna orden. Se restan los valores anteriores y se obtiene el “*Available Production Time*” que es el tiempo que está asignado para producción de la prensa correspondiente. De ahí, en los gráficos subsiguientes, se desglosan los tiempos

mueritos. Para la disponibilidad, se tienen 95.31 horas de tiempo muerto en equipo, y 7.55 horas de tiempo caído debido a *changeovers*; al sumar esas cantidades, se tienen 102.86 horas, las cuales representan el 44.72% de las 229.97 horas disponibles de producción. Por lo tanto, la disponibilidad del equipo se representa por el 55.2% del tiempo total.

3.2.5 Recolección de datos relacionados al tema. Dentro de la planta, se cuenta con un sistema de recolección de datos llamado *Hydra*, del cual se obtiene numerosa información acerca del proceso de estampado. Para el caso de este estudio, se pretende recolectar números mensuales del métrico del *OEE*, desde junio del 2017 hasta junio del 2018. Se verificará también el registro de tiempos muertos que presente la prensa 1 (que es donde se realizará la mejora), ya que, mediante el aumento de la disponibilidad de la prensa, principal objetivo de este estudio, es como se pretende mejorar el porcentaje de *OEE*.

3.2.6 Realizar el plan para la instalación de los dispositivos en prensa: Se deshabilitó la prensa por cuatro semanas; para ello, antes de comenzar con la instalación, se tuvieron listos todos los dispositivos necesarios para la mejora, al igual que la programación del *PLC* (faltando las pruebas necesarias con todo ya funcional); se tuvo herramienta a la mano (diagramas, herramienta de mano, multímetro,...) y el panel de control nuevo tenía ciertos dispositivos básicos ya instalados; el cableado se instaló y etiquetó cuando ya se tuvo el panel armado casi completamente. Al detenerse la prensa, se removieron los dispositivos que ya no formarían parte del proceso, y al finalizar, se realizaron las pruebas correspondientes.

3.2.7 Seleccionar los dispositivos. Se realizó un estudio correspondiente para determinar cuáles eran las propiedades que se buscaban de acuerdo a las necesidades del proyecto (la descripción detallada se encuentra en el apartado de materiales).

3.2.8 Creación y obtención de presupuesto. De acuerdo a los gastos estimados de material y mano de obra por parte del proveedor externo, se calcularon \$20,000 dólares para la mejora en una prensa. Los precios desglosados también se externan en la sección de materiales.

3.2.9 Implementación de mejora. El proyecto se realizó dentro del presupuesto establecido y se contó con los materiales listos al momento de detener la prensa. Se comenzó en la última semana de diciembre del 2017 y se terminó la última semana de enero del 2018. En la figura 44 se observa el desarrollo de este proyecto, y en la imagen 45, el *timeline* de las actividades y los tiempos en los que se desarrollaron.

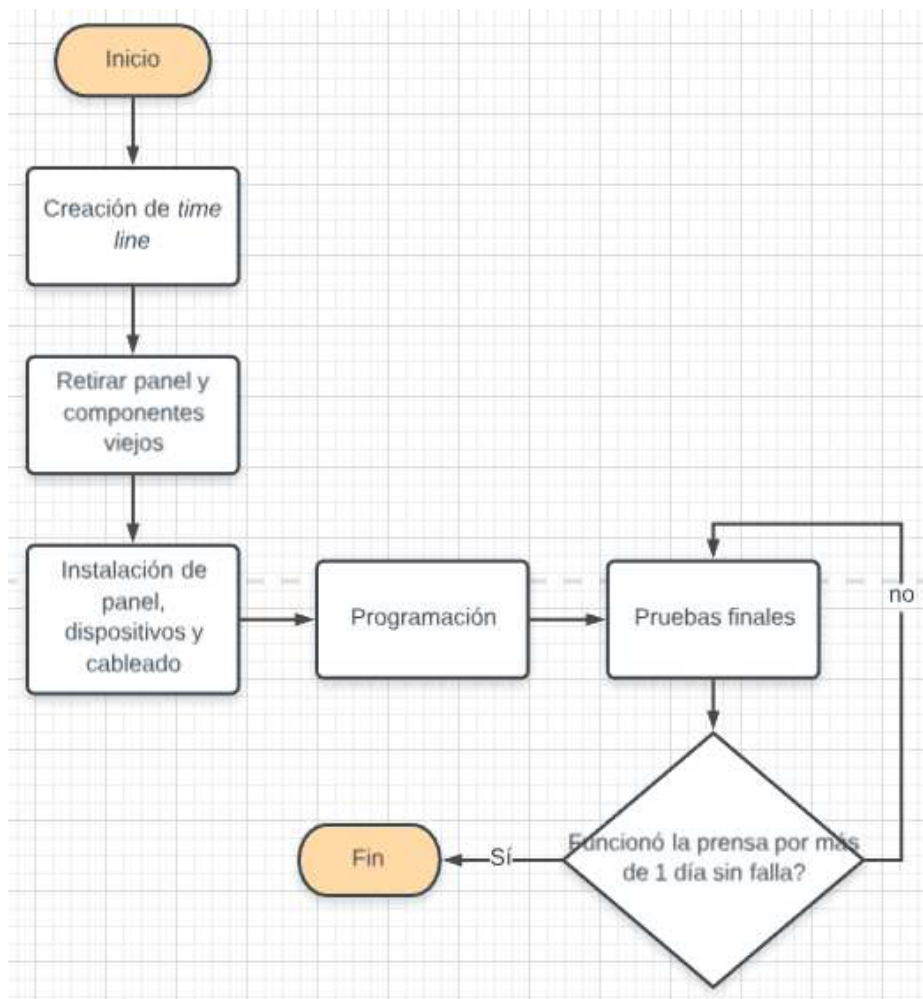


Figura 44: Diagrama de flujo de desarrollo de mejora en prensa 1.

TIMELINE	Semana 51	Semana 51	Semana 51	Semana 51
Actualización en prensa (30 días)				
1.- Retirar componentes actuales (3 días)				
1.1.- Retirar panel viejo (2 días)				
1.2.- Retirar excedentes de panel en piso (1 día)				
2.- Instalación de nuevos dispositivos (10 días)				
2.1.- Instalación y sujeción de nuevo panel (1 día)				
2.2.- Instalación de PLC, contactores, protecciones, etc. (2 días)				
2.3.- Cableado (5 días)				
2.4.- Instalación de HMI y brazo (2 días)				
3.- Programación (10 días)				
4.- Pruebas finales (7 días)				

Figura 45: Timeline desglosado de las actividades del proyecto.

3.2.10 Corroboración de hipótesis. Al finalizar el proyecto y comenzar a regularizar horas de producción en esta prensa, se registraron los porcentajes de *OEE* arrojados los siguientes dos meses después de la mejora, ya que la implementación hubiese superado su periodo de prueba y se realizaran los entrenamientos correspondientes; esto para comprobar si realmente la mejora ayudó a aumentar los porcentajes de *OEE* con respecto a los cinco meses anteriores a la implementación.

3.2.11 Presentar conclusiones y verificación de viabilidad. Al tener los datos correspondientes, se hicieron las comparaciones para comprobar la hipótesis. Se documentaron las actividades dentro del trabajo de tesis y la presentación final. Al haber significado mejora para el *OEE*, se está considerando implementar en una o dos prensas para el próximo año fiscal (2019).

3.3 Técnicas de muestreo / recolección de información

Para este proyecto, se utilizó un estudio estadístico para verificar el comportamiento de los tiempos de paro, así como los tiempos de producción y el tiempo para la reparación de defectos. Todo lo anterior para tener una mejor interpretación de los datos y poder hacer correcto uso de ellos, y ver de qué manera repercuten en el cálculo del *OEE*. Igualmente, el estudio estadístico también se implementará en los registros recabados de porcentaje de *OEE*.

3.4 Análisis de información

Se analizó la información recabada del *OEE* durante los meses posteriores a la implementación para poder verificar su comportamiento mediante técnicas estadísticas. Al finalizar la mejora, de nuevo se tomó registro de los valores de *OEE* a los meses siguientes para realizar la comparación correspondiente, a lo que se concluyó que el rediseño de la prensa ayudó a aumentar los niveles de *OEE*.

Para presentar y analizar la información recabada, se utilizaron programas como *Minitab* y *Excel*, ya que en ellos se pueden interpretar los datos recabados mediante técnicas de análisis y muestreo. Se utilizaron tablas de tiempos y distribución de datos, gráficas, figuras, entre otros, para la correcta presentación de los mismos.

Como parte del proceso, en la figura 46 aparece el mapeo de proceso de la metodología.

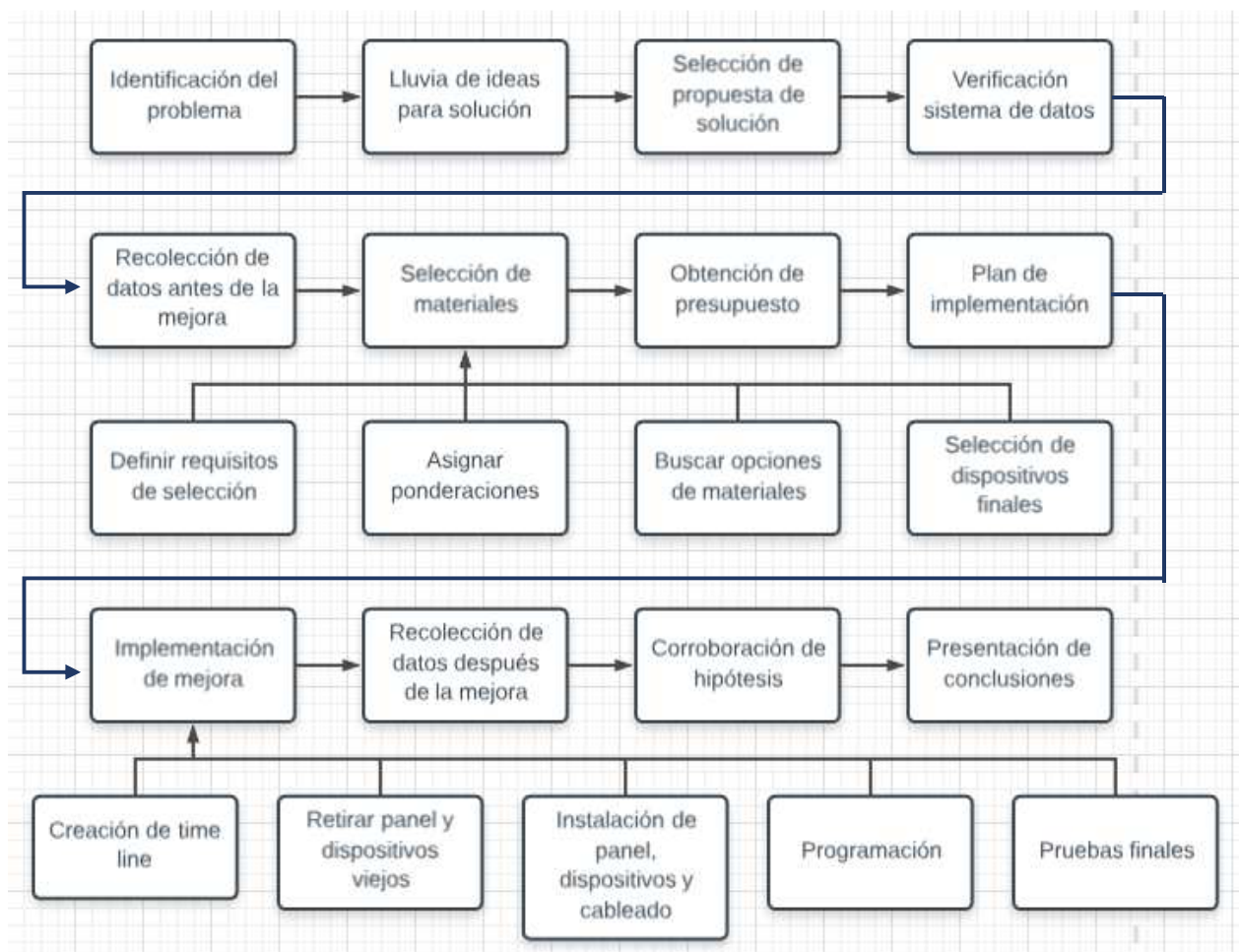


Figura 46: Mapeo de proceso que se siguió para desarrollar el proyecto de mejora de prensa.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto al análisis de los resultados, los datos se obtuvieron del sistema *Hydra* dentro de la empresa; en él es recabada la información de prácticamente toda la operación de estampado, desde paros por falta de material hasta los tiempos de producción. De este mismo sistema se obtuvo el tipo de falla ocurrida en orden cronológico por 7 días consecutivos, el tiempo de duración, la fecha, la hora y el tipo de *status* al que correspondía cada paro de la máquina. La razón de cómo la empresa realiza sus cálculos de cada uno de los rubros que conforman el “OEE” son mostrados a continuación en la figura 47.

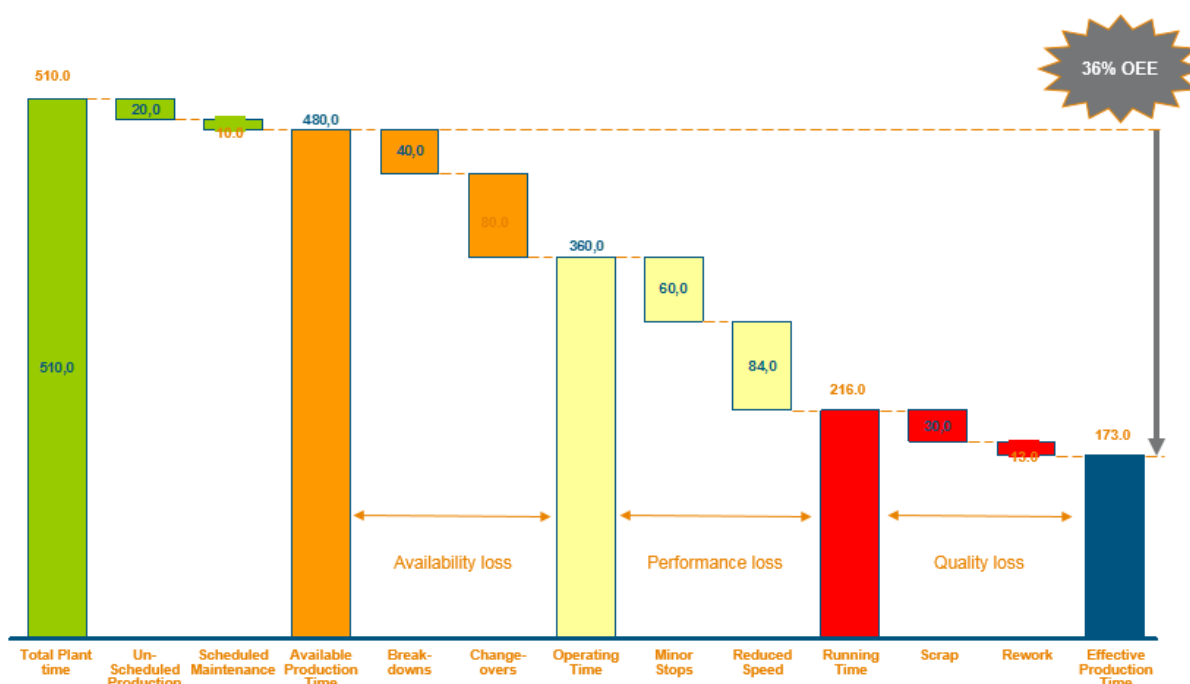


Figura 47: Gráficas que indican de dónde se obtienen los tiempos para el OEE.

Expuestos en la gráfica anterior están todos los tiempos que intervienen para el cálculo de la disponibilidad, productividad y calidad. La barra verde corresponde al tiempo total de horas disponibles que representan las 16 prensas de lunes a domingo (24 horas por día); de ahí, la gráfica naranja corresponde al tiempo contemplado de las prensas para producción, sin tomar en cuenta los tiempos de prensas que no son consideradas debido a diversos factores. De ese tiempo, son eliminados los tiempos caídos que afectan la disponibilidad del equipo. De ahí, se parte a lo que es la resta de los tiempos de micro paro y velocidad reducida, mismos que afectan la productividad. La barra siguiente es la de

calidad, conformada por la resta de los tiempos de *scrap* y retrabajo. Por último, la barra azul corresponde a la medida final del *OEE*, en la cual repercuten todos los tiempos antes mencionados.

A continuación, las fórmulas de las ecuaciones 31, 32 y 33 son utilizadas para obtener los parámetros de disponibilidad, productividad y calidad (las igualdades escritas en inglés representan la manera en la que los apartados aparecen en sistema):

Disponibilidad:

$$\frac{\textit{T tiempo operando de la máquina}}{\textit{T tiempo disponible para producción}} = \frac{\textit{Operating time}}{\textit{Available Production Time}} \quad (31)$$

Productividad:

$$\frac{\textit{T tiempo de producción (sin microparos)}}{\textit{T tiempo de la máquina operando}} = \frac{\textit{Running Time}}{\textit{Operating time}} \quad (32)$$

Calidad:

$$\frac{\textit{T tiempo de piezas buenas producidas}}{\textit{T tiempo de piezas totales producidas}} = \frac{\textit{Effective Production Time}}{\textit{Running Time}} \quad (33)$$

Ahora, las tablas 2, 3 y 4 exponen los datos antes de la mejora desde el 15 de julio al 20 de octubre del 2017 para prensa 1; para los datos obtenidos después de la mejora, el periodo comprende desde la semana del 9 al 15 de junio del 2018 (tablas 5, 6 y 7). Las principales razones para dejar aproximadamente 8 semanas después de la instalación para comenzar a analizar datos, fue debido a pruebas de funcionamiento después de la instalación, correcciones y mejoras, validaciones de seguridad, entrenamiento a operadores, entrenamiento al equipo de mantenimiento, adaptación de la prensa a los sistemas de medición de tiempo muerto (*Hydra*), ajuste de los planes de producción hacia la prensa, entre otros.

Tabla 2: Datos de OEE y sus componentes antes de la mejora para disponibilidad.

Fecha	Tiempo de operación de la máquina	Tiempo disponible para producción	Disponibilidad
15-21 julio	53	84	63
22-28 julio	53	84	63
29 julio - 4 agosto	34	50	68
5-11 agosto	85.5	147	58
12-18 agosto	33.5	57	58
19-25 agosto	60	107	56
26 agosto - 1 septiembre	39	97	40
2-8 septiembre	30	75	40
9-15 septiembre	26	65	40
16-22 septiembre	32	52	61
23-29 septiembre	51	73	69
30 septiembre - 6 octubre	638	1350	47
7-13 octubre	36	85	42
14-20 octubre	54	125	43

Tabla 3: Datos de OEE y sus componentes antes de la mejora para productividad.

Fecha	Tiempo de producción	Tiempo de operación de la máquina	Productividad
15-21 julio	36	53	67
22-28 julio	37.5	53	70
29 julio - 4 agosto	25	34	73
5-11 agosto	55	85.5	64
12-18 agosto	22.5	33.5	67
19-25 agosto	43.5	60	72
26 agosto - 1 septiembre	29.5	39	75
2-8 septiembre	21	30	70
9-15 septiembre	16.7	26	64
16-22 septiembre	22.3	32	69
23-29 septiembre	34.5	51	67
30 septiembre - 6 octubre	475	638	74
7-13 octubre	23.5	36	65
14-20 octubre	35	54	64

Tabla 4: Datos de *OEE* y sus componentes antes de la mejora para calidad.

Fecha	Tiempo de piezas buenas	Tiempo de producción	Calidad	OEE
15-21 julio	34.7	36	96	40
22-28 julio	37	37.5	98	43
29 julio - 4 agosto	24.9	25	99	49
5-11 agosto	52.5	55	95	35
12-18 agosto	22.1	22.5	98	38
19-25 agosto	42.5	43.5	97	39
26 agosto - 1 septiembre	28.3	29.5	95	29
2-8 septiembre	20.5	21	97	27
9-15 septiembre	15.6	16.7	93	24
16-22 septiembre	21.7	22.3	97	41
23-29 septiembre	34	34.5	98	46
30 septiembre - 6 octubre	445	475	93	32
7-13 octubre	23	23.5	97	26
14-20 octubre	33.8	35	96	26

Tabla 5: Datos de *OEE* y sus componentes después de la mejora para disponibilidad.

Fecha	Tiempo de operación de la máquina	Tiempo disponible para producción	Disponibilidad
2-8 junio	31.5	76	41
9-15 junio	34.5	81	42
16-22 junio	33	80	41
23-29 junio	34	83	40
30 junio - 6 julio	50	87	57
7-13 julio	56	80	70
14-20 julio	49.5	66	75
21-27 julio	76	96	79

Tabla 6: Datos de *OEE* y sus componentes después de la mejora para productividad.

Fecha	Tiempo de producción	Tiempo de operación de la máquina	Productividad
2-8 junio	20.5	31.5	65
9-15 junio	22	34.5	63
16-22 junio	45.5	33	72
23-29 junio	26.5	34	77
30 junio - 6 julio	37	50	74
7-13 julio	39.5	56	70

14-20 julio	37.5	49.5	75
21-27 julio	60.5	76	79

Tabla 7: Datos de OEE y sus componentes después de la mejora para calidad.

Fecha	Tiempo de piezas buenas	Tiempo de producción	Calidad	OEE
2-8 junio	20.3	20.5	99	26
9-15 junio	21.5	22	97	26
16-22 junio	44.5	45.5	97	29
23-29 junio	26.62	26.5	99	30
30 junio - 6 julio	37	37	100	42
7-13 julio	37.5	39.5	95	47
14-20 julio	36.5	37.5	97	55
21-27 julio	60	60.5	99	62

Para las comparaciones correspondientes, se utilizó el paquete estadístico Minitab para verificar los resultados antes y después. A continuación, el análisis de cada uno de los apartados.

4.1- Análisis de datos para Calidad

En este apartado se verificará si la distribución que siguen los datos de los porcentajes de calidad corresponde a una distribución normal. La prueba será primeramente para los datos antes de la mejora, seguida por los valores después de la mejora; igualmente tomarán lugar las pruebas de varianzas y pruebas t .

4.1.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de calidad.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal
4. $\alpha = 0.05$

5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 48.

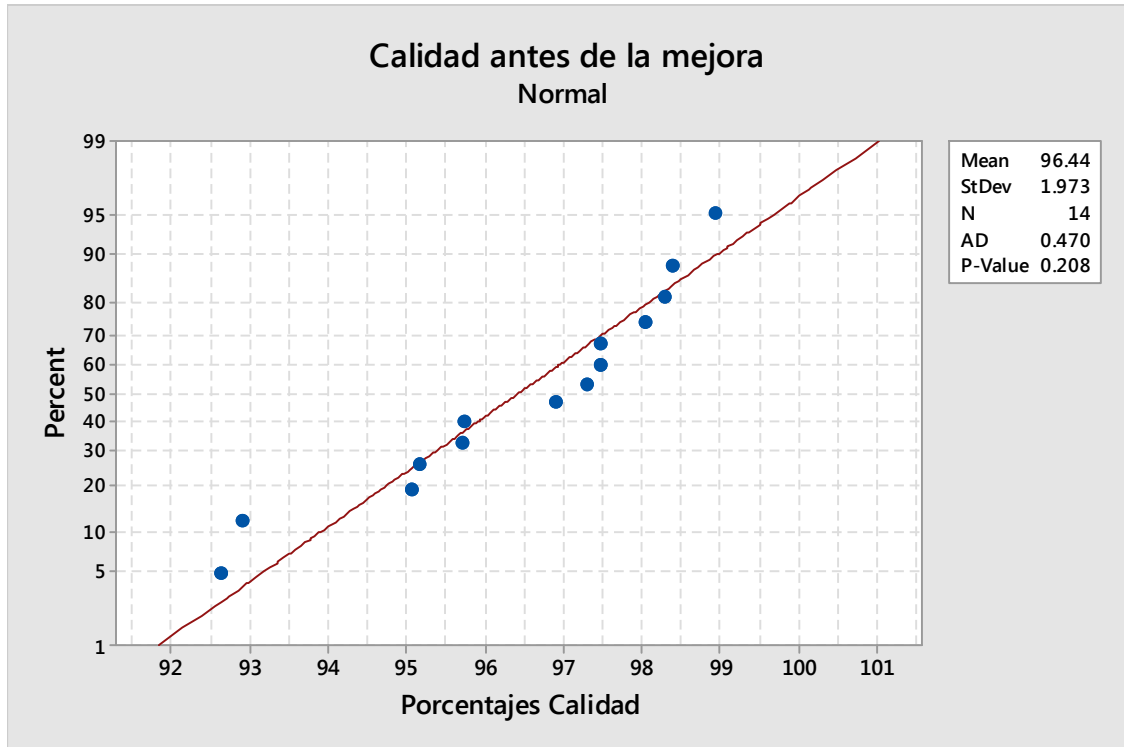


Figura 48: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de calidad antes de la mejora.

6. Decisión: No se rechaza la hipótesis nula debido a que el valor $P=0.208$ es mayor que $\alpha=0.05$.

7. Conclusión: Los valores de porcentaje de calidad siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.1.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de calidad.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal

4. $\alpha = 0.05$

5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 49.

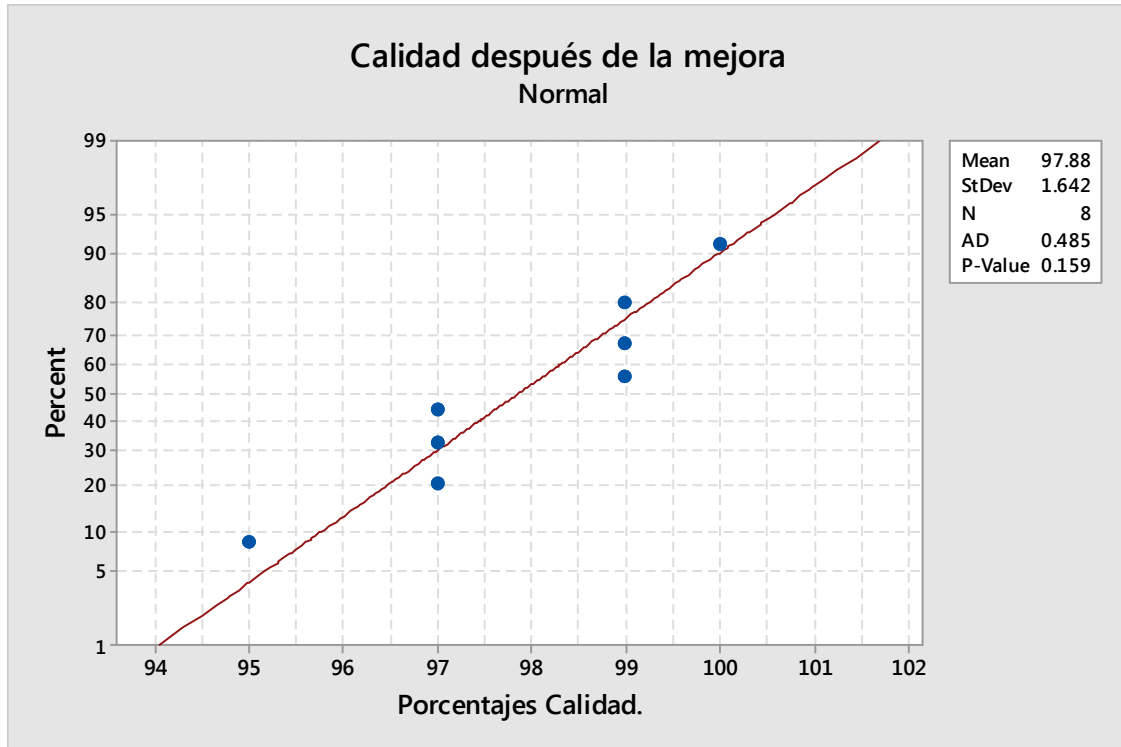


Figura 49: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de calidad después de la mejora.

6. Decisión: no se rechaza la hipótesis nula dado el valor del estadístico $P=0.159$.

7. Conclusión: los valores de calidad siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.2.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (Calidad)

Esta prueba es realizada para verificar si existe igualdad de varianzas de ambas muestras, de esta manera, es posible reconocer más fácilmente si hubo una mejora o no. Al asumir varianzas iguales, las desviaciones estándar de la muestra son agrupadas para obtener un cálculo simple de σ . La prueba t de dos muestras con varianzas agrupadas es ligeramente más fuerte que la prueba t de dos muestras con varianzas desiguales, pero si las varianzas no son iguales, puede ocurrir un error grave. Por consiguiente, el cálculo de varianza

agrupada solo se debe utilizar si una prueba de hipótesis sugiere que las varianzas son iguales. (Montgomery & Runger, 2013).

A continuación, los puntos a realizar de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: verificar si las varianzas de ambas muestras son iguales.
2. $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$
3. $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 29.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 50.

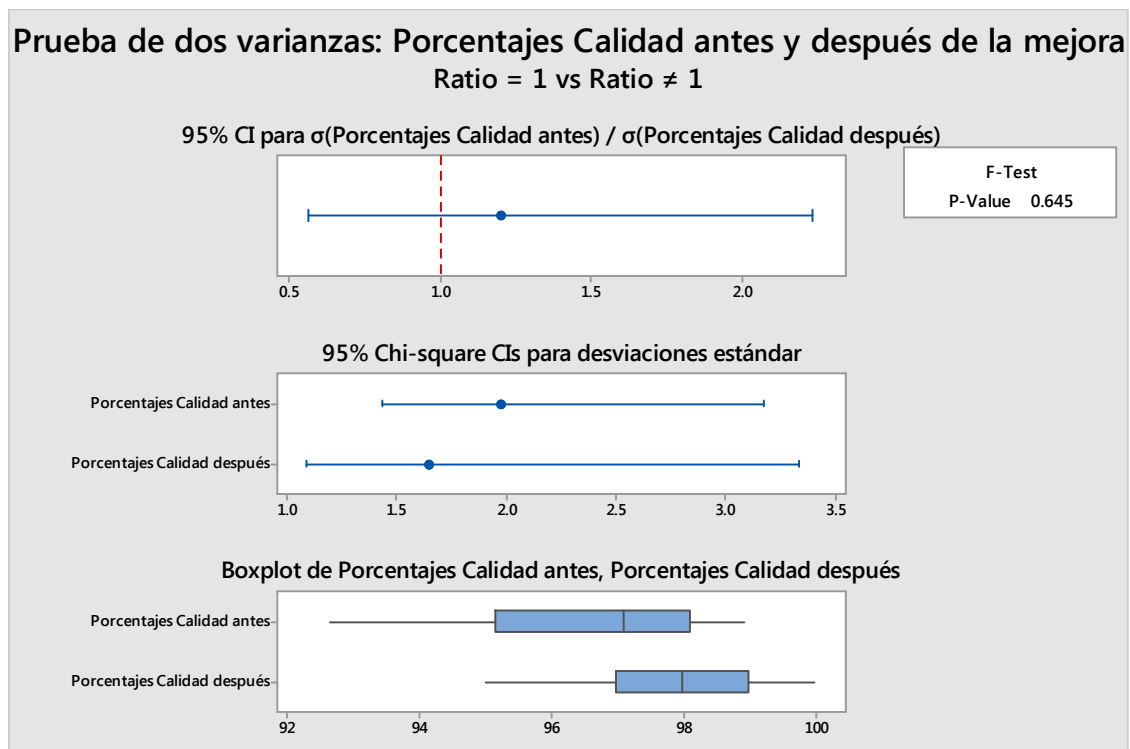


Figura 50: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de calidad.

6. Decisión: se rechaza H_0 si $F > F_{\frac{\alpha}{2}} = 1.44 > 4.57$. El valor 4.57 se obtiene de la tabla de puntos porcentuales de la distribución F; para $df_1 = (n_1 - 1)$ y $df_2 = (n_2 - 1)$, se tiene 13 y 7 respectivamente.

7. Conclusión: puesto que 1.44 es menor 4.57, H_0 no puede rechazarse. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 se cuenta con evidencia sólida para concluir que hay igualdad en las varianzas de los valores de los porcentajes de calidad antes y después de la mejora.

4.3.- Pruebas de hipótesis para prueba t (Calidad)

En este apartado fueron verificados los resultados de la prueba t , para así corroborar los resultados obtenidos con pruebas anteriores y obtener suficiente información para discernir si los datos de ambos grupos son iguales. A continuación, los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. Los parámetros de interés son los valores de porcentajes de calidad, y el interés se encuentra en determinar si $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
2. $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, o $\mu_1 = \mu_2$
3. $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 28.

Nota: El cálculo se hará mediante *Minitab*; datos mostrados en la tabla 8.

Tabla 8: Resultados de la prueba "sample T " y valores de estadísticos de calidad.

n	Media	Desv. Est.	t	P
Valores antes de la mejora	96.44	1.97	-1.74	0.097
Valores después de la mejora	97.88	1.64		

6. Decisión: se rechaza H_0 si $t_0 > t_{0.025,20} = 2.086$ o si $t_0 < -t_{0.025,20} = -2.086$

7. Conclusión: puesto que $-2.086 < t_0 = -1.74 < 2.086$ no puede rechazarse la hipótesis nula. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 no se cuenta con evidencia sólida para concluir que los valores de los porcentajes de calidad antes y después de la mejora sean diferentes.

4.4- Análisis de datos para Productividad

En este apartado se verificará si la distribución que siguen los datos de los porcentajes de productividad corresponde a una distribución normal. La prueba será primeramente para los

datos antes de la mejora, seguida por los valores después de la mejora; igualmente tomarán lugar las pruebas de varianzas y pruebas t .

4.4.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de productividad.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 51.

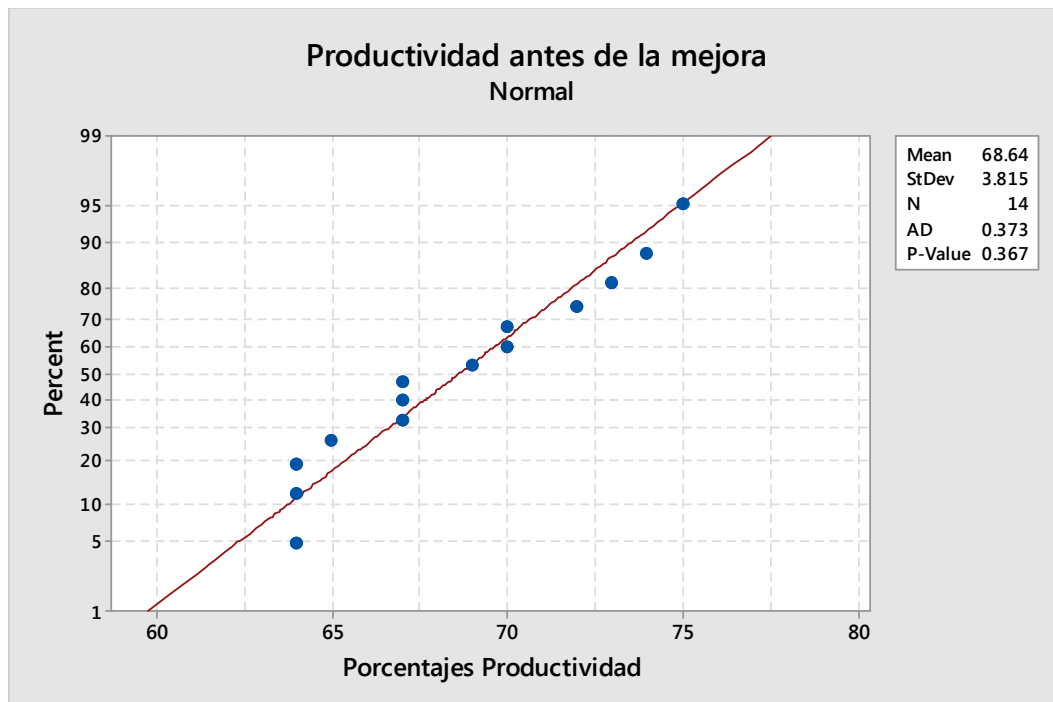


Figura 51: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de productividad después de la mejora.

6. Decisión: no se rechaza la hipótesis nula debido a que el valor $P=0.367$ es mayor que $\alpha=0.05$.

7. Conclusión: los valores de porcentaje de productividad siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.4.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de productividad.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 52.

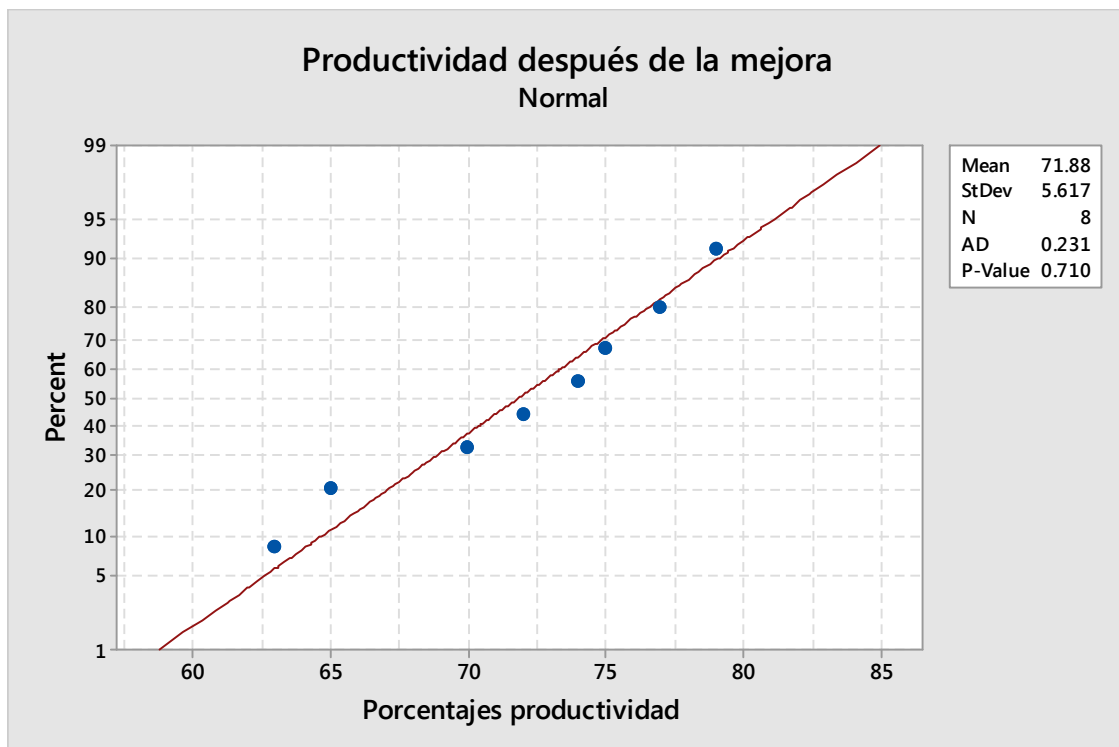


Figura 52: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de productividad después de la mejora.

6. Decisión: no se rechaza la hipótesis nula dado el valor del estadístico $P=0.710$.

7. Conclusión: los valores de productividad siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.5.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (Productividad)

Esta prueba es realizada para verificar si existe igualdad de varianzas de ambas muestras, de esta manera, es posible reconocer más fácilmente si hubo mejora o no. Al asumir varianzas iguales, las desviaciones estándar de la muestra son agrupadas para obtener un cálculo simple de σ . La prueba t de dos muestras con varianzas agrupadas es ligeramente más fuerte que la prueba t de dos muestras con varianzas desiguales, pero si las varianzas no son iguales, puede ocurrir un error grave. Por consiguiente, el cálculo de varianza agrupada solo se debe utilizar si una prueba de hipótesis sugiere que las varianzas son iguales. (Montgomery & Runger, 2013).

A continuación, los puntos a realizar de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: verificar si las varianzas de ambas muestras son iguales.

2. $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

3. $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

4. $\alpha = 0.05$

5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 29.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 53.

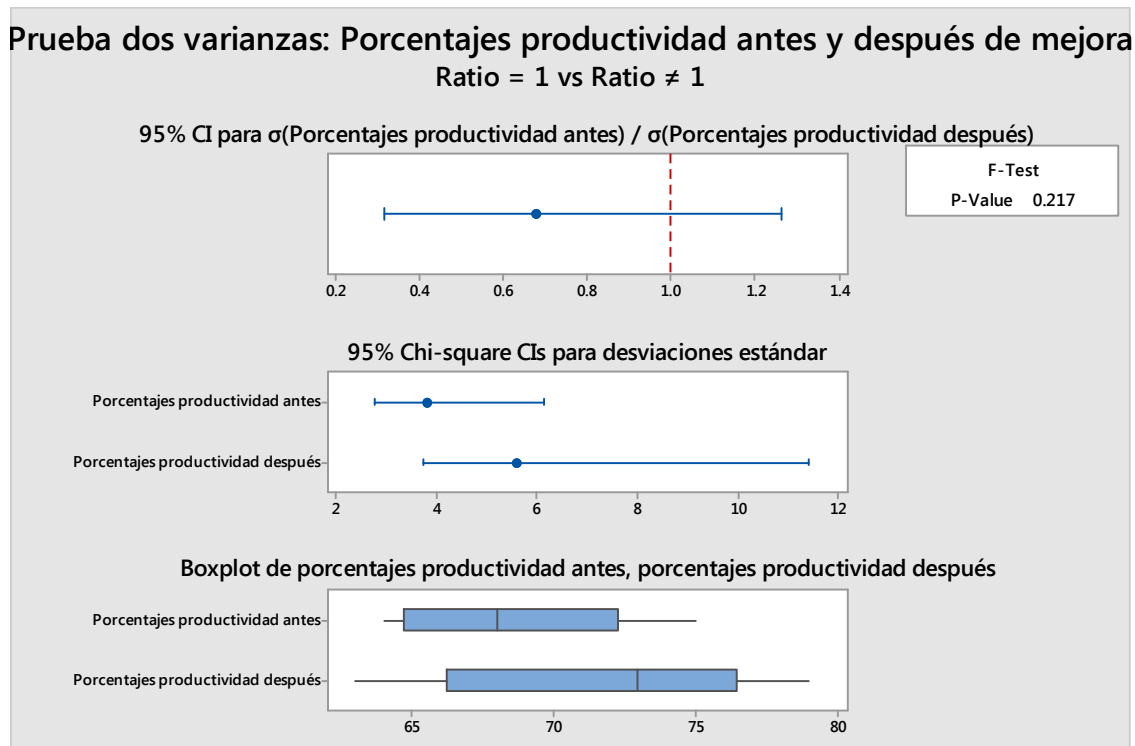


Figura 53: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de productividad.

6. Se rechaza H_0 si $F > F_{\frac{\alpha}{2}} = 0.46 > 4.57$. El valor 4.57 se obtiene de la tabla de puntos porcentuales de la distribución F; para $df_1 = (n_1 - 1)$ y $df_2 = (n_2 - 1)$, se tiene 13 y 7 respectivamente.

7. Puesto que 0.46 es menor 4.57, H_0 no puede rechazarse. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 se cuenta con evidencia sólida para concluir que hay igualdad en las varianzas de los valores de los porcentajes de productividad antes y después de la mejora.

4.6.- Pruebas de hipótesis para prueba t (Productividad)

En este apartado fueron verificados los resultados de la prueba t, para así corroborar los resultados obtenidos con pruebas anteriores y obtener suficiente información para discernir si los datos de ambos grupos son iguales. A continuación, los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. Los parámetros de interés son los valores de porcentajes de productividad, y el interés se encuentra en determinar si $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
2. $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, o $\mu_1 = \mu_2$

3. $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

4. $\alpha = 0.05$

5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 28.

Nota: El cálculo se hará mediante *Minitab*; datos mostrados en la tabla 9.

Tabla 9: Resultados de la prueba "sample T" y valores de estadísticos de productividad.

n	Media	Desv. Est.	t	P
Valores antes de la mejora	68.64	3.82	-1.61	0.123
Valores después de la mejora	71.88	5.62		

6. Se rechaza H_0 si $t_0 > t_{0.025,20} = 2.086$ o si $t_0 < -t_{0.025,20} = -2.086$

7. Puesto que $-2.086 < t_0 = -1.61 < 2.086$ no puede rechazarse la hipótesis nula. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 no se cuenta con evidencia sólida para concluir que los valores de los porcentajes de productividad antes y después de la mejora sean diferentes.

4.7- Análisis de datos para Disponibilidad

En este apartado se verificará si la distribución que siguen los datos de los porcentajes de disponibilidad corresponde a una distribución normal. La prueba será primeramente para los datos antes de la mejora, seguida por los valores después de la mejora; igualmente tomarán lugar las pruebas de varianzas y pruebas t .

4.7.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de disponibilidad.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal
4. $\alpha = 0.05$

5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 54.

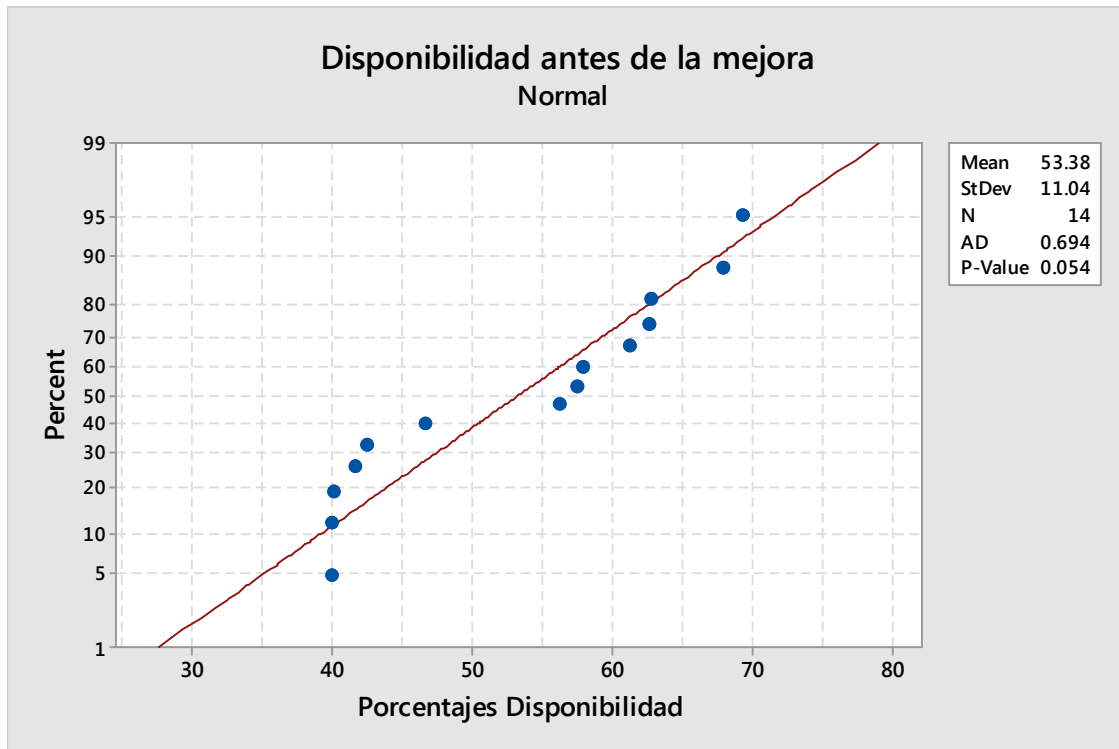


Figura 54: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de disponibilidad antes de la mejora.

6. Decisión: no se rechaza la hipótesis nula debido a que el valor $P=0.054$ es mayor que $\alpha=0.05$.

7. Conclusión: los valores de porcentajes de disponibilidad siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.7.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de disponibilidad.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal

4. $\alpha = 0.05$

5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 55.

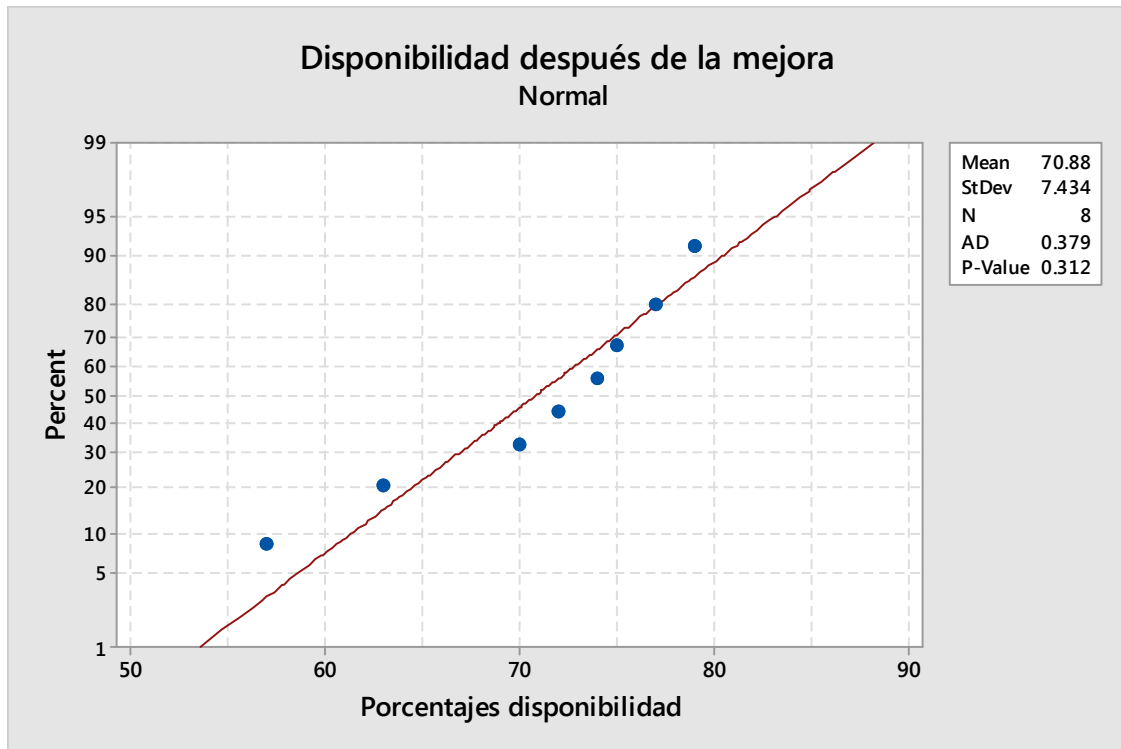


Figura 55: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de disponibilidad después de la mejora.

6. Decisión: no se rechaza la hipótesis nula dado el valor del estadístico $P=0.312$.

7. Conclusión: los valores de disponibilidad siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.8.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (Disponibilidad)

Esta prueba es realizada para verificar si existe igualdad de varianzas de ambas muestras, de esta manera, es posible reconocer más fácilmente si hubo una mejora o no. Al asumir varianzas iguales, las desviaciones estándar de la muestra son agrupadas para obtener un cálculo simple de σ . La prueba t de dos muestras con varianzas agrupadas es ligeramente más fuerte que la prueba t de dos muestras con varianzas desiguales, pero si las varianzas no son iguales, puede ocurrir un error grave. Por consiguiente, el cálculo de varianza

agrupada solo se debe utilizar si una prueba de hipótesis sugiere que las varianzas son iguales. (Montgomery & Runger, 2013).

A continuación, los puntos a realizar de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: verificar si las varianzas de ambas muestras son iguales.
2. $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$
3. $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 29.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 56.

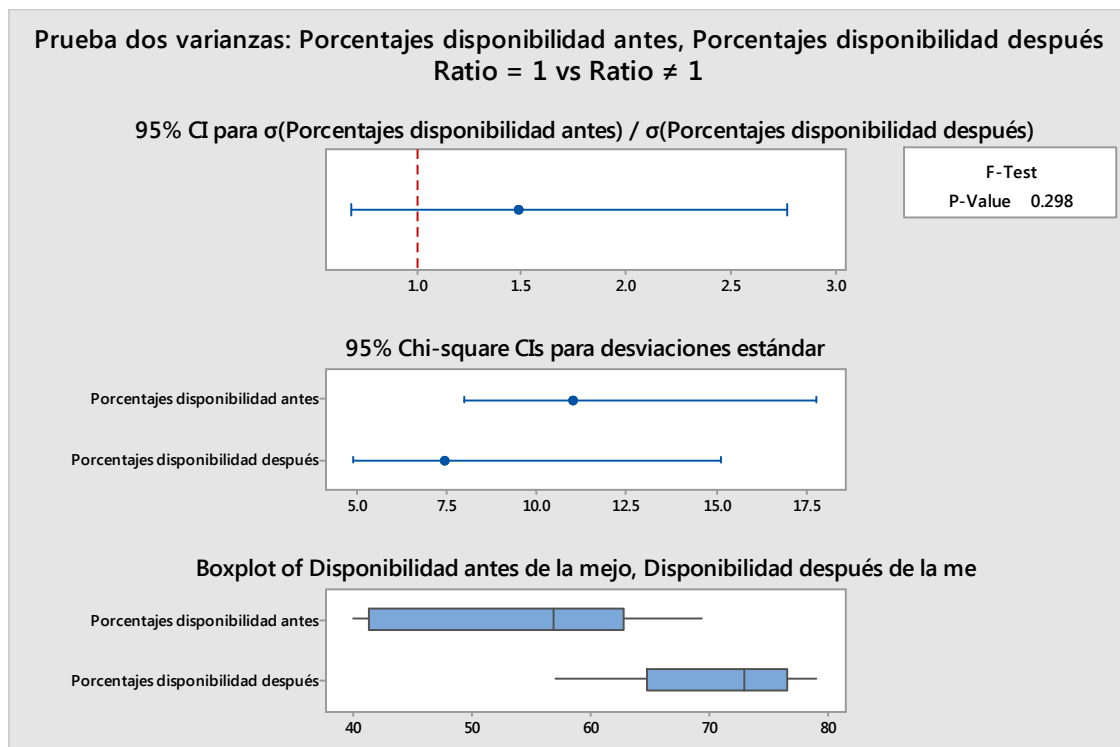


Figura 56: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de disponibilidad.

6. Se rechaza H_0 si $F > F_{\frac{\alpha}{2}} = 2.21 > 4.57$. El valor 4.57 se obtiene de la tabla de puntos porcentuales de la distribución F; para $df_1 = (n_1 - 1)$ y $df_2 = (n_2 - 1)$, se tiene 13 y 7 respectivamente.

7. Puesto que 2.21 es menor 4.57, H_0 no puede rechazarse. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 se cuenta con evidencia sólida para concluir que hay igualdad en las varianzas de los valores de los porcentajes de disponibilidad antes y después de la mejora.

4.9.- Pruebas de hipótesis para prueba t (Disponibilidad)

En este apartado fueron verificados los resultados de la prueba t, para así corroborar los resultados obtenidos con pruebas anteriores y obtener suficiente información para discernir si los datos de ambos grupos son iguales. A continuación, los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. Los parámetros de interés son los valores de porcentajes de disponibilidad, y el interés se encuentra en determinar si $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
2. $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
3. $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 28.

Nota: El cálculo se hará mediante *Minitab*; datos mostrados en la tabla 10.

Tabla 10: Resultados de la prueba "sample T" y valores de estadísticos de disponibilidad.

n	Media	Desv. Est.	t	P
Valores antes de la mejora	53.4	11	-3.98	0.001
Valores después de la mejora	70.88	7.43		

6. Se rechaza H_0 si $t_0 > t_{0.025,20} = 2.086$ o si $t_0 < -t_{0.025,20} = -2.086$

7. Puesto que $-2.086 < t_0 = -3.98 < 2.086$ se rechaza la hipótesis nula. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 se cuenta con evidencia sólida para concluir que los valores de los porcentajes de disponibilidad antes y después de la mejora son diferentes.

4.10- Análisis de datos para OEE

En este apartado se verificará si la distribución que siguen los datos de los porcentajes de OEE corresponde a una distribución normal. Se procederá a realizar la prueba

primeramente para los datos antes de la mejora, seguida por los valores después de la mejora; igualmente tomarán lugar las pruebas de varianzas y pruebas t .

4.10.1.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores antes de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de OEE.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 57.

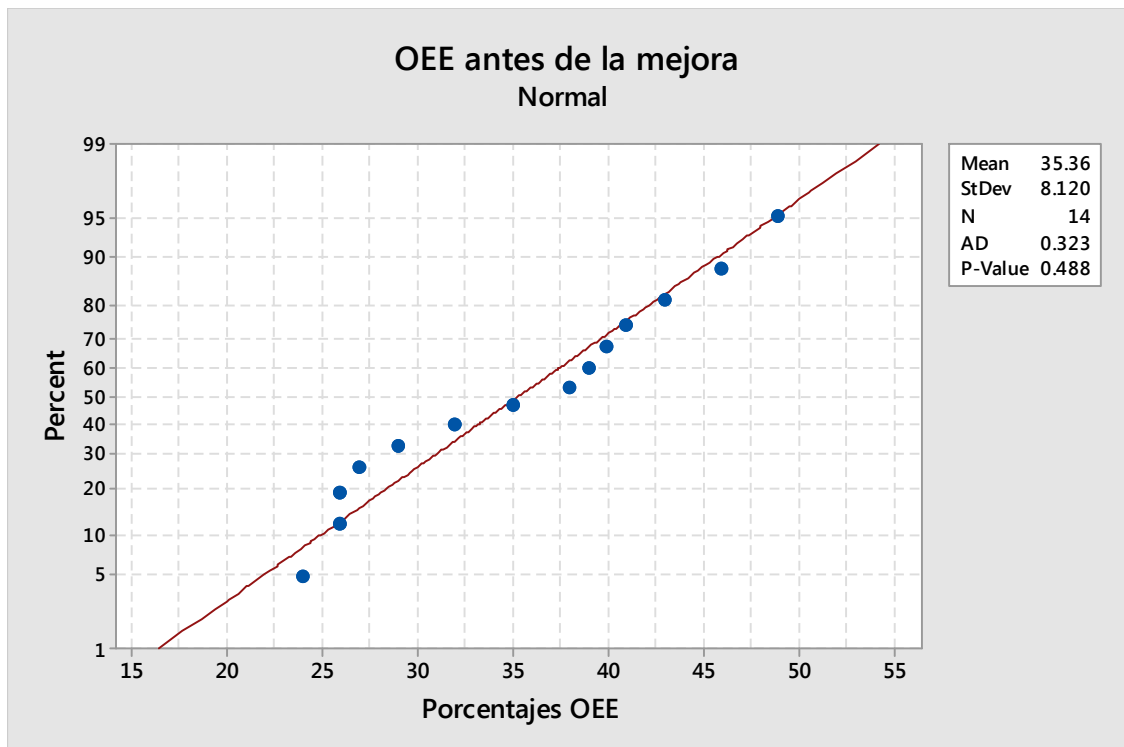


Figura 57: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de OEE antes de la mejora.

6. Decisión: no se rechaza la hipótesis nula debido a que el valor $P=0.488$ es mayor que $\alpha=0.05$.

7. Conclusión: los valores de porcentajes de disponibilidad siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.10.2.- Prueba de hipótesis para una distribución normal con valores después de la mejora.

Realizando los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: es la forma de la distribución que siguen los valores de porcentajes de *OEE*.
2. H_0 : La forma de la distribución es normal
3. H_1 : La forma de la distribución no es normal
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 30.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 58.

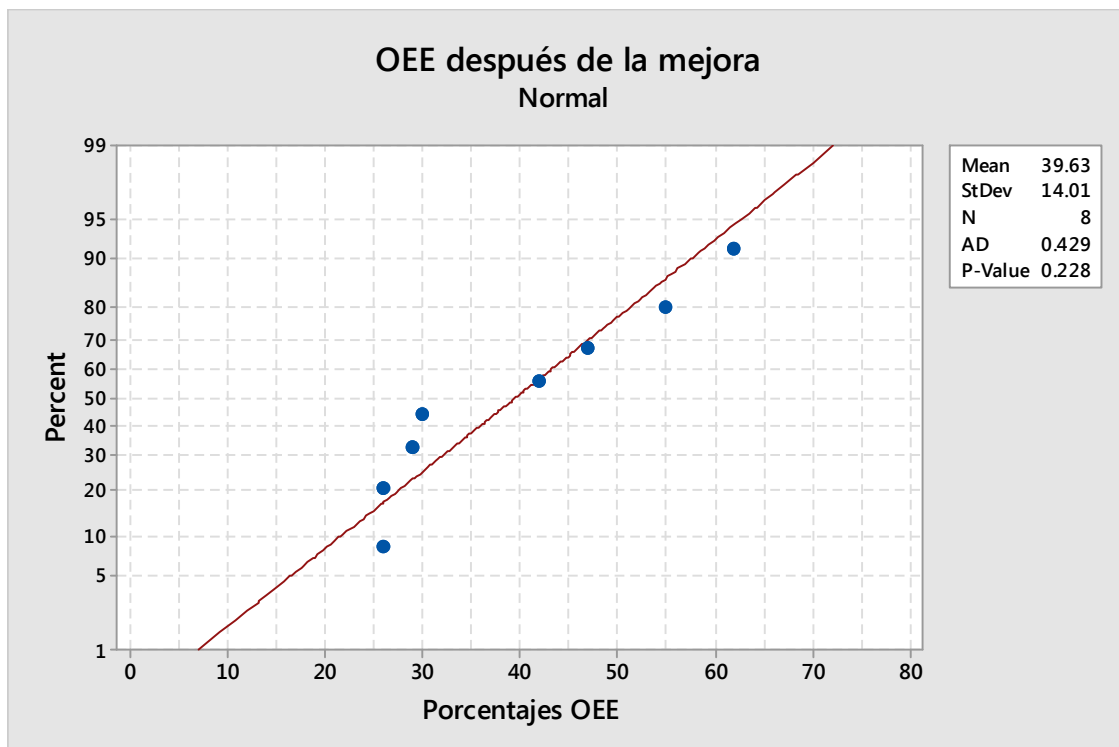


Figura 58: Gráfica para la prueba de normalidad con los valores de *OEE* después de la mejora.

6. Decisión: no se rechaza la hipótesis nula dado el valor del estadístico $P=0.228$.

7. Conclusión: los valores de *OEE* siguen una distribución normal dada la prueba de hipótesis anterior.

4.11.- Pruebas de hipótesis para varianzas iguales (*OEE*)

Esta prueba es realizada para verificar si existe igualdad de varianzas de ambas muestras, de esta manera, es posible reconocer más fácilmente si hubo una mejora o no. A continuación, los puntos a realizar de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. La variable de interés: verificar si las varianzas de ambas muestras son iguales.

2. $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

3. $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

4. $\alpha = 0.05$

5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 29.

Nota: El cálculo se hará en *Minitab*; datos mostrados en figura 59.

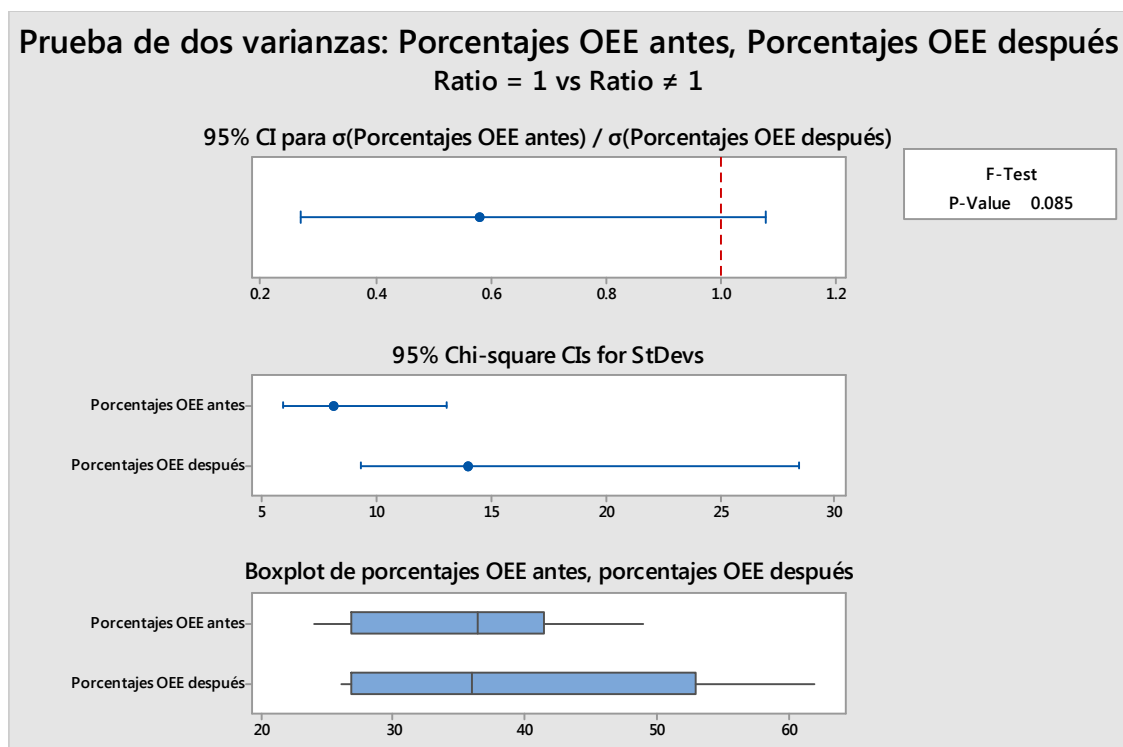


Figura 59: Gráfica con la prueba de varianzas iguales para valores de *OEE*.

6. Se rechaza H_0 si $F > F_{\frac{\alpha}{2}} = 0.33 > 4.57$. El valor 4.57 se obtiene de la tabla de puntos porcentuales de la distribución F; para $df_1 = (n_1 - 1)$ y $df_2 = (n_2 - 1)$, se tiene 13 y 7 respectivamente.

7. Puesto que 0.33 es menor 4.57, H_0 no puede rechazarse. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 se cuenta con evidencia sólida para concluir que hay igualdad en las varianzas de los valores de los porcentajes de OEE antes y después de la mejora.

4.12.- Pruebas de hipótesis para prueba t (OEE)

En este apartado fueron verificados los resultados de la prueba t, para así corroborar los resultados obtenidos con pruebas anteriores y obtener suficiente información para discernir si los datos de ambos grupos son iguales. A continuación, los puntos de la prueba de hipótesis para verificar el enunciado mencionado anteriormente:

1. Los parámetros de interés son los valores de porcentajes de OEE, y el interés se encuentra en determinar si $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
2. $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, o $\mu_1 = \mu_2$
3. $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
4. $\alpha = 0.05$
5. El estadístico de prueba se muestra en la ecuación 28.

Nota: El cálculo se hará mediante *Minitab*. datos mostrados en tabla 11.

Tabla 11: Resultados de la prueba "sample T" y valores de estadísticos de OEE.

n	Media	Desv. Est.	t	P
Valores antes de la mejora	35.36	8.12	-0.91	0.376
Valores después de la mejora	39.6	14		

6. Se rechaza H_0 si $t_0 > t_{0.025,20} = 2.086$ o si $t_0 < -t_{0.025,20} = -2.086$

7. Puesto que $-2.086 < t_0 = -0.91 < 2.086$ no se rechaza la hipótesis nula. Es decir, con el nivel de significancia 0.05 se cuenta con evidencia sólida para concluir que los valores de los porcentajes de OEE antes y después de la mejora no son diferentes.

4.13.- Análisis de consumos de *tooling* antes y después

Fue generado el reporte del consumo de los dos herramientas más utilizados para prensa 1 antes de la mejora mostrado a continuación en la figura 60.

Row Labels	43	44	45	Total Count	Total Sum of Amount in LC	
	Count of Qty	Sum of Amount	Count of Qty	Sum of Amount	Count of Qty	Sum of Amount in LC
16-0145251-00242	2 \$ (26.00)	4 \$ (65.00)	7 \$ (91.00)	13	\$ (182.00)	
16-0145251-00243	5 \$ (65.00)	5 \$ (91.00)	6 \$ (104.00)	16	\$ (260.00)	
Grand Total	7 \$ (91.00)	9 \$ (156.00)	13 \$ (195.00)	29	\$ (442.00)	

Figura 60: Reporte de gastos de *tooling* 2017

Dentro de las semanas 43, 44 y 45 del 2017, se generaron en total 29 piezas gastadas solamente en la prensa 1, acumulando un costo de \$442 dólares.

Ahora, anexo el reporte de la figura 61 generado de la mejora acorde a las mismas semanas del año fiscal, pero del 2018:

Material	Material Description	Qty in Un. of Entry	Entry Unit	Posting Date
16-0145251-00243	SPRING FEED	1-	PC	11/03/2018
	SPRING FEED	1-	PC	11/02/2018
	SPRING FEED	2-	PC	10/26/2018
16-0145251-00242	SPRING OFF FEED	1-	PC	11/02/2018
	SPRING OFF FEED	1-	PC	10/25/2018

Σ	Amount in LC
	33.00-
	33.00-
	66.00-
	34.63-
	34.63-
■	201.26-

Figura 61: Reporte de gastos de *tooling* 2018.

Para el 2018, se reportaron solamente 6 piezas utilizadas generando un gasto de \$201.26 dólares.

4.14.- Interior y exterior del panel de control después de la mejora

Se mostrará a continuación el resultado de la modificación de los componentes internos del panel de control, mostrados en la figura 62.

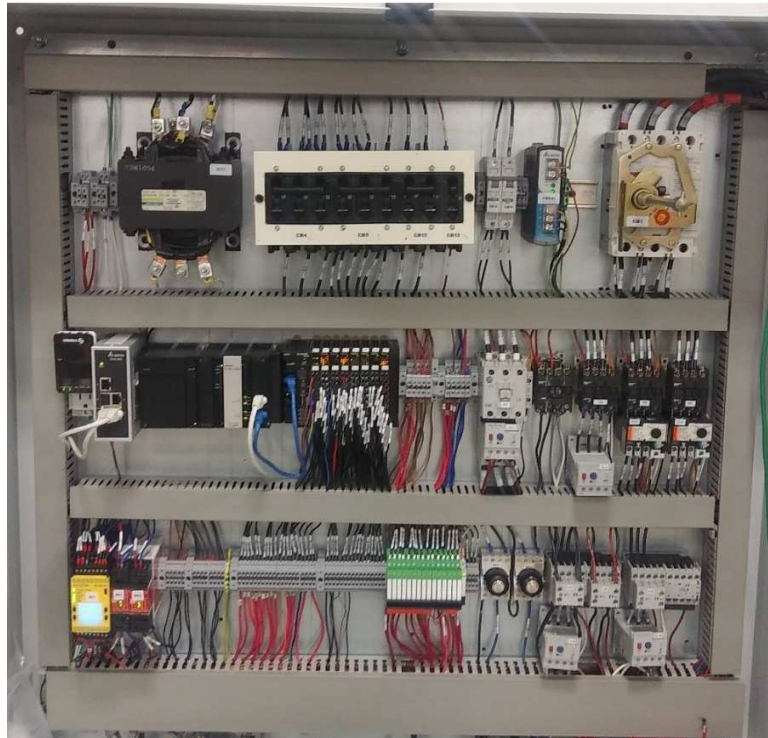


Figura 62: Componentes del panel de control que fueron instalados para la mejora.

El nuevo panel de control se compone de una pantalla acondicionada con un brazo que permite la movilidad de la misma para facilidad del operador. A continuación, el panel en su versión final expuesto en la figura 63:



Figura 63: Pantalla con los botones integrados (salvo paro de emergencia, botón de paro de ciclo, y los 3 botones que inician el ciclo).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al inicio de este proyecto se planteó la hipótesis de aumentar los porcentajes de disponibilidad de equipos y de OEE mediante una modificación al panel de control y a la lógica de programación de una prensa estampadora, para la cual los resultados fueron los siguientes:

En cuanto a la calidad, estadísticamente, las pruebas realizadas no muestran alguna diferencia significativa, pero se puede observar una tendencia positiva respecto a los datos después de la mejora. Los valores de calidad son relativamente altos, por lo que quizá el impacto no fue tan notable.

Para la productividad, de igual manera, se observa una tendencia positiva con una media mayor para los valores después de la mejora, pero las pruebas realizadas no muestran diferencia significativa. Parte del poco impacto en este apartado, puede deberse a que la mejora del equipo no fue necesariamente enfocada en este aspecto, más, sin embargo, hubo aumento en los valores.

En cuanto a la disponibilidad, se observa una tendencia en aumento hacia las últimas semanas rebasando datos históricos registrados de *OEE* desde los inicios de estampado en la planta, por lo que el estudio ayudó a obtener valores más altos de tiempos activos de los equipos. En este caso, se prueba estadísticamente que las medias de ambas poblaciones son diferentes (casi 20 puntos más alta y la desviación estándar es considerablemente menor después de la mejora) por lo que se puede concluir que el aumento de disponibilidad de los equipos mejoró considerablemente.

Para finalizar, al enfocarse solamente en los valores de OEE, se obtienen porcentajes similares entre sí, aunque la media es mayor en los datos después de la mejora; como se mencionaba al principio, quedó registro de valores nunca antes vistos en el departamento de estampado, por lo que también se considera una mejora viable para las prensas.

Puede que el impacto no sea tan notable ya que en los porcentajes de estos métricos influyen también otros aspectos que están fuera del estudio de esta tesis. El métrico en el que se observó la mejora más significativa fue en la disponibilidad, misma que, en teoría, debería de ser la que más aumentara dada la naturaleza de este proyecto. Ya que la disponibilidad se ve afectada directamente por los paros de la máquina, el tener diagramas exactos de la prensa ayuda a identificar mucho más rápido cualquier falla que llegara a presentarse, disminuyendo los tiempos caídos por mantenimiento; otro punto era reducir los

tiempos de reparación de troquel mejorando la lógica de seguridad; al cambiar sensores y trabajar en la programación, se logra que no fueran tan complicadas las reparaciones en el dado, ya que los daños provocados por el hecho de que la prensa no se detuviera en el momento exacto, se verán disminuidos. Existen factores ajenos que pueden afectar dichos medibles, mismos que serán analizados en futuros experimentos.

Para los *toolings*, se registró una diferencia de uso de material de 22 piezas y un ahorro de \$240.74 dólares, solamente en prensa 1 para tres semanas; considerando las demás prensas integradas, al realizar la mejora en éstas, el impacto sí puede ser bastante considerable, sobre todo si se analiza el consumo durante todo el año.

El uso de nuevas tecnologías ayuda a mejorar métricos de desempeño, y, sobre todo, a identificar las áreas de mejora para poder atacarlas eficientemente. Los *softwares* para interpretación y recolección de información son cada vez más sofisticados y ofrecen más y mejores herramientas para poder realizar análisis más profundos. Es importante tener en cuenta que la tecnología no resolverá los problemas si no se aplican estas técnicas correctamente, desde la interpretación de datos hasta la correcta recolección de los mismos.

El desarrollo de este proyecto también contempla sentar las bases para la implementación de la industria 4.0, ya que aumentó la conectividad de la máquina, permitiendo numerosos protocolos de comunicación para el intercambio de información. Permite también el interactuar con programas más especializados y es más eficiente la manera en la que se manejan los datos, ya que es más fácil poder acceder a ellos. La interacción entre el operador y la máquina también se ha mejorado, lo cual es parte fundamental en la puesta en marcha de esta nueva revolución tecnológica. La visualización de información en tiempo real desde cualquier dispositivo en red también será posible, permitiendo así una reacción más rápida del departamento ante cualquier problema que se esté presentando en el momento, sin necesidad de que la información fluya de persona en persona hasta llegar a la indicada; lo anterior, ayudará también a disminuir los tiempos caídos. Igualmente, las bases de datos que surjan al implementar esta metodología, servirán para realizar de manera casi automática la planeación de mantenimiento, ordenes de producción, certificaciones y muestreos de piezas, entre otros, disminuyendo costos por mano de obra e instalaciones computacionales.

Para finalizar, es importante recalcar que también mejoró la estructura general del departamento de mantenimiento: se comenzó a dar seguimiento a indicadores, tales como *MTTR (Mean Time to Repair)*, *MTBF (Mean time between failure)*, planes de acción y control de preventivos y correctivos, así como estandarización de proceso en prensa y diagramas eléctricos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña Acuña, J. (2003). *Ingeniería de Confiabilidad (1ra. ed.)*. Cartago, Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica.
- Ahiret, C., & Relkar, A. (2012). Correlating Failure Mode Effect Analysis (FMEA) and Overall Equipment Effectiveness (OEE). *Procedia Engineering*, 38, 3482-3486. doi:10.1016/j.proeng.2012.06.402
- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2008). *Estadística para administración y economía (10a. ed.)*. Ciudad de México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Andersson, C., & Bellgran, M. (2015). On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 144-154. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.003
- Antoniolli, G., Ferreira, P., & Silva, J. (2017). Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer. *Manufacturing Engineering Society International Conference*, 13, 1128-1134. doi:10.1016/j.promfg.2017.09.174
- Arriola Silva, E. (2013). Aplicación de la prueba de bondad de ajuste para estudiar el tiempo de terminación de trabajo, por parte de los operarios en una imprenta ubicada en el municipio de Jocotenango. San Carlos de Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4347.pdf
- Azizi, A. (2015). Evaluation Improvement of Production Productivity Performance Using Statistical Process Control, Overall Equipment Efficiency and Autonomous Maintenance. *Procedia Manufacturing*, 2, 186-190. doi:https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2015.07.032
- Batumalay, I., & Santhapparaj, A. (2009). Overall Equipment Effectiveness through Total Productive Maintenance - A study across the Malaysian Industries. *2009 International Conference for Technicals Postgraduates*, 579-584. doi:10.1109/TECHPOS.2009.5412049
- Belohlavek, P. (2006). *OEE: Overall Equipment Effectiveness*. Buenos Aires, Argentina: Blue Eagle Group.
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers (6ta. ed.)*. Waltham, Massachusetts: Elsevier Newnes.
- Castro Lugo, J., Padilla Ybarra, J., & Romero A., E. (2005). Metodología para realizar una automatización utilizando PLC. (J. Pérez Ramírez, Ed.) *Impulso*, 1, 18-21. Obtenido de https://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v1/revista_impulso_amarillo.pdf

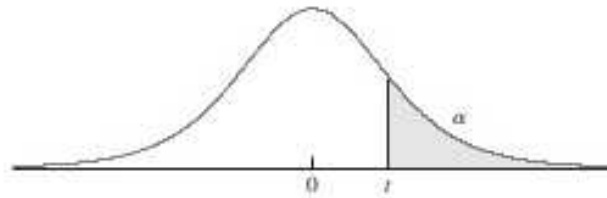
- Cruelles Ruiz, J. (2010). *La teoría de medición del desperdicio (2da. ed.)*. Toledo, España: Artef.
- Dunn, T. (2014). *Manufacturing Flexible Packaging (1ra. ed.)*. Waltham, Massachusetts, EUA: Elsevier Inc.
- Ephrem, R., & Mohammad, O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185-1205. doi:<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.01.025>
- González Fernández, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado (2da. ed.)*. Madrid, España: FC Editorial.
- Guillén Barrios, J. (2015). Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento. Valencia, Venezuela: Universidad de Carabobo. Obtenido de mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/2428/aguillen.pdf?sequence=1
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma (3ra. ed.)*. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill.
- Hedman, R., Subramaniyan, M., & Almstrom, P. (2016). Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE. *Procedia CIRP*, 57, 128-133. doi:[10.1016/j.procir.2016.11.023](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.023)
- Hernández Gómez, A., Escobar Toledo, C., Larios Prado, J., & Noriega Morales, S. (2015). Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación de Ciudad Juárez: una solución factorial. *Contaduría y Administración*, 60, 82-106. doi:<https://doi.org/10.1016/J.CYA.2015.08.005>
- Khandagale, S., & Korhale, R. (2011). Initial face of automation "Programmable Logic Controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185-1205. doi:[10.1016/j.rser.2016.01.025](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025)
- Kumar, V., Mani, V., & Devraj, N. (2014). Production Planning and Process Improvement in an Impeller Manufacturing Using Scheduling and OEE Techniques. *Procedia Materials Science*, 5, 1710-1715. doi:https://doi.org/10.1016/ELSEVIER_CM_POLICY
- Mainea, M., Luminita, D., Patric, D., & Caciula, I. (2010). A Method to Optimize the Overall Equipment Effectiveness. *IFAC Proceedings Volumes*, 43, 237-241. doi:<https://doi.org/10.3182/20100908-3-PT-3007.00046>
- Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística (13a. ed.)*. México DF, México: Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Montgomery, D., & Runger, G. (2013). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México, DF: Limusa Wiley.

- Mwanza, B., & Mbohwa, C. (2015). Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company. *Procedia Manufacturing*, 4, 461-470.
doi:<https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2015.11.063>
- OMRON Industrial Automation, Ref A. (2017). Obtenido de <https://www.ia.omron.com/products/family/3438/lineup.html>
- OMRON Industrial Automation, Ref B. (2017). Obtenido de Mouser Electronics: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Omron-Automation-and-Safety/NX-ID5342/?qs=R%252bZOTiLH6ThGcfRernSluQ==>
- OMRON Industrial Automation, Ref C. (2017). Obtenido de Mouser Electronics: <https://www.mouser.com/ProductDetail/Omron-Automation-and-Safety/NX-OD5121/?qs=sGAEpiMZZMuDq66rloRuYWkNjm5qabvEVx%2Fn1WSgSdBbyx7rFgUsxg%3D%3D>
- OMRON Industrial Automation, Ref D. (2013). Obtenido de Mouser Electronics: http://www.mouser.com/ds/2/307/s8vk-g_power_supplies-271599.pdf
- OMRON Industrial Automation, Ref E. (2017). Obtenido de Digi Key Electronics: <https://www.digikey.com/product-detail/en/omron-automation-and-safety/NX-ID3317/NX-ID3317-ND/4987743>
- OMRON Industrial Automation, Ref F. (2017). Obtenido de Mouser Electronics: <https://www.mouser.com/ProductDetail/Omron-Automation-and-Safety/NX-OD3121/?qs=R%252bZOTiLH6ThB6FXI9PmtUw%3D%3D>
- OMRON Industrial Automation, Ref G. (2016). Obtenido de <https://www.ia.omron.com/products/family/3184/specification.html>
- OMRON Industrial Automation, Ref K. (2016). Obtenido de <https://www.shopcross.com/product/omron-na515w101b-programmable-terminal-154-lcd-display-256-mb-memory>
- Origin of OEE. (10 de junio de 2017). Obtenido de Hacked by Kareem: <http://www.oee.foundation.org/origin-of-oeef/>
- Parra Márquez, C., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos (1ra. ed.)*. Sevilla, España: Ingeman.
- Patel, J., Patel, A., & Singh, R. (2014). Development of PLC Based Procedd Loop Control for Bottle Washer Machine. *Procedia Technology*, 14, 365-371.
doi:10.1016/j.protcy.2014.08.047
- Prinz, C., Kreimeier, D., & Kuhlenkotter, B. (2017). Implementation of a learning environment for an Industrie 4.0 assistance system to improve the overall equipment effectiveness. *Procedia Manufacturing*, 9, 159-166.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.004>

- Quezada Quezada, J., Flores García, J., Quezada Aguilar, V., & Bautista López, J. (2013). Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI - PLC para un pozo de agua potable. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15, 41-50. doi:[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)30005-6](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)30005-6)
- Rausand, M. (2004). *System Reliability Theory (2da. ed.)*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Relkar, A., & Nandurkar, K. (2012). Optimizing and Analysing Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Design of Experiments (DOE). *Procedia Engineering*, 38, 2973-2980. doi:10.1016/j.proeng.2012.06.347
- Riera, B., Benlorhfar, R., Annebicque, D., Gellot, F., & Vigario, B. (2011). Robust Control Filter for Manufacturing Systems: Application to PLC Training. *IFAC Proceedings Volumes*, 44, 14265-14270. doi:<https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.01976>
- Rittal, *The System, Ref J*. (2016). Obtenido de <https://www.rittal.com/uae-en/product/show/variantdetail.action?productID=6315400>
- Rittal-*The System, Ref H*. (2016). Obtenido de <https://www.rittal.com/ca-en/product/show/variantdetail.action?categoryPath=/PG0001/PG0002SCHRANK1/P G7661SCHRANK1/PG0058SCHRANK1/PG12578SCHRANK1/PRO33081SCHRANK&productID=6206740>
- Rittal-*The System, Ref I*. (2016). Obtenido de <https://www.rittal.com/ca-en/product/show/variantdetail.action?categoryPath=/PG0001/PG0002SCHRANK1/P G7661SCHRANK1/PG0058SCHRANK1/PG12578SCHRANK1/PRO33068SCHRANK&productID=6206380&func=othercustomer>
- Schlenker, C., Morales, L., Patiño, A., & Montoya, J. (2013). Diseño e implementación de una máquina para la producción de papas chips. *2013 II International Congress of Engineering Mechatronics and Automation (CIIMA)*. doi:10.1109/CIIMA.2013.6682782
- Singh, R., Gohil, A., Desai, S., & Shah, D. (2013). Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. *Procedia Engineering*, 51, 592-599. doi:10.1016/j.proeng.2013.01.084
- Singh, R., Shah, D., Gohil, A., & Shah, M. (2013). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation - Automation through hardware and software development. *Procedia Engineering*, 51, 579-584. doi:10.1016/j.proeng.2013.01.082
- Stamatis, D. (2010). *The OEE Primer. Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability and Maintainability*. Nueva York, EUA: Taylor & Francis Group.
- Sugich Beltrán, J. (18 de Noviembre de 2016). Implementación de pantallas Proface. (G. M. Velázquez, Entrevistador)
- Vergara Lazcano, R. (Febrero de 2014). La estadística en el mantenimiento y reemplazo óptimo en el control de la calidad. Ciudad de México, Estado de México, México:

Universidad Autónoma Metropolitana. Obtenido de
mat.izt.uam.mx/mcmai/documentos/tesis/.../RAQUEL_VERGARA_LAZCANO.pdf

ANEXO A: PUNTOS PORCENTUALES SUPERIORES PARA LA DISTRIBUCIÓN t .



ν	α								
	0.40	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.309	636.619
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
35	0.255	0.682	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340	3.591
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160	3.373
∞	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291

ANEXO B: PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCIÓN F

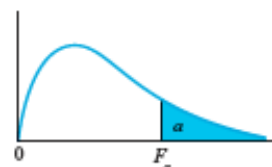


TABLA 6 Puntos porcentuales de la distribución F

df_2	α	df_1								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	.100	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86
	.050	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
	.025	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3
	.010	4052	4999.5	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022
	.005	16211	20000	21615	22500	23056	23437	23715	23925	24091
2	.100	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38
	.050	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
	.025	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39
	.010	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39
	.005	198.5	199.0	199.2	199.2	199.3	199.3	199.4	199.4	199.4
3	.100	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24
	.050	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
	.025	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47
	.010	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.64	27.49	27.35
	.005	55.55	49.80	47.47	46.19	45.39	44.84	44.43	44.13	43.88
4	.100	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94
	.050	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
	.025	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90
	.010	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66
	.005	31.33	26.28	24.26	23.15	22.46	21.97	21.62	21.35	21.14
5	.100	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32
	.050	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
	.025	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68
	.010	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16
	.005	22.78	18.31	16.53	15.56	14.94	14.51	14.20	13.96	13.77
6	.100	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96
	.050	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
	.025	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52
	.010	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98
	.005	18.63	14.54	12.92	12.03	11.46	11.07	10.79	10.57	10.39
7	.100	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72
	.050	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
	.025	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82
	.010	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72
	.005	16.24	12.40	10.88	10.05	9.52	9.16	8.89	8.68	8.51
8	.100	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56
	.050	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
	.025	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36
	.010	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91
	.005	14.69	11.04	9.60	8.81	8.30	7.95	7.69	7.50	7.34
9	.100	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44
	.050	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
	.025	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03
	.010	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35
	.005	13.61	10.11	8.72	7.96	7.47	7.13	6.88	6.69	6.54

df_1											df_2
10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	α	
60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33	.100	1
241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.2	252.2	253.3	254.3	.050	
968.6	976.7	984.9	993.1	997.2	1001	1006	1010	1014	1018	.025	
6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366	.010	
24224	24426	24630	24836	24940	25044	25148	25253	25359	25465	.005	
9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49	.100	2
19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	.050	
39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50	.025	
99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50	.010	
199.4	199.4	199.4	199.4	199.5	199.5	199.5	199.5	199.5	199.5	.005	
5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13	.100	3
8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	.050	
14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90	.025	
27.23	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13	.010	
43.69	43.39	43.08	42.78	42.62	42.47	42.31	42.15	41.99	41.83	.005	
3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76	.100	4
5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	.050	
8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26	.025	
14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46	.010	
20.97	20.70	20.44	20.17	20.03	19.89	19.75	19.61	19.47	19.32	.005	
3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10	.100	5
4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	.050	
6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02	.025	
10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02	.010	
13.62	13.38	13.15	12.90	12.78	12.66	12.53	12.40	12.27	12.14	.005	
2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72	.100	6
4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	.050	
5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85	.025	
7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88	.010	
10.25	10.03	9.81	9.59	9.47	9.36	9.24	9.12	9.00	8.88	.005	
2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47	.100	7
3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	.050	
4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14	.025	
6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65	.010	
8.38	8.18	7.97	7.75	7.65	7.53	7.42	7.31	7.19	7.08	.005	
2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29	.100	8
3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	.050	
4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67	.025	
5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86	.010	
7.21	7.01	6.81	6.61	6.50	6.40	6.29	6.18	6.06	5.95	.005	
2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16	.100	9
3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	.050	
3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33	.025	
5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31	.010	
6.42	6.23	6.03	5.83	5.73	5.62	5.52	5.41	5.30	5.19	.005	

Puntos porcentuales superiores para la distribución f

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AC: Corriente alterna.

ALU: “Unidad aritmética lógica” en donde se realizan los cálculos y operaciones aritméticas de algún proceso.

AMP: Compañía estadounidense que se divide en diversos rubros.

Angle Coupling: Acoplamiento angular.

Availability: Disponibilidad.

Available Production Time: Tiempo disponible de producción.

Bruderer: Compañía suiza de prensas estampadoras.

CER: Formato para solicitar presupuesto especial en cuanto a la realización de algún proyecto que supere los \$5000 dólares para su implementación.

Clutch: Embrague.

CPU: *Central Processing Unit* (Unidad central de procesamiento).

DC: *Direct current* (corriente directa).

Display: Pantalla que muestra alguna imagen o resultado proveniente de diversas señales o proceso.

Encoders: Dispositivo de detección que proporciona una respuesta. Los *encoders* convierten el movimiento en una señal eléctrica que puede ser leída por algún tipo de dispositivo de control en un sistema de control de movimiento.

Ethernet: Estándar de redes de área local.

Ethernet Coupler: Acoplador para ethernet.

Excel: Hoja de cálculo de Microsoft Windows.

Fixture: Accesorio para facilitar la realización de alguna actividad específica.

FMEA: *Failure Mode and Effect Analysis* (Modo de fallo y análisis de efecto).

Hall Effect: Dispositivo mediante el cual se realiza la comparación de la señal de atoramiento de material en troquel.

Hardware: Componentes físicos tangibles de un sistema informático.

Hinge: Bisagra.

HMI: *Human Machine Interface*.

Hydra: Sistema de recolección de datos en tiempo real.

IO: Entradas y salidas de algún dispositivo electrónico.

Inspect: *Software* para sistema de visión.

Internet: Red informática para transmitir información.

Keyence: Marca mundial de sensores y sistemas de visión.

LCD: (Pantalla de cristal líquido) Es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

MB: (Megabyte) Cantidad de datos informáticos; es un múltiplo del byte u octeto, que equivale a 10^6 B (un millón de bytes).

Memoria RAM: Memoria de trabajo de computadoras para el sistema operativo, los programas y la mayor parte del *software*. En la RAM se cargan todas las instrucciones que ejecuta la unidad central de procesamiento (procesador) y otras unidades del computador.

Minitab: Software relacionado al cálculo estadístico.

Missfeed: Señal para monitorear el correcto avance de material dentro del troquel

MTBF: Significa "Tiempo medio entre fallas" que se utiliza como métrico para estándares de mantenimiento dentro de una planta.

MTTR: Significa "Tiempo medio de reparación" que se utiliza como métrico para estándares de mantenimiento dentro de una planta.

NPN: Uno de los dos tipos de transistores bipolares, en los cuales las letras "N" y "P" se refieren a los portadores de carga mayoritarios dentro de las diferentes regiones del transistor. La mayoría de los transistores bipolares usados hoy en día son NPN, debido a que la movilidad del electrón es mayor que la movilidad de los "huecos" en los semiconductores, permitiendo mayores corrientes y velocidades de operación.

OEE: Eficiencia General del equipo

OMRON: Compañía de productos electrónicos y de automatización.

ON: Palabra anglosajona que significa "encendido" en español.

PC: Computadora personal.

PI: Control proporcional integral

Pin: Tipo de pieza estampada con punta alargada.

PLC: Controlador lógico programable

PNP: Tipo de transistor de unión bipolar es el PNP con las letras "P" y "N" refiriéndose a las cargas mayoritarias dentro de las diferentes regiones del transistor. Pocos transistores

usados hoy en día son PNP, debido a que el NPN brinda mucho mejor desempeño en la mayoría de las circunstancias.

Proface: Marca de mini PLC con HMI integrada

Quick changeover: Movimiento y ajustes de piezas clave dentro de troquel para producir un número de parte distinto en un periodo de tiempo lo más corto posible.

RAM: Émbolo que sostiene la parte superior del troquel.

Rack: Estructura de metal que sostiene los rollos completos.

Rate: Tasa, índice, velocidad, ...

RPN: *Risk Priority Number* (Número de prioridad de riesgo).

Sample T: Prueba T.

Scrap: Piezas de mala calidad que no cumplen con las especificaciones del cliente.

Set up: Preparación de requisitos previos para realizar alguna actividad

Sinking: Tipo de entrada y salida a 0V.

Socket: Tipo de pieza estampada con forma circular, a la cual, posteriormente, se le inserta un dispositivo adicional a la punta.

Software: Equipo lógico de un sistema informático.

Sourcing: Tipo de entrada y salida a 24V.

Sprocket: Rueda dentada que arrastra material por el pin localizador de la tira de material.

Status: Estado presente de algún suceso.

Stroke: Golpe de 360° de prensa

Sysmac Studio: *Software* que permite desarrollar los ajustes, programación, depuración, entre otros, para el *PLC* elegido (OMRON).

TE: *TE Connectivity* es la empresa dónde se desarrolla la tesis

Time: Tiempo.

Timers: Contadores electrónicos

Tooling: Componentes de troquel para formado de piezas

Total plant time: Tiempo total de la planta disponible.

Toyota: Planta automotriz.

TPM: Mantenimiento productivo total

TRIAC: Componente electrónico semiconductor de tres terminales para controlar corriente. Su nombre viene del término "*Triode for alternating current*" (Triodo para corriente alterna).

Touch: “Tocar”. Palabra generalmente utilizada para describir pantalla la cual puede ser manipulada por medio del tacto.

Tweezer: Pequeña pieza de acero que se encuentra dentro de los troqueles de prensas integradas

USB: “*Universal Serial Bus*”. Dispositivo de almacenamiento externo.

VAC: Siglas para corriente alterna en inglés.

VC: Corriente directa.

VDC: Siglas para corriente directa en inglés.

Visual Basic: Plataforma de programación.

Wall mounted: Montado en pared.

5's: Técnica de gestión japonesa basada en cinco principios simples.