

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA INDUSTRIAL

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

“BALANCEO DE LÍNEAS EN EL PROCESO DE OPERACIÓN DE MÁQUINAS AUTOMÁTICAS EN LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA CLARION S. A de C.V. SAN JUAN DEL RIO, QUERÉTARO.”

DESARROLLADO POR



DENNY XITLALLYCK HERNÁNDEZ LÓPEZ
10270164

ASESOR:

INGENIERO JORGE ARTURO SARMIENTO TORRES

Tuxtla Gutiérrez, Chis. Mayo de 2014

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.- Antecedentes del Problema.....	11
1.2.- Descripción del Problema.....	11
1.3.- Objetivos.....	12
1.3.1.- Objetivo General.....	12
1.3.2.- Objetivos Específicos.....	12
1.4.- Justificación del Proyecto.....	13
1.5.- Delimitación.....	13

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA

2.1.- Ubicación de la Empresa.....	14
2.2.- Micro localización.....	15
2.3.- Antecedentes de la Empresa.....	15
2.4.- Distribución de Planta.....	16
2.5.- Misión.....	17
2.6.- Visión.....	18
2.7.- Valores.....	18
2.8.- Productos o Servicios.....	18

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1.- Metodología Heijunka.....	20
3.1.1.- Historia de la Producción Nivelada (Heijunka).....	21
3.1.2.- Definición y Objetivos de la Herramienta Heijunka.....	21
3.2.- Estudio de Tiempos.....	22
3.2.1.- Estudio de Tiempos con Cronómetros.....	23
3.2.2.- Elementos del Estudio de Tiempos.....	25
3.2.2.1.- Equipo Necesario para la Realización del Estudio de Tiempos.....	25
3.2.3.- Tiempo que debe Observarse un Estudio por el método de parar y observar.....	29
3.3.- Tiempo de Ciclo.....	31
3.4.- Takt Time.....	31
3.4.1.- Propósito Takt.....	31
3.4.2.- Fórmula para Calcular Takt Time.....	32
3.5.- Tolerancias o suplementos.....	32
3.6.- Balanceo de Líneas.....	32
3.6.1.- Concepto y Definición de Balanceo de Líneas.....	32
3.6.2.- Objetivo de Balanceo de Líneas.....	35

3.6.3.- Problemas de Desequilibrio de un Sistema de Manufactura.....	36
3.6.4.- Metodología para Balanceo de Líneas.....	37
3.7.- Valor de la Actuación.....	37
3.8.- Diagrama de Ishikawa.....	37

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

4.1.- Modelos de PCB's.....	41
4.2.- Descripción del proceso de elaboración de PCB's.....	43
4.3.- Identificación del Problema.....	49
4.4.- Estudio de Tiempos con Cronómetro.....	51
4.4.1.- Medición del Tiempo Estándar.....	51
4.5.- Balanceo de Líneas.....	54
4.5.1.- Tolerancias o Suplementos.....	54
4.5.2.- Cálculo del Takt Time.....	55
4.5.3.- Manifestación de paros en línea SMD.....	57

CAPÍTULO V. IMPLANTACIÓN DE LA SOLUCIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

5.1.- Balanceo de Líneas.....	59
5.1.2.- Formato de Producción diaria.....	61
5.1.3.- Formato de Tiempos Muertos.....	63

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

6.1.- Recomendaciones.....	67
6.1.1.- Propuestas de dinámicas para aumentar la motivación....	67
6.1.2.- Capacitación y Adiestramiento.....	67
6.1.3.- Llevar a cabo el Programa de Mantenimiento.....	68
6.2.- Conclusión.....	69

BIBLIOGRAFÍA	70
---------------------	----

ANEXOS	72
---------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N.-1 Tipos de Modelos de PCB's.....	41
Tabla N.-2 Errores detectados por máquina VP.....	47
Tabla N.-3 Errores detectados por máquina VT-RNS.....	48
Tabla N.-4 Tiempos cronometrados.....	52
Tabla N.-5 Factor de calificación Westinghouse.....	53
Tabla N.-6 Tolerancias y suplementos.....	55
Tabla N.-7 Descripción de paros en línea SMD.....	57

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 4.1.- Tiempo por Actividad (promedio).....	56
Gráfica 4.2.- Balanceo de Línea en base al tiempo Estándar.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N.-1 Ubicación de la empresa.....	15
Figura N.-2 Micro localización de la empresa.....	15
Figura N.-3 Lay Out de Máquinas Automáticas 2014.....	17
Figura N.-4 Tiempo improductivo imputable.....	24
Figura N.-5 Cronometro con decimales de minutos 0.01.....	26
Figura N.-6 Cronometro con decimal de minuto 0.001.....	27
Figura N.-7 Cronometro decimal de hora.....	27
Figura N.-8 Cronometro con tablero.....	28
Figura N.-9 Cronometro electrónico auxiliado por computadora	29
Figura N.-10 Diagrama de Ishikawa.....	39
Figura N.-11 Tablas CMD surtidas con material.....	44
Figura N.-12 Escaneo de material con Pokanon.....	45
Figura N.-13 Preparación de máquina SPP.....	46
Figura N.-14 Inspección de PCB's en maquina VP5200.....	47
Figura N.-15 Diagrama de Ishikawa (tiempo total de producción).....	50
Figura N.-16 Diagrama de Ishikawa (tiempo excesivo por paro de línea).....	50
Figura N.-17 Hoja de producción Diaria.....	62
Figura N.-18 Formato de Tiempos Muertos.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla N.-1 Sistema Westinghouse.....	73
Tabla N.-2 Tabla T-Student.....	74
Tabla N.-3 Clasificación de Paros.....	75
Tabla N.-4 Cálculo del Tiempo Estándar por cada Actividad.....	77
Tabla N.-5 Estudio de Tiempos de Línea SMD.....	78

Clarion

San Juan del Río, Qro. 12 Mayo de 2014

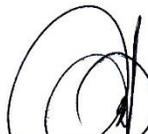
**ASUNTO: CONSTANCIA DE TERMINACIÓN
DE RESIDENCIAS PROFESIONALES**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS.
Lic. Higinio García Mendoza.
Jefe del Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación
P R E S E N T E :**

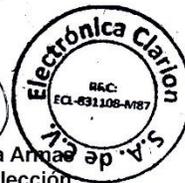
Por este medio nos dirigimos a Ud. de la manera más atenta para comunicarle que la **C. Hernández López Denny Xitlallyck** con número de Control, **10270164** estudiante de la carrera de **Ingeniería Industrial**, ha concluido satisfactoriamente su período de Residencias Profesionales en el Departamento de **MAQUINAS AUTOMATICAS**, teniendo como proyecto **Balanceo de líneas en el proceso de operación de Maquinas Automáticas**, cubriendo el periodo del 09 de Enero al 12 de Mayo de 2014, con horario Mixto, cubriendo un total de 640 hrs.,

Se extiende la presente para los fines que convenga al interesado.

Atentamente



Lic. Diana Mendoza Arriaga
Reclutamiento y Selección.



Ave. 3 Esq. Calle 9 Zona Industrial, San Juan del Río, Qro.
Tel. (427) 2718873
R.F.C. ECL-831108-M87

INTRODUCCIÓN

La ingeniería industrial es la rama de la profesión que diseña, controla, opera y dirige las organizaciones y sistemas productivos. Originalmente el ingeniero industrial trabaja en la industria manufacturera y le concierne la eficiencia operativa tanto de personal de la empresa así también como maquinaria y equipo.

El presente proyecto de residencia se basa principalmente en el balanceo de líneas en el área de máquinas automáticas en la industria electrónica Clarion S.A. de C.V., localizada en San Juan del Rio, Querétaro. Cuya finalidad es la de nivelar las estaciones de trabajo para que tanto máquinas como operarios no tengan tiempos improductivos.

El trabajo de residencia aumentó la productividad en el despliegue de operaciones en la línea SMD, mediante la técnica de balanceo de líneas, esto puede comprobarse mediante los seis capítulos que se presentan.

En el primer capítulo se brinda un panorama general acerca del problema que enfrenta la industria identificando la magnitud del problema y se dará a conocer la estrategia para lograr solucionarlo, siendo la nivelación de las líneas o también conocida como balanceo de líneas la principal estrategia para llevarse a cabo en el área de máquinas automáticas, a que a través de ello se complementa la solución al problema.

En el capítulo dos se explica de manera concreta los antecedentes de la empresa, así como la ubicación de la misma. También se explica el giro que tiene y los productos y servicios que esta brinda, esto con la finalidad de brindar un panorama más claro.

El capítulo tres corresponde al marco teórico, donde básicamente se recopila información necesaria acerca de las herramientas a utilizar para lograr los objetivos. En este capítulo se sustenta la metodología abarcando puntos de vista de diferentes autores, cuya finalidad es tener un panorama más amplio de lo que se puede llegar a realizar en el estudio de la problemática.

Posteriormente en el capítulo cuatro se hace el análisis de la problemática, se detectan los problemas mediante un diagrama causa-efecto conocida también como diagrama de Ishikawa, se describen brevemente el proceso de manufacturación de los PCB's y los distintos tipos de modelos que la empresa contempla para sus diferentes clientes. Se hace un estudio de tiempos con cronometro esto con la finalidad de conocer el tiempo de ciclo actual de cada actividad. Todo esto para tener una base para nivelar la línea de producción.

En el capítulo cinco se plasman los resultados obtenidos después de aplicar el balanceo de líneas, se analizó el resultado y se comprobó que esta implementación fue la adecuada para nivelar la carga de trabajo en cada una de las estaciones. Finalmente se hace una comparación de productividad del antes y el después de ser balanceada la línea.

Finalmente en el capítulo seis se hacen las respectivas recomendaciones generales que fueron observadas a lo largo del desarrollo de este proyecto así mismo la conclusión a la que se llegó en esta residencia.

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del problema

El área de Máquinas Automáticas en industria electrónica Clarion S.A. de C.V. es una de las líneas indispensables e importantes, en esta área es donde se empieza con la elaboración de los sistemas de audios de los automóviles. Actualmente ya se cuenta con máquinas de nueva generación lo cual facilita el trabajo del operario, en donde solo son programadas y ajustadas correctamente para el buen funcionamiento de las mismas. Anteriormente se trabajaba con máquinas de tecnologías más antiguas que eran un poco más complicadas de utilizar ya que la intervención del operario era más frecuente y existía más probabilidad de desajustes en las máquinas y los errores masivos se presentaban frecuentemente.

1.2 Descripción del problema

La instalación de una línea de producción es una decisión a largo plazo que usualmente requiere de una inversión sumamente fuerte de capital. Por lo tanto, es indispensable que este sistema o línea de producción esté diseñado y balanceado lo más eficientemente posible. Además de tener balanceada las líneas de producción, es necesario mantenerla funcionando de una forma óptima. En la industria electrónica Clarion S.A. de C.V. en su proceso de manufactura es inevitable la variedad, ya que este factor existe en los diferentes tipos de modelos de PCB¹ que se fabrican, los materiales que se utilizan debido a que cada tipo de modelos de PCB's que pasan por las CM² los materiales o componentes que utilizan son diferentes, por las técnicas de manufactura o modelos de productos. Estas variaciones que ocurren dentro de la planta específicamente en el área de Máquinas Automáticas hacen que surja el desbalance en las líneas de producción ya que los retrasos en los tiempos de operación de cada máquina hacen que no se cumpla con el objetivo de sacar la producción diaria demandada durante el turno.

¹ **Tarjeta de circuito impreso** (*Printed Circuit Board*). Es una superficie constituida por caminos o pistas de material conductor laminadas sobre una base no conductora. El cual es utilizado para conectar eléctricamente a través de los caminos conductores y sostener mecánicamente por medio de la base un conjunto de componentes electrónicos (montaje de componentes).

² Nombre que se le da a la maquinaria que monta los componentes electrónicos. Se utiliza el término CM o CMD por el modelo de la máquina.

La capacidad de producción de las máquinas no es igual y no existe un acoplamiento de equivalencias de tiempos / máquina, lo que realmente se produce provocando una disminución en cuanto a la producción y obviamente reducción en los ingresos económicos de la planta. La eficiencia no es la que se espera con esta forma de trabajo. Si el proceso continúa de esta manera, no se logrará cumplir con las órdenes de producción que se planifiquen a futuro ya que no se sabe con exactitud el tiempo real que se requerirá para producir determinada cantidad de un producto; por ello se necesita realizar un estudio de balanceo de líneas de producción logrando así un acoplamiento de los tiempos de producción entre máquinas para aumentar la producción y las ventas. Usualmente el problema de balanceo de líneas tiene como objetivo maximizar la utilización de la línea de producción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Balancear las líneas de producción para optimizar el proceso de operación de las Máquinas Automáticas en la industria electrónica Clarion S.A. de C.V. mediante la técnica Heijunka con el fin de nivelar las estaciones de trabajo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Conocer y analizar el proceso de la elaboración de las PCB's para realizar el estudio de los tiempos.
- Obtener los volúmenes y tiempos actuales del proceso.
- Equilibrar la línea de producción en el área de Máquinas Automáticas.

1.4 Justificación del proyecto

El propósito de este proyecto es de gran conveniencia para la Industria Electrónica Clarion S.A. de C.V. debido a que un buen balanceo de líneas de producción, una mejora y rapidez de producción, sería de gran relevancia para los intereses económicos de la misma.

El balanceo de líneas permitirá realizar los procesos en menor tiempo, permitiendo también estandarizar los tiempos en cada uno de los procesos, de esta manera ayudara a controlar el proceso de una manera más eficiente y práctico.

1.5 Delimitación

El proyecto se desarrolla en la Industria Electrónica Clarion S.A. de C.V. En San Juan del Rio, Querétaro. La realización del proyecto comprende un periodo seis meses abarcando los meses Enero-Junio, donde se presentarán las acciones y se obtendrán los resultados esperados con la realización del balanceo de líneas en el área de Máquinas Automáticas.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA

2.1 Ubicación de la empresa

Electrónica Clarion, S.A. de C.V. se encuentra ubicada en Av.3 Esq. Calle #9, Zona Industrial, San Juan del Río, Querétaro, C.P.76800, México.



Figura 2.1 Ubicación de la empresa. Fuente: Google Earth

2.2 Micro localización

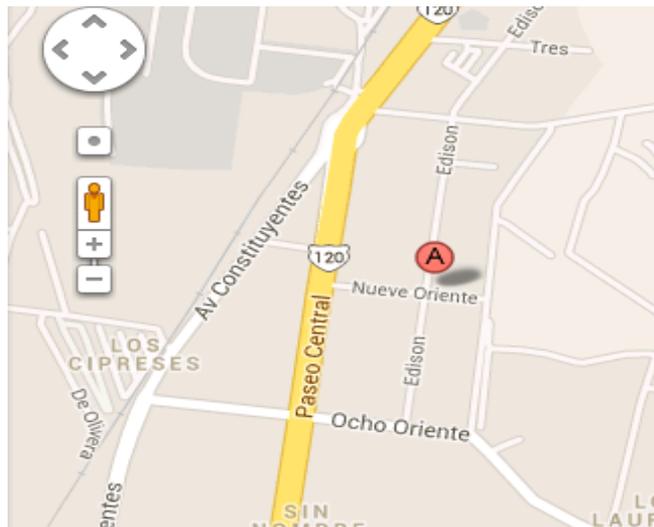


Figura 2.2 Micro localización de la empresa. Fuente: Google Earth

2.3 Antecedentes de la empresa

La industria electrónica Clarion S.A. de C.V. se estableció en octubre de 1984 en San Juan del Rio, Querétaro. Contando con una cantidad de 71,738m² de terreno y 1,172 empleados.

El nombre corporativo “Clarion” procede de un instrumento de metal de forma alargada que emitía sonido de gran alcance y que apareció por primera vez en el siglo XIV. Se eligió el nombre para representar que Clarion dispone de una estrecha conexión con la música.

La historia de Clarion S.A. de C.V. esta liga estrechamente por si misma con la historia de la industria automotriz. Como competidores lideres alrededor del mundo quienes crearon el primer radio y el primer estéreo para auto en Japón, Clarion siempre ha sido líder en este campo en todo momento. Se le da la prioridad al satisfacer las necesidades del conductor y ofrecerle el soporte a través de la tecnología confiable, así como también propone con determinación nuevos productos únicos basándose en su avanzada creatividad.

Desde el radio para autos hasta dispositivos audiovisuales y yendo más allá los sistemas de navegación para auto, aunque el tiempo cambie, continuaran persiguiendo la interfaz ideal para música e información para el auto así como también en todo los entornos móviles, como el “H.M.I. de Clarion.

2.4 Distribución de la planta

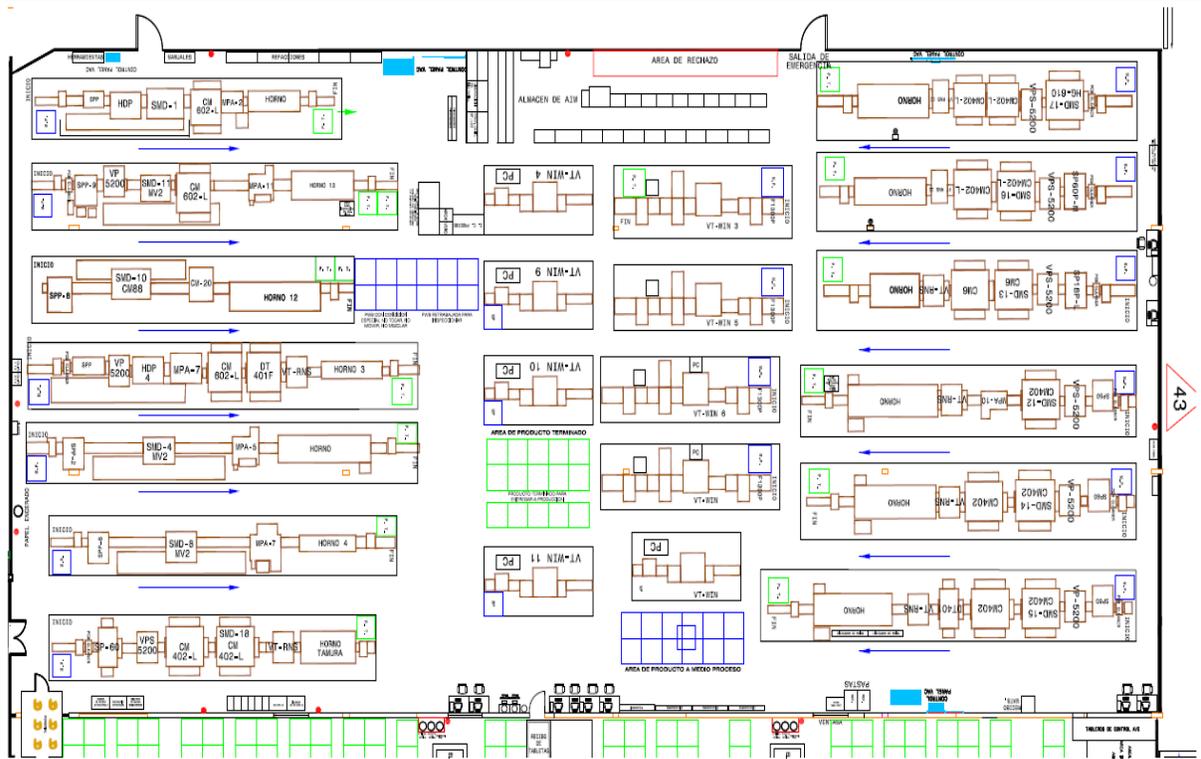


Figura 2.3 Lay Out de Máquinas Automáticas 2014.
Fuente: Industria Electrónica Clarion S.A. de C.V.

2.5 Misión

Convertirnos en los líderes en Latinoamérica para la manufactura, distribución, venta y servicio de productos de alta tecnología con énfasis especial en la industria automotriz. Logramos nuestro objetivo a través de una madura coordinación con nuestra casa matriz y un fuerte compromiso de trabajo en equipo.

2.6 Visión

Líderes en proveer seguridad, placer y conectividad en el mercado latinoamericano.

2.7 Valores

- Honestidad e integridad en toda negociación
- Respeto, tolerancia y consideración para nuestros clientes, compañeros de trabajo y la comunidad
- Cuidado de la seguridad de nuestra gente
- Abiertos al cambio
- Ser los mejores
- El gusto por nuestro trabajo

2.8 Productos o servicios

Manufactura y distribución de productos eléctricos y electrónicos. Esta fábrica es la base de producción para América del Norte. Los principales productos de instalación son los sistemas de audio para automóviles para los mercados de Norteamérica, Sudamérica y Centroamérica, mecanismos específicamente para Ford y EMS (Servicios de Fabricación de Electrónicos), además de ofrecer los siguientes productos:

- Teatros de casa
- Mini componentes
- Subwoofer
- Amplificadores
- Bocinas
- Controles Remoto
- Sistemas de navegación
- Cámaras de visión posterior
- Unidades multimedia fuente
- Unidades fuente

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 Metodología Heijunka

3.1.1 Historia de la producción nivelada (Heijunka)³

Terminada la segunda guerra mundial, Japón contaba con pocos recursos, pero con grandes especialistas como Williams Edwards Deming, Joseph M Duran, Taichí Ohno, Shigeo Shingo, Eiji Toyoda, entre otros. Ellos empezaron a visualizar las cosas de otra manera, ya no como occidente, y para competir en el mercado automotriz producto de la posguerra comenzaron a hacerlo con pocos modelos y pocos recursos, fueron optimizando sus sistemas de producción. En esas épocas estados unidos abrió sus fronteras y se centró en el mercado mundial, por lo cual fue hasta finales de los años 1980's se da cuenta que Japón le está quitando el mercado en la industria automotriz y surge el interés estadounidense por saber que había hecho Japón, que finalmente lo había hecho mejor que ellos, pues hasta esa época Estados Unidos continuaba con sus mismos métodos de producción, de administrar inventarios, de cambiar herramientas rápidas ara tener pequeños lotes.

Entonces estados unidos creo un grupo de tres personas: James Womack, Daniel Jones, Daniel Roos, a quienes mandaron a Japón a estudiar que estaba pasando en la industria automotriz japonesa. De su experiencia en Japón, estos tres especialistas publicaron un libro llamado "La máquina que cambio al mundo", con la cual se originó toda la historia de Manufactura Esbelta.

Con esta obra occidente se dio cuenta que había una manera diferente de hacer las cosas y los autores introdujeron el concepto de Lean Manufacturing para referirse desde luego al Sistema de Producción Toyota.

Bajo el concepto de Lean Manufacturing van desde aquellas enfocadas a la organización del puesto de trabajo (5 S's, nacida en Japón y adaptada por occidente, 6 Sigma, nacida en EUA y desarrollada por Motorola siempre buscando los índices de calidad impuestos por Japón, pasando por aquellas que se concentran su atención en la búsqueda de la eficiencia en el manejo de otros

³ Villaseñor, Alberto et al , Conceptos Básicos de Lean Manufacturing México 2009, Limusa, Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey

recursos del aparato productivo (inventarios y maquinaria), pero siempre buscando eliminar cualquier vestigio de desperdicio (*muda*) los cuales son generados por ineficiencia existente en el proceso de producción (Justo a Tiempo, Kanban, Mantenimiento Productivo Total-TPM, Producción Nivelada-Heijunka, verificación de proceso Jidoka, Dispositivos para prevenir errores- Poka Yoke, mejora continua-Kaizen).

3.1.2 Definición y objetivos de la herramienta Heijunka

Heijunka es una palabra japonesa que significa nivelación. Es la eliminación de desniveles en la carga de trabajo (*mura*) y trabajos intensos (*muri*) que pueden llevar a problemas de seguridad y calidad. Esto se consigue con una producción continua y eficiente. Con Heijunka, los procesos están diseñados para permitir que los productos a ser cambiado fácilmente, produciendo lo que se necesita cuando se necesita.

El principal objetivo de la nivelación de la producción es hacer coincidir de forma eficiente la producción con la demanda del cliente:

- **Ritmo de la demanda:** se mide mediante el Takt Time, el cual es el ritmo al que el cliente está demandando y al cual se requiere producir con el fin de satisfacerlo.
- **Velocidad de producción:** se mide mediante el tiempo de ciclo, es el tiempo que requiere generar una unidad de producto. A partir del tiempo de ciclo, podemos establecer la capacidad de producción, correspondiente a la máxima cantidad de un proceso, una maquina o un sistema puede producir.

El segundo objetivo de Heijunka es ensamblar modelos diferentes en la misma línea eliminando al mismo tiempo las mudas gracias a la normalización del trabajo. Esto nos permitirá producir en el orden de la demanda del cliente. Esta práctica reparte y equilibra la producción en los medios disponibles, en lugar de someter los medios dedicados a las variaciones de la demanda.

3.2 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y los ritmos de trabajo correspondiente a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida.

Esta actividad implica la técnica de establecer un estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada, con base de la medición de contenido de trabajo, con la debida consideración de fatiga y las demoras personales y los retrasos inevitables. El analista de estudios de tiempo tiene varias técnicas que se utilizan para establecer un estándar: el estudio cronométrico de tiempos, datos estándares, datos de movimientos fundamentales, muestreo de trabajo y estimaciones basadas en datos históricos.

TIEMPO IMPRODUCTIVO IMPUTABLE

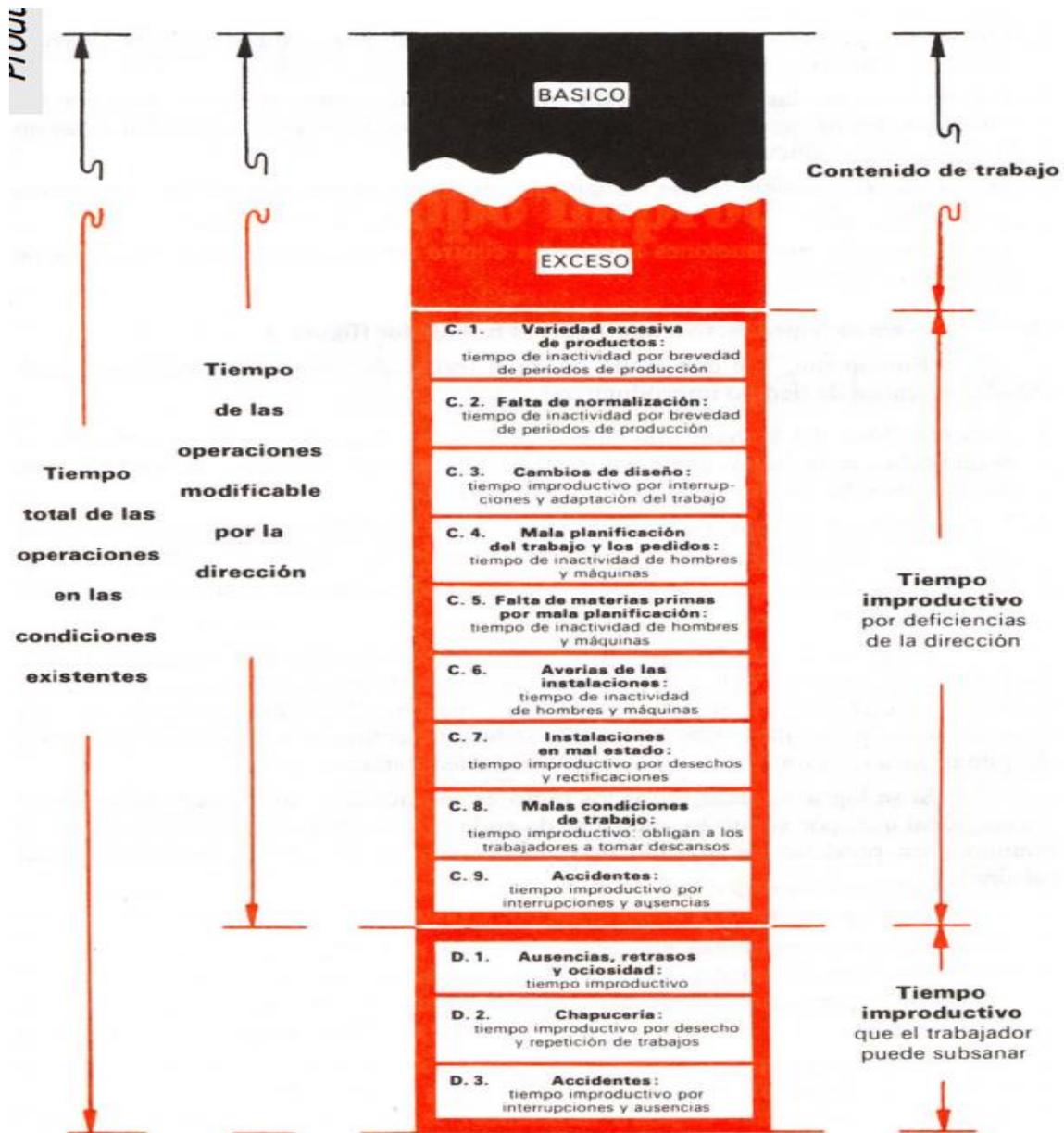


Figura 3.1 tiempo improductivo imputable. Fuente: Books.google.com.mx

3.2.1 Estudio de tiempos con cronómetro

El estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número determinado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento establecido.

Un estudio de tiempos con cronómetro se lleva a cabo cuando:

- Se va a ejecutar una nueva operación, actividad o tarea.
- Se presentan quejas de los trabajadores o de sus representantes sobre el tiempo de una operación.
- Surgen demoras causadas por una operación lenta, que ocasiona retrasos en las demás operaciones.
- Se pretende fijar los tiempos estándar de un sistema de incentivos.
- Se detectan bajos rendimientos o excesivos tiempos muertos de alguna máquina o grupo de máquinas.

Frederick W. Taylor empezó alrededor de 1880 a usar el cronómetro para estudiar el trabajo. Debido a su larga trayectoria, esta técnica está incluida en muchas empresas manufactureras. Los estudios de tiempos se definen como el proceso de determinar el tiempo que requiere un operario diestro y bien capacitado a un ritmo normal, para hacer una tarea específica (Meyers, 2000).

3.2.2 Elementos del estudio de tiempos

3.2.2.1 *Equipo necesario para realización del estudio de tiempos*

El equipo básico para llevar a cabo un estudio de tiempos está formado por los siguientes instrumentos: un cronómetro, un tablero o paleta para el estudio de tiempos y calculadora.

A continuación se presentan algunos tipos de cronómetros más utilizados:

1. Cronómetro decimal de minutos (de 0.01 min)
2. Cronómetro decimal de minutos (de 0.001 min)
3. Cronómetro decimal de horas (de 0.0001 de hora)
4. Cronómetro electrónico.
5. Cronómetros electrónicos auxiliados por computadoras.

Cronometro decimal de minutos (de 0.01): Este tipo de cronometro tiene una caratula con 100 divisiones y cada una de ellas corresponde a 0.01 de minuto. Por lo tanto, una vuelta completa de la manecilla mayor requería un minuto. El cuadrante pequeño del cronómetro tiene 30 divisiones, correspondiendo cada una a un minuto por cada revolución de la manecilla mayor, la manecilla menor se desplazara una división, o sea, un minuto.



Figura 3.2 cronometro con decimal de minutos 0.01

Fuente: estudioopfg.blogspot.mx

Cronómetro decimal de minutos de 0.001 min: Este cronometro es similar al mencionado anteriormente. En el primero cada división de la manecilla mayor corresponde a un milésimo de minuto. De este modo la manecilla mayor o rápida tara 0.10 min. En dar una vuelta completa en la carátula, en vez de un minuto como el cronometro decimal de minutos de 0.01 min. Las manecillas largas dan una vuelta completa en 0.01 de minuto. El cuadrante pequeño esta graduado en minutos y una vuelta completa de su aguja marca 30 min.



Figura 3.3 Cronómetro con decimal de minutos 0.001
Fuente: estudioopfg.blogspot.mx

Cronómetro decimal de hora: La parte de la caratula del cronómetro está dividida en 100 partes, per cada división representa un diezmilésimo (0.0001) de hora. Una vuelta completa de la manecilla mayor de este cronometro marcara, por lo tanto, un centésimo (0.01) de hora, o sea 0.6 min. La manecilla pequeña registra cada vuelta en la mayor, y una revolución completa de la aguja menor marcara 18 min. Es decir, 0.30 de hora.



Figura 3.4 Cronómetro decimal de hora
Fuente: www.cronometros.com.mx/art1.html

Según Krick, Edward V, en su libro *Ingeniería de Métodos*, existen los dos únicos tipos de cronómetros utilizados en el estudio de tiempos son el de minuto decimal y el de hora decimal, aunque el primero es más utilizado que el segundo.

Cronómetro con tablero: En este es más viable montar tres cronómetros en un tablero, ligados entre sí, de modo que el analista pueda durante el estudio, leer siempre un cronómetro cuyas manecillas estén detenidas y mantenga un registro acumulativo del tiempo total transcurrido.

Generalmente se suele utilizar un tablero con un solo cronómetro. Todos los cronómetros tienen que ser revisados periódicamente para verificar que no están proporcionando lecturas incorrectas y que se encuentren dentro del margen de tolerancia.

Se debe proporcionar un mantenimiento adecuado para asegurar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición de tiempos. Deben estar protegidos contra humedad, polvo y cambios bruscos de temperatura. Se les debe proporcionar limpieza y lubricación regulares, generalmente una vez por año. Si los equipos de medición no se emplean regularmente, se les debe hacer funcionar de vez en cuando para evitar que se dañen y dejen de ser exactos.

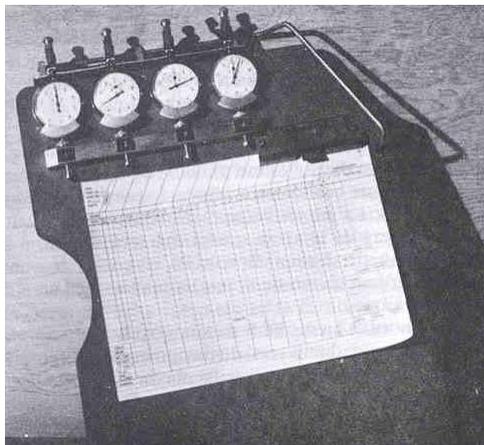


Figura 3.5 Cronómetro con tablero

Cronómetros electrónicos: Actualmente se dispone de cronómetros totalmente electrónicos, y estos proporcionan una resolución de un centésimo de segundo y una exactitud de $\pm 0.002\%$. Este instrumento después de registrar el tiempo del evento, automáticamente regresa a cero y comienza acumular el tiempo para el siguiente.



*Figura 3.6 Cronómetro electrónico auxiliado por computadora
Fuente: ingenieriametodos.blogspot.com*

3.2.3 Tiempo que debe observarse en un estudio de tiempo por el método de parar y observar.

En la práctica la decisión respecto al número adecuado de ciclos que deben observarse, para realizar un estudio de tiempos, se basa ordinariamente en el criterio del observador.

Sin embargo, en algunas ocasiones esto lo decide la política de la empresa, o es el resultado de obrero-patronales, o los acuerdos que tengan la empresa con el sindicato.

El método estadístico conocido como “Estimación del tamaño de la muestra”, es sumamente valioso en la elección del número satisfactorio de ciclos que deben ser observados.

Se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Con base a las exigencias de la situación particular considerada, especificar el intervalo de confianza I y el coeficiente de confianza C .
2. Hacer las mediciones de tiempos para M ciclos de operación.
3. Calcular la desviación estándar de la muestra (s), mediante la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(\sum T^2) - \frac{\sum T^2}{M}}{M - 1}}$$

4. Calcular el intervalo de confianza I_M proporcionando por esta muestra de M observaciones requeridas:

$$I_M = (2ta) \left(\frac{s}{\sqrt{M}} \right)$$

5. Si $I_M > I$:

Entonces se requieren de observaciones adicionales, el número total de observaciones requeridas (N), la cual se puede estimar con la siguiente formula:

$$N = \frac{4(ta)^2(S)^2}{I^2}$$

3.3 Tiempo de Ciclo

El tiempo de ciclo es el tiempo necesario para producir una pieza. Se determina por el número de segundos transcurridos en lo que tardará el proceso en cualquiera de las estaciones de trabajo desde el momento en que se inicia un producto hasta que se esté terminado y listo para producir el siguiente. Cabe mencionar que los tiempos de ciclo son bastante diferentes de un proceso a otro y son determinados por la línea de producción

$$CT = \textit{Tiempo requerido para producir una unidad}$$

3.4 Takt Time

El Takt time es el tiempo en el que se debe obtener una unidad de producto. Es un término muy conocido en la manufactura el cual se utiliza para establecer el tiempo que se debe tardar en completar una unidad para cumplir con la demanda (Ortiz, 2006).

3.4.1 Propósito de Takt

- Balancear la carga en las estaciones de trabajo.
- Habilitar en flujo.
- Entender el concepto de demanda de los clientes.

3.4.2 Fórmula para calcular el Takt Time

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ neto\ disponible\ de\ manufactura}{Demanda\ del\ cliente}$$

3.5 Tolerancias o Suplementos

Es el suplemento que se añade al tiempo básico para dar al trabajador la posibilidad de reponerse de los efectos fisiológicos y psicológicos causados por la ejecución de determinado trabajo en determinadas condiciones y para que pueda atender a sus necesidades personales (Sempere, Miralles, Romano y Vicens, 2003).

3.6 Balanceo de Líneas

3.6.1 Conceptos y Definiciones de Balanceo de Líneas

Se define al balanceo de líneas de ensamble como la “asignación de la totalidad de operaciones de ensamble de una serie de estaciones de trabajo de manera que cada una de ellas no tenga más trabajo que el que puede realizar en su tiempo de ciclo y a su vez que minimice el número de estas y de su tiempo de inactividad”⁴. El principal objetivo del balanceo de líneas es lograr un flujo constante del producto a través de la línea de ensamble mediante la adecuada distribución de las operaciones evitando de esta manera los cuellos de botellas.

⁴ Chase, Richard B.; Aquilano, Nicholas J. y Jacob's, Robert. **Administración de Producción y Operaciones**. 10ª Edición, Mc Graw Hill, España. 2005. Y Gaither, Norman y Fraizer, Grez. **Administración de Producción y Operaciones**. 5ª Edición, Thomson Editores, México.2000.

Los autores Suñé, Arcusa, y Gil (2004), señalan que el aspecto más interesante en el diseño de una línea de producción o montaje consiste en repartir las tareas de modo que los recursos productivos estén utilizados de la forma más ajustada posible, a lo largo de todo el proceso. El problema del equilibrado de líneas de producción consiste en subdividir todo el proceso en estaciones de producción o puestos de trabajo donde se realizaran un conjunto de tareas, de modo que la carga de trabajo de cada puesto se encuentre lo más ajustada y equilibrada posible a un tiempo de ciclo. Se dirá que una cadena está bien equilibrada cuando no hay tiempo de espera entre una estación y otra.

Así mismo, el autor Meyers (2000), señala que los propósitos de la técnica de balanceo de líneas de ensamble son las siguientes:

- Igualar la carga de trabajo entre los ensambladores.
- Identificar la operación cuello de botella.
- Determinar el número de estaciones de trabajo.
- Reducir el costo de producción.

La asignación de las operaciones se puede ver afectada por las relaciones que existe entre las diferentes operaciones de ensamble debido al diseño del producto y las tecnologías necesarias para llevar a cabo dichas operaciones; de esta manera se establece lo que se denomina “Relaciones de Precedencia” las cuales especifican la secuencia lógica en que se deben desarrollar las diferentes operaciones de ensamble.

Además los autores García, Alarcón y Albarracín (2004), dicen que el balanceo de líneas se hace para que en cada estación de trabajo exista el mismo tiempo de ciclo, es decir, que el producto fluya de una estación a otra cada vez que se culmine el tiempo de ciclo para que no se acumule. Todas las estaciones deben de pasar el trabajo realizado a la siguiente estación de trabajo cada vez que se cumpla el tiempo de ciclo, por lo tanto no hay cuellos de botella porque todas las estaciones tardan lo mismo.

En años anteriores, la velocidad de una línea de ensamble determinaba el ritmo de trabajo de los operarios, después de varios años y estudios se ha demostrado que el trabajador es el que debe de determinar la velocidad de la línea, ya que de lo contrario este sufre de irritabilidad, frustración, es más propenso a ausentarse a sus labores, elabora productos de mala calidad y por lo tanto su estado de salud se ve mermado.

Para evitar lo anterior es muy importante que se realicen estudios de tiempos de todas las operaciones, en los cuales se evalúe el trabajo correctamente y se asignen los suplementos adecuados con el fin de calcular una tasa de producción que satisfaga la demanda y a la vez permita calcular el tiempo de ciclo que mantenga las condiciones de trabajo más favorables para los operarios.

El balanceo de una línea de ensamble o producción a menudo suele afectar la distribución de la misma debido a que por propósitos de balanceo, el tamaño de las estaciones y el número de estas aumenta o disminuye.

Existen factores por los que una línea de producción puede desbalancearse, entre los cuales se encuentran:

- Cambio en la demanda del producto.
- Cambios en el diseño del producto.
- Cambios o modificaciones en la maquinaria.
- Aprendizaje y capacitación del personal.
- Despidos de personal.

Puesto que la industria manufacturera está inmersa en un entorno cambiante, esta debe de renovarse para adaptarse y crecer en el mercado, por lo que forzosamente en alguna etapa de su vida productiva se vuelven blancos de los factores antes mencionado y se ven en la necesidad de hacer un rebalanceo de la línea de producción, de lo contrario, se tendrán efectos negativos como costos elevados de producción, mal servicio al cliente, excesos de inventarios, fatiga excesiva de los trabajadores, etc. Para realizar un balance de líneas, existe una metodología estándar, la cual se muestra en el siguiente tema.

3.6.2 Objetivo del Balanceo de Líneas

El objetivo de líneas de ensamble es el de minimizar la cantidad total de tiempo ocioso, así como el número de operadores que realizarán una cierta actividad de trabajo con una velocidad dada de la línea de producción. Esto puede denominarse como minimización del retraso de balanceo; esto es la cantidad de tiempo ocio que resulta en la línea de ensamble debido a los tiempos totales desequilibrados de trabajo asignado en las diferentes estaciones de trabajo.

Condiciones para que la producción sea directa:

- Balance: los tiempos de operación deben ser relativamente similares entre ellas.
- Cantidad: la cantidad de producción debe ser suficiente para cubrir los gastos de la preparación de la línea.
- Continuidad: al iniciar a trabajar en una línea de producción no hay que detenerla en ningún punto, pues costaría la alimentación de las estaciones posteriores.

Los estudios que se han realizado establecen que los tres factores que elevan el retraso del balanceo de la línea de ensamble de un producto son:

1. Una gran variabilidad de tiempos en los elementos de trabajo o actividades.
2. Una gran inflexibilidad en la línea mecanizada.
3. Obtención inadecuada del tiempo de ciclo.

3.6.3 Problemas de desequilibrio en un sistema de manufactura⁵

Las posibles soluciones para resolver los denominados cuellos de botella, resultado del desbalance podrían ser:

1. Alterar físicamente el sistema, para mejorar el equilibrio por medio de:
 - a) Mejorar la operación cuello de botella, alterando o reemplazando equipo, mejorando el procedimiento, etc.
 - b) Haciendo una nueva distribución del trabajo entre las operaciones.
 - c) Duplicar las instalaciones para la operación cuello de botella, con el objeto de aumentar la capacidad.

2. Adoptar procedimientos especiales de operación para el sistema como:
 - a) Hacer pasar las piezas a través de operaciones sucesivas a toda capacidad, pero en lotes relativamente grandes e intermitentes.
 - b) Desviar alguna pieza de la operación cuello de botella a otra máquina similar en la planta, programar tiempo extra, o subcontratar esa operación.
 - c) Realizar otros procedimientos de operación menos comunes.

3. Trabajar las operaciones a la velocidad, de la operación cuello de botella.

También podría adaptarse para resolver la pérdida de tiempo provocado por un cuello de botella por medio de una combinación de las posibilidades antes mencionadas.

⁵ KRICK, Edward V. "Ingeniería de Métodos" Editorial: Limusa, México D.F. 1991 Pp. 389-394.

3.6.4 Metodología para el balanceo de líneas

Los pasos que hay que seguir para realizar un balanceo de línea son los siguientes:

1. Obtener el listado completo de las operaciones de ensamble que contiene el producto o productos en consideración.
2. Establecer las relaciones de precedencia mediante la elaboración de precedencias, este diagrama se crea a partir de círculos que representan las operaciones individuales y flechas que indican el flujo de las operaciones.
3. Determinar el tiempo de ciclo requerido de la estación de trabajo.

3.7 Valor de la actuación

Para que la comparación entre la escala del tiempo observado de trabajo, y la escala de trabajo estándar sea más efectiva, es necesario tener una escala numérica para hacer una evaluación esta evaluación podrá ser utilizada como un factor por el cual el tiempo podrá ser multiplicado para dar el tiempo estándar. Hay varios sistemas de evaluación la más común es el sistema Westinghouse: desarrollado por Westinghouse Electric Corporation, el cual ha tenido mucha aplicación especialmente en el ciclo corto y en las operaciones repetitivas.

3.8 Diagrama de Ishikawa

También es conocido como diagrama de espinas de pescado (por su propia forma), y fue desarrollado para presentar la relación entre algún efecto y todas las posibles causas que pueden estar en el origen. En 1953 Kauro Ishikawa resumió la opinión de los ingenieros de una planta dándole la forma de un diagrama de causa-efecto mientras discutían un problema de calidad. Esta fue la primera vez que se usó este enfoque. Cuando el diagrama se usó en la práctica, mostró ser muy útil y pronto llegó a usarse ampliamente en muchas compañías en

todo Japón. Se incluyó a la terminología del JIS (estándares industriales japoneses) del control de calidad.

Es una técnica que permite clasificar, relacionar y profundizar las listas producidas en la tormenta de ideas para que nos puedan ser útiles:

Clasificar: agrupar conceptos afines para facilitar su análisis.

Relacionar: eliminar duplicidad y mantener todos los elementos de la lista en una perspectiva coherente.

Profundizar: expandir la lista hasta hacerla abarcadora y exhaustiva.

¿Por qué usar el diagrama de Ishikawa?

- Identifica las verdaderas causas y no solamente los síntomas de una situación; las agrupa en determinadas categorías, según los factores genéricos, para encauzar las situaciones de análisis-mejora de modo sistemático.
- Resume todas las relaciones existentes entre las causas y efectos de un proceso.
- Utilizándolos con otras herramientas estadísticas, por ejemplo el diagrama de Pareto, promueve la mejora del proceso según prioridades.
- Favorece el pensamiento creativo o divergente del personal, con el objeto de acumular el mayor número de ideas y aportaciones ante una situación por medio de tormenta de ideas.
- Ayuda a analizar resolver un problema de una manera sistemática, fomentando el análisis científico, ya que tras examinar el diagrama, se detecta que información es relevante para determinar de un modo fidedigno la causa principal del efecto estudiado.

Para la ejecución se recomienda seguir estos pasos:

1. Definir claramente el problema / efecto que se ha detectado a la derecha del diagrama.

2. En el lado izquierdo del diagrama se debe identificar los principales factores o categorías bajo las cuales van a ser clasificadas las causas potenciales del problema. Puede utilizarse las 6M's: mano de obra, métodos, medio ambiente, materia prima, maquinaria/equipo y sistema de medición.
3. Continuar explorando la cadena de causas al factor o categoría que en ese momento se está analizando respondiendo a las preguntas: por qué, dónde, cuándo, quién, cómo, qué, cuánto.
4. Seleccionar las causas más probables y seleccionarlo.
5. Si se encuentra y elimina la causa raíz, analizar su influencia en el problema.

En la figura 3.7 se muestra un ejemplo de la estructura básica del diagrama causa-efecto (Ishikawa).

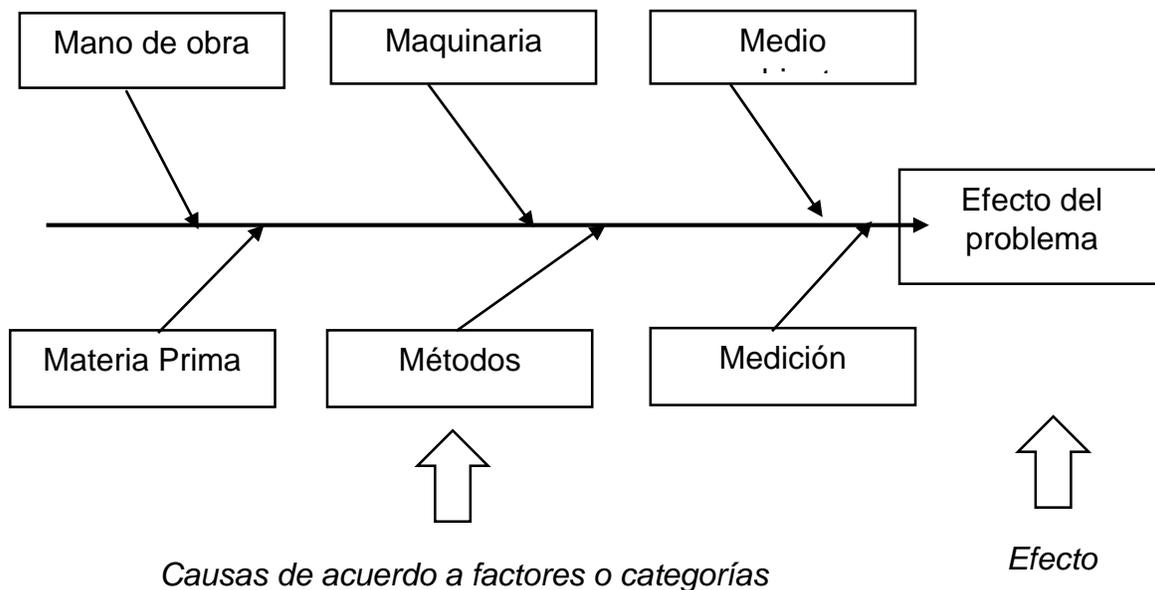


Figura 3.7 diagrama de Ishikawa

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

4.1 Modelos de PCB's

Para comenzar con el análisis actual del proceso se debe mencionar que en la industria electrónica Clarion S.A. de C.V. se realiza el montaje de componentes electrónicos en los diferentes tipos de modelos de PCB's que esta maneja.

En la tabla 4.1 se presentan los modelos de PCB's que son manufacturados en las diferentes líneas que tiene la industria electrónica Clarion S.A. de C.V

MODELO	CLIENTE
301547-B9100	Volkswagen
75-3328-AQ	Mitsubishi
75-3442-E91	Honda
75-3442-E92	Honda
75-3090009-201	Nissan
75-3135Q91	Chevrolet
75-3135Q92	Chevrolet
75-83329-WAQ-128	Nissan
75-10D3334-GBQ1	Ford
75-10D3334-GBQ2	Ford
75-13D337-GBQ1	Suzuki
75-13D337-GBQ2	Suzuki
75-8H3329-WNQ	Chevrolet
75-TX1090-DVHAQ1	Nissan

Continúa...

MODELO	CLIENTE
75-12D3370-GAQ12	Toyota
75-13D3377-GBQ	Volvo
75-12D3332-GAQ	Volvo
75-13D3334-GAQ10	Volvo
75-0380032-Q2R11P	Volkswagen
75-0380032-Q2R12P	Volkswagen
75-39050-R2S1	Ford
75-3442-A9	Honda
75-3089-G9	Honda
75-32948-AQ	Honda
75-TX1090-DVHAQ2	Volkswagen
75-TZ5ARCLS-RAQ	Volkswagen
75-K2UGLDMAQ1	GMC
75-K2UGLDMAQ2	GMC
75-T25-ABULR-AQ1P	Mitsubishi
75-T25-ABULR-AQ2P	Mitsubishi
75-TK8XRCLL-AQ	Honda
77-11D3356-GAQ2	Toyota
77-13D3380-AQ1	Toyota
77-13D3380-AQ2	GMC
9712-D33326-GBQ	GMC
77-3378-B9100	General Motors
77-3328-AQ12	General Motors
77-3442-A9	General Motors
77-13S3384-TYAQ1	Mitsubishi
77-13S3384-TYAQ2	Mitsubishi

Continúa...

MODELO	CLIENTE
75-13S3389-NAQ1	Nissan
77-3378-B9	Nissan
78-3090-Y9	General Motors
78-3636A91	General Motors
319461A91	Nissan
R773442A9102	Honda
R773328AQ106	Honda

R773365-A9	Nissan
M301547-B9200	Volkswagen
R773401-B9104	Nissan

Tabla 4.1 Tipos de modelos de PCB's. Fuente: Área de producción M.A.

4.2 Descripción de la elaboración de PCB's

- **Verificar el modelo que se va a correr en las CMD**

Es responsabilidad del equipo en turno y principalmente del auxiliar técnico (o comodín) llegar 10 minutos antes en sus respectivas áreas de trabajo para recibir el cambio de turno. El auxiliar técnico tiene que verificar en tabla de modelos programados, el modelo que se va a correr en las CMD y la cantidad de PCB's que se tiene que producir durante el turno.

- **Surtir material y montarlos en las CMD.**

El auxiliar técnico tiene que cargar el programa del modelo correspondiente desde el servidor de la línea SMD, una vez que ya se encuentre el programa en las diferentes tablas (TBL), se procede a imprimir el número de parte de los materiales que lleva el modelo, esto le facilita al operario la búsqueda del material. Una vez que se tienen completos los materiales se empezará a surtir las tablas, el carrete que contiene el componente es colocado en feeders esto con la finalidad de que sean sostenidos y la maquina CMD tome los componentes automáticamente. En la figura 4.1 se muestra como quedan surtidas las tablas.



Figura 4.1 tablas CMD surtidas con material

- **Escaneo de material**

Una vez que todas las tablas de las CMD estén surtidas con el material correspondiente, se procede a escanear con un Pokanon⁶ el número de parte y RCC del carrete que contiene el material (ver figura 4.2), esto con la finalidad de verificar que los operarios no hayan colocado un carrete con un material diferente al que corresponde. Cuando todo el material está completo, el Pokanon debe marcar condición OK, pero cuando hay faltante de material o en su defecto no es el correcto este nos marcara condición NG.

⁶ Sistema que cuenta con un módulo para checar códigos. El sistema checador de códigos puede configurarse de acuerdo al modelo que se desea. (en este caso el modelo que el cliente necesite).



Figura 4.2 escaneo de material con Pokanon.

- **Ajustar y colocar tabletas en magazine**

Con una llave Allen de 5 lados el operario ajusta el magazine de acuerdo al tamaño de la tableta, este magazine cuenta con una capacidad para 50 PCB's que sean de primer proceso, si el modelo cuenta con un segundo proceso, solamente se pondrán 25 PCB's esto con la finalidad de evitar dañar los componentes del primer proceso.

- **Preparación de maquina SP60P**

Consiste en colocar el Stencil⁷ correctamente verificando que sea el modelo correcto y montar correctamente los Squeegees⁸ en su base. Una vez colocadas estas dos herramientas principales, se colocará pasta de soldadura sobre el Stencil (se utilizan dos tipos de pasta las de Leed free y Tamura), cabe mencionar que este procedimiento solamente lo debe realizar el auxiliar técnico, además debe verificar que el papel que limpia el exceso de soldadura del Stencil se encuentre limpio de lo contrario tendrá que rebobinarlo. En la figura 4.3 se muestra la máquina SPP preparada para iniciar el arranque del modelo.

⁷ Es una plantilla hecha en una lámina de metal, el cual contiene la serigrafía de un modelo.

⁸ Es una herramienta tipo espátula que sirve para aplicar pastas de soldadura sobre el Stencil.

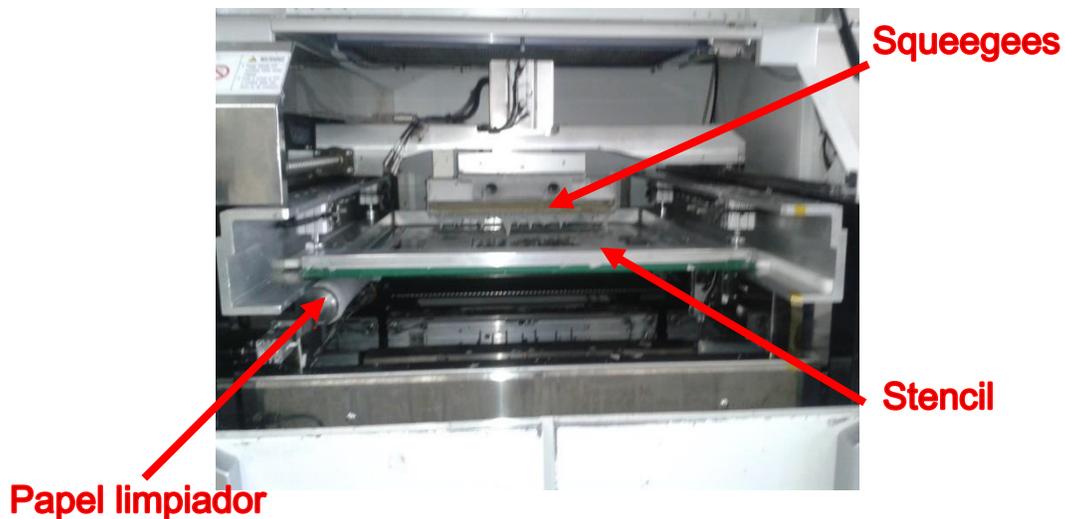


Figura 4.3 Preparación de máquina SPP

- **Inspección de PCB en maquina VP**

Esta máquina inspecciona la tableta que ya ha pasado por la impresión de pasta en SPP (ver figura 4.4), verificando cada una de las pistas que llevan soldadura, si esta va con exceso o escases de soldadura se activa automáticamente una alarma, así también cuando esta lleva cortos, cuando esto ocurre el operario tendrá que sacar la tableta y llevarla a el área de lavado, ahí hay una persona responsable que se encarga de quitar todo el exceso de soldara que pueda quedarle a la tableta, una vez que esta se encuentre limpia se regresa nuevamente al área de trabajo para volverla a pasar. En la tabla 4.2 se detallarán los errores puede llegar a detectar la máquina VP.

FAUL NAME	NOMBRE DE LA FALLA	FAULT CODES
Bad Mark Detection	Mala detección de la marca	1
Other Errors	Otros errores	10
Windows Coodinate Error	Error de coordenada de ventana	11
Exceeding Of Window Range	Rango excedido de ventana	12
Un-Registered Model	Modelo sin registrar	13
Extraction Error Component	Error de extracción de componente	20
No Electrode	Sin electrodo	28
Foreing Object Detection	Detección de objeto extraño	38
Bridge	Corto	40
Solder Balls	Bolas de soldadura	50
Protect Unreleased	Protección no liberada	60
Read Error (2D)	Error de lectura (2D)	61
Insufficient Solder Paste	Escases de soldadura	80
X Shift	Movido en X	81
Y Shift	Movido en Y	82
Excessive Solder Paste	Exceso de soldadura	90

Tabla 4.2 Errores detectados por máquina VP.

Si se detectan estas fallas en VP5200 avisar a Técnico o responsable en turno.



Figura 4.4 Inspección de PCB en máquina VP5200

- **Colocación automática de componentes en tablas CMD**

Se activan las boquillas de los cabezales de las TBL, cada cabezal contiene 8 boquillas; estas se encargan de succionar el componente que se encuentra en el feeders y colocarlos sobre las pistas de las tabletas que contienen la soldadura.

- **Inspección de PCB en máquina VT-RNS**

La función de esta máquina es inspeccionar las tabletas después de pasar por las tablas de las CMD. En la tabla 4.3 se describen las fallas que esta máquina puede detectar

FAULT NAME	NOMBRE DE LA FALLA	FAULT
OK	OK	0
Missing component	Componente faltante	24
No polarity mark	Polaridad invertida	27
Horizontal shift	Movido horizontal	29
Vertical shift	Movido vertical	30
Wrong component	Componente cambiado de valor	34
Skewed component	Componente girado de Angulo	71

Tabla 4.3 Errores detectado por la maquina VT-RNS

Si la VT-RNS marca algunas de estas fallas el operario debe parar el proceso para que esta no pase hasta el producto final, debe de revisar la tableta si este error se puede retrabajar o definitivamente se va a Scrap⁹.

- **proceso de horneado**

Las tabletas son pasadas por el horno para poder concluir con el proceso de manufacturación de PCB's, donde el horno ya está programado a una

⁹ El Scrap se compone de materiales reciclables sobrantes de la fabricación y consumos de productos.

temperatura específica, para que la soldadura no salga cruda pero que tampoco corran el riesgo de que puedan quemarse.

- **Fin de proceso y etiquetado**

Al término del proceso el operario etiqueta cada una de las tabletas antes de ser entregadas a control de calidad.

4.3 Identificación del Problema

Para poder identificar cuáles son las principales causas que ocasionan los problemas en el cumplimiento de las metas que son programadas en el área de producción de máquinas automáticas, se realizó un estudio el cual nos permitió identificar las diversas causas posibles. Una manera más fácil de explicar y comprender estas causas se presenta mediante un diagrama de Ishikawa también conocida como diagrama causa-efecto.

El propósito de este diagrama es conocer las causas potenciales del problema que se ven reflejados en el tiempo de producción. Algunas de estas causas parecieran no afectar a la producción, finalmente se ven reflejadas en las metas programadas de producción diaria, por lo que es necesario tomarlas en cuenta durante el turno de la jornada laboral.

A través de este diagrama tendremos la oportunidad de encontrar las alternativas de solución y estrategias que nos permitirá ponerlas en práctica, lo cual nos ayudará a atacar los desperdicios de tiempos muertos en las líneas de producción.

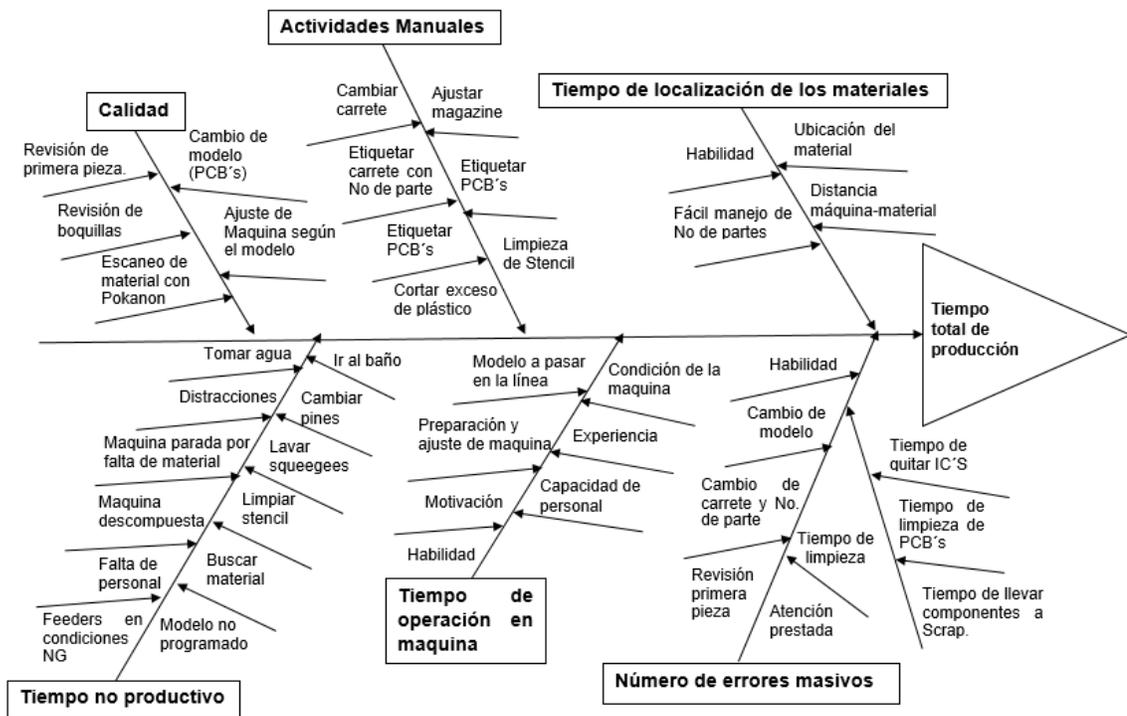
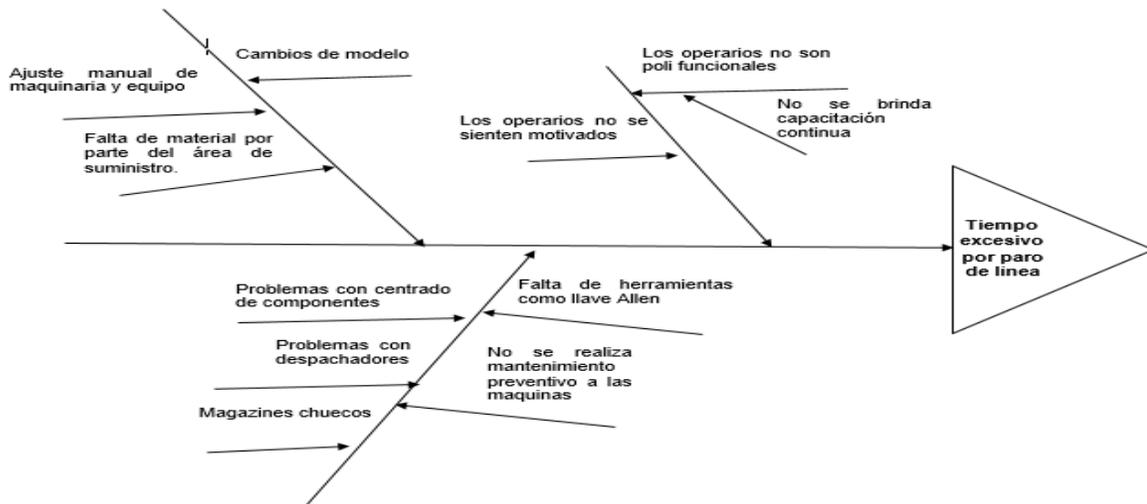


Figura 4.5 Diagrama de Ishikawa (tiempo total de producción)



4.6 Diagrama de Ishikawa (tiempo excesivo por paro de línea)

4.4. Estudio de tiempos con cronómetros

En el área de Máquinas Automáticas de la Industria electrónica Clarion S.A. de C.V. planta San Juan del Rio, Querétaro. Es un área donde se manufacturan y distribuyen productos eléctricos y electrónicos, los principales productos de instalación son los sistemas de audio para automóviles. Esta área de Máquinas Automáticas tiene 13 líneas de producción (SMD), con un número de 2 a 4 operarios por SMD. El número de operario va a cambiar dependiendo tanto del modelo que se va a correr en la línea y la cantidad de producción programada durante el turno o jornada laboral. Ya que algunos modelos al hacer el cambio llevan más material unos que otros, así como la asistencia del personal. Cabe mencionar que en cada una de las SMD van a ver dos operarios de base y un auxiliar técnico. El número de operarios puede aumentar o disminuir dependiendo la velocidad con que esté trabajando la máquina, teniendo en cuenta la urgencia para terminar el modelo programado para ser entregado el pedido.

4.4.1. Medición del tiempo estándar

Para empezar se pretenden tomar los tiempos de cada actividad que realizan los operarios, esto con la finalidad de poder determinar el tiempo estándar actual de dichas actividades. Esto ayudará a nuestro estudio para tomar medidas que corrijan los errores actuales, así como, para sentar las bases para llevar un buen balanceo de líneas. Se registraron 10 observaciones ($M=10$).

En la tabla 4.4 se colocaron los tiempos cronometrados, tomados por la observación vuelta a cero, estos tiempos están basados en segundos. Se utilizó el elemento limpieza manual de Stencil como actividad piloto ya que es la que presenta mayor dispersión en el tiempo.

OBSERVACIÓN	TIEMPO (SEG)
1	69
2	92.4
3	94.8
4	121.8
5	88.8
6	82.2
7	133.8
8	127.2
9	144
10	131.4
$\sum T$	1085.4
T	108.54
T^2	123847.56

Tabla 4.4 Tiempos cronometrados

Utilizaremos un nivel de confianza del 90%

Con un margen de error del 10%

$$S = \sqrt{\frac{(123847.56) - \frac{1178093.16}{10}}{9}}$$

$$S = 25.90 \text{ seg}$$

$$I = 108.54 \pm \left(\frac{(1.383)(25.90)}{\sqrt{10}} \right) = \left\{ \begin{array}{l} I_1 = 119.87 \\ I_2 = 97.22 \end{array} \right.$$

$$I = 22.65$$

$$I_m = \frac{2(1.383)(25.90)}{\sqrt{10}} = 22.65$$

$I_m = I$ por lo tanto se acepta el tamaño de la muestra, por lo que no es necesario hacer observaciones adicionales.

Para calcular el tiempo estándar es necesario calcular el tiempo normal, para ello es inevitable calcular C_v . Para este cálculo vamos se consideró que:

$$TPS \text{ TOTAL (tiempo promedio seleccionado)} = 108.54 \text{ seg.}$$

$$C_v = 1 \pm C$$

El factor de calificación de los operarios se llevó a cabo mediante el método de Westinghouse (ver anexo numero 1), el cual nos permitió realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa de la manera de actuar del operario al llevar a cabo el proceso.

FACTOR	CLASE	CATEGORÍA	PORCENTAJE %
Habilidad	C2	Bueno	+0.02%
Esfuerzos	C1	Bueno	+0.05%
Consistencia	E	Aceptable	-0.02%
Condiciones Ambientales	E	Aceptables	-0.03%
TOTAL			+0.02%

Tabla 4.5 Factor de calificación Westinghouse

$$C_v = 1 + 0.02 = 1.02$$

El valor de $C_v = 1.02$ lo cual significa que el operario se desempeña con una eficiencia del 2% por encima del promedio, cual se le atribuye a su esfuerzo y habilidad que este realiza en la industria.

$$TN = 110.71 \text{ Seg.}$$

Por lo tanto el tiempo normal requerido del operario para poder realizar la operación cuando trabaja a una velocidad estándar y sin ninguna demora es de **110.71 Seg** o bien **1.84 min.**

Las hojas de resultados de la toma de tiempos son presentadas en el anexo número 5. Los resultados de este estudio nos permitirán determinar las necesidades reales tanto de mano de obra por parte de los operarios así como equipo y maquinaria que se tienen en la industria. De esta manera también se logrará al desarrollo e implementación de métodos eficaces de trabajo en el área de producción de Máquinas Automáticas.

4.5 Balanceo de Líneas

4.5.1 tolerancias o suplementos

Para poder obtener las tolerancias, se utilizó el método de tolerancia constante sumada al tiempo normal, según Stephens (2006), ya que es una de las técnicas más utilizadas en la industria (Ver tabla 4.6)

ACTIVIDAD	TIEMPO (min.)
Breakfast	15 min
Descanso (comida)	60 min
Tiempo personal	15 min
Total	90 min

Tabla 4.6 tolerancias y suplementos

- Jornada laboral = 12 horas / turno = 720 Minutos.
- Tiempo no trabajado = 90 Minutos.
- Tolerancia = $\left(\frac{60}{720-90}\right) * 100 = 9.52\% \approx 10\%$

4.5.2 Cálculo del Takt Time

Para tener una mayor exactitud en el balanceo de líneas procederemos a calcular el Takt Time, esto lo obtendremos dividiendo el tiempo disponible con el que cuenta la empresa entre la demanda del cliente. Dicho resultado nos señalará el tiempo máximo en que el operador o la maquinaria deben trabajar la pieza antes de pasarla a la siguiente operación o actividad.

Por su parte, a fin de calcular el Takt Time, se hacen los cálculos correspondientes para un día.

Para ello se dividió el total de segundos trabajados en un día (37800 Seg.) obtenidas de las 10.5 horas diarias trabajadas durante el turno de 12 horas, entre el total de piezas que deben salir diarias para cumplir la demanda de 7700 piezas.

$$TT = \frac{38412 \text{ Seg.}}{1100 \text{ pzs}} = 34.92 \text{ seg/pieza}$$

Esto nos quiere decir que para satisfacer la demanda del cliente, el ritmo al cual un producto debe ser fabricado es de 34.92 Seg. O 0.582 min.

El método de producción consiste básicamente en que los operarios no se detengan en sus actividades. En la gráfica 5.1 se complementa la información en donde se puede apreciar que existe una variación considerable entre el tiempo de duración de las distintas actividades, es decir, están desbalanceadas.



Grafica 4.1; Tiempo por actividad (promedio) de la línea SMD.

4.5.3 Manifestación de paros en la línea SMD

Los tiempos de paro en las líneas se ven reflejados en el desajuste de las máquinas, ya que si hay paro en una de las estaciones se detiene toda la línea, las causas del paro en las líneas SMD se clasificaron de acuerdo a las actividades que se realizan en el área de Máquinas Automáticas. (Ver anexo número 3)

En la tabla 5.1 se presentan los efectos más frecuentes que provocan paros en la línea SMD, así como su descripción y el efecto que lo provocan.

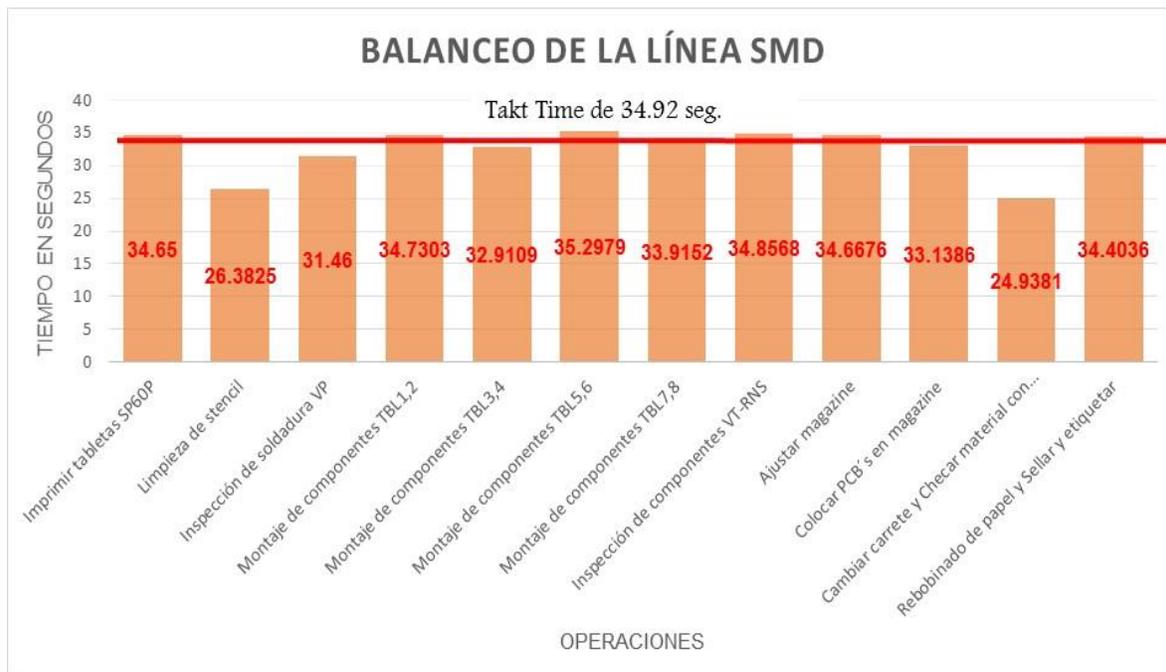
MANIFESTACIÓN	EFEECTO
Avería / fallo de un equipo	Tiempo perdido cuando el proceso se detiene por que algún equipo pierde repentinamente sus funciones específicas, y se requiere de una reparación.
Preparación en arrancar la línea	Estas pérdidas consisten en los ajustes de la máquina para la puesta en marcha de la línea.
Paradas menores	Son interrupciones menores a 10 minutos, debido a problemas relacionados con el transporte de material y con las operaciones de producción, en algunos casos son pequeñas intervenciones para ajustar los quipos.
Falta de alimentación	Son paradas causadas por falta de suministros de material: carretes terminados (que es la principal causa de paro, ya que los operarios no verifican cuál de todos los materiales está por terminar y cuanto esta termina la maquina automáticamente para), etiquetas, falta de tabletas o PCB's.
Paros operacionales	Son intervenciones necesarias para alimentar un equipo y continuar con la producción, algunos ejemplos son activación de boquillas, limpieza manual de Stencil (esto es para que no genere cortos en las pistas que llevan soldadura) y aplicar soldadura sobre el estencil cuando este ya se encuentre agotado.
Reducción en la velocidad	Esto es debido a que se opera a una velocidad inferior a la velocidad estándar.

Tabla 4.7 Manifestación de paros en línea SMD

CAPÍTULO 5: IMPLANTACIÓN DE LA SOLUCIÓN y RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Balanceo de Líneas

La finalidad de este balanceo de líneas fue ajustar cada una de las estaciones de trabajo con base al Takt Time y eliminar el mayor tiempo posible de ocio, obteniendo el tiempo estándar en cada operación. Se aplicó una tolerancia del 10% quedando ajustadas las estaciones de la siguiente manera;



Grafica 5.1; Balanceo en base al tiempo estándar por actividad en la línea.

De esta manera al comparar las gráficas 4.1 y gráfica 5.1, se aprecia que antes de haber nivelado la línea existía un tiempo de ocio mayor, por lo tanto, al realizar el balanceo se combinaron algunas actividades que ajustaron las operaciones con base al Takt Time para que la carga de trabajo en cada una de las estaciones se encontrara nivelada.

Una vez nivelada la línea, calcularemos la productividad del “antes” y el “después”, para esto tomamos en cuenta el cuello de botella del antes y el después de ser nivelada la línea.

En la gráfica 5.1 el cuello de botella es la actividad 5.2 limpieza manual de Stencil el cual tiene una duración de 108.54 segundos el cual equivale a 1.809 minutos. Para obtener las piezas fabricadas, dividiremos el tiempo disponible 630 minutos entre 1.809 minutos, el resultado es 348.26 piezas aproximadamente, por lo tanto procederemos a calcular la productividad.

$$Productividad = \frac{348.26}{(14)(10.5)}$$

$$Productividad = 2.37 \text{ unidades.}$$

Esto nos quiere decir que en cada una de las estaciones se fabrica 2.37 piezas por hora.

Cuando el balanceo de líneas se realizó, el cuello de botella se convirtió en Montaje de componentes en TBL 5.6, el cual tiene un tiempo de duración de 35.29 segundos equivalente a 0.59 minutos. Al hacer los cálculos correspondientes nos arroja un resultado que en cada estación se fabrica 8.47 piezas por hora contra 2.37 piezas cuando la línea no se encontraba equilibrada.

$$Productividad = \frac{1067.8}{(12)(10.5)}$$

$$productividad = 8.47 \text{ unidades.}$$

Finalmente este balanceo ha aumentado la productividad en un 138% ya que ahora se producen más piezas. Y se logró reducir el tiempo de ocio de maquinaria como de operarios.

Finalmente dentro de una línea de producción al personal se le paga por su trabajo no por el tiempo que se mantienen sin hacer nada, parte del balance de líneas si no hay otra operación que se pueda agregar para maximizar la producción existen otras maneras de aprovechar al personal operativo para equilibrar las cargas de trabajo, dentro del balance de líneas de automatizado no debe haber personal al final de la línea platicando, sino que solamente el personal de calidad en este caso el área de VT-WIN quien audita el producto terminado y lo llevan para el otro proceso al área de Car Audio.

5.1.2 Formato de producción diaria programada

Las líneas automatizadas tienen la ventaja de tener un mayor flujo del proceso y además las personas son más conscientes de su capacidad y saben su meta diaria de producción. Sin embargo siempre deberán llevar un control de producción aunque sea sencillo pero les ayudará a controlar su producción por hora sin que nadie los obligue, por eso se ideó el siguiente formato de producción diaria programada. El cual el supervisor y encargado de la producción deberá estar revisando cada hora para ver si se cumple con la meta establecida.

LÍNEA SMD: _____

AREA: MAQUINAS AUTOMATICAS FECHA: _____

CONTROL DIARIO DE PRODUCCION			
HORA	PROGRAMADA	REAL	COMENTARIOS
7:00-8:00			
8:00-9:00			
9:00-10:00			
10:00-11:00			
11:00-12:00			
12:00-13:00			
13:00-14:00			
14:00-15:00			
15:00-16:00			
16:00-17:00			
17:00-18:00			
18:00-19:00			
19:00-20:00			
OPERADOR: _____			
AUXILAR TÉCNICO: _____			

Figura 5.1 Hoja de producción diaria.

- Este formato ayudará a visualizar la cantidad de PCB's que el operario realiza por hora.
- En el apartado de "programada" el supervisor de producción anotará la cantidad de PCB's que tienen programado la cual los operarios tienen que alcanzar esta meta propuesta, y el apartado de "real" los operarios anotarán la cantidad real que están sacando o produciendo por hora.

- Podrán anotar en el apartado de comentario cualquier inconveniencia que tengan durante el turno de trabajo y que justifique su labor diaria.

5.1.3 Formato de tiempos muertos o paros en línea.

Cuando se habla de tiempos muertos, es el tiempo en que una maquina esta parada y no está haciendo su función dentro de la línea y provoca retraso en la producción el cual causa pérdidas en la planta. Este tiempo tiene que ser medido y costado al área de mantenimiento si fue por negligencia del técnico u operarios o alguna parte de la maquina no funciona y tiene que ser reemplazada, se ideo un formato en donde se establecerán las causas de los paros que ocasionen retrasos con la producción.

Esta es una herramienta que está funcionando en toda el área de máquinas automáticas, el cual este formato tiene que ser entregado al final del turno o durante el turno al Jefe de Producción para poder justificar las pérdidas al área de mantenimiento.

TIEMPO MUERTO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN SMD																																																											
LÍNEA SMD: _____			FECHA: _____																																																								
OPERARIOS: _____			AUXILIAR TÉCNICO: _____																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">CÓDIGO</th> <th style="width: 35%;">CAUSA</th> <th style="width: 15%;">CÓDIGO</th> <th style="width: 35%;">CAUSA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S1</td> <td>Paro programado</td> <td>S6</td> <td>Mantenimiento</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>Falta de material</td> <td>S7</td> <td>Preparación de maquina</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>Falta de electricidad</td> <td>S8</td> <td>Otros</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>Cambio de modelos</td> <td>EI</td> <td>Especificaciones incorrectas</td> </tr> <tr> <td>S5</td> <td>Averías y desajustes</td> <td>RC</td> <td>Rechazo de calidad</td> </tr> </tbody> </table>						CÓDIGO	CAUSA	CÓDIGO	CAUSA	S1	Paro programado	S6	Mantenimiento	S2	Falta de material	S7	Preparación de maquina	S3	Falta de electricidad	S8	Otros	S4	Cambio de modelos	EI	Especificaciones incorrectas	S5	Averías y desajustes	RC	Rechazo de calidad																														
CÓDIGO	CAUSA	CÓDIGO	CAUSA																																																								
S1	Paro programado	S6	Mantenimiento																																																								
S2	Falta de material	S7	Preparación de maquina																																																								
S3	Falta de electricidad	S8	Otros																																																								
S4	Cambio de modelos	EI	Especificaciones incorrectas																																																								
S5	Averías y desajustes	RC	Rechazo de calidad																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">TURNO</th> <th style="width: 15%;">MAQUINA</th> <th style="width: 15%;">HORA DE INICIO</th> <th style="width: 15%;">HORA FINAL</th> <th style="width: 15%;">CÓDIGO</th> <th style="width: 20%;">No DE MAQUINAS AFECTADAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						TURNO	MAQUINA	HORA DE INICIO	HORA FINAL	CÓDIGO	No DE MAQUINAS AFECTADAS																																																
TURNO	MAQUINA	HORA DE INICIO	HORA FINAL	CÓDIGO	No DE MAQUINAS AFECTADAS																																																						
<p>OBSERVACIONES</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																																																											

Figura 5.2 Formato de tiempos muertos.

- Se registrará el número de equipo que este en turno y especificar el turno en que se encuentren ya sea 1er turno o el 2do turno.
- Se especificará la máquina que se encuentre dañada o parada.
- Deberá registrar la hora exacta en que para la máquina, así como la hora que arrancan nuevamente.
- Especificar la causa del paro, anotando el código correspondiente (estos códigos se subdividen en causas más específicas, (ver anexo número 3). Los operarios ya cuentan con el formato de clasificación de paros, el cual les facilita ubicar la causa de paro en la línea.

De esta manera se tienen más controlados los tiempos de paro en cada una de las líneas SMD. Así se podrán tomar acciones correctivas para evitar que algunos de estos problemas lleguen a afectar la producción diaria.

CAPÍTULO 6

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

6.1 Recomendaciones

6.1.1 Propuesta de dinámicas para aumentar la motivación de los empleados

Los operarios siempre se han quejado que no existe ninguna clase de motivación, por lo tanto para aumentar la motivación del personal que labora en la fábrica se recomienda utilizar dinámicas que no precisamente pueden ser monetarias. Por lo que se propone aumentar la competencia interna en las líneas SMD de producción de la empresa, una de las ideas es colocar una estrella grande y dorada en el tablero al equipo que logre cumplir con las producciones programadas o que tengan mayor producción esto se debe colocar al lado de la tabla de errores masivos, así se podrán diferenciar las dos clases de equipos, de esta manera los equipos no querrán aparecer en la tabla de errores masivos, si no, en la tabla equipos con mayor producción.

Se sugiere crear una cartelera para el “Empleado del mes”, para obtener este título del empleado del mes se propone tener asistencia y puntualidad durante el mes no haber tenido ninguna falta, y portar completamente el equipo de trabajo (guantes, gorras, cofias, zapatos. Etc.). Se mostrará su fotografía en un lugar visible por todos los demás empleados para homenajear su dedicación. También se propone otorgarle un diploma donde especifique su dedicación y esfuerzo en el trabajo.

Es importante que se dé un clima de colaboración y confianza en el trabajo, se debe ser amable con cada uno de los operarios y si hay que recriminar a un empleado se debe hacer en privado, de lo contrario si hay que reconocer su labor se debe hacer en público.

6.1.2 Capacitación y adiestramiento

Generalmente se suele especializar a la gente en una misma estación de trabajo, lo que puede perjudicar si alguien faltara un día de trabajo haciendo de esta manera que se tenga que improvisar un puesto de trabajo o simplemente que

no se trabaje en la línea. Lo ideal sería rotar al personal en cada una de las líneas haciendo que no sea indispensable a la hora que alguien no estuviese.

El adiestramiento debe consistir en enseñarles a los trabajadores a operar la maquinaria, aun cuando el trabajo le corresponda a los auxiliares técnicos, ellos deberán ser adiestrados para resolver cualquier problema que se presente en la línea principalmente con la maquinaria y el equipo, de esta manera si los operarios aprenden todas las técnicas de operación y ajustes de maquinaria no tendrán ningún problema cuando alguno de los auxiliares técnicos falten en el trabajo, ellos tendrán la capacidad de resolver dicha situación.

6.1.3 Llevar a cabo el programa mantenimiento preventivo

Se recomienda llevar a cabo el plan de mantenimiento preventivo mucho más estricto de todas las máquinas de tal manera que se coordine el mantenimiento fuera de los tiempos netos de proceso, esto se puede llevar a cabo los fines de semana, ya que el trabajo que realizan las maquinas es muy forzado a tiempo completo, para evitar posibles paros y retrasos en el proceso productivo

- El área de mantenimiento deberá estar atento a cada uno de los cambios de tecnología dentro de la planta de producción, pues el nivel de conocimientos sobre las mismas deberá ser el correcto, a manera de aprovechar al máximo los nuevos equipos.
- Llenar siempre los formatos tanto de producción diaria y tiempo muerto en la línea esto para llevar un control de cada una de ellos.
- Hacer que los procesos de elaboración de cada producto sean respetados por los trabajadores para que todos puedan trabajar a un ritmo definido.

6.2 Conclusiones

Una vez finalizado este trabajo de residencia, se concluye que el objetivo general de balancear la línea de producción en el área de máquinas automáticas se cumplió, ya que se logró nivelar las cargas de trabajo, además de aumentar la productividad en un 138%, lo cual coloca a la planta en una buena posición, cumpliendo en tiempo y forma con los requerimientos del cliente.

Al haber realizado la implementación de balanceo de líneas se puede concluir que no porque haya más operarios en una línea significa que se genera mayor volúmenes de piezas, sino todo lo contrario, los operadores se acostumbran a una carga de trabajo mínima, por lo que los operadores harán el trabajo de una manera más lenta que irán perdiendo consistencia y habilidad. Por lo tanto, lo que realmente importa es que tanto operadores y maquinas estén cargados a un ritmo de trabajo uniforme basado en el tiempo del Takt Time, para que se produzcan las piezas necesarias.

A demás, se concluye que los balanceos se tienen que hacer constantemente, ya que poco a poco se van agregando máquinas o herramientas nuevas las cuales agilizan el trabajo, razón por la cual es necesario hacer un nuevo ajuste para que exista de nuevo el flujo o la carga óptima para eliminar el tiempo de ocio.

Por otra parte en cuanto al tiempo estándar, se considera que es muy importante capacitar a los operadores para que estos cumplan con el tiempo establecido para que produzcan la cantidad de piezas de acuerdo a la demanda del cliente. Es evidente pues, que al implementar esta herramienta de balanceo de líneas se redujo significativamente el desperdicio de tiempo de ocio y de paso a reducir Scrap.

BIBLIOGRAFÍA

- Niebel, Benjamín y Freivalds, Andris. **Ingeniería Industrial; métodos, estándares y diseño del trabajo**. 11ª Edición, Alfa omega, México, 2004.
- Barrios, M. **Estudio de tiempos y movimientos**. Editorial Aguilar. Quinta Edición.
- García Criollo Roberto, “**Estudio del trabajo**” editorial McGraw-Hill interamericana editores S.A. de C.V.
- MEYERS, Fred E. **Estudio de tiempos y movimientos para la manufactura ágil**” Editorial Prentice May, 2ª Edición, 2000.
- NIEBEL, benjamín W. **Ingeniería Industrial, métodos, tiempos y movimientos**. Editorial Alfa Omega 9ª Edición, 2001.
- KRICK, Edward V. “**Ingeniería de métodos**” Editorial Limusa, México D.F. 1991 Pp. 389-394.
- Villaseñor, Alberto et al, “**Conceptos básicos de Lean Manufacturing**” México 2009, Limusa, instituto tecnológico y de superiores de Monterrey.
- Chase, Richard B, Aquilano, Nicholas J y Jacob´s, Robert. “**Administración de producción y operaciones**” 10ª Edición, Mc Graw-Hill, España 2005.
- Gaither, Norman y Fraizer, Grez. “**Administración y operaciones**” 5ª Edición, Thomson Editores, México. 2000.
- SANTINI VALENZUELA, JULISA “**balanceo de líneas de producción mediante un estudio de tiempos en una empresa procesadora de alimentos**”, 2003.
(http://catarina.udlap.mx:9090/u_dl_a/tales/).

FUENTES DE INTERNET

- METODOLOGÍA HEIJUNKA
<http://www.pdcahome.com/4531/heijunka-produccion-equilibrada/>
www.lean.org

ANEXOS

Anexo No 1 Sistema de Westinghouse

DESTREZA O HABILIDAD		
0.15	A1	EXTREMA
0.13	A2	EXTREMA
0.11	B1	EXCELENTE
0.08	B2	EXCELENTE
0.06	C1	BUENA
0.03	C2	BUENA
0	D	REGULAR
-0.05	E1	ACEPTABLE
-0.1	E2	ACEPTABLE
-0.16	F1	DEFICIENTE
-0.22	F2	DEFICIENTE

Cuadro 1. Habilidades

ESFUERZO O EMPEÑO		
0.13	A1	EXCESIVO
0.12	A2	EXCESIVO
0.1	B1	EXCELENTE
0.08	B2	EXCELENTE
0.05	C1	BUENO
0.02	C2	BUENO
0	D	REGULAR
-0.4	E1	ACEPTABLE
-0.8	E2	ACEPTABLE
-0.12	F1	DEFICIENTE
-0.17	F2	DEFICIENTE

Cuadro 2. Esfuerzo o Desempeño

CONDICIONES		
0.06	A	IDEALES
0.04	B	EXCELENTES
0.02	C	BUENAS
0	D	REGULARES
-0.03	E	ACEPTABLES
-0.07	F	DEFICIENTES

Cuadro 3. Condiciones

CONSISTENCIA		
0.04	A	PERFECTA
0.03	B	EXCELENTE
0.01	C	BUENA
0	D	REGULAR
-0.02	E	ACEPTABLE
-0.04	F	DEFICIENTE

Cuadro 4. Consistencia

Anexo No. 2 Tabla T- Student

LA DISTRIBUCION t

Si X tiene ν grados de libertad, entonces $Pr.(X \leq x) = P$.

ν	P=0.90	P=0.95	0.975	0.990	0.995	0.999	0.9995
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.302	636.619
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.598
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.941
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.894	6.859
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.405
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.611	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
50	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.261	3.496
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
100	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.391
200	1.286	1.653	1.972	2.345	2.601	3.131	3.340
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291

Anexo No.3 Clasificaciones de paros

S1 PARO PROGRAMADO

- Paro por personal de almacén (conteos cíclicos)
- Paro por personal de mejora continua (alguna revisión)
- Por ajustes o creación de programas

S2 FALTA DE MATERIAL

- Material faltante por parte del área de suministro

S3 FALTA DE ELECTRICIDAD/AIRE

S4 CAMBIO DE MODELO

S5 AVERÍAS / DESAJUSTES

AL	Problemas de origen, alarmas, sensores.
CC	Problemas con centrado de componentes, posiciones en SMD.
CL	Problemas por el mal clincheo.
DA	Problemas con despachadores AIM.
DS	Problemas con despachadores SMD.
FB	Cancelación o activación de boquillas.
HO	Problemas con horno.
IM	Problemas con la impresión SPP.
PC	Problemas con el cargador.
PI	Problemas de inserción.
PT	Problemas con la toma de componentes.
PD	Problemas por pieza dañada.
RC	Problemas con reconocimiento de componente.
RM	Problemas y chequeos de marcas fiduciales.

TE	Problemas de temperatura e la HDP
TP	Problemas de reconocimiento de pegamento.
TR	Problemas con la transferencia

S6 MANTENIMIENTO

- Por limpieza de boquillas en los días establecidos (mantto. Predictivo).
- Por cambio de pares de vida útil agotada (mantto. Predictivo)
- Por mantenimiento Preventivo

S7 PREPARACIÓN DE MÁQUINA

- Calentamiento de máquina de Aví's
- Espera de temperatura ideal en hornos

S8 OTROS

- Por junta de personal

PAROS DENTRO DEL PROCESO

- Cambio de adhesivo.
- Rebobinado de papel de SPP.
- Cambio de cinta prueba HDP
- Limpieza de Stencil
- Limpieza general de máquina
- Centrado de posiciones en insertadores.

Anexo No 4. Cálculo del tiempo estándar por cada operación

OPERACIONES	TC	TE
Imprimir tabletas SP60P	31.5	34.65
Limpieza de Stencil	108.54	31.46
Inspección de soldadura VP	28.6	34.7303
Montaje de componentes TBL1,2	31.573	32.9109
Montaje de componentes TBL3,4	29.919	35.2979
Montaje de componentes TBL5,6	32.089	33.9152
Montaje de componentes TBL7,8	30.832	34.8568
Inspección de componentes VT-RNS	31.688	34.6676
Ajustar magazine	31.516	33.1386
Colocar PCB´s en magazine	30.126	19.9595
Cambiar carrete de componentes	18.145	4.9786
Checar material con Pokanon	4.526	119.394
Rebobinado de papel	13.105	14.4155
Sellar y Etiquetar PCB´s	18.171	19.9881

Anexo No 5 Estudio de Tiempos de la línea SMD

ESTUDIO NÚMERO : _____

FECHA: _____

DEPTO: Máquinas Automáticas

HOJA NÚMERO: _____

OPERARIO: _____

OBSERVADO POR: _____

Actividad		Tiempo observado (Ciclos)										Suma	Tiempo promedio
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Imprimir tabletas (SP60P)	T	30	33	33	30	33	30	33	30	33	30	315	31.5
	L	30	33	33	30	33	30	33	30	33	30		
Limpieza de stencil	T	69	92.4	94.8	121.8	88.8	82.2	133.8	127.2	144	131.4	1085.4	108.54
	L	99	125.4	127.8	151.8	121.8	112.2	166.8	157.2	177	161.4		
Inspección de soldadura (VP)	T	30	25	30	27	30	27	30	30	27	30	286	28.6
	L	129	150.4	157.8	178.8	151.8	139.2	196.8	187.2	204	191.4		
Montaje de componentes (TBL 1,2)	T	30.23	31.13	32.6	32.26	31.48	33.12	32.45	33.05	30.56	30.65	317.53	31.753
	L	159.23	181.53	190.4	211.06	183.28	172.32	229.25	220.25	234.56	222.05		
Montaje de componentes (TBL 3,4)	T	29.03	30.69	30.14	29.67	30.34	30.67	29.56	30.36	29.48	29.25	299.19	29.919
	L	188.26	212.22	220.54	240.73	213.62	202.99	258.81	250.61	264.04	251.3		
Montaje de componentes (TBL 5,6)	T	32.13	33.13	32.21	30.87	32.56	32.14	32.11	33.01	30.65	32.08	320.89	32.089
	L	220.39	245.35	252.75	271.6	246.18	235.13	290.92	283.62	294.69	283.38		
Montaje de componentes (TBL 7,8)	T	31.86	30.93	29.36	30.13	30.86	31.67	30.68	31.34	30.74	30.75	308.32	30.832
	L	252.25	276.28	282.11	301.73	277.04	266.8	321.6	314.96	325.43	314.13		
Inspeccion de componentes (VT-RNS)	T	32.06	30.22	32.48	30.26	32.12	32.21	32.48	30.33	32.36	32.36	316.88	31.688
	L	284.31	306.5	314.59	331.99	309.16	299.01	354.08	345.29	357.79	346.49		
Ajustar magazine	T	28.16	27.13	33.06	30.52	32.54	34.42	30.17	33.54	32.17	33.45	315.16	31.516
	L	312.47	333.63	347.65	362.51	341.7	333.43	384.25	378.83	389.96	379.94		
Colocar PCB´s en magazine	T	25.12	33.32	28.4	30.3	33.13	28.56	30.08	34.48	27.34	30.53	301.26	30.126
	L	337.59	366.95	376.05	392.81	374.83	361.99	414.33	413.31	417.3	410.47		
Cambiar carrete de componentes	T	15.12	18.32	18.02	17.56	16.8	15.04	20.34	18.56	22.38	19.31	181.45	18.145
	L	352.71	385.27	394.07	410.37	391.63	377.03	434.67	431.87	439.68	429.78		
Checar material con Pokanon	T	5.23	4.13	4.45	5.63	5.28	4.06	4.34	3.56	4.84	3.74	45.26	4.526
	L	357.94	389.4	398.52	416	396.91	381.09	439.01	435.43	444.52	433.52		
Rebobinado de papel	T	13.23	9.23	15.03	15.89	10.45	15.43	13.26	9.56	12.52	16.45	131.05	13.105
	L	371.17	398.63	413.55	431.89	407.36	396.52	452.27	444.99	457.04	449.97		
Sellar y Etiquetar PCB´s	T	18.04	16.56	18.07	16.07	17.51	19.47	18.42	21.59	16.39	19.59	181.71	18.171
	L	389.21	415.19	431.62	447.96	424.87	415.99	470.69	466.58	473.43	469.56		
Total													440.51