

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN INDUSTRIAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN INDUSTRIAL
PROYECTO DE GRADUACIÓN

TICO ELECTRONICS TPE S.A

DISEÑO DE PROPUESTAS DE SOLUCIÓN PARA EL AUMENTO DE LA
EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN Y LA REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS DEL
ESTATOR 1213-1-095-05.

REALIZADO POR:

ANDRÉS JOSUÉ SALAS MURILLO

PROFESOR ASESOR:

ING. ORLANDO BRENES MORALES

ASESOR INDUSTRIAL:

ING. PABLO SOLÍS SÁNCHEZ

OCTUBRE, 2022

CONSTANCIA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

El presente Proyecto de Graduación titulado “Diseño de propuestas de solución para un aumento de la eficiencia en la producción y disminución del desperdicio del estator 1213-1-095-05 y realizado en la empresa Tico Electronics TPE S.A durante el II Semestre de 2022, ha sido defendido, ante el Tribunal Examinador integrado por los profesores Ing. Jonathan Morales Arias e Ing. Melissa Alegría Granados; como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Ingeniería en Producción Industrial, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La orientación y supervisión del proyecto desarrollado por el estudiante, estuvo a cargo del profesor asesor Ing. Orlando Brenes Morales.

Ing. Jonathan Morales Arias
Profesor Evaluador

Ing. Melissa Alegría Granados
Profesor Evaluador



Ing. Orlando Brenes Morales
Profesor Asesor

Sr. Andrés Josué Salas Murillo
Estudiante

San Carlos, noviembre 2022



AGRADECIMIENTO

Con mucha alegría por cerrar este capítulo tan importante y esencial de mi vida, agradezco en primer lugar a Dios por la buena vida, por rodearme de las personas correctas en el momento justo. Gracias Dios por brindarme la sabiduría necesaria, por darme paciencia y voluntad, más aún en aquellas noches de mucho esfuerzo y sacrificio a lo largo de mi vida universitaria.

En segundo lugar, quiero tomar la oportunidad de agradecerle a mi padre, Eliécer Salas, a mi madre, Guiselle Murillo y a mi querida prima, Yeisy Salas quienes fueron, son y serán pilares de mi vida, son pieza fundamental de todos mis éxitos a quienes les agradezco por estar en mis fracasos también. De corazón, espero que la vida me permita muchos años para retribuirles todo aquel sacrificio que sé que han hecho por mí.

Ahora bien, me gustaría considerar en esta sección a mis amigos: Darío, Esteban, Juan Pablo, Ernesto y Erick. Gracias porque en el 2017 la vida me puso en el lugar que necesitaba y aunque en un principio eran unos extraños, a lo largo de mi vida se han convertido en aquellos hermanos que de sangre no pude tener pero estoy seguro que el lazo que nos une, será para siempre. A mi hermano del alma; Erick quién me acompañó en el proceso universitario desde el primer curso de carrera, muchas gracias, me conmueve decir que estoy orgulloso de lo que al día de hoy nos hemos convertido. A mi amiga e Ingeniera María Arce, por apoyarme desde el día 1 en la realización de este proyecto.

Por otro lado, agradezco al Ingeniero Pablo Solís Sánchez quien es mi asesor del proyecto. Gracias por la retroalimentación y el apoyo brindado. También a la Ing. Ruth Hernández, a quien le tengo mucho respeto, admiración y aprecio, de corazón gracias por confiar en mí persona. No olvidaré aquella tarde en la que me dijo: “todo va a estar bien, tranquilo” y quien fuera profeta, así fue.

Finalmente, también dar gracias a la empresa Tico Electronics por darme la oportunidad de desarrollarme como persona y crecer en el ámbito profesional.

DEDICATORIA

*A mis padres, a mi prima y a mis
amigos quienes forman un rol
importante en mi vida. Sé que han
estado para mi en los fracasos, hemos
aprendido juntos y ahora nos toca
brindar por los miles de éxitos que
vendrán.*

Aunque no puedo hablar por todo el mundo, desde mi experiencia personal, he descubierto que el sacrificio y esfuerzo ha sido mi principal conductor hacia el éxito.

Andrés Salas

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
A.	Identificación de la empresa.....	2
B.	Justificación del estudio.	13
C.	Objetivos del estudio.	15
D.	Alcances y limitaciones.	15
II.	MARCO TEÓRICO	17
A.	Aspectos generales.....	18
B.	Aspectos metodológicos.	20
C.	Herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto.....	21
III.	METODOLOGÍA.....	28
IV.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	32
V.	CONCLUSIONES DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	74
VI.	SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO	77
1.	Aplicación de la filosofía de 5S en la línea de producción.....	79
2.	Eventos Kaizen para la mejora de procesos claves.	83
3.	Nuevo balance de línea para la producción del estator 1213.....	86
VII.	IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES.....	90
1.	Implementación de la Propuesta 1 “Aplicación de la Filosofía de las 5S”: ..	91
2.	Implementación de la Propuesta 2 “Eventos Kaizen para mejorar procesos claves”.....	99
3.	Implementación de la Propuesta 3 “Nuevo balance de línea del 1213”:.....	104
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	116
X.	APÉNDICES.....	120
XI.	ANEXOS	127

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1 Operaciones necesarias para el Estator 1213.	10
Cuadro No. 2 Descripción de las etapas de la metodología.....	20
Cuadro No. 4 Significado de la estrategia 5S.....	25
Cuadro No. 5 Metodología aplicada al problema.	31
Cuadro No. 6 Project Charter.	34
Cuadro No.7 Análisis de Stakeholders del Proyecto.	35
Cuadro No.8 Selección del equipo de trabajo.	37
Cuadro No.9 Herramienta 5W+H aplicada al problema.	38
Cuadro No.10 Demanda de producción por semana de High Volume.....	42
Cuadro No. 11 Promedio, desviación y coeficiente de la premuestra.	52
Cuadro No. 12 Cálculo para el tamaño de la muestra n.....	54
Cuadro No. 13 Cálculo del tiempo normal de producción.	56
Cuadro No. 14 Cálculo del tiempo estándar de producción.	57
Cuadro No. 15 Comportamiento de las horas laboradas.	58
Cuadro No. 16 Actividades no productivas.	58
Cuadro No. 17 Resumen semanal de horas productivas.	59
Cuadro No. 18 Información de la situación actual de la línea.	61
Cuadro No. 19 Resumen de la producción actual del estator.	62
Cuadro No. 20 Descripción de las causas asignadas al desperdicio.	65
Cuadro No. 21. Escala de calificación para técnica Multivoto.	70
Cuadro No. 22. Técnica Multivoto aplicada.....	70
Cuadro No. 23 Cronograma de capacitación 5S al personal de la línea.	80
Cuadro No. 24 Comité de las 5S.....	82

Cuadro No. 25 Variables asignadas para el calentamiento estandarizado del tubing	85
Cuadro No. 26 Distribución adecuada de las operarias en línea.....	88
Cuadro No. 27 Gantt de implementación de la propuesta.....	92
Cuadro No. 28 Tiempo estándar con la propuesta 5S.	97
Cuadro No. 29 Tiempo estándar con la propuesta 5S.	98
Cuadro No. 30 Mejora en tiempos estándar, propuesta 2.	104
Cuadro No. 31 Mejora en tiempos estándar, propuesta 3.	106
Cuadro No. 32 Costos relacionados a la implementación del proyecto.	107
Cuadro No. 33 Beneficio económico de la implementación del proyecto.	108
Cuadro No. 34 Diagrama de Gantt para la ejecución del Proyecto.	110
Cuadro No. 35 Análisis Modal de Falla y Efectos desarrollado.	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.1 Timeline de la historia de la empresa.	4
Figura No. 2 Ubicación geográfica de la empresa Tico Electronics TPE S.A.....	5
Figura No.3 Estructura organizativa de Tico Electronics.....	6
Figura No. 4 Estructura organizativa del departamento Novanta.....	7
Figura No. 5 Robot Da Vinci.....	8
Figura No. 6 Estator 1213-1-095-05.....	9
Figura No. 9 Segmentación del marco teórico.	18
Figura No. 10 DMAIC aplicado al problema.	29
Figura No. 11 DMAIC aplicado al Diagnóstico de la Situación Actual.....	33
Figura No. 12 Matriz de Stakeholders.....	36
Figura No. 13 Diagrama de Gantt para la planificación del Proyecto.....	39
Figura No. 14 Exportaciones de Tico Electronics, Primer Semestre 2022.....	40
Figura No. 15 Exportaciones de Novanta, Primer Semestre 2022.....	41
Figura No. 16 Ingresos semanales por número de parte.....	42
Figura No. 17 Proceso productivo del estator 1213.....	43
Figura No. 18 Operación de Marcado Láser.....	45
Figura No. 19 Operación de Wind.....	45
Figura No. 20 Operación de Insertado.....	46
Figura No. 21 Operación de Conectado.....	47
Figura No. 22 Operación de Cosido.....	47
Figura No. 23 Operación de Formado.....	48
Figura No. 24 Operación de Impregnado.....	48
Figura No. 25 Operación de Inspección Final.....	49

Figura No. 26 Operación de Cableado.....	50
Figura No. 27 Flujo productivo en la celda PCB.....	50
Figura No. 28 Operación de Pruebas Eléctricas.	51
Figura No. 29 Operación de Empaque.....	52
Figura No. 30 Gráfica de probabilidad de los datos.	53
Figura No. 31 Gráfica de distribución t para la pre muestra.	54
Figura No. 32 Takt time de producción.	60
Figura No. 33 Indicador de Scrap, Novanta.	63
Figura No. 34 Porcentaje de causas asignadas al desperdicio, Novanta.....	64
Figura No. 35 Horas extra pagadas durante el 2022.....	66
Figura No. 36 Ejecución del Diagrama Ishikawa.	67
Figura No. 37 Diagrama de Pareto aplicado a la problemática de la empresa.	72
Figura No. 38 Causas y efectos de la problemática presentada.	73
Figura No. 39 DMAIC aplicado a Soluciones al Problema Planteado.	78
Figura No. 40 Diagrama relacional de causas identificadas y propuestas de solución.	79
Figura No. 41 Presentación del fixture para PCB.....	83
Figura No. 42 Presentación del fixture para Cableado.....	84
Figura No. 43 Tiempo estándar de Propuesta 3 vs Takt time.	89
Figura No. 44 DMAIC aplicado a Implementación de Soluciones.	91
Figura No. 45 Espacio de trabajo desordenado en la línea de producción.	93
Figura No. 46 Aplicación de Seri en la línea.....	93
Figura No. 47 Proceso de Seri en acción.....	94
Figura No. 48 Aplicación de Seiton en la línea.....	95
Figura No. 49 Aplicación de Seiso en la línea.....	95

Figura No. 50 Aplicación de Seiso en la línea.	96
Figura No. 51 Aplicación de Seiketsu en la línea.	96
Figura No. 52 Utilización del fixture para soldar PCB y Hall Devices.	99
Figura No. 53 Soldado correcto del PCB y Hall Devices.	100
Figura No. 54 Fixture implementado en la línea.	100
Figura No. 55 Proceso de corte de cable con fixture implementado.	101
Figura No. 56 Mejora en el método de calentamiento del tubing.	102
Figura No. 57 Bines, manera en la que se almacenaban las piezas.	103
Figura No. 58 Cajas, manera en la que se almacenan las piezas.	103
Figura No. 59 Gráfico de barras de reducción de desperdicio.	104
Figura No. 60 Comparación del balance de línea antes y después de las mejoras.	105
Figura No. 61 Gráfica de probabilidad de los datos con las mejoras implementadas.	106
Figura No. 62 Flujo efectivo al implementar el proyecto.	108

RESUMEN

Salas Murillo, Andrés Josué. Agosto, 2022. Diseño de propuestas de solución para el aumento de la eficiencia en la producción y la reducción de desperdicios del estator 1213-1-095-05. Proyecto de Graduación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Profesor asesor: Ing. Orlando Brenes Morales.

El presente proyecto fue desarrollado en la empresa Tico Electronics TPE S.A, ubicada en la Zona Franca BES en Alajuela, Costa Rica. Siendo la producción del estator 1213-1-095-05 la actividad a estudiar, este trabajo consistió en desarrollar propuestas que permitan reducir la cantidad de desperdicios y aumentar la eficiencia en la línea producción. El objetivo del estudio es satisfacer el indicador de scrap de un 1.75% así como la reducción de la cantidad de horas extra pagadas a los operarios para el cumplimiento de la demanda semanal de 510 piezas.

En el diagnóstico de la situación actual se estableció que la división de Novanta mantiene un promedio de 2.44% aproximado de indicador mensual de desechos, lo que significa que por mes un despilfarro extra de \$2100. Se determinan tres factores que contribuyen en gran parte al desperdicio: Estaciones de trabajo desorganizadas, desbalance de línea, procesos no estandarizados. Por otra parte, la poca eficiencia de la línea de producción, repercute en el pago promedio mensual de \$2000.

Las propuestas de solución presentadas consisten en la ejecución de la filosofía de 5S, eventos kaizen y un nuevo balance de línea. Esta última, contempla las mejoras obtenidas en la propuesta de 5S y estandarización de manera que se logra reducir el tiempo estándar de producción de 99.37 min/pieza según la situación actual a 72.31 min/pieza, en cuanto al scrap se reduce el 50% de las causas asignadas, esto se traduce en la eliminación del pago de horas extra y el cumplimiento de la meta de scrap en 1.45%. Estas propuestas fueron implementadas por un costo de inicial y único de \$4626 y el ahorro mensual de \$4803

Palabras claves: Estator, scrap, desperdicio, horas extra, Kaizen, balance de línea.

ABSTRACT

Salas Murillo, Andrés Josué. August, 2022. Design of solution proposals for the increase of production efficiency and waste reduction of stator 1213-1-095-05. Graduation Project. Technological Institute of Costa Rica. Advising professor: Eng. Orlando Brenes Morales.

This project was developed in the company Tico Electronics TPE S.A., located in the BES Free Trade Zone in Alajuela, Costa Rica. Being the production of stator 1213-1-095-05 the activity to be studied, this work consisted of developing proposals to reduce the amount of waste and increase efficiency in the production line. The objective of the study is to satisfy the scrap indicator of 1.75% as well as the reduction of the amount of overtime paid to the operators to meet the weekly demand of 510 pieces.

In the diagnostic of the actual situation it was identified that the Novanta division maintains an average monthly scrap indicator of approximately 2.44%, which means an extra waste of \$2100 per month. Three factors are identified as major contributors to waste: disorganized work stations, line imbalance, non-standardized processes. On the other hand, the low efficiency of the production line has an impact on the average monthly payout of \$2000.

The solution proposals presented consist of the implementation of the 5S philosophy, kaizen events and a new line balance. The latter includes the improvements obtained in the 5S proposal and standardization in such a way that the standard production time is reduced from 99.37 min/piece according to the current situation to 72.31 min/piece. As for scrap, 50% of the assigned causes are reduced, which translates into the elimination of the payment of overtime and the fulfillment of the scrap goal in 1.45%. These proposals were implemented for an initial and one-time cost of \$4626 and monthly savings of \$4803.

Key words: Stator, scrap, waste, overtime, Kaizen, line balance.

I. INTRODUCCIÓN

A. Identificación de la empresa.

1. Misión, visión y política de calidad.

Misión:

“Proveer servicios de manufactura de alta calidad que requieran de personal calificado, funcionando como una extensión al negocio de nuestros clientes”. Lograremos esto haciendo lo siguiente:

- Promoviendo una relación de integridad y honestidad con nuestros clientes.
- Continuamente mejorando nuestra capacidad, promoviendo flexibilidad y adaptabilidad, entregando calidad y valor en todo lo que hacemos.
- Mejorando la vida de nuestros empleados, promoviendo el desarrollo económico, mental, físico y espiritual.

Fuente: Información suministrada por la gerencia (agosto, 2022).

Visión:

“Ser la empresa manufacturera más importante del sector aeroespacial en Costa Rica, posicionando al país como el principal destino de manufactura aeroespacial en América Latina”.

Fuente: Información suministrada por la gerencia (agosto, 2022).

Política de calidad:

“Promovemos el valor competitivo de nuestros servicios por medio de la mejora continua del sistema de gestión de calidad, el cumplimiento de requerimientos, regulaciones y la estandarización de nuestros procesos para asegurar la fiabilidad de nuestros productos”.

Fuente: Información suministrada por la gerencia (agosto, 2022).

2. Antecedentes históricos.

En el año 1995, una pareja de estadounidenses funda Tico Electronics teniendo como objetivo social apoyar a un sector vulnerable brindando empleo a

madres solteras para la manufactura por contrato de PCB¹. Unos 4 años más tarde, la empresa es descubierta por un gran fabricante de motores de sistemas en la industria de la actuación, esto lleva a la compañía a un crecimiento sustancial, tanto así que para el año 2003 obtiene la certificación ISO 9001², además de la IPC-A-610³ siendo Clase 3.

Exactamente 10 años después, la empresa tiene el placer de ser la primera en Centroamérica en recibir la acreditación NADCAP⁴, además de adquirir varios edificios para el crecimiento estructural de la compañía se implementa la manufactura Lean en toda la planta de producción. Seguidamente, también es pionera en la certificación AS9100⁵.

En el 2017, como parte de mantenerse en mejora continua todos los gerentes reciben el Green Belt Lean Six Sigma y el personal administrativo, recibe la capacitación de Lean para la clase de servicios. Posteriormente se instalan paneles solares en los edificios 1 y 2, además debido al aumento exponencial de la compañía se arrenda un espacio de 13000 pies cuadrados con el fin de gestionar el almacén de materiales y adquisiciones. En síntesis, en la figura No. 1 puede apreciarse una línea de tiempo con todos detalles históricos a nivel organizacional.

¹ Tarjeta de circuito impreso.

² Norma de sistemas de gestión de calidad.

³ Norma de aceptabilidad de ensambles electrónicos.

⁴ Programa de cooperación formado por los principales fabricantes de la industria aeroespacial.

⁵ Estándar de gestión de calidad y riesgo para la industria aeroespacial.



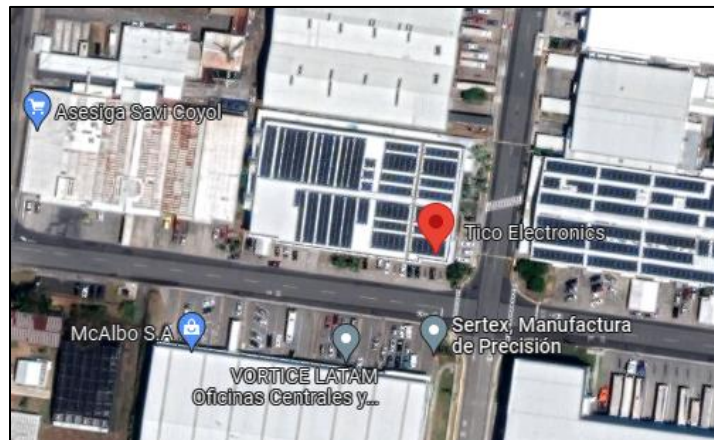
Fuente: Elaboración propia mediante información facilitada por el Departamento de Recursos Humanos (agosto, 2022).

Figura No.1 Timeline de la historia de la empresa.

3. Ubicación geográfica.

La empresa tiene sus instalaciones en la Zona Franca BES, edificio 24 en el Coyol, Alajuela, Costa Rica cuyo código postal es 20102. En la figura No. 2 se aprecia la ubicación exacta, así como las demás compañías ubicadas dentro de esta ZF⁶. De la misma manera, las coordenadas geográficas son: 9°59'31.1"N 84°15'21.0"W.

⁶ Zona Franca.



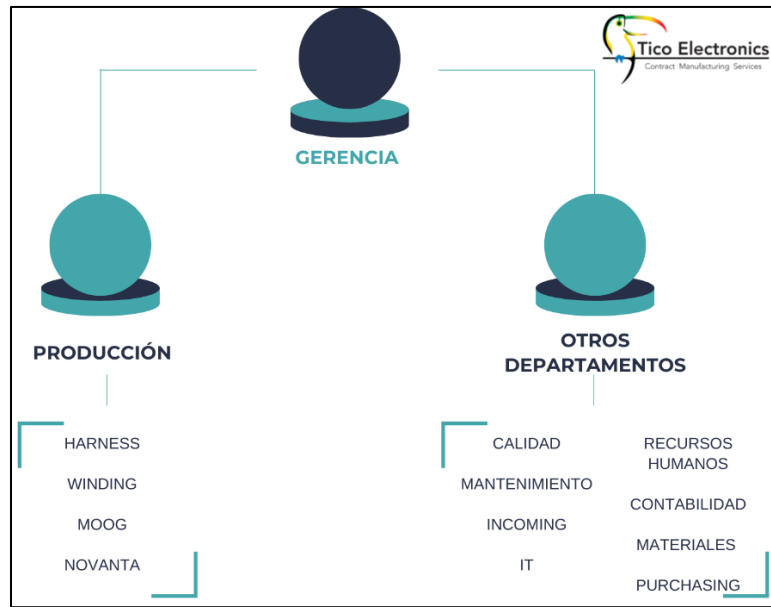
Fuente: Obtenido por medio de Google Maps (agosto, 2022)

Figura No. 2 Ubicación geográfica de la empresa Tico Electronics TPE S.A.

4. Estructura organizativa.

En lo que refiere a la estructura organizacional de la empresa, se realizan dos organigramas los cuales pretenden abarcar desde una perspectiva general de la compañía y la división estructural del departamento Novanta, área en la que se desarrolla el proyecto.

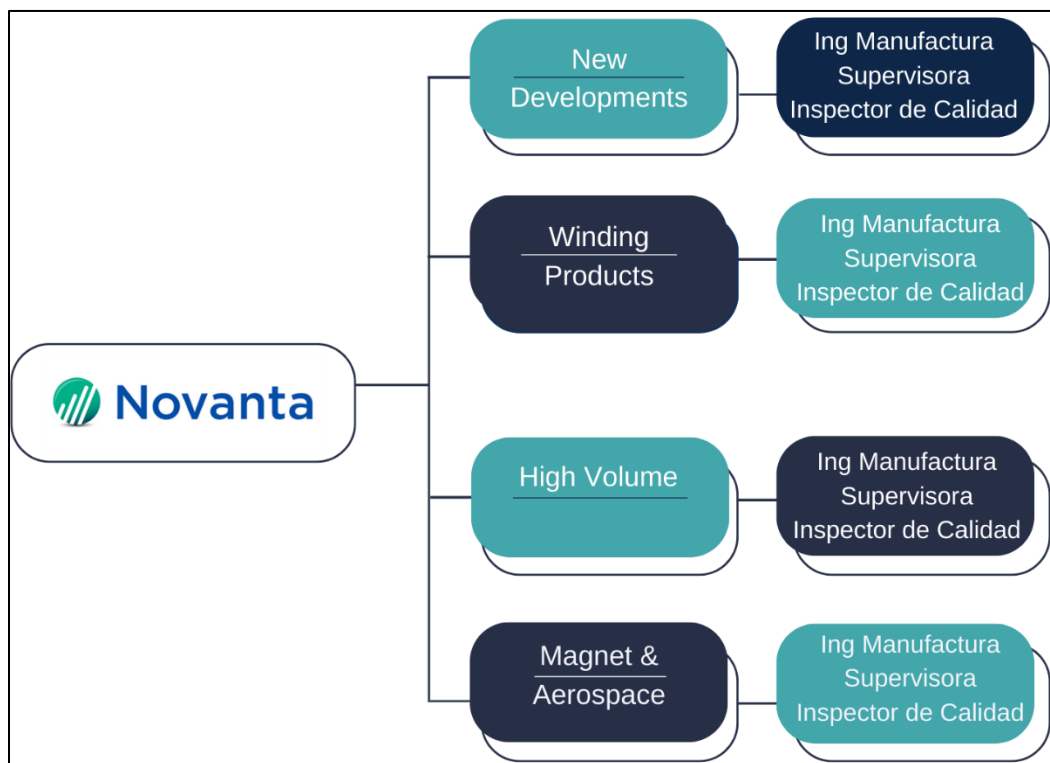
Actualmente, tal y como puede apreciarse en la figura No. 3, la empresa cuenta con la parte gerencial, la cual está compuesta por 3 áreas: General, Calidad y Negocios. De otra manera, para efectos del organigrama presentado, el departamento de producción presenta 4 grandes equipos, los cuáles son Harness, Winding, Moog y Novanta, este último se podrá ver a detalle en la siguiente figura. Estas divisiones engloban todas las líneas de producción de la compañía. De la misma manera, existen departamentos de soporte y cuyo aporte es vital para el funcionamiento organizacional del día a día, entre ellos se destaca el área de Calidad (cada división de producción tiene un ingeniero de calidad a cargo de las líneas), Recursos Humanos, Mantenimiento, Recibo o Incoming, entre otros.



Fuente: Elaboración propia mediante información facilitada por el Departamento de Recursos Humanos (agosto, 2022).

Figura No.3 Estructura organizativa de Tico Electronics.

Es preciso señalar que todo el estudio tendrá un fuerte vínculo con el equipo de Novanta, como se puede observar en el organigrama expuesto en la figura No. 4, este departamento cuenta con 4 subdivisiones importantes (cada una produciendo múltiples números de parte). Otro dato importante por agregar es que cada línea cuenta con 1 ingeniero de manufactura a cargo, el cual se apoya de la supervisora de producción y para temas de calidad, tienen 1 inspector de calidad encargado de ver las piezas que se producen únicamente en la línea además del ingeniero de calidad que da soporte a las 4 líneas del departamento.



Fuente: Elaboración propia mediante información facilitada por el Departamento de Recursos Humanos (agosto 2022).

Figura No. 4 Estructura organizativa del departamento Novanta.

5. Número de empleados.

A razón del exponencial crecimiento que ha tenido Tico Electronics en los últimos años, la empresa se encuentra constantemente en reclutamiento de nuevo personal. A inicios del mes de agosto, se cuenta con un total de 566 operarios destinados a producción, es vital recalcar que son el recurso clave de la compañía como tal.

Por otra parte, en el área administrativa la cual contempla gerentes, personal de contabilidad, compras, incoming, logística, tecnología de información. Además de los departamentos vitales como lo son manufactura y calidad. Por tanto, la empresa cuenta con un total de 100 colaboradores administrativos.

Ahora bien, considerando que el proyecto se realiza en producción, específicamente en el departamento de Novanta, el cual cuenta con 83

trabajadores, en su mayoría mujeres. Por otra parte, la cantidad de personal requerido para la fabricación del producto 1213-1-095-05 es de 26 operarios abarcando las distintas tareas productivas.

6. Tipo de productos.

La empresa a nivel general, manufactura productos tanto de industria médica como aeroespacial⁷. Por tal razón cuenta con un amplio mercado dado que fabrica desde rotores y estatores para industria médica, bobinas, conectores y motores que forman parte de componentes de aviones. El proyecto se realizará en el departamento llamado Novanta (en la división de High Volume⁸). Esta línea de producción concentra sus esfuerzos en manufacturar artículos como el Estator y Rotor de los números de parte 1213, 1444 y 1262 respectivamente, estos artículos son exportados y utilizados en la industria médica para el funcionamiento del Robot Da Vinci⁹, tal y como se muestra en la figura No. 5.



Fuente: Imagen obtenida por medio de la página web de Intuitive Surgical (agosto, 2022).

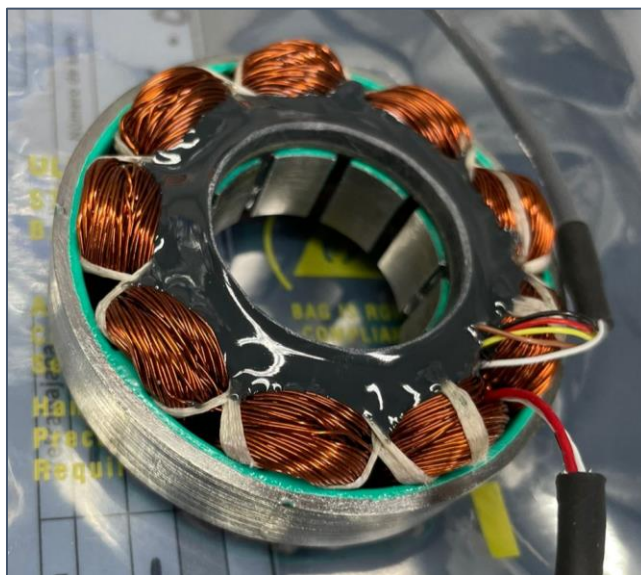
Figura No. 5 Robot Da Vinci.

⁷ Por esta razón deben estar certificados en ISO 9001 y AS9100.

⁸ Productos con alto volumen de demanda.

⁹ Sistema quirúrgico mínimamente invasivo.

El producto forma parte del motor del brazo que permite el funcionamiento del mismo, de modo que se le facilite la articulación y mover los brazos de manera poco invasiva al realizar una operación. Es relevante destacar que, aunque el robot tiene un nivel de precisión muy alto, aun así, es controlado de lejos por un doctor que aplica los conocimientos científicos para cada operación. La pieza en cuestión puede observarse en la figura No. 6 en la que se muestra completa, compuesta por el stack, hilo magnético, cables.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (agosto, 2022).

Figura No. 6 Estator 1213-1-095-05.

7. Descripción general del proceso productivo.

Para la producción del estator 1213 se requieren de muchas actividades en conjunto, las cuáles se realizan en transferencia de trabajo¹⁰ y en la celda de producción. Para un control del proceso, el proyecto se enfocará en las operaciones llevadas a cabo en la celda, las cuales se visualizan en el cuadro No.1 y estas pueden controlarse e implementar mejoras en el flujo productivo.

¹⁰ Las operaciones se realizan en otra línea, a nivel interno de la empresa.

Cuadro No. 1 Operaciones necesarias para el Estator 1213.

No.	Operación	Tipo de Operación
1	Fluidize	Transferencia de trabajo
2	Serialización	
3	Winding	En celda de producción
4	Insertado	
5	Conectado	
6	Cocido	
7	Formado	
8	Impregnado	
9	Inspección Final	
10	Cableado	
11	PC Board	
12	Test Eléctricos	
13	Empaque	

Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por la línea de producción (agosto, 2022).

Es importante aclarar que, para efectos del proyecto, las primeras operaciones descritas en el cuadro anterior son realizadas por otros departamentos (Fluidize y Marcado láser), por lo que estas no son tomadas en consideración. El departamento de fluidize se encarga de realizar todos los trabajos en los que sea necesario aplicar un revestimiento¹¹ sobre elementos sólidos y el área de marcado láser, es un pequeño departamento que se encarga de serializar todas las piezas fabricadas en TICO y que el dibujo de ingeniería lo especifique.

En relación con el proceso productivo del número de parte en cuestión, los encargados del fluidize realizan esta capa con el polvo 3M Scotchcast Electrical Resin 265, esto para cubrir el stack y asegurarse de que no tenga contacto alguno con el hilo magnético, evitando así que la pieza resulte con Hipot¹². Después, son trasladadas al área de marcado en el que cada número de parte tiene su propia

¹¹ Capa de algún material para cubrir una superficie.

¹² Prueba de sobre tensión o alto potencial.

identificación por medio de un número de serie. Después, los productos son trasladadas a la línea para dar inicio a las tareas de las celdas.

La primera operación que se realiza es winding, esta se basa en arrollar el cable magnético y darle 225 vueltas al mismo, esto se trabaja de manera asistida puesto que se desarrolla colocando el hilo en una máquina y la operaria únicamente debe sujetar el hilo a una tensión adecuada. Una vez concluyen las 225 vueltas se procede a juntar los coils (resultado del proceso de winding) y se realiza el proceso de insertado de este hilo al stack. Seguidamente, la operaria dedicada a conectado se dispone a realizar la conexión entre el hilo magnético y los cables, para luego pasarlos al procedimiento de cocido en el que se busca brindarle fijación al hilo y pasa por formado para ir dándole forma a la pieza, además de asegurarse en el proceso que la pieza cumpla con las medidas correspondientes.

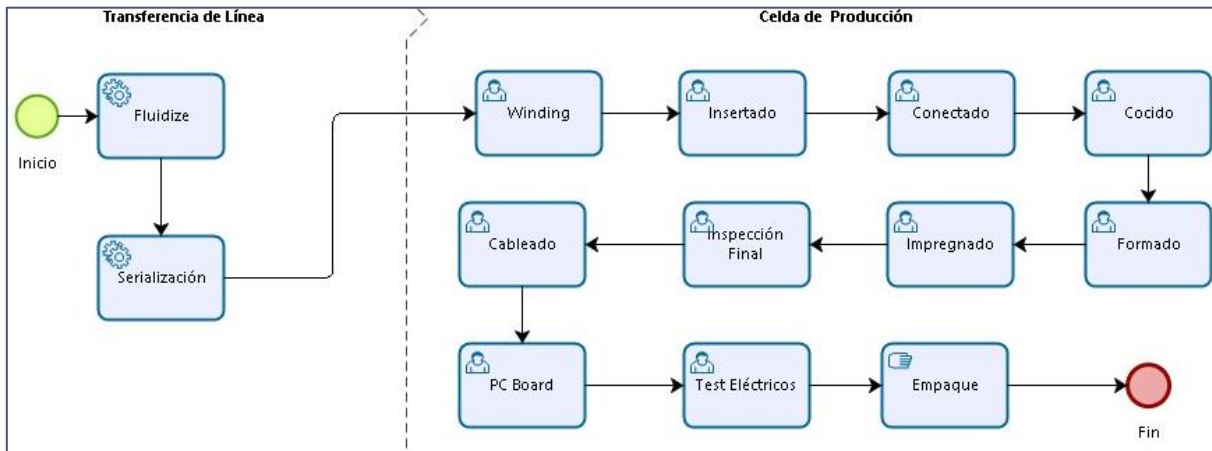
En relación con la tarea de impregnado, es un procedimiento en el que se utiliza un barniz líquido y la pieza se remoja dentro de este durante 45 minutos, luego se cura enviándolas al horno un promedio de 11 horas (pueden ser más, siempre y cuando la temperatura del equipo se mantenga). De inmediato se cumple el tiempo estimado en el horno, las piezas salen a inspección para asegurarse de que no quedó ningún residuo de químico, impregnante o fluidize. La operaria encargada de realizar el cableado, también debe colocar los termistores a la insolación.

Ahora se trata de uno los puntos más importantes y críticos, como lo es la celda de PCB, un tratamiento sumamente delicado puesto que en el área de trabajo se debe cumplir con el control ESD¹³ para no generar algún desperfecto en la tarjeta, la cual va adherida al cable y al estator.

Finalmente, en la misma celda anterior se sella la pieza con químico para ensamblar cables, stack, hilo magnético y la tarjeta, formando así el estator final que pasaría a pruebas eléctricas que solicita rigurosamente el cliente. Una vez

¹³ Electroestático. En el proceso las operarias deben estar aterrizadas a tierra.

completado este paso, se tiene la pieza lista para empaque y exportación. Se adjunta el diagrama del proceso productivo en la figura No. 7.



Fuente: Elaboración propia por medio del Software Bizagi Modeler (agosto, 2022).

Figura No. 7 Diagrama de flujo del proceso productivo del Estator 1213.

8. Mercados de exportación.

Tico Electronics cuenta con un total de 30 líneas activas, las cuáles exportan principalmente a Estados Unidos, México y Canadá, en un escalón inferior se encuentran Reino Unido y Filipinas, ese último se debe a una línea en específico de la división Moog. A saber, la cantidad porcentual de exportaciones de los productos manufacturados en la compañía corresponde a un 80, 10, 8 y 2% de manera mensual respectivamente, esto según un estudio que realizó el departamento de logística y exportación de la empresa para el primer semestre del 2022. La data anterior está representada en la figura No. 8 referente al mapa mundial.



Fuente: Elaboración propia por medio de Power Map (agosto, 2022).

Figura No. 8 Principales mercados de exportación.

Como se aprecia en la figura No. 8, Estados Unidos tiene un alto porcentaje de exportaciones a nivel Tico, ya que la mayoría de líneas o clientes, residen en el país norteamericano. De hecho, todas las líneas de producción del departamento de Novanta en el que se va a realizar el proyecto son estadounidenses.

B. Justificación del estudio.

Tico Electronics TPE S.A ha presentado en el primer semestre del 2022 un aumento significativo en sus ventas, esto se traduce en un incremento de la producción. De hecho, los primeros 6 meses del año ya superan el total de exportaciones de todo el 2021. En lo referente Novanta, departamento en el que se realiza el proyecto es de gran importancia mencionar que esta es la razón principal del auge de las ventas, puesto que actualmente representa cerca de un 33% de todas las exportaciones de la empresa y se espera un mayor incremento de parte de esta para el segundo semestre del 2022.

De esta manera, la junta directiva de Novanta decide trasladar todas las operaciones en su planta de producción, ubicada en California, Estados Unidos a Tico Electronics, por lo que se presenta una transferencia de línea que ronda los 220 productos. En parte, por este cierre de producción en Estados Unidos,

Tico ve un aumento importante en la demanda de su número de parte estrella, el cual se identifica como el estator 1213-1-095-05, este pertenece a la división llamada High Volume, la cual representa cerca del 65% de las ventas de Novanta. La exportación semanal de este número de parte es vital para los estados financieros de la empresa, puesto que el estator se traduce en un 58% de las exportaciones de la división en cuestión, de manera que un fallo en el cumplimiento de la demanda genera un impacto negativo en el número de ventas a nivel general de la empresa.

La idea del proyecto es combatir la baja eficiencia de la línea de producción lo que se traduce en la necesidad de horas extra para el cumplimiento de la demanda, además de la reducción del indicador de scrap¹⁴. Esto debido a que en el primer semestre la división pagó cerca de \$23.000 en horas extra, lo cual refleja que la capacidad de la línea de producción actualmente es baja y que es una obligación cumplir con la demanda de la semana. Además, se contempla que dicha cantidad a exportar aumentó a 510 piezas por semana y a sabiendas de que el precio de venta de cada unidad es de \$127, esto representa un ingreso mensual cercado a los \$280500 únicamente del estator 1213.

Lo comentado en el párrafo anterior, al existir un aumento en la demanda es importante considerar el indicador de scrap asociado a la producción, puesto que, al incrementar la producción en masa, la calidad del producto puede verse comprometida por diferentes razones, reflejándose en el no cumplimiento de la cantidad de desperdicios por mes estipulada, la cual se estima en un 1.75% del total de las exportaciones. En cuanto al indicador, la línea se mantiene para arriba del 2.5%, reflejando una diferencia monetaria cercana a los \$2200 de más, es decir, que gerencia no contempla el monto anterior dentro de sus gastos, esto se debe a la falta de estandarización de los procesos, control del mismo y a personal nuevo en la línea.

¹⁴ Producto desechado en la empresa.

C. Objetivos del estudio.

Objetivo General:

- Implementar propuestas de mejora que permitan un aumento de la eficiencia en la productividad y reducción de desperdicios en la producción del estator 1213-1-095-05.

Objetivos específicos:

- Determinar los procesos claves en la línea de producción el cumplimiento de la demanda y reducción de desperdicios.
- Identificar las principales causas asignadas al desperdicio que afectan el cumplimiento del indicador de scrap en la producción del estator 1213-1-095-05.
- Analizar la información recolectada para la priorización de oportunidades de mejora en el proceso productivo de la línea.
- Plantear propuestas de solución que generen un aumento en la capacidad instalada de producción y la disminución de material dañado.
- Controlar el proceso de implementación de las propuestas realizadas mediante parámetros que validen el rendimiento de estas en la línea de producción.

D. Alcances y limitaciones.

Alcance

La finalidad de este proyecto reside en la creación e implementación de propuestas de mejora que se vean reflejadas en el aumento de la capacidad de producción del high runner 1213-1-095-05, para el cumplimiento del incremento en la demanda generada por la transferencia de línea, así como también el aumento y reducción de los indicadores de per hour y scrap respectivamente. Por otra parte, el período efectivo para el proyecto, desde el inicio de la toma de datos hasta la presentación de resultados y soluciones implementadas abarca los meses desde julio hasta noviembre.

Limitaciones

Una de las limitantes que existen en el transcurso del proyecto y la implementación de mejoras es que tanto el producto forma parte de una división que debe cumplir con regulaciones AS9100 del ámbito aeroespacial, además de que el cliente Novanta es muy estricto con las implementaciones, cualquier oportunidad de mejora vista en la línea debe notificarse ante ellos, elaborando también un plan de acción para dicha implementación que justifique la razón por la cual el proceso debe intervenir, la limitación acá reside en que las propuestas están sujetas a la aprobación del cliente.

II. MARCO TEÓRICO

Este apartado resulta ser de gran importancia dado que establece una explicación de los términos utilizados en la empresa, así como una descripción de las herramientas utilizadas en los diferentes capítulos de trabajo, además de técnicas fundamentales para el cumplimiento de los objetivos establecidos en el proyecto. La figura No. 9 tiene como objetivo brindar una ayuda visual de los enunciados por abarcar en cada uno de los segmentos.



Fuente: Elaboración propia por medio de la plataforma de diseño Canvas (agosto, 2022).

Figura No. 9 Segmentación del marco teórico.

A. Aspectos generales.

La industria aeroespacial entrelaza las industrias aeronáutica y espacial, puede verse como uno de los mercados más grandes y globales, conforme el avance del siglo XX, su progreso se originó principalmente en países industrializados y a pasos gigantes se posicionan como una de las fuentes de negocio con mayor potencial. Dichas tendencias han propiciado que países en desarrollo como Costa Rica, puedan fructificar las novedosas circunstancias para así diversificar las fuentes de la economía nacional.

En la fabricación de dispositivos aeroespaciales los proveedores se encuentran organizados en tiers, o niveles, del uno al cuatro dependiendo de su inherencia en el campo, dichos niveles demarcan la cercanía del proveedor al integrador¹⁵ (se

¹⁵ Responsables por la entrega del producto final.

realiza un enfoque en los primeros dos). Las empresas dentro del primer tier se encuentran conectadas directamente al integrador, su relación es amplia y el involucramiento requiere diseñar el producto en conjunto. Un ejemplo reconocido de proveedores de este nivel en el campo aeronáutico son North Main, Ametek, Honeywell¹⁶.

Algarañaz, L explica que la relación entre el agente del Tier 2 y el integrador es menos acentuada y rara vez hay alguna interacción directa, puesto que la transferencia de información suele ser por medio del suplidor Tier 1 de modo que “en la mayoría de los casos, los proveedores del Tier 2 trabajan con especificaciones de diseño suministradas por la empresa contratante. Habitualmente, las partes producidas en esta categoría son incorporadas a los productos del primer nivel” (2011).

Lo expresado por el autor en el párrafo anterior, también puede verse replicado en el campo de la industria médica, dado que en muchas ocasiones la empresa costarricense manufactura productos que de manera indirecta serán utilizados por grandes empresas en el ámbito internacional. En el caso de la división de Novanta en Tico Electronics, se producen piezas que son vendidas a Novanta en Estados Unidos y estas son entregadas al integrador del Robot Da Vinci, el cual sería Intuitive Surgical.

Por otra parte, se encuentran los tecnicismos¹⁷, por lo que con la intención de definir términos importantes utilizados en la empresa y necesarios para el desarrollo del proyecto, se muestran a continuación la respectiva explicación de cada uno.

1. Per hour: Se utiliza como indicador de productividad en la compañía. Es una referencia a la utilidad bruta que se genera en la fabricación de piezas por hora. Toma en consideración las horas trabajadas, así como el salario del personal encargado de mano de obra.
2. Scrap: También puede verse como desperdicio, este se considera un indicador de producción ineficiente dado que no sólo se generan desechos,

¹⁶ Todas estas empresas son clientes de Tico Electronics.

¹⁷ Conceptos utilizados a nivel empresa.

sino que también se incurre en el malgasto de materiales, horas hombre, recursos naturales y en sí, un desperdicio del producto como tal.

3. Estator: Destaca como uno de los principales elementos que componen un motor eléctrico, y a diferencia del rotor, este se mantiene siempre estático de manera que actúa como un contenedor del propio rotor.

B. Aspectos metodológicos.

La metodología a utilizar para la elaboración del proyecto es la DMAIC puesto que se requiere realizar mejoras significativas de manera consistente dentro de una organización, y el modelo de esta metodología por enfoque estructurado y ordenado se adapta al cumplimiento de los objetivos planteados. Está constituida por las fases Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar y su explicación puede observarse en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 2 Descripción de las etapas de la metodología.

Etapas	Descripción
<i>Definir</i>	Se identifican posibles proyectos de mejora, además de que se describen aspectos claves de la empresa, clientes y requisitos. Para definir el problema se debe preguntar: ¿por qué es necesario hacer esto ahora? ¿Qué se pretende lograr? ¿Cuál es el criterio de finalización?
<i>Medir</i>	Teniendo el problema a atacar, es necesario establecer características que disponen el comportamiento del proceso. Se identifican cuáles son las características del proceso, variables de desempeño y entrada.
<i>Analizar</i>	En esta etapa se estudian los datos obtenidos del estado actual del proceso, se definen las causas del mismo. También, se seleccionan herramientas de análisis a la información recolectada en la etapa de medir.
<i>Mejorar</i>	Esta fase es importante ya que en ella se desarrolla, implementa y valida las alternativas de mejora para el proceso. La efectividad de

	estas propuestas para mejorar el proceso debe ser validad para afirmar que la mejora potencial es viable.
<i>Controlar</i>	Finalmente, se busca la sostenibilidad de las soluciones implementadas por medio de una estrategia de control que asegure que el proceso siga corriendo de forma eficiente.

Fuente: Información obtenida por Buestán (2013).

C. Herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto.

Para esta sección, se detallan y explican herramientas que son utilizadas a lo largo de los diferentes capítulos del proyecto.

1. Charter del Proyecto:

Documento que formaliza el origen de un proyecto y empodera al director del proyecto para que este pueda utilizar los recursos de la compañía de acuerdo a la ejecución del mismo. Dentro de esta acta se incluye una breve descripción del proyecto, se asignan las principales acciones y sus responsables.

2. Análisis de Stakeholders:

Son las partes interesadas del proyecto, cualquier individuo o entidad que participe de manera activa en el estudio o inclusive, aquellos cuyos intereses puedan verse beneficiados o afectados como resultado de la ejecución. Estos interesados necesitan ser considerados para la satisfacer las metas del trabajo.

3. Gráfica de Pareto:

Representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema dado que muestra cuáles son los aspectos prioritarios de intervención y es que se fundamenta en que el 20% de las causas producen el 80% de los efectos. Otro término válido puede ser una comparación cuantitativa y ordenada de factores de acuerdo a su contribución en un efecto determinado.

4. 5W+H:

Corresponde a una herramienta que permite enfocarse en las razones relacionadas al problema presentado, por medio del cuestionamiento de las preguntas: What (qué), When (cuándo), Where (dónde), Who (quién), Why (por qué) y How (cómo). Este método de hacer preguntas tiene la intención de mejorar el proceso, dichas preguntas son relevantes para comprender todos los detalles y analizar cada una de las inferencias.

5. Diagrama Ishikawa:

También puede conocerse por el nombre de Diagrama de Causa y Efecto y es empleado para determinar las posibles causas de un problema en específico. De la misma manera, es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones, así como para el desarrollo de un plan de recolección de datos.

6. Técnica Multivoto:

Consiste en un procedimiento sencillo pero estructurado, en el que de una gran lista de elementos se selecciona de acuerdo al criterio de un equipo de trabajo, las causas más significativas y que merecen atención. Un caso típico en que se utiliza esta herramienta es tras una sesión de lluvia de ideas. Sánchez, 2018 menciona que las personas encargadas de puntuar las causas son aquellas que se encuentran directamente relacionadas al problema.

7. Estudio de tiempos:

Técnica utilizada para sobreponer deficiencias y aumentar los niveles de la productividad de los trabajadores. Puede verse como el examen sistemático de los métodos para realizar actividades que ejecuten una mejora en el aprovechamiento de los recursos y el establecimiento de normas de rendimiento. Es posible establecer un estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada, con base en la medición del contenido de trabajo del método prescrito, con la debida consideración de la fatiga y las demoras personales y los retrasos inevitables (Niebel & Freivalds, 2014).

8. Tiempo normal:

Es el tiempo que transcurre mientras un operario conocedor del trabajo realiza una actividad que está siendo objeto de estudio, a un ritmo normal y sin ningún tipo de interrupciones. Si se desea concretar los valores correctos, el analista debe fijarse en el rendimiento del operario durante el transcurso de las operaciones, es importante que se consideren todos los elementos presentes y que se otorgue un valor determinado de suplemento¹⁸.

$$TN = TO * \frac{\text{Calificación dada}}{\text{Calificación a velocidad normal}} \quad 2.1$$

9. Tiempo estándar:

Consiste en una estimación realizada una vez se toman los tiempos de producción según la operación o proceso observado. Es el tiempo necesario para que un operario calificado que trabaja en rendimiento estándar realice una tarea determinada, además se toma en consideración asignaciones adicionales como el descanso, retrasos y contingencias anticipadas.

$$TE = TN * (TN * \% \text{ Suplemento}) \quad 2.2$$

10. Takt time:

Este término suele utilizarse en la empresa para el área de producción ya que hace referencia al ritmo de fabricación que la compañía debe continuar para satisfacer la demanda del cliente. Análogamente, es una estrategia de producción utilizada cuando se tiene un tiempo de producción limitado (en algunos casos las empresas cuentan con un solo turno de trabajo) y una demanda constante por parte del cliente. Para efectos del proyecto, se realiza el cálculo basado en la semana, por lo tanto, se tiene ecuación 2.3.

$$\text{Takt time} = \frac{\text{Horas productivas por semana}}{\text{Demanda semanal}} \quad 2.3$$

¹⁸ Tiempo que se le concede al trabajador para compensar retrasos.

11. Balance de línea:

Al realizar un balance de línea se está considerando un factor crítico para la productividad de la empresa, puesto que su finalidad es encontrar una distribución de recursos adecuada, que genere el máximo aprovechamiento y así asegurar un flujo continuo y uniforme de los productos por medio de las distintas operaciones dentro de la línea de producción. Por otro lado, también toma en cuenta el valor de trabajadores requeridos para una operación mediante el cálculo de la siguiente ecuación:

$$Cant. \text{ min de Op} = \frac{TE \text{ total}}{Takt \text{ time}} \quad 2.4$$

12. Eficiencia:

Es importante realizar un análisis de eficiencia del proceso para diagnosticar la situación de la línea, entre más baja la eficiencia mayor el desperdicio. Además, esta es una métrica de 0 al 100% en que se pretende que el valor máximo (100%) equivale a una línea de producción en condiciones ideales, genera valor agregado. Para el cálculo de la eficiencia se tiene la ecuación presentada a continuación.

$$Eficiencia = \frac{TE \text{ total}}{Cant. \text{ operaciones} * TE \text{ mayor}} * 100 \quad 2.5$$

13. Diagrama de Gantt:

Este diagrama es una herramienta utilizada para planificar tareas a lo largo de un período establecido de tiempo. A través de una visualización de las acciones, responsables y fechas de entrega permite controlar el progreso en cada una de las etapas del proyecto.

14. Análisis Modal de Fallas y Efectos:

Tiene su fundamento en la sistematización del proceso, identificando puntos de fallo potenciales, de modo que permita generar un plan de acción para combatir los riesgos. Este método también contempla criterios de clasificación que pertenecen a la Seguridad y Salud Ocupacional dado que se considera la posibilidad de fallo y severidad de sus consecuencias a modo de prevención de riesgos laborales.

15. Filosofía de 5S:

Esta estrategia sugiere que una empresa con instalaciones limpias y ordenadas permite una mejor respuesta a la necesidad de mejorar el ambiente de trabajo, reducción o eliminación de desperdicios, reducción de pérdidas de calidad y mejora en el tiempo de respuesta. Este concepto engloba 5S puesto que está compuesto por:

Cuadro No. 4 Significado de la estrategia 5S.

Tipo de S	Significado	Descripción
Seiri	<i>Selección</i>	Eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios.
Seiton	<i>Orden</i>	Establecer el modo en que deben identificarse los elementos necesarios para que su búsqueda sea fácil.
Seiso	<i>Limpieza</i>	Eliminar el polvo y suciedad de todos los elementos de una fábrica.
Seiketsu	<i>Estandarización</i>	Permite mantener los logros alcanzados en las primeras 3S.
Shitsuke	<i>Disciplina</i>	Convertir en hábito los métodos establecidos en el lugar de trabajo.

Fuente: Elaboración propia mediante información obtenida en Metodología de las 5S (Jara, M. 2017)

16. Flujo Continuo:

Su objetivo es generar un ritmo de producción lo más fluido posible, significando así replantearse nuevos procesos logísticos de manera que el trabajo pueda moverse de forma sencilla y sin contratiempos en las celdas productivas. Idealmente, las piezas deben avanzar por secuencia de producción de uno en uno, es una manera eficiente de transformar materias primas en productos terminados.

17. Trabajo Estandarizado:

La estandarización dice ser un proceso dinámico en el que se realiza seguimiento y se trabaja acorde a estándares, métodos y procesos previamente definidos que permitan una mejora continua. Se basa en pilares como el involucramiento de la gente, calidad a la primera vez, tiempos cortos de respuesta y la mejora continua.

18. Análisis Económico:

Según Nogueira, R (2017) el análisis económico es pieza trascendental para la ejecución de un proyecto sin importar el tamaño que sea, dicho análisis reúne técnicas y herramientas que permiten diagnosticar las finanzas de una empresa así como detectar reservar, proyecciones a futuro y valida la toma de decisiones.

19. Valor Actual Neto (VAN):

Se basa en la diferencia entre el valor actualizado de los flujos de beneficio y el valor de la inversión realizada así como cualquier otro egreso. En caso de que este valor sea positivo, quiere decir que el proyecto puede ejecutarse ya que es rentable. Si es negativo, debe rechazarse. Fonseca, L (2007) indica que el VAN representa la cantidad que un proyecto añadirá al valor de la empresa. Este cálculo es representado de la siguiente manera.

$$VAN = -I + \sum_{t=0}^n Ft \left(\frac{p}{F}, i, n \right) \quad 2.6$$

20. Tasa Mínima de Aceptable de Rendimiento (TMAR):

Tasa de interés en la que un inversionista debe fijar su valor acorde a los riesgos que enfrenta el proyecto. Esta se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$TMAR = \text{tasa de inflación} + \text{premio al riesgo} \quad 2.7$$

21. Tasa Interna de Retorno (TIR):

La tasa interna de retorno es la rentabilidad obtenida al ejecutar el proyecto, en otras palabras, es la tasa de descuento mínima que convierte el valor actual neto en cero. Si el TIR es negativo, se pierde dinero en el proyecto, por tanto no es

rentable, pero si es positivo este indica que puede implementarse ya que desarrollará ganancias. Se representa bajo la ecuación:

$$P = \frac{FNE\ 1}{(1+i)^1} + \frac{FNE\ 2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE\ n}{(1+i)^n} \quad 2.8$$

III. METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolla utilizando la metodología DMAIC, la cual por siglas en inglés se traducen en Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Este proyecto tiene como prioridad el aumento de la eficiencia en la producción del estator por medio de técnicas Lean Manufacturing para mejorar el proceso productivo actual así como la reducción de la cantidad de desperdicios en la línea de producción.

Tal y como se muestra en la figura No.10, las etapas de Definir, Medir y Analizar se trabajan en el capítulo referente al diagnóstico de la situación actual en el que se pretende identificar procesos claves de la línea de producción así como analizar las condiciones reales de la empresa. Por otra parte, las fases de Mejora y Control son ejecutadas en lo que refiere a la implementación de soluciones, en las que se plantean propuestas que busquen satisfacer los requerimientos del proyecto y además, controlar para asegurar que el proyecto sea sostenible a lo largo del tiempo.



Fuente: Elaboración propia mediante Canvas (agosto, 2022).

Figura No. 10 DMAIC aplicado al problema.

En la primera etapa de definición, para iniciar el trabajo toma en consideración la utilización del Project Charter como acta constitutiva para así brindar al lector un fácil entendimiento de cuáles son los alcances, objetivos y

expectativas del proyecto. También se lleva a cabo un análisis de interesados del proceso (Stakeholders) a fin de considerar quienes de una u otra forma intervienen en el proyecto y deben formar parte de la toma de mediciones. Además, también se presente ejecutar el análisis de asignación de responsabilidades del proceso por medio de la matriz RACI.

Propiamente en la fase de medir, en cuanto a la toma de datos y mediciones se utiliza una estrategia de recolección de datos en el que se contemplan las mediciones a realizar, además de comprobar los tiempos de cada proceso del flujo productivo, porcentaje de desperdicios, capacidad efectiva, takt time y el throughput.

En cuanto al análisis, se estudia toda la información recopilada de la fase anterior para así determinar cuáles herramientas y técnicas son ideales para enfocar la solución al problema planteado por medio de distintos modelos estadísticos, cálculos de productividad y factores relacionados al indicador de scrap en la línea.

Por otra parte, respecto a la implementación de soluciones al problema planteado en la parte de mejorar se realizan propuestas de mejoramiento que permitan un aumento en la eficiencia de la producción y que esto conlleve una menor cantidad de desperdicio en la línea, cumpliendo así la meta de scrap establecida para el producto.

Finalmente, en el control de las implementaciones realizadas se busca utilizar herramientas que permitan garantizar tanto el monitoreo como la evaluación de los resultados de las soluciones implementadas al problema de la compañía puesto que una vez completadas todas las fases anteriores la línea debe satisfacer el indicador de desperdicios, así como una producción más eficiente.

Cuadro No. 5 Metodología aplicada al problema.

Etapa	Objetivo	Actividad	Herramientas	Resultados esperados
<i>Definir</i>	Determinar los procesos claves en la línea de producción el cumplimiento de la demanda y reducción de desperdicios.	Delimitación del alcance, metas y resultados. Adquirir conocimiento de la línea a nivel calidad y producción.	Project Charter Análisis de Stakeholders Selección del equipo de trabajo. 5W+H Gemba Walks, Registros Históricos Diagrama Gantt Registros históricos	Alcances, objetivos y metas definidas al inicio del proyecto. Comportamiento de las partes interesadas. Funciones y responsables de ejecutar el proyecto. Identificación de causas. Cronograma de desarrollo. Datos de exportaciones.
<i>Medir</i>	Identificar las principales causas asignadas al desperdicio que afectan el cumplimiento del indicador de scrap en la producción del estator 1213-1-095-05.	Descripción del proceso productivo del número de parte. Recopilación de datos e información sobre desperdicios. Observar los tiempos de producción. Relacionar la recolección de información con los aspectos importantes del proyecto. Categorizar y medir la frecuencia de los problemas del proceso.	Diagrama de flujo. Planes de Muestreo Estudio de tiempos Registros históricos Gráfico pastel	Conocimiento del flujo productivo. Cantidad de muestras necesarias. Tiempos de producción. Capacidad de producción. Takt time. Indicador de desperdicios. Representación porcentual de las causas de desperdicio.
<i>Analizar</i>	Analizar la información recolectada para la priorización de oportunidades de mejora en el proceso productivo de la línea.	Análisis de las principales causas relacionadas al desperdicio. Análisis de qué tan capaz es el proceso productivo actual. Monitorear las medidas del proceso.	Análisis de Causa y Efecto Multivoto Diagrama de Pareto Software: Minitab	Identificación de los problemas de calidad. Selección de las principales causas. Clasificación de las causas de acuerdo a su relevancia. Prueba de normalidad de los datos.
<i>Mejorar</i>	Plantear propuestas de solución que generen un aumento en la capacidad instalada de producción y la disminución de material dañado.	Mejorar la productividad de la línea mediante la reducción de desperdicios. Implementación de 5S. Estandarización de procesos. Diseño de un nuevo balance de línea.	Estadística básica Análisis de tiempos estándar Gráficos de desperdicios Filosofía de 5S Software: Solid Works Balanceo de línea. Cálculo de eficiencia.	Propuestas de solución. Tiempo estándar y desperdicios (resultados esperados). Implementación de 5 en la línea. Creación de prototipos.
<i>Controlar</i>	Controlar el proceso de implementación de las propuestas realizadas mediante parámetros que validen el rendimiento de estas en la línea de producción.	Neutralizar factores que puedan afectar la implementación. Identificación de formas en las que la implementación pueda causar imprevistos. Controlar los indicadores de calidad, coste y efectividad asociados al proceso.	Diagrama de Gantt. Análisis de VAN y TIR. Análisis Modal de Fallos y Efectos Manuales de uso	Rentabilidad de las propuestas implementadas. Validación y monitoreo de las soluciones implementadas. Control del proceso

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (agosto, 2022).

IV. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para la elaboración del diagnóstico de la situación actual del proceso de la línea de producción del estator 1213 y otros aspectos que se consideran relevantes es necesario compaginar de acuerdo a la metodología DMAIC planteada. Para este segmento, se desarrollan las primeras tres etapas: Definir, Medir y Analizar, las cuales son determinantes para la valoración del estado actual de la compañía.

Es de importancia saber que cada herramienta o técnica utilizada es con el fin de determinar, cuantificar y estudiar la principal problemática en relación con el incumplimiento de desperdicios en la elaboración del producto en cuestión. Esto debido a que una vez identificada la causa raíz del problema y las consecuencias más significativas se procede al planteamiento de soluciones que permitan erradicar la gran cantidad de scrap asociada al número de parte y así, generar un impacto positivo en la organización. Para un mayor entendimiento, en la figura No. 11 se mencionan algunas de las técnicas y procedimientos a ejecutar para alcanzar el éxito del proyecto paso a paso.



Fuente: Elaboración propia mediante la plataforma de Canvas (agosto, 2022).

Figura No. 11 DMAIC aplicado al Diagnóstico de la Situación Actual.

A. Definir

1. Aspectos generales del proyecto.

Inicialmente, se realiza el Project Charter con el fin de precisar y delimitar el alcance, objetivos tiempo e interesados en la ejecución del proyecto. Se muestra de la siguiente manera:

Cuadro No. 6 Project Charter.

Información General del Proyecto	
<i>Nombre:</i>	Diseño de propuestas de solución para el aumento de la eficiencia en la producción y la reducción de desperdicios del estator 1213-1-095-05.
<i>Asesor Industrial:</i>	Ing. Pablo Solís
<i>Correo electrónico:</i>	pablo.solis@ticoelectronics.com
<i>Departamento afectado:</i>	Departamento de Manufactura, División Novanta.
<i>Fecha de inicio:</i>	26/7/2022
<i>Fecha de finalización:</i>	21/10/2022

Problema, Objetivos, Caso de Negocio, Entregables Esperados.	
<i>Problema/Oportunidad:</i>	Incumplimiento del indicador de desperdicios durante el IS del 2022 así como el aumento de horas extra para el cumplimiento de la demanda de producción.
<i>Objetivo del Proyecto:</i>	Implementar propuestas de mejora que signifiquen un aumento de la eficiencia en la productividad y reducción de desperdicios en la producción del estator 1213-1-095-05.
<i>Caso de Negocio:</i>	El estator 1213-1-095-05 actualmente no cumple con la meta establecida por la gerencia del 1,75% de desperdicios. Además, para lograr el cumplimiento de la demanda se está requiriendo de gran cantidad de horas extra por semana.
<i>Entregables Esperados:</i>	Implementación de Lean Manufacturing en la línea de producción. Presentación de mejoras para el aumento de la capacidad de producción. Eliminación de las horas extra. Cumplimiento con el 1,75% máximo del indicador de desperdicios.

Alcance, Limitaciones y Cronograma del Proyecto.	
<i>Alcances</i>	El trabajo contempla el proceso de fabricación del ensamble del estator, específicamente busca aumentar la eficiencia de la línea y los procesos que se llevan a cabo únicamente en la celda de producción. En cuanto a fechas, se desarrolla a partir del 26 de julio hasta el 21 de octubre del 2022.
<i>Limitaciones</i>	Cualquier mejora propuesta debe ser avalada por el cliente: Novanta. Para ello, las propuestas deben ser sometidas a aprobación previamente antes de ejecutarse.
<i>Hitos</i>	Etapa Definir: Del 26/07/22 al 12/08/22 Etapa Medir: Del 16/08/22 al 31/08/22 Etapa Analizar: 01/09/22 al 16/09/22 Etapa Mejorar: Del 19/09/22 al 07/10/22 Etapa Controlar: Del 10/10/22 al 21/10/22

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

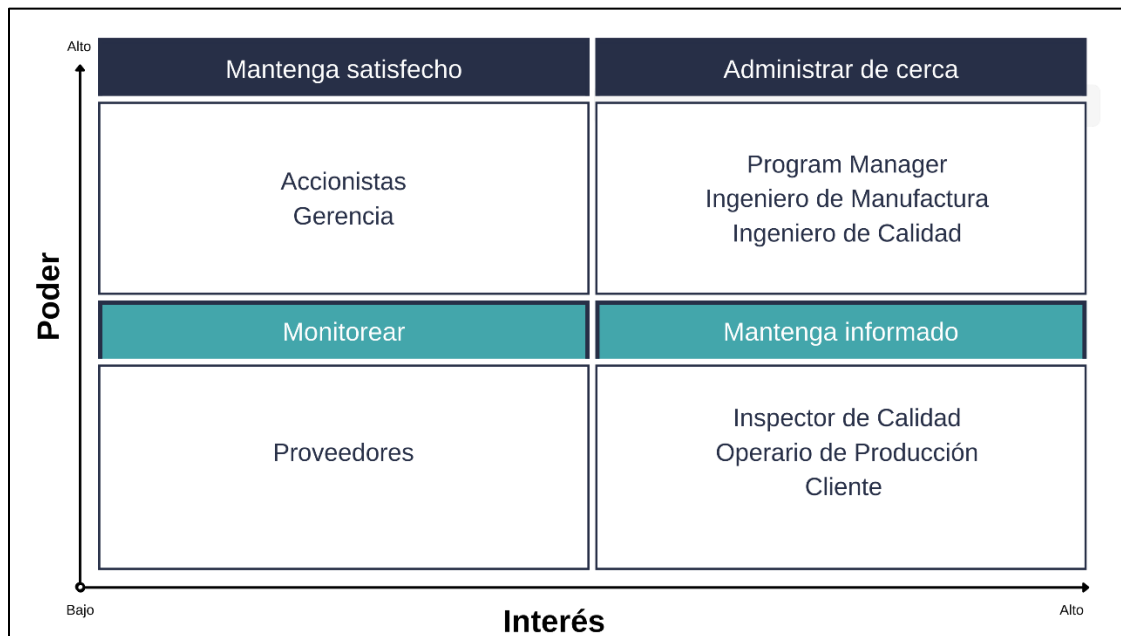
En relación con el cuadro presentado anteriormente, los interesados directos son principalmente el departamento de manufactura y calidad, dicho trabajo engloba desde la parte administrativa hasta la de producción de las respectivas áreas. De hecho, a fin de conocer más la participación de estos en el proyecto se realiza el siguiente análisis de stakeholders:

Cuadro No.7 Análisis de Stakeholders del Proyecto.

Nombre	Perfil de Compromiso				Nivel de Involucramiento	¿Por qué les interesa?	¿Qué aportan?	¿Cuáles actividades afectan?
	-	0	+	++				
Accionistas		X			Mantener satisfecho	Poseen inversión en el negocio, entre menos pérdida por desperdicio	Dinero para invertir en el proyecto.	N/A
Gerencia de Tico		X			Mantener satisfecho	Cualquier oportunidad de mejora presentada en la compañía significa un	Toma decisiones del proyecto. Análisis financiero.	Toma de decisiones.
Program Manager				X	Administrar de cerca	La productividad de la línea habla sobre el trabajo del director del proyecto.	Conocimiento general de la línea. Aprobación directa	Toma de decisiones.
Ingeniero de Manufactura				X	Administrar de cerca	Si aumentan la eficiencia de producción, aumentan también la capacidad	Conocimiento a nivel de producción y demanda.	Análisis de la productividad.
Ingeniero de Calidad				X	Administrar de cerca	Se reduce el indicador principal sobre el cual su trabajo es enfocado.	Conocimiento a nivel de indicador de desperdicios.	Análisis del desperdicio.
Inspectora de Calidad			X		Mantener informado	Menos desperdicio significa mejor control del proceso y se traduce en un	Inspección del proceso.	Inspección y detección de piezas no conformes.
Operaria de Producción			X		Mantener informado	La línea aumenta su producción, así como su trabajo se ve regido por la	Mano de obra.	Producción.
Cliente (Novanta)			X		Mantener informado	Dejaría de estar recibiendo piezas no conformes.	N/A	Demanda de producción.
Proveedores	X				Monitorear	Si aumenta la producción de Tico Electronics, necesitarán de más	N/A	N/A
Total	1	2	3	3				

Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Program Manager (setiembre, 2022).

En cuanto al cuadro No.7 puede observarse que se mencionan todos los interesados en la ejecución del proyecto a lo largo de las etapas, además se estudia el nivel de involucramiento de cada uno de estos, así como las principales razones de la participación de estos en el estudio. Una vez realizado el análisis, se ejecuta la matriz de stakeholders para diferenciar en cual cuadrante se encuentra cada interesado de acuerdo a su nivel de poder e influencia sobre la toma de decisiones de este.



Fuente: Elaboración propia mediante Canvas (setiembre, 2022).

Figura No. 12 Matriz de Stakeholders.

Las partes interesadas que poseen un alto poder sobre el proyecto, así como un elevado interés de que este se ejecute es el Program Manager (director de Proyecto), Ingeniero de Manufactura e Ingeniero de Calidad ya que el desarrollo de este trabajo representa una mejora significativa en los indicadores de la empresa. En cuanto al segundo grupo según la figura No. 12 se tiene que tanto el área de producción como el cliente tienen gran interés en que el proyecto pero que la toma de decisiones es realizada por los ingenieros, de manera que el nivel de poder de estas partes es bajo, tal y como se aprecia con el tercer grupo, dentro del cual están los altos mandos de la empresa, estos tienen un poder significativo sobre las

actividades a implementar más sin embargo, no se centran en el día a día de la línea por otros compromisos, debido a esto su nivel de interés es bajo.

Por último, el cuarto grupo está compuesto únicamente de los proveedores del proyecto Celera en la empresa Tico Electronics puesto que no trabajan directamente pero su actividad económica dependerá del crecimiento de la compañía. No tienen voz ni voto en la toma de decisiones como tal y para efectos del estudio, su nivel de interés es bajo.

Por otra parte, es importante conocer tanto el proceso de producción del estator 1213-1-095-05 como el personal encargado, por esta razón en el cuadro No. 8 se detalla los miembros del equipo con sus respectivas funciones.

Cuadro No.8 Selección del equipo de trabajo.

Cargo	Rol	Funciones
Program Manager	Patrocinador	Garantizar apoyo durante la ejecución del proyecto. Factor clave para la toma de decisiones. Validar los resultados obtenidos.
Ingeniero de Manufactura	Coordinador	Delegar responsabilidades y competencias en cuanto a los indicadores Per Hour, OTD y cumplimiento de la demanda de producción. Capacitar al personal bajo su responsabilidad.
Ingeniero de Calidad	Coordinador	Delegar responsabilidades y competencias en cuanto al indicador de scrap. Capacitar al personal bajo su responsabilidad.
Operarios	Miembro de equipo	Brindar soporte en cada actividad asignada de manera responsable tanto de producción o calidad. Reportar cada imprevisto que ocurra durante el proyecto.

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

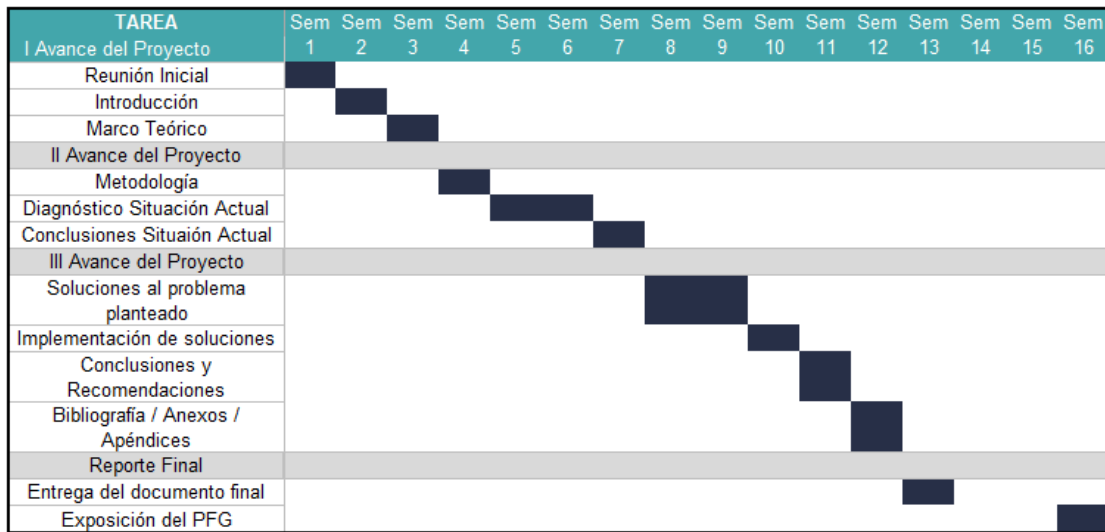
Ahora bien, la herramienta 5W+H se aplica en el cuadro No. 9 bajo la asesoría del equipo de trabajo constituido en el cuadro No. 8 con la finalidad de establecer un plan de acción relevante en relación con los puntos significativos del problema.

Cuadro No.9 Herramienta 5W+H aplicada al problema.

Método 5W+H	
¿Qué se quiere mejorar?	Incumplimiento de la demanda semanal y el indicador de desperdicios en la producción del estator que no cumple el 1.75% de la línea permitido.
¿Por qué se quiere mejorar?	Disminuir la cantidad de horas extra para satisfacer la demanda semanal, así como la reducción de pérdidas económicas por desperdicios durante la producción del estator.
¿Cuándo?	Durante el II Semestre del 2022
¿Dónde?	En la línea de producción del estator 1213-1-095-05 de la división de Novanta, Tico Electronics.
¿Quiénes están a cargo?	Personal administrativo (Ingenieros de manufactura y calidad) y operarios de producción.
¿Qué tanto?	Durante 5 meses no se cumplió la meta de scrap, sobrepasándose algunos meses en más de 1%.

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

Por otra parte, para el desarrollo de este trabajo es imprescindible utilizar un diagrama de Gantt ejemplificado en la figura No. 13 dado que si se requiere un resultado exitoso es necesario una planificación adecuada del proyecto. Dentro de este, se menciona cada uno de los entregables, así como la fecha de entrega en relación con la semana, debido a que el tiempo válido para la ejecución del mismo es de 16 semanas.



Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

Figura No. 13 Diagrama de Gantt para la planificación del Proyecto.

2. Información de exportaciones.

Ahora bien, en cuanto al tema de la escogencia del número de parte para realizar el proyecto todo lleva un trasfondo. Y es que como bien se aprecia en la figura No. 3 de la estructura organizativa de Tico Electronics, en cuanto a producción se encuentran cuatro grandes equipos, estos son los encargados de producir y exportar cuanto producto terminado sea solicitado por el cliente. De manera que para graficar la información adjunta en la figura No. 14 se recolecta información de ventas del departamento de logística.

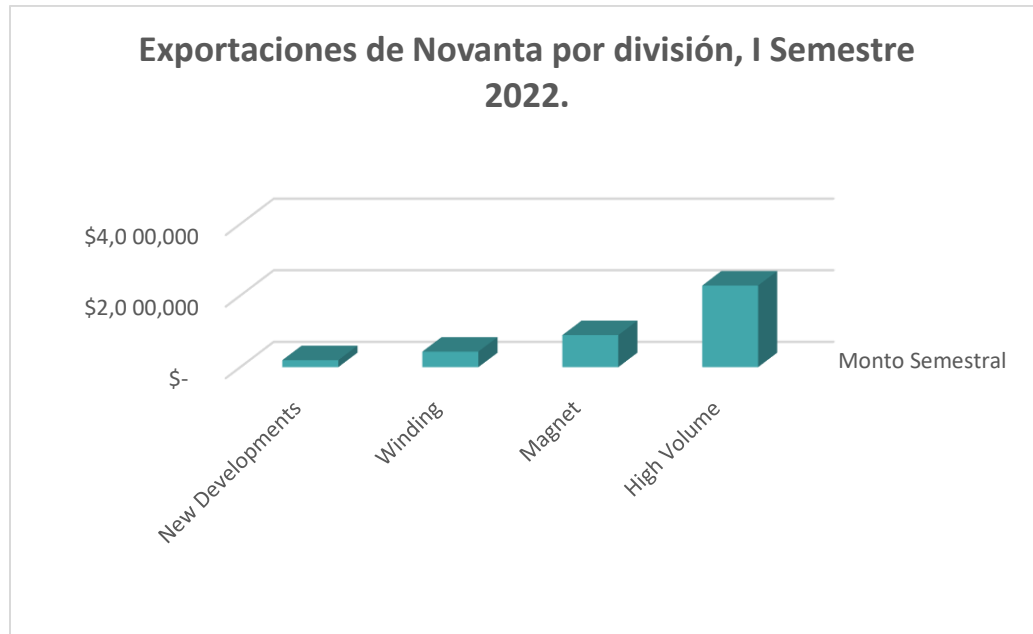


Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Departamento de Logística y ventas (setiembre, 2022).

Figura No. 14 Exportaciones de Tico Electronics, Primer Semestre 2022.

De este modo, las ventas del primer semestre del 2022 corresponden a un total de \$11.536.728 según lo contabilizado por el departamento de ventas, De este monto, el 33% hace alusión a las exportaciones realizadas por el departamento de Novanta, es decir, este equipo representa la tercera parte de todas las transacciones comerciales de la compañía (ver Anexo No. 01). Sin duda alguna que una gran parte de la estabilidad económica de Tico Electronics se debe al aumento en la cantidad de exportación de Novanta.

A saber, el departamento de producción Novanta se encuentra segmentado por cuatro divisiones, también pueden llamársele cuatro distintas familias de productos. La cantidad de ventas por cada división se puede observar en la figura No. 15, adjunta a continuación.



Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Departamento de Logística y ventas (setiembre, 2022).

Figura No. 15 Exportaciones de Novanta, Primer Semestre 2022.

Asimismo, según los datos obtenidos en la figura No. 15 se muestra que la división con mayor volumen de ventas High Volume, con un total de \$2.280.000 sólo en los 4 High Runners que contempla esta familia. Si bien es cierto, es lógico que esta familia sea la de más cantidad de exportación ya que como su propio nombre lo dice, se caracteriza por ser de alto volumen. Dicha línea de producción simboliza cerca del 60% de todas las exportaciones asociadas (ver Anexo No. 02).

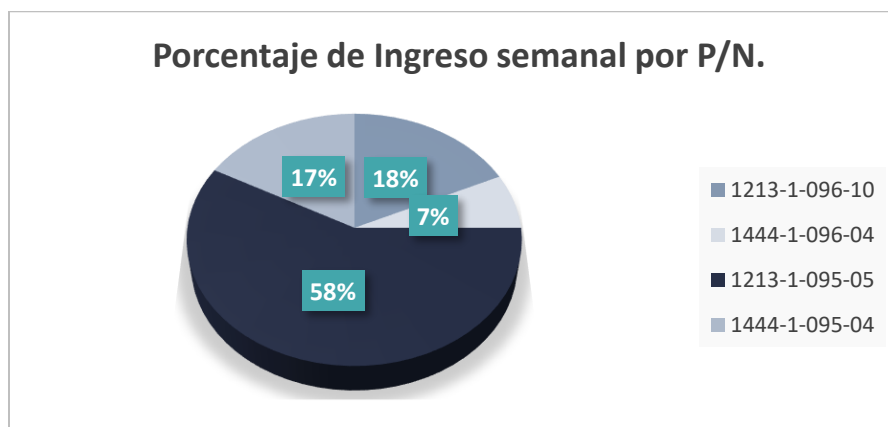
Con motivo de adentrarse más en la escogencia del número de parte, se tiene que de la división con mayor número de exportaciones es High Volume del departamento de Novanta, por lo tanto, se realiza un estudio de la demanda semanal en el Cuadro No. 10 para observar el requerimiento del cliente, así como también, determinar cuál número de parte es el que genera más rentabilidad.

Cuadro No.10 Demanda de producción por semana de High Volume.

P/N	Precio Unitario	Demanda semanal	Venta semanal
1213-1-096-10	\$ 49,71	400	\$ 19 884,00
1444-1-096-04	\$ 83,89	100	\$ 8 389,00
1213-1-095-05	\$ 127,32	510	\$ 64 933,20
1444-1-095-04	\$ 144,85	130	\$ 18 830,50

Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Planner de la línea (setiembre, 2022).

Un dato importante, es que en esta familia se producen cuatro diferentes números de parte, si bien es cierto fabrican tanto el rotor como el estator de la pieza. El rotor puede diferenciarse del estator debido a que este primero corresponde al código 096 mientras que el segundo 095. Todos estos productos finales forman parte del Robot DaVinci observado en la figura No. 5. En cuanto a la información de la demanda semanal presentada en el cuadro No. 10 se observa claramente una participación sumamente importante del P/N 1213-1-095-05 con casi \$65.000 semanales, significando así un 58% del total de las ventas de High Volume como lo muestra la figura No. 16, por lo que una vez más se confirma que la idea del proyecto es atacar las debilidades de la línea de producción de este número de parte, como lo es el nivel de desperdicios además del pago de horas extra.



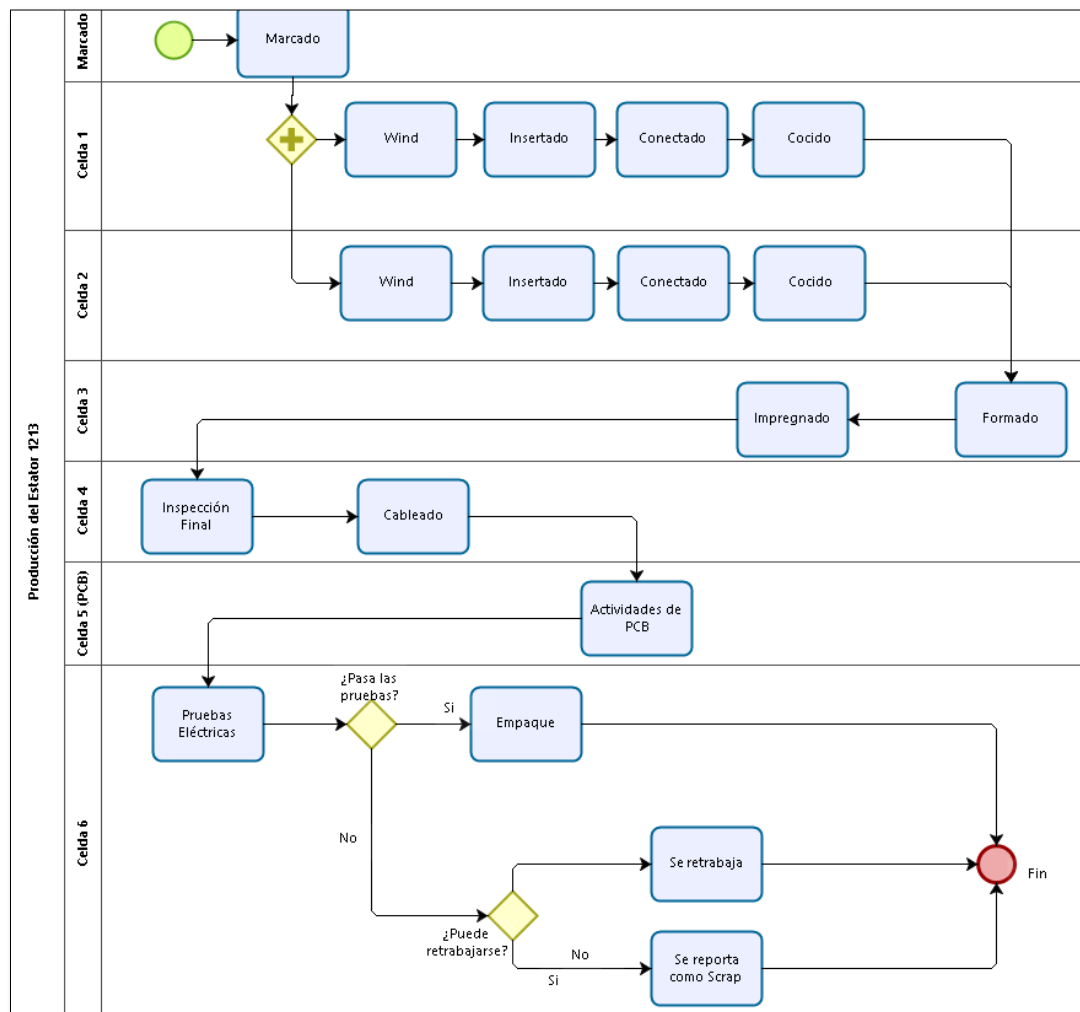
Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Planner de la línea (setiembre, 2022).

Figura No. 16 Ingresos semanales por número de parte.

B. Medir

1. Descripción del proceso productivo:

Una vez delimitada la problemática del estudio, se procede a determinar el proceso productivo del estator 1213-1-095-05, esto con la intención de comprender cada uno de los procedimientos que se desarrollan en las celdas de producción, todo lo que conlleva producir la pieza y de esta manera identificar aspectos o variables cuantificables que intervienen en el rendimiento óptimo de la línea. Dicho esto, la figura No. 17 representa el diagrama de flujo actual del proceso de manufactura del número de parte en cuestión.



Fuente: Elaboración propia mediante el Software Bizagi Modeler.

Figura No. 17 Proceso productivo del estator 1213.

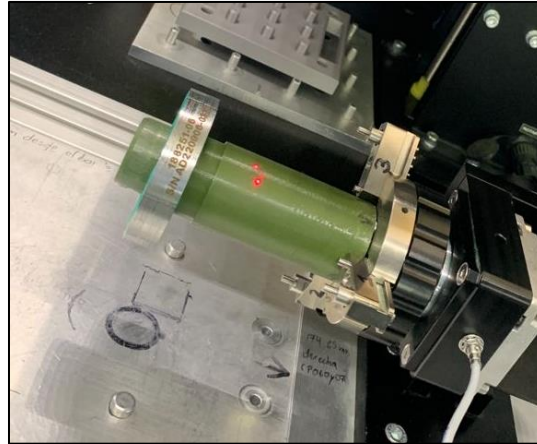
De la figura No. 17 como puede verse, se hace mención al reproceso y desperdicio, siendo específico para determinar la diferencia entre estos términos, es que en caso de que la pieza no pase las pruebas eléctricas las cuales se llevan bajo parámetros del cliente, se pregunta si es posible reprocesarse o no, si esta puede re trabajarse sería un reproceso por parte de la línea de producción en la que espera la aprobación por parte del departamento de calidad, quienes son los encargados de definir la disposición final de las piezas. En caso de que no pueda reprocesarse, es ahí donde el producto se convierte en scrap o desperdicio.

Ahora bien, dado que algunos procesos normalmente no son reconocidos fácilmente debido a la complejidad que conlleva fabricar una pieza de este calibre, se explica de manera concisa cada uno de los procedimientos requeridos para flujo productivo.

Marcado: Al estator se le asigna un número de serie solicitado por el cliente final (Novanta), tal y como puede apreciarse en la figura No. 18. Este marcado láser debe ser bajo el formato establecido como AAMMDD-XXXX¹⁹. Donde AA significa año actual, MM el mes de fabricación y el DD, corresponde al día en el que se marcó la pieza. En cuanto al XXXX se refiere al consecutivo para determinar cuál número de pieza a nivel de producción diaria. El S/N corresponde por sus siglas corresponde al número de serie, mientras que el AD²⁰ inicial es una diferenciación por parte de Tico Electronics hacia su cliente, ya que este es el código de proveedor de la empresa.

¹⁹ Formato de número de serie solicitado por Novanta para Tico Electronics.

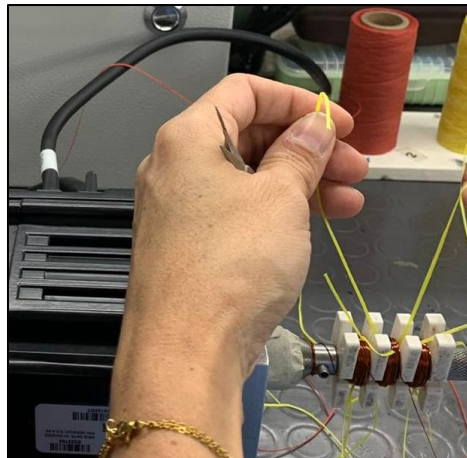
²⁰ Código de proveedor de Tico Electronics por parte de Novanta.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 18 Operación de Marcado Láser.

Wind: En dicha operación se fabrican los coils²¹. Se cuenta con una máquina para programar la cantidad de vueltas que debe dársele al hilo magnético para constituir 1 coil. En el caso de esta pieza, se requieren de 25 vueltas para formar una cadena de hilo magnético y posteriormente, amarrar el coil con hilo amarillo para que este quede bien sujeto, como la operaria realiza esta función en la figura No. 19.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 19 Operación de Wind

²¹ Cadenas de hilo magnético.

Insertado: Las operarias toman los coils para insertarlos de cierta manera el estator, estas van dentro de los slots²² definidos según la instrucción del trabajo por medio de la herramienta de sujeción del stack que se observa en la figura No. 20.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 20 Operación de Insertado.

Conectado: Proceso en el cual se conecta un cable al estator, este cable de color gris tiene por dentro cables más pequeños de color blanco, rojo y negro los cuales van en unión con cada coil del estator. En la figura No. 21 se alista el strip del hilo magnético para posteriormente conectar los respectivos cables.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

²² Espacios o “dientes” libres del estator.

Figura No. 21 Operación de Conectado.

Cosido: Con la ayuda del hilo para coser, la operaria coloca la aguja por debajo del hilo magnético en cada uno de los slots, esto es posible observar en la figura No. 22. Dicho procedimiento se da con el fin de socar cada coil y asegurarse de que la pieza quede amarrada correctamente además de que cumpla con la altura especificada por el dibujo de ingeniería.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 22 Operación de Cosido.

Formado: Se utiliza un fixture (herramientas elaboradas por el departamento de diseño de la empresa²³) con el objetivo de formar la pieza, es decir, brindarle las dimensiones requeridas según el DWG²⁴. En la figura No. 23 se aprecia como la operaria fuerza el fixture para ir abriendo el diámetro interior del estator. Es importante agregar pines que no permitan que la pieza pierda su estructura.

²³ Pueden ser producidas por el diseñador CAD de Tico o bien, enviadas por el cliente.

²⁴ Dibujo de Ingeniería.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 23 Operación de Formado.

Impregnado: Procedimiento en el que se lleva a cabo una sumersión de la pieza al menos 25 minutos dentro de un balde de impregnante²⁵ y luego se coloca en el horno durante 11 horas a 165°C. En dicha operación se remoja el estator en químico, justo como se visualiza en la figura No. 24 de manera que estas se queden en el balde y procedan a calentar cada uno de estos.



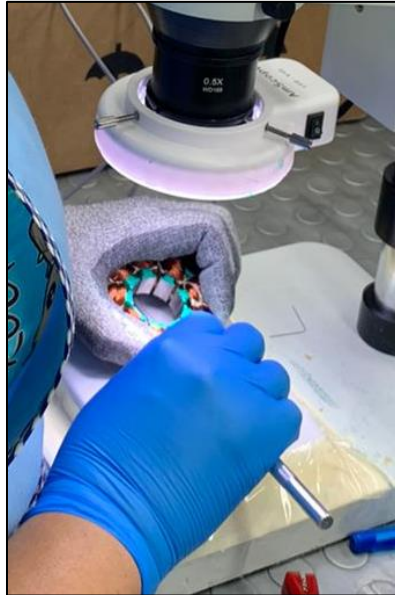
Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 24 Operación de Impregnado.

Inspección final: Se revisa la parte estética de la pieza, así como también esta función es mal llamada dado que también se realizan actividades de limpieza de impregnante y en algunas ocasiones, se reparan piezas en esta celda. Como se

²⁵ Químico que protege el material ante humedad.

percibe, la figura No. 25 muestra una de las operaciones de mayor importancia ya que las operarias deben estar entrenadas con todos los criterios de aceptación del producto puesto que no puede dejar pasar piezas en mal estado.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

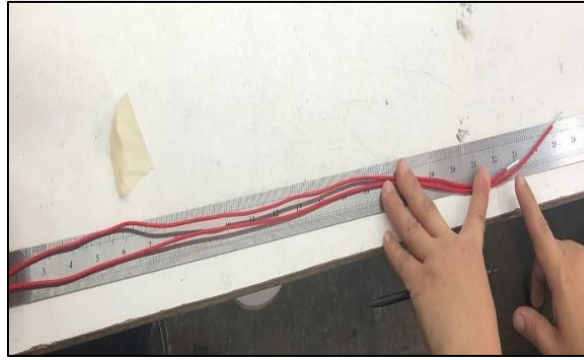
Figura No. 25 Operación de Inspección Final.

Cableado: Se añade un pequeño tubing termo encogible²⁶. Una vez colocado se realiza el strip químico²⁷ al cable verde de la operación de conectado, de la misma manera, en la figura No. 26 se evidencia como la operaria separa los cables de colores para dejarlos listos y realizar el crimping²⁸.

²⁶ Cable de hule termo encogible que cubre los cables más pequeños de golpes.

²⁷ Separación física en el que uno o más componentes se eliminan de una corriente líquida.

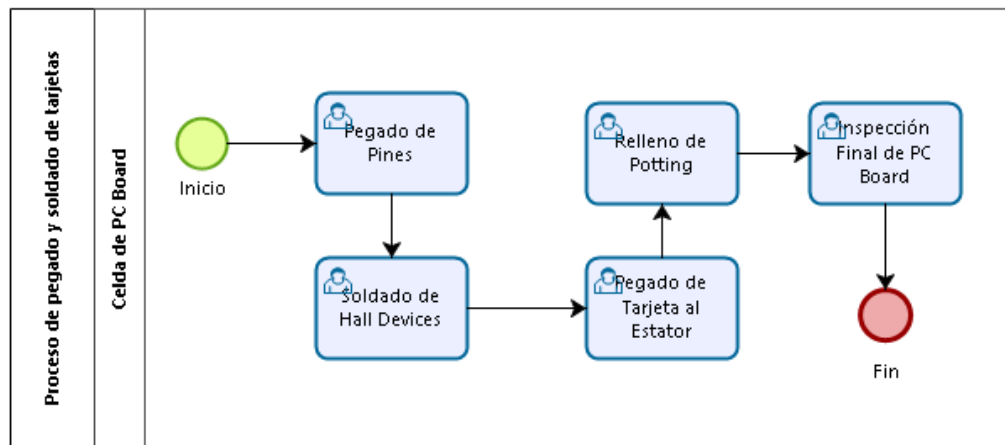
²⁸ Evita daño al hilo magnético.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 26 Operación de Cableado.

PC Board: Dicha celda de producción se encuentra con control electroestático por la naturaleza de los componentes utilizados. Este proceso es de relevancia ya que el estator lleva por dentro una tarjeta, esta es soldada en una posición específica. Luego, se les aplica un poco de potting²⁹ para brindarle mayor protección a la tarjeta. Este proceso contempla varios procedimientos de manera que, para un mejor entendimiento del lector, en la figura No. 27 se adjunta un pequeño diagrama representativo del proceso.

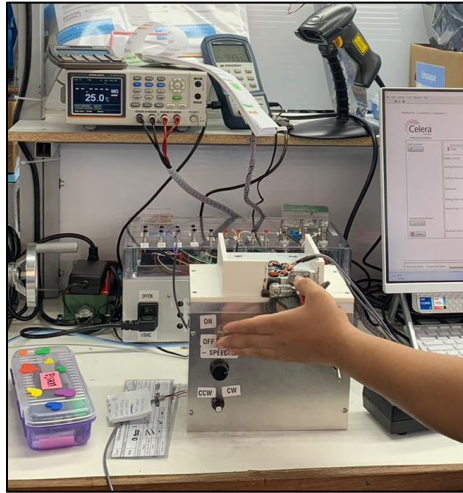


Fuente: Elaboración propia mediante el Software Bizagi Modeler (setiembre, 2022).

Figura No. 27 Flujo productivo en la celda PCB.

²⁹ Compuesto para encapsulado al vacío.

Testeo Eléctrico: Intervención de pruebas eléctricas para asegurarse de que el estator tenga un correcto funcionamiento de acuerdo con la relación de fases, resistencia, inductancia, entre otras. Como una particularidad, los resultados de estas pruebas son compartidas al cliente como requisito final para que este valide los datos y se asegure de que el rendimiento de la pieza sea óptimo. En la figura No. 28 se realizan mediciones de resistencia con el micrómetro, respetando los parámetros especificados por el cliente.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 28 Operación de Pruebas Eléctricas.

Empaque: Última actividad, se limpia la pieza y se procede a verificar nuevamente si de manera visual cumple los estándares requeridos por el cliente final. Después, se procede a colocar la pieza en una bolsa ESD (ver en figura No. 29) y comprobar que el número de serie de la pieza es el mismo que el de la bolsa de empaque.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (setiembre, 2022).

Figura No. 29 Operación de Empaque.

2. Estudio de tiempos.

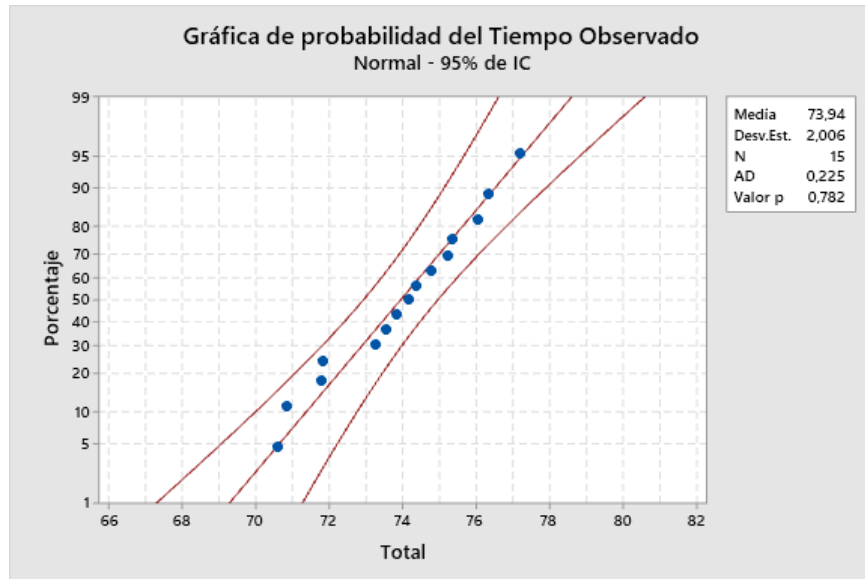
En cuanto al estudio de tiempos, es importante mencionar que se selecciona una pre muestra de 15, es decir, que cada operación realizada se observó durante 15 ocasiones distintas. Con la información obtenida y presentada en el cuadro No. 11 se desarrolla el cálculo de la media, desviación estándar y coeficiente de variación, dichas variables son relevantes a la hora de estudiar la dispersión de los mismos.

Cuadro No. 11 Promedio, desviación y coeficiente de la premuestra.

Operación	\bar{X} (min)	σ (min)	C.V (%)
Marcado	1,35	0,25	18%
Wind	9,85	0,69	7%
Insertado	6,37	0,21	3%
Conectado	12,22	0,92	8%
Cocido	7,31	0,39	5%
Formado	1,36	0,17	13%
Impregnado	1,45	0,26	18%
Inspección final	7,55	0,65	9%
Cableado	4,31	0,32	8%
Soldar Hall Devices y Tarjeta	7,85	0,42	5%
Añadir PCB al Estator	11,20	0,62	6%
Testeo Eléctrico	3,28	0,11	3%
Empaque	1,26	0,11	8%

Fuente: Elaboración propia mediante información de la línea (setiembre, 2022)

En base a los datos tomados de la pre muestra de 15 observaciones y como paso previo a la toma de tiempos y dado la importancia de verificar la normalidad de las muestras en el estudio para conocer si las variables presentadas pueden ser representadas por una distribución normal o bien, requiere de una transformación de datos. Para ello, en la figura No. 30 se desarrolla la prueba de normalidad.



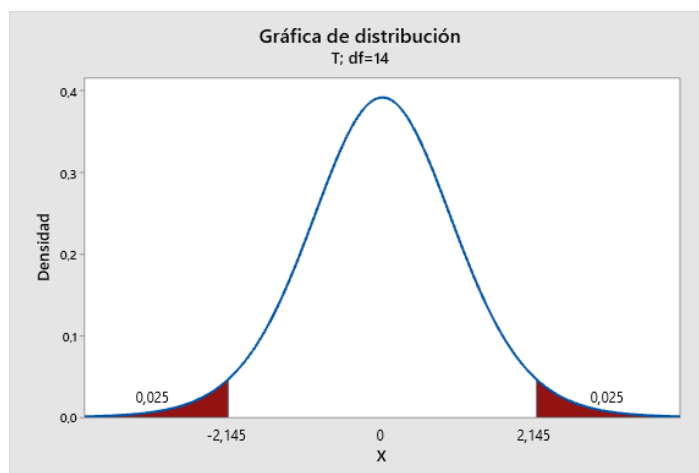
Fuente: Elaboración propia mediante Minitab (setiembre, 2022)

Figura No. 30 Gráfica de probabilidad de los datos.

Según lo obtenido, con un 95% de confianza se observa en la figura No. 30 como los datos se encuentran relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. Además, el valor p es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se acepta que los datos siguen una distribución normal.

Una vez contemplados los datos de la premuestra y conociendo que estos se encuentran distribuidos normalmente, es de vital importancia tomar en consideración el error establecido es de 5% y que la pre muestra es de 15 datos, tal y como se mencionó en el párrafo anterior. En cuanto a la estadística refiere, se utiliza la distribución t student puesto que es la ideal cuando se requiere estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de

la muestra es pequeño. Por tanto, para proceder con el cálculo de la muestra en la figura No. 31, se tiene un 95% de nivel de confianza y 14 grados de libertad.



Fuente: Elaboración propia mediante Minitab (setiembre, 2022)

Figura No. 31 Gráfica de distribución t para la pre muestra.

En efecto, el cálculo de la muestra necesaria para proceder con el respectivo estudio de tiempos por cada operación llevada a cabo en la línea de producción del P/N 1213-1-095-05 se presenta en el cuadro No. 12.

Cuadro No. 12 Cálculo para el tamaño de la muestra n.

Operación	σ (min)	Valor t	Error esperado	Pre muestra	Muestra n	Muestra a tomar
Marcado	0,25	2,15	5	15	2	30
Wind	0,69	2,15	5	15	3	30
Insertado	0,21	2,15	5	15	2	30
Conectado	0,92	2,15	5	15	3	30
Cocido	0,39	2,15	5	15	2	30
Formado	0,17	2,15	5	15	2	30
Impregnado	0,26	2,15	5	15	2	30
Inspección final	0,65	2,15	5	15	3	30
Cableado	0,32	2,15	5	15	2	30
Soldar Hall Devices y Tarjeta	0,42	2,15	5	15	2	30
Añadir PCB al Estator	0,62	2,15	5	15	3	30
Testeo Eléctrico	0,11	2,15	5	15	2	30
Empaque	0,11	2,15	5	15	2	30

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

A causa de lo obtenido en el cuadro No. 12 en el que se aprecia los resultados obtenidos para el cálculo de la muestra, puede apreciarse como dicha cantidad es de un valor muy pequeño, esto debido a las bajas desviaciones calculadas previamente en el cuadro No. 11, lo anterior justifica que el resultado del número de observaciones requeridas sea bajo. Sin embargo, como lo indica Pineda (2019): “el tamaño de la muestra debe definirse partiendo de tomar la muestra mayor posible, por lo que entre más sean las observaciones, más representativa será la muestra y menor será el error”. Por tal razón se decide que la muestra n para todas las operaciones involucradas en la producción del estator 1213 sea de 30, esto con la finalidad que los resultados a obtener sean confiables la muestra n para todas las operaciones involucradas en la producción del estator 1213 es de 30.

2.1. Cálculo del tiempo estándar.

Primeramente, para visualizar el tiempo estándar de cada operación es necesario realizar el cálculo y de primera mano, conocer cuál es el tiempo normal de producción por cada tarea realizada, por lo que en el cuadro No. 13 se da a conocer el valor deseado, es importante aclarar que en cuanto al ritmo de producción, este cambia con respecto a cada operaria debido a que existen diferencias entre cada operaria, considerando que una trabajadora se encuentra más familiarizada a una determinada actividad, para ello se valoró el 90% de ritmo, puesto que el equipo de trabajo especifica que el trabajador es constante pero no tiene prisa alguna, está bien dirigido, no es del todo rápido pero no pierde el tiempo adrede. De la misma manera, otro dato relevante es que algunas operarias cuyo ritmo de producción es bajo se debe en su mayoría a que son de recién ingreso y aun no tienen dominadas las habilidades y la experiencia requerida.

Cuadro No. 13 Cálculo del tiempo normal de producción.

Operación	Tiempo Observado (min)	Ritmo de producción	Tiempo Normal (min)
Marcado	1,33	90%	1,47
Wind	10,36	90%	11,51
Insertado	6,48	90%	7,20
Conectado	12,10	90%	13,45
Cocido	7,23	90%	8,03
Formado	1,38	90%	1,54
Impregnado	1,50	90%	1,67
Inspección Final	7,30	90%	8,11
Cableado	4,37	90%	4,86
Soldar Hall Devices y Tarjeta	7,67	90%	8,52
Añadir PCB al Estator	11,32	90%	12,58
Testeo Eléctrico	3,44	90%	3,82
Empaque	1,31	90%	1,46

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

En cuanto al estudio de tiempos realizado y considerando la cantidad de observaciones calculada se procede a conocer el tiempo estándar para cada una de las tareas realizadas por el operario en la línea de producción. Para efectos de tomar en consideración aquellas variables dentro de una línea de producción que no pueden controlarse, tal y como condiciones del operario³⁰, ambientales³¹ o bien condiciones meramente de la actividad³² requerida. De acuerdo a las opiniones del equipo de trabajo se acuerda ajustar un porcentaje de suplemento de un 18% colocado en el cuadro No. 14.

³⁰ Sexo, posturas incómodas, condiciones fisiológicas.

³¹ Temperatura, humedad, ruido en la celda de producción.

³² Espera de máquinas, peligrosidad o riesgo de accidentes.

Cuadro No. 14 Cálculo del tiempo estándar de producción.

Operación	TN (min)	Suplementos	TE (min)
Marcado	1,47	1,18	1,74
Wind	11,51	1,18	13,58
Insertado	7,20	1,18	8,50
Conectado	13,45	1,18	15,87
Cocido	8,03	1,18	9,47
Formado	1,54	1,18	1,82
Impregnado	1,67	1,18	1,97
Inspección Final	8,11	1,18	9,57
Cableado	4,86	1,18	5,73
Soldar Hall Devices y tarjeta	8,52	1,18	10,06
Agregar tarjeta al estator	12,58	1,18	14,85
Testeo Eléctrico	3,82	1,18	4,51
Empaque	1,46	1,18	1,72
Total	84,21		99,37

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

El valor de suplementos contemplado se justifica bajo la norma OIT, en el anexo No. XX. Todas las operarias son mujeres por lo que se contempla un 7% de necesidades personales, un 4% básico por fatiga, por la naturaleza de que la mayoría de procesos requieren de mucho ojo y siempre debe trabajarse con mucha precisión, de tensión visual se agrega un 2%, deben tener muy claro los criterios para trabajar, también deben estar muy pendientes de las máquinas en el momento que se está trabajando por lo que la tensión mental es de un 4% y el trabajo es bastante monótono así que se agrega un 1%. Si se suma todo eso, justifica el 18% de suplementos utilizado.

2.2. Capacidad de producción.

A saber, según los tiempos estudiados en el cuadro No. 14 para la producción del P/N 1213-1-095-05 se procede a estimar la capacidad de producción actual del proceso no sin antes analizar la jornada efectiva de trabajo descontando el tiempo no productivo y obteniendo así, las horas efectivamente trabajadas por cada operario de las celdas de manufactura en el cuadro No. 15.

Cuadro No. 15 Comportamiento de las horas laboradas.

Tipo	Lunes (horas)	Martes (horas)	Miércoles (horas)	Jueves (horas)	Viernes (horas)
Horas laboradas	10	10	10	10	8
Horas productivas	8,5	8,5	8,5	8,5	6,5
Horas no productivas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

El comportamiento de las horas laborales se ve afectado por las no productivas, las cuales suelen ser actividades que no generan ningún valor agregado al producto final, algunas son los recesos de las operarias para sus respectivos tiempos de comida, paro de la producción para ejercicios manuales, reuniones diarias o completar la documentación para la trazabilidad de cada una de las piezas. Estas actividades pueden verse reflejadas en el cuadro No.16 sobre las actividades no productivas.

Cuadro No. 16 Actividades no productivas.

Tipo de actividad	Tiempo (min)
Tiempos de comida	55
Ejercicios	5
Servicio y agua	10
Documentación	5
Reuniones	5
Preparación de equipo	5
Apagado de equipo	5

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

Lo anterior representa un total de 90 minutos destinados a tareas que no se encuentran vinculadas con la producción, es decir, un total de 1.5 horas por días. Por otra parte, realizando un vínculo con el comportamiento de las horas laborales, en cuanto a la semana de trabajo que abarca de lunes a viernes y se labora un total de 48 horas, 40.5 son horas productivas y 7.5 horas no productivas, estos datos

pueden evidenciarse en el cuadro No.17. De la misma forma, es importante recalcar que estas horas corresponden únicamente a actividades ya programadas en la línea de producción, de las cuáles se saben que como mínimo la línea tiene un tiempo no productivo de 1.5 horas al día, con respecto a tiempos muertos generados por máquinas el tiempo es despreciable, ya que son eventos inusuales dentro de esta de manera que para efectos de cálculos y demás, sólo se considerará el tiempo perdido por actividades programadas y obligatorias.

Cuadro No. 17 Resumen semanal de horas productivas.

Cantidad de horas	Horas por semana
Horas laboradas	48
Horas productivas	40,5
Horas no productivas	7,5

Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022).

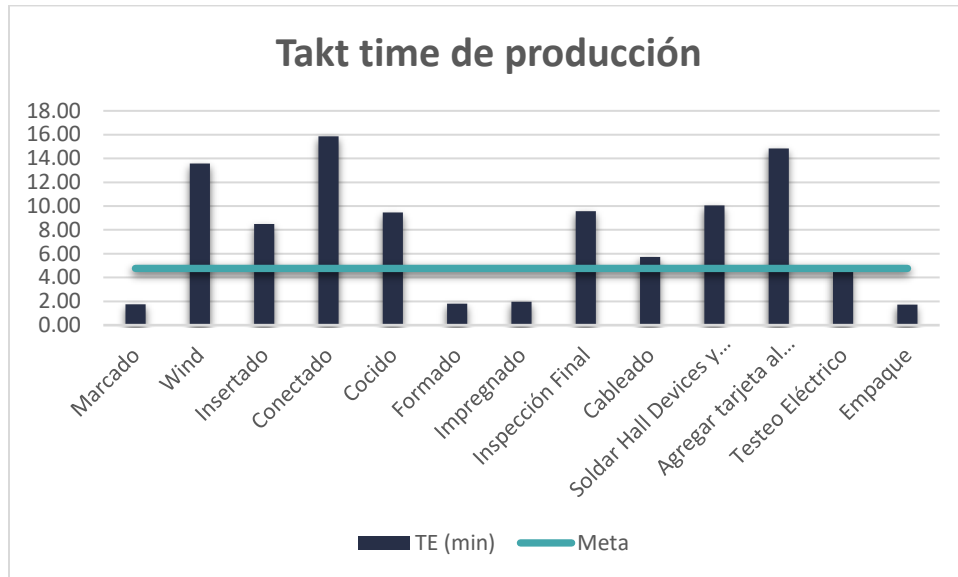
Ahora bien, en cuanto al takt time, dicho término es de mucha utilidad dado que permite analizar la capacidad de la producción de la línea tal y como se refleja actualmente antes de las mejoras implementadas, además de que determina cuál es el ritmo general a nivel de línea. Como bien se sabe, la demanda semanal que requieren los clientes en su fábrica estadounidense es de 510 piezas semanales, las cuales deben ser exportadas todos los viernes sin ninguna excepción a la regla. Para realizar el cálculo es importante desarrollar la ecuación que se muestra a continuación:

$$Takt\ time = \frac{2430\ min}{510\ unidades}$$

$$Takt\ time = 4.76\ min$$

Por consiguiente, el takt time obtenido indica que el ritmo de producción de los estatores 1213 demandados por el cliente es de 4.76 min, este valor debe compararse junto al tiempo estándar de las operaciones productivas para conocer qué tan distante se encuentra el ritmo de producción. En la figura No. 32 se procede a graficar los tiempos de cada una de las operaciones para verificar que no todas

son iguales, de manera que unos operarios tienen a cargo tareas con tiempos muy elevados (como es el caso de PCB) y otros tienen tareas sumamente bajas (marcado, formado, empaque), curiosamente las únicas actividades que mantienen una cadencia similar son cableado y testeo eléctrico. Lo dicho en las líneas anteriores aunado a la interpretación del gráfico evidencia que es importante una correcta optimización de los tiempos de uso general del talento humano.



Fuente: Elaboración propia mediante Excel (setiembre, 2022)

Figura No. 32 Takt time de producción.

2.3. Análisis de productividad.

Con el objetivo de estudiar la eficiencia de la línea de producción que se encuentra trabajando mediante el balance de líneas actual se considera la suma del tiempo estándar de todas las operaciones involucradas en producción, para ello se tiene ecuación 2.5.

$$Eficiencia = \frac{99.37 \text{ min}}{13 \text{ operaciones} * 15.87 \text{ min}} * 100$$

$$Eficiencia = 48.16\%$$

Se determina que la línea de producción presenta un 48.16% de eficiencia, número realmente bajo, esto recalca la importancia de intervenir en la línea del

estator y realizar determinadas mejoras que logren aumentar el nivel de eficiencia lo mayor posible con la misma cantidad de recursos.

De la misma manera, en relación con la producción del estator 1213 la línea trabaja un total de 104 piezas por día en horario normal y 17 unidades en horario extra para un total de 121 estatores. Es importante saber que no todas las unidades saldrán conformes, se estima que, de esas 121 piezas, 19 son producto defectuoso y 102 se encuentran en buen estado, logrando cumplir la demanda diaria, pero requiriendo el pago de horas extra debido a que un 16% de la producción termina con problemas en alguna de las operaciones y estas deben ser debidamente reprocesadas o reportadas como desperdicio.

El cuadro No. 18 refleja la situación actual de la línea de producción en cuanto a las piezas no conformes. Por políticas de la compañía, se reprocesa un 50% del producto mientras que la otra mitad es reportada como desperdicio, afectando el indicador respectivo. Teniendo en cuenta que el costo de fabricación de una pieza es de \$35, se tiene que se desperdician \$317 por día, sobrepasando los \$226 que significa el 1.75% que la gerencia de Tico Electronics permite en cuanto al indicador de scrap.

Cuadro No. 18 Información de la situación actual de la línea.

Causa	Porcentaje	Piezas defectuosas por causa	Piezas reprocesadas	Piezas reportadas "Scrap"	Costo scrap
Cable dañado	23%	4	2,21	2	\$ 77
Desalineación de la PCB	17%	3	1,64	2	\$ 57
Hilo Magnético dañado	15%	3	1,44	1	\$ 51
FOD	15%	3	1,44	1	\$ 51
Falla en Ke	10%	2	0,96	1	\$ 34
Inductancia alterada	10%	2	0,96	1	\$ 34
Resistencia alterada	6%	1	0,58	0	\$ -
Stack dañado	4%	1	0,38	0	\$ 13
Total	100%	19	9,62	9	\$ 317

Fuente: Elaboración propia mediante información facilitada por el Departamento de Calidad (setiembre, 2022).

Con la intención de sintetizar los términos de producción de la línea, se presenta el resumen de los datos en el Cuadro No. 19.

Cuadro No. 19 Resumen de la producción actual del estator.

Descripción	Cantidad
Total de piezas (Jornada laboral)	104
Total de piezas (Jornada extra)	17
Total de piezas	121
Producto conforme	102
Producto no conforme	19
Producto retrabajado	10
Producto desperdiciado	9

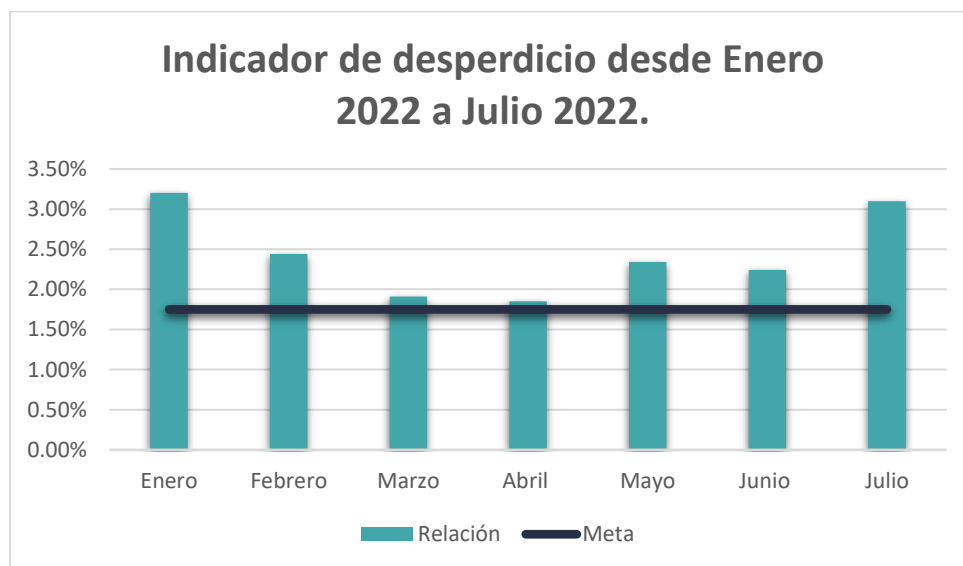
Fuente: Elaboración propia mediante información facilitada por el Departamento de Calidad (setiembre, 2022).

3. Información de desperdicios.

El departamento de calidad de Tico Electronics demanda a cada línea de producción realizar un reporte de desperdicios al finalizar la jornada laboral, en este se detallan aspectos como la fecha, línea de trabajo, código del producto final, código del componente y causa o defecto que presenta la pieza, entre todos datos. Dicho indicador corresponde a un 1.75% del total de exportaciones (este dato dependerá de la línea de producción en la que se está trabajando) por lo que cada división tiene su margen económico permitido.

Para el caso de la división de Novanta, justo como se observa en la figura No. 33 no ha logrado cumplir la meta mensual de scrap desde el pasado mes de enero e inclusive, se evidencia como existe una alza importante en los meses de mayo, junio y julio, dicha tendencia va en relación con el aumento de las causas asignadas a la línea de producción del estator 1213-1-095-05 y es que, es importante realizar mención nuevamente que este producto es el número de parte estrella de la división,

cuenta con características significativas como que es la pieza con mayor demanda, con un alto costo de venta por lo que cuanto más se produzca, mayor cantidad de desperdicios se generan y aunque si bien es cierto que la meta es respecto a las exportaciones y que si estas aumentan, también representa un aumento del límite de scrap permitido. Sin embargo, el monto reportado en los últimos meses supera la relación de producción y desperdicios.



Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Departamento de Calidad (setiembre, 2022).

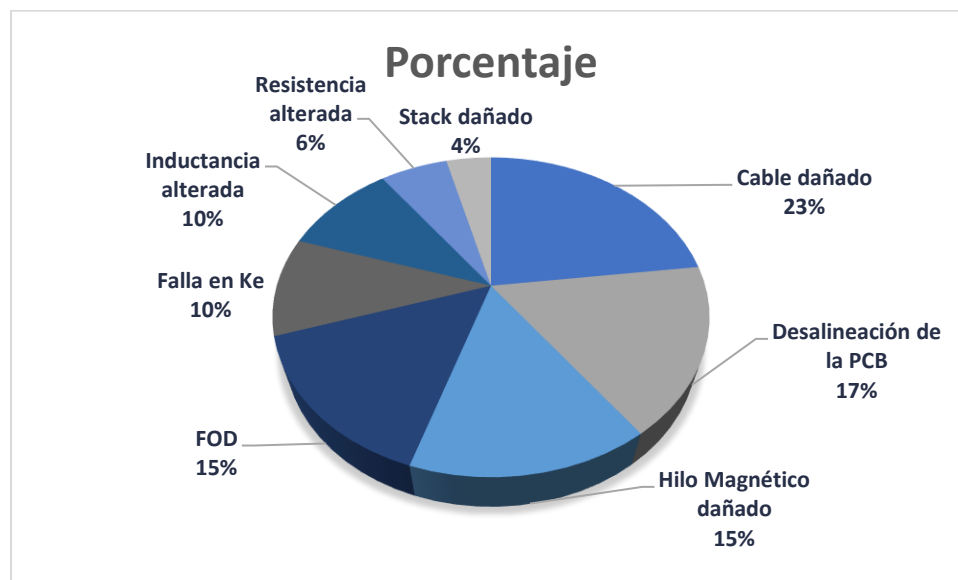
Figura No. 33 Indicador de Scrap, Novanta.

En síntesis, la medición del indicador se obtiene de la relación del número de piezas defectuosas sobre el total de partes producidas durante el periodo comprendido entre enero de 2022 a agosto de 2022 que se muestra en la figura No. 33 se observan porcentajes de rechazo entre 2% y 3% que se consideran fuera del rango de cumplimiento definido por la gerencia de la empresa.

Para conocer un aproximado del valor económico del desperdicio de la línea de producción por mes y según la información de desperdicio mencionados en la figura No. 33, cuyo promedio de estos datos es de 2.44% mientras que la media de exportaciones es de \$280455 por lo que realizando el cálculo respectivo se tiene que mensualmente la línea de producción del estator 1213-1-095-05 desperdicia

alrededor de \$6845, cantidad que sobrepasa la meta establecida por la gerencia de la empresa, lo que enciende las alarmas a nivel del departamento de calidad y manufactura puesto que el monto es un claro indicador de que algo en el proceso no se encuentra bien y que este debe ser mejorado en búsqueda de que el porcentaje de desperdicio disminuya.

A propósito del análisis de la situación de la división Novanta respecto al indicador de desperdicios, se procede a fraccionar el desperdicio con el fin de determinar cuáles son los puntos críticos y cuál es el porcentaje de scrap relacionado a cada uno de estos. En la figura No. 34 se demuestra que en la producción del ensamble final del estator existen factores claves y que una falla en el proceso de elaboración de estas, representa una pérdida de material, reproceso y desperdicio de las piezas, esto según información facilitada por el sistema ERP³³ de la empresa.



Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Departamento de Calidad (setiembre, 2022).

Figura No. 34 Porcentaje de causas asignadas al desperdicio, Novanta.

³³ Sistema de planificación de recursos empresariales.

La figura No. 34 denota porcentualmente los datos obtenidos de Exactus³⁴, dicha información además es validada y expuesta en reuniones semanales entre el ingeniero de calidad, program manager y demás ingenieros de manufactura de la línea. Para el entendimiento del lector, el cuadro No. 20 explica detalladamente la condición de rechazo de cada causa asignada al desperdicio.

Cuadro No. 20 Descripción de las causas asignadas al desperdicio.

Defecto	Descripción	Imagen
Hilo Magnético	Suele aparecer como hilo magnético con rayas, dicho defecto es condición de rechazo para el cliente. Puede surgir por mal uso del bisturí o que la pieza sea mal almacenada.	Ver fotografía en Anexo No. 04
Stack dañado	Generalmente surge porque las láminas del stack se desprenden, esto por algún golpe ocasionado o una caída del material.	Ver fotografía en Anexo No. 05
Cable dañado	Cable majado o dañado en el proceso.	Ver fotografía en Anexo No. 06
FOD	Presencia de suciedad, pelos, cualquier residuo que no sea propio de los materiales de la pieza.	Ver fotografía en Anexo No. 07
Desalineación de la PCB	No se realiza el proceso de soldar la tarjeta correctamente.	Este defecto se evidencia mediante pruebas eléctricas. (Estéticamente la pieza no se ve afectada)
Inductancia alterada	Valor fuera del rango de inductancia permitido. El proceso de conectado se realizó incorrectamente.	Este defecto se evidencia mediante pruebas eléctricas. (Estéticamente la pieza no se ve afectada)
Falla en Ke	Valor no admitido por las pruebas eléctricas.	Este defecto se evidencia mediante pruebas eléctricas. (Estéticamente la pieza no se ve afectada)
Resistencia alterada	Valor fuera del rango de resistencia permitido. El proceso de insertado se realizó incorrectamente.	Este defecto se evidencia mediante pruebas eléctricas. (Estéticamente la pieza no se ve afectada)

Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por la línea de producción (setiembre, 2022).

³⁴ Sistema ERP utilizado en Tico Electronics.

4. Datos de horas extra pagadas.

A razón del bajo nivel de eficiencia presentado por la línea de producción, la empresa incurre en el pago de horas extra a sus operarios, en diferentes celdas de producción acorde a como se requiera puesto que la demanda semanal no se logra cumplir sólo produciendo las 48 horas laborales, sino que es necesario contratar horas extra al personal, la figura No. 35 muestra un gran aumento de los meses mayo, junio, julio y agosto.



Fuente: Elaboración propia mediante información suministrada por el Departamento de Contabilidad (setiembre, 2022).

Figura No. 35 Horas extra pagadas durante el 2022

Las horas extras acumuladas representan un factor importante dentro de los gastos operativos de la organización, sólo en la línea de producción del estator 1213-1-095-05 del mes de enero al mes de agosto ha requerido 4555 horas extra, esto significa un monto estimado de \$16305. Si bien es cierto que ayudan a la empresa a cumplir con la demanda de trabajo semanal, puede incurrirse en insatisfacción laboral además de un gasto innecesario dado que la compañía puede contar con los recursos necesarios para satisfacer la demanda de 510 unidades.

Dicha situación es alarmante para la gerencia, aunque en un principio todas las horas extra realizadas por el personal de High Volume estaban dentro de la cotización al proyecto 1213, de manera que el cliente sufragaba dichos gastos. Sin embargo, a inicios del mes de julio la empresa estadounidense Novanta decidió no

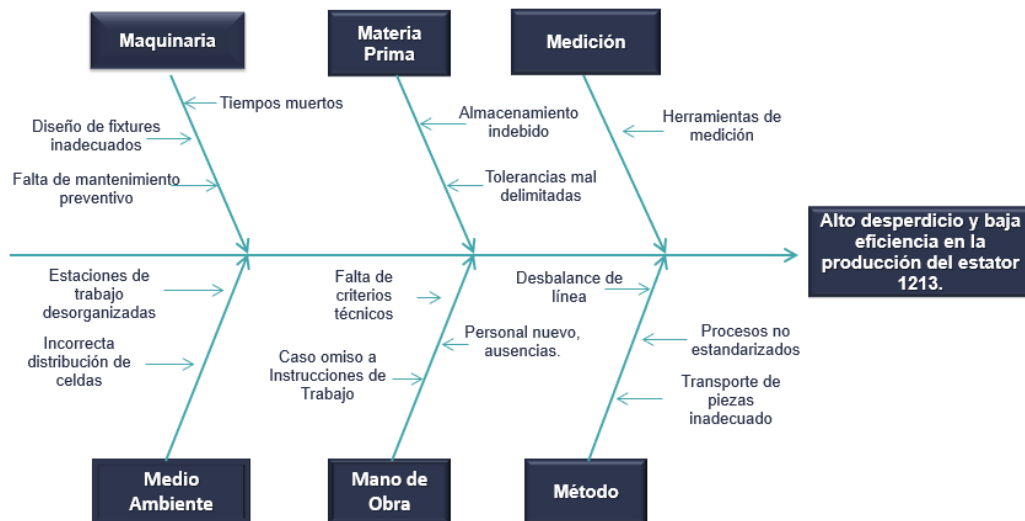
cubrir más el pago de las horas extra por lo que el monto económico cancelado le corresponde a Tico Electronics, de manera que la gerencia desea reducir la cantidad de extras trabajadas.

Analizar

1. Identificación de causas.

En principio, con el propósito de identificar y determinar el impacto de las causas relacionadas a la problemática, se establece un equipo de trabajo constituido previamente en el cuadro No. 8, este grupo tiene la responsabilidad de desarrollar lo que conlleve una lluvia de ideas para obtener una lista de posibles causas asignadas al problema. La idea de combinar el equipo de ingenieros y operarios es que trabajen juntos en busca de ideas y soluciones, prevaleciendo el criterio ingenieril, técnico y la experiencia, aporte importante de los operarios de producción dado que trabajan con la pieza en su cotidianidad.

Se obtuvo un total de 14 posibles causas que impactan negativamente al problema. Dichas fueron tomadas en consideración para la ejecución del diagrama Ishikawa en la figura No. 36, además de que el equipo de trabajo clasificó cada una dentro de los posibles factores: Maquinaria, Materia Prima, Medición, Medio Ambiente, Mano de Obra y Método.



Fuente: Elaboración propia y en conjunto con el equipo de trabajo (setiembre 2022).

Figura No. 36 Ejecución del Diagrama Ishikawa.

A continuación, se muestra la justificación de cada una de las causas encontrada. En relación a la clasificación de los factores del diagrama Ishikawa.

Maquinaria.

- Diseño de fixtures inadecuados: Cuando en la línea de producción las herramientas diseñadas o enviadas por el cliente no tienen un comportamiento adecuado o bien, no son funcionales.
- Falta de mantenimiento preventivo: Puede que los hornos de curado y secado de las piezas después de impregnante se desprogramen y aumenten la temperatura de calefacción por falta de calibración y control de metrología.
- Tiempos muertos: Es consecuencia de la anterior, dado que al fallar una máquina se detiene la producción por un período de tiempo mientras se reemplaza.

Materia Prima:

- Almacenamiento indebido: El material es de mucho cuidado y las personas que están a cargo de este no tienen los criterios o condiciones válidos. Este problema puede suceder en el departamento de recibo o bien, en la línea de producción.
- Tolerancias mal delimitadas: Esta causa refiere a que en muchas ocasiones el material que se recibe por parte del proveedor no se encuentra en condiciones excelentes, sin embargo, este es aceptado dado que las tolerancias de aceptación están mal definidas.

Medición:

- Herramientas de medición: Herramientas sin calibrar, reflejando resultados incorrectos en las dimensiones requeridas por el dibujo de ingeniería.

Medio Ambiente:

- Estaciones de trabajo desorganizadas: Riesgo de desperdicios, pérdida de tiempo buscando herramientas o inclusive extravíos de materiales en la línea de producción.

- Incorrecta distribución de celdas: Las celdas de producción no están distribuidas acorde a la necesidad de cada una de las operaciones.

Mano de Obra:

- Falta de criterios técnicos: No existe una homologación de criterios por parte de toda la línea de producción por lo que no se determina cuándo un material es aceptado o rechazado según su condición.
- Caso omiso a instrucciones de trabajo: La documentación en la línea pasa inadvertida por las operarias, quienes realizan sus operaciones al gusto y experiencia de cada una sin antes observar algún cambio en el proceso.
- Personal nuevo, ausencias:

Método:

- Desbalance de la línea: Falta de conocimiento del tiempo de cada una de las operaciones, cargas de trabajo desiguales que no satisfacen los requerimientos de producción.
- Procesos no estandarizados: En el equipo de trabajo no existe una implantación precisa del método de producción. No hay empleados encargados de responsabilidades específicas, así como que cada procedimiento se realiza de acuerdo a cada operaria, cuando en realidad debería de ser que cada operaria trabaje de acuerdo al proceso.
- Transporte de piezas inadecuado: Las piezas viajan de celda a celda descuidadas, algunas sin su propia bolsa de empaque lo que genera que el mínimo contacto con algún material rugoso raspa el hilo magnético de las piezas.

2. Priorización de causas.

En vista de que existe una gran cantidad de causas asignadas a la problemática real de la empresa, se busca priorizar aquellas causas que tengan un mayor impacto ejecutando la técnica de multivoto con el propósito de tomar en cuenta la destreza de cada uno de los miembros del equipo de trabajo. Dicho esto, se procede a realizar la escala de calificación que se muestra en el cuadro No. 21 en dónde 5 es el nivel más alto que pueden otorgar en cuanto al impacto que tiene la causa a la

problemática de la empresa y 1, es la puntuación más baja en dónde se cree que la causa no afecta al problema en cuestión.

Cuadro No. 21. Escala de calificación para técnica Multivoto.

Calificación	Nivel de Importancia
5	Alto impacto
4	Impacto considerable
3	Neutral
2	Poco impacto
1	Nulo impacto

Fuente: Elaboración propia (setiembre, 2022).

Seguidamente, una vez se comprende la escala de calificación por parte del equipo de trabajo se procede a solicitar que cada uno de los miembros realice la votación de manera objetiva para luego recolectar los datos y presentar en la técnica de multivoto del cuadro No. 22.

Cuadro No. 22. Técnica Multivoto aplicada.

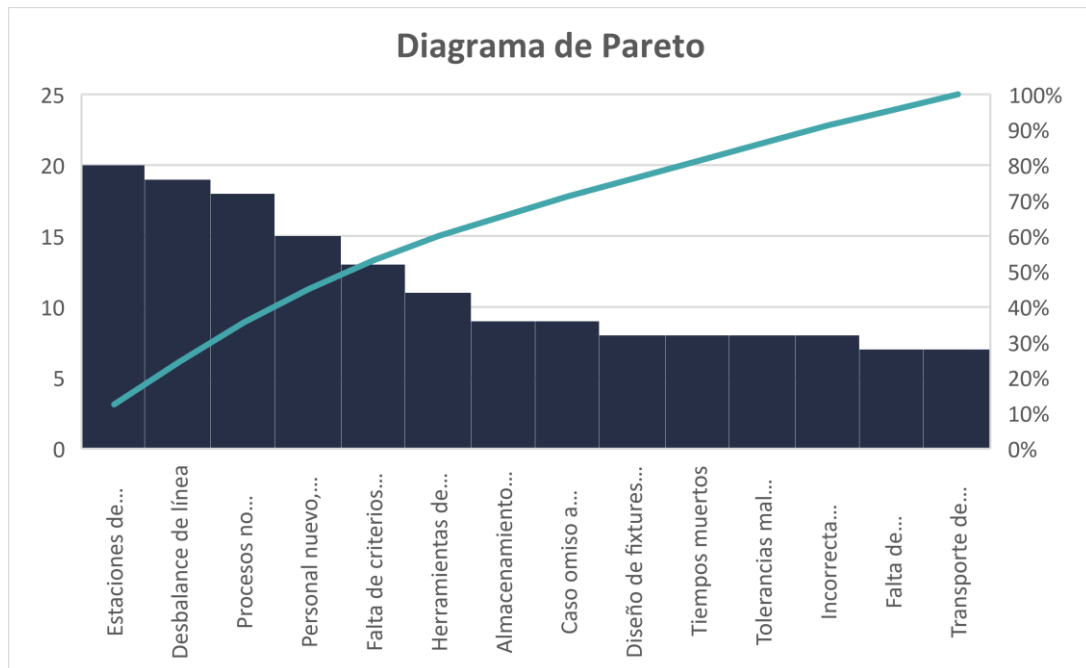
Causa asignada	Program Manager	Ingeniero de Manufactura	Ingeniero de Calidad	Operarios	Total
Diseño de fixtures inadecuados	3	2	1	2	8
Falta de mantenimiento preventivo	2	2	2	2	8
Tiempos muertos	2	3	1	3	9
Almacenamiento indebido	3	2	3	3	11
Tolerancias mal delimitadas	1	1	3	3	8
Herramientas de medición	2	2	3	4	11
Estaciones de trabajo desorganizadas	5	5	5	4	19

Incorrecta distribución de celdas	2	1	2	3	8
Falta de criterios técnicos	2	4	5	2	13
Caso omiso a instrucciones de trabajo	3	2	3	1	9
Personal nuevo, ausencias	3	4	3	3	13
Desbalance de línea	5	4	4	3	16
Procesos no estandarizados	5	5	4	3	17
Transporte de piezas inadecuado	2	2	2	3	9

Fuente: Elaboración propia (setiembre, 2022).

De esta manera y gracias a la aplicación de la técnica multivoto realizada en el cuadro No. 22 la cual reúne el criterio del equipo que constituye el desarrollo del proyecto, se logra la priorización de 3 principales causas que generan un alto impacto en la problemática de la capacidad de producción actual o baja eficiencia y el no cumplimiento de la meta de scrap establecida. Estas fueron: estaciones de trabajo desorganizadas, proceso de producción no estandarizado, desbalance de la línea.

La herramienta aplicada anteriormente muestra una referencia adecuada en cuanto a la perspectiva en la que debe basarse cada una de las propuestas de solución, por tal razón se decide hacer uso del diagrama de Pareto, utilizando la herramienta en la figura No. 37 con la intención de modelar los resultados expuestos en el multivoto de forma perspicaz y así llegar a una conclusión de manera objetiva en cuanto a las problemáticas presentadas.

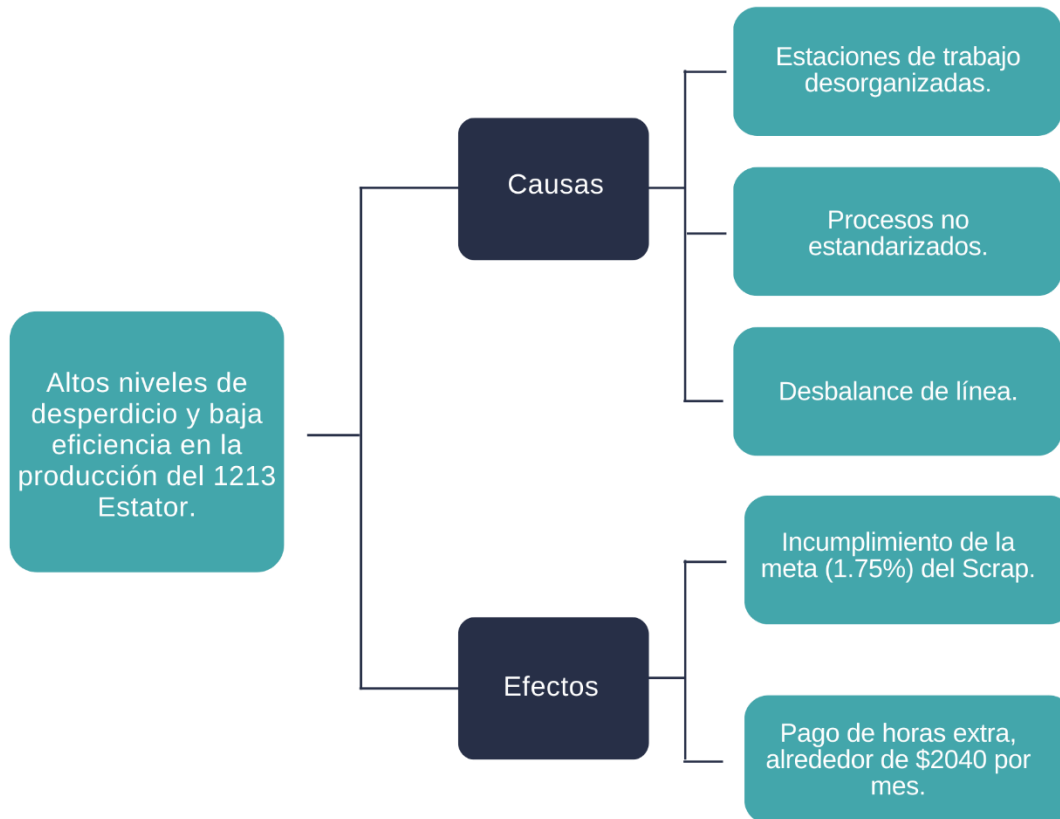


Fuente: Elaboración propia (setiembre, 2022).

Figura No. 37 Diagrama de Pareto aplicado a la problemática de la empresa.

En cuanto al diagrama expuesto, se muestra que, del total de las causas relacionadas a la problemática actual, si bien es cierto como se observa en la figura No. 36 las primeras 8 de las 14 causas obedecen al 80% del impacto en el problema. Para efectos de la ejecución del proyecto, a nivel del equipo de trabajo se acuerda plantear solución a los primeros 3 factores del Pareto.

Para concluir este capítulo, se muestra la información sintetizada en la figura No. 38 en la que se aprecia cuáles son las principales causas de la problemática, así como los efectos generados en la línea de producción dado que el problema representa una importante pérdida de dinero.



Fuente: Elaboración propia (setiembre, 2022).

Figura No. 38 Causas y efectos de la problemática presentada.

V. CONCLUSIONES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

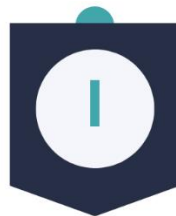
Este capítulo se desarrolla con la finalidad de explicar las conclusiones obtenidas una vez finalizado el Diagnóstico de la Situación Actual. A continuación, se presentan las deducciones realizadas:

- Se desarrolla una muestra de 30 con tal de que los resultados presentados sean significativos, además de que con el estudio de tiempos realizado y ese número de observaciones, el tiempo obtenido de 99.37 minutos es confiable para la ejecución de estimaciones de capacidad y cualquier otro análisis requerido.
- Se concluye del diagrama de Pareto expuesto en la figura No. 37 que las principales causas que repercuten en el problema de la baja eficiencia y la alta cantidad de desperdicio es el desorden en las estaciones de trabajo, falta de estandarización de los procesos y la falta de un correcto balanceo de líneas. De manera que las propuestas de solución deben ser planteadas con la idea de solventar los inconvenientes presentados por dichas causas.
- El equipo de Novanta no logra cumplir el indicador durante los meses de enero a julio, esto representa que la producción del estator 1213 de la división de High Volume supera en al menos el límite de scrap permitido, que corresponde a un 1.75% es decir que los desperdicios en la fabricación de este número de parte superan los \$1175 mensuales.
- Durante el primer semestre del 2022, la línea de producción desperdicia mensualmente cerca de \$6845 exclusivos de la producción del 1213, reflejando así que la fabricación de este número de parte debe ser intervenida para mejorar la situación del desperdicio.
- Novanta representa un 33% de las ventas de Tico Electronics, esto refleja que la división de High Volume tiene la obligación de cumplir la exportación para que, a cierre de mes, en cuanto a la relación de exportaciones de toda la empresa sea estable. Una caída en la producción de los números de parte de este equipo sería drástica para el capital de la compañía.

- El takt time de la línea de producción supera por poco los 5 minutos por unidad, no obstante, sólo dos operaciones se encuentran cerca de este monto. Lo dicho anteriormente refleja la necesidad de un balance de líneas para bajar las tareas con tiempos de proceso elevados y nivelarlos a nivel de línea.

VI. SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO

En el presente capítulo se desarrolla la etapa de mejorar, por medio del planteamiento de soluciones a la problemática expuesta y causas identificadas en el diagnóstico de la situación actual. En la figura No. 39 se expone la formulación del apartado, así como herramientas que se utilizan para cada una de las propuestas elaboradas.



MEJORAR

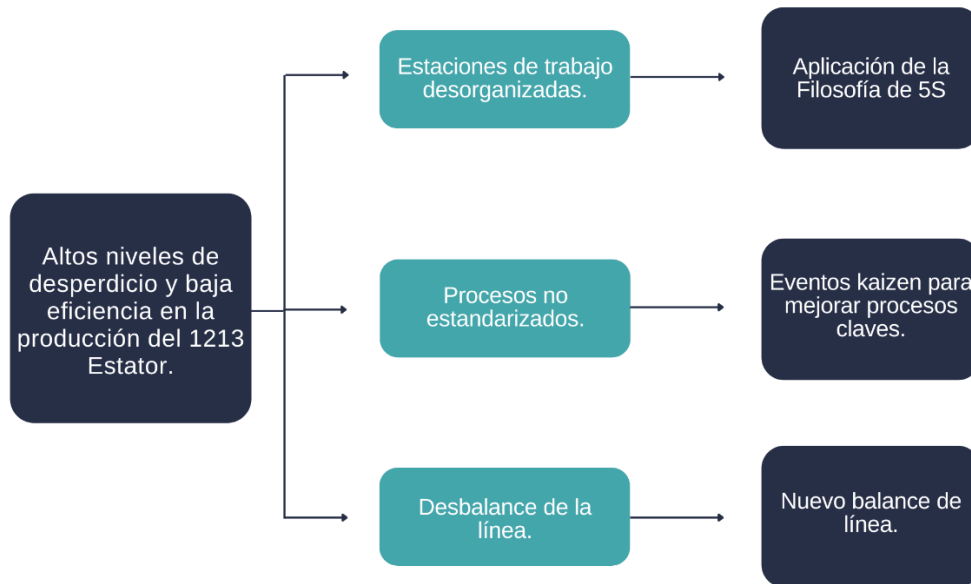
1. Filosofía de 5S
2. Eventos Kaizen para mejorar procesos claves
3. Nuevo balance de línea



Fuente: Elaboración propia mediante la plataforma de Canvas (setiembre, 2022).

Figura No. 39 DMAIC aplicado a Soluciones al Problema Planteado.

Ahora bien, realizando un enfoque a las propuestas de solución definidas en conjunto con el equipo de trabajo y según la problemática presentada en el capítulo correspondiente al diagnóstico de la situación actual, en la figura No. 40 se expone de manera resumida cuáles serán las mejoras presentadas según cada causa identificada.



Fuente: Elaboración propia mediante la plataforma de Canvas (setiembre, 2022).

Figura No. 40 Diagrama relacional de causas identificadas y propuestas de solución.

1. Aplicación de la filosofía de 5S en la línea de producción.

En búsqueda de generar una mayor garantía del aumento de la productividad de los operarios, así como también de retomar la cultura Lean, en este punto se presenta la propuesta de la filosofía de las 5S, la cual es la base de todas las herramientas de la manufactura esbelta. Dicha propuesta se formula bajo las siguientes premisas.

Formación a la línea de producción:

A la hora de implementar la metodología de las 5S en la línea de producción y para efectos de brindarle sostenibilidad a lo largo del tiempo a dicha propuesta, es necesario primero capacitar a todo el personal que corresponde a producción, puesto que el fin en mente es que los trabajadores se apropien de dicha filosofía y empiecen a generar cultura organizacional sobre este tema, para que así sin importar el ingreso de nuevos operarios, estos tengan un proceso de adaptación más ligero y accesible, es por esto que se plantea un cronograma de capacitación en el cuadro No. 23.

Cuadro No. 23 Cronograma de capacitación 5S al personal de la línea.

Ítem	Temas	Objetivo	Calendario
1	Presentación de la metodología de trabajo	Formar un enfoque holístico en los operarios.	Día 1
2	¿Cuál es la filosofía de las 5S? ¿Qué se pretende?	Enseñar la importancia y la necesidad de implementación en la línea.	Día 1
3	Primera S: <i>Seiri</i>	Brindar la definición, alcance, beneficios y procedimientos de implementación.	Día 2
4	Segunda S: <i>Seiton</i>		Día 2
5	Tercera S: <i>Seiso</i>		Día 3
6	Cuarta S: <i>Seiketsu</i>		Día 3
7	Quinta S: <i>Shitsuke</i>		Día 4
8	Aplicación de la herramienta en ejemplos de la línea	Empoderar a las operarias de producción, quienes serán pieza clave en el proceso de implementación de esta herramienta.	Día 5

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Las sesiones dan inicio al comienzo de la jornada laboral con una duración aproximada de 30 minutos por día. Dado que este tiempo de capacitación se lleva a cabo en la jornada laboral de la empresa, se decide dividir la presentación en 4 días esto para no afectar las labores productivas de la línea.

Propuesta de implementación de la herramienta:

Una vez concluida la capacitación al personal, se empieza a desarrollar el siguiente punto con la propuesta de implementación en el que se detalla las necesidades de cada S en particular.

Primeramente, para la aplicación de *Seri*, la cual consiste en clasificar y eliminar lo innecesario en la estación del trabajo es obligación separar cada herramienta que si se utilizará de las que no, puesto que es muy común que en la línea se mantengan herramientas cuya funcionalidad no es la mejor, sin embargo estas no han sido retiradas, el uso de estas puede ser una potencial causa de scrap, por ejemplo que alguna cortadora no tenga el filo correcto y que termine dañando el hilo magnético de la pieza trabajada por fuerza desmedida de la operaria, la cual sólo busca cortar algunos componentes pero como la cortadora está en malas condiciones, necesita ejercer más fuerza de lo acostumbrado.

En cuanto al orden de la estación de trabajo y la línea de producción, se encuentra Seiton, que busca ordenar los recursos de acuerdo a su utilización para así encontrar herramientas, materiales o algún otro elemento necesario de una manera más accesible y evitar tiempos muertos. Por tal razón, los operarios deben acomodar sus materiales de trabajo pensando en que se utilice lo necesario en el momento requerido, evitando así cualquier tipo de desperdicio.

De la misma manera y en relación con el orden, la limpieza siempre debe estar presente, de esto consiste Seiso. Es vital que en todos los procesos de producción de Tico Electronics no exista ningún tipo de FOD³⁵ (Foreign object damage) lo que en español quiere decir residuos de objetos no deseables en la línea de producción, tal y como pelos, basura, polvo, suciedad, entre otros.

La idea del equipo de trabajo, es que en cuanto a la limpieza se desarrolle la filosofía de siempre mantener el espacio de trabajo limpio, básicamente una relación entre producir, entregar, limpiar y que nuevamente el ciclo se repita puesto que los procesos lo ameritan. Si bien es cierto es un requisito que todas las celdas de producción se mantengan limpias, las operaciones de impregnante y empaque requieren de una mayor atención por la naturaleza del proceso, la primera dado que se utiliza un químico y este suele dejar residuos en el espacio de trabajo que pueden traducirse en FOD y la segunda puesto que es el paso final antes de que se declare finalizada la producción.

Para concluir la tercera S, es notable mencionar que los trabajadores deben adoptar el proceso de limpieza no sólo por un tema de estética, sino con un trasfondo más significativo y es el de desarrollar una rutina de inspección que le permita prevenir desperdicios.

En resumen, la cuarta s tiene como fin reafirmar las primeras tres por medio de la estandarización de estas para garantizar que el efecto permanezca con el pasar del tiempo. Es por esto que se gestan las condiciones necesarias para favorecer al ambiente y el espacio de trabajo, manteniendo este limpio y organizado por medio

³⁵ Término utilizado en la industria para referirse a objetos que corresponden a restos de objetos extraños.

del establecimiento de métodos estandarizados y una lista de actividades por hacer (ver Apéndice No. 01) que le permitan y recuerden a la operaria sus requerimientos.

Finalmente, la fase que corresponde a la disciplina de la línea de producción en relación con la propuesta tiene la intención de desarrollar un hábito los métodos estandarizados y a su vez, implementar la cultura de autocontrol que signifique la permanencia de esta filosofía en la empresa. Por tal razón se forma un equipo de trabajo en el cuadro No. 24, con la idea de ejercer como un comité para asegurar tanto la correcta implementación y brindar sostenibilidad a la propuesta.

Cuadro No. 24 Comité de las 5S.

Miembro	Responsabilidad
Program Manager	Dirección del equipo de trabajo. Aprobar solicitudes de mejoras.
Planner	Asegurarse de que los material handlers tengan las condiciones necesarias para el cumplimiento de la propuesta.
Ingeniero de Manufactura	Asegurarse de que la línea de producción tenga las facilidades requeridas para la implementación.
Ingeniero de Calidad	Auditar la línea de producción para el control del cumplimiento de la propuesta. Detección de mejoras.
Inspector de Calidad	Auditar la línea de producción para el control del cumplimiento de la propuesta. Detección de mejoras.

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

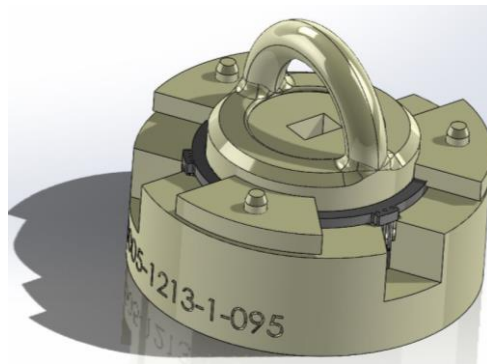
Asimismo, se plantean auditorías internas y externas a nivel de la división de High Volume con la finalidad de conocer si se está ejerciendo la metodología implementada de la manera correcta. Dicha audiencia se lleva a cabo de acuerdo a la hoja de evaluación de las 5S basada en la línea de producción (ver Apéndice No. 02) y se ejecuta con una periodicidad de al menos una vez por mes, además es indispensable transmitir la importancia de esta filosofía aplicada al personal, considerando esta aplicación como parte de las actividades diarias de las operarias.

2. Eventos Kaizen para la mejora de procesos claves.

En cuando a la segunda propuesta y en el caso específico de celdas de producción que contienen operaciones que se traducen en un cuello de botella para la línea, se decide realizar mejoras en algunos procesos significativos en cuanto al tiempo estándar de la producción semanal del estator 1213. A continuación, se presentan las mejoras realizadas, así como la respectiva estandarización de operaciones:

- Mejora del proceso de soldar el Hall Device y la tarjeta:

Esta tarea se desarrolla en la celda de producción, la mejora diseñada busca facilitarles el trabajo a las operarias encargadas de soldar cada uno de los halls devices, así como pegar la tarjeta al estator, con esto se tendría una reducción en el tiempo de ciclo y se espera también la reducción de desperdicios asignadas a la causa de “Desalineación de la PCB” la cual incide en el indicador con un total de 17% del monto total de scrap expuesto en la figura No. 34. Con la intención de brindar solución a este problema, se expone en la figura No. 41 la propuesta del fixture de PCB para facilitar el trabajo de las operarias.



Fuente: Elaboración propia mediante SolidWorks (setiembre, 2022).

Figura No. 41 Presentación del fixture para PCB.

Este fixture tiene como objetivo que tanto los halls devices como la tarjeta queden fijos a la hora de realizar la soldadura, puesto que con el método de trabajo actual la operaria debe ejercer presión para mantener los materiales con una mano y con la otra realizar el proceso de soldadura. De manera que la creación de esta

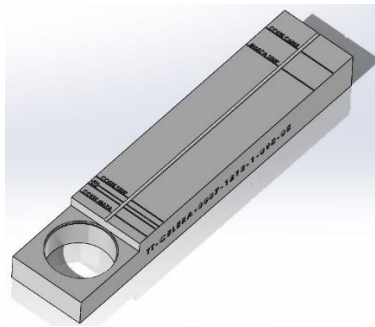
herramienta pretende brindarle a la operaria una mayor rigidez sobre la tarjeta, evitando así que esta se mueva y conduzca a un error en la alineación de la misma.

- Mejora del corte de cable:

En el área de cableado se desarrolla el proceso de corte de cable, en el cual este ya se encuentra adherido al ensamble final y lo que se realiza es que se corta el cable a cierto largo para que el estator pueda satisfacer los requerimientos del cliente, el cual es que el cable de la pieza no exceda los 30 cm.

El proceso en cuestión, actualmente se desarrolla por medio de una regla en centímetros, la cual es normal y también tiene algunas marcas hechas por las mismas operarias para indicar a qué largo debe cortarse. Sin embargo, con el pasar del tiempo y con tanto uso, esta regla se ha ido deteriorando y las marcas cada vez van desapareciendo lo que genera que la operaria tenga que estar identificando cada distancia para el corte, e inclusive en muchas ocasiones se ha desarrollado el proceso de manera incorrecta, cortando el cable a un menor largo de lo indicado, esto conlleva a que el material sea desechado y se reporte en el sistema de desperdicios como “Cable dañado”, el cual tiene un 23% del promedio de desperdicios de la línea.

De igual forma que el fixture anterior, se realiza el diseño de una herramienta que simule la funcionalidad de la regla pero que esta logre mantenerse visible a pesar de tanto uso, por lo que en la figura No. 42 se muestra el diseño previo de cómo quedaría el fixture.



Fuente: Elaboración propia mediante SolidWorks (setiembre, 2022).

Figura No. 42 Presentación del fixture para Cableado.

- Mejora del secado del tubing:

En la misma estación de trabajo del punto anterior, esta operaria además de cortar el cable debe añadir el tubing a este, el cual es un pequeño trozo de hule que tiene la función de cubrir el cable en ciertas áreas específicas. El procedimiento para que el tubing logre adherirse correctamente al cable debe ser por medio de un calentamiento del hule de manera que le permita a este encogerse y adaptar la forma del cable.

En cuanto al mejoramiento, se justifica dado que en la línea de producción no existe una igualdad de secado del tubing por parte de las operarias, puesto que si llega una nueva operaria queda a decisión de la misma cómo realizar el encogimiento del tubing. Para ello, con ayuda del equipo de trabajo se realizan pruebas de control de las variables de temperatura, distancia y tiempo. Estas son de mucha importancia puesto que, para una estandarización, se debe seleccionar la temperatura de calentamiento suficiente para que el tubing se encoja, pero no más de la cuenta ya que genera un daño al cable porque en caso de que se caliente de más, el material del tubing se va desprendiendo y empieza a soltar un pequeño líquido alrededor del cable, esto es condición de rechazo para el cliente y la pieza debe rechazarse y reportarse como scrap.

Mediante pruebas de resistencia al calor, se acuerda que las variables deben ser las presentadas en el cuadro No. 25.

Cuadro No. 25 Variables asignadas para el calentamiento estandarizado del tubing

Variable	Valor
Temperatura	A 110°C, lo mismo que un nivel de potencia 5 en la secadora utilizada.
Distancia	El tubing debe permanecer a 5cm de la salida de calor.
Tiempo de secado	Se debe calentar en un rango de 5 a 8 segundos.

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

- Mejora del almacenaje de las piezas:

Finalmente, si bien es cierto el almacenaje de las piezas trabajadas no es una operación que realiza una operaria en específico, sino que todas deben considerarlo como un proceso o tarea dentro de sus responsabilidades. De esta manera, se tiene que en la línea de producción se desarrolla un flujo continuo y dado que el proceso productivo presenta cuellos de botella, en algunos casos se tiene que una operación retiene demasiadas piezas por trabajar.

Actualmente, la empresa mantiene dentro de sus respectivas celdas de producción una cantidad disponible de bins por proceso, en la que las operarias pueden guardar la pieza al ser trabajada, sin embargo en las operaciones cuyo tiempo estándar supere el takt time se almacenan más piezas de las cuentas por lo que se necesita recurrir a guardar las piezas una encima de otra, esto conlleva a que el stack de la pieza de arriba, al ser metálico y de peso, se sienta sobre el hilo magnético de la pieza de abajo y termine generando rayaduras en el hilo que al final a la hora de realizar el testeo eléctrico o inspección final, estas piezas no son conformes y deben rechazarse por motivo del “hilo magnético dañado”, que tiene un porcentaje de 24%.

3. Nuevo balance de línea para la producción del estator 1213.

Tras haber determinado la problemática de la línea de producción y luego del análisis realizado dentro del capítulo correspondiente al diagnóstico de la situación actual, es posible garantizar que el problema se sitúa también en el desbalance de la producción, lo cual se puede ver reflejado en la necesidad de horas extra para el cumplimiento de la demanda semanal. En síntesis, una productividad inadecuada que imposibilita la adecuada satisfacción de las partes interesadas.

Como medida de solución ante dicho desbalance, se realiza un balance de líneas que busca mitigar y/o eliminar dicho problema dado que se adecúa a la necesidad de la empresa, por lo que se debe trabajar con un flujo continuo.

Ahora bien, para establecer el flujo continuo en el proceso productivo del estator 1213-1-095-05 en la línea se requiere analizar los siguientes niveles:

Flujo de información:

Es importante la implementación de tableros que permitan visualizar en el área de empaque, dónde debe ir el producto terminado una vez este se encuentre empacado y listo para la exportación. Además, es importante realizar un seguimiento de la producción mediante indicadores de procesos con frecuencia diaria (que permitan analizar la productividad y desperdicio) y que estos sean visibles para cada operación.

Flujo de materia prima:

Los encargados de la entrega del material (también conocidos como material handlers) deben proponer un compromiso con respecto a las metas de entrega y que estas sean dentro del plazo establecido, buscando así no sobrepasar el takt time.

Flujo de operarios:

Este punto es de mucha significancia, dado que uno de los problemas de la línea de producción es que cuando se genera una incapacidad o ausencia por diferentes razones, la producción baja lo que obliga al pago de horas extra. El hecho de generar una capacitación cruzada para que las trabajadoras conozcan acerca de todos los procesos productivos, de manera que cada una pueda convertirse en polivalente y brindarle la posibilidad al ingeniero de manufactura de realizar rotaciones de puestos de trabajo en caso de que la situación lo amerite, lo que resulta sumamente beneficioso en pro de la productividad.

Es de gran relevancia mencionar que esta propuesta de balanceo requiere que las mejoras presentadas en la propuesta 1 y propuesta 2 sean implementadas, esto para obtener un mejor tiempo estándar de producción. Para la compañía, es vital un balance de línea de permita el mayor aprovechamiento de los recursos, este balance se realiza tomando en consideración variables como el tiempo estándar, takt time, cantidad de operaciones, entre otros. Para efectos de determinar la cantidad de operarios necesarios requeridos en la línea, se desarrolla la ecuación 2.4.

$$\text{Cant. Operarios} = \frac{72.31}{4.76 \text{ min}}$$

$$\text{Cant. Operarios} = 15.19 \text{ operarios} \approx 15 \text{ operarios}$$

Por tanto, el mínimo de operarios que debe tener la línea de producción es de 15, sin embargo, por solicitud expresa del Program Manager y el Ingeniero de Manufactura, responsables de dicha línea se estima que sean 18 las personas involucradas en el proceso productivo, esto dejando margen para aquellas operarias que se encuentran en entrenamiento en alguna operación o que son nuevas completamente, puesto que no tendrán el mismo rendimiento que una operaria cuya experiencia en operaciones específicas es de mucho valor.

Según el balance de líneas y la cantidad de operarios obtenida, es posible observar mediante el cuadro No. 26 la distribución correcta de trabajadores por tarea, así como el respectivo tiempo estándar con las mejoras implementadas. En este caso, también se aclara que se decide que la operación de Inspección Final sea llevada a cabo antes del testeado, puesto que una de las observaciones de la situación antes de implementar las mejoras es que esta operación estaba dejando pasar mucho material no conforme, por lo que el mismo no podía visibilizarse e inclusive se exportaba así, significando quejas del cliente. Ahora, de las 2 operarias que inicialmente estaban en Inspección Final una se quedará realizando labores de limpieza de la pieza ya que la operación anterior es impregnado y suelen quedar algunos residuos de químico en el estator. En cuanto a la segunda operaria, esta se dedicará a ser el filtro de inspección y detección de posibles desperdicios, antes de la pieza se someta a testeos eléctricos.

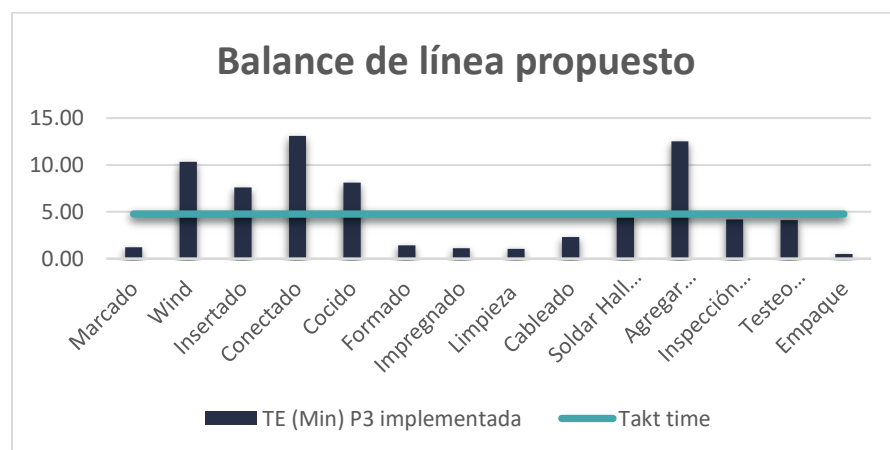
Cuadro No. 26 Distribución adecuada de las operarias en línea.

Operación	Cant. Operarias	TE (min) Mejorado
Marcado	1	1,22
Wind	2	10,33
Insertado	2	7,59
Conectado	2	13,10
Cocido	2	8,10
Formado	1	1,42

Impregnado		1,12
Limpieza	1	1,05
Cableado	1	2,32
Soldar Hall Devices y Tarjeta	1	4,74
Agregar Tarjeta al Estator	2	12,51
Inspección Final	1	4,20
Testeo Eléctrico	1	4,10
Empaque	1	0,51
Total	18	72,31

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Esta propuesta busca reducir el tiempo estándar de operaciones lo más posible, de manera que cada operación tenga un menor tiempo estándar e inclusive pueda cumplirse el takt time individualmente. No obstante, en algunas actividades el tiempo de producción debe ser alto debido a la naturaleza o complejidad del trabajo, como lo es el caso de la operación de Conectado, donde la operaria a cargo debe realizar un proceso especial de soldadura, además de que debe ir a un paso considerablemente lento puesto que los criterios de aceptación de la soldadura son sumamente rígidos. En la figura No. 43 se observa el impacto del balanceo de la línea en relación con el takt time.



Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Figura No. 43 Tiempo estándar de Propuesta 3 vs Takt time.

VII. IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES

Para este capítulo se abarca la etapa de control de la metodología DMAIC, misma que ha sido utilizada a lo largo de todo el proyecto y con el fin de cerrar correctamente y controlar las mejoras propuestas puesto que en este apartado se pretende validar los resultados obtenidos de las implementaciones de cada una de las propuestas para solucionar la problemática del proyecto (ver figura No. 44), además de que se analiza la viabilidad del proyecto en términos monetarios.



CONTROLAR

Viabilidad de las
soluciones
implementadas.
Análisis económico
de rentabilidad.
Gantt
AMFE



Fuente: Elaboración propia mediante la plataforma de Canvas (octubre, 2022)

Figura No. 44 DMAIC aplicado a Implementación de Soluciones.

1. Implementación de la Propuesta 1 “Aplicación de la Filosofía de las 5S”:

Ahora bien, para la implementación de esta propuesta se presenta un diagrama de Gantt en el cuadro No. 27 con las fechas de cumplimiento para cada una de las etapas y así obtener resultados a tiempo real, buscando un porcentaje de oportunidad de mejora que repercute de manera positiva en la problemática de la empresa.

Cuadro No. 27 Gantt de implementación de la propuesta.

Actividad	AGO	AGO	AGO	AGO	SET	SET	SET	SET
Auditoría Diagnóstico								
Implementación 1S: Seiri								
Implementación 2S: Seiton								
Implementación 3S: Seiso								
Implementación 4S: Seiketsu								
Implementación 5S: Shitsuke								
Análisis de resultados esperados								

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Siguiendo la secuencia de pasos presentada en el Gantt del cuadro No. 27 inicialmente se desarrolla una auditoría a nivel interno de la línea de producción del estator 1213-1-095-05 con el objetivo de examinar cuáles son las oportunidades de mejora y así tomar acciones, además de considerar cuál de las principales etapas del 5S debe reforzarse con mayor énfasis. Dicha auditoría fue llevada a cabo por el Ingeniero e Inspectores de Calidad del comité creado en el cuadro No. 24, por medio de la hoja de evaluación presentada anteriormente y cuyos resultados se encuentran en los apéndices No. 03, No. 04 y No. 05 respectivamente. El resultado para la línea luego de examinar todos los puntos, es de 33 de 100 posibles, lo que justifica la intervención del equipo de trabajo, así como la implantación de dicha propuesta.

De esta manera, primero se enfoca la atención en seleccionar o clasificar materiales, herramientas innecesarias del puesto de trabajo (Seri). Para esta S, se realizaron varias Gemba Walks para detectar artículos no requeridos dentro de la celda de producción. En la figura No. 45 es posible conocer cuál era la situación de los espacios de trabajo antes de implementarse esta primera S.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea (octubre, 2022).

Figura No. 45 Espacio de trabajo desordenado en la línea de producción.

Luego, se realiza un barrido de todos los artículos innecesarios en la línea de producción, los cuales fueron puestos en el carrito que logra verse en la figura No. 46.

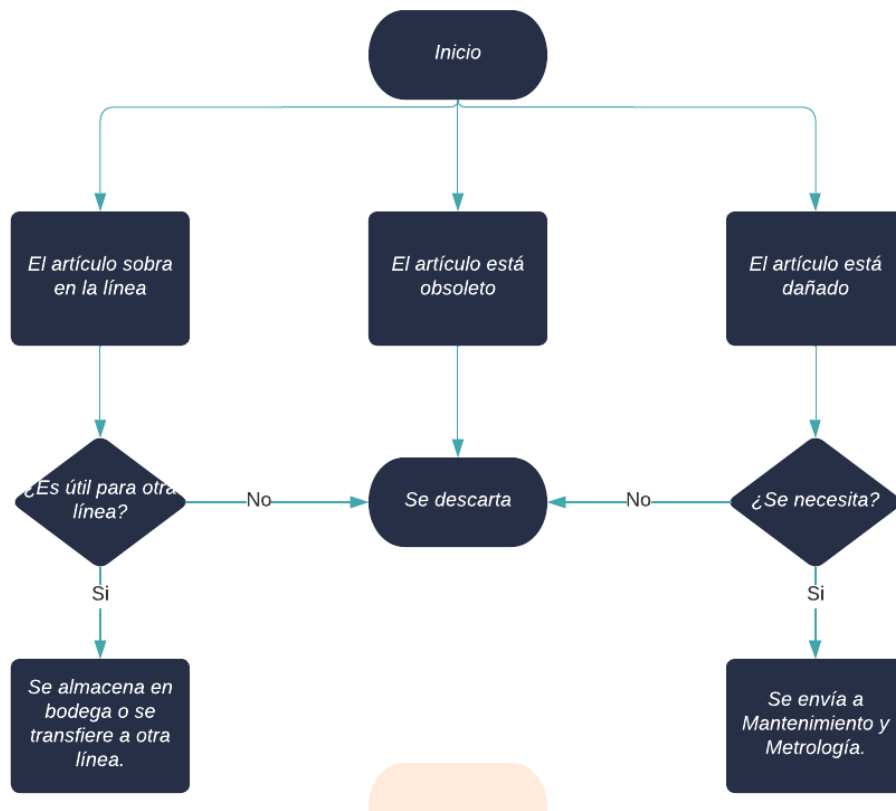


Fuente: Fotografía facilitada por la línea (octubre, 2022).

Figura No. 46 Aplicación de Seri en la línea.

Todos los artículos que son puestos en el carrito, el cual funciona como un indicador en el que se almacenan todos los prescindibles siguen su disposición de acuerdo al diagrama de flujo expuesto en la figura No. 47. La aplicación de esta etapa permite a la línea de producción un mayor espacio útil en la planta de producción, facilidad para control visual, además de que el operario no tendrá

ningún material vencido, herramientas obsoletas o no calibradas por lo que al no utilizarlas no genera un posible desperdicio.



Fuente: Elaboración propia mediante Lucid Chart (octubre, 2022).

Figura No. 47 Proceso de Seiri en acción.

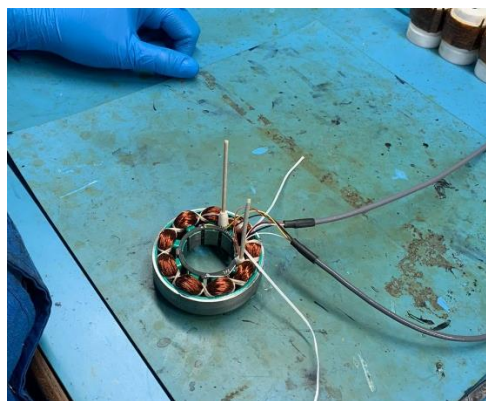
En lo que refiere al orden y organización (Seiton), se procede a ordenar los artículos de acuerdo a la frecuencia de uso y aunado a esto, uno de los pasos sumamente relevantes es que se identifica cada uno de los elementos que se requieren dentro de la celda (como se aprecia en la figura No. 48), por lo que los trabajadores tienen mayor acceso a localizar lo que necesitan y posteriormente, regresarlos a su lugar de origen. La segunda S facilita el acceso a los materiales o herramientas requeridas para la producción del estator, incrementa la productividad de los operarios y aumenta la seguridad en el área de trabajo, haciendo alusión a la figura No. 45 se decide ordenar y etiquetar todos los artículos o materiales necesarios dentro de la línea de producción.



Fuente: Imagen facilitada por la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 48 Aplicación de Seiton en la línea.

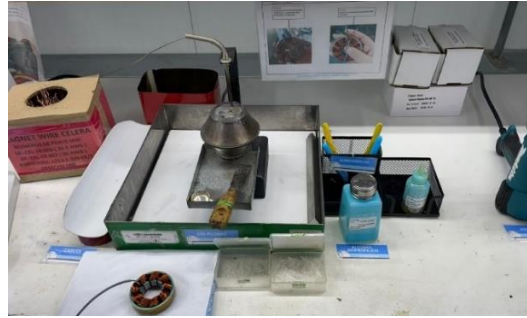
Por otra parte, se busca integrar la limpieza como parte importante del trabajo cotidiano de la compañía (Seiso) en la que los operarios tengan el fin en mente de que, en una celda de producción limpia, no origina FOD (en este caso, si bien es cierto que no es una causa directa que repercute en el scrap, conduce a errores en la línea de producción que se traducen en otras causas, por lo que el FOD afecta indirectamente el indicador de desperdicios). En la figura No. 49 se muestra que la mesa de trabajo se encontraba habitualmente sucia, esto se reemplazó por un nuevo mantel, y ordenó la limpieza a nivel general.



Fuente: Imagen facilitada por la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 49 Aplicación de Seiso en la línea.

Además, al tener el espacio de trabajo aseado genera un efecto multiplicador, puesto que la limpieza tiende a la limpieza y, por cierto, los equipos de trabajo tienen una vida útil más larga. Es posible observar el área de trabajo con la mejora realizada en la figura No. 50.



Fuente: Imagen facilitada por la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 50 Aplicación de Seiso en la línea.

En cuanto a la estandarización deseada de las primeras etapas (Seiketsu) se busca definir una forma en la que pueda estandarizarse las labores de selección, orden y limpieza se define una lista de actividades importantes que deben realizarse día a día (ver figura No. 51), y que al finalizar de la jornada laboral todas las tareas deben ser completadas, logrando así transmitir a todo el personal operativo la significancia de trabajar bajo los estándares definidos. Esta lista de tareas puede visualizarse de una mejor forma en el Apéndice No. 01.

No.	Descripción	Fecha	Estado
1	No se deja ni almacenar ningún objeto innecesario o sucio		
2	No se dejan ni almacenan ningún herramienta sin calibración		
3	No se dejan ni almacenan materiales sucios		
4	Todas las piezas/herramientas/materiales tienen su lugar asignado		
5	Cada operario mantiene limpio y ordena su espacio de trabajo		
6	Los espacios/herramientas/materiales se encuentran limpios		
7	Antes de salir a cada turno, la célula de producción se mantiene limpia y ordenada		
8	Las piezas dentro de la célula de producción se dejan limpias al finalizar su jornada laboral		

Fuente: Imagen facilitada por la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 51 Aplicación de Seiketsu en la línea.

Finalmente, en la última fase de la implementación se pretende mantener (Shitsuke) lo aplicado en las fases anteriores durante el tiempo, de manera que sea perdurable. Por lo que, desde una perspectiva estratégica, el equipo de trabajo mediante autorías de control y seguimiento valora la línea de producción y la efectividad de las 5S, además al emplear ayudas visuales de cómo debe permanecer un espacio de trabajo limpio y ordenado se puede controlar dicha implementación. Para ello se desarrolla 1 auditoría mensual luego de estar implementada esta propuesta, por medio de la hoja de evaluación de 5S en el apéndice No. 2.

Una vez implementada la filosofía de las 5Ss en la línea de producción del estator 1213-1-095, siendo esta un plan piloto y con las actividades ya identificadas, así como con el compromiso de las operarias por el cumplimiento de las operaciones bajo una cultura Lean de orden y limpieza, se procede a analizar los tiempos en el cuadro No. 28 con la intención de determinar si existe diferencia alguna entre el proceso de la situación actual y el flujo productivo una vez se implementó la metodología en cuestión.

Cuadro No. 28 Tiempo estándar con la propuesta 5S.

Operación	TE (min) Actual	TE (min) Mejorado
Marcado	1,74	1,22
Wind	13,58	10,33
Insertado	8,50	7,59
Conectado	15,87	13,10
Cocido	9,47	8,10
Formado	1,82	1,42
Impregnado	1,97	1,12
Inspección Final	9,57	7,55
Cableado	5,73	4,55
Soldar Hall Devices y Tarjeta	10,06	8,45
Agregar Tarjeta al Estator	14,85	12,51

Testeo Eléctrico	4,51	4,10
Empaque	1,72	0,51
Total	99,37	80,55

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Tal y como se observa, el tiempo estándar de producción una vez implementado los 5S en la línea de producción es de 80.55 min para la elaboración final, esto hace referencia a que pequeños cambios como la selección de las herramientas a utilizar, el orden de que cada uno de los fixture empleados siempre se encuentren en el espacio ideal al momento de ser necesitados genera una reducción de tiempos no productivos, puesto que la operaria no debe levantarse de su silla de trabajo en búsqueda de alguna herramienta o material inclusive, ya que los material handlers deben satisfacer las demandas de MP³⁶ solicitadas por la línea. En el cuadro No. 29 se muestra la comparación del tiempo de producción del producto final, así como el porcentaje de mejora de un método a otro.

Cuadro No. 29 Tiempo estándar con la propuesta 5S.

	Tiempo de ciclo (min)
Tiempo actual	99,37
Tiempo con mejora 5S	80,55
% Mejora	18,94%

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Por otro lado, esta mejora impacta positivamente en la reducción de desperdicios puesto que al mantener el 5S en la línea de producción, este reduce la presencia de FOD de un 15% a un 3%, dejando un margen insignificante en comparación a lo presentado en el diagnóstico de la situación actual y siempre existirá cierto riesgo de daño por FOD causado por errores humanos.

³⁶ Materia prima.

2. Implementación de la Propuesta 2 “Eventos Kaizen para mejorar procesos claves”.

En cuanto a la mejora de los procesos específicos de operaciones que afectan principalmente al desperdicio de la línea de producción, se tienen los siguientes puntos:

A. Fixture para soldar PCB.

Esta herramienta tiene la idea de un sistema Poka Yoke, el cual busca evitar errores en la celda de PCB, más que todo al soldar la tarjeta y los halls devices puesto que la operaria al contar con este fixture y utilizarlo correctamente, se asegura que no existan problemas con la desalineación de la PCB, y brinda rigidez a la hora de soldar los componentes. En la figura No. 52 se aprecia el uso de este en las operaciones de la línea.



Fuente: Elaboración propia con la aprobación de la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 52 Utilización del fixture para soldar PCB y Hall Devices.

Ahora bien, al realizar esta operación los trabajadores se aseguran de que no existirán problemas de alineación, puesto que la herramienta permite que los componentes no se mueven, lo que genera la eliminación de la causa asignada al desperdicio nombrada como “Desalineación de PCB”, con un porcentaje promedio de scrap correspondiente al 17%. Por otra parte, en relación con la mejora en el tiempo estándar, la operación de Soldar Hall Devices y Tarjeta pasa de 10.06 min/unidad a 6.35 min/unidad, lo que sin duda alguna impacta positivamente la

productividad de la línea. En la figura No.53 se aprecia los Hall Devices y la tarjeta soldados y alineados de la manera correcta, mientras que en el apéndice No. 08 se puede observar el manual de uso de esta herramienta, mismo que fue utilizado para el entrenamiento a las operarias.



Fuente: Elaboración propia con la aprobación de la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 53 Soldado correcto del PCB y Hall Devices.

B. Fixture para corte de cable.

La creación de esta herramienta, pretende evitar la menor cantidad de errores a la hora del cortado de cable. Este fixture tiene las medidas requeridas en las que la operaria debe hacer el corte y realizar el strip del cable. En la figura No. 54 se observa la implementación en la línea de producción.



Fuente: Elaboración propia con la aprobación de la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 54 Fixture implementado en la línea.

En cuanto a su funcionalidad, esta herramienta el scrap por causa “Cable Dañado” a un 20%, y el tiempo estándar pasa de 5.73 min/unidad a 3.50 min/unidad. En la figura No. 55 se muestra el correcto uso de la herramienta y en el Apéndice No. 09 se documenta la manera en que se les explicó a las operarias cómo debe implementarse dicho fixture.



Fuente: Elaboración propia con la aprobación de la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 55 Proceso de corte de cable con fixture implementado.

C. Método de calentamiento del tubing.

En cuanto al tercer proceso de mejora, en conjunto con el departamento de Mantenimiento se desarrolla un sistema medianamente automatizado, puesto que la operaria a cargo de la operación únicamente debe presionar el botón de encendido de la máquina, esta se encuentra programada con las variables de tiempo de secado y temperatura de calentamiento ideales, mientras que la persona sólo deberá mantener el tubing a la distancia indicada. En la figura No. 56 se observa la manera en la que operaria desarrolla esta operación con la mejora implementada. Dicha mejora permite una reducción del desperdicio por cable dañado en un 10%, es decir que la línea de producción sólo tiene un 10% actualmente por causas asignables al cable. Para efectos del proyecto, el Program Manager indicó que con la reducción de este porcentaje era suficiente y que tendrá un alto impacto en los números de la empresa, puesto que además también baja el tiempo estándar de 4.42 min/unidad a 2.40 min/unidad.



Fuente: Elaboración propia con la aprobación de la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 56 Mejora en el método de calentamiento del tubing.

Para que la línea de producción utilice este método en la operación de cableado, fue necesario generar un manual de uso para esta herramienta, este puede consultarse en el Apéndice No. 10.

D. Sustitución de bins por cajas con espumas para almacenar las piezas.

Por último, para esta última estandarización se decide sustituir los bins de la figura No. 57 por las cajas con espuma de la figura No. 58, esto permite que cada pieza (esté terminada o bien, necesite trasladarse a la siguiente operación) sea almacenada correctamente un espacio adecuado, en el que evite que se pegue con otra y generen problemas con el hilo magnético. Dicha mejora se traduce en una reducción del desperdicio asignado a “Hilo Magnético dañado” a un 10%.



Fuente: Elaboración propia con la aprobación de la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 57 Bines, manera en la que se almacenaban las piezas.



Fuente: Elaboración propia con la aprobación de la línea de producción (octubre, 2022).

Figura No. 58 Cajas, manera en la que se almacenan las piezas.

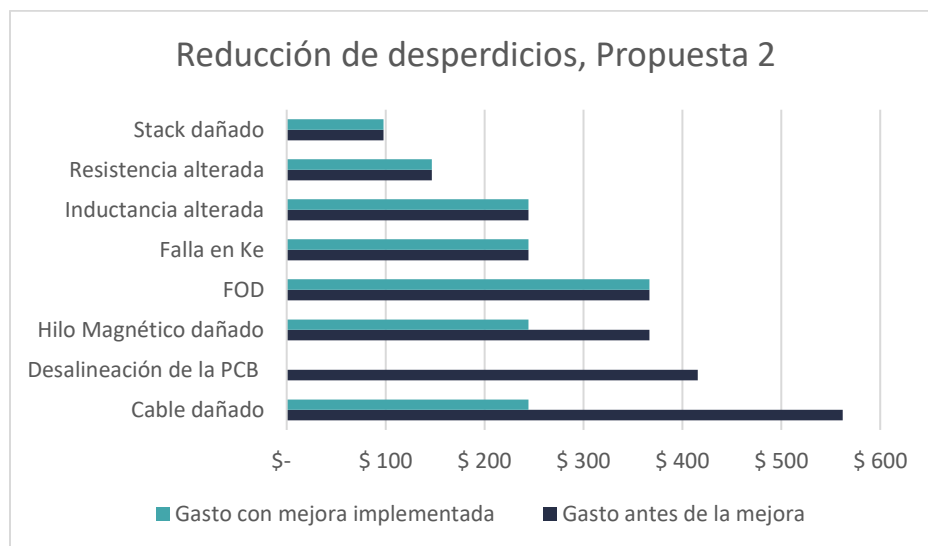
En lo que respecta al análisis de viabilidad de la segunda propuesta, es claro que existe una mejora en las variables claves del proyecto, lo que significa una mayor producción, menor cantidad de desperdicio y menor cantidad de horas extra pagadas. A continuación, en el cuadro No. 30 se observa las operaciones intervenidas y los tiempos estándar con la implementación de la mejora, por tanto, se reduce el tiempo estándar de producción de 99.37 minutos por unidad a un total de 93.43 min/pieza, traduciéndose en un porcentaje de mejora de un 5.98%.

Cuadro No. 30 Mejora en tiempos estándar, propuesta 2.

	TE (min)
TE sin mejora	99,37
TE con mejora P2	93,43
% Mejora	5,98%

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

En lo que refiere al indicador de desperdicios, la segunda propuesta minimiza la posibilidad de cometer errores humanos en el proceso productivo, y reduce mensualmente el desperdicio promedio \$2444 a \$1589 aproximadamente, ahorrándose un monto de \$855 mediante las mejoras implementadas. En la figura No. 59 se expone la reducción de desperdicios de la línea de producción, tal y como se visualiza se reduce en gran cantidad causas asignadas al scrap.



Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

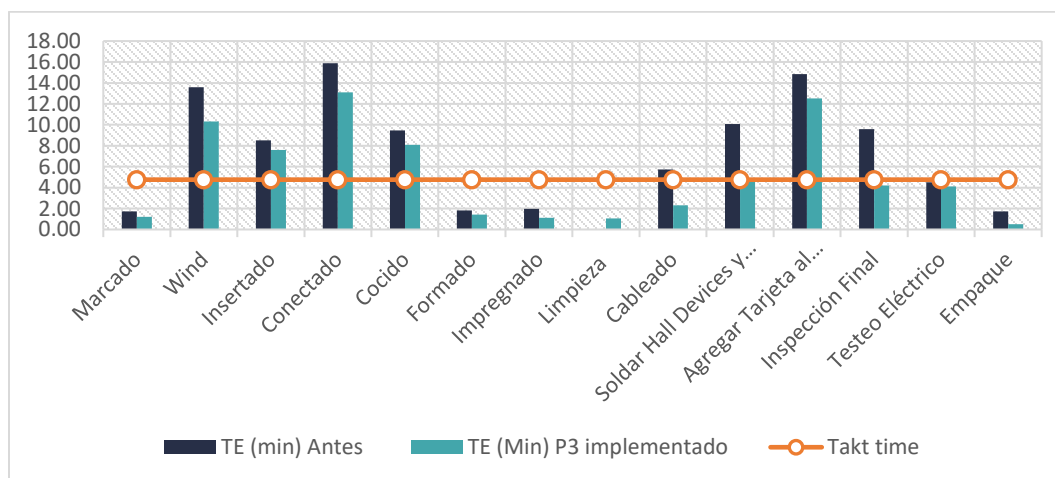
Figura No. 59 Gráfico de barras de reducción de desperdicio.

3. Implementación de la Propuesta 3 “Nuevo balance de línea del 1213”:

Resulta sumamente importante para efectos del proyecto mencionar que este balance toma en consideración la implementación de la propuesta 1 y la propuesta 2, por lo que los tiempos estándar son mejorados y también, debe tomarse en

cuenta a la hora de realizar el análisis económico del proyecto, ya que esta propuesta se implementa contemplando cada uno de los costos incurridos de la mejora.

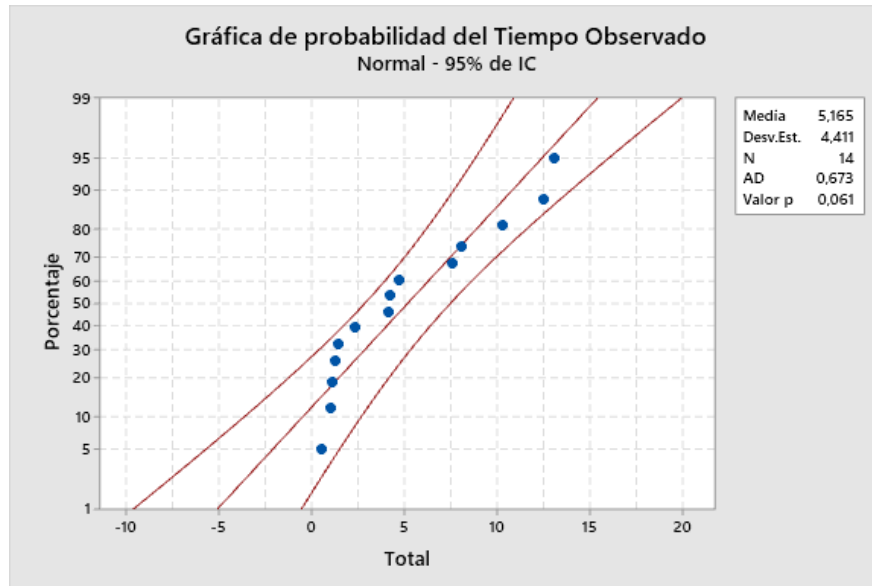
En lo que refiere al nuevo balance de la línea de producción del estator 1213-1-095-05, se realiza una comparación de los tiempos estándar de la situación actual en relación con los obtenidos como resultado de este balanceo. Lo anterior dado que uno de los objetivos era la reducción del tiempo estándar respecto al takt time, esto para que sean más las operaciones con un tiempo de ciclo similar tiempo o ritmo de producción. Como se puede apreciar en la figura No. 61, los tiempos de producción del balance de línea de esta propuesta se encuentran más cerca en comparación a los del diagnóstico de la situación actual de la línea.



Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Figura No. 60 Comparación del balance de línea antes y después de las mejoras.

Por otra parte, es necesario realizar la prueba de normalidad para conocer cuál es la distribución de probabilidad que siguen los datos del tiempo estándar obtenidos al implementar la propuesta 3, de manera que se evidencia en la figura No. 61 el comportamiento de los datos, ratificando la robustez del análisis estadístico realizado.



Fuente: Elaboración propia por medio de Minitab (octubre, 2022).

Figura No. 61 Gráfica de probabilidad de los datos con las mejoras implementadas.

Con el objetivo de generar un análisis de factibilidad operacional que contemple las propuestas anteriormente implementadas, se observa el cuadro No. 31 en relación con el 29.53% de mejora generado en la línea de producción, permitiendo así una mejora significativa en el proceso de elaboración del estator 1213-1-095-05, además de la reducción al 100% de las horas estándar, una baja del 50% de desperdicios.

Cuadro No. 31 Mejora en tiempos estándar, propuesta 3.

	Tiempo de ciclo (min)
Tiempo actual	99,37
Tiempo con mejora 5S	70,03
% Mejora	29,53%

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Finalmente, para determinar si el proyecto y la implementación de la propuesta 3, es decir también de las 2 propuestas anteriores es rentable es necesario valorar los costos relacionados con la planeación, diseño, realización e implementación de estas, de manera que se requiere contabilizar los costos en

relación con las propuestas del proyecto, esta información se resume en el cuadro No. 32.

Cuadro No. 32 Costos relacionados a la implementación del proyecto.

Costo por:	Valor
Contrato del Ing. Junior	\$ 2 184,00
Implementación de 5S	\$ 392,00
Estandarización de procesos	\$ 2 050,00
Total	\$ 4 626,00

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

En vista de que el diseño de las propuestas y del proyecto en general requiere de la implementación de las tres propuestas presentadas, se contrata un Ingeniero Junior, el cual durante 13 semanas estará a cargo de la realización del proyecto, dado que este tiene un salario semanal de \$168, a lo largo del período de ejecución de este tiene un salario total de \$2184. En cuanto a los costos de la implementación de la filosofía 5S en la línea (propuesta 1) y la estandarización de procesos (propuesta 2) se desglosan en los Apéndices No. 06 y No. 07 respectivamente.

Por otra parte, refiriéndose al tema del beneficio económico que deja el proyecto a la empresa al implementar la propuesta 3 permite un aumento en la productividad de la línea de producción y una reducción significativa del desperdicio, esto se traduce en una mayor cantidad de piezas buenas, lo necesario para cumplir la demanda semanal e inclusive se estima que si la línea trabaja bajo las condiciones ideales del proyecto, puede producir inclusive hasta un excedente de 36 estatores de más. De manera que la compañía no debe incurrir en el pago de ninguna hora extra, lo que deja un ahorro mensual promedio de \$2038.

En la misma línea que el párrafo anterior, la cantidad de desperdicio baja de un promedio de \$6843 por mes a \$4070, lo que genera un ahorro de \$ 2765, significando así que la línea de producción se mantenga en un 1.45% respecto al indicador de desperdicio, esto es un gran impacto para los números de la división y de la empresa, ya que al implementarse el proyecto se estaría cumpliendo de

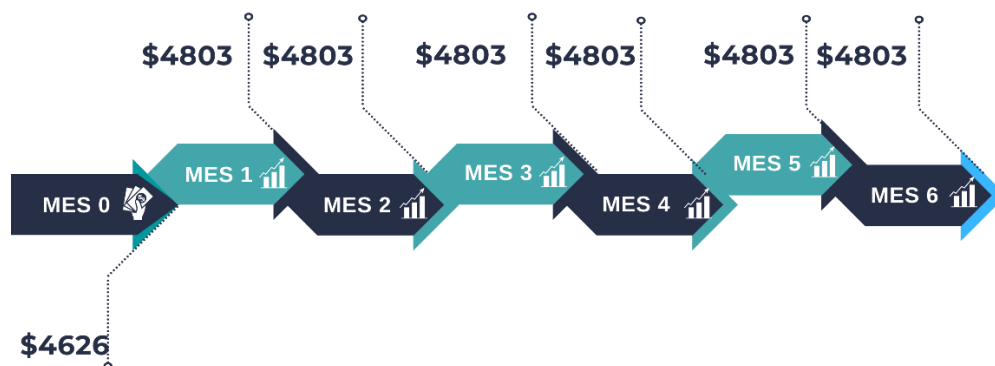
inmediato con la meta de scrap de 1.75% ajustada por la gerencia de la compañía. Dicha información se resume en el cuadro No. 33.

Cuadro No. 33 Beneficio económico de la implementación del proyecto.

Beneficio mensual por:	Valor
Reducción de horas extra	\$ 2 038,00
Reducción de scrap	\$ 2 765,00
Total	\$ 4 803,00

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Con el objetivo de desarrollar conocer la perspectiva financiera de la tercera y última propuesta, misma que también contempla las propuestas 1 y 2 se decide realizar un análisis económico-financiero que permita un diagnóstico de la situación con las mejoras implementadas, esto para que los directivos de la empresa adopten decisiones oportunas en los puntos débiles que han generado una disminución de la eficiencia en la compañía y así erradicar la presencia de estos en el futuro. Por consiguiente, en base a los datos obtenidos de los cuadros No. 32 y No. 33 respectivamente, se realiza el flujo de efectivo para un período determinado de 6 meses una vez implementada la propuesta (ver figura No. 62).



Fuente: Elaboración propia mediante Canvas (octubre, 2022).

Figura No. 62 Flujo efectivo al implementar el proyecto.

En búsqueda de conocer si el proyecto es rentable o no se utiliza el indicador de VAN³⁷, basado en el valor equivalente de los flujos de efectivos relacionados a un punto de inversión durante un tiempo predeterminado, para ello se toma en consideración que la empresa tiene un premio al riesgo de 12% y la tasa de inflación es de 10.37% (ver Anexo No. 08). Utilizando la ecuación 2.7 se tiene un valor de TMAR de 22.37%.

$$TMAR = 10.37\% + 12\%$$

$$TMAR = 22.37\%$$

Ahora bien, con el valor calculado anteriormente, se emplea la ecuación 2.6 para conocer el valor actual neto del proyecto, teniendo lo siguiente:

$$VAN = \$11200.43$$

Del cálculo obtenido para un total de \$11200.43, equivale a decir que al ser un valor positivo, este indica que el proyecto es rentable en un período de 6 meses, contemplando la tasa de rendimiento mínima de un 22.37%, esto indica que el valor de los cobros y pago futuros de la inversión, a la tasa de rendimiento seleccionada brinda beneficios.

En cuanto al cálculo de TIR³⁸, en la que se busca obtener la media de los rendimientos futuros esperados de la inversión realizada por la empresa. Para ello se considera un valor de 0 al VAN y utilizando la ecuación 2.7, se tiene que:

$$TIR = 102.31\%$$

En resumidas cuentas, el retorno de inversión es de un 102.31%, por tanto se acepta el proyecto y se determina que es favorable para la compañía dado que el valor de TIR es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión por parte de la gerencia, la cual es de un 22.37%.

³⁷ Valor Actual Neto por sus siglas.

³⁸ Tasa Interna de Retorno por sus siglas.

Finalmente, para efectos de la implementación de las tres propuestas se desarrolla un diagrama de Gantt en el cuadro No. 34 para definir el cronograma de planificación y trabajo así como saber fechas necesarias para la correcta ejecución.

Cuadro No. 34 Diagrama de Gantt para la ejecución del Proyecto.

TAREA	ago-22	sep-22	oct-22
Reunión inicial con el equipo funcional del proyecto	█		
Diagnóstico de la problemática de la empresa	█	█	
Propuesta 1: 5S			
Auditoría de diagnóstico		█	
Capacitación al personal		█	
Aplicación de las 5S en la línea de producción		█	█
Análisis de resultados		█	█
Propuesta 2: Eventos Kaizen			
Diseño de las mejoras		█	
Implementación de los Fixtures		█	
Validación de los fixtures o mejoras		█	
Entrenamiento al personal			█
Análisis de resultados			█
Propuesta 3: Balance de Línea			
Aplicación del balance en las celdas productivas			█
Validación de las mejoras			█
Análisis de resultados			█

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Las fechas de cumplimiento expuestas en el cuadro No. 34 son esenciales para la ejecución de cada una de las propuestas, ya que permite también entrenar a las operarias y así medir los resultados de cada una de las mejoras implementadas en la línea en términos de aumento de productividad, reducción de horas extra y disminución del desperdicio.

Por último, en el cuadro No. 35 se desarrolla un análisis modal de fallas y efectos con el objetivo de adelantarse e identificar aquellos posibles fallos de cada propuesta de modo que puedan evitarse, garantizando que el proyecto tiene fiabilidad, seguridad y cumplimiento de los parámetros de las funciones requeridas.

Es importante mencionar que las escalas tomadas consideración para la columna de S, O y D se encuentran en los Anexos No. 09, 10 y 11 respectivamente.

Cuadro No. 35 Análisis Modal de Falla y Efectos desarrollado.

Propuestas	Modo de falla	Efecto	Causa	S	O	D	RP N	Plan de Acción	Responsable
Aplicación de la filosofía de 5S	Operarias se descuidan y no cumplen 5S	Aumento del desperdicio, aumento del tiempo estándar de producción	Resistencia al cambio	3	7	3	63	Incentivar a la línea con una mayor visibilidad del trabajo de cada una. Auditar la línea	Calidad
	El 5S no se implementa de manera correcta	Descontento en las operarias	No se brindan las facilidades requeridas por el personal	3	5	4	60	Velar porque cada líder de producción de la celda tenga las facilidades necesarias para la implementación de las 5S	Manufactura
Estandarización de procesos claves	Los fixtures pierden funcionalidad	Aumento del tiempo estándar de producción	Diseño del prototipo, materiales	4	4	2	32	Validar el uso de los fixtures una vez puestos en la línea	Calibración y Metrología
	Operarios realizan las labores sin los fixtures		Resistencia al cambio del personal	4	3	1	12	Asegurarse la comprensión correcta de la línea mediante capacitaciones	Manufactura
Nuevo balance de línea	Las operarias de limpieza e inspección final no se adaptan a sus funciones	Afecta directamente las proyecciones de producción en base al TE	Operarias sin entrenamientos en las operaciones correspondientes	6	4	3	72	Asegurarse la comprensión correcta de la línea mediante entrenamientos	Manufactura

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se exponen las respectivas conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Conclusiones:

- Se identificó que la problemática corresponde al incumplimiento de la demanda semanal proyectada para el estator 1213-1-095-05 debido a la falta de productividad en la línea, generando así un impacto a nivel económico en el pago mensual de horas extras cerca de \$2040. Además, otro efecto es el incumplimiento de la meta de scrap, puesto que la línea tiene un desperdicio promedio de \$6843 por mes.
- Se concluye que las causas más significantes en relación con el desperdicio se asignan a la falta de organización de las celdas de producción o estaciones de trabajo, falta de procesos estandarizados ya que no existe una estandarización en las operaciones y también un desbalance de la línea de producción, ocasionando que no se tenga el mayor aprovechamiento de materiales, herramientas y mano de obra.
- De acuerdo con el análisis realizado en el apartado de implementación de soluciones se determinó que las propuestas de solución presentadas en el desarrollo del proyecto reducen a un 100% el pago de horas extra por parte de la línea de producción, puesto que el tiempo estándar de producción disminuye en 27.06 minutos por unidad fabricada.
- Considerando las tres mejoras propuestas, se logra determinar que la capacidad de producción de la línea es de 138 unidades buenas por semana, lo cual además de permitir satisfacer la demanda semanal proyectada genera un excedente de 36 piezas por lo que la línea puede adaptarse a un nuevo crecimiento en el volumen de la demanda en caso de ser necesario.
- En base al análisis económico realizado al concluir la propuesta 3, mismo que contempla la ejecución inicial de la propuesta 1 y 2 se tiene que la inversión inicial y única en el proyecto es de \$4626. De acuerdo con el flujo efectivo estimado se recuperará en los 6 meses posteriores a ejecutar el

proyecto y que esta implementación generará un ahorro total aproximado de \$11200 con una tasa interna de retorno de 102.31%.

- Si bien es cierto, la filosofía de las 5S es un concepto sencillo que en muchos casos no se le otorga la importancia necesaria, una estación de trabajo limpia y segura permite a la empresa evitar desperdicios generados por la falta de aseo (FOD) así que reduce la pérdida por problemas de calidad en las piezas, aunado a esto mejora el tiempo estándar de producción de 99.37 min/unidad a 80.55 min por estator, cabe recalcar que esta reducción es sólo desarrollando los 5S de la manera ideal.
- La implementación de la propuesta de estandarización de procesos claves, consistiendo en la elaboración de fixtures y mejoras en ciertas operaciones permite una reducción significativa del 60% de las causas de scrap asignadas a la línea tales como: desalineación de la PCB, cable dañado, hilo magnético dañado.
- Al finalizar el proyecto y en el cumplimiento de todas las actividades presentadas en el diagrama Gantt expuesto en el apartado de Implementación de Soluciones se concluye que la propuesta 3 es implementada correctamente, esto también hace alusión a que las propuestas 1 y 2 también se implementaron de forma precisa.

Recomendaciones:

- Se recomienda que la gerencia deba estar comprometida con todo el proceso de la implementación de la metodología de 5S en la línea e inclusive, preste mucha atención al cuarto y quinto paso los cuales son las etapas más relevantes de esta filosofía. Si se logra estandarizar y sistematizar, indudablemente se generará la cultura Lean en la línea de producción y esta será perdurable con el pasar de los años.
- Realizar caminatas Gemba al menos 2 veces al día por la línea de producción, esto facilitará la identificación de mejoras en las operaciones. Es importante recordar que siempre existirá una oportunidad de mejora y que en muchas ocasiones las soluciones son brindadas por las propias operarias.

- Es importante que los fixtures creados en la propuesta de estandarización de procesos sean calibrados, por lo que se sugiere que estos ingresen al departamento de Metrología de la empresa, quienes con su experiencia valorarán el tiempo de calibración de cada herramienta, para asegurar que este siempre mantenga la funcionalidad requerida en la línea de producción.
- En las operaciones que superan el takt time aún con las propuestas implementadas se recomienda realizar un estudio por parte de la empresa para conocer las posibilidades de dividir estas operaciones en sub operaciones y así, reducir el tiempo estándar de cada una en comparación al tiempo de ciclo de producción esperado.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Libros

- Acuña, J. A. (2012). Control de Calidad. Un enfoque integral y estadístico. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Baca, G. (2007). Fundamentos de Ingeniería económica. México DF: McGraw-Hill
- Bravo, Juan. Gestión de Procesos (Alineados con la estrategia). Chile: Editorial Evolución S.A., 2011.
- Cabrera, R. (2014). Manual de Lean Manufacturing: TPS Americanizado.
- De Feo, J. (2017). Manual de calidad de Juran: la guía completa para la excelencia en el desempeño, séptima edición. New York: McGraw-Hill.
- Fonseca, L. (2007). Ingeniería Económica. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Gómez, M. F. (2014). Lean Manufacturing en español. Estados Unidos: Editorial Imagen.
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing conceptos, técnicas e implantación. Madrid: Escuela de Organización Industrial EOI.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y diseño del trabajo. México: Mc Graw Hill.
- Pineda, Beatriz; De Alvarado, Eva Luz; De Canales, Francisca 2019 Metodología de la investigación, manual para el desarrollo de persona al de salud, Segunda edición. Organización Panamericana de la Salud. Washington.
- Rajadell, M., & Sánchez, J. (2010). Lean Manufacturing La evidencia de una necesidad. Madrid: Díaz de Santos.
- Yang, K., & El-Haik, B. (2009). Diseño para Six Sigma: una hoja de ruta para el desarrollo de producto 2nd edición. New York: McGraw-Hill.

2. Artículos de revistas

Amat, J. (2016). ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova

AMEF Análisis de Modo y Efecto de Falla – Lean Solutions. (s. f.). Recuperado 18 de octubre de 2022, de <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

Chang, R. Y., & Niedzwiecki, M. E. (1999). Las Herramientas Para la Mejora Continua de la Calidad: Guima Practica Para Lograr Resultados Positivos.

Jara, M. (2017, 27 febrero). El Método de las 5S: Su aplicación. Universidad Ecológica ECOTEC. <https://biblat.unam.mx/hevila/ResnonverbaGuayaquil/2017/vol7/no1/10.pdf>

Nogueira, R. (2017). Análisis económico-financiero: talón de Aquiles de la organización. Caso de aplicación. Scielo, 106-115.

3. Proyectos y tesis

Buestán, M. (2013, 16 agosto). Aplicación de la metodología Seis Sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado. *Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción*. <https://laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP135.pdf>

Cabrera, D. & Vargas, D. (2011). Mejorar el sistema productivo de una fábrica de confecciones en la ciudad de Cali aplicando Herramientas de Lean Manufacturing. En Universidad ICESI, Facultad de Ingeniería. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68069/1/vargas_m_ejorar_sistema_2012.pdf

Orozco, J., Cuervo, V. & Bolaños, J. (2016). Implementación de herramientas de Lean Manufacturing para el aumento de la eficiencia en la producción de EKA Corporación. En Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingeniería.

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/10489/1/2016_implementacion_herramienta_lean.pdf

Ovalle, D. (2021, mayo). Propuesta de mejora para la reducción de scrap en la producción de sacos de polipropileno mediante la aplicación del modelo DMAIC. En Universidad Politécnica Salesiana Del Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20501/1/UPS-GT003276.pdf>

Sánchez, K. (2018). Establecimiento de mejoras en la gestión de la producción para reducir los retrasos en la entrega de pedidos de las familias de impresión en negro y color
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10310/establecimiento_de_mejoras_en_la_gesti%C3%B3n_de_la_producci%C3%B3n_para_reducir_los_retrasos_en_la_entrega_de_pedidos_de_las_familias_de_impresi%C3%B3n_en_negro_y_color.pdf?sequence=1&isAllowed=y

X. APÉNDICES

Apéndice No. 01 Checklist de 5S implementado en la línea de producción.

Este apéndice puede encontrarse en los documentos adjuntos, específicamente en la carpeta de Apéndices, este documento es un Excel que lleva el mismo nombre que el apéndice 01.

Fuente: Elaboración propia, mediante especificaciones requeridas por el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa (octubre, 2022).

Apéndice No. 2 Hoja de Evaluación de las 5S para auditoría en la línea.

Este apéndice puede encontrarse en los documentos adjuntos, específicamente en la carpeta de Apéndices, este documento es un Excel que lleva el mismo nombre que el apéndice 02.

Fuente: Elaboración propia, mediante especificaciones requeridas por el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa (octubre, 2022).

Apéndice No. 03 Resultado de auditoría 5S por Celeste Fonseca.

Tico Electronics Constant Manufacturing Services CELERA P.V.A.		Información documentada de Celera		Página 1 de 3					
		Hoja de Evaluación de las 5S		Versión n°:	1				
		R-CELERA-14		Fecha:					
Elaborado por: Andrés Salas		Aprobado por: María Salazar		Evaluado por: Celeste Fonseca					
Área: Celera (High Volume)		Línea de producción: 1213-1-09S-05		Puntuación previa:					
5S	Descripción	Puntuación:							
		0	1	2	3	4	5		
<i>Distinguir entre lo necesario e innecesario</i>									
Seleccionar	¿Existen materiales o piezas innecesarias?								
	¿Existen máquinas o equipos innecesarios?				✓				
	¿Existen herramientas o fixtures innecesarios?			✓					
	¿Se han etiquetado los elementos innecesarios?						✓		
	¿Existen en piso documentación que no corresponde?				✓				
Subtotal		15							
<i>Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar</i>									
Ordenar	¿El área de trabajo está marcado con etiquetas?		✓						
	¿El área de trabajo se encuentra debidamente señalada?	✓							
	¿Las herramientas están colocadas de acuerdo a la frecuencia de uso?			✓					
Subtotal		3							
<i>Limpiar, observando la manera de hacerlo: Mantenerlo aseado</i>									
Limpieza	¿Está la línea de producción libre de basura, polvo, FOD?	✓							
	¿Existe un mantenimiento adecuado de limpieza de las máquinas y equipos?			✓					
	¿La limpieza se desarrolla como un proceso de inspección del área de trabajo?					✓			
	¿La asignación de tareas es válida? ¿Existe un responsable de verificarlas?					✓			
Subtotal		10							
<i>Conservar y vigilar las primeras 3S</i>									
Estandarizar	¿Se cumplen al 100% las 3s anteriores?	✓							
	¿Se utiliza el equipo de protección personal? (lentes, cabello recogido, uñas cortas, guantes especiales)		✓						
	¿La información se mantiene actualizada y visible para todo el personal?		✓						
	¿Existen lista de chequeo para la limpieza y mantenimiento?		✓						
Subtotal		3							
<i>Apegarse a las reglas</i>									
Mantener	¿Se realizan reuniones semanales para conocer el estado de la implementación de 5S en la línea?		✓						
	¿Se cumplen los estándares definidos para cada una de las operaciones y su respectivo proceso de orden y limpieza?		✓						
	¿Se implementan acciones como oportunidades de mejora?		✓						
	¿Se establecen acciones correctivas, se evalúan resultados y se retroalimenta el área?	✓							
Subtotal		3							
Calificación Obtenida:		34							

Fuente: Elaboración propia, documento controlado por la empresa (octubre, 2022).

Apéndice No. 04 Resultado de auditoría 5S por Javier Incer.

Tico Electronics Central Manufacturing Services COSTA RICA		Información documentada de Celera Hoja de Evaluación de las 5S R-CELERA-14					Página 1 de 3	
Elaborado por: Andrés Salas		Aprobado por: María Salazar					Versión: 1	
Área: CELERA (High Volume)		Evaluado por: Javier Incer					Fecha:	
Línea de producción: 1213-1-095-05		Puntuación previa:						
5S	Descripción	Puntuación:					Subtotal	
		0	1	2	3	4		5
<i>Distinguir entre lo necesario e innecesario</i>								
Seleccionar	¿Existen materiales o piezas innecesarios?			✓		✓		
	¿Existen máquinas o equipos innecesarios?		✓				✓	
	¿Existen herramientas o fixtures innecesarios?			✓				✓
	¿Se han etiquetado los elementos innecesarios?						✓	
	¿Existen en piso documentación que no corresponde?			✓				
Subtotal							11 pts	
<i>Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar</i>								
Ordenar	¿El área de trabajo está marcado con etiquetas?							✓
	¿El área de trabajo se encuentra debidamente señalada?	✓						
	¿Las herramientas están colocadas de acuerdo a la frecuencia de uso?						✓	
Subtotal							9	
<i>Limpiar, observando la manera de hacerlo. Mantenerlo aseado</i>								
Limpiar	¿Está la línea de producción libre de basura, polvo, FOD?							✓
	¿Existe un mantenimiento adecuado de limpieza de las máquinas y equipos?		✓					
	¿La limpieza se desarrolla como un proceso de inspección del área de trabajo?						✓	
	¿La asignación de tareas es válida? ¿Existe un responsable de verificarlas?	✓						
Subtotal							9 pts	
<i>Conservar y vigilar las primeras 3S</i>								
Estandarizar	¿Se cumplen al 100% las 3s anteriores?			✓	✓			
	¿Se utiliza el equipo de protección personal? (lentes, cabello recogido, uñas cortas, guantes especiales)			✓				
	¿La información se mantiene actualizada y visible para todo el personal?							✓
	¿Existen lista de chequeo para la limpieza y mantenimiento?	✓						
Subtotal							9 pts.	
<i>Apegarse a las reglas</i>								
Mantener	¿Se realizan reuniones semanales para conocer el estado de la implementación de 5S en la línea?		✓					
	¿Se cumplen los estándares definidos para cada una de las operaciones y su respectivo proceso de orden y limpieza?		✓					
	¿Se implementan acciones como oportunidades de mejora?		✓					
	¿Se establecen acciones correctivas, se evalúan resultados y se retroalimenta el área?		✓					
Subtotal							4 pts	
Calificación Obtenida:							33 pts	

Fuente: Elaboración propia, documento controlado por la empresa (octubre, 2022).

Apéndice No. 05 Resultado de auditoría 5S por Andrés Salas.

Tico Electronics Consumer Manufacturing Services CORPORA		Información documentada de Celera Hoja de Evaluación de las 5S R-CELERA-14					Página 1 de 3	
Elaborado por: Andrés Salas		Aprobado por: María Salazar					Versión: 1	
Área: CELERA (High Volume)		Evaluado por: Andrés Salas					Fecha:	
Línea de producción: 1213-1-093-05		Puntuación previa:						
5S	Descripción	Puntuación:					Subtotal	
		0	1	2	3	4		5
<i>Distinguir entre lo necesario e innecesario</i>								
Seleccionar	¿Existen materiales o piezas innecesarias?		X					
	¿Existen máquinas o equipos innecesarios?					X		
	¿Existen herramientas o fixtures innecesarios?					X		
	¿Se han etiquetado los elementos innecesarios?		X					
	¿Existen en piso documentación que no corresponde?					X		
Subtotal		14						
<i>Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar</i>								
Ordenar	¿El área de trabajo está marcado con etiquetas?			X				
	¿El área de trabajo se encuentra debidamente señalada?	X						
	¿Las herramientas están colocadas de acuerdo a la frecuencia de uso?			X				
Subtotal		4						
<i>Limpiar, observando la manera de hacerlo: Mantenerlo aseado</i>								
Limpieza	¿Está la línea de producción libre de basura, polvo, FOD?		X					
	¿Existe un mantenimiento adecuado de limpieza de las máquinas y equipos?				X			
	¿La limpieza se desarrolla como un proceso de inspección del área de trabajo?		X					
	¿La asignación de tareas es válida? ¿Existe un responsable de verificarlas?		X					
Subtotal		6						
<i>Conservar y vigilar las primeras 3S</i>								
Estandarizar	¿Se cumplen al 100% las 3s anteriores?	X						
	¿Se utiliza el equipo de protección personal? (lentes, cabello recogido, uñas cortas, guantes especiales)						X	
	¿La información se mantiene actualizada y visible para todo el personal?			X				
	¿Existen lista de chequeo para la limpieza y mantenimiento?		X					
Subtotal		7						
<i>Apegarse a las reglas</i>								
Mantener	¿Se realizan reuniones semanales para conocer el estado de la implementación de 5S en la línea?		X					
	¿Se cumplen los estándares definidos para cada una de las operaciones y su respectivo proceso de orden y limpieza?		X					
	¿Se implementan acciones como oportunidades de mejora?			X				
	¿Se establecen acciones correctivas, se evalúan resultados y se retroalimenta el área?			X				
Subtotal		6						
Calificación Obtenida:		37						

Fuente: Elaboración propia, documento controlado por la empresa (octubre, 2022).

Apéndice No. 06 Costos desglosados de la Propuesta 1.

Descripción	Cantidad	Costo
Estantes para Botellas	20	\$ 100,00
Estante para piezas	15	\$ 75,00
Estantes para herramientas	7	\$ 49,00
Mano de Obra (Capacitación)	N/A	\$ 168,00
Total		\$ 392,00

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Apéndice No. 07 Costos desglosados de la Propuesta 2.

	Fixture PCB	Fixture Corte Cable	Método de calentamiento	Método de almacenaje
Descripción	Costo	Costo	Costo	Costo
<i>Mano de obra (diseño)</i>	\$ 125,00	\$ 125,00	\$ 125,00	-
<i>Mano de obra (confección)</i>	\$ 50,00	\$ 50,00	\$ 175,00	\$ 100,00
<i>Materiales</i>	\$ 500,00	\$ 350,00	-	\$ 150,00
<i>Horas Impresora 3D</i>	\$ 100,00	\$ 100,00	-	-
<i>Entrenamiento sobre uso</i>	\$ 25,00	\$ 25,00	\$ 25,00	\$ 25,00
Costo Total	\$ 800,00	\$ 650,00	\$ 325,00	\$ 275,00

Fuente: Elaboración propia (octubre, 2022).

Apéndice No. 08 Manual de uso para el fixture de soldar tarjeta y pegar hall devices.

Este apéndice puede encontrarse en los documentos adjuntos, específicamente en la carpeta de Apéndices, este documento es un Excel que lleva el mismo nombre que el apéndice 08.

Fuente: Elaboración propia, mediante especificaciones requeridas por el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa (octubre, 2022).

Apéndice No. 09 Manual de uso para el fixture de corte de cable.

Este apéndice puede encontrarse en los documentos adjuntos, específicamente en la carpeta de Apéndices, este documento es un Excel que lleva el mismo nombre que el apéndice 09.

Fuente: Elaboración propia, mediante especificaciones requeridas por el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa (octubre, 2022).

Apéndice No. 10 Manual de uso para el método de encogimiento del tubinig.

Este apéndice puede encontrarse en los documentos adjuntos, específicamente en la carpeta de Apéndices, este documento es un Excel que lleva el mismo nombre que el apéndice 10.

Fuente: Elaboración propia, mediante especificaciones requeridas por el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa (octubre, 2022).

XI. ANEXOS

Anexo No. 01 Cantidad de ventas de Tico Electronics durante el primer semestre del 2022.

División	Monto	Porcentaje
Moog	\$ 2 984 880,00	26%
Harness	\$ 1 952 832,00	17%
Winding	\$ 2 793 552,00	24%
Novanta	\$ 3 805 464,00	33%


Fuente: Información facilitada por el departamento de contabilidad (agosto, 2022).

Anexo No. 02 Cantidad de ventas de Novanta durante el primer semestre del 2022.

Novanta				
División	Monto Semanal	Monto Mensual	Monto Semestral	Porcentaje
New Developments	\$ 8 116,00	\$ 32 464,00	\$ 194 784,00	5%
Winding	\$ 18 122,00	\$ 72 488,00	\$ 434 928,00	11%
Magnet	\$ 37 323,00	\$ 149 292,00	\$ 895 752,00	24%
High Volume	\$ 95 000,00	\$ 380 000,00	\$2 280 000,00	60%

Fuente: Información facilitada por el departamento de contabilidad (agosto, 2022).

Anexo No. 03 Respaldo del suplemento del estudio de tiempos.

 INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE.COM		SISTEMA DE SUPLEMENTOS POR DESCANSO			
SUPLEMENTOS CONSTANTES	HOMBRE	MUJER	SUPLEMENTOS VARIABLES	HOMBRE	MUJER
Necesidades personales	5	7	e) Condiciones atmosféricas		
Básico por fatiga	4	4	Índice de enfriamiento, termómetro de KATA (milicalorías/cm2/segundo)		
SUPLEMENTOS VARIABLES	HOMBRE	MUJER			
a) Trabajo de pie			16	0	
Trabajo se realiza sentado(a)	0	0	14	0	
Trabajo se realiza de pie	2	4	12	0	
b) Postura normal			10	3	
Ligeramente incómoda	0	1	8	10	
Incómoda (inclinación del cuerpo)	2	3	6	21	
Muy incómoda (Cuerpo estirado)	7	7	5	31	
			4	45	
			3	64	
			2	100	
c) Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, tirar o empujar)			f) Tensión visual		
Peso levantado por kilogramo			Trabajos de cierta precisión	0	0
2,5	0	1	Trabajos de precisión o fatigosos	2	2
5	1	2	Trabajos de gran precisión	5	5
7,5	2	3	g) Ruido		
10	3	4	Sonido continuo	0	0
12,5	4	6	Sonidos intermitentes y fuertes	2	2
15	5	8	Sonidos intermitentes y muy fuertes	5	5
17,5	7	10	Sonidos estridentes	7	7
20	9	13	h) Tensión mental		
22,5	11	16	Proceso algo complejo	1	1
25	13	20 (máx)	Proceso complejo o de atención dividida	4	4
30	17		Proceso muy complejo	8	8
33,5	22		i) Monotonía mental		
d) Iluminación			Trabajo monótono	0	0
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0	Trabajo bastante monótono	1	1
Bastante por debajo	2	2	Trabajo muy monótono	4	4
Absolutamente insuficiente	5	5	j) Monotonía física		
			Trabajo algo aburrido	0	0
			Trabajo aburrido	2	2
			Trabajo muy aburrido	5	5

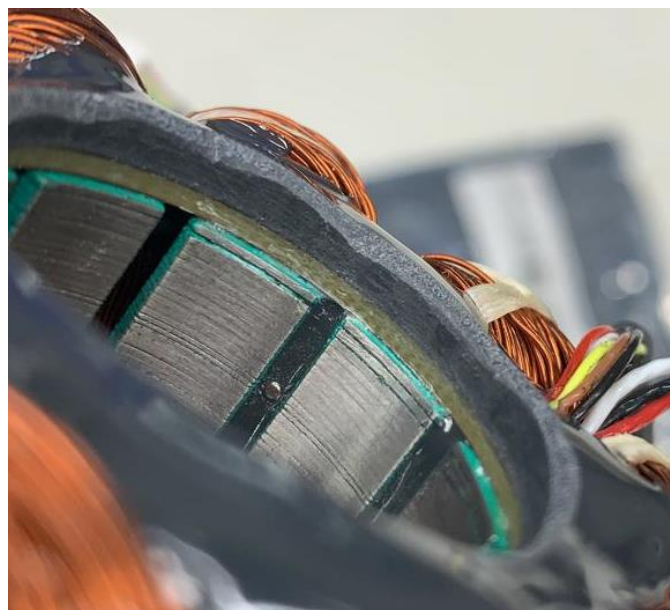
Fuente: Información obtenida mediante la Organización Internacional del Trabajo (octubre, 2022).

Anexo No. 04 Hilo magnético dañado, causa asignada al desperdicio.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (agosto, 2022).

Anexo No. 05 Stack dañado, causa asignada al desperdicio.



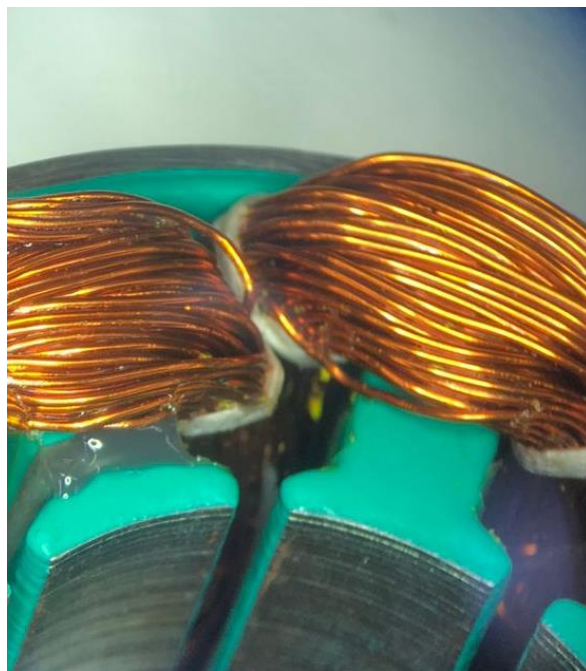
Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (agosto, 2022).

Anexo No. 06 Cable dañado, causa asignada al desperdicio.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (agosto, 2022).

Anexo No. 07 FOD en la pieza, causa asignada al desperdicio.



Fuente: Fotografía facilitada por la línea de producción (agosto, 2022).

Anexo No. 08 Índice de precios del Consumidor.

Índice de precios al consumidor (IPC) [/n1/n2](#)

Diciembre 2020=100

Niveles y variaciones

	Nivel	Variación mensual (%)	Variación interanual (%)	Variación acumulada (%) <small>/n3</small>
Junio/2020	98,88	-0,02	0,31	-0,24
Julio/2020	99,13	0,26	-0,17	0,01
Agosto/2020	99,12	0,00	-0,07	0,01
Septiembre/2020	99,39	0,27	0,30	0,28
Octubre/2020	99,47	0,08	0,45	0,36
Noviembre/2020	99,47	0,00	0,24	0,36
Diciembre/2020	100,00	0,53	0,89	0,89
Enero/2021	100,18	0,18	0,96	0,18
Febrero/2021	99,92	-0,26	0,41	-0,08
Marzo/2021	99,95	0,03	0,47	-0,05
Abril/2021	100,24	0,29	1,21	0,24
Mayo/2021	100,22	-0,01	1,34	0,22
Junio/2021	100,76	0,54	1,91	0,76
Julio/2021	100,55	-0,21	1,44	0,55
Agosto/2021	100,83	0,28	1,72	0,83
Septiembre/2021	101,47	0,63	2,09	1,47
Octubre/2021	101,96	0,49	2,50	1,96
Noviembre/2021	102,80	0,82	3,35	2,80
Diciembre/2021	103,30	0,48	3,30	3,30
Enero/2022	103,68	0,37	3,50	0,37
Febrero/2022	104,81	1,09	4,90	1,47
Marzo/2022	105,74	0,88	5,79	2,36
Abril/2022	107,41	1,58	7,15	3,98
Mayo/2022	108,96	1,44	8,71	5,48
Junio/2022	110,89	1,78	10,06	7,35
Julio/2022	112,10	1,09	11,48	8,52
Agosto/2022	113,06	0,86	12,13	9,45
Septiembre/2022	111,98	-0,95	10,37	8,41

Fuente: Información obtenida mediante Instituto Nacional de Estadística y Censos (octubre, 2022).

Anexo No. 09 Escala de Severidad según el ASQ (American Society for Quality).

Severidad		
ASQ (American Society for Quality)		
Clasificación	Efecto	Criterio: Severidad de Efecto Definido (proceso)
10	Critico Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afectan la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.
9	Critico Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
8	Muy Alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
4	Muy Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	Muy Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	Ninguno	Ningún efecto.

Fuente: Información alineada con ASQ (octubre, 2022).

Anexo No. 10 Escala de Ocurrencia según el ASQ (American Society for Quality).

Ocurrencia (Probabilidad de que pase)				
ASQ (American Society for Quality)				
Clasificación	Ocurrencia	Descripción	Frecuencia	Cpk (índice de capacidad real)
10	Muy Alta	La falla del proceso es casi inevitable	1 en 2	0.33
9			1 en 3	0.51
8	Alta	Procesos similares han presentado fallas	1 en 8	0.67
7			1 en 20	
6	Moderada	Muy pocas fallas ocasionales asociadas a procesos similares	1 en 80	0.83
5			1 en 400	1.00
4			1 en 2,000	1.17
3	Baja	Pocas fallas asociadas con procesos similares	1 en 15,000	1.33
2			1 en 150,000	1.5
1	Remota	Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos	< 1 en 1,500,000	> 1.67

Fuente: Información alineada con ASQ (octubre, 2022).

Anexo No. 11 Escala de Detección según el ASQ (American Society for Quality).

Detección			
ASQ (American Society for Quality)			
Clasificación	Probabilidad de detección	Oportunidad de detección	Criterio: Probabilidad de detección por control de procesos
10	Casi Imposible	Sin oportunidad de detección	no hay controles en el proceso capaz de detectar o prevenir la causa potencial de falla
9	Muy Remota	Es probable que no se detecte en ninguna etapa del proceso	Hay una probabilidad muy remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
8	Remota	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
7	Muy Baja	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad muy Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
6	Baja	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
5	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
4	Altamente Moderada	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad muy moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
3	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
2	Muy Alta	Detección de errores y/o prevención de problemas	Hay muy alta probabilidad de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
1	Casi Seguro	Proceso a prueba de errores	Es casi seguro que el control de proceso es capaz de detectar o de prevenir la causa potencial del modo de falla

Fuente: Información alineada con ASQ (octubre, 2022).