

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE
RECURSOS EN LA LÍNEA 5 DEL
DEPARTAMENTO DE HDR PARA LA
PRODUCCIÓN EFICIENTE DE DOS
PRODUCTOS DE LA SERIE NEXTEST
MEDIANTE EL MÉTODO DMAIC, PARA EL
SEGUNDO CUATRIMESTRE DEL 2023.

Proyecto de graduación para optar por el
Bachillerato en Ingeniería Industrial.

ANTHONY RAMIREZ SUAREZ

LIC.DEYNA MORA MONTERO

Alajuela, 2023.

Acta de Aprobación

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Anthony Ramirez Suarez, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 4-0205-0708 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS EN LA LÍNEA 5 DEL DEPARTAMENTO DE HDR PARA LA PRODUCCIÓN EFICIENTE DE DOS PRODUCTOS DE LA SERIE NEXTEST MEDIANTE EL MÉTODO DMAIC, PARA EL SEGUNDO CUATRIMESTRE DEL 2023, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Alajuela, a los veinte nueve días del mes de octubre del año dos mil veintitrés.



Firma del estudiante
Cédula: 4-0205-0708

DOCUMENTO DE EVALUACIÓN POR PARTE DEL RESPONSABLE EN LA ORGANIZACIÓN DONDE SE REALIZÓ EL PROYECTO

Señores
Escuela de ingeniería industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

Me permito saludarle y a la vez comunicarle que el estudiante Anthony Ramirez Suarez, cédula 4-0205-0708, ha concluido exitosamente el proyecto de graduación para optar por el nivel de bachillerato en ingeniería industrial de la Universidad Hispanoamericana, en modalidad presencial denominado: OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS EN LA LÍNEA 5 DEL DEPARTAMENTO DE HDR PARA LA PRODUCCIÓN EFICIENTE DE DOS PRODUCTOS DE LA SERIE NEXTEST MEDIANTE EL MÉTODO DMAIC, PARA EL SEGUNDO CUATRIMESTRE DEL 2023, a continuación, se presenta el desglose de la nota obtenida:

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	N/A
1. Regularidad en la asistencia al trabajo y cumplimiento con el horario establecido										X	
2. Cumplimiento de tareas que el desarrollo de su trabajo demanda									X		
3. Cumplimiento de los reglamentos y normas existentes en la organización										X	
4. Capacidad de proponer y/o aprender por si mismo acciones tendientes a la mejora de su trabajo										X	
5. Capacidad para identificar y analizar los problemas que se presentan										X	
6. Capacidad para sacar conclusiones y recomendaciones										X	
7. Capacidad para aplicar los conocimientos teóricos al trabajo práctico desarrollado										X	
8. Capacidad para expresar sus ideas										X	
9. Presentación personal adecuada a las exigencias de la organización										X	
10. Capacidad para establecer y mantener relaciones adecuadas con otras personas										X	
11. Capacidad para comunicar sus ideas, sugerencias y conocimientos de la organización									X		
12. Grado de contribución del trabajo a la mejora de las actividades de la organización										X	
13. Grado en que se cumplieron los objetivos planteados al inicio del desarrollo del proyecto										X	

Sumatoria de puntos:

Nota: $\frac{\text{sumatoria de puntos}}{1300} = 98.1$

Comentarios adicionales: El estudiante demostró habilidades para aprender y proponer mejoras, aunque se sugiere mayor pro actividad en la generación de ideas para la mejora continua. Destacó en la identificación y análisis de problemas, así como en la capacidad para sacar conclusiones y ofrecer recomendaciones basadas en análisis sólidos

Atentamente,



Nombre del contacto responsable del proyecto en la organización: Iscel Coronado Delgado

Puesto: Supervisora de Producción

Institución: Samtec

Contactos: 8404-0874

Carta del Tutor

CARTA DEL TUTOR

San José, 30 de Octubre de 2023

Destinatario
Carrera
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Anthony Ramirez Suarez, cédula de identidad número 4-0205-0708, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS EN LA LÍNEA 5 DEL DEPARTAMENTO DE HDR PARA LA PRODUCCIÓN EFICIENTE DE DOS PRODUCTOS DE LA SERIE NEXTEST MEDIANTE EL MÉTODO DMAIC, PARA EL SEGUNDO CUATRIMESTRE DEL 2023., el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

En mi calidad de tutora, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	9%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	18%
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	28%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	20%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	20%
	TOTAL		95%

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Nombre: Ing Deyna Mora Montero
Cédula identidad N: 1-1622-0956

DEYNA
YURBIETH MORA
MONTERO
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por DEYNA YURBIETH
MORA MONTERO
(FIRMA)
Fecha: 2023.11.05
17:23:47 -06'00'

Heredia, 3 de enero de 2024

Señores

Departamento de Registro

Universidad Hispanoamericana

Estimados señores,

En calidad de lector del proyecto de graduación presentado por el estudiante Anthony Ramírez Suárez, titulado "OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS EN LA LÍNEA 5 DEL DEPARTAMENTO DE HDR PARA LA PRODUCCIÓN EFICIENTE DE DOS PRODUCTOS DE LA SERIE NEXTEST MEDIANTE EL MÉTODO DMAIC, PARA EL SEGUNDO CUATRIMESTRE DEL 2023", para optar por el bachillerato en Ingeniería Industrial, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso y he evaluado aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

Es por esta razón que considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser trasladado al siguiente proceso.

ZAIDA ELENA SALAZAR GUZMAN (FIRMA)
Firmado digitalmente por ZAIDA ELENA SALAZAR GUZMAN (FIRMA)
Fecha: 2024.01.03 21:19:47 -06'00'

Lic. Zaida Elena Salazar Guzmán

Cédula: 6-0342-0293

Carné N.º IPI-30160



**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, viernes, 19 de enero de 2024.

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Anthony Ramirez Suarez, con número de identificación 4-0205-0708, autor (a) del trabajo de graduación titulado OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS EN LA LÍNEA 5 DEL DEPARTAMENTO DE HDR PARA LA PRODUCCIÓN EFICIENTE DE DOS PRODUCTOS DE LA SERIE NEXTTEST MEDIANTE EL MÉTODO DMAIC, PARA EL SEGUNDO CUATRIMESTRE DEL 2023, presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Industrial, SÍ / NO autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6883, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica

Cordialmente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Anthony Ramirez Suarez', is written over a horizontal line.

Anthony Ramirez Suarez
402050708



**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.

b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana

c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

Dedicatoria

A Dios, mi guía eterna, le agradezco por iluminar mi camino en los momentos más oscuros, por brindarme fortaleza y por ser la fuente de mi esperanza.

A mi amada madre, el faro de mi vida, gracias por tu amor incondicional y sabios consejos que me han sostenido en cada desafío.

Y a mi preciosa hija, mi mayor inspiración, tu sonrisa ilumina mis días y tus sueños renuevan mi espíritu.

INDICE

1	Capítulo I: Planteamiento del proyecto.....	1
1.1	Descripción general del proyecto.....	2
1.2	Identificación de la organización en donde se realiza el proyecto	3
1.2.1	Descripción general de la organización	4
1.2.2	Antecedentes del contexto de la empresa o institución.....	5
1.3	Planteamiento del problema.....	6
1.3.1	Definición y medición del problema.....	6
1.3.2	Justificación del proyecto	8
1.4	Objetivos del proyecto	10
1.4.1	Objetivo general.....	10
1.4.2	Objetivos específicos	10
1.5	Alcances y limitaciones.....	11
1.5.1	Alcances.....	11
1.5.2	Limitaciones.....	12
2	CAPÍTULOII: MARCO TEÓRICO.....	14
2.1	Marco conceptual general relativo a la carrera.....	15
2.1.1	Ingeniería industrial.....	15
2.1.2	Cumplimiento de entregas a tiempo.....	15
2.1.3	Balanceo de líneas de producción	16
2.1.4	Pérdidas económicas y calidad en producción.....	17
2.1.5	Indicadores de desempeño KPIs.....	17
2.1.6	Mejora continua y excelencia operativa.....	18
2.2	Marcoconceptual atinente a la gestión del proyecto	19
2.2.1	Enfoque DMAIC en la Optimización de la Línea de Producción:.....	19
2.2.2	Herramientas Lean y Six Sigma en la Mejora de Procesos:.....	20
2.2.3	Estudio de tiempos.....	25
2.2.4	Suplementos u holguras	27
2.2.5	Tiempo Estándar.....	27
2.2.6	Cálculo de la muestra	28
2.2.7	Diagrama de precedencia.....	28
2.2.8	Matriz de precedencia.....	29
2.2.9	Takt time	30

2.2.10	Gemba walks	31
2.2.11	Ayudas visuales.....	31
2.2.12	Entrenamiento cruzado	32
2.2.13	Diseño de plantas	33
2.2.14	Estadística.....	34
2.2.15	Tabulación de datos	35
2.2.16	Plan de producción Basado en la demanda	36
2.3	Marco conceptual referente al impacto del proyecto.....	37
2.3.1	Eficiencia de la Línea de Producción:.....	38
2.3.2	Cumplimiento del OTD y Calidad Mejorada:	38
2.3.3	Reducción de Costos y Rentabilidad:.....	39
2.3.4	Generación de Valor y Sostenibilidad:.....	39
2.4	Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes.....	39
3	Capítulo III: Metodología de Trabajo.....	42
3.1	Metodología para la definición del problema	43
3.2	Metodología para la medición y respaldo cualitativo de proyecto.....	46
3.3	Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio	49
3.4	Metodología para la implementación del proyecto	51
3.5	Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados.....	53
4	Capítulo IV: Análisis de causas raíz.....	55
4.1	Diagnostico de la situación actual y definición del proceso.....	56
4.1.1	Definición y detalle de los procesos	56
4.1.2	Diagrama de Bloque y Routings Actuales	62
4.1.3	Layout del área	65
4.2	Análisis de problemas en los rates actuales y tareas asignadas de la línea.	66
4.3	Entrevista.	68
4.4	lluvia de ideas.....	70
4.5	Diagrama de ishikawa.....	71
4.5.1	Falta De Balance De Línea.....	73
4.5.2	Tiempos Standard Ajustados No Calculados.....	73
4.5.3	Tiempos Del Sistema Incorrectos	74
4.5.4	Tiempos Takt No Definido	74
4.5.5	Métodos De Trabajo No Definidos Para Los Operarios.....	75
4.5.6	Escasez De Materia Prima	75
4.5.7	Disponibilidad De Maquinas.....	75

4.5.8	Alto Ausentismo	76
4.5.9	Personal No Capacitado.....	76
4.5.10	Sub-Utilización De Equipos	76
4.5.11	Maquinas Down.....	76
4.5.12	Materiales Incorrectamente Asignados.....	77
4.5.13	Falta De Mano De Obra	78
4.5.14	Problemas De Humedad Y Temperatura Del Área.....	78
4.5.15	Espacio Reducido.....	78
4.5.16	Alto Scrap	78
4.5.17	Materiales Defectuosos.....	79
4.6	Ponderación de las causas.....	79
4.6.1	Resultado de la ponderación de causas.....	80
4.6.2	Pareto de causas.....	83
4.7	análisis de las causas.	85
5	Capítulo V: Diseño e implementación de la solución.....	88
5.1	Descripción de la propuesta	89
5.1.1	Costo / beneficio	92
5.2	Propuesta 1: Actualización de datos rates del sistema.....	94
5.2.1	Cálculo de la muestra y suplementos.	94
5.2.2	Plan de estudio de tiempos	95
5.2.3	Registro de datos.....	96
5.3	Propuesta 2: Diseño de Herramienta de Optimización de Procesos de Producción.....	105
5.3.1	Tiempo estándar Ajustado.....	105
5.3.2	Cálculo de TakT Time	110
5.3.3	Creación del balance de línea.	113
5.4	Propuesta 3: Implementación de estación de Alineamiento.....	119
5.5	Propuesta 4: Actualización de la instrucción de trabajo.....	123
5.6	Resumen de Propuestas e implementación	126
5.6.1	HDR-187158-XX	127
5.6.2	HDR-191555-XX	129
6	Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones.	132
6.1	Conclusiones	133
6.2	Beneficios netos	135
6.3	Recomendaciones	136
6.3.1	Cross-training (Entrenamiento Cruzado):.....	136
6.3.2	Seguimiento de los Índices de Calidad:.....	136

6.3.3	Estudios de Ergonomía en la Línea:	136
6.3.4	Búsqueda de Herramientas Más Ligeras	136
6.4	Bibliografía	137
Bibliografía		137
6.5	Apéndices	139
Apéndice 1 Estudio de tiempos del HDR-187158-XX		140
Apéndice 2 Estudio de tiempos del HDR-191555-XX		142
Apéndice 3 Fórmulas de Herramienta en Excel del HDR-187158-XX		144
Apéndice 4 Fórmulas de Herramienta en Excel del HDR-191555-XX		148
6.5.1	Glosario	152

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de diagrama de Pescado	22
Figura 2 Ejemplo de un Diagrama de Pareto	23
Figura 4 Formulario De Toma De Tiempos	48
Figura 5 Proceso de Cable prep	57
Figura 6 Proceso de Hot bar.	58
Figura 7 Proceso de inspección de cables.	58
Figura 8 <i>Proceso de E-test</i>	59
Figura 9 Proceso de Housing	59
Figura 10 Aplicación de Epoxy	60
Figura 11 Colocación de etiquetas	60
Figura 12 Estaciones de FI	60
Figura 13 Empaque	61
Figura 14 Diagrama de Bloque HDR-187158-XX	63
Figura 15 Diagrama de Bloque del HDR-191555-XX	63
Figura 16 Layout del área de trabajo de Nextest	65
Figura 17 Diferencias porcentuales de PPH del sistema versus PPH Real	67
Figura 18 Entrevista con Supervisor de producción	69
Figura 19 Diagrama de lluvia de ideas	70
Figura 20 Diagrama de Ishikawa	72
Figura 21 Porcentaje de tiquetes abiertos por estación	77
Figura 22 Matriz de evaluación	80
Figura 23 Resultado de encuesta de ponderación	82
Figura 24 Pareto de Causas	83
Figura 25 Diagrama de Gantt – Desarrollo e implementación de propuestas	91
Figura 26 Calculo de muestra	95
Figura 27 Resumen de tiempos por proceso HDR-187158-XX	97
Figura28 Acciones a realizar del estudio de tiempos (HDR-187158-XX)	98
Figura 29 Resumen del Estudio de Tiempos (HDR-191555-XX)	100
Figura30 Acciones a realizar del estudio de tiempos (HDR-191555-XX)	103
Figura 31 Diagrama de Precedencia-HDR-187158-XX	114
Figura 32 Matriz de precedencia o relaciones	115
Figura33 Balance HDR-187158-XX	117
Figura 34 Diagrama Hombre-Máquina-HDR-187158-XX-Actual	121
Figura 35 Diagrama Hombre-Máquina-HDR-187158-XX-Propuesto.	122
Figura 36 Guía para el proceso de HB	124
Figura 37 Guía de utilización de la estación de alineamiento	125
Figura38 Resumen Costo-Beneficio HDR-187158-XX	127
Figura39 Resumen Costo-Beneficio HDR-191555-XX	130
Figura 40 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.1	144
Figura 41 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.2	145
Figura 42 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.3	146
Figura 43 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.4	147
Figura 44 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.1	148
Figura 45 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.2	149
Figura 46 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.3	150
Figura 47 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.4	151

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 ETAPA DE DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	44
Tabla 2 Etapa De Medición Y Respaldo Cualitativo	47
Tabla 3 Metodología Para La Propuesta De Mejora, Análisis.	50
Tabla 4 Metodología Para La Implementación Del Proyecto.....	52
Tabla 5 Metodología Para El Aseguramiento Y Control.....	54
Tabla 6 Descripción de los procesos de la línea de Nextest	57
Tabla 7 Routings del número de parte HDR-187157-XX	64
Tabla 8 Routings del número de parte HDR-191555-XX	64
Tabla9 Resumen De Producción Del HDR-187157-XX	67
Tabla10 Resumen De Producción Del HDR-191555-XX	67
Tabla 11 Resumen de tiques abiertos por estación.....	77
Tabla 12 Porcentaje acumulado de votación de causas	84
Tabla 13 Propuesta de Mejora.....	89
Tabla 14 Análisis de Costo/Benefició.....	93
Tabla 15 Prueba de normalidad HDR-187158-XX	99
Tabla 16 Routings actualizados del HDR-187158-XX.....	100
Tabla 17 Orden de procesos por acumulación HDR-191555-XX	102
Tabla 18 Prueba de normalidad HDR-191555-XX	103
Tabla 19 Routings actualizados del HDR-191555-XX.....	104
20 Glosario de Variables y Descripciones.	106
Tabla 21 Asignación de datos a las variables.....	107
Tabla 22 Herramienta de Tiempos Estándar Ajustados	109
Tabla 23 Detalle de fórmulas	111
Tabla 24 Cálculo de Takt Time para el HDR-187158-XX.....	112
Tabla 25 Resumen de escenarios	113
Tabla 26 Código de operación	114
Tabla 27 Ponderaciones posicionales	116
Tabla 28 Balanceo de linea-HDR-187158-XX	118
Tabla 29 Impacto	120
Tabla 30 Resumen Costo-Beneficio HDR-187158-XX	128
Tabla 31 Resumen Costo-Beneficio HDR-191555-XX	131

Siglas

CCS: Por sus siglas en inglés “Copper-Clad Steel”, esto se refiere a un tipo de cable conductor que consta de un núcleo de acero recubierto con una capa de cobre.

CCD: Por sus siglas en inglés “Charge-Coupled Device” es un componente electrónico utilizado en cámaras digitales.

ESD: Por sus siglas en inglés Electrostatically Sensitive Device, se utiliza para identificar cables que son sensible a descargas electroestáticas.

HDR: Por sus siglas en inglés “High Data Rate” se refiere al tipo de ensamblajes fabricados, así como identificar el área en donde se realizan.

HB: Por sus siglas en inglés Hot Bar, se refiere a una máquina semiautomática utilizada en el proceso de fabricación de ensamblajes en el área de HDR con una barra caliente.

J1: Se utiliza para identificar la ubicación y la conexión de componentes en el circuito electrónico, en el caso de los ensamblajes identifica la tarjeta 1.

J2: Se utiliza para identificar la ubicación y la conexión de componentes en el circuito electrónico, en el caso de los ensamblajes identifica la tarjeta 2.

J3: Se utiliza para identificar la ubicación y la conexión de componentes en el circuito electrónico, en el caso de los ensamblajes identifica la tarjeta 3.

KPI: Por sus siglas en inglés Key Performance Indicator (Indicadores Clave de Desempeño).

NA: por sus siglas “New Albany”.

OD: por sus siglas en inglés “Orders defect” y es utilizado para identificar la métrica que refleja el porcentaje de órdenes defectuosas.

OTD: Por sus siglas en inglés “On-Time Delivery” y es utilizado para identificar la métrica que refleja el porcentaje de órdenes entregadas a tiempo.

PPH: Por sus siglas en inglés “Pieces per hour” indica la cantidad de pizzas por hora que se pueden producir.

SOP: Por sus siglas en inglés “Standard Operating Procedure” se utiliza para identificar los documentos relacionados con los procedimientos operativos estandarizados.

TT: Por sus siglas en inglés “Takt Time”, es una métrica que ayuda a determinar la frecuencia necesaria para completar unidades de producción para satisfacer la demanda del cliente.

DMAIC: Por sus siglas en inglés “Define”, “Measure”, “Analyze”, “Improve”, “Control”, es una metodología para la mejora de procesos.

VOC: Por sus siglas en inglés “Voice of the Customer” Estas siglas son comúnmente utilizadas para abreviar y representar la metodología centrada en recopilar, analizar y comprender las percepciones, opiniones y necesidades de los clientes.

Acrónimos

E-test: Electrical test (Prueba eléctrica)

Resumen

Ramirez Suarez, A. (2023). Optimización de la utilización de recursos en la línea 5 del Departamento de HDR para la producción eficiente de dos productos de la serie NEXTEST mediante el método DMAIC, para el segundo cuatrimestre del 2023 [Proyecto de graduación para optar por el Bachillerato en Ingeniería Industrial, Universidad Hispanoamericana]. Deyna Mora Montero, asesora.

Este proyecto se centró en abordar los desafíos de producción en Samtec, específicamente en el área de HDR, durante el segundo cuatrimestre de 2023. El objetivo principal fue optimizar la utilización de recursos en la Línea 5 para la producción eficiente de dos productos de la serie NEXTEST.

Se identificaron problemas clave, como la asignación ineficiente de tareas, altos tiempos muertos de máquinas y operarios, y la falta de procedimientos estandarizados. Para abordar estos problemas, se aplicó el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) de manera estructurada y efectiva.

Como parte de las soluciones propuestas, se desarrolló una herramienta en Excel para equilibrar la carga de trabajo de los asociados y se implementó una estación de alineamiento. Adicionalmente, se diseñó una guía detallada para orientar a los asociados en la adopción de estos cambios. Estas soluciones conllevan beneficios sustanciales, incluyendo una mayor eficiencia, la reducción de tiempos muertos y la minimización de desperdicios. Se espera que estas mejoras también se traduzcan en una mejora en la calidad de los productos, un aumento de la satisfacción de los empleados y una mayor competitividad y rentabilidad para Samtec.

El proyecto contempla una implementación progresiva de las soluciones propuestas, con un monitoreo constante de su efectividad y la realización de ajustes según sea necesario. Las conclusiones del estudio resaltan la importancia de abordar de manera sistemática los problemas de producción utilizando enfoques metodológicos como DMAIC. Esta estrategia no solo soluciona los problemas identificados, sino que también sienta las bases para una producción más eficiente y rentable en el futuro. El proyecto enfatiza la relevancia de la gestión eficaz de recursos, la capacitación del personal y la estandarización de procesos en entornos industriales.

La implementación exitosa de estas soluciones se convierte en un elemento esencial para alcanzar una producción más eficiente y competitiva en el contexto de Samtec. El proyecto subraya la importancia de abordar de manera sistemática los problemas de producción y ejemplifica cómo mejoras concretas pueden generar un impacto significativo en la eficiencia y calidad del trabajo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El presente documento es una propuesta de proyecto para mejorar la eficiencia y el cumplimiento del OTD en la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR de la empresa Samtec, ubicada en Costa Rica. Se ha identificado una disconformidad relacionada con la utilización de recursos en la línea, lo que afecta la productividad y el cumplimiento de entregas a tiempo. El objetivo general es aplicar el método DMAIC para optimizar los tiempos de procesamiento, balancear la utilización de recursos y garantizar la entrega puntual de los productos HDR-191555-XX y HDR-187158-XX.

El proyecto se llevó a cabo en el segundo y tercer cuatrimestre del 2023 en las instalaciones de Montecillos de Alajuela, Costa Rica. Se realizó un análisis exhaustivo de los tiempos de procesamiento actuales y se implementó el método DMAIC para abordar las problemáticas identificadas. Se diseñó un plan de balanceo de recursos para distribuir eficientemente el personal y las máquinas en la línea de producción. El alcance del proyecto se limitó a la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR y se enfocó exclusivamente en los productos HDR-191555-XX y HDR-187158-XX

Se identificaron limitaciones en la disponibilidad de ciertos datos técnicos y económicos de la empresa, así como restricciones en la divulgación visual de algunas máquinas y el acceso a ciertos archivos debido a la política de confidencialidad. Estas limitaciones se abordaron con transparencia y rigurosidad para asegurar la validez de los resultados obtenidos.

El presente proyecto contribuirá al avance de la línea de investigación de Procesos de Producción en la Escuela de Ingeniería Industrial, generando

beneficios económicos para la organización, mejora en la satisfacción del cliente y un impacto positivo en la sociedad. Es una oportunidad estratégica para Samtec, demostrando su compromiso con la mejora continua y la excelencia operativa.

1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN EN DONDE SE REALIZA EL PROYECTO

Samtec es una destacada compañía fundada por Sam Shine en 1976, especializada en la fabricación de conectores para PC Boards. Su visión desde el inicio fue ofrecer un servicio excepcional que marcara la diferencia en un mercado ya saturado, destacando por sus tiempos de entrega cortos y un enfoque centrado en el cliente. Este enfoque ágil y eficiente ha sido un pilar fundamental durante más de 39 años. Con el tiempo, la empresa ha expandido su presencia internacional mediante numerosas subsidiarias en distintas partes del mundo.

La sede central y principal planta de manufactura de Samtec se encuentran en New Albany, Indiana. Además, la compañía ha establecido instalaciones de manufactura estratégicamente ubicadas en Singapur, Malasia, China, Penang y Costa Rica. Su alcance global se completa con oficinas de Ventas y Servicio al Cliente distribuidas en América, Europa y Asia.

1.2.1 Descripción general de la organización

Costa Rica fue el lugar elegido para establecer una de las filiales de Samtec, cuya fundación se remonta al 25 de septiembre de 2006. En sus inicios, el equipo estaba compuesto por 12 personas, pero hoy en día, la compañía cuenta con una significativa fuerza laboral de más de mil empleados, que incluyen operarios y personal administrativo. La ubicación actual de sus instalaciones se encuentra en Montecillo de Alajuela.

En Costa Rica, la filial se guía por valores clave, como la flexibilidad, velocidad, enfoque en ganar-ganar e innovación, que han contribuido a su éxito. Dentro de sus principales departamentos de producción se encuentran las áreas de PLATING, QXX y HDR, las cuales se especializan en la colocación de oro en los pines, la fabricación de conectores y la construcción de cables de alta transferencia de datos, respectivamente.

La empresa se encuentra organizada en varios departamentos, cada uno con diferentes responsabilidades, incluyendo Diseño de Productos, Recursos Humanos, Contabilidad, Ingeniería de Tooling y Manufactura. Cada uno de estos departamentos se divide a su vez en áreas y subáreas para una mejor gestión y operación.¹

¹ Información obtenida del manual del colaborador, Samtec-Costa rica

1.2.2 Antecedentes del contexto de la empresa o institución

Para el propósito de este proyecto, se centrará en el departamento de Manufactura, específicamente en el área denominada HDR, encargada del ensamblaje de componentes de alta transferencia de datos.

El área de HDR presenta características distintivas que vale la pena resaltar:

1. Se destaca como una de las áreas responsables de fabricar los productos más valiosos y costosos que la compañía ofrece en su catálogo.
2. La construcción de los productos en esta área involucra operaciones de mayor complejidad, lo que se traduce en tiempos de ciclo más prolongados.
3. El tipo de producción en HDR se clasifica como Low Volume-High Mix, lo que plantea desafíos en la definición de tiempos de trabajo justos debido a la gran cantidad de combinaciones posibles de componentes.

En vista de estas particularidades, el equipo de manufactura en el área HDR se enfrenta a retos únicos para garantizar la eficiencia y calidad en el proceso de ensamblaje de los componentes de alta transferencia de datos. El proyecto en curso tiene como objetivo abordar estas cuestiones y optimizar la productividad en esta área estratégica de la compañía.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Definición y medición del problema

En el departamento de HDR, se ha identificado una disconformidad crítica relacionada con la eficiencia y productividad en la línea 5, encargada de gestionar dos números de parte de la serie Nextest. Estos dos números de parte comparten los mismos recursos, tanto en términos de personal como de máquinas, para su producción. Esta situación presenta un desafío fundamental, ya que es imperativo elevar la eficiencia y productividad de la línea para cumplir simultáneamente con las metas establecidas para ambos productos.

El problema radica en la optimización de la utilización de los recursos disponibles, con el fin de lograr una mayor eficiencia en el proceso de fabricación y garantizar la satisfacción del cliente. Esto implica analizar detalladamente las operaciones y los tiempos de producción asociados a cada número de parte, identificando posibles cuellos de botella y oportunidades de mejora. Se deben considerar técnicas como el balanceo de líneas de producción y la asignación eficiente de personal y máquinas para lograr un flujo de trabajo óptimo y equilibrado.

La importancia de abordar esta problemática es resaltada por varios factores clave:

Cumplimiento de Entregas a Tiempo (OTD): El cumplimiento de entregas a tiempo (OTD) es un indicador crítico para la empresa, y se ha establecido una meta del 95% de OTD. Sin embargo, en el transcurso del año 2022, la línea de Nextest solo logró un 86.01% de OTD, considerablemente por debajo de la meta. Es relevante señalar que el Producto HDR-191555-XX presentó un OTD del 78.03%, mientras que el Producto HDR-187158-XX tuvo un OTD del 81.2%,

ambos considerablemente inferiores a la meta deseada. Reducir los tiempos de procesamiento de estos productos es crucial para mejorar el rendimiento y lograr el objetivo de OTD del 95%.

Necesidad de Aumentar la Productividad: A pesar de que la productividad general de la línea de Nextest ha mantenido un promedio histórico del 80%, este nivel no es suficiente para garantizar entregas a tiempo consistentes. El objetivo de alcanzar el 95% de OTD demanda una mayor eficiencia y rendimiento en términos de productividad. La discrepancia entre la productividad actual y la meta establecida resalta la urgente necesidad de optimizar y mejorar el proceso de producción.

Calidad de las Órdenes Deficientes (OD): La calidad de las órdenes, medida a través del porcentaje de órdenes defectuosas (OD), es otro aspecto crucial en esta situación. El objetivo es mantener las OD por debajo del 0.25% del total de órdenes. Sin embargo, en años recientes, incluyendo el 2022 y los primeros tres meses del 2023, se han registrado niveles alarmantemente elevados de OD, con cifras de 1.69% y 1.95%, respectivamente. Estos datos indican la existencia de un problema sustancial en términos de calidad en la línea de producción de Nextest. Este problema afecta negativamente la satisfacción del cliente y la reputación de la compañía en el mercado.

El objetivo final es aumentar la producción de ambos productos sin comprometer la calidad ni incurrir en atrasos en las entregas. Esto requerirá un análisis exhaustivo de los procesos actuales, la identificación de áreas de mejora y la implementación de soluciones que permitan maximizar la eficiencia operativa. Al lograr un equilibrio adecuado y eficiente en la utilización de los recursos, se podrá

cumplir con las metas de producción para ambos productos de la serie Nextest de manera puntual y eficiente.

1.3.2 Justificación del proyecto

La justificación del presente proyecto se fundamenta en los beneficios que se obtendrán al abordar la disconformidad existente en el departamento de HDR, específicamente en la línea 5 encargada de gestionar dos números de parte de la serie Nextest. La baja eficiencia y productividad de esta línea plantea un desafío importante para la organización, ya que es necesario alcanzar metas de producción para ambos productos de manera simultánea.

En términos económicos, el incumplimiento de entregas a tiempo (OTD) ha ocasionado pérdidas económicas considerables debido a los retrasos en las entregas, y los altos niveles de órdenes defectuosas (OD) han generado costos adicionales por reprocesos y devoluciones. La implementación exitosa de este proyecto permitirá reducir estos perjuicios económicos y mejorar la rentabilidad del departamento de HDR. Para el año anterior, la productividad de la línea de Nextest representó pérdidas por más de \$10,000, y los problemas de calidad generaron costos adicionales alrededor de \$30,000. Por esta razón, resulta imperativo y estratégico llevar a cabo un cambio en los sistemas actuales de trabajo, buscando minimizar estos costos y gastos operativos mientras se potencia la eficiencia y productividad de la línea.

Asimismo, la optimización de los recursos disponibles en la línea 5 traerá consigo una mayor eficiencia y productividad en el proceso de fabricación, lo que se traducirá en una reducción de los tiempos de ciclo y de producción. Estos

resultados contribuirán a mejorar el cumplimiento de entregas a tiempo, fortaleciendo así la satisfacción del cliente y la reputación de la organización en el mercado.

La ejecución de este proyecto representa una oportunidad estratégica para la organización, mostrando su compromiso con la mejora continua y la búsqueda de la excelencia operativa. Además, el impacto social y ético de mejorar las condiciones de trabajo en el departamento de HDR fomentará la satisfacción laboral de los empleados y el bienestar de la comunidad en general.

En términos académicos, los resultados y metodologías implementadas en este proyecto aportarán conocimiento valioso y lecciones aprendidas en la optimización de recursos y procesos de producción en el área de manufactura. Estos hallazgos pueden ser aplicables en otros contextos y sectores industriales, contribuyendo así al avance de la academia y la industria.

En resumen, la resolución del problema en el departamento de HDR se traducirá en un impacto positivo sustancial en la organización, directamente relacionado con las pérdidas actuales y las oportunidades de ingreso que está experimentando la empresa. Esta iniciativa generará beneficios económicos al reducir costos y maximizar la eficiencia operativa, lo que a su vez se traducirá en una mejora significativa en la satisfacción del cliente y en la imagen corporativa. Además, este enfoque estratégico no solo aborda los desafíos internos, sino que también posiciona a la empresa en un camino de mejora continua, fortaleciendo su competitividad en el mercado actual y futuro.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 Objetivo general

Mejorar, mediante la aplicación del método DMAIC y balance de línea, la eficiencia y el cumplimiento de OTD en la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR, asegurando la optimización de los tiempos de procesamiento y la entrega a tiempo de los productos HDR-191555-XX y HDR-187158-XX.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar cuellos de botella en la línea de producción de Nextest en HDR
2. Mejorar el OTD.
3. Reducir tiempos en la línea de producción de Nextest en HDR.
4. Aplicar la Metodología DMAIC en la producción de Nextest en HDR.
5. Equilibrar recursos en la línea de producción, mejorando flujo y eficiencia.
6. Evaluar el impacto económico y financiero de las mejoras implementadas en la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

El proyecto de mejora de eficiencia y cumplimiento del OTD en la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR, mediante la aplicación del método DMAIC, se ejecutó durante el segundo cuatrimestre y parte del tercer cuatrimestre del 2023. El alcance de este proyecto abarcó las instalaciones físicas del Área de HDR en la empresa Samtec, ubicada en la zona franca zeta de Montecillos de Alajuela, Costa Rica.

La evaluación exhaustiva de los tiempos de procesamiento actuales en la línea de producción, junto con la implementación del método DMAIC, fue desarrollada para identificar y abordar problemas relacionados con la eficiencia y el cumplimiento del OTD.

El diseño e implementación de mejoras en los procesos de fabricación, enfocadas en reducir los tiempos de ciclo y aumentar la productividad, se aplicaron específicamente en la producción de los productos HDR-191555-XX y HDR-187158-XX.

Asimismo, el alcance incluyó la planificación y ejecución de un balanceo de recursos para optimizar la distribución del personal y las máquinas en la línea de producción, con el objetivo de alcanzar un flujo de trabajo equilibrado y eficiente.

El proyecto buscó garantizar la entrega puntual de los productos HDR-191555-XX y HDR-187158-XX, mediante el establecimiento y seguimiento de indicadores de desempeño clave (KPIs) relacionados con el cumplimiento del OTD y la eficiencia en la línea de producción.

Es importante destacar que el alcance del proyecto se limitó exclusivamente a la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR, sin abarcar otras áreas o departamentos de la organización. También, se enfocó únicamente en los productos HDR-191555-XX y HDR-187158-XX, excluyendo otros productos de la compañía. Además, se documentaron las diferentes etapas y avances del proyecto en las instalaciones físicas de Samtec en Montecillos de Alajuela, Costa Rica.

1.5.2 Limitaciones

Durante el proceso de desarrollo de este proyecto, se identificaron algunas limitaciones relevantes que implicaron obstáculos metodológicos y alteraron el panorama inicial del mismo. Estas dificultades surgieron en distintas etapas del proyecto y se describen a continuación:

Limitaciones en la disponibilidad de ciertos datos técnicos y económicos de la empresa Samtec. Algunos de estos datos son confidenciales y no pueden ser revelados en su totalidad en el informe final, lo que limitó la profundidad del análisis en ciertas áreas.

Restricciones relacionadas con la divulgación visual de ciertas máquinas utilizadas en la línea de producción de la serie Nextest. Debido a la naturaleza sensible de algunos componentes y procesos, se requirió autorización previa para la captura de imágenes y fotografías, lo que implicó ciertas limitaciones en la documentación gráfica del proceso.

Limitaciones en el acceso a ciertos archivos y documentos debido a la política de confidencialidad de la empresa y las restricciones de acceso a ciertas áreas de la

planta de manufactura. Estas limitaciones impactaron la recopilación de datos en algunos casos.

Es importante destacar que estas limitaciones no impidieron la realización del proyecto ni afectaron su alcance general. Sin embargo, establecieron ciertos elementos definidos y restringieron la posibilidad de ampliar el análisis en algunas áreas específicas. Estas limitaciones fueron abordadas con transparencia y rigurosidad para asegurar la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA

2.1.1 Ingeniería industrial.

La ingeniería industrial desempeña una función esencial en el contexto actual de la industria y los negocios, especialmente en un entorno caracterizado por dinámicas como la globalización, el auge del sector de servicios y los avances tecnológicos. Su enfoque central se centra en la optimización de la productividad, que se refiere al incremento en la producción en relación con el tiempo de trabajo invertido. Este aspecto es crucial para el crecimiento y la rentabilidad de las organizaciones, especialmente en un mercado altamente competitivo. Para alcanzar este objetivo, la ingeniería industrial se apoya en herramientas como métodos de trabajo, análisis de tiempos estándar y diseño de tareas. Estas herramientas se aplican de manera amplia en diversas áreas de la industria y los negocios para optimizar la producción, reducir costos y mejorar la calidad. A medida que las empresas buscan adaptarse a la competencia y lograr eficiencia en costos, la ingeniería industrial se convierte en un componente esencial para identificar y eliminar elementos redundantes, mejorando la eficiencia y la efectividad en todas las áreas de la organización, desde la producción hasta la administración (W.Niebel & Freivalds, 2009).

2.1.2 Cumplimiento de entregas a tiempo.

El cumplimiento de entregas a tiempo (On-Time Delivery, OTD) es un indicador esencial en la gestión de operaciones y calidad que evalúa la capacidad de una organización para cumplir con los plazos de entrega acordados con sus clientes. Enfocado en la eficiencia y confiabilidad, el OTD se define como la proporción de

productos o servicios entregados en la fecha prometida. Un alto cumplimiento de entregas a tiempo no solo demuestra la capacidad de una organización para gestionar su producción y cadena de suministro de manera efectiva, sino que también fortalece la confianza del cliente y mejora la reputación. Para lograr un alto OTD, las organizaciones a menudo recurren a metodologías como Lean y Six Sigma para identificar y eliminar ineficiencias, reducir el tiempo de ciclo y garantizar una entrega consistente y oportuna (George M. L., y otros, 2005).

2.1.3 Balanceo de líneas de producción

En "The Toyota Way" de (Liker, 2004), se introduce el concepto de Lean Production como una filosofía de manufactura que se origina en el Sistema de Producción de Toyota (TPS²) y que se ha convertido en la base de gran parte del movimiento de producción lean. Esta perspectiva va más allá de simplemente implementar herramientas superficiales, como la metodología 5S y el principio Justo a Tiempo. En cambio, el Lean Production se trata de un enfoque integral que abarca todo el sistema organizacional y cultural de una empresa. El concepto se manifiesta en la búsqueda de equilibrar las líneas de producción, un proceso crucial en el cual se ajusta y armoniza el ritmo de producción en cada etapa del proceso, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega final al cliente.

El Lean Production, como parte del TPS, se basa en la eliminación de desperdicios y la optimización de procesos para lograr un flujo constante y sin interrupciones en la producción. La clave está en la creación de una línea de producción equilibrada, donde se evita la acumulación excesiva de inventario en etapas intermedias, se minimizan los tiempos de espera y se promueve un ritmo

² Toyota Production System

constante de trabajo que se alinea con la demanda real del cliente. Este enfoque difiere significativamente del modelo de producción en masa, priorizando la flexibilidad, la calidad y la capacidad de respuesta a las necesidades del cliente. El Lean Production no solo se trata de herramientas técnicas, sino de un cambio profundo en la cultura y la mentalidad de toda la organización, donde la mejora continua y la involucración de todos los niveles son esenciales para su éxito.

2.1.4 Pérdidas económicas y calidad en producción.

El libro "Lean Thinking" trata el vínculo crucial entre las "Pérdidas Económicas y la Calidad en la Producción" en el contexto del pensamiento lean y la noción japonesa de "muda" o despilfarro. El concepto de muda se enfoca en las actividades que consumen recursos sin aportar valor real, como los defectos, la producción superflua y los procedimientos innecesarios. El enfoque DMAIC se introduce como un método estructurado para abordar las mudas. El pensamiento lean se presenta como una respuesta efectiva a la muda, permitiendo lograr más con menos recursos, eliminar desperdicios y satisfacer las necesidades del cliente. Se enfatiza la importancia de definir con precisión el valor desde la perspectiva del consumidor, redefinir procesos y tecnologías, y priorizar la entrega de valor al cliente en lugar de enfocarse en los activos existentes. En síntesis, el libro aborda cómo la definición clara del valor y la eliminación del despilfarro son fundamentales para la producción eficiente y de alta calidad (Womack & Jones, 2012).

2.1.5 Indicadores de desempeño KPIs

En su obra "The Big Book of Key Performance Indicators", se realiza un exhaustivo análisis de los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) como respuesta a la preocupación generalizada en las organizaciones con respecto a

las complejas hojas de cálculo y aplicaciones. Peterson resalta la esencia de los KPIs: presentar datos técnicos en un lenguaje empresarial comprensible, utilizando tasas, ratios, promedios y porcentajes en lugar de cifras sin procesar. El autor destaca la importancia de otorgar contexto temporal a los datos y resaltar los cambios, en contraposición a la simple presentación de tablas de datos. Además, enfatiza el papel crucial de los KPIs en impulsar acciones críticas para el éxito empresarial. Peterson resalta la relevancia de la presentación visual, que incorpora elementos como colores, indicadores visuales y flechas para destacar tendencias y cambios de dirección. La comunicación de expectativas y el seguimiento del progreso hacia objetivos se perfilan como componentes fundamentales para una implementación efectiva de los KPIs. En última instancia, Peterson sostiene que los KPIs deben diseñarse para estimular la acción o proporcionar información que guíe la toma de decisiones, y subraya que una presentación regular y efectiva resulta esencial para generar un impacto positivo en la organización (Peterson, 2006).

2.1.6 Mejora continua y excelencia operativa.

El concepto de "Mejora Continua y Excelencia Operacional" en la filosofía de Toyota se basa en un enfoque orientado a los procesos y a largo plazo. A diferencia de muchas empresas que buscan resultados financieros a corto plazo, Toyota invierte conscientemente en sistemas de personas, tecnología y procesos que trabajan juntos para brindar un alto valor al cliente. La mejora continua, conocida como "kaizen", se centra en estabilizar y estandarizar los procesos antes de buscar mejoras. Esto permite aprender de manera constante a partir de las mejoras y visualizar desperdicios e ineficiencias. Para ser una organización de aprendizaje, Toyota valora la estabilidad del personal y sistemas cuidadosos de

sucesión para proteger el conocimiento organizativo. En Toyota, se fomenta una actitud de autoreflexión, autocrítica y responsabilidad, donde admitir debilidades y proponer contramedidas para prevenir futuros problemas se considera una fortaleza (Liker, 2004).

2.2 MARCOCONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO

2.2.1 Enfoque DMAIC en la Optimización de la Línea de Producción:

En el ámbito de la gestión de proyectos industriales, el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) emerge como una metodología crucial para la optimización de procesos en la línea de producción. Cada etapa de DMAIC abarca actividades específicas que guían la mejora continua de procesos.

Definir: En esta fase inicial, se establecen de manera clara y concisa los objetivos del proyecto y se identifican los problemas clave que deben abordarse en la línea de producción. Esto incluye la identificación de áreas de ineficiencia como exceso de inventario, tiempos de espera o defectos en la producción. Además, en esta fase se definen los criterios de éxito del proyecto y se establecen indicadores para medir el progreso.

Medir: En la etapa de medición, se recopila información y datos relevantes sobre el proceso actual de la línea de producción. Se seleccionan Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) para evaluar el rendimiento, lo que puede incluir mediciones de tiempo, calidad, costos y cumplimiento de entregas. La recopilación de datos proporciona una visión objetiva y cuantificable del estado actual del proceso.

Analizar: Una vez recopilados los datos, se lleva a cabo un análisis exhaustivo para identificar las causas fundamentales de los problemas y áreas de mejora. Se utilizan herramientas como el diagrama de espina de pescado (Ishikawa) o el diagrama de dispersión para visualizar relaciones entre variables y encontrar patrones. El análisis permite comprender en profundidad por qué ocurren los problemas y cómo impactan en el rendimiento general de la línea de producción.

Mejorar: En esta fase, se generan y evalúan soluciones para abordar los problemas identificados en las etapas anteriores. Herramientas como el brainstorming y el análisis costo-beneficio se utilizan para identificar opciones viables de mejora. Las soluciones se prueban a pequeña escala antes de su implementación completa, con el objetivo de implementar cambios efectivos que optimicen el proceso y reduzcan los problemas previamente identificados.

Controlar: En la fase final de DMAIC, se establecen sistemas de control para monitorear y mantener las mejoras implementadas. Esto involucra la definición de procedimientos operativos estándar (SOPs), la capacitación de empleados en los nuevos métodos y la implementación de medidas para prevenir la recaída en problemas anteriores. La medición constante de los KPIs asegura que los resultados sean sostenibles a lo largo del tiempo.

2.2.2 Herramientas Lean y Six Sigma en la Mejora de Procesos:

En la optimización de la línea de producción, las herramientas Lean y Six Sigma desempeñan un papel fundamental al enfocarse en la eliminación de desperdicios y la mejora constante de procesos. Algunas de las herramientas clave en esta metodología incluyen:

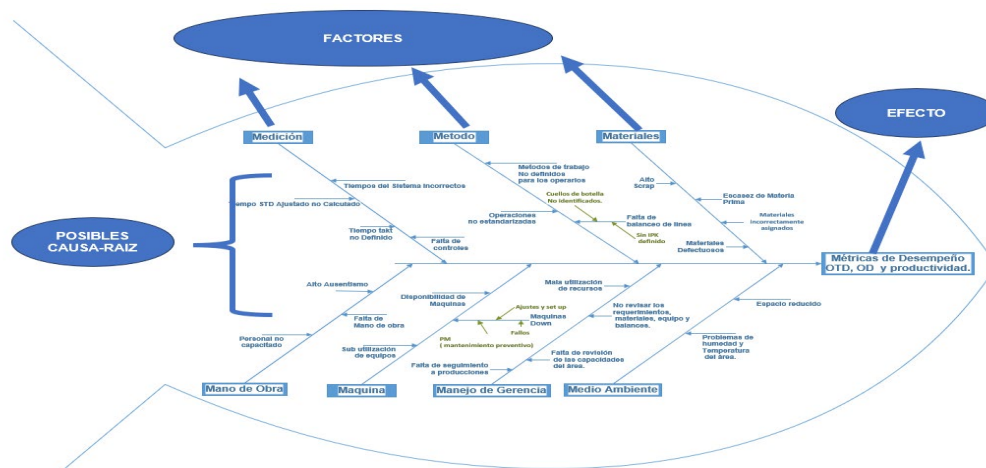
Lluvia de ideas: La lluvia de ideas es un proceso de grupo en el que se busca generar una gran cantidad de ideas para abordar y resolver problemas. Este enfoque involucra la participación de miembros en subgrupos más pequeños, a menudo con un registrador de ideas. Durante una sesión de lluvia de ideas, se siguen directrices que incluyen la promoción de ideas sin importar su rareza, la generación de la mayor cantidad de ideas posible, la ausencia de crítica inicial y la estimulación de la combinación y profundización de ideas previas. Tras la sesión, se organizan las ideas, se evalúan sus ventajas y desventajas, y se someten a votación para identificar las soluciones más prometedoras. Estas soluciones se refinan a través de rondas sucesivas de votación hasta seleccionar la mejor opción. Este enfoque facilita la colaboración creativa y sin juicios con el fin de explorar una amplia gama de ideas y enfoques para encontrar la solución óptima a un problema (W.Niebel & Freivalds, 2009).

Diagrama de Ishikawa (Espina de Pescado):

Los diagramas de pescado, también conocidos como diagramas causa-efecto o diagramas de Ishikawa, son una herramienta desarrollada por Ishikawa en la década de 1950 para identificar y visualizar las posibles causas de un problema específico.

Esta herramienta ayuda a identificar y visualizar las posibles causas de un problema específico. Factores como personas, procesos, maquinaria, materiales y entorno se consideran para analizar cómo diferentes elementos pueden contribuir a un problema y focalizar los esfuerzos de mejora (W.Niebel & Freivalds, 2009).

Figura 1 Ejemplo de diagrama de Pescado



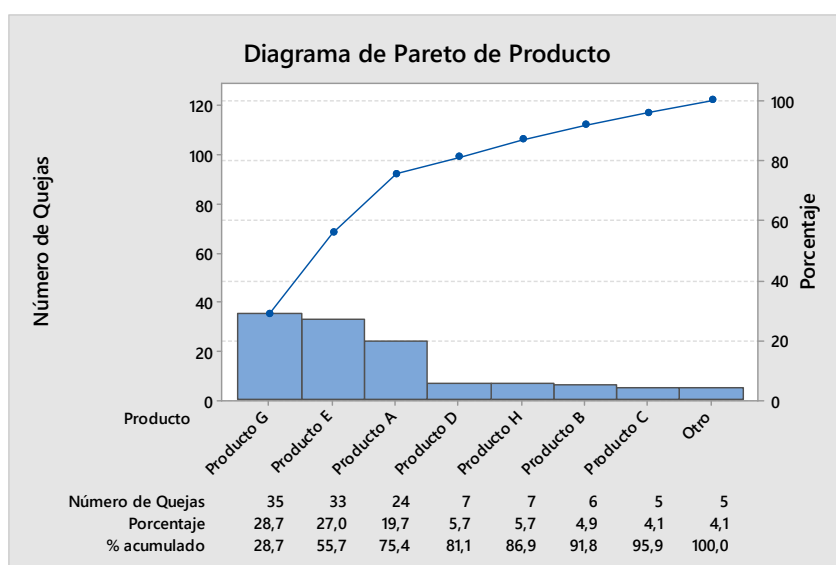
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de Pareto: Es posible definir las áreas problemáticas mediante una técnica ideada por el economista Vilfredo Pareto con el propósito de abordar la concentración de la riqueza. Según el enfoque de Pareto, los elementos de interés se identifican y miden utilizando una misma escala, para luego organizarlos en un orden descendente, creando así una distribución acumulativa. En términos generales, se observa que alrededor del 20% de los elementos evaluados engloban el 80% o más de la actividad total. Este enfoque se conoce comúnmente como la "regla 80-20". Por ejemplo, es común que el 80% del inventario total esté representado por tan solo el 20% de los elementos en el inventario. Asimismo, cerca del 20% de los trabajos ocasionan aproximadamente el 80% de los accidentes o este mismo porcentaje de trabajos da lugar al 80% de los gastos de compensación para los empleados. En términos conceptuales, el profesional a cargo de analizar métodos concentra su mayor esfuerzo únicamente en aquellos pocos trabajos que generan la mayor parte de los problemas. En algunos casos, la distribución de Pareto puede adoptar una forma lineal mediante

la aplicación de la transformación lognormal, lo que posibilita llevar a cabo análisis cuantitativos más detallados (W.Niebel & Freivalds, 2009).

En la **Figura 2** se muestra un ejemplo de un diagrama de Pareto, donde se evidencia que el 80% de las quejas se relacionan con los productos G, E y A. Esto significa que, al abordar las inquietudes de solo tres de los ocho productos, podemos resolver el 80% de los problemas.

Figura 2 Ejemplo de un Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt, una técnica de planificación y control de proyectos desarrollada en los años cuarenta, permite una visualización clara de las fechas de finalización de diversas actividades en barras gráficas dispuestas en función del tiempo en el eje horizontal. Las fechas reales de finalización se indican mediante el sombreado de las barras correspondientes. Al trazar una línea vertical en un punto específico, es posible identificar retrasos o avances en las actividades del proyecto (W.Niebel & Freivalds, 2009).

Diagrama de bloque

El diagrama de bloques se define como una representación visual de sistemas, proyectos o procesos, detallando la interacción y las relaciones entre sus elementos. Utilizando bloques para representar componentes y flechas para mostrar las conexiones, este tipo de diagrama resulta esencial tanto para ingenieros como para aquellos no familiarizados con conceptos técnicos. Además, resulta especialmente útil en la ingeniería, el diseño electrónico y la interacción hardware-software, brindando una visión general y clara de los sistemas complejos.

Este tipo de diagrama se diferencia de los diagramas de flujo al centrarse en las relaciones entre componentes más que en la secuencia de pasos. Es valioso para detectar problemas en sistemas y procesos, identificar cuellos de botella y comprender la estructura general de un sistema. Asimismo, resulta beneficioso para explicar procesos a personas no técnicas, permitiéndoles entender la relación entre los elementos y cómo interactúan para lograr un objetivo específico. (Miro, s.f.).

Entrevista VOC

Las entrevistas se emplean con el objetivo principal de obtener la perspectiva específica de los clientes sobre temas de servicio, atributos de productos o servicios, y medidas de rendimiento. La utilización de este método se justifica debido a su capacidad para establecer una conexión individual con los clientes, brindando flexibilidad para explorar sus necesidades y ofreciendo un entorno en el que se sientan escuchados.

Estas entrevistas se aplican en diferentes fases de un proyecto: al inicio, para comprender las expectativas del cliente; en la etapa intermedia, para aclarar puntos esenciales o poner a prueba ideas; y al final, para validar mejoras o aclarar descubrimientos. Para llevar a cabo este proceso, es esencial definir el propósito, preparar las preguntas, elegir el método (ya sea cara a cara o telefónico), determinar el número de participantes, realizar prácticas internas, contactar a los clientes, planificar la recolección de datos y, finalmente, realizar las entrevistas. Se recomienda emplear colores distintos para resaltar declaraciones relacionadas con diferentes aspectos durante las transcripciones, lo que facilita un análisis más efectivo (George M. , y otros, 2005).

2.2.3 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es un paso crucial en el desarrollo de un centro de trabajo eficiente. Permite establecer estándares de tiempo para tareas específicas mediante técnicas como el uso de cronómetros, sistemas predeterminados, datos estándar o estudios de muestreo del trabajo. Estos métodos se basan en definir el tiempo permitido para realizar una tarea, considerando aspectos como la fatiga y los retrasos personales o inevitables. Establecer estándares de tiempo precisos mejora la eficiencia del equipo y del personal, mientras que estándares mal definidos pueden resultar en altos costos y problemas en la empresa.

Algunos de los pasos y consideraciones necesarios para realizar un estudio de tiempos efectivo en entornos de producción son:

1. **Registro y cálculo de tiempos:** Se inicia con la observación de ciclos y el registro de tiempos transcurridos en la realización de cada actividad. Los tiempos son cruciales para establecer estándares y evaluar la eficiencia del operario.

2. **Cálculo de tiempos normales:** Se deben utilizar factores de calificación del desempeño para calcular los tiempos normales. Además, se determinan los tiempos estándar multiplicando los tiempos normales por factores de suplemento o holgura.
3. **Manejo de datos anómalos:** Se deben identificar y saber manejar los datos anómalos o extremos que podrían afectar la validez de los estudios de tiempo. Para ayudar con esto se cuenta con técnicas estadísticas como el criterio 1.5IQR o la regla de tres sigmas para identificar estos valores anómalos.
4. **Establecimiento de estándares temporales:** Se discute la emisión de estándares temporales en situaciones específicas donde el volumen de producción es bajo o las tareas son nuevas. Estos estándares temporales pueden ser más flexibles para adaptarse a condiciones cambiantes.
5. **Estándares de preparación:** Se aborda la importancia de establecer estándares para la preparación antes de realizar las operaciones. También se discute la posibilidad de preparaciones parciales para optimizar el tiempo y los recursos.

Además, El analista debe registrar diversos detalles como máquinas, herramientas, condiciones de trabajo, nombre del operario, fecha del estudio, entre otros. Este registro detallado se vuelve un recurso valioso para establecer estándares, desarrollar fórmulas, mejorar métodos y evaluar el desempeño de los trabajadores, herramientas y máquinas (W.Niebel & Freivalds, 2009).

2.2.4 Suplementos u holguras

La toma de tiempos no es suficiente para la creación de un tiempo estándar, se requiere tiempo adicional, llamado "holgura", debido a distintas interrupciones que pueden afectar el desempeño laboral, como pausas personales, fatiga e imprevistos inevitables, como ruptura de herramientas o variaciones en el material. La inclusión de esta holgura pretende establecer un estándar justo para el trabajo, dado que es difícil mantener un ritmo constante durante todo el día. Esta holgura se suma al tiempo normal para alcanzar un estándar de trabajo alcanzable y realista.

Normalmente, el adicional o tiempo de holgura se proporciona como una fracción del tiempo normal y se emplea como un factor multiplicador igual a 1 más la holgura: $1 + \text{holgura}$ (W.Niebel & Freivalds, 2009).

$$TE = TN + TN \times \text{holgura} = TN \times (1 + \text{holgura}).$$

2.2.5 Tiempo Estándar

El tiempo estándar es una medida fundamental en la gestión de procesos industriales que se obtiene a partir del análisis detallado de los tiempos requeridos para realizar una tarea específica. Se establece mediante la evaluación meticulosa de los tiempos elementales de las actividades involucradas en un proceso de producción, considerando factores como el rendimiento del operario, la calificación del desempeño, la variación de tiempos entre actividades y la preparación necesaria. Este tiempo estándar se utiliza como referencia para determinar la cantidad de tiempo necesaria para completar una tarea o producción de manera eficiente, contribuyendo así a la planificación, programación y control de las operaciones en un entorno industrial (W.Niebel & Freivalds, 2009).

2.2.6 Cálculo de la muestra

El estudio de tiempos emplea métodos estadísticos para determinar con mayor precisión un número específico. Se considera que las observaciones en este tipo de estudio se distribuyen normalmente alrededor de una media poblacional desconocida y una varianza también desconocida. Si se utiliza la media muestral \bar{x} y la desviación estándar s , en el caso de muestras grandes, se emplea la distribución normal para establecer un intervalo de confianza. Este intervalo se define por la fórmula.

$$\bar{x} \pm \frac{Zs}{\sqrt{n}}$$

Donde s es la desviación estándar muestral y n es el tamaño de la muestra. Sin embargo, en los estudios de tiempos, frecuentemente se manejan muestras pequeñas ($n < 30$), por lo que se requiere emplear la distribución t en lugar de la normal. En este caso, la ecuación para el intervalo de confianza es

$$\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

El término \pm puede entenderse como un error expresado como fracción de \bar{x} representado por $k\bar{x}$, donde k es una fracción aceptable de \bar{x} .

$$k\bar{x} = ts / \sqrt{n}$$

Al despejar n en la ecuación, se obtiene la fórmula.

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2$$

Además, es factible calcular n previo al estudio de tiempos al analizar datos históricos de elementos similares o mediante una estimación real de \bar{x} y s a partir de múltiples lecturas con la mayor variabilidad (W.Niebel & Freivalds, 2009).

2.2.7 Diagrama de precedencia

Un diagrama de precedencia es una herramienta utilizada en la resolución de problemas relacionados con la asignación de trabajo en una línea de producción. Consiste en establecer una secuencia lógica de los elementos de trabajo en función de las restricciones existentes, tales como la secuencia en la que deben completarse los elementos o las limitaciones zonales. Este diagrama ayuda a identificar las relaciones de precedencia entre los elementos de trabajo, especificando cuáles deben finalizarse antes de que otros comiencen.

Al desarrollar un diagrama de precedencia, se crea una matriz de relaciones que ilustra las dependencias entre los elementos de trabajo. Así, se establece un orden lógico de ejecución, lo que permite asignar los elementos de trabajo a las estaciones de la línea de producción. El analista calcula ponderaciones posicionales para cada elemento de trabajo, basándose en las restricciones y relaciones definidas en el diagrama. Estas ponderaciones determinan el orden de asignación de los elementos a las estaciones de trabajo, con el objetivo de lograr un balance adecuado y optimizar el tiempo del ciclo del sistema (W.Niebel & Freivalds, 2009).

2.2.8 Matriz de precedencia

La matriz de precedencia es un elemento utilizado en la resolución de problemas relacionados con la asignación de trabajo en una línea de producción. Esta matriz se compone de relaciones numéricas donde el valor "1" indica que un elemento de trabajo debe preceder a otro. Por ejemplo, en una unidad de trabajo (00), el "1" indica que debe completarse antes de las unidades (02), (03), (04), (05), (06), (07), (08), (09) y (10), mientras que la unidad (09) solo debe preceder a la unidad (10).

Se generan ponderaciones posicionales para cada unidad de trabajo al sumar la unidad en cuestión con las unidades posteriores. Estas ponderaciones establecen el orden de asignación de los elementos de trabajo a las estaciones de la línea de producción. Se basa en asignar primero los elementos con ponderaciones más bajas y en el tiempo estimado del ciclo del sistema. Se asignan los elementos secuencialmente, considerando los tiempos asignados a cada estación de trabajo y respetando las restricciones de precedencia establecidas.

El uso de esta matriz facilita la asignación eficiente de trabajos a estaciones, optimizando tiempos y mejorando la productividad (W.Niebel & Freivalds, 2009).

2.2.9 Takt time

El Takt Time es una medida utilizada en Lean Manufacturing que determina la frecuencia con la que se debe producir un producto para satisfacer la demanda del cliente. Se calcula dividiendo el tiempo de operación diario entre la cantidad requerida por día.

Por ejemplo, si se tiene una demanda de 890 unidades diarias y se opera durante dos turnos de 445 minutos cada uno, el Takt Time sería de 1 minuto. Esto significa que se debe producir un producto cada minuto para cumplir con la demanda.

El Takt Time se diferencia del tiempo de ciclo (Cycle Time), que es el tiempo real que lleva completar un proceso. El objetivo es sincronizar el Takt Time y el tiempo de ciclo para lograr la producción de uno a la vez y mantener un flujo continuo eficiente.

El Takt Time permite una rápida comprensión de la situación de producción. Si el Takt Time es de 1 minuto, se espera ver un producto completado cada minuto.

Cualquier desviación, como un producto cada dos minutos, indica un problema en el proceso que requiere contramedidas y mejoras para resolver la causa subyacente (Dennis, 2015).

2.2.10 Gemba walks

El Gemba Walk es una práctica fundamental en el contexto del pensamiento Lean, que involucra la visita al lugar de trabajo real (llamado 'gemba') para comprender y perfeccionar los procesos. El término 'gemba', de origen japonés, se traduce como el 'lugar real' o 'lugar de valor', siendo el espacio dentro de una organización donde se genera valor.

Durante el Gemba Walk, se sumerge en el entorno laboral real con el propósito de comprender a fondo cómo se realizan las tareas y se generan valores. Este enfoque permite identificar oportunidades de mejora al detectar desperdicios, ineficiencias y problemas en el flujo de trabajo. Además, fomenta la comunicación directa con los empleados, estimulando el intercambio de ideas y la colaboración para encontrar soluciones, promoviendo así el aprendizaje y la mejora continua en los procesos laborales (Womack J. , 2011).

2.2.11 Ayudas visuales

Las ayudas visuales son herramientas fundamentales para mejorar la gestión y la eficiencia en entornos laborales. Las ayudas visuales permiten a los equipos de trabajo ver y comprender situaciones importantes en conjunto:

Ver como grupo: Ayudan a ver el estado de producción, los niveles de inventario, y la disponibilidad de maquinaria.

Conocer como grupo: Proporcionan información sobre compromisos de entrega, objetivos, horarios y reglas de gestión.

Actuar como grupo: Facilitan el consenso en reglas y objetivos, así como la participación en actividades de mejora.

La gestión visual se estructura en cuatro niveles, cada uno con un grado creciente de eficacia:

Nivel 1 - Solo indica (menor poder): Se refiere a señales como los letreros de alto o de pare, que pueden pasarse por alto fácilmente.

Nivel 2 - Algo cambia y llama la atención: Ejemplos son los semáforos que, al cambiar de luz, captan la atención. Este nivel despierta a las personas para reconocer problemas y actuar sobre ellos.

Nivel 3 - Organiza el comportamiento: Establece lugares designados para herramientas y equipos, lo que ayuda a mantener un orden visual y confirma la ubicación de objetos importantes.

Nivel 4 - Hace imposible el defecto: Este nivel busca evitar errores o defectos mediante la incorporación de dispositivos o prácticas que hacen imposible que ocurran. Es similar al concepto japonés de "poka-yoke", que busca prevenir errores desde la raíz.

La gestión visual, desde los niveles más básicos hasta los más avanzados, resulta crucial en el entorno laboral, al proporcionar información clara y precisa, fomentar la acción y prevenir errores. Además, impulsa la participación total del equipo, lo que potencia su importancia en la mejora continua y la eficiencia operativa (Dennis, 2015).

2.2.12 Entrenamiento cruzado

El entrenamiento cruzado es un enfoque de capacitación que implica instruir a los miembros de un equipo en roles o tareas fuera de sus responsabilidades habituales. Esta práctica busca mejorar la versatilidad y flexibilidad de los equipos, permitiendo a los empleados adquirir habilidades en áreas diferentes a las de su posición principal. Esto contribuye a reducir interrupciones por ausencias, aumentar la adaptabilidad del equipo y fomentar la comprensión de los procesos de trabajo entre los miembros. Además, al capacitar a los empleados en roles relacionados con los suyos, se promueve la colaboración, se identifican conflictos potenciales y se sugieren mejoras, beneficiando así el rendimiento global del equipo (Pancardo Pérez, Ruiz Castillo, & Ramírez Argudín, 2011).

2.2.13 Diseño de plantas

El diseño de plantas industriales constituye un aspecto crucial en la gestión industrial, abarcando la correcta disposición física de todos los elementos, desde los más pequeños hasta los más significativos, como personal, equipos, almacenamiento, áreas y servicios requeridos. Este proceso busca organizar y estructurar los espacios y equipos para garantizar una producción eficiente, segura y exitosa en el entorno de la planta. El desafío del diseño de la planta radica en lograr una distribución óptima de departamentos con distintos requerimientos de área, con el propósito de minimizar los costos internos. La tarea es resolver la ubicación estratégica de los componentes físicos involucrados en el proceso de fabricación para alcanzar la máxima optimización. El éxito de esta distribución radica en la habilidad para combinar de manera eficiente la mano de obra, los materiales, la maquinaria y el transporte dentro de las instalaciones. La disposición de las áreas y equipos debe ser económica, segura y satisfactoria para los trabajadores, garantizando así la eficiencia del proceso

productivo (BOCANGEL WEYDERT, ROSAS ECHEVARRIA, & BOCANGEL MARIN, 2021).

2.2.14 Estadística

La estadística tiene un papel muy importante en la aplicación de estudios de tiempos, desde la aplicación de estadística descriptiva que se utilizan para resumir y presentar de manera concisa la información contenida en un conjunto de datos, así como la estadística inferencial, que se basan en el uso de una muestra representativa de datos para realizar generalizaciones o inferencias sobre una población más grande (Minitab, 2021).

Pruebas de normalidad

Los resultados de una prueba de normalidad permiten determinar si es válido rechazar o retener la hipótesis nula que afirma que los datos se originan de una población con una distribución normal (Minitab, 2021).

Prueba de Anderson-Darling

Esta evaluación confronta la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución que se esperaría si los datos siguieran una distribución normal. Si se identifica una diferencia significativa entre ambas distribuciones, se rechaza la hipótesis nula que afirma la normalidad de la población (Minitab, 2021).

Nivel de confianza

El nivel de confianza, usualmente fijado en un 95%, refleja la probabilidad de que una serie de intervalos contenga el parámetro de la población si se toman muestras múltiples de esa misma población. Por ejemplo, al generar cien

intervalos de confianza del 95% a partir de cien muestras, se espera que cerca de 95 de estos intervalos abarquen la media poblacional (Minitab, 2021).

Prueba de hipótesis

Una prueba de hipótesis es un proceso que evalúa una afirmación sobre una población en base a la información recogida en una muestra. Se confrontan dos hipótesis opuestas: la hipótesis nula, comúnmente una declaración de "no efecto" o "sin diferencia", y la hipótesis alternativa, la cual se desea confirmar con los datos. Utilizando el valor p y el nivel de significancia (generalmente fijado en 0.05), la prueba determina si se puede rechazar la hipótesis nula. A diferencia de seleccionar la hipótesis más probable, la prueba se orienta a desaprobando la hipótesis nula, dando evidencia estadística a favor de la hipótesis alternativa cuando esta última es rechazada, pero sin confirmar directamente la hipótesis nula si no es rechazada debido a la configuración del nivel de significancia (Minitab, 2021).

2.2.15 Tabulación de datos

La tabulación de datos se puede definir como el proceso de presentar información de manera estructurada y ordenada en forma de tablas. Estas tablas, tanto generales como estadísticas, están compuestas por filas y columnas, con encabezados que describen la información presentada y un cuerpo de datos que muestra la información en forma clasificada y resumida. La tabulación permite la organización visual de datos para facilitar su interpretación, análisis y comprensión en diferentes contextos, desde estudios científicos hasta informes estadísticos y académicos (Estrella, 2014).

2.2.16 Plan de producción Basado en la demanda

El plan de producción basado en la demanda, representado principalmente por el sistema JIT (Justo a Tiempo), se diferencia claramente del enfoque MRP (Planificación de Requerimientos de Materiales) al gestionar la producción. En este método, se procura fabricar solo lo necesario y en el momento preciso en que se requiere, evitando la acumulación de inventarios innecesarios. A través del JIT, influenciado por el sistema kanban, se controla el flujo de bienes respondiendo directamente a la demanda presente, sin anticipar futuras necesidades. Este enfoque minimiza los productos en proceso y busca reducir al mínimo los tamaños de lote, eliminando el desperdicio y ajustándose dinámicamente a las variaciones de la demanda. Contrariamente al MRP, donde las decisiones de producción se basan en pronósticos futuros, el JIT se enfoca en producir solo lo necesario para satisfacer la demanda actual (Nahmias, 2007).

2.3 MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO

El proyecto busca mejorar la eficiencia y el cumplimiento del OTD en la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR de Samtec mediante la implementación de soluciones respaldadas teóricamente y herramientas ingenieriles.

El análisis de costo-beneficio (CBA) es una herramienta esencial en la toma de decisiones que permite evaluar sistemáticamente los costos y beneficios de diferentes alternativas, en términos monetarios. Aunque las personas tienden a considerar los costos y beneficios desde su perspectiva individual, el CBA se centra en los costos y beneficios para toda la sociedad, conocidos como costos y beneficios sociales. Esto implica evaluar no solo los impactos financieros, sino también los efectos en la calidad de vida y el bienestar de las personas (Boardman, Greenberg, Vining, & Weimer, 2018).

Para evaluar la factibilidad del proyecto, es posible utilizar una métrica conocida como la relación beneficio/costo (B/C). Esta relación permite tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Si B/C es mayor que 1, implica que los beneficios del proyecto superan los costos asociados. En este caso, se considera que el proyecto es viable y puede ser una opción para considerar.
- Si B/C es igual a 1, indica que los beneficios y los costos son iguales. En esta situación, no hay ganancias ni pérdidas netas.

- Si B/C es menor que 1, señala que los costos superan a los beneficios. En este caso, se recomienda no considerar el proyecto, ya que no sería financieramente favorable.

Por lo que es crucial destacar la importancia de llevar a cabo un análisis de costo-beneficio en este proyecto. Esta evaluación no solo proporciona una comprensión sólida de los impactos financieros directos e indirectos de las acciones propuestas, sino que también permite una toma de decisiones informada y estratégica. Al realizar un análisis exhaustivo de los costos incurridos en la implementación de las mejoras y compararlos con los beneficios esperados.

Los beneficios anticipados de este proyecto son diversos y se extienden a varias áreas clave de la operación de la línea de producción:

2.3.1 Eficiencia de la Línea de Producción:

La implementación de soluciones respaldadas teóricamente y herramientas ingenieriles en la línea de producción llevará a una mayor eficiencia operativa. La reducción de los tiempos de procesamiento y la optimización del flujo de trabajo generarán una mayor productividad, lo que se traducirá en una optimización inmediata de los procesos. A medida que estas mejoras se consoliden en el mediano y largo plazo, Samtec se beneficiará de una ventaja competitiva sostenible en el mercado.

2.3.2 Cumplimiento del OTD y Calidad Mejorada:

La mejora en el cumplimiento del OTD y la calidad de los productos son objetivos clave en este proyecto. Al abordar las causas fundamentales del problema y optimizar los procesos, se espera una disminución en los tiempos de procesamiento y una reducción de los errores de producción. Estos resultados

tendrán un impacto positivo en la satisfacción del cliente y fortalecerán la reputación de la organización en el mercado.

2.3.3 Reducción de Costos y Rentabilidad:

El análisis de costo-beneficio se centra en una evaluación económica sólida (Smith, 2020). La implementación exitosa de mejoras en la línea de producción permitirá la reducción de costos operativos, especialmente en términos de mano de obra directa. La optimización de recursos y la estandarización de procesos también generarán ahorros adicionales. Estos impactos financieros positivos mejorarán la rentabilidad de la operación y contribuirán al logro de objetivos financieros a corto y largo plazo.

2.3.4 Generación de Valor y Sostenibilidad:

La generación de valor en términos de satisfacción del cliente, reputación de la empresa y rentabilidad financiera son pilares clave en este proyecto. Los beneficios anticipados se extienden en el tiempo, respaldados por un enfoque en la mejora continua y la implementación de soluciones sustentadas teóricamente. La cultura de la mejora continua se fortalecerá, posicionando a Samtec como líder en la búsqueda de la excelencia operativa.

2.4 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES

La búsqueda de soluciones efectivas y sostenibles en la optimización de procesos de producción es un desafío constante en el entorno industrial actual. La necesidad de mejorar la eficiencia, reducir costos operativos y garantizar la satisfacción del cliente ha impulsado la implementación de proyectos que abordan estos aspectos críticos.

En esta sección, se presentan antecedentes significativos de proyectos y experiencias relacionados con la optimización de procesos de producción, lo que demuestra un desafío constante en el entorno industrial actual. Estos proyectos comparten similitudes con nuestro enfoque en la optimización de la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR de Samtec.

Un ejemplo relevante es la tesis realizada por (CHACÓN.A, 2019), que se centró en los desafíos de producción en Align Technology. Este proyecto identificó que el proceso de Set up and Stage era crítico debido a la baja productividad de los técnicos. Se reveló que la producción estaba por debajo de la meta establecida del 100% debido a problemas como casos nuevos, doctores asignados, casos complicados y distracciones por el uso del celular. De estos factores, se destacó que los casos nuevos tenían un impacto significativo debido a la falta de balance y estándares adecuados. El proyecto propuso soluciones, como asignar valores específicos a cada tipo de caso y seguir el rendimiento productivo en tiempo real. Estos cambios no solo aumentaron la producción proyectada en un 18,43%, sino que también generaron un incremento estimado de ingresos de \$76,455. Además, se enfatizó la importancia de los resultados de los balances de línea, destacando cómo la distribución eficiente de tareas puede mejorar la productividad general.

Otro proyecto valioso es el llevado a cabo por (ARCE.M, 2018) en la optimización de la línea de producción del producto FT. Este proyecto logró mejoras significativas en la eficiencia operativa al reducir el tiempo de cambio de lote en un 5% mediante el diseño de métodos y un estudio detallado de tiempos. Se centró en abordar los cuellos de botella en las estaciones HD, SP y ER utilizando la metodología SMED, lo que resultó en notables reducciones del 40%, 16% y

33%, respectivamente, en los tiempos de cambio de lote. Estos logros se tradujeron en ahorros económicos medibles, ya que permitieron que la línea de producción funcionara con 2 operarios menos por turno, generando un ahorro anual de \$48,000 y una disminución del 46% en el tiempo necesario para el cambio de lote en comparación con los modelos de capacidad iniciales de la empresa.

Estos antecedentes subrayan la importancia de un análisis exhaustivo, la identificación de factores desencadenantes y la formulación de estrategias específicas para mejorar la eficiencia operativa en procesos de producción similares a nuestro enfoque en Samtec.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO.

3.1 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para abordar este proyecto, se ha optado por aplicar el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) de Six Sigma, una metodología probada y estructurada para la mejora de procesos y la resolución de problemas.

En la etapa de Definir, se ha identificado y delimitado de manera precisa el problema a resolver. Se han establecido objetivos claros y alcanzables para guiar el proceso de mejora, Esta etapa ha sido fundamental para construir una base sólida para el análisis y la resolución del problema, al delinear las limitaciones y las metas del proyecto de manera clara y concisa.

Mediante la comprensión profunda de las necesidades de los involucrados y la identificación precisa de los aspectos problemáticos, se ha creado un marco sólido para abordar el problema con enfoque y eficacia. Al definir el problema de manera meticulosa, se ha establecido una dirección clara para las siguientes etapas de la metodología DMAIC, asegurando que las soluciones propuestas estén alineadas con los desafíos reales y las metas específicas. En resumen, la etapa de Definir del enfoque DMAIC ha servido como cimiento esencial para abordar el problema con enfoque y precisión, sentando las bases para un proceso de mejora continuo y orientado a resultados.

Tabla 1 ETAPA DE DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Objetivo Específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazo	Responsables
Definición del problema	Reunirse con el gerente del área HDR	Entrevista	Se llevaron a cabo reuniones con los gerentes para comprender las metas, su traducción a los operarios y la gestión del personal	2 semanas	Ramirez,A
	Reunirse con los operarios	Entrevista	Se realizaron reuniones con los operarios para identificar las razones detrás de la incapacidad para cumplir con los envíos a tiempo y explorar posibles mejoras para aumentar la producción.		
	Consultar datos historicos sobre las causas de OTD,productividad.	Pareto	Consultar datos históricos para identificar la principal causa del retraso en el envío de órdenes a tiempo, basándose en los códigos utilizados en la justificación de los envíos tardíos así como el de productividades.		
	Elaboracion de un diagrama de Bloque.	Diagramas de bloque	Buscar una representacion clara y visible del proceso.		
	Planteamiento del problema e identificación de los recursos	Observación Directa	Identificar los recursos y las posibles causas de retrasos, tanto en el envío de órdenes a tiempo como en los paros de producción, mediante la observación y los datos proporcionados por el supervisor.		

Fuente: *Elaboración propia*

Algunas de las preguntas que fueron claves durante esta fase del proyecto y que fueron realizadas al gerente del área son las siguientes:

¿Cuánto personal está asignado a la línea de producción y siente que es suficiente?

¿Cuál es el tiempo promedio por etapa de producción y hay demoras notables?

¿Cuál es la tasa de rechazo en la línea de producción y qué causa los defectos?

¿Hay limitaciones de maquinaria u otros equipos para la producción?

¿Cómo se maneja la capacitación del personal y ves oportunidades para mejorarla?

3.2 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DE PROYECTO

En esta sección, se describe la metodología empleada para llevar a cabo la medición de las causas que afectan los indicadores clave de rendimiento (KPIs) y el respaldo cualitativo del proyecto en el contexto de la metodología DMAIC. La etapa de 'Medir' en el enfoque DMAIC es esencial para recopilar datos precisos y relevantes que permitan cuantificar las causas subyacentes al problema identificado en la línea de producción de la serie Nextest en el departamento de HDR. También se busca respaldar estos datos con información cualitativa que enriquezca la comprensión del problema.

Para medir y analizar las causas que afectan los KPIs, se llevaron a cabo las siguientes acciones, en línea con las actividades y herramientas detalladas a continuación:

Se solicitó al supervisor del área métricas relacionadas con la productividad de la línea y el cumplimiento de fechas de entrega (OTD). Estas métricas se obtuvieron a través de un software interno que registra la producción por operador y calcula las horas estándar. La herramienta PAWS también proporciona información sobre las piezas asignadas a cada asociado y los tiempos de proceso. El porcentaje de OTD se determina utilizando el mismo software, que registra y evalúa los pedidos entregados según las fechas acordadas.

Para garantizar la precisión de los datos, se realizó un estudio de tiempos individualizado en colaboración con el departamento de ingeniería. Esto aseguró la obtención de datos confiables y actualización de estos, en la **Tabla 2** se pueden observar las herramientas que fueron aplicadas.

Tabla 2 Etapa De Medición Y Respaldo Cualitativo

Objetivo Específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazo	Responsables
Identificar las causas de los paros en la línea de producción.	Observar la línea y reunirse con el supervisor	Ishikawa	Reunirse con el supervisor para identificar las posibles causas de retrasos en la línea.		
Obtener mediciones precisas de los tiempos requeridos para cada operación en la línea de producción.	Realizar un estudio de tiempos	Estudio de Tiempos	Medir el tiempo requerido para cada operación de la línea, identificar actualizaciones o modificaciones.		
Identificar los principales procesos que impactan la construcción de ensamblajes y los posibles cuellos de botella.	Analizar los routings actuales versus los propuestos	Pareto	Identificar los procesos que más impactan la construcción de un ensamble, posibles cuellos de botella.	2 semanas	Ramirez,A
Verificar la normalidad de los datos recopilados en el estudio de tiempos para su posterior análisis.	Realizar prueba de normalidad de datos	Prueba de hipótesis	Verificar los datos obtenidos en el estudio de tiempos para poder confiar en que estadísticamente pueden ser confiables.		
Evaluar y ajustar los tiempos asignados a las operaciones y grupos de tareas para lograr un equilibrio en la línea de producción.	Realizar un balance de línea.	Gráfico de balance de línea	Visualizar los tiempos asignados en las operaciones y agrupaciones de tareas.		

Fuente: Elaboración propia

El formato para la recolección de tiempos de producción fue definido, siguiendo las directrices de la empresa. Se estableció un número de muestra de 30, junto con un suplemento del 15% como parte de la metodología, como se ilustra en la

Figura 4.

Figura 3 Formulario De Toma De Tiempos

Part Number:			
N.Order:			
Owner :			
DATE:			

Process:		Process:		Process:	
Task	Time (s)	Task	Time (s)	Task	Time (s)
Time 1		Time 1		Time 1	
Time 2		Time 2		Time 2	
Time 3		Time 3		Time 3	
Time 4		Time 4		Time 4	
Time 5		Time 5		Time 5	
Time 6		Time 6		Time 6	
Time 7		Time 7		Time 7	
Time 8		Time 8		Time 8	
Time 9		Time 9		Time 9	
Time 10		Time 10		Time 10	
Time 11		Time 11		Time 11	
Time 12		Time 12		Time 12	
Time 13		Time 13		Time 13	
Time 14		Time 14		Time 14	
Time 15		Time 15		Time 15	
Time 16		Time 16		Time 16	
Time 17		Time 17		Time 17	
Time 18		Time 18		Time 18	
Time 19		Time 19		Time 19	
Time 20		Time 20		Time 20	
Time 21		Time 21		Time 21	
Time 22		Time 22		Time 22	
Time 23		Time 23		Time 23	
Time 24		Time 24		Time 24	
Time 25		Time 25		Time 25	
Time 26		Time 26		Time 26	
Time 27		Time 27		Time 27	
Time 28		Time 28		Time 28	
Time 29		Time 29		Time 29	
Time 30		Time 30		Time 30	
Average time		Average time		Average time	
Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%
Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%
Relaxation allowance	0%	Relaxation allowance	0%	Relaxation allowance	0%
Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%
Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%
Time (min)	0	Time (min)	0	Time (min)	0
Nest		Nest		Nest	
PPH Net	0	PPH Net	0	PPH Net	0

Fuente: Elaboración Propia

3.3 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO

La metodología para la propuesta de mejora, construcción o implementación de nuevos procesos, productos o servicios desempeña un papel fundamental en la fase de "Analizar". Estas metodologías proporcionan un enfoque estructurado y estratégico para abordar los desafíos identificados en el proceso de producción. En este contexto, se presentan actividades estratégicas diseñadas para respaldar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia en la construcción y puesta en práctica de nuevos elementos. En este documento, se detallan estos elementos metodológicos clave que servirán como base fundamental para la propuesta de mejora.

En el desarrollo de esta propuesta de mejora, se han considerado actividades relacionadas con la metodología Lean, que se centra en la eliminación de desperdicios, la optimización de procesos y la mejora continua. Partes de esta metodología Lean han sido incorporadas para abordar eficazmente los desafíos identificados en el proceso de producción. Como se muestra en la Tabla 3, estas actividades se han adaptado y personalizado para adaptarse a las necesidades específicas de este proyecto.

Tabla 3 Metodología Para La Propuesta De Mejora, Análisis.

Objetivo Específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazo	Responsables
Actualización de los routings actuales en el sistema	Pasar Archivo con los datos tabulados y actualizados al Ingeniero industrial	Tabulación de datos	Actualizar los routings del sistema con los datos obtenidos para poder visualizar la capacidad de producción real.	2 semanas	Ramirez,A
Reorganización de la disposición de la planta	Reorganización de la disposición de la planta para acomodar la estación de alineamiento en el proceso de Hot Bar	Diseño de planta	Colocar una estación de alineamiento en el proceso de Hot Bar para reducir los tiempos muertos	2 semanas	Ramirez,A
Capacitar a los líderes de producción en la implementación del nuevo equilibrio y la estandarización en los tres turnos de trabajo.	Entrenar a los líderes de producción para la implementación del nuevo balance y estandarización en los 3 turnos.	Ayudas Visuales	Entrenamiento y colocación de ayudas visuales sobre el nuevo balance en la línea.	2 semanas	Ramirez,A
Identificar el momento óptimo para realizar cambios en el número de parte en la línea de producción, basándose en la demanda del cliente.	Generar un plan de producción basado en la demanda.	Plan basado en la demanda	Identificar el momento preciso para realizar los cambios de numero de parte en la línea.	2 semanas	Ramirez,A
Establecer metas de producción específicas para cada estación de trabajo y registrarlas en las pizarras de producción de la línea.	Crear metas por estación.	Ayudas Visuales	Creación de metas para cada estación, anotadas en las pizarras de producción de la línea.	2 semanas	
Proporcionar capacitación a todos los operarios de la línea sobre los principios y prácticas de trabajo en Lean y su impacto en la producción.	Capacitación del nuevo proceso a todos los operarios de la línea, utilizando ayudas visuales	Ayudas Visuales	reunir a los operarios y explicar el impacto de trabajar en lean.	2 semanas	Ramirez,A
Creación del balance de línea y sus respectivos what if	Creación del balance de línea y sus respectivos what if.	Balance de línea	Desarrollar un balance de línea eficiente y llevar a cabo análisis de escenarios "What If" para evaluar y mejorar el rendimiento de la línea de producción.	2 semanas	Ramirez,A

Fuente: Elaboración Propia

3.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

La implementación efectiva de cualquier proyecto requiere una planificación detallada y una ejecución precisa. En este contexto, es crucial contar con una metodología sólida que guíe el proceso de implementación, asegurando que todas las actividades se realicen de manera coordinada y eficiente. En el presente documento, presentaremos una serie de objetivos específicos junto con las actividades correspondientes que forman parte de nuestra metodología para la implementación de un balance de línea y la incorporación de una estación de alineamiento en el proceso. Cada actividad se ha diseñado para cumplir un propósito clave en el proceso de implementación, y se respaldará con las herramientas adecuadas y un plazo de tiempo determinado para garantizar su éxito.

A continuación, se presenta la Tabla 4 que detalla estos objetivos específicos, las actividades correspondientes, las herramientas que se utilizarán, una breve descripción de cada actividad, el plazo previsto para su realización y los responsables designados para llevar a cabo cada tarea. Esta tabla servirá como una hoja de ruta que nos guiará a lo largo de la implementación, asegurando que cada paso se complete de manera oportuna y efectiva para lograr nuestros objetivos de mejora.

Tabla 4 Metodología Para La Implementación Del Proyecto

Objetivo Específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazo	Responsables
Obtener aprobación de Gerencia para implementación del balance de línea y uso de estación de alineamiento. □	Reunión con la Gerencia	Análisis financiero y Gráficos	Revisar datos de balances de línea y presentar resultados y análisis costo-beneficio de la estación de alineamiento.	2 semanas	Ramirez,A
Visualización del tiempo necesario para la implementación.	Elaboración de un Gantt para la implementación de las diferentes actividades	Gantt	Crear un diagrama de Gantt que muestre la secuencia y duración de las actividades para la implementación del proyecto.	2 semanas	Ramirez,A
Entrenamiento de los equipos de trabajo	Entrenar y alinear a los operarios con las propuestas	Sesiones con los equipos de trabajo	Realizar sesiones de entrenamiento con los equipos de trabajo para alinearlos con las propuestas.	2 semanas	Ramirez,A
Ejecutar el plan piloto	Reunir a los supervisores, operarios y líderes	Plan piloto	Realizar una reunión con supervisores, operarios y líderes para explicar el nuevo formato de trabajo y trabajar en un plan piloto en el primer turno.	2 semanas	Ramirez,A

Fuente: Elaboración propia

3.5 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS

La Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados desempeña un papel crucial en la fase "Controlar" del proyecto, enfocada en garantizar la sostenibilidad de las mejoras propuestas. Para lograrlo, se emplearán diversas metodologías y herramientas que permitirán el monitoreo constante del desempeño del proceso o sistema tras la implementación de mejoras. Esto implica la recopilación continua de datos, la comparación con objetivos establecidos, retroalimentación con los equipos y revisiones periódicas. Esta metodología garantiza que las mejoras sean efectivas y perdurables en el tiempo, generando un impacto positivo y sostenible en la organización.

La Tabla 5 proporciona una visión clara y organizada de las actividades, herramientas, descripción, plazos y responsables para el objetivo específico de control y seguimiento de resultados en el proyecto.

Tabla 5 Metodología Para El Aseguramiento Y Control.

Objetivo Específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazo	Responsables
Controlar los output de procesos	Realizar auditorías por hora para verificar los output de cada agrupación de procesos	Auditorías	Los líderes de producción realizarán auditorías por hora para asegurarse de la calidad de los output.	Por hora	Líderes de Producción
Supervisar indicadores de desempeño	Realizar un seguimiento mensual de los indicadores de desempeño, tanto a nivel individual como grupal de la línea de Nextest	KPIs	Los supervisores de línea controlarán los indicadores de desempeño mensualmente para evaluar el rendimiento de la línea.	Mensual	Supervisores de línea
Implementar plan de entrenamiento cruzado	Desarrollar un plan de entrenamiento cruzado para garantizar la continuidad de operaciones críticas en ausencia de un asociado	Plan de Entrenamiento Cruzado	Se creará un plan de entrenamiento cruzado para asegurarse de que las operaciones críticas no se vean afectadas por la ausencia de personal.	Según necesidad y disponibilidad	Equipo de Entrenamiento
Registro de asignación de operarios	Mantener un registro mensual de los asociados asignados a la línea	Tabulación de datos	Se llevará un registro mensual que identifique qué asociados trabajaron en la línea para evitar una rotación excesiva.	Mensual	Supervisores de línea

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ.

4.1 DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y DEFINICIÓN DEL PROCESO

El área de HDR se enfrenta al desafío de satisfacer la creciente demanda de dos productos específicos (HDR-191555-XX y HDR-187158-XX) por parte de un cliente que ha solicitado un aumento sustancial en la cantidad de unidades requeridas por semana, Esta demanda ha pasado de 75 ensamblajes del HDR-191555-XX a una nueva cantidad de 150 ensamblajes y del HDR-187158-XX, de 315 unidades a 405. Sin embargo, la adquisición de una nueva línea de producción no es una opción viable, lo que impulsa la necesidad de optimizar la línea de producción existente.

A pesar de que la productividad promedio de la línea se mantiene en torno al 80%, cumpliendo con la meta establecida en el área, existe un desafío significativo en cuanto a la puntualidad en la entrega de los productos, ya que los órdenes no se envían a tiempo. Esta discrepancia entre la productividad y el cumplimiento de plazos motiva la aplicación de diversas herramientas y métodos para identificar la causa raíz de esta problemática.

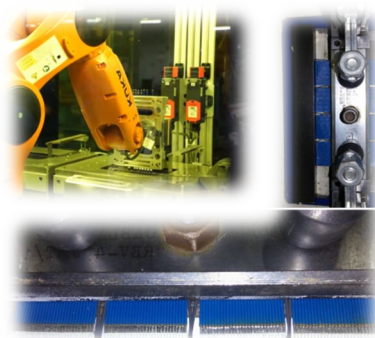
4.1.1 Definición y detalle de los procesos

El proceso de construcción de los ensamblajes en HDR sigue una serie de procedimientos estándar que se describirán en la Tabla 6, aunque es importante mencionar que algunos números de parte pueden omitir ciertos procesos según las especificaciones y requisitos particulares.

Tabla 6 Descripción de los procesos de la línea de Nextest

Proceso	Descripción
1-Corte y Preparación	<p>El proceso comienza con la recepción de cables, que son almacenados en carruchas. Estos cables son luego cortados a su respectiva longitud, de acuerdo con las especificaciones detalladas en el plano de la orden correspondiente. Posteriormente, los cables se someten a un proceso automatizado de pelado o desgaste en una máquina especializada como se observa en la Figura 5. Esta máquina se encarga de retirar la capa aislante o cubierta de las diferentes secciones del cable, que luego serán soldadas en el proceso de Hot Bar (), a diferencia del demás proceso, este se realiza fuera de la línea y los cables son almacenados en stock y entregados por el materialista a la línea junto con el resto de los subcomponentes.</p>

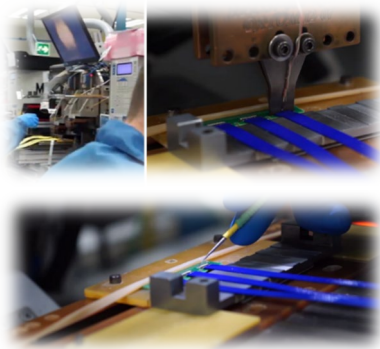
Figura 4 Proceso de Cable prep



Fuente: Elaboración propia

2-Hot Bar En la etapa de Hot Bar, se lleva a cabo la alineación de los conductores del cable sobre una tarjeta de circuitos impresos. Una vez que los conductores están correctamente posicionados, se procede a realizar la soldadura de los cables a la tarjeta, asegurando una conexión eléctrica sólida y confiable.

Figura 5 *Proceso de Hot bar.*



Fuente: Elaboración propia.

3-Inspección y retrabajo Luego de completar el proceso de Hot Bar, es esencial llevar a cabo una inspección minuciosa de la soldadura y la tarjeta utilizando un microscopio. Esta inspección se realiza con el propósito de identificar posibles problemas de calidad. Si se detectan defectos o problemas, se procede a realizar retrabajos en los cables para corregir cualquier inconveniente y garantizar que la soldadura y la tarjeta cumplan con los estándares de calidad requeridos.

Figura 6 *Proceso de inspección de cables.*

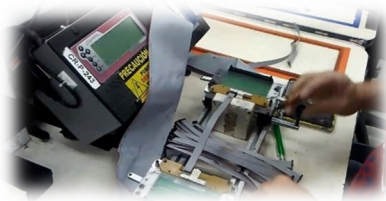


Fuente: Elaboración propia.

4-E-test

Después de la inspección de los cables, se someten a pruebas eléctricas en la estación correspondiente. En esta etapa, se lleva a cabo un proceso de testeo para verificar la continuidad y el correcto funcionamiento de los cables, asegurando que no presenten ningún problema eléctrico.

Figura 7 Proceso de E-test



Fuente: Elaboración propia.

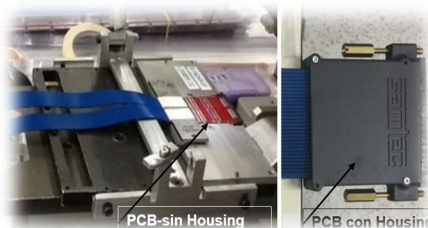
5-Humity Chamber y Leakage.

El proceso de humity chamber implica la colocación de los cables en una cámara de humedad durante un tiempo específico definido en cada tipo de cable. Luego, los cables se trasladan a una estación separada, donde se le somete a una prueba de fugas (Leakage). Esta prueba se realiza para identificar cualquier problema de fugas que pueda ocurrir después de exponer el cable a condiciones de humedad y para garantizar que el cable pueda funcionar correctamente en ambientes húmedos.

6-Housing

El proceso de Housing implica la inserción de una estructura plástica o metálica que actúa como protector en las áreas de conexión donde se han soldado los cables, la **Figura 9** muestra cómo se observan las tarjetas con y sin housing.

Figura 8 Proceso de Housing

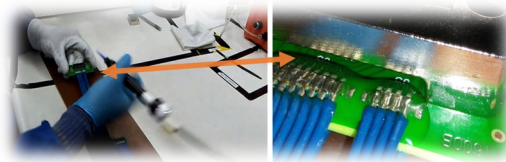


Fuente: Elaboración propia

7-Epoxy

El proceso de Epoxy tiene una función similar a la del Housing, ya que se aplica resina epoxi a las áreas de conexión para protegerlas y asegurar la retención del cable, proporcionando protección y seguridad, en la Figura 8 se puede observar cómo es colocado y como se visualiza el epoxi.

Figura 9 *Aplicación de Epoxy*



Fuente: Elaboración propia.

8-Clean & Label

En este proceso, los cables son sometidos a una limpieza y se les adhieren etiquetas que contienen información como el número de orden, número de parte y fecha de elaboración para su identificación.

Figura 10 *Colocación de etiquetas*



Fuente: Elaboración propia

9-FI

Este proceso es llevado a cabo por una extensión del departamento de calidad, cuya responsabilidad es verificar los cables terminados para asegurarse de que no presenten ningún defecto y después son devueltos a producción para el empaque.

Figura 11 *Estaciones de FI*



Fuente: Elaboración propia.

10-Package El proceso final de la orden consiste en colocar los cables en el tipo de empaque correspondiente según las indicaciones del plano o cliente. Estos empaques pueden ser estándar, donde los cables se colocan dentro de una bolsa ESD y se sellan con cinta adhesiva, o empaque al vacío, donde se introducen los cables en una bolsa ESD y se sellan al vacío).

Figura 12 *Empaque*



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Diagrama de Bloque y Routings Actuales

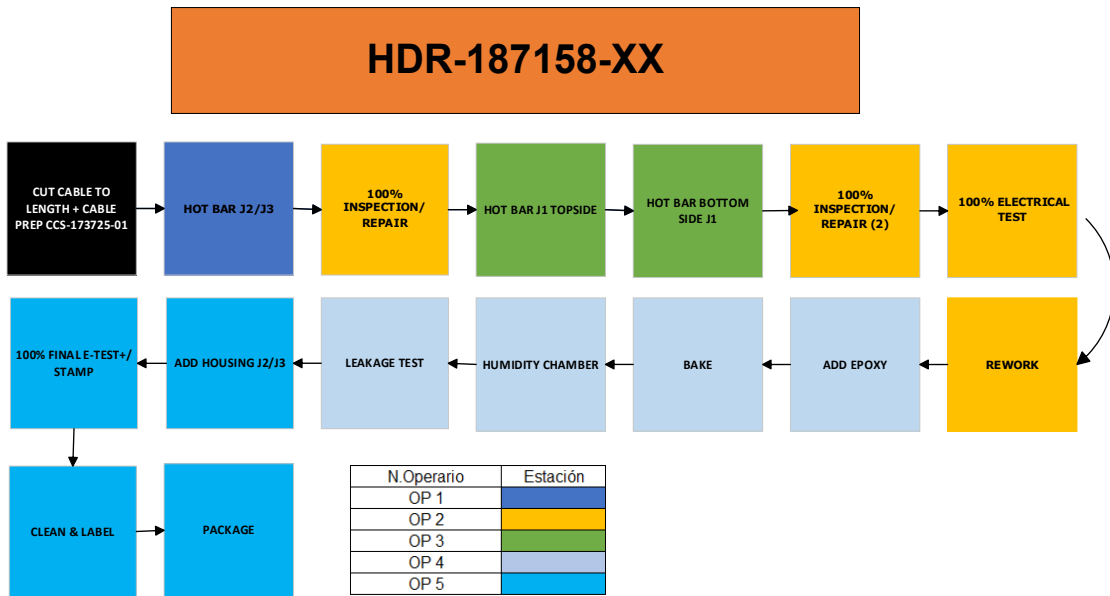
En el Diagrama de Bloque HDR-187158-XX y Diagrama de Bloque del HDR-191555-XX, se presenta el flujo actual del proceso, junto con las estaciones correspondientes para cada uno de ellos. Cada estación se ha identificado utilizando un código de color consistente, que refleja las tareas asignadas a cada operario³ en la fabricación de cada uno los productos.

Además, en las tablas Routings del número de parte HDR-187157-XX y Routings del número de parte HDR-191555-XX, se presentan los actuales rates de producción de cada proceso. Se ha resaltado en color amarillo el tiempo de producción más largo, así como mostrar las unidades máximas por hora que pueden ser producidas en cada proceso. Este enfoque es fundamental para facilitar la identificación de posibles cuellos de botella, los cuales se espera puedan ser observados durante las caminatas por el área y las consultas realizadas a los operarios.

Por otro lado, es esencial identificar cuál de las estaciones de trabajo de la estructura actual está experimentando una sobrecarga, usando como base el actual acomodo de la línea.

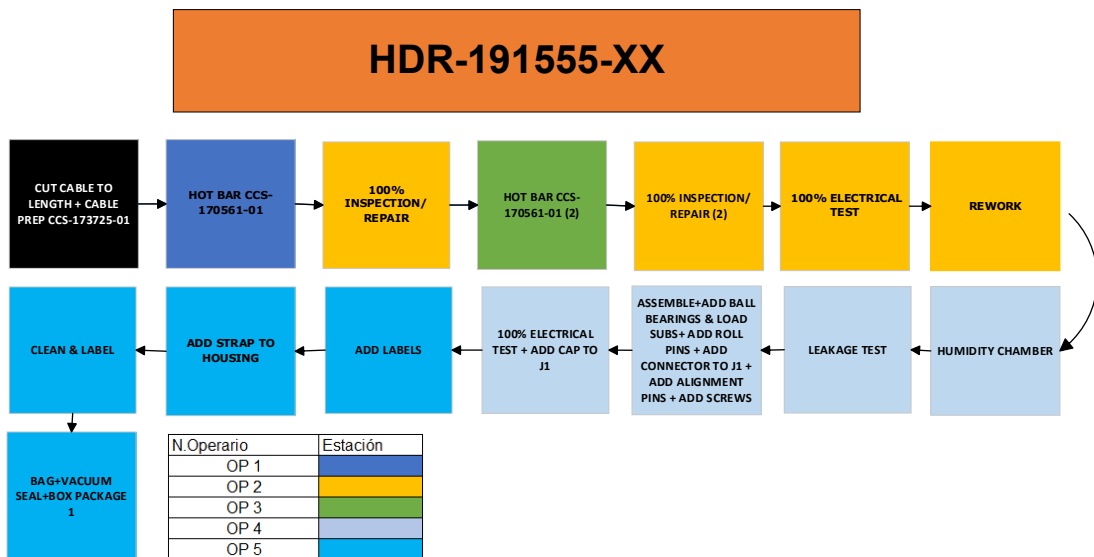
³ Es importante destacar que el proceso de cut cable y preparación no son tomados en cuenta, por la naturaleza de la operación y al ser un proceso que se maneja por stock.

Figura 13 Diagrama de Bloque HDR-187158-XX



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14 Diagrama de Bloque del HDR-191555-XX



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7 Routings del número de parte HDR-187157-XX

HDR-187158-XX		
Proceso	Tiempo STD del sistema (hrs)	PPH
CUT CABLE TO LENGTH	0,005	200,0
CABLE PREP CCS-173725-01	0,25	4,0
HOT BAR J2/J3	0,108	9,3
100% INSPECTION/REPAIR	0,1	10,0
HOT BAR J1 TOPSIDE	0,0766	13,1
HOT BAR BOTTOM SIDE J1	0,0824	12,1
100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,125	8,0
100% ELECTRICAL TEST	0,0109	91,7
REWORK	0,01	100,0
ADD EPOXY	0,0668	15,0
BAKE	0,013889	72,0
HUMIDITY CHAMBER	0,25	4,0
LEAKAGE TEST	0,038462	26,0
ADD HOUSING J2/J3	0,05	20,0
100% FINAL E-TEST/STAMP	0,0136	73,5
CLEAN & LABEL	0,043478	23,0
PACKAGE	0,04	25,0

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8 Routings del número de parte HDR-191555-XX

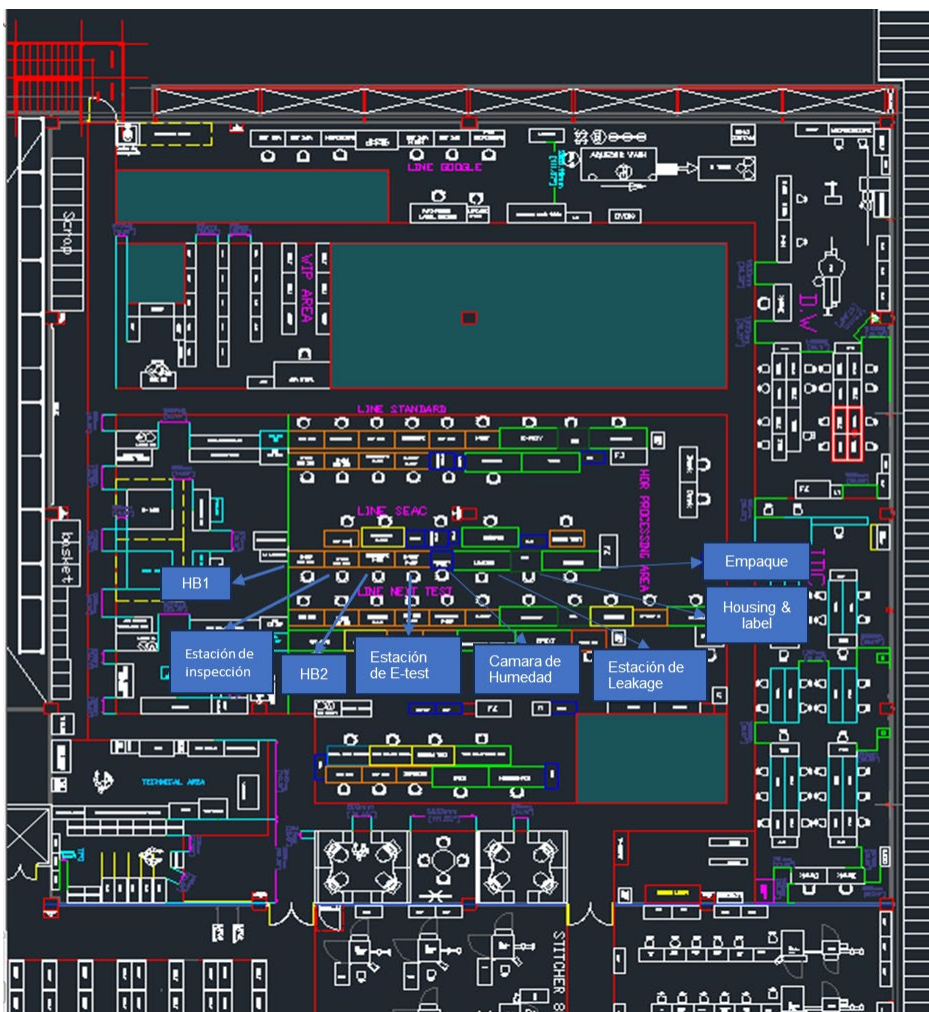
HDR-191555-XX		
Proceso	Tiempo STD del sistema (hrs)	PPH
CUT CABLE TO LENGTH	0,111111	9,000009
CABLE PREP CCS-170561-01-TB	0,588	1,700680272
HOT BAR CCS-170561-01	0,2	5
100% INSPECTION/REPAIR	0,1	10
HOT BAR CCS-170561-01 (2)	0,14	7,142857143
100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,1	10
100% ELECTRICAL TEST	0,009804	101,999184
REWORK	0,01	100
HUMIDITY CHAMBER	0,5	2
LEAKAGE TEST	0,117	8,547008547
ASSEMBLE	0,1923	5,200208008
ADD BALL BEARINGS & LOAD SUBS	0,1	10
ADD ROLL PINS	0,02	50
ADD CONNECTOR TO J1	0,018868	52,999788
ADD ALIGNMENT PINS	0,020833	48,00076801
ADD SCREWS	0,016667	59,99880002
100% ELECTRICAL TEST	0,1	10
ADD CAP TO J1	0,005882	170,0102006
ADD LABELS	0,025	40
ADD STRAP TO HOUSING	0,066667	14,999925
BAG	0,071428	14,000112
VACUUM SEAL	0,028571	35,00052501
BOX PACKAGE 1	0,04	25

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Layout del área

Las operaciones se desarrollan en un layout particular en el cual los procesos avanzan desde el extremo izquierdo del área hacia el lado derecho, donde se ubican las estaciones de Inspección Final (FI). A pesar del intento de mantener un patrón lineal en las operaciones, no siempre resulta factible debido a la naturaleza del proceso. Como resultado, algunas operaciones requieren la devolución de material a áreas previas. Por este motivo, se asignan tareas a los asociados en lugar de estaciones de trabajo específicas, lo que implica que deben trasladarse a diferentes máquinas dentro de su área de responsabilidad.

Figura 15 *Layout del área de trabajo de Nextest*



Fuente: Layout tomado de la empresa Samtec, 2023

4.2 ANÁLISIS DE PROBLEMAS EN LOS RATES ACTUALES Y TAREAS ASIGNADAS DE LA LÍNEA.

Como parte del análisis de la situación actual, se llevó a cabo la recopilación de datos de producción (output) durante un día completo, abarcando los tres turnos de trabajo, Esta recopilación se llevó a cabo mediante observaciones directas en el área de producción para comprender mejor nuestra situación actual. Las tablas Resumen De Producción Del HDR-187157-XX y Resumen De Producción Del HDR-191555-XX muestran los resultados obtenidos para cada uno de los productos, destacándose una marcada discrepancia entre la producción esperada y los resultados reales de la línea.

Estas discrepancias ofrecen una visión más precisa de la situación real en la línea de producción. Se observa que en algunos procesos los tiempos están notablemente sobrestimados, mientras que en otros casos se registran subestimaciones. Además, al analizar la producción prevista por los operarios, se evidencia que, si bien el promedio general de la línea supera el 80%, se encuentran discrepancias significativas en las productividades individuales, con operarios que no alcanzan las metas esperadas, y que obtendrían productividades entre 41% y 55%, sin embargo, el sistema no guardo registro de estas productividades.

Durante la revisión con el supervisor del área y los operarios, se constató que la información ingresada al sistema presentaba sesgos. Se identificó que algunos empleados compartían la producción del proceso con el fin de mantener un ingreso equilibrado de horas en el sistema de PAWS, lo que impedía la visualización precisa de la producción real en procesos críticos para el ensamblaje de cables y en aquellos que añadían un mayor valor al proceso. por

esta razón no se encontraban en los registros del sistema las productividades individuales de 41% o 55%.

Tabla9 Resumen De Producción Del HDR-187157-XX

HDR-187157-XX					
N.Operario	Acumulación de los Rates asignados a cada estación	Porcentaje de carga	PPH-Sistema	PPH-Real	Diferencia %
OP 1	0,108	10%	9,3	5,1	45%
OP 2	0,2459	24%	4,1	3,7	8%
OP 3	0,159	15%	6,3	4,8	23%
OP 4	0,369151	36%	2,7	3,9	-43%
OP 5	0,147078	14%	6,8	2,8	59%

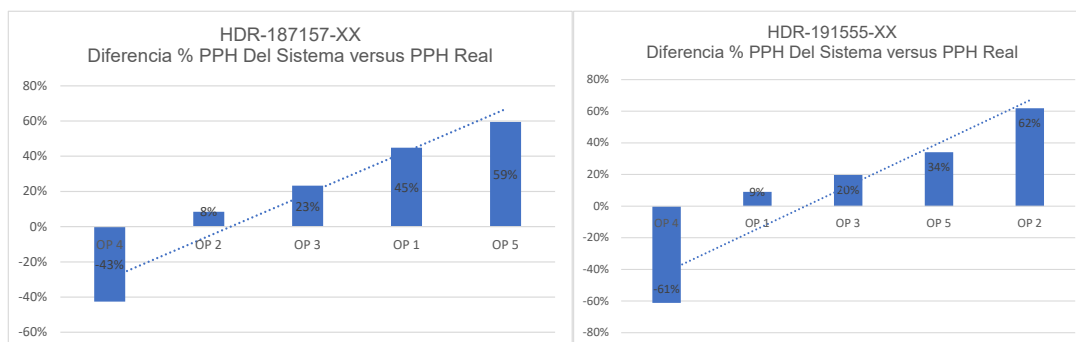
Fuente: Elaboración propia.

Tabla10 Resumen De Producción Del HDR-191555-XX

HDR-191555-XX					
N.Operario	Acumulación de los Rates asignados a cada estación	Porcentaje de carga	PPH-Sistema	PPH-Real	Diferencia %
OP 1	0,5352	17%	1,9	1,7	9%
OP 2	0,3463	11%	2,9	1,1	62%
OP 3	0,4724	15%	2,1	1,7	20%
OP 4	1,239721	40%	0,8	1,3	-61%
OP 5	0,506992	16%	2,0	1,3	34%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Diferencias porcentuales de PPH del sistema versus PPH Real



Fuente: Elaboración propia.

4.3 ENTREVISTA.

El lunes 4 de setiembre de 2023, se llevó a cabo una entrevista con el supervisor de Turno 1, con el objetivo de obtener información detallada sobre la línea de producción y la forma en que actualmente se abordan los problemas y desafíos de producción, así como el aumento en la demanda. Además, en colaboración con el líder de línea y el supervisor del área, se realizó una lluvia de ideas para identificar posibles causas que puedan estar afectando la actual productividad y los problemas de calidad en la línea de producción.

En la entrevista realizada, se destacan varios aspectos críticos para mejorar la eficiencia y la productividad en la línea de producción. Los hallazgos clave revelan una posible carencia de personal, ya que, a pesar de contar con cinco operarios, se percibe que la cantidad no es suficiente según los resultados obtenidos. Además, se identificaron demoras notables, especialmente cuando los operarios se detienen debido a un exceso de producción en el proceso siguiente. Asimismo, la falta de un plan estructurado de capacitación y la ausencia de estrategias específicas para manejar imprevistos o cambios en la demanda emergen como áreas de mejora esenciales para optimizar la eficiencia en la producción.

Figura 17 Entrevista con Supervisor de producción

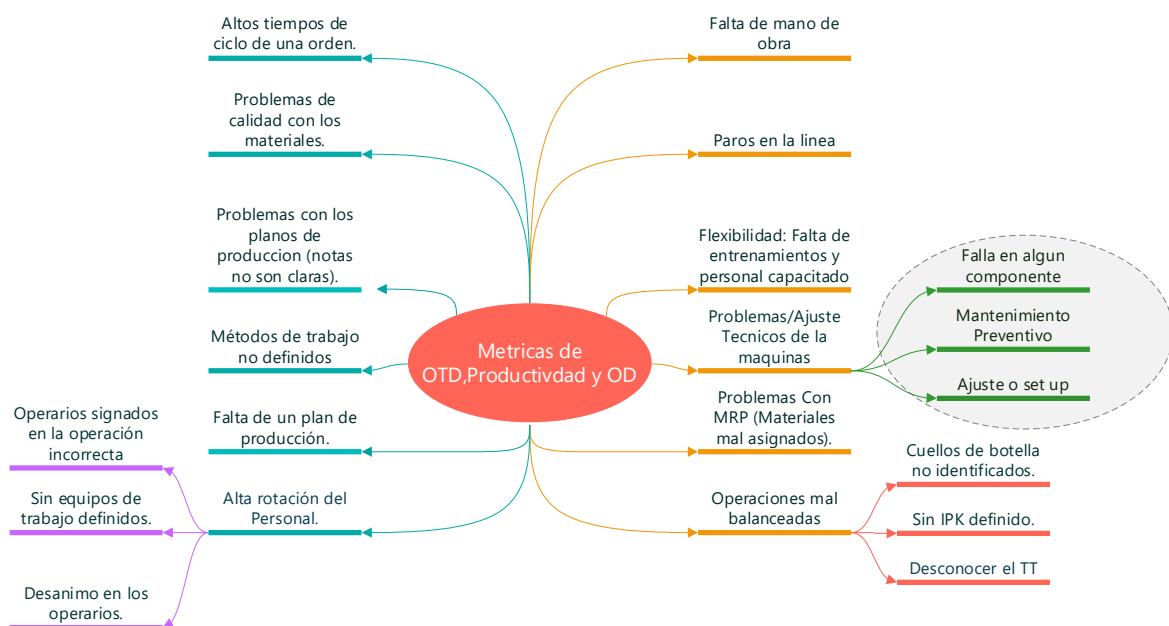
Entrevista con Supervisor	
Nombre del Entrevistado	Supervisor T1
Fecha de entrevista	2023
Cargo del Entrevistado.	Supervisor de producción
1	¿Cuánto personal está asignado a la línea de producción y siente que es suficiente?
	<i>Se cuenta con 5 operarios, de acuerdo a los output obtenidos, parece que faltan operarios.</i>
2	¿Cuál es el tiempo promedio por etapa de producción y hay demoras notables?
	<i>Se tardan alrededor de 10 minutos y las demoras se pueden observar en la línea, cuando algunos operarios deben detenerse por un exceso de producción en el proceso siguiente.</i>
3	¿Hay limitaciones de maquinaria u otros equipos para la producción?
	<i>Los equipos se encuentran asignados por líneas y actualmente la línea cuenta con 2 HBs, 1 estación de E-test, 2 estaciones de inspección, una Humity Chamber, una leakage y una estación para procesos finales.</i>
4	¿Cómo se maneja la capacitación del personal y ves oportunidades para mejorarla?
	<i>No se cuenta con ningún plan de entrenamiento, actualmente se brindan entrenamientos en otras operaciones cuando se da algún atraso con materiales para la construcción de alguna orden.</i>
5	¿Cómo aborda la planificación y programación de producción para garantizar la eficiencia y el cumplimiento de los plazos?
	<i>Se revisan los routings del sistema y se calcula la capacidad de la línea basado en cuánto se tarda en la construcción de la orden total.</i>
6	¿Se implementan estrategias para optimizar la productividad y reducir los tiempos de inactividad en las líneas de producción?
	<i>Actualmente se revisa con el líder de línea para que notifique de manera inmediata cualquier paro en la línea y se evalúa si realmente debe llevarse a cabo el paro en la línea.</i>
7	¿Cómo mide y asegura la calidad de los productos producidos en sus líneas de producción?
	<i>Se mide por la métrica de OD, el cual se obtiene de la cantidad de problemas de calidad reportados en los llamados 'QPs' que se ingresan a los asociados por ensambles defectuosos.</i>
8	¿Cómo maneja los problemas imprevistos o los cambios en la demanda en la producción?
	<i>En la mayoría de los casos se toma la decisión de trabajar overtime para cumplir con los objetivos y OTD.</i>
9	¿Qué métodos y herramientas utiliza para rastrear y analizar los datos de producción, como la eficiencia, los costos y los indicadores clave de rendimiento (KPI)?
	<i>Los datos se obtienen de la base de datos de PAWS, donde se registran las producciones de los asociados, esos datos son tabulados y analizada la información.</i>

Fuente: Elaboración propia

4.4 LLUVIA DE IDEAS

En la búsqueda de posibles causas que afectan de manera directa las métricas de OTD, OD y productividad, se llevó a cabo una sesión de lluvia de ideas en una de las salas de reunión de la compañía. La sesión tuvo como objetivo identificar factores que inciden en estas métricas clave de rendimiento. Durante la reunión, participaron activamente en la generación de ideas el supervisor y el líder de línea del primer turno. A continuación, se presentan los resultados de dicha sesión y las causas se identificaron.

Figura 18 Diagrama de lluvia de ideas



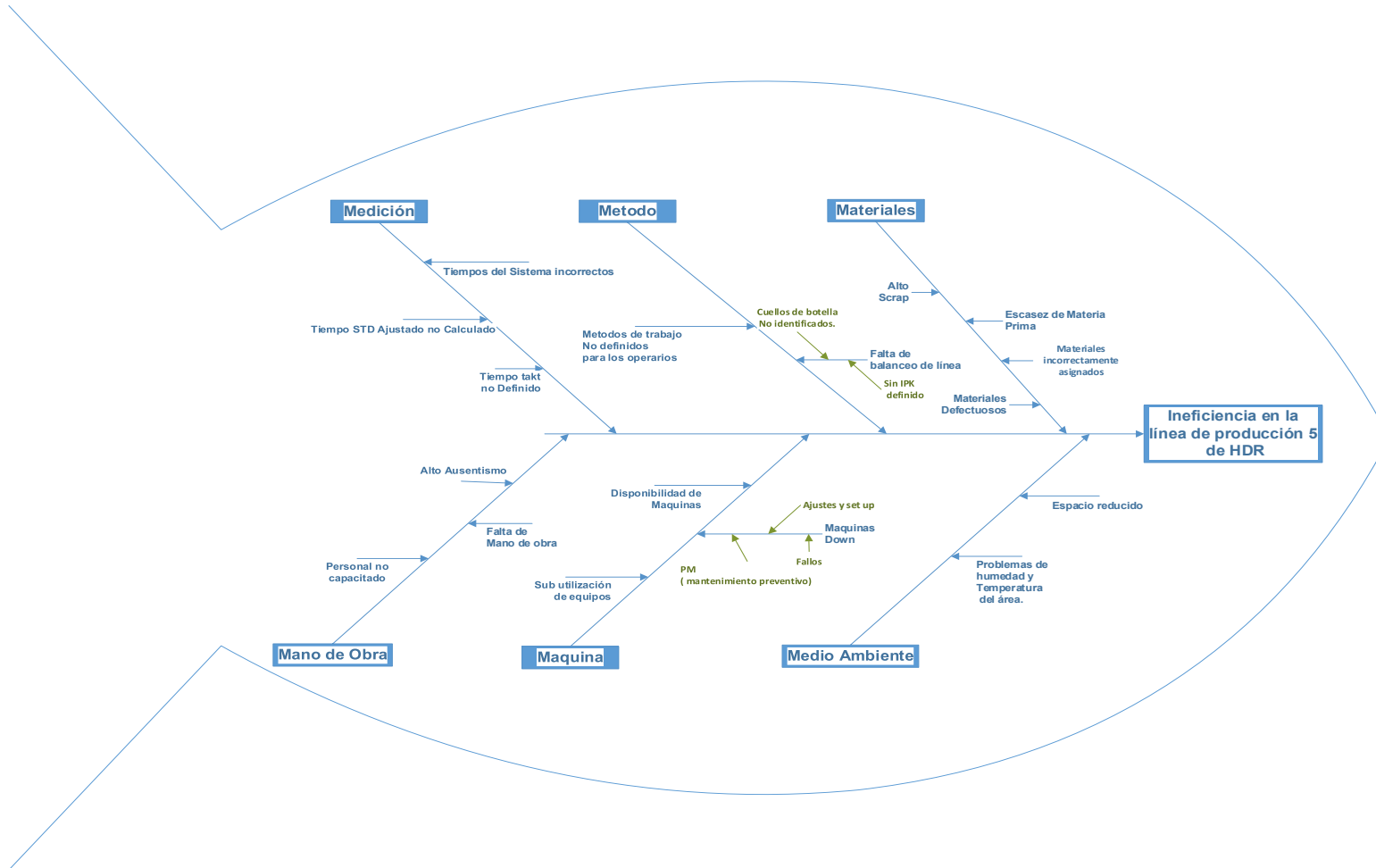
Fuente: Elaboración propia.

4.5 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Las causas identificadas en la lluvia de idea se organizaron en las "6M" del diagrama de Ishikawa, que incluyen Mano de Obra, Método, Materiales, Máquinas, Medio Ambiente y Medición.

Además de las causas derivadas de la lluvia de ideas, se han analizado otras posibles variables que podrían estar contribuyendo a este desafío operativo. Este diagrama de Ishikawa representa un enfoque sistemático para desentrañar las complejidades de este problema y proporcionar una visión clara de las causas raíz que requieren atención. A través de este análisis, esperamos identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias efectivas para abordar las causas subyacentes que impactan directamente en la OTD, OD y la productividad de la línea de producción.

Figura 19 Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se resumen y describen a detalle cada una de las causas propuestas.

4.5.1 Falta De Balance De Línea

La desigualdad en la distribución del trabajo en la línea de producción conduce a desequilibrios en el flujo de trabajo, generando ineficiencias y retrasos en la producción, los asociados realizan las operaciones mencionadas en los diagramas de bloque por iniciativa propia y lo que ellos consideran mejor para el beneficio propio.

Como se puede ver en la **Tabla10** Resumen De Producción Del HDR-191555-XX existe una variabilidad notable en los índices acumulados de los rates asignados a cada estación por operario. Se observa que la carga de trabajo se distribuye de manera desigual entre los operarios, lo que se evidencia porcentualmente y en los valores de producción por hora (PPH). Por ejemplo, el Operario 4 maneja aproximadamente el 40% de la carga total, pero su producción por hora real (PPH-Real) es considerablemente diferente a la planificada (PPH-Sistema), mostrando una discrepancia del 61%. En contraste, otros operarios como el Operario 2 tienen una discrepancia aún mayor del 62% entre la producción planificada y la real. Estas diferencias señalan una distribución desigual de la carga de trabajo entre los operarios, lo que podría estar contribuyendo a los retrasos y a la ineficiencia en la línea de producción.

4.5.2 Tiempos Standard Ajustados No Calculados

Esta causa refleja la carencia de cálculos o ajustes en los tiempos de producción estándar, lo que implica que se utilizan los tiempos del sistema como base para la planificación de la producción, sin considerar factores como los tiempos de configuración (set up), el rendimiento (yield) y la capacidad de las máquinas. Este

enfoque resulta en estimaciones incorrectas de los tiempos de ciclo, lo que a su vez afecta negativamente la planificación y la puntualidad en la producción, porque los cálculos distan mucho de la realidad.

El tiempo promedio de set up de una máquina se establece en 30 minutos, excluyendo el tiempo necesario para ajustar la máquina para un producto específico, el cual puede oscilar entre 30 minutos y 1 hora. Sin embargo, según se evidencia en **Tabla 7** y **Tabla 8**, los datos del sistema carecen de cualquier cálculo relacionado con el tiempo de set up o cualquier otra variable asociada a este aspecto, omitiendo el cálculo de estos y evitando que se sumen al momento de realizar el plan de producción.

4.5.3 Tiempos Del Sistema Incorrectos

Se identificó de manera visual en una de las camitas realizadas, que los tiempos del sistema no eran fiables, ya que la realidad que refleja el piso de producción en cuanto a salida de material no concuerda con los datos indicados en el sistema, operaciones que se muestran como cuellos de botella en el sistema no muestran ningún retraso en producción, caso contrario aquellos que deberían tener un mayor número de cables producidos por hora cuentan acumulaciones excesivas de material de operaciones anteriores.

Como se evidencia en el proceso de humidity chamber para el número de parte HDR-187158-XX en la **Tabla 7**, La capacidad de procesamiento de la máquina es de solo 4 piezas por hora. Sin embargo, esta misma máquina puede almacenar más de 30 cables individuales por hora, lo que permite una rotación que posibilita el procesamiento de más de 58 cables por hora. La discrepancia entre la capacidad real y lo registrado en el sistema es considerable.

4.5.4 Tiempos Takt No Definido

El tiempo Takt que es determinado por la demanda del cliente, es esencial para poder realizar un balance de línea, así como conocer cuál es la capacidad que debe buscarse en la línea para cumplir a tiempo con las demandas del cliente, actualmente el mismo se desconoce por lo que el ritmo de trabajo necesario para asegurar el envío de pedidos a tiempo no es conocido por la línea ni el supervisor.

4.5.5 Métodos De Trabajo No Definidos Para Los Operarios

Esta causa se refiere a la falta de procedimientos y pautas claras para la realización de tareas por parte del personal de producción, en este caso específico la variabilidad en la ejecución del proceso de Hot bar, donde cada asociado tiene una forma particular de realizar el proceso, que en algunos casos añade más tiempo de producción del ensamble, incrementa tiempos de ocio o provoca más retrabajo en los ensambles.

Esta variabilidad ha dado lugar a un aumento en los defectos o problemas de calidad, reflejándose en cifras que han oscilado entre el 1.69% y el 1.95%, cuando la meta esperada es mantenerse por debajo del 0.25%. Este incremento en los problemas de calidad es un ejemplo claro de la urgencia de definir y estandarizar los procesos actuales para evitar mayores atrasos y mantener los estándares de calidad esperados.

4.5.6 Escasez De Materia Prima

Debido a al incremento en la demanda actual, se considera que uno de los factores que puede influir en las metas sea la escasez de los materiales, los cuales pueden provocar el paro completo de la línea de producción.

4.5.7 Disponibilidad De Maquinas

Un factor importante es la disposición de máquinas, en el caso actual la línea requiere del proceso de e-test 1 y el e-test final, ambos se realizan en la estación de pruebas eléctricas, lo que puede llevar a paros en uno de los procesos

mientras se realizan afectando el flujo de la línea y el output final por esta limitante.

4.5.8 Alto Ausentismo

Durante los días regulares de la semana la asistencia es regular, sin embargo, en ocasiones la ausencia del personal los fines de semana es alta, provocando movimiento en las líneas de producción y en algunos casos no se pueda correr la línea de Nextest con el equipo completo.

4.5.9 Personal No Capacitado

El personal asignado a las líneas de trabajo carece de la capacitación necesaria para desempeñar todas las tareas de la línea; solamente el 40% de los empleados está debidamente capacitado en todas las operaciones, incluyendo las más críticas.

4.5.10 Sub-Utilización De Equipos

Los equipos y maquinaria disponibles no se utilizan de manera eficiente o a su máxima capacidad. Esto puede llevar a ineficiencias en la producción y subutilización de recursos, operaciones como Hot bar, tienen tiempos de espera muy altos mientras los asociados realizan el montaje de los componentes.

4.5.11 Maquinas Down

En la línea de producción, existen operaciones semiautomáticas en las que las máquinas desempeñan un papel crucial. Sin embargo, ocasionalmente, problemas técnicos, ajustes o configuraciones del producto pueden resultar en paradas en la línea. Estas paradas pueden reducir el ritmo de producción o, en situaciones específicas, provocar una detención completa de la línea lo que afecta directamente los tiempos de entrega.

Actualmente el proceso de hot bar es el que más tiquetes técnicos presenta y acumula aproximadamente 86 horas down, como se puede ver en la **Tabla 11** y la

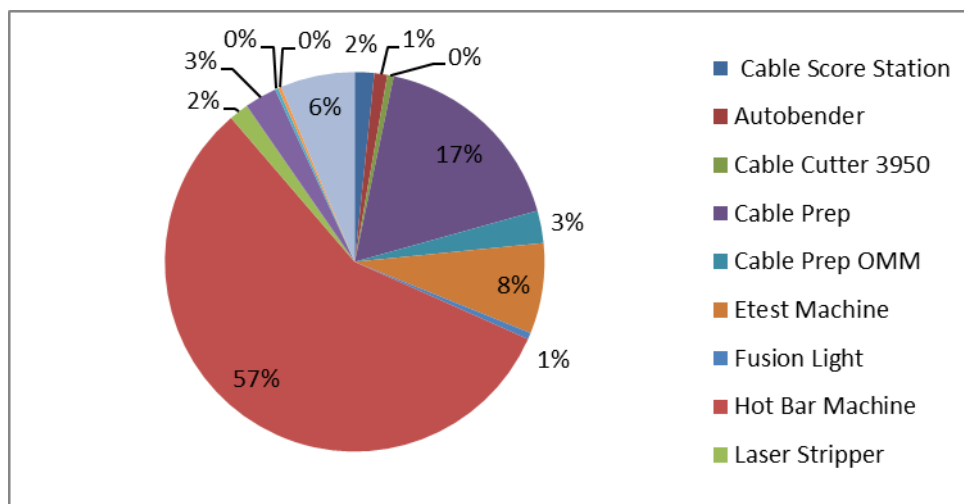
Figura 21.

Tabla 11 Resumen de tiques abiertos por estación

Estación	QTY	Horas acumuladas
Cable Score Station	6	3
Autobender	4	2
Cable Cutter 3950	2	1
Cable Prep	63	16
Cable Prep OMM	10	4
Etest Machine	28	9
Fusion Light	2	0
Hot Bar Machine	207	86
Laser Stripper	6	4
Miscellaneous	10	2
Pin Cutter	1	0
RW STATION	1	0
Solder Dip	23	4

Fuente: elaboración propia.

Figura 20 Porcentaje de tiquetes abiertos por estación



Fuente: Elaboración propia

4.5.12 Materiales Incorrectamente Asignados.

Las asignaciones de material para las órdenes de trabajo a veces pueden contener errores, lo que resulta en la recepción de materiales no solicitados en los pedidos. Como consecuencia, es necesario ponerse en contacto nuevamente con

el proveedor para obtener los materiales necesarios que se fueron omitidos inicialmente, lo que provoca un retraso en la producción de la orden.

4.5.13 Falta De Mano De Obra

Otra de las causas que ha afecta la producción es contar con personal limitado, por lo que no se puede disponer de personal adicional para incrementar la producción.

4.5.14 Problemas De Humedad Y Temperatura Del Área.

Las pruebas de fugas realizadas en los cables requieren que el área mantenga condiciones específicas de temperatura y humedad, con un límite máximo de 23 grados Celsius y una humedad no superior al 60%.

4.5.15 Espacio Reducido

La restricción del espacio de trabajo limita la movilidad de los trabajadores y puede resultar en una disminución de la eficiencia del proceso. Esto se debe a la necesidad de evitar posibles accidentes debido al espacio reducido, lo que puede provocar retrasos en la producción. Los operarios deben ser más cuidadosos al moverse en las estaciones de trabajo y al manipular materiales para prevenir caídas y otros incidentes. Además, en ocasiones, se requiere detenerse para reorganizar o inspeccionar el material, lo que, a su vez, puede afectar el tiempo de producción.

4.5.16 Alto Scrap

El "Alto Scrap" se refiere a la alta cantidad de material desechado en la producción, lo cual tiene un impacto negativo en la eficiencia de la línea. Esto ocurre cuando se cortan los cables a longitudes incorrectas o se ensamblan con orientaciones erróneas en el proceso de Hot bar. Dado que estos productos están diseñados específicamente para un cliente y no hay otros que requieran las mismas dimensiones o configuración, resulta en una cantidad significativa de

productos defectuosos o no conformes que deben ser descartados. Esto genera pérdida de material y recursos.

4.5.17 Materiales Defectuosos

Algunos de los materiales que son recibidos presentan problemas de calidad, los cuales pueden involucrar que se tomen acciones por parte de calidad, como el rechazo de todo un lote del material o en su lugar la realización de algún retrabajo que permita dar uso al mismo, lo que en ambos casos implica que el tiempo de ciclo de una orden sea incrementado.

4.6 PONDERACIÓN DE LAS CAUSAS

Con el propósito de maximizar el impacto de las soluciones propuestas y debido a la cantidad de posibles causas involucradas, se optó por llevar a cabo una ponderación de estas causas con el fin de evaluar su impacto de manera más precisa.

Se desarrolló una matriz de evaluación, la cual será utilizada como guía para determinar el peso asignado a cada una de las 17 causas identificadas.

Figura 21 Matriz de evaluación

	Severidad o Efecto		Ocurrencia	Puntuación
Impacto Muy Alto	Esta causa tiene un impacto extremadamente alto en la producción, las órdenes tardías y las órdenes defectuosas. Sus efectos son críticos y pueden generar problemas graves en la producción, la puntualidad y la calidad. Se requiere acción inmediata y un esfuerzo significativo para resolver esta causa.	Ocurrencia Muy Alta	Esta causa tiene una ocurrencia extremadamente alta y es un problema constante. Ocurre con regularidad y tiene un impacto significativo en la producción, órdenes tardías y órdenes defectuosas. Se requiere una acción inmediata y constante para abordar esta causa.	5
Impacto Alto	Esta causa tiene un impacto significativo en la producción, las órdenes tardías y las órdenes defectuosas. Puede causar retrasos considerables y afectar la calidad de manera importante, lo que requiere atención inmediata para evitar problemas graves.	Ocurrencia Alta	Esta causa tiene una ocurrencia alta y es probable que ocurra con frecuencia. Puede influir significativamente en la producción, órdenes tardías y órdenes defectuosas, lo que requiere atención continua para evitar problemas graves.	4
Impacto Moderado	Esta causa tiene un impacto moderado en la producción, las órdenes tardías y las órdenes defectuosas. Puede causar retrasos o problemas de calidad, lo que requiere ciertos esfuerzos para mitigar sus efectos.	Ocurrencia Moderada	Esta causa tiene una ocurrencia moderada. Ocasionalmente se presenta y puede influir en la producción, órdenes tardías o órdenes defectuosas. Aunque no es constante, es importante tenerla en cuenta.	3
Impacto Bajo	Esta causa tiene un impacto bajo en la producción, las órdenes tardías y las órdenes defectuosas, pero es manejable y no causa problemas importantes. Puede generar desafíos menores, pero no impide cumplir con los plazos ni afecta gravemente la calidad.	Ocurrencia Baja	Esta causa tiene una ocurrencia baja y no se presenta con mucha frecuencia. Puede ocurrir ocasionalmente, pero no es una preocupación significativa en relación con la producción, órdenes tardías o órdenes defectuosas.	2
Ningún Impacto	Esta causa tiene un impacto mínimo o nulo en la producción, las órdenes tardías y las órdenes defectuosas. No afecta significativamente el proceso y no se espera que cause problemas en estos aspectos.	Ocurrencia Muy Baja	Esta causa rara vez ocurre o tiene una ocurrencia extremadamente baja. Es poco probable que se presente con frecuencia y no es una preocupación principal en relación con la producción, órdenes tardías o órdenes defectuosas.	1

Fuente: Elaboración propia.

4.6.1 Resultado de la ponderación de causas

Este proceso de ponderación se desarrolló en colaboración con el Supervisor de producción y el Líder de línea, quienes, gracias a su experiencia y profundo conocimiento de la línea de producción, contribuyeron a la identificación y valoración de cada causa en función de su influencia en las métricas mencionadas, además de identificar qué tan frecuentemente se presenta cada causa. El peso resultante se obtuvo multiplicando el impacto por la incidencia asignada a cada causa.

Este enfoque de ponderación se utiliza para lograr una comprensión detallada y objetiva de las causas subyacentes que afectan las métricas clave y proporciona una base sólida para priorizar las acciones correctivas y estrategias de mejora.

Figura 22 Resultado de encuesta de ponderación

Formulario

Encuesta de Ponderación

Instrucciones :		Con base en su conocimiento y experiencia, evalúe el impacto y la ocurrencia de las causas identificadas en las métricas de productividad, OTD (On-Time Delivery) y OD (Order Defects) para la línea de Nextest. Utilice una escala del 1 al 5 para calificar, donde 1 representa el menor impacto/ocurrencia y 5 el mayor impacto/ocurrencia.				
Escala	Categoría	Causa	Impacto	Ocurrencia	Peso	
5 <i>Impacto Muy Alto</i> <i>Ocurrencia Muy Alta</i>	<i>Medicion</i>	Tiempos Std Ajustados No Calculados	5	5	25	
4 <i>Impacto Alto</i> <i>Ocurrencia Alta</i>		Tiempos Del Sistema Incorrectos	5	5	25	
3 <i>Impacto Moderado</i> <i>Ocurrencia Moderada</i>		Tiempos Takt No Definido	4	5	20	
2 <i>Impacto Bajo</i> <i>Ocurrencia Baja</i>	<i>Mano de Obra</i>	Alto Ausentismo	3	1	3	
1 <i>Ningún Impacto</i> <i>Ocurrencia Muy Baja</i>		Personal No Capacitado	2	2	4	
		Falta De Mano De Obra	2	1	2	
	<i>Maquinas</i>	Disponibilidad De Maquinas	2	1	2	
		Sub-Utilización De Equipos	4	4	16	
		Maquinas Down	2	2	4	
	<i>Medio ambiente</i>	Espacio Reducido	1	1	1	
		Problemas De Humedad Y Temperatura Del Área.	3	1	3	
	<i>Materiales</i>	Alto Scrap	2	2	4	
		Escasez De Materia Prima,	3	1	3	
		Materiales Defectuosos	4	1	4	
		Materiales Incorrectamente Asignados.	3	1	3	
	<i>Método</i>	Métodos De Trabajo No Definidos Para Los Operarios	3	5	15	
		Falta De Balance De Línea.	5	5	25	

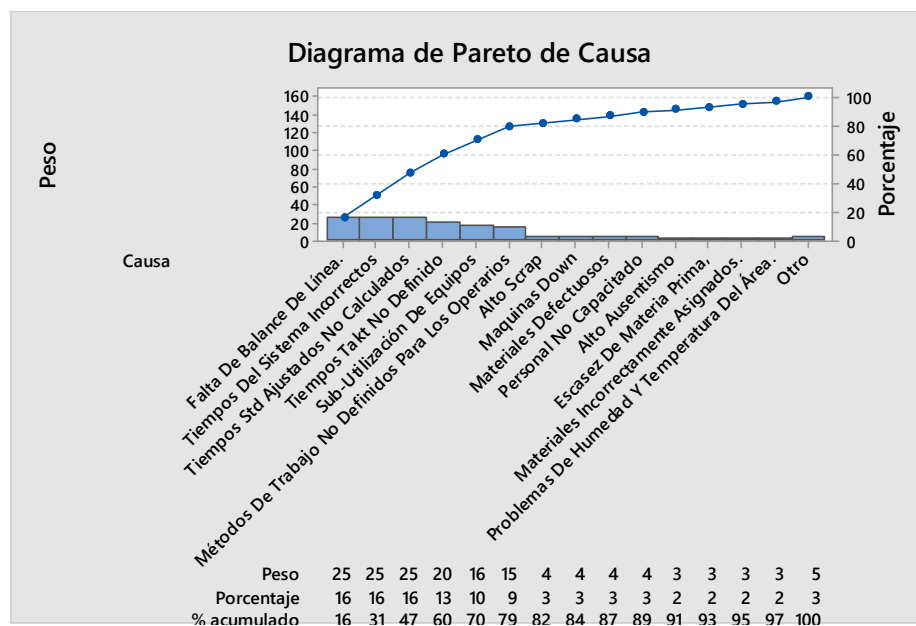
Fuente: Elaboración propia

Los resultados reflejan que actualmente, las categorías de medición y método tienen la mayor influencia en las métricas que buscamos mejorar. Identificamos tres causas con pesos similares que ocupan las primeras posiciones: “Tiempos Del Sistema Incorrectos”, “Tiempos Std Ajustados No Calculados” y “Falta De Balance De Línea” todos con un peso de 25. En cuarto lugar, encontramos el “Tiempo Takt No Definido”, con un peso de 20, seguido en quinto lugar por la “Subutilización de equipos” con un peso de 16 y en sexto lugar “Métodos De Trabajo No Definidos Para Los Operarios” el cual tiene un peso de 15.

4.6.2 Pareto de causas

La ponderación de las causas es fundamental para la aplicación de un análisis Pareto, una herramienta que proporciona una representación gráfica de las causas predominantes. Esto nos permite identificar de manera visual dónde se concentra el 80% de las causas y, de manera similar, entender que abordar estas causas de manera efectiva puede contribuir significativamente a la mejora de las métricas que estamos buscando.

Figura 23 Pareto de Causas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 *Porcentaje acumulado de votación de causas*

Causa	Peso	Porcentaje	Frecuencia Acumulada	%Acumulado
Tiempos Std Ajustados No Calculados	25	16%	25	16%
Tiempos Del Sistema Incorrectos	25	16%	50	31%
Falta De Balance De Línea.	25	16%	75	47%
Tiempos Takt No Definido	20	13%	95	60%
Sub-Utilización De Equipos	16	10%	111	70%
Métodos De Trabajo No Definidos Para Los Oper	15	9%	126	79%
Personal No Capacitado	4	3%	130	82%
Maquinas Down	4	3%	134	84%
Alto Scrap	4	3%	138	87%
Materiales Defectuosos	4	3%	142	89%
Alto Ausentismo	3	2%	145	91%
Problemas De Humedad Y Temperatura Del Área	3	2%	148	93%
Escasez De Materia Prima,	3	2%	151	95%
Materiales Incorrectamente Asignados.	3	2%	154	97%
Falta De Mano De Obra	2	1%	156	98%
Disponibilidad De Maquinas	2	1%	158	99%
Espacio Reducido	1	1%	159	100%

Fuente: Elaboración propia.

El análisis efectuado ha permitido identificar un conjunto de seis causas críticas entre las diecisiete originalmente mencionadas. La resolución de estas seis causas se presenta como una oportunidad valiosa, ya que representaría un impacto sustancial, abarcando aproximadamente el 80% de las causas relacionadas con las métricas que se encuentran en el centro de este proyecto. Además, este análisis proporciona una hoja de ruta esencial para la implementación de soluciones efectivas.

En resumen, se destaca que, individualmente, las causas, “Tiempos del Sistema Incorrectos”, “Falta de Balance de Línea” y “Tiempos Estándar Ajustados No Calculados” contribuyen en un 16% cada una al total de causas. A continuación, la causa “Tiempos Takt No Definido” representa un 13%, seguida de “Subutilización de Equipos” y “Métodos de Trabajo No Definidos para los Operarios”, con un 10% y 9% respectivamente del total de causas.

4.7 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS.

Mediante el análisis de Pareto, hemos podido identificar de manera efectiva las causas que están afectando la producción de la línea y, en consecuencia, están generando obstáculos para satisfacer la creciente demanda del cliente. Esta herramienta de análisis ha posibilitado la priorización y el enfoque de esfuerzos en las áreas críticas que requieren atención inmediata. A continuación, se presentan las causas detalladas identificadas en este proceso, proporcionando una guía valiosa para abordar estas cuestiones y mejorar las métricas clave.

- Causa #1: "Tiempos del Sistema Incorrectos". Esta causa está directamente relacionada con el problema actual, ya que la precisión y actualización de los tiempos del sistema son fundamentales. No solo se requieren para equilibrar las líneas de producción, sino también para calcular de manera precisa el tiempo de ciclo de una orden y su costo de producción. El incorrecto registro de estos tiempos puede generar ineficiencias y retrasos en el proceso de fabricación.
- Causa #2: "Tiempo Estándar Ajustado". Esta causa está estrechamente relacionada con las métricas de OTD, ya que es fundamental para generar pronósticos y planes de producción confiables. La consideración de tiempos de set-up, rendimiento (yield) y productos defectuosos (scrap) en la línea se basa en este factor, lo que influye directamente en la capacidad de cumplir con las fechas de entrega de los clientes.
- Causa #3: "Falta de Balance de Línea". Esta causa se relaciona directamente con las métricas de productividad, OTD y OD. La ausencia de un balance de línea impide la asignación equitativa de tareas, lo que da lugar a cuellos de botella y deficiencias en la producción. Esto afecta la

capacidad de enviar las órdenes del cliente a tiempo y conlleva problemas de calidad debido a la manipulación excesiva del material en diversas estaciones, sin un flujo lógico del proceso.

- Causa #4: "Tiempo Takt No Definido". Esta causa guarda una relación directa con la OTD y los objetivos de productividad de la línea. La falta de definición del Tiempo Takt impide establecer la meta real que debe alcanzarse en cada estación de trabajo. Sin conocer el ritmo de producción necesario para cumplir con los plazos de entrega, es imposible determinar si la línea será capaz de satisfacer a tiempo las fechas de entrega del cliente.
- Causa #5: "Subutilización de Equipos". Esta causa se relaciona directamente con la OTD, ya que la utilización ineficiente de los equipos no permite satisfacer la demanda actual del cliente para los dos números de parte diferentes. Buscar una optimización de los equipos sería ideal para reducir los tiempos muertos de los asociados y la inactividad de las máquinas. Esto a su vez incrementaría la productividad y garantizaría el envío puntual de las órdenes.
- Causa #6: "Métodos de Trabajo No Definidos". Esta causa está directamente relacionada con las métricas de OD y productividad. La falta de estándares de trabajo en operaciones como el hot bar lleva a una variabilidad significativa en las prácticas empleadas por los asociados en la fabricación de los cables. Esta variación en los métodos utilizados puede resultar en errores de construcción debido a las diferencias entre los procedimientos aplicados en cada cable.

En el análisis del proceso de producción, se han identificado diversas causas críticas que impactan directamente en las métricas de OTD, OD y productividad. Las principales causas incluyen "Tiempos del Sistema Incorrectos," "Tiempo Estándar Ajustado," "Falta de Balance de Línea," "Tiempo Takt No Definido," "Subutilización de Equipos," y "Métodos de Trabajo No Definidos.

La incorrecta gestión de los tiempos del sistema puede generar ineficiencias y retrasos en la producción, lo que afecta la OTD. La falta de definición de los tiempos estándar ajustados y la falta de un balance de línea también influyen en las métricas de productividad y en la capacidad de cumplir con las fechas de entrega. La falta de un tiempo Takt definido dificulta el cumplimiento de las fechas de entrega, ya que no se sabe cuál es el ritmo de producción necesario. La subutilización de equipos y la falta de métodos de trabajo definidos generan ineficiencias en la línea y afectan la productividad y la calidad del producto.

Resolver estas causas críticas es fundamental para mejorar la eficiencia del proceso de producción y cumplir con las demandas del cliente. Se requieren soluciones que aborden estos problemas y optimicen la gestión de tiempos, el equilibrio de la línea, la definición del tiempo Takt, la utilización de equipos y la estandarización de métodos de trabajo.

CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

El análisis detallado de las causas raíz de los problemas identificados en el Capítulo 4 proporciona la base sólida sobre la cual se han diseñado las soluciones propuestas en este capítulo. Estas soluciones están destinadas a abordar de manera específica las ineficiencias y desafíos identificados, lo que garantiza que estén respaldadas por una comprensión profunda de las cuestiones fundamentales y se enfoquen en los factores clave que impactan la línea de producción de Nextest en el área de HDR.

A continuación, se presenta un resumen de las causas identificadas y las acciones propuestas, junto con las métricas que se espera mejorar mediante la implementación de esta propuesta.

Tabla 13 *Propuesta de Mejora*

#	Causas	Soluciones	Métrica	Tipo de Causa
1	Tiempos del Sistema Incorrectos	Actualizar los tiempos del sistema por medio de un estudio de tiempo de los principales procesos de la línea.	OTD y Productividad	Medición
2	Tiempo Estándar Ajustado	Creación de una herramienta en Excel que permita el cálculo de del Tiempo estándar ajustado de forma automática, la cual mostrara 3 escenarios del tiempo Takt y posteriormente se llevara a cabo el balance de línea.	OTD, OD y Productividad	Medición
3	Falta de Balance de Línea			Método
4	Tiempo Takt No Definido			Medición
5	Subutilización de Equipos (HB)	Implementar de una estación de alineamiento para el proceso de hot bar.	OTD y Productividad	Maquinas
6	Métodos de Trabajo No Definidos	Actualización de la instrucción de trabajo de hot bar con detalles sobre la realización del proceso.	OD y Productividad	Método

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la propuesta se fundamenta en la creación de una herramienta en Excel destinada a los supervisores para optimizar la planificación de la producción

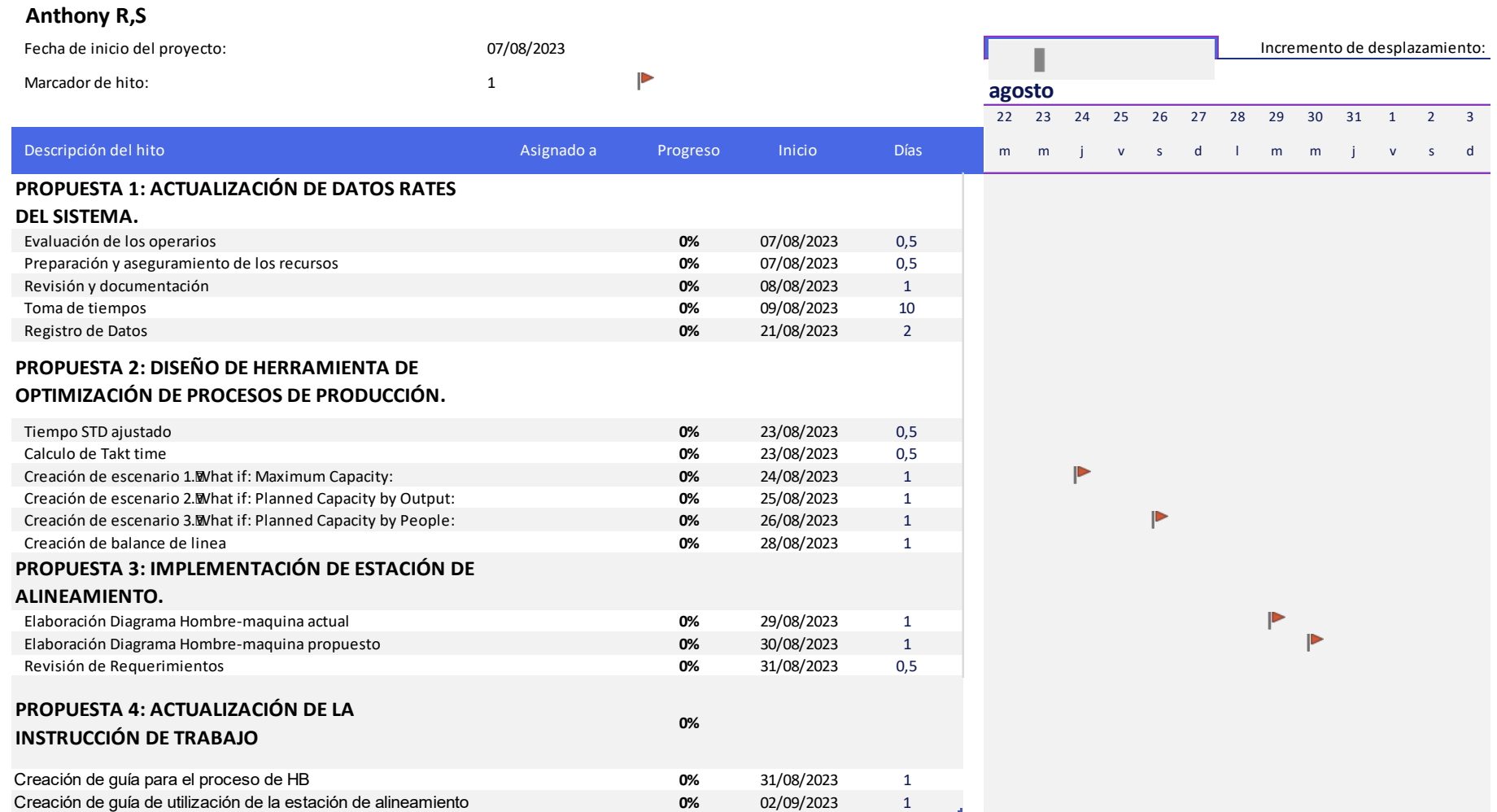
de los dos productos requeridos por el cliente. Esta herramienta tiene como objetivo lograr una estimación precisa del tiempo de ciclo de una orden en consonancia con la dinámica del piso de producción. Además, permitirá calcular el tiempo estándar ajustado para cada proceso, lo que facilitará la manipulación de tres escenarios cruciales en la planificación de la producción:

- Ritmo de trabajo con la línea funcionando a su capacidad máxima.
- Ritmo de trabajo en función del rendimiento requerido.
- Ritmo de trabajo basado en la cantidad de personal disponible.

Adicionalmente, la herramienta proporcionará la capacidad de identificar de forma visual y eficaz los cuellos de botella en la línea de producción, lo que permitirá tomar medidas concretas para mitigar o eliminar estos puntos críticos.

Como parte de la propuesta, se sugiere la implementación de una estación de alineamiento destinada a maximizar el tiempo de uso de la máquina de HB. Esta máquina a menudo experimenta tiempos significativos de inactividad mientras los asociados realizan el proceso de alineamiento de los conductores. La inclusión de esta estación de alineamiento trabajará en conjunto con la herramienta en Excel para reducir el tiempo de procesamiento de las órdenes, lo que se traducirá en ciclos de producción más cortos y la capacidad de cumplir con los plazos de entrega de manera puntual.

Figura 24 Diagrama de Gantt – Desarrollo e implementación de propuestas



Fuente: Elaboración propia

5.1.1 Costo / beneficio

Se realiza una evaluación de los costos de implementación para cada propuesta, teniendo en cuenta el tiempo y los recursos adicionales necesarios para su ejecución. El resumen de esta evaluación se presenta en la Tabla 14 Análisis de Costo/Beneficio, en la cual se calculan los beneficios en función de los costos históricos proporcionados por la compañía antes de la presentación de la propuesta.

Como se puede apreciar, los beneficios obtenidos por cada colón invertido son significativamente elevados. Por esta razón, se recomienda encarecidamente llevar a cabo todas las propuestas mencionadas. Además, es importante tener en cuenta que se espera un aumento en la productividad, lo que se traduce en un área más rentable y esto podría, a su vez, motivar una mayor inversión en la sede de Costa Rica.

Tabla 14 Análisis de Costo/Beneficio

Análisis Costo / Beneficio						
Propuestas	Tiempo (hrs)	Recurso	Cantidad de Recursos		Costo-Propuesta	Costo/Beneficio
Propuesta #1 Toma en consideración el tiempo requerido para:						
· Realizar el estudio de tiempo.	38	Ing. de Producción	1	₡	272 135,42	₡ 74,96
· Actualizar los rates en el sistema de la compañía.	3	Ing. Industrial	1	₡	16 020,00	
Propuesta #2 Toma en consideración el tiempo requerido para:						
· Diseñar y desarrollar una herramienta en Excel para calcular el tiempo estándar ajustado, el Takt time y el balance de línea.	20	Ing. de Producción	1	₡	143 229,17	₡ 150,81
Propuesta #3 Toma en consideración el tiempo y equipo requerido para:						
· Realizar diagrama Hombre-Maquina.	8	Ing. de Producción	1	₡	57 291,67	
· Actualizar instrucción de trabajo.	2	Ing. Industrial	1	₡	14 322,92	₡ 20,93
· Agregar la estación de alineamiento (instalación + Costo de equipo)	5	Técnico	1	₡	960 287,29	
Propuesta #4 Toma en consideración el tiempo requerido para:						
· Recolectar la información del proceso de hot bar.	2			₡	14 322,92	
· Establecer una guía del método y forma de trabajo.	1	Ing. de Producción	1	₡	7 161,46	
· Establecer una guía para el uso de la estación de alineamiento.	1			₡	7 161,46	₡ 431,95
· Actualizar las guías en el sistema de la compañía.	4	Técnico	1	₡	21 360,00	
TOTAL				₡	1 513 292,29	

Costo Antes de la Propuesta ₡ 21 600 000,0000

Recurso	Salario por hora
Ing. de Producción	₡ 7 161,46
Ing. Industrial	₡ 5 340,00
Técnico	₡ 3 385,42

Fuente: Elaboración Propia

5.2 PROPUESTA 1: ACTUALIZACIÓN DE DATOS RATES DEL SISTEMA.

Para poder llevar a cabo esta propuesta, es necesario realizar un estudio de tiempo que permita obtener datos confiables los cuales se enviarán al departamento de ingeniería industrial y deberán ser aprobados por el departamento de ingeniera de Samtec NA.

5.2.1 Cálculo de la muestra y suplementos.

Dado que este estudio requiere la aprobación de Samtec NA⁴, el departamento de ingeniería compartió el número de muestra que ha sido aprobado por el departamento de ingeniería de la compañía Samtec NA. Así como, los porcentajes de suplementos que se aplicarán en las tomas de muestras. Esto para garantizar que los datos obtenidos sigan el estándar de la compañía, abajo se muestra la fórmula que fue utilizada por la compañía.

$$n = \frac{z^2 \cdot \sigma^2}{E^2}$$

La fórmula utilizada por la empresa es una versión más generalizada de la comúnmente utilizada:

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2$$

Esto al conocer la desviación estándar poblacional y establecerla de manera general para todos los estudios, además de definir un error de las muestras en un 20%, para obtener un intervalo de confianza específico con un nivel de precisión determinado.

Sin embargo, Ambas fórmulas buscan determinar el tamaño de muestra óptimo para alcanzar un nivel de precisión y confianza deseado, pero la primera fórmula se aplica cuando se conoce la desviación estándar poblacional, mientras que la

⁴ Samtec NA, entiéndase casa matriz de la compañía, ubicada en New Albany EE. UU.

segunda se adapta a situaciones donde esta información no está disponible y se usa la desviación estándar de la muestra como sustituto.

Figura 25 *Calculo de muestra*

$$n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2}{E^2}$$

Cálculo de la muestra	
<i>Nivel de confianza</i>	95%
Z	1,96
σ	0,544
E	20%
n	30

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Plan de estudio de tiempos

Este estudio de tiempos tiene dos objetivos fundamentales. En primer lugar, se busca la actualización de tasas de producción en el sistema. En segundo lugar, se pretende evaluar las posibles acciones que podrían emerger a partir de la comprensión de los tiempos necesarios para fabricar los productos HDR-187158-XX y HDR-191555-XX.

1. Evaluación de los operarios

- **Personal Capacitado:** Se evaluó la capacitación de los operarios durante una reunión con el supervisor. Se revisaron las horas de producción para estimar su experiencia y determinar si cumplían con los requisitos para considerar un tiempo estándar.

2. Preparación y aseguramiento de los recursos.

- **Aseguramiento de Material:** Antes del estudio, se revisaron los niveles de stock de materiales con el material handler del área para garantizar que no se vería afectado el estudio debido a la escasez de materiales.

- **Condiciones Ambientales:** Se verificó que las condiciones ambientales en el área de trabajo cumplieran con los parámetros establecidos por la compañía, incluyendo una temperatura menor de 23 grados Celsius y una humedad del 60%.

3. Revisión y Documentación

- **Revisión de Documentos (Instrucciones de Trabajo):** Se realizó una revisión de las instrucciones de trabajo para asegurarse de que los asociados estuvieran cumpliendo con todas las actividades necesarias para completar sus operaciones.
- **Registro de Datos de los Operadores Confidencial:** Se registró información de los operarios con fines de registro, pero esta información se entregó al supervisor del área posterior a la realización del estudio de tiempos.

4. Recopilación de datos

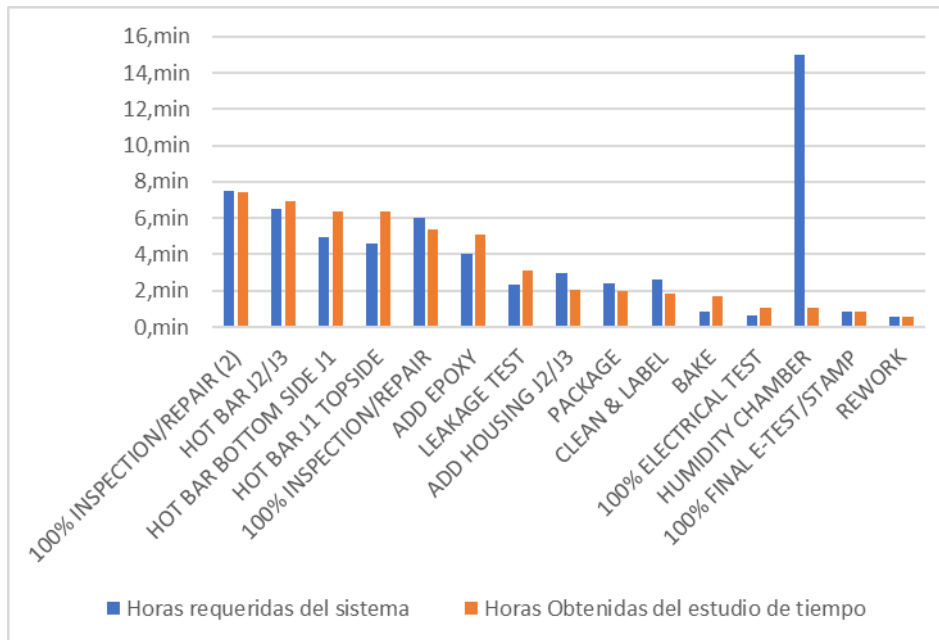
- **Duración del Estudio:** El estudio se llevó a cabo entre el 7 de agosto y el 22 de agosto del 2023.

5.2.3 Registro de datos

Posteriormente se realiza las tomas de tiempo en la línea de producción, los datos obtenidos de las tomas de tiempo del estudio de tiempos se muestran en la **Figura 27** y **Figura28**, los registros de las tomas de tiempo se encuentran en el apéndice 1 en donde se podrá encontrar la documentación de los estudios completa, tanto del HDR-187158-XX como el HDR-191555-XX.

a) Resumen del Estudio de tiempos por proceso para el HDR-187158-XX

Figura 26 Resumen de tiempos por proceso HDR-187158-XX



Fuente: Elaboración propia.

Para un mejor análisis y visualización, las operaciones se reflejan de forma decreciente de acuerdo con la duración promedio del proceso, también se agregaron los datos en minutos lo que facilita la comprensión de los tiempos requeridos por proceso.

Se puede observar como el tiempo de Humidity chamber tenía una diferencia muy marcada en el sistema, lo que llevaba a errores en la planificación y expectativas del supervisor, además de identificar un cuello de botella ficticio.

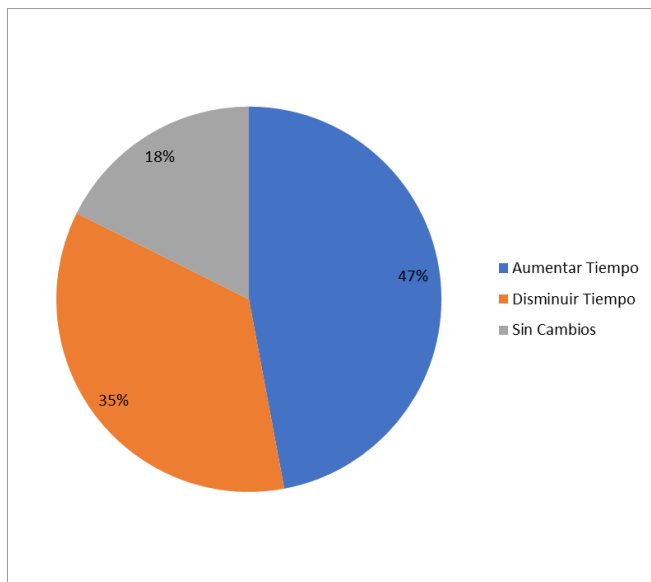
De manera general se puede observar como las operaciones de inspección y Hot bar son las que marcan el ritmo de trabajo, teniendo tiempos de entre 6 y 8 minutos cada una, esto nos permite determinar como optimizar estas operaciones podría reducir drásticamente los tiempos de construcción de la

orden, ya que los procesos de inspección 1 & 2, Hot bar 1 & 2, además de epoxy y Leakage representan un 80% del tiempo total para construir una orden.

Por otro lado, los procesos finales como Housing, empaque, clean & label, bake, e-test 1 & Final, así como rework tan solo representan el 20% del tiempo requerido para la construcción de la orden.

La **Figura28**, muestra el resumen de los datos obtenidos y las acciones que se tomaran con el estudio de tiempo, donde se muestra que el 18 % de las tasas no tendrán ningún cambio, a un 47 % de las tasas se le aumentara tiempo en el sistema y a un 35 % se le disminuirá tiempo del sistema, también se destaca que a nivel general el tiempo de ciclo de un cable decreció un 13%, diferencia obtenida del total del tiempo requerido del sistema versus el total del tiempo requerido obtenido del estudio de tiempos.

Figura27 Acciones a realizar del estudio de tiempos (HDR-187158-XX)



Fuente: Elaboración propia.

Durante el estudio de tiempos se observó que los procesos de “HOT BAR J1 TOPSIDE” & “HOT BAR BOTTOM SIDE J1” no pueden realizarse de manera separada y son realizados en la misma estación, por lo que para efectos del

balance de línea y facilidad a futuro se recomienda a ingeniería unificar ambos procesos y dejar un único proceso llamado “Hot Bar 2”, así también realizar el cambio de nombre del proceso de “HOT BAR J2/J3” como “Hot Bar” 1.

Los datos recopilados del estudio de tiempos del HDR-187158-XX, fueron sometidos a pruebas de hipótesis para verificar su conformidad con una distribución normal. Los resultados de los valores p obtenidos para cada proceso, basados en los tiempos registrados, se presentarán para facilitar la evaluación de si la hipótesis de que los datos no siguen una distribución normal puede ser rechazada, la prueba utilizada fue la de Anderson-Darling.

Tabla 15 Prueba de normalidad HDR-187158-XX

HDR-187158-XX		
Process	valor p	Prueba de normalidad
HOT BAR	0,628	No puede rechazar H0
100%	0,092	No puede rechazar H0
HOT BAR J1	0,105	No puede rechazar H0
HOT BAR	0,105	No puede rechazar H0
100%	0,559	No puede rechazar H0
100%	0,979	No puede rechazar H0
LEAKAGE	0,508	No puede rechazar H0
ADD EPOXY	0,118	No puede rechazar H0
ADD	0,851	No puede rechazar H0
100% FINAL	0,700	No puede rechazar H0
CLEAN &	0,531	No puede rechazar H0
PACKAGE	0,878	No puede rechazar H0

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla actualizada se envía al departamento de ingeniería industrial para la actualización de los tiempos en el sistema, así como la solicitud de la agrupación de procesos y cambio de nombre en el sistema.

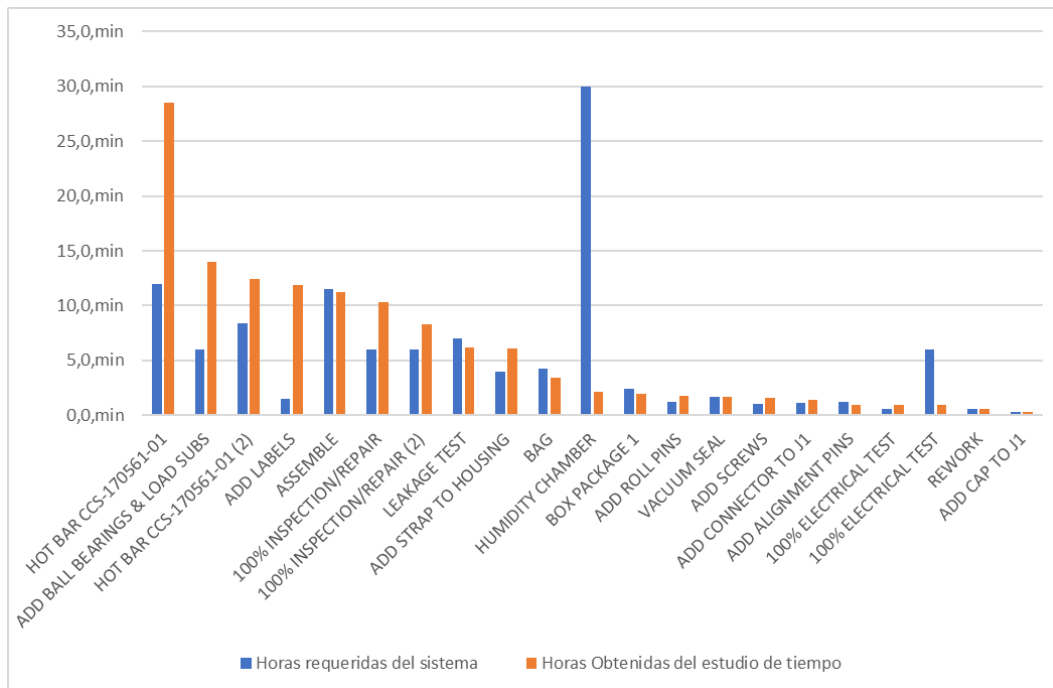
Tabla 16 Routings actualizados del HDR-187158-XX

Process	Required Hours
CUT CABLE TO LENGTH	0,005
CABLE PREP CCS-173725-01	0,25
HOT BAR J2/J3 → HB1	0,115093704
100% INSPECTION/REPAIR	0,089945333
HOT BAR J1 TOPSIDE	HB2
HOT BAR BOTTOM SIDE J1	
100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,123289583
100% ELECTRICAL TEST	0,017859819
REWORK	0,01
ADD EPOXY	0,085365735
BAKE	0,02875
HUMIDITY CHAMBER	0,01725
LEAKAGE TEST	0,051691329
ADD HOUSING J2/J3	0,034508625
100% FINAL E-TEST/STAMP	0,01468509
CLEAN & LABEL	0,030350204
PACKAGE	0,032858162

Fuente: Elaboración propia

b) Resumen del Estudio de tiempos por proceso para el HDR-191555-XX

Figura 28 Resumen del Estudio de Tiempos (HDR-191555-XX)



Fuente: Elaboración propia

Como se observa, nuevamente el proceso de Humidity chamber tiene una diferencia muy marcada en el sistema, lo que lleva a errores en la planificación y expectativas del supervisor, esto al identificarse un cuello de botella ficticio.

La principal diferencia entre el HDR-191555-XX y el HDR-187158-XX radica en su proceso de ensamblaje. Mientras que el HDR-187158-XX se compone de un solo ensamble, el HDR-191555-XX consta de cuatro ensambles que se combinan en la etapa final del proceso. Como resultado, los procesos de hot bar y de inspección son muy similares, con la única variación en la cantidad de ensambles necesarios para alcanzar una producción completa por hora.

También, se observa que, de los 21 procesos, únicamente 8 procesos representan el 80% del tiempo invertido en la construcción de un ensamble. Esto resalta la importancia de invertir en mejoras en estos procesos, lo que podría llevar a una drástica reducción en el tiempo de ciclo. Entre los procesos destacados se encuentran "HOT BAR CCS-170561-01," "HOT BAR CCS-170561-01 (2)," "ADD BALL BEARINGS & LOAD SUBS," además de los procesos de Inspección y Leakage.".

Tabla 17 Orden de procesos por acumulación HDR-191555-XX

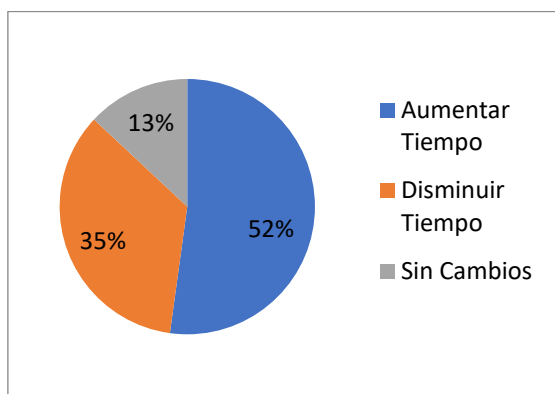
Proceso	Horas Obtenidas del estudio de tiempo	PPH-S Hours	% acumulado
HOT BAR CCS-170561-01	28,min	23%	23%
ADD BALL BEARINGS & LOAD S	14,min	11%	34%
HOT BAR CCS-170561-01 (2)	13,min	10%	44%
ADD LABELS	12,min	10%	53%
ASSEMBLE	11,min	9%	62%
100% INSPECTION/REPAIR	10,min	8%	70%
100% INSPECTION/REPAIR (2)	7,min	6%	76%
LEAKAGE TEST	6,min	5%	81%
ADD STRAP TO HOUSING	6,min	5%	86%
BAG	4,min	3%	89%
HUMIDITY CHAMBER	2,min	2%	90%
BOX PACKAGE 1	2,min	2%	92%
ADD ROLL PINS	2,min	1%	93%
VACUUM SEAL	2,min	1%	95%
ADD SCREWS	2,min	1%	96%
ADD CONNECTOR TO J1	1,min	1%	97%
ADD ALIGNMENT PINS	1,min	1%	98%
100% ELECTRICAL TEST	1,min	1%	99%
100% ELECTRICAL TEST	1,min	1%	99%
REWORK	1,min	0%	100%
ADD CAP TO J1	0,min	0%	100%

80%

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en el Gráfico 4 se presenta un resumen de las acciones a tomar, fundamentado en los resultados obtenidos. En dicho gráfico se evidencia que el 52% de los procesos experimentarán un aumento en el tiempo actual del sistema, mientras que el 35% registrarán una disminución en dicho tiempo, y un 13% no mostrará ningún cambio significativo.

En el proceso de 'REWORK', no se registraron tiempos debido a la escasa necesidad de retrabajos. La mayoría de los retrabajos se detectaron durante la inspección en la misma operación, y rara vez se requirieron acciones correctivas después de la prueba electrónica (e-test), lo que hizo que la recopilación de 30 muestras para el proceso de 'REWORK' resultara poco práctica.

Figura29 Acciones a realizar del estudio de tiempos (HDR-191555-XX)

Fuente: Elaboración propia

Los datos recopilados del estudio de tiempos del HDR-191555-XX, fueron sometidos a pruebas de hipótesis para verificar su conformidad con una distribución normal. Los resultados de los valores p obtenidos para cada proceso, basados en los tiempos registrados, se presentarán para facilitar la evaluación de si la hipótesis de que los datos no siguen una distribución normal puede ser rechazada, la prueba utilizada fue la de Anderson-Darling.

Tabla 18 Prueba de normalidad HDR-191555-XX

HDR-191555-XX		
Proceso	valor p	Prueba de normalidad
HOT BAR CCS-170561-01	0,628	No puede rechazar H0
100% INSPECTION/REPAIR	0,73	No puede rechazar H0
HOT BAR CCS-170561-01 (2)	0,631	No puede rechazar H0
100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,888	No puede rechazar H0
100% ELECTRICAL TEST ASSEMBLE	0,648	No puede rechazar H0
ASSEMBLE	0,49	No puede rechazar H0
ADD BALL BEARINGS & LOAD SUBS	0,417	No puede rechazar H0
ADD ROLL PINS	0,171	No puede rechazar H0
ADD CONNECTOR TO J1	0,196	No puede rechazar H0
ADD ALIGNMENT PINS	0,781	No puede rechazar H0
ADD SCREWS	0,121	No puede rechazar H0
100% ELECTRICAL TEST	0,308	No puede rechazar H0
ADD LABELS	0,929	No puede rechazar H0
ADD STRAP TO HOUSING	0,508	No puede rechazar H0
BAG	0,916	No puede rechazar H0
VACUUM SEAL	0,536	No puede rechazar H0
BOX PACKAGE 1	0,767	No puede rechazar H0

Fuente: Elaboración propia.

La tabla actualizada (**Tabla 19**) se ha remitido al departamento de ingeniería industrial con el propósito de actualizar los tiempos en el sistema.

Tabla 19 *Routings actualizados del HDR-191555-XX*

Process	Required Hours
CUT CABLE TO LENGTH	0,111
CABLE PREP CCS-170561-01-TB	0,588
HOT BAR CCS-170561-01	0,475
100% INSPECTION/REPAIR	0,171605556
HOT BAR CCS-170561-01 (2)	0,207
100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,138319444
100% ELECTRICAL TEST	0,016
REWORK	0,01
HUMIDITY CHAMBER	0,036
LEAKAGE TEST	0,1035
ASSEMBLE	0,187
ADD BALL BEARINGS & LOAD SUBS	0,233843981
ADD ROLL PINS	0,029
ADD CONNECTOR TO J1	0,023787963
ADD ALIGNMENT PINS	0,016
ADD SCREWS	0,026684259
100% ELECTRICAL TEST	0,016
ADD CAP TO J1	0,00575
ADD LABELS	0,199
ADD STRAP TO HOUSING	0,102009259
BAG	0,057
VACUUM SEAL	0,028734241
BOX PACKAGE 1	0,032

Fuente: Elaboración propia.

5.3 PROPUESTA 2: DISEÑO DE HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN.

La siguiente propuesta tiene como objetivo la creación de una herramienta que permita optimizar los procesos de producción específicamente de la línea de Nextest, esta se basa en los principios fundamentales del tiempo estándar ajustado, cálculo del Tack time y la creación de un balance de línea.

El análisis de las causas identifico que la actualización de los rates del sistema era fundamental para ayudar a identificar cuellos de botella en la línea, pero también afectaría directamente con el cálculo que actualmente realizan los sistemas de la compañía para calcular las fechas de entrega de una orden al momento de que estas ingresan a el sistema.

Como se menciona en la propuesta anterior la reducción a nivel de sistema del tiempo de ciclo de una orden en un 13% implicaría que las ordenes se cargarían con un 13% menos del tiempo disponible, es por esto por lo que se debe complementar el estudio de tiempos con una herramienta de balanceo de cargas de trabajo y cálculos de los tiempos estándar ajustados y tack time, para asegurar el menor tiempo de ciclo.

5.3.1 Tiempo estándar Ajustado.

Los routings presentan una ruta de tiempos asignados por estación de trabajo, pero esto solo reflejan el tiempo del proceso sin considerar las variables a las que se expone un proceso de ensamblaje, como paros de máquinas, equipos compartidos, tiempo máximo de producción, scrap en la línea entre otros, por esta razón la búsqueda en la búsqueda de tener un tiempo más real se recurre a un tiempo estándar ajustado, el cual buscara tomar en cuenta las variables a las que se expone el proceso.

Tabla 20 *Glosario de Variables y Descripciones.*

Abreviación	Nombre	Descripción	Formula o Método para calcularlo
Est.	Estación	Es disponibilidad de áreas para llevar a cabo las operaciones, las cuales puede variar según el caso, especialmente en situaciones donde se comparten espacios entre estaciones, como es el caso de inspección y retrabajo. En tales situaciones, es necesario dividir el espacio en partes iguales, asignando un 50% a cada una de estas operaciones para garantizar una distribución equitativa.	Valor es asignado de acuerdo a experiencia del encargado
Rec. Reales	Recursos Reales	Para los propósitos de la Herramienta, se hace referencia a las horas reales de operación que puede tener una estación o equipo. En el caso de las estaciones de tipo HB, es importante tener en cuenta que pueden estar operativas las 24 horas del día.	Total de horas que se considera podría estar operativo el recurso (ejm: 24 horas o 21,5 horas).
Rec. STD	Recursos Estándar:	Para los propósitos de la Herramienta, se hace referencia a las horas estándar de funcionamiento que puede tener una estación o equipo. En el caso del área en cuestión, el tiempo estándar asignado por la gerencia se establece en 21,5 horas. Esto se desglosa en 7,25 horas de producción de Turno 1, 7,25 horas de producción de Turno 3 y 7 horas de producción estándar en el turno 2	Total de horas que se considera el tiempo estandar del area (21,5 horas)
T disp	Tiempo Disponible:	El tiempo total disponible para realizar una tarea o proceso, generalmente expresado en horas o minutos.	Tiempo real * Estacion
Eficiencia	Eficiencia:	La relación entre el rendimiento real y el rendimiento esperado o estándar se expresa comúnmente en forma de porcentaje.	$1 - ((\text{Rec. Reales} - \text{Rec. STD}) / \text{REC Reales})$
Utilización	Utilización:	La cantidad de tiempo que se utilizan los recursos reales en comparación con el tiempo disponible.	$(\text{Rec. STD} / \text{T disp})$
T STD	Tiempo STD (Estándar):	El tiempo esperado o estándar para completar una tarea o proceso bajo condiciones ideales.	$(\text{Required Hours} * \text{Utilizacion} / (2 - \text{Eficiencia}))$
% Scrap	% Scrap (Porcentaje de Rechazo)	La proporción de productos defectuosos o desechados en relación con la producción total.	Obtenido del Historial de la línea
Yield %	Yield % (Porcentaje de Rendimiento)	La proporción de productos buenos o aceptables en relación con la producción total.	$(1 - \% \text{ Scrap})$
Yi	Yi (Yield Inicial):	El rendimiento inicial de un proceso antes de cualquier ajuste.	$Yi = (\text{Unidades Producidas sin defectos} / \text{Unidades Totales Producidas}) * 100$
STD ajustad	Tiempo Estándar Ajustado:	El tiempo estándar modificado para reflejar las condiciones y variables reales del proceso.	$\text{T STD} * (1 / Yi)$

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 20 se utiliza como guía para la identificación de las variables necesarias y los métodos o fórmulas utilizados en el cálculo del tiempo estándar ajustado. Es importante destacar que ciertas variables, a saber, "estación", "recursos reales", "recursos estándar" y "porcentaje de scrap", dependen de la experiencia y los datos actualmente gestionados por el supervisor del área.

Se solicitó la colaboración del supervisor para proporcionar los datos relacionados con cada una de las variables mencionadas. Las respuestas proporcionadas por el supervisor se detallan en la Tabla 21 para su referencia.

Tabla 21 Asignación de datos a las variables⁵

Operation	Process	#Estaciones	Rec. Reales	Rec. STD	% Scrap
1000	CUT CABLE TO LENGTH	1	21,5	21,5	0
3416	CABLE PREP CCS-173725-01	1	21,5	21,5	0
5832	HOT BAR 1	1	24	21,5	0,03
8248	100% INSPECTION/REPAIR	1	21,5	21,5	0,08
10664	HOT BAR 2	1	24	21,5	0,02
15496	100% INSPECTION/REPAIR (2)	1	21,5	21,5	0,05
17912	100% ELECTRICAL TEST	0,5	24	21,5	0
20328	REWORK	1	21,5	21,5	0,02
22744	ADD EPOXY	1	24	21,5	0
25160	BAKE	1	24	21,5	0
27576	HUMIDITY CHAMBER	1	24	21,5	0
99999	LEAKAGE TEST	1	24	21,5	0,04
1000	ADD HOUSING J2/J3	1	21,5	21,5	0
5833	100% FINAL E-TEST/STAMP	0,5	24	21,5	0,02
8250	CLEAN & LABEL	1	21,5	21,5	0
10666	PACKAGE	1	21,5	21,5	0

Fuente: Elaboración propia.

Dado que los procesos de E-test 1 y E-test Final comparten la misma estación de trabajo, provoca que la estación deba ser dividida en 2 lo que resulta en una asignación de valor de 0.5 para cada uno de ellos.

Las Maquinas como HB tienen un recurso real de 24 horas ya que son maquinas que podría permanecer operativas las 24 horas de forma continua, pero cuenta

⁵ Importante notar que se actualizo el nombre de HOT BAR J2/J3 a "HB 1" y se unifico el proceso de HOT BAR J1 TOPSIDE & HOT BAR BOTTOM SIDE J1 en "HB 2"

con la restricción del factor humano para su operación por lo que se limita en recurso estándar a 21.4 hrs.

El porcentaje de scrap se obtuvo del histórico del sistema, información que compartió el supervisor para efectos de la asignación en las variables.

A partir de los datos recopilados, se desarrollará la herramienta en Excel. Esto proporcionará al supervisor la capacidad de analizar de manera efectiva cómo se ven afectados los tiempos del sistema al incorporar las variables mencionadas.

La Tabla 22, muestra los datos obtenidos por medio de la herramienta de Tiempos estándares Ajustados, los cuales serán de suma importancia para la continuación del proyecto, ya que permitirán elaborar diferentes escenarios de producción.

Tabla 22 Herramienta de Tiempos Estándar Ajustados

Part Number	HDR-187158-XX												
OperationProcess	Required Hours	#Estaciones	Rec. Reales	Rec. STD	T disp	Eficiencia	Utilizacion	T STD	% Scrap	Yield %	Yi	T STD ajustado	
1000 CUT CABLE TO LENGTH	0,005		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,005	0%	100%	0,75811	0,00659535
3416 CABLE PREP CCS-173725-01	0,25		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,25	0%	100%	0,75811	0,329767524
5832 HOT BAR J2/J3	0,195945946		1	24	21,5	24	90%	90%	0,158975	8%	92%	0,75811	0,209699185
8248 100% INSPECTION/REPAIR	0,136190185		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,13619	4%	96%	0,824032	0,165272848
10664 HOT BAR J1 TOPSIDE	0,207142857		1	24	21,5	24	90%	90%	0,168059	2%	98%	0,858367	0,195789539
15496 100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,111428333		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,111428	5%	95%	0,875885	0,127218024
17912 100% ELECTRICAL TEST	0,0109		0,5	24	21,5	12	90%	179%	0,017687	0%	100%	0,921984	0,019183405
20328 REWORK	0,01		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,01	2%	98%	0,921984	0,010846175
22744 ADD EPOXY	0,0668		1	24	21,5	24	90%	90%	0,054196	0%	100%	0,9408	0,057606533
25160 BAKE	0,013889		1	24	21,5	24	90%	90%	0,011268	0%	100%	0,9408	0,011977502
27576 HUMIDITY CHAMBER	0,017		1	24	21,5	24	90%	90%	0,013792	0%	100%	0,9408	0,014660345
99999 LEAKAGE TEST	0,038462		1	24	21,5	24	90%	90%	0,031205	4%	96%	0,9408	0,0331686
1000 ADD HOUSING J2/J3	0,05		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,05	0%	100%	0,98	0,051020408
5833 100% FINAL E-TEST/STAMP	0,0136		0,5	24	21,5	12	90%	179%	0,022068	2%	98%	0,98	0,02251829
8250 CLEAN & LABEL	0,043478		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,043478	0%	100%	1	0,043478
10666 PACKAGE	0,04		1	21,5	21,5	21,5	100%	100%	0,04	0%	100%	1	0,04

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Cálculo de Takt Time

Una vez que hemos determinado el tiempo estándar ajustado, avanzar en la creación de los escenarios, conocidos como "what if", se vuelve considerablemente más sencillo. Estos escenarios se fundamentan en el tiempo estándar ajustado calculado en la fase previa y el Takt time. El tiempo estándar ajustado proporciona una base sólida para evaluar diversas situaciones hipotéticas y tomar decisiones informadas, ya que establece un marco de referencia crucial para la planificación y la optimización de la producción.

1. **What if: Maximum Capacity:** En este escenario, se considera el ritmo de trabajo al cual la línea puede funcionar, tomando como referencia la operación más lenta. Este enfoque se basa en la suposición de que el rendimiento del resto de las estaciones se ajustaría para trabajar al ritmo más lento. En otras palabras, representa la máxima capacidad de producción de la línea.
2. **What if: Planned Capacity by Output:** En este escenario, se emplea el TT (Takt Time), que es el ritmo de trabajo determinado por la demanda del cliente. Este enfoque es ideal para identificar las necesidades de la línea de producción y determinar lo que se requiere para cumplir con las expectativas del cliente. Se utiliza para evaluar si los recursos actuales son suficientes para satisfacer la demanda del cliente o si se necesitan ajustes, como la contratación de más operarios. Este escenario proporciona una visión clara de la relación entre la demanda del cliente, la cantidad de operarios necesarios y el TT planificado, lo que facilita la toma de decisiones en la gestión de la producción.

3. **What if: Planned Capacity by People:** En este escenario, se centra en la capacidad actual de la línea de producción y se basa en el número de personas actualmente disponibles. En este enfoque, se ajusta el TT (Takt Time) para que sea compatible con la cantidad de personal disponible en la actualidad. El objetivo es determinar si la línea puede operar de manera eficiente y cumplir con las demandas utilizando la mano de obra existente. Esto implica la optimización de la producción mediante la alineación de los recursos humanos disponibles con el ritmo de trabajo necesario para satisfacer las necesidades del proceso de producción.

Para llevar a cabo cada uno de los escenarios se utilizará la tabla elaborada para el tiempo estándar ajustado, en la que se agregaran 3 columnas con los nombres “T STD / TT MAX”, “T STD / TT OUT” y “T STD / TT PEOPLE”, en las que en cada una se calcularon los pesos de las estaciones basado en el respectivo TT, las fórmulas usadas se encontraran en el Apéndice 3, junto con la información necesaria para la creación de la tabla.

Tabla 23 *Detalle de fórmulas*

Nombre	Formula
TT Max	T STD ajustado/TT producción
TT OUT	T STD ajustado/ TT Plan
TT People	T STD ajustado/ TT

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Cálculo de Takt Time para el HDR-187158-XX

Operator Process	Required Hours	T STD ajustado	T STD / TT MAX	T STD / TT OUT	T STD / TT PEOPLE
1000 CUT CABLE TO LENGTH	0,005	0,00659535	0,02	0,036388141	0,029978866
3416 CABLE PREP CCS-173725-01	0,25	0,329767524	1	1,819407027	1,498943289
5832 HOT BAR J2/J3	0,195945946	0,209699185	1	1,156961021	0,953178114
8248 100% INSPECTION/REPAIR	0,136190185	0,165272848	0,78814254	0,911850198	0,75124022
10664 HOT BAR J1 TOPSIDE	0,207142857	0,195789539	0,933668571	1,080218144	0,889952448
15496 100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,111428333	0,127218024	0,606669138	0,701892545	0,578263745
17912 100% ELECTRICAL TEST	0,0109	0,019183405	0,091480589	0,105839476	0,087197295
20328 REWORK	0,01	0,010846175	0,051722543	0,059840967	0,049300796
22744 ADD EPOXY	0,0668	0,057606533	0,274710334	0,317829149	0,261847878
25160 BAKE	0,013889	0,011977502	0,057117542	0,06608277	0,054443191
27576 HUMIDITY CHAMBER	0,017	0,014660345	0,069911313	0,080884664	0,066637933
99999 LEAKAGE TEST	0,038462	0,0331686	0,158172288	0,182999172	0,150766364
1000 ADD HOUSING J2/J3	0,05	0,051020408	0,243302844	0,281491907	0,231910946
5833 100% FINAL E-TEST/STAMP	0,0136	0,02251829	0,107383776	0,124238843	0,102355865
8250 CLEAN & LABEL	0,043478	0,043478	0,207335093	0,239878621	0,197627273
10666 PACKAGE	0,04	0,04	0,19074943	0,220689655	0,181818182

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la Tabla 25 con el resumen, donde se pueden observar los 3 escenarios y los datos relevantes para la toma de decisiones obtenidos las columnas actualizadas, la elaboración de esta herramienta permitirá al supervisor de producción realizar cálculos y pronosticar de manera más acertada el envío de las órdenes, así como tomar acciones necesarias para lograrlo.

Las anotaciones marcadas en azul podrán ser manipuladas para generar cambios en los datos, también se aclara que los procesos de Cut cable y Cable prep no son considerados relevantes en la construcción de estos escenarios al ser procesados por un método distinto al línea y trabajos como STOCK de material.

Para el HDR-191555-XX también se llevó a cabo la creación de la herramienta, las fórmulas y creación de esta pueden ser consultadas en el apéndice 4.

Tabla 25 Resumen de escenarios

All calculations leave Cable Preparation out because of the OMM			
What if: Maximum Capacity			
# Shifts	3	<i>Enter the # of shifts running</i>	
TT production	0,209699185		
PPH	4		
	100%	90%	80%
Output per Shift	34,57333417	31,11600075	27,65866734
Output per Day	103,7200025	93,34800226	82,97600201
Output per Week	518,6000125	466,7400113	414,88001
People Required	5		
What if: Planned Capacity by Output			
Output Required per Week	600	<i>Enter the Output required</i>	
# Shifts	3	<i>Enter the # of shifts running</i>	
TT plan	0,18125		
PPH	5,517241379		
	100%	90%	80%
Output per Shift	40	36	32
Output per Day	120	108	96
Output per Week	600	540	480
People Required	6		
What if: Planned Capacity by People			
People Available	1		
# Shifts	3	<i>Enter the # of shifts running</i>	
TT	22	<i>Change Takt Time until reaching the # of oper</i>	
PPH	0		
	100%	90%	80%
Output per Shift	0,329545455	0,296590909	0,263636364
Output per Day	0,988636364	0,889772727	0,790909091
Output per Week	4,943181818	4,448863636	3,954545455

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Creación del balance de línea.

El balanceo de línea es una estrategia ampliamente utilizada con el propósito de maximizar la eficiencia productiva y reducir la acumulación innecesaria de material en la línea de producción.

Como mencionamos previamente, la falta de equilibrio en el desempeño de los operarios resultaba en estaciones de trabajo con un exceso de material en espera de procesamiento. Este desequilibrio a su vez ocasionaba la paralización de las

máquinas del proceso anterior, ya que era necesario reducir la acumulación de material o procesarlo de manera eficiente.

Esta interrupción en el flujo constante de material podía dar lugar a la aparición de defectos que no se advertían en la línea de producción hasta mucho tiempo después, lo que a su vez resultaba en el desperdicio de material.

Diagrama de Precedencia

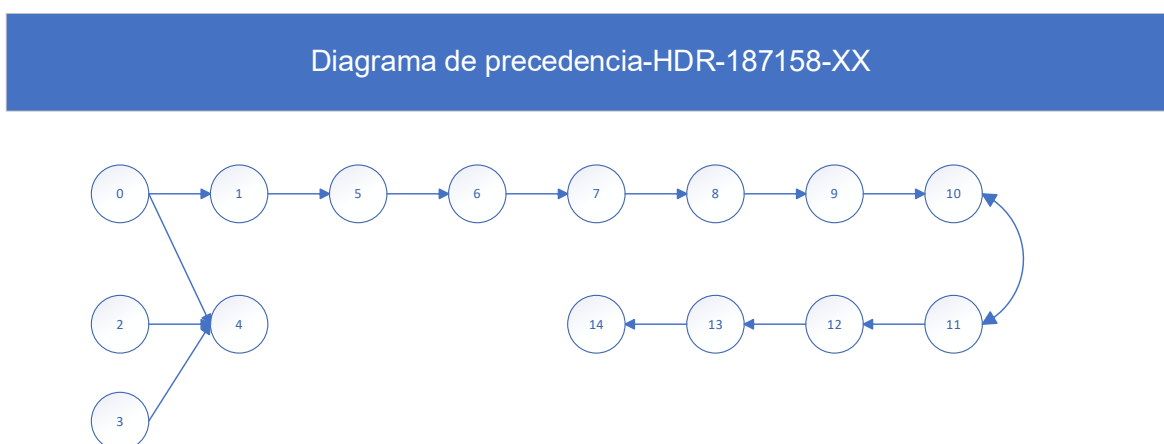
Se realizó un diagrama de precedencia de las operaciones, donde cada operación fue asociada a un código de operación, la Tabla 26 muestra cada una los códigos usados.

Tabla 26 Código de operación

código de operación	Proceso
0	HOT BAR J2/J3
1	100% INSPECTION/REPAIR
2	HOT BAR J1 TOPSIDE
3	HOT BAR BOTTOM SIDE J1
4	100% INSPECTION/REPAIR (2)
5	100% ELECTRICAL TEST
6	REWORK
7	ADD EPOXY
8	BAKE
9	HUMIDITY CHAMBER
10	LEAKAGE TEST
11	ADD HOUSING J2/J3
12	100% FINAL E-TEST/STAMP
13	CLEAN & LABEL
14	PACKAGE

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30 Diagrama de Precedencia-HDR-187158-XX



Fuente: Elaboración propia.

Matriz de precedencia

En el diagrama de precedencia establece las relaciones entre las unidades de trabajo, indicando el orden en que deben completarse. Pero se utiliza la Matriz de precedencia o relaciones para describir estas dependencias, donde el número 1 significa que una unidad "debe preceder" a otra. Además, se calcula una ponderación posicional para cada unidad de trabajo, que es la suma de la unidad de trabajo en cuestión y todas las unidades que le siguen en el orden. Esto proporciona una estructura para la planificación y ejecución de las tareas

Figura 31 Matriz de precedencia o relaciones

Matriz de Precedencia

Tiempo estimado por Unidad de trabajo(hrs)	Unidad de trabajo	Unidad de trabajo														Ponderación Posicional	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14
0,221	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,036217535
0,152	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,587719382
0,115	2		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,814806942
0,112	3		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,700116255
0,120	4						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,435500063
0,012	5							1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,31588889
0,011	6								1	1	1	1	1	1	1	1	0,304060088
0,071	7									1	1	1	1	1	1	1	0,293325729
0,015	8										1	1	1	1	1	1	0,222283464
0,018	9											1	1	1	1	1	0,207512416
0,041	10												1	1	1	1	0,189432797
0,051	11													1	1	1	0,148528192
0,014	12														1	1	0,097507784
0,043	13															1	0,083478
0,040	14																0,04
1,036217535																	

Fuente: Elaboración propia

Lista de ponderaciones posicionales

Se organizan las ponderaciones posicionales en una secuencia descendente de magnitudes.

Tabla 27 Ponderaciones posicionales

Lista de ponderaciones posicionales				
Elementos de trabajo sin ordenar	Elementos de trabajo ordenados	Ponderación posicional	Predecesores inmediatos	
0	0	0,954836322		
1	2	0,758890376		0
2	3	0,655318947		2
3	1	0,551747519		3
4	4	0,415557333		1
5	5	0,304129		4
6	6	0,293229		5
7	7	0,283229		6
8	8	0,216429		7
9	9	0,20254		8
10	10	0,18554		9
11	11	0,147078		10
12	12	0,097078		11
13	13	0,083478		12
14	14	0,04		13

Fuente: Elaboración Propia

Balaceo de la línea

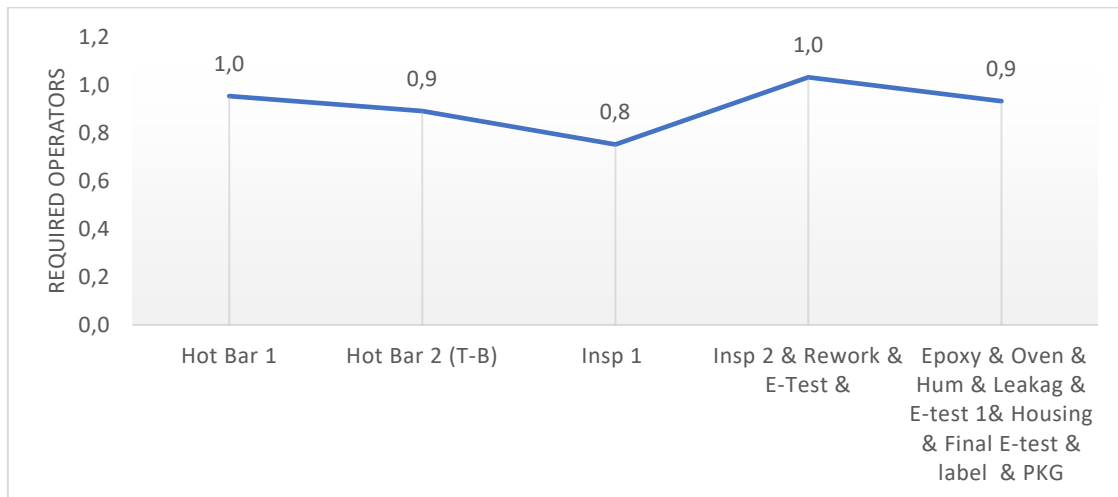
Una vez obtenidos los datos anteriores se procede a establecer las agrupaciones de cada una de las estaciones, permitiendo asignar tareas que respetan las restricciones de la línea, esto se puede ver en la Tabla 28.

Este proceso de asignación de tareas a estaciones se basa en ponderaciones posicionales, asignando primero las tareas con ponderaciones más bajas. Comienza asignando la tarea de mayor ponderación a la primera estación y ajusta el tiempo no asignado según el tiempo del ciclo del sistema. Si queda tiempo no asignado y las tareas anteriores ya se asignaron, se asignan tareas con ponderaciones más altas. Una vez que una estación completa su tiempo asignado, se pasa a la siguiente.

Como se observa en el siguiente balance se asignaron tareas de manera más balanceadas a las operaciones, lo que permitirá que los asociados trabajen en su máxima capacidad, evitando tiempos muertos o acumulaciones de material.

además, el balance de línea se adaptará a la herramienta anteriormente propuesta, permitiendo manipular las variables por el supervisor en vista de los diferentes escenarios, con este balance la línea es un 30% más eficiente.

Figura32 Balance HDR-187158-XX



Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 28 Balanceo de línea-HDR-187158-XX

Balance de línea								
Estación	Proceso	Elemento	Ponderación posicional	META-TT	0,22	Tiempo de estación		
				Predecesores inmediatos	Tiempo de un elemento de trabajo	Acumulado	No Asignado	Comentarios
1	HOT BAR J2/J3	0	0,954836322	-	0,221410593	0,221410593	-0,001410593	
2	HOT BAR J1 TOPSIDE	2	0,758890376	2	0,114690687	0,114690687	0,105309313	
2	HOT BAR BOTTOM SIDE J1	3	0,655318947	3	0,112396873	0,227087561	-0,007087561	
3	100% INSPECTION/REPAIR	1	0,551747519	0	0,152219319	0,152219319	0,067780681	
4	100% INSPECTION/REPAIR (2)	4	0,415557333	5	0,119611173	0,119611173	0,100388827	
4	100% ELECTRICAL TEST	5	0,304129	1	0,011828802	0,131439975	0,088560025	
4	REWORK	6	0,293229	4	0,010734359	0,142174334	0,077825666	
4	ADD EPOXY	7	0,283229	6	0,071042265	0,213216599	0,006783401	
4	BAKE	8	0,216429	7	0,014771048	0,227987648	-0,007987648	
5	HUMIDITY CHAMBER	9	0,20254	8	0,018079618	0,018079618	0,201920382	
5	LEAKAGE TEST	10	0,18554	9	0,040904605	0,058984223	0,161015777	
5	ADD HOUSING J2/J3	11	0,147078	10	0,051020408	0,110004632	0,109995368	
5	100% FINAL E-TEST/STAMP	12	0,097078	11	0,014029784	0,124034416	0,095965584	
5	CLEAN & LABEL	13	0,083478	12	0,043478	0,167512416	0,052487584	
5	PACKAGE	14	0,04	13	0,04	0,207512416	0,012487584	

Estación	Acumulado
1	0,221410593
2	0,227087561
3	0,152219319
4	0,227987648
5	0,207512416
Eficiencia	91%

Fuente: Elaboración propia

5.4 PROPUESTA 3: IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN DE ALINEAMIENTO.

En el análisis de tiempos realizado, se evidencia que el proceso de Hot Bar se presenta como un cuello de botella general en la operación. Por esta razón, se plantea una iniciativa orientada a optimizar y mejorar la eficiencia de las máquinas, las cuales se encuentran subutilizadas en la actualidad.

La propuesta busca atenuar este problema mediante la incorporación de una estación de alineamiento. Esta operación se llevaría a cabo mientras las máquinas están trabajando, por lo que tiene el potencial de tener un impacto significativo en el aumento de la producción en el proceso de Hot Bar.

Diagrama Hombre-maquina

Para respaldar la implementación de esta mejora, se llevó a cabo un análisis utilizando un diagrama Hombre-Máquina centrado en la operación HB1 del producto HDR-187158-XX, incluyendo un estudio de tiempo. Es importante destacar que los datos corresponden al tiempo estándar, considerando los ajustes necesarios.

Nuestro análisis reveló que, en el ciclo de operación, el operario utiliza solo el 38% del tiempo disponible, en contraste con el 62% de tiempo de la máquina que permanece en espera. Esto indica que hay margen para mejorar la eficiencia en la utilización de las máquinas.

Se realizó la toma con la estación de alineación y se obtuvieron resultados muy positivos.

- Los tiempos de utilización del operador pasaron de un 38% a un 58%.
- Los tiempos de utilización de la maquina pasaron de un 62% a un 87%.

- La producción del proceso de HB se podría incrementar en aproximadamente un 48%, basado en el nuevo output, se visualiza en la Tabla 29 donde se muestran las PPH⁶ actuales versus la propuesta.

Para obtener el porcentaje de incremento en la productividad se utilizó la fórmula

$$\% \text{ Incremente} = \frac{((\text{Nueva producción por hora}) - (\text{Producción anterior por hora}))}{(\text{Producción anterior por hora})}$$

Tabla 29 *Impacto*

PPH Actual	PPH Propuesta	% DIFF
5,10204082	7,327346017	43,6%

Fuente: Elaboración propia

Requerimientos

Se debe aclarar que para poder llevar a cabo esta implementación será necesaria la adquisición de una estación de alineamiento adicional la cual estaría conformada por:

- Mesa con ruedines (\$462).
- Tooling especial para sostener la cámara (CCD) y nido⁷ de HB (\$350).
- Nidos adicionales de Hot bar adicional (\$300).
- Cámara (CCD) (\$600).

En resumen, para la implementación se requieren aproximadamente \$1712, sin embargo, la misma puede ser considerada debido al impacto que tendría en producción.

⁶ La producción se mide en términos de PPH (Pieces Per Hour), que significa la cantidad de piezas producidas por hora.

⁷ Tooling utilizado para colocar los cables y tarjetas que serán procesados en la máquina.

Figura 33 Diagrama Hombre-Máquina-HDR-187158-XX-Actual

Diagrama del proceso del Trabajador y de la Maquina
 Proceso de Hot bar 1 (J2 & J3)
Numero de parte HDR-187158-XX **Diagrama numero** 1
Metodo actual Se trabaja con una Hot Bar y un operador **Diagrama del metodo** Actual
Comienzo del diagrama Alineamiento de conductores 1 **Diagramado por** Anthony R.
Termino del diagrama Desmontaje 2 **Fecha** 09/08/2023
Descripción de la operación: Este proceso implica soldar cables en una máquina de hot bar después de que un operador los haya alineado previamente.
Hoja 1 De 1

Tiempo (Seg)	Operario		Maquina 1		Maquina 2		Maquina 3		Maquina 4	
	Carga	Actividad	Carga	A. ctividad	Carga	A. ctividad	Carga	A. ctividad	Carga	A. ctividad
25,2										
50,4	101,9	Alineamiento de conductores 1	101,92	Inactividad						
75,6										
100,8										
126										
151,2										
176,4										
201,6										
226,8	218,7	Inactividad	218,7	Operación maquina 1						
252										
277,2										
302,4										
327,6										
352,8	32,18	Desmontaje								
378										
403,2	101,9	Alineamiento de conductores 2	134,1	Inactividad						
428,4										
453,6										
478,8										
504										
529,2										
554,4										
579,6	218,7	Inactividad	218,7	Operación maquina 2						
604,8										
630										
655,2										
680,4										
705,6	32,18	Desmontaje 2	32,184	Inactividad						

Resumen y Análisis de la información

Tipo	Tiempo de ciclo (Seg)	Tiempo de acción (Seg)	Tiempo de inactividad (Seg)	% de Utilización
Op 1	705,6	268,2	437,4	38%
M1	705,6	437,4	268,2	62%
M2				
M3				
M4				

Fuente: Elaboración propia

Figura 34 Diagrama Hombre-Máquina-HDR-187158-XX-Propuesto.

Diagrama del proceso del Trabajador y de la Máquina
 Proceso de Hot bar 1 (J2 & J3)
 Diagrama numero 1
 Propuesto
 Anthony R

Numero de parte HDR-187158-XX
Metodo actual Se trabaja con una Hot Bar y un operador
Comienzo del diagrama Alineamiento de conductores 1
Termino del diagrama Desmontaje 2
Fecha 09/08/2023
Diagrama del metodo Diagramado por
Hoja 1 De 1

Descripcion de la operacion:
 Este proceso implica soldar cables en una máquina de hot bar después de que un operador los haya alineado previamente.

Tiempo seg	Operario		Maquina 1		Maquina 2		Maquina 3		Maquina 4	
	Carga	Actividad	Carga	Actividad	Carga	Actividad	Carga	Actividad	Carga	Actividad
25,2				Inactividad						
50,4	102	Alineamiento de conductores 1	102	Inactividad						
75,6										
100,8										
126										
151,2	102	Alineamiento de conductores 2	219	Operación maquina 1						
176,4										
201,6										
226,8										
252										
277,2	117	Inactividad								
302,4										
327,6										
352,8	32,2	Desmontaje 1 y Monteje	10	Inactividad						
378										
403,2	102	Alineamiento de conductores 3	241	Operación maquina 2						
428,4										
453,6										
478,8										
504										
529,2	117	Inactividad								
554,4										
579,6										
604,8	32,2	Desmontaje 2 y Monteje	10	Inactividad						
630										
655,2										
680,4	102	Alineamiento de conductores 4	241	Operación maquina 2						
705,6										
730,8										
756										
781,2	117	Inactividad								
806,4										
831,6										
856,8	32,2	Desmontaje 3 y Monteje	10	Inactividad						
882										
907,2	102	Alineamiento de conductores 5	241	Operación maquina 2						
932,4										
957,6										
982,8										
1008										
1033,2	117	Inactividad								
1058,4										
1083,6										
1108,8	32,2	Desmontaje 4 y Monteje	10	Inactividad						
			22,2							

Resumen y Análisis de la información

Tipo	Tiempo de ciclo	Tiempo de acción	Tiempo de inactividad	% de Utilización
Op 1	1105,45	638,316	467,136	58%
M 1	1105,45	963,532	141,916	87%
M 2				

Fuente: Elaboración propia

5.5 PROPUESTA 4: ACTUALIZACIÓN DE LA INSTRUCCIÓN DE TRABAJO

La propuesta de la creación de una guía de proceso para Hot bar (HB) no solo es una acción clave en la optimización de las operaciones de montaje de los cables, sino que también impacta la calidad y eficiencia.

La guía no solo establece un marco de referencia que estandariza los procedimientos y asegura la uniformidad en las conexiones de cables, sino que también desempeña un papel fundamental en la incorporación exitosa de la estación de alineamiento como una parte estandarizada de las operaciones. Además, estas guías representan un recurso esencial para el entrenamiento, lo que facilita a los nuevos miembros del equipo la comprensión y ejecución eficaz de los procedimientos una vez que ingresan al área de trabajo.

Figura 35 Guía para el proceso de HB

Pasos del Proceso de HB-Nextest
<p>Paso 1: Preparación del Material</p> <p>1.1. Reunir todos los materiales necesarios, asegurándose de que los cables estén en el lado izquierdo de la estación de trabajo.</p> <p>1.2. Identifica el Lado A como el lado que contiene los componentes y el Lado B como el lado con los gold finger</p>
<p>Paso 2: Aplicación de Flux</p> <p>2.1. Aplica el flux a la superficie de la tarjeta electrónica en ambos lados. Esto se hace solo una vez y debe ser uniforme.</p>
<p>Paso 3: Colocación de Cables en Lado A</p> <p>3.1. Comienza en el Lado A de la tarjeta electrónica.</p> <p>3.2. Toma dos cables y suéldalos en los dos pads correspondientes en el Lado A. Asegúrate de que la conexión sea firme.</p>
<p>Paso 4: Colocación de Cables en Lado B</p> <p>4.1. Gira la tarjeta electrónica para acceder al Lado B.</p> <p>4.2. Toma dos cables y suéldalos en los dos pads correspondientes en el Lado B.</p>
<p>Paso 5: Inspección y Prueba</p> <p>5.1. Inspecciona las conexiones en ambos lados de la tarjeta para asegurarte de que estén firmes y sin defectos.</p> <p>5.2. Realiza pruebas eléctricas, si es necesario, para verificar la funcionalidad de la tarjeta.</p>
<p>Paso 6: Finalización del Proceso</p> <p>6.1. Una vez que se complete la operación, asegurarse de colocar los ensamblajes en el lado derecho de la estación, facilitando el acceso a el mismo por la estación siguiente.</p>

Fuente: Elaboración propia

Figura 36 Guía de utilización de la estación de alineamiento

Documento de ayuda en para la implementación de la estación de alineamiento
<p>Guía para control</p> <p>Utilización de una Estación de Alineamiento Adicional con la Máquina de Hot Bar (HB)</p> <p>La introducción de una estación de alineamiento adicional puede mejorar significativamente la eficiencia del proceso de montaje de cables con la máquina de Hot bar, permitiendo trabajar en la alineación de los cables mientras la HB continúa su tarea. La siguiente es una guía de cómo utilizar la estación de manera efectiva:</p> <p>Puntos Clave:</p> <p>Colocación Estratégica: Posiciona la estación de alineamiento cerca del área de trabajo con la máquina de Hot bar, lo que te permitirá acceder a ambos equipos con facilidad.</p> <p>Preparación de Material: Asegurar que todos los cables y tarjetas electrónicas estén a la mano y listos antes de comenzar. Esto incluye el flux y las herramientas de soldadura.</p> <p>Coordinación de Tareas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Montaje: Inicie la tarea de montaje de cables y alineación en las tarjetas en la máquina de HB; una vez que el proceso esté completo, active la máquina de Hot Bar. • Tareas de la Máquina de Hot Bar (HB): La HB continuará su tarea de soldadura de cables en la tarjeta electrónica. No será necesario intervenir en este proceso a menos que ocurra algún problema. • Tareas en la Estación de Alineamiento: Mientras la HB trabaja en la soldadura de un lado de la tarjeta (por ejemplo, Lado A), utiliza la estación de alineamiento para ir realizando el montaje de un ensamble nuevo, iniciando con otra tarjeta (verificar la correcta disposición de los cables en el otro lado). • Desmontaje y Montaje: Una vez que la máquina de HB haya completado su ciclo, procede a realizar el cambio del plato de la HB. Esto implica retirar el ensamble de cable procesado y colocar el plato ensamblado en la estación de alineamiento. • Ciclo continuo: Mantén un ciclo continuo donde la HB y la estación de alineamiento trabajan de manera sincronizada para garantizar la eficiencia y la producción ininterrumpida. <p>Monitoreo Continuo: Debe mantenerse una supervisión constante de la alineación de los conductores y solicitar ajustes técnicos en caso de ser necesarios.</p> <p>Ventajas de Utilizar la Estación de Alineamiento Adicional:</p> <p>Ahorro de Tiempo: Esta estrategia te permite ahorrar tiempo al realizar tareas de alineamiento simultáneamente, lo que acelera el proceso de montaje.</p> <p>Producción Continua: La HB puede funcionar de manera ininterrumpida, lo que aumenta la eficiencia general del proceso de montaje.</p>

Fuente: Elaboración propia

5.6 RESUMEN DE PROPUESTAS E IMPLEMENTACIÓN

Luego de la elaboración de la herramienta de toma de decisiones, se procede a generar una tabla que resume los diferentes escenarios para cada número de parte. Esta tabla facilita la evaluación de la decisión óptima, así como el análisis de los costos asociados a cada uno de los escenarios.

Es fundamental destacar que los datos presentados se basan en un período de referencia de 6 días de trabajo estándar. Además, es importante señalar que los números relacionados con los costos no representan el costo ni el ahorro precisos, ya que existen diferencias en la estructura de pagos para cada turno de trabajo. No obstante, en términos de evaluar el ahorro potencial en los diversos escenarios, la información proporcionada es altamente relevante.

Dado que la línea de producción es compartida por ambos productos, los resultados se dividen equitativamente en 3 días de producción, tal como se refleja en los resultados de producción correspondientes a cada número de parte.

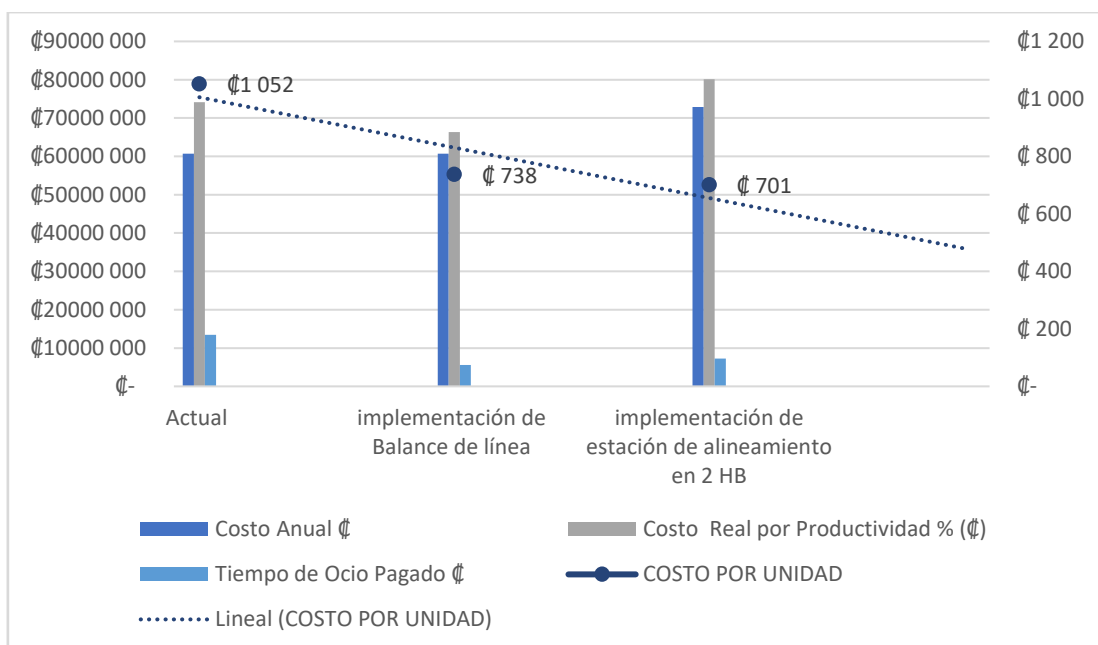
De esta forma, se espera que los primeros 3 días (lunes, martes, miércoles) se enfoque en la construcción del número de parte HDR-187158-XX, mientras que los restantes 3 días (jueves, viernes y sábado) se dediquen a la construcción del número de parte HDR-191555-XX.

5.6.1 HDR-187158-XX

Como se evidencia en la tabla, la introducción del balance de línea resulta en un ahorro anual significativo de ₱7,824,909.76 (Tiempo de Ocio pagado “Actual”- Tiempo de ocio pagado después de la “implementación de Balance de línea”). Esto se logra mediante la reducción de los tiempos de inactividad en la línea de producción, además de una disminución del 29% en el costo por unidad producida.

Por otro lado, la implementación de la estación de alineamiento implica la asignación de un sexto operario, lo que, aunque aumenta el costo anual total, también conlleva una reducción del costo laboral por unidad producida. Esto subraya su mayor productividad y capacidad para cumplir con las metas del cliente.

Figura37 Resumen Costo-Beneficio HDR-187158-XX



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 Resumen Costo-Beneficio HDR-187158-XX

RESUMEN DE COSTO-BENEFICIO HDR-187158-XX														
Escenarios	Productividad Promedio	Output Diario (Unidades)	días hábiles anuales	Operarios	Costo Promedio diario	Nombre	Tiempo Ingresado	Horas esperadas	Idle Time	Costo REAL	Costo Anual ¢	Costo Real por Productividad % (¢)	Tiempo de Ocio Pagado ¢	COSTO POR UNIDAD
Actual	82%	243	290	15	¢ 13 960,00	OP-A.Y.M	7,76	7,25	-0,51	-¢ 897	¢ 60 726 000	¢ 74 146 257	¢ 13 420 257	¢ 1 052
						OP-C.A.A	7,01	7,25	0,24	¢ 412				
						OP-I.C	4,46	7,25	2,79	¢ 4 864				
						OP-J.G	6,35	7,25	0,90	¢ 1 568				
						OP-L.F.T	4,10	7,25	3,15	¢ 5 502				
implementación de Balance de línea	92%	310	290	15	¢ 13 960,00	OP-A.Y.M	6,92	7,25	0,33	¢ 584	¢ 60 726 000	¢ 66 321 347	¢ 5 595 347	¢ 738
						OP-C.A.A	6,60	7,25	0,65	¢ 1 127				
						OP-I.C	5,45	7,25	1,80	¢ 3 147				
						OP-J.G	7,48	7,25	-0,23	-¢ 393				
						OP-L.F.T	6,75	7,25	0,50	¢ 871				
implementación de estación de alineamiento en 2 HB	91%	394	290	18	¢ 13 960,00	OP-A.Y.M	7,25	7,25	0,00	¢ -	¢ 72 871 200	¢ 80 150 942	¢ 7 279 742	¢ 701
						OP-C.A.A	6,77	7,25	0,48	¢ 839				
						OP-I.C	4,10	7,25	3,15	¢ 5 493				
						OP-J.G	8,40	7,25	-1,15	-¢ 2 007				
						OP-L.F.T	6,51	7,25	0,74	¢ 1 284				
						OP-M.S.S	6,51	7,25	0,74	¢ 1 284				

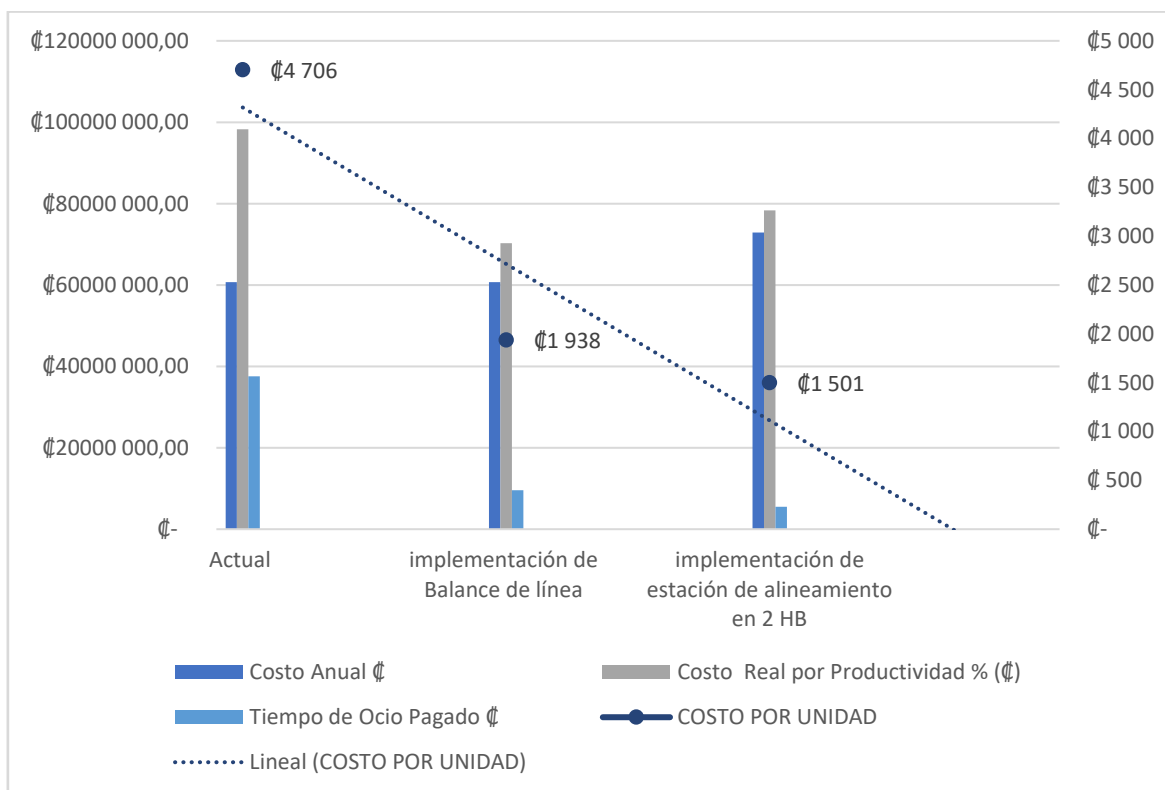
Fuente: Elaboración propia.

5.6.2 HDR-191555-XX

En el caso del HDR-191555-XX, la introducción del balance de línea con lleva un ahorro anual significativo de ¢27 997 923 (Tiempo de Ocio pagado “Actual”- Tiempo de ocio pagado después de la “implementación de Balance de línea”), Este ahorro es particularmente notorio debido a la corrección de los tiempos asignados incorrectamente en el sistema, lo que previamente generaba mediciones de productividad erróneas. Una vez que se actualizaron las rutas de producción, se pudo identificar con precisión las tasas de productividad de la línea. Además, el costo de elaboración de una pieza en mano de obra se redujo en un 58%.

Es relevante destacar que la incorporación de dos estaciones de alineamiento en cada una de las hot bar resultaría en un ahorro aún mayor de ¢32 038 972, A pesar de la necesidad de asignar un sexto operario, este enfoque se traduce en una reducción del costo por unidad del 68% en comparación con el método de trabajo actual.

Figura38 Resumen Costo-Beneficio HDR-191555-XX



Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 31 Resumen Costo-Beneficio HDR-191555-XX

RESUMEN DE COSTO-BENEFICIO HDR-191555-XX														
Escenarios	Productividad Promedio	Output Diario (Unidades)	días hábiles anuales	Operarios	Costo Promedio diario	Nombre	Tiempo Ingresado	Horas esperadas	Idle Time	Costo REAL	Costo Anual ¢	Costo Real por Productividad % (¢)	Tiempo de Ocio Pagado ¢	COSTO POR UNIDAD
Actual	62%	72	290	15	¢ 13 960,00	OP-A.Y.M	6,49	7,25	0,76	¢ 1 334	¢ 60 726 000,00	¢ 98 265 787,05	¢ 37 539 787,05	¢ 4 706
						OP-C.A.A	2,50	7,25	4,75	¢ 8 296				
						OP-I.C	3,30	7,25	3,95	¢ 6 891				
						OP-J.G	6,17	7,25	1,08	¢ 1 882				
						OP-L.F.T	3,95	7,25	3,30	¢ 5 762				
implementación de Balance de línea	86%	125	290	15	¢ 13 960,00	OP-A.Y.M	7,25	7,25	0,00	-¢ 1	¢ 60 726 000,00	¢ 70 267 863,75	¢ 9 541 863,75	¢ 1 938
						OP-C.A.A	4,51	7,25	2,74	¢ 4 780				
						OP-I.C	5,77	7,25	1,48	¢ 2 590				
						OP-J.G	6,90	7,25	0,35	¢ 604				
						OP-L.F.T	6,90	7,25	0,35	¢ 618				
implementación de estación de alineamiento en 2 HB	93%	180	290	18	¢ 13 960,00	OP-A.Y.M	7,25	7,25	0,00	¢ -	¢ 72 871 200,00	¢ 78 372 014,14	¢ 5 500 814,14	¢ 1 501
						OP-C.A.A	5,92	7,25	1,33	¢ 2 318				
						OP-I.C	7,46	7,25	-0,21	-¢ 364				
						OP-J.G	6,91	7,25	0,34	¢ 597				
						OP-L.F.T	6,00	7,25	1,25	¢ 2 180				
						OP-M.S.S	6,91	7,25	0,34	¢ 597				

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES

Después de un análisis exhaustivo de los datos y resultados obtenidos a lo largo de este proyecto, es evidente que se han alcanzado con éxito los objetivos establecidos. Los cinco capítulos anteriores han proporcionado una visión profunda de la situación inicial de la empresa, la identificación de problemas y desafíos clave, así como la proposición y ejecución de soluciones efectivas en el marco de la optimización de la línea 5 de Nextest en el área de HDR.

En particular, la optimización de la línea de producción ha demostrado tener un impacto significativo en la eficiencia y la rentabilidad de la empresa en el área de HDR. Los dos números de parte que se han optimizado, el HDR-191555-XX y el HDR-187158-XX, han experimentado mejoras notables en su productividad y reducción de costos, lo que ha llevado a un impacto económico positivo en la organización.

Los ahorros económicos generados por estas soluciones son notables. Para el número de parte HDR-191555-XX, la implementación del balance de línea resultó en un ahorro anual de ₡27,997,923.30 y una disminución del costo por unidad en ₡2,768. De manera similar, la implementación de la estación de alineamiento en 2 HB generó un ahorro anual de ₡32,038,972.91 y una reducción del costo por unidad en ₡3,205.

En el caso del número de parte HDR-187158-XX, la implementación del balance de línea conllevó un ahorro anual de ₡7,824,910 y redujo el costo por unidad en ₡314. Asimismo, la implementación de la estación de alineamiento en 2 HB resultó en un ahorro anual de ₡6,140,515 y una reducción del costo por unidad en ₡351.

Estos resultados subrayan la efectividad de las soluciones propuestas y su impacto significativo en la eficiencia operativa y la rentabilidad de la empresa en el área de HDR. La inversión en estas mejoras no solo produce beneficios económicos a corto plazo, sino que también establece una base sólida para un crecimiento sostenible a mediano y largo plazo.

Tras la implementación de las mejoras en la línea de producción, se prevé un cambio sustancial en el cumplimiento de entregas a tiempo (OTD). Anteriormente, la empresa enfrentaba dificultades en cumplir con la demanda creciente de sus productos HDR-191555-XX y HDR-187158-XX, lo que resultaba en un OTD del 78.03% y 81.2%, respectivamente, muy por debajo del objetivo del 95%. Sin embargo, con las optimizaciones realizadas, la línea de producción tiene la capacidad de aumentar la producción semanal de HDR-191555-XX de 72 a 180 unidades y del HDR-187158-XX de 243 a 446 unidades, abarcando las piezas que antes limitaban el OTD. Esto se traduce en un esperado incremento del OTD del 161.97% para el HDR-191555-XX y del 60.39% para el HDR-187158-XX. Estos cambios representan una mejora significativa en la capacidad de la empresa para cumplir con las fechas de entrega y satisfacer la creciente demanda de sus productos.

En consecuencia, es claro que la optimización de la línea 5 de Nextest en el área de HDR ha superado las expectativas y ha demostrado ser una inversión altamente beneficiosa para la empresa. Además de los beneficios económicos, estas mejoras han optimizado los recursos, reducido el tiempo ocioso y mejorado la productividad de los empleados. A medida que estas soluciones se consolidan en la operación diaria, la empresa está en una posición sólida para afrontar los retos futuros y seguir prosperando en un entorno altamente competitivo.

En resumen, el proyecto ha cumplido con éxito sus objetivos y ha superado las expectativas, aportando beneficios significativos a la empresa en términos de eficiencia y rentabilidad en el área de HDR. Estos logros no solo respaldan la toma de decisiones estratégicas de la empresa, sino que también abren nuevas oportunidades para el crecimiento y la excelencia en el futuro.

6.2 BENEFICIOS NETOS

La aplicación de la fórmula de relación beneficio/costo (B/C) permite determinar, según el costo neto de ₡1,513,292 y el beneficio neto de ₡38,179,487.01, La relación beneficio/costo, la cual asciende a aproximadamente ₡25.23, Este cálculo revela que, con la información proporcionada, los beneficios netos superan con creces los costos netos, lo que sugiere que la implementación de la estación de alineamiento es una opción financieramente favorable y viable.

6.3 RECOMENDACIONES

El seguimiento continuo de las mejoras en la línea de producción y la búsqueda constante de formas de optimizar el proceso son cruciales para garantizar que los beneficios del proyecto perduren en el tiempo. A continuación, se presentan algunas recomendaciones que pueden tener un impacto positivo en los resultados a largo plazo:

6.3.1 Cross-training (Entrenamiento Cruzado):

La implementación de un programa de cross-training, que mantenga a los operarios capacitados en diversos procesos de la línea, proporciona flexibilidad y reduce la dependencia de ciertos operarios en tareas específicas. Esto, a su vez, minimiza las interrupciones causadas por la ausencia de un operario en la línea.

6.3.2 Seguimiento de los Índices de Calidad:

Realizar un seguimiento continuo de los índices de calidad es esencial para asegurar que las mejoras realizadas en la línea de producción se mantengan en el tiempo. Esto implica la recopilación, análisis y evaluación constante de datos relacionados con la calidad del producto y los procesos de fabricación.

6.3.3 Estudios de Ergonomía en la Línea:

Es fundamental llevar a cabo estudios ergonómicos en la línea de producción y proporcionar capacitación detallada a los asociados sobre el uso adecuado de la estación de alineamiento. Esto contribuirá a prevenir lesiones laborales y a mantener un entorno de trabajo seguro y eficiente.

6.3.4 Búsqueda de Herramientas Más Ligeras

Se sugiere la exploración de alternativas más livianas en el conjunto de herramientas de HB. La adopción de herramientas más ligeras reducirá la fatiga de los operarios y minimizará el riesgo de lesiones a largo plazo.

6.4 BIBLIOGRAFÍA

- ARCE.M. (2018). *AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO FT DE LA EMPRESA ABT, PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR LA LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL*. UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). *Cost–Benefit Analysis*. Cambridge University Press.
- BOCANGEL WEYDERT, G. A., ROSAS ECHEVARRIA, C. W., & BOCANGEL MARIN, G. A. (2021). *INGENIERÍA INDUSTRIAL, INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE PLANTAS*. Huánuco.
- CHACÓN.A. (2019). *BALANCE DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE ORTODONCIA VIRTUAL EN ALIGN TECHNOLOGY EL PRIMER SEMESTRE DE 2019 Tesis para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Industrial*. UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA.
- Dennis, P. (2015). *Lean Production Simplified*. Productivity Press.
- Estrella, S. (30 de Mayo de 2014). *EL FORMATO TABULAR: UNA REVISIÓN DE LITERATURA*. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/aie/v14n2/a27v14n2.pdf>
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., Maxey, J., Jaminet, P., Watson-Hemphill, K., & Cox, C. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket*. McGraw-Hill.
- George, M., Rowlands, D., Price, M., Maxey, J., Jaminet, P., Watson-Hemphill, K., & Cox, C. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket A Quick Reference Guide to Nearly 100 Tools for Improving Process Quality, Speed, and Complexity*. McGraw-Hill.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the*. McGraw-Hill.
- Minitab. (2021). *¿Qué es estadística descriptiva y estadística inferencial?* Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-are-descriptive-and-inferential-statistics/>
- Minitab. (2021). *¿Qué es un nivel de confianza?* Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-confidence-level/>
- Minitab. (2021). *¿Qué es una prueba de hipótesis?* Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-hypothesis-test/>
- Minitab. (2021). *Prueba de normalidad*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>
- Miro. (s.f.). Obtenido de Miro: <https://miro.com/es/diagrama/que-es-diagrama-bloques/>
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones*. The McGraw-Hill.
- Pancardo Pérez, J., Ruiz Castillo, M., & Ramírez Argudín, M. (5,6,7 de Octubre de 2011). *Capacitación cruzada: Una Herramienta para el aumento de la productividad*

organizacional. Obtenido de
<https://investigacion.fca.unam.mx/docs/memorias/2011/4.02.pdf>

Peterson, E. T. (2006). *The Big Book of Key Performance Indicators*. Web Analytics Demystified, Inc.

W.Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial:Métodos, estándares y diseño del trabajo*. The McGraw-Hill Companies,.

Womack, J. (2011). *GEMBA WALKS*. Lean Enterprises Inst Inc.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2012). *Lean Thinking-Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Gestión 2000.

6.5 APÉNDICES

Apéndice 1 Estudio de tiempos del HDR-187158-XX

HOT BAR J2/J3 HDR-187158-XX		100% INSPECTION/REPAIR HDR-187158-XX		HOT BAR J1 TOPSIDE HDR-187158-XX		HOT BAR BOTTOM SIDE J1 HDR-187158-XX		100% INSPECTION/REPAIR (2) HDR-187158-XX		100% ELECTRICAL TEST HDR-187158-XX		REWORK HDR-187158-XX	
Task	Time (s)	Task	Time (s)	Task	Time (s)	Task	Time (s)	Task	Time (s)	Task	Time (s)	Task	Time (s)
Time 1	174,2	Time 1	135	Time 1	352	Time 1	352	Time 1	193,12	Time 1	56,55	Time 1	
Time 2	184,9	Time 2	150	Time 2	348	Time 2	348	Time 2	188,93	Time 2	65,69	Time 2	
Time 3	178,3	Time 3	130	Time 3	368	Time 3	368	Time 3	190,26	Time 3	51,86	Time 3	
Time 4	183,5	Time 4	168	Time 4	340	Time 4	340	Time 4	191,54	Time 4	58,99	Time 4	
Time 5	175,6	Time 5	158	Time 5	347	Time 5	347	Time 5	192,79	Time 5	51,81	Time 5	
Time 6	182,1	Time 6	143	Time 6	273	Time 6	273	Time 6	195,23	Time 6	47,37	Time 6	
Time 7	180,7	Time 7	163	Time 7	275	Time 7	275	Time 7	194,68	Time 7	49,28	Time 7	
Time 8	179,4	Time 8	155	Time 8	280	Time 8	280	Time 8	191,37	Time 8	57,44	Time 8	
Time 9	181,2	Time 9	145	Time 9	304	Time 9	304	Time 9	194,09	Time 9	60,12	Time 9	
Time 10	176,8	Time 10	162	Time 10	345	Time 10	345	Time 10	193,88	Time 10	55,78	Time 10	
Time 11	177,9	Time 11	140	Time 11	376	Time 11	376	Time 11	192,45	Time 11	48,91	Time 11	
Time 12	185,3	Time 12	153	Time 12	344	Time 12	344	Time 12	192,65	Time 12	59,23	Time 12	
Time 13	176,3	Time 13	147	Time 13	314	Time 13	314	Time 13	191,92	Time 13	53,47	Time 13	
Time 14	184,1	Time 14	138	Time 14	350	Time 14	350	Time 14	193,71	Time 14	54,16	Time 14	
Time 15	179,7	Time 15	222	Time 15	343	Time 15	343	Time 15	192,27	Time 15	61,35	Time 15	
Time 16	181,8	Time 16	67	Time 16	306	Time 16	306	Time 16	194,68	Time 16	50,02	Time 16	
Time 17	173,5	Time 17	97	Time 17	293	Time 17	293	Time 17	195,14	Time 17	56,18	Time 17	
Time 18	187,6	Time 18	173	Time 18	326	Time 18	326	Time 18	193,36	Time 18	62,47	Time 18	
Time 19	178	Time 19	142	Time 19	315	Time 19	315	Time 19	191,49	Time 19	53,91	Time 19	
Time 20	182,3	Time 20	112	Time 20	335	Time 20	335	Time 20	190,82	Time 20	49,62	Time 20	
Time 21	177,2	Time 21	199	Time 21	329	Time 21	329	Time 21	194,03	Time 21	55,06	Time 21	
Time 22	186	Time 22	109	Time 22	362	Time 22	362	Time 22	192,56	Time 22	52,79	Time 22	
Time 23	175,8	Time 23	127	Time 23	356	Time 23	356	Time 23	193,75	Time 23	61,92	Time 23	
Time 24	183,7	Time 24	157	Time 24	330	Time 24	330	Time 24	195,11	Time 24	57,76	Time 24	
Time 25	174,6	Time 25	103	Time 25	318	Time 25	318	Time 25	191,68	Time 25	58,64	Time 25	
Time 26	179,3	Time 26	143	Time 26	338	Time 26	338	Time 26	194,47	Time 26	54,33	Time 26	
Time 27	183	Time 27	98	Time 27	324	Time 27	324	Time 27	192,33	Time 27	60,45	Time 27	
Time 28	176	Time 28	71	Time 28	353	Time 28	353	Time 28	194,93	Time 28	59,88	Time 28	
Time 29	185,1	Time 29	61	Time 29	349	Time 29	349	Time 29	192,22	Time 29	57,02	Time 29	
Time 30	180,5	Time 30	255,52	Time 30	363	Time 30	363	Time 30	193,79	Time 30	55,21	Time 30	
Average tim	180,146667	Average tim	140,784	Average tim	331,866667	Average tim	331,866667	Average tim	192,975	Average tim	55,909	Average tim	#i DIV/0!
Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%
Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%
Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance	
Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%
Time (min)	3,45281111	Time (min)	2,69836	Time (min)	6,36077778	Time (min)	6,36077778	Time (min)	3,6986875	Time (min)	1,07158917	Time (min)	#i DIV/0!
Nest	0,5	Nest	0,5	Nest	1	Nest	1	Nest	0,5	Nest	1	Nest	1
PPH Net	8,6885726	PPH Net	11,1178642	PPH Net	9,43280871	PPH Net	9,43280871	PPH Net	8,11098532	PPH Net	55,9916075	PPH Net	#i DIV/0!

HUMIDITY CHAMBER		LEAKAGE TEST		ADD EPOXY		BAKE		ADD HOUSING J1/J2/J3		100% FINAL E-TEST/STAMP		CLEAN & LABEL		PACKAGE	
HDR-187158-XX		HDR-187158-XX		HDR-187158-XX		HDR-187158-XX		HDR-187158-XX		HDR-187158-XX		HDR-187158-XX		HDR-187158-XX	
Task		Task		Task		Task		Task		Task		Task		Task	
Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)
Time 1	54	Time 1	163,51	Time 1	265,23	Time 1	180	Time 1	105,72	Time 1	45,9829	Time 1	94,87	Time 1	102
Time 2		Time 2	158,93	Time 2	267,06	Time 2		Time 2	109,54	Time 2	47,5029	Time 2	95,16	Time 2	105
Time 3		Time 3	159,72	Time 3	270,38	Time 3		Time 3	104,91	Time 3	47,9474	Time 3	94,93	Time 3	103
Time 4		Time 4	160,32	Time 4	263,50	Time 4		Time 4	111,23	Time 4	44,9979	Time 4	95	Time 4	107
Time 5		Time 5	161,27	Time 5	267,76	Time 5		Time 5	108,79	Time 5	46,4679	Time 5	94,91	Time 5	109
Time 6		Time 6	164,03	Time 6	266,23	Time 6		Time 6	106,37	Time 6	45,7879	Time 6	95,07	Time 6	103
Time 7		Time 7	160,91	Time 7	270,51	Time 7		Time 7	110,12	Time 7	48,3479	Time 7	94,98	Time 7	91
Time 8		Time 8	161,76	Time 8	265,23	Time 8		Time 8	105,98	Time 8	46,9829	Time 8	94,93	Time 8	105
Time 9		Time 9	165,16	Time 9	267,06	Time 9		Time 9	107,45	Time 9	43,1279	Time 9	94,9	Time 9	99
Time 10		Time 10	162,04	Time 10	270,37	Time 10		Time 10	108,03	Time 10	43,6979	Time 10	94,96	Time 10	112
Time 11		Time 11	160,28	Time 11	263,50	Time 11		Time 11	110,91	Time 11	46,2179	Time 11	95,02	Time 11	96
Time 12		Time 12	161,85	Time 12	267,75	Time 12		Time 12	108,65	Time 12	44,3779	Time 12	95,04	Time 12	110
Time 13		Time 13	161,22	Time 13	270,51	Time 13		Time 13	107,26	Time 13	45,8329	Time 13	95,08	Time 13	98
Time 14		Time 14	162,49	Time 14	268,73	Time 14		Time 14	106,98	Time 14	46,6829	Time 14	94,9	Time 14	100
Time 15		Time 15	162,61	Time 15	265,69	Time 15		Time 15	109,35	Time 15	49,0629	Time 15	94,97	Time 15	102
Time 16		Time 16	161,03	Time 16	266,01	Time 16		Time 16	106,64	Time 16	43,5629	Time 16	95	Time 16	105
Time 17		Time 17	161,18	Time 17	269,92	Time 17		Time 17	110,22	Time 17	45,1079	Time 17	95,14	Time 17	103
Time 18		Time 18	162,37	Time 18	267,12	Time 18		Time 18	104,57	Time 18	48,5479	Time 18	95,05	Time 18	106
Time 19		Time 19	164,59	Time 19	263,81	Time 19		Time 19	111,17	Time 19	47,4279	Time 19	94,99	Time 19	104
Time 20		Time 20	160,23	Time 20	271,27	Time 20		Time 20	107,93	Time 20	46,1479	Time 20	95,03	Time 20	99
Time 21		Time 21	162,35	Time 21	263,64	Time 21		Time 21	109,88	Time 21	48,6979	Time 21	95,12	Time 21	97
Time 22		Time 22	162,21	Time 22	266,27	Time 22		Time 22	105,18	Time 22	46,9279	Time 22	94,93	Time 22	101
Time 23		Time 23	161,73	Time 23	268,29	Time 23		Time 23	108,49	Time 23	45,8029	Time 23	94,95	Time 23	107
Time 24		Time 24	162,45	Time 24	270,97	Time 24		Time 24	106,71	Time 24	45,7729	Time 24	95,12	Time 24	95
Time 25		Time 25	161,95	Time 25	265,23	Time 25		Time 25	109,11	Time 25	43,9979	Time 25	95,1	Time 25	108
Time 26		Time 26	163,98	Time 26	267,06	Time 26		Time 26	107,82	Time 26	42,4379	Time 26	95,06	Time 26	111
Time 27		Time 27	160,65	Time 27	270,38	Time 27		Time 27	105,47	Time 27	47,6179	Time 27	94,99	Time 27	112
Time 28		Time 28	164,14	Time 28	263,50	Time 28		Time 28	111,04	Time 28	45,2879	Time 28	94,91	Time 28	109
Time 29		Time 29	162,53	Time 29	267,76	Time 29		Time 29	107,12	Time 29	42,7179	Time 29	95,11	Time 29	94
Time 30		Time 30	157	Time 30	266,23	Time 30		Time 30	108,17	Time 30	46,0479	Time 30	95,06	Time 30	93
Average tim	54	Average tim	161,816333	Average time	267,231867	Average tim	180	Average tim	108,027	Average tim	45,9707167	Average tim	95,0093333	Average tim	102,860333
Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%
Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%
Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance	
Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%
Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%
Time (min)	1,035	Time (min)	3,10147972	Time (min)	5,12194411	Time (min)	3,45	Time (min)	2,0705175	Time (min)	0,8811054	Time (min)	1,82101222	Time (min)	1,97148972
Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	2	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1
PPH Net	57,97101	PPH Net	19,3456045	PPH Net	11,714302	PPH Net	34,7826087	PPH Net	28,9782627	PPH Net	68,0962798	PPH Net	32,948708	PPH Net	30,4338386

Apéndice 2 Estudio de tiempos del HDR-191555-XX

HOT BAR CCS-170561-01 HDR-191555-XX		100% INSPECTION/REPAIR HDR-191555-XX		HOT BAR CCS-170561-01 (2) HDR-191555-XX		100% INSPECTION/REPAIR (2) HDR-191555-XX		100% ELECTRICAL TEST HDR-191555-XX		REWORK HDR-191555-XX		HUMIDITY CHAMBER HDR-191555-XX		LEAKAGE TEST HDR-191555-XX		ASSEMBLE HDR-191555-XX		ADD BALL BEARINGS & LOAD SUBS HDR-191555-XX		ADD ROLL PINS HDR-191555-XX	
Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time	Task	Time
Time 1	175	Time 1	222	Time 1	352	Time 1	220	Time 1	24,7	Time 1	57	Time 1	157	Time 1	588,78	Time 1	625,00	Time 1	97		
Time 2	139	Time 2	67	Time 2	348	Time 2	202	Time 2	23,1	Time 2		Time 2	168	Time 2	579,25	Time 2	746,00	Time 2	81		
Time 3	236	Time 3	97	Time 3	368	Time 3	234	Time 3	26,07	Time 3		Time 3	161	Time 3	589,21	Time 3	706,00	Time 3	85		
Time 4	195	Time 4	173	Time 4	340	Time 4	222	Time 4	24,58	Time 4		Time 4	597,36	Time 4	802,00	Time 4	86	Time 4	86		
Time 5	143	Time 5	142	Time 5	347	Time 5	213	Time 5	26,32	Time 5		Time 5	583,42	Time 5	787,00	Time 5	104	Time 5	104		
Time 6	176	Time 6	112	Time 6	273	Time 6	232	Time 6	26,74	Time 6		Time 6	595,67	Time 6	633,00	Time 6	95	Time 6	95		
Time 7	213	Time 7	199	Time 7	275	Time 7	203	Time 7	25,94	Time 7		Time 7	586,19	Time 7	740,00	Time 7	98	Time 7	98		
Time 8	221	Time 8	109	Time 8	280	Time 8	195	Time 8	24,32	Time 8		Time 8	592,54	Time 8	714,00	Time 8	91	Time 8	91		
Time 9	203	Time 9	127	Time 9	304	Time 9	228	Time 9	20,18	Time 9		Time 9	582,31	Time 9	800,00	Time 9	83	Time 9	83		
Time 10	181	Time 10	157	Time 10	345	Time 10	218	Time 10	23,1	Time 10		Time 10	576,85	Time 10	783,00	Time 10	88	Time 10	88		
Time 11	176	Time 11	103	Time 11	376	Time 11	210	Time 11	21,61	Time 11		Time 11	591,47	Time 11	642,00	Time 11	103	Time 11	103		
Time 12	228	Time 12	143	Time 12	344	Time 12	206	Time 12	23,71	Time 12		Time 12	587,63	Time 12	756,00	Time 12	99	Time 12	99		
Time 13	195	Time 13	98	Time 13	314	Time 13	233	Time 13	24,78	Time 13		Time 13	580,29	Time 13	725,00	Time 13	82	Time 13	82		
Time 14	185	Time 14	71	Time 14	350	Time 14	219	Time 14	23,92	Time 14		Time 14	590,76	Time 14	774,00	Time 14	89	Time 14	89		
Time 15	159	Time 15	61	Time 15	343	Time 15	207	Time 15	26,29	Time 15		Time 15	583,71	Time 15	658,00	Time 15	96	Time 15	96		
Time 16	153	Time 16	213	Time 16	306	Time 16	222	Time 16	25,21	Time 16		Time 16	575,98	Time 16	798,00	Time 16	100	Time 16	100		
Time 17	171	Time 17	75	Time 17	293	Time 17	212	Time 17	25,66	Time 17		Time 17	598,01	Time 17	726,00	Time 17	97	Time 17	97		
Time 18	186	Time 18	95	Time 18	321	Time 18	204	Time 18	24,41	Time 18		Time 18	578,92	Time 18	765,00	Time 18	87	Time 18	87		
Time 19	186	Time 19	175	Time 19	327	Time 19	229	Time 19	22,57	Time 19		Time 19	594,18	Time 19	671,00	Time 19	84	Time 19	84		
Time 20	193	Time 20	150	Time 20	318	Time 20	217	Time 20	25,11	Time 20		Time 20	581,74	Time 20	732,00	Time 20	93	Time 20	93		
Time 21	170	Time 21	115	Time 21	335	Time 21	211	Time 21	22,89	Time 21		Time 21	588,29	Time 21	787,00	Time 21	101	Time 21	101		
Time 22	200	Time 22	205	Time 22	326	Time 22	224	Time 22	24,91	Time 22		Time 22	579,96	Time 22	647,00	Time 22	80	Time 22	80		
Time 23	182	Time 23	110	Time 23	300	Time 23	208	Time 23	23,99	Time 23		Time 23	593,67	Time 23	751,00	Time 23	105	Time 23	105		
Time 24	196	Time 24	130	Time 24	311	Time 24	230	Time 24	24,06	Time 24		Time 24	585,39	Time 24	698,00	Time 24	94	Time 24	94		
Time 25	194	Time 25	160	Time 25	319	Time 25	216	Time 25	24,35	Time 25		Time 25	596,12	Time 25	808,00	Time 25	92	Time 25	92		
Time 26	180	Time 26	105	Time 26	329	Time 26	201	Time 26	23,7	Time 26		Time 26	582,57	Time 26	764,00	Time 26	102	Time 26	102		
Time 27	205	Time 27	145	Time 27	333	Time 27	225	Time 27	25,15	Time 27		Time 27	573,28	Time 27	700,00	Time 27	86	Time 27	86		
Time 28	190	Time 28	170	Time 28	302	Time 28	209	Time 28	24,91	Time 28		Time 28	598,45	Time 28	780,00	Time 28	81	Time 28	81		
Time 29	188	Time 29	120	Time 29	325	Time 29	231	Time 29	24,58	Time 29		Time 29	575,94	Time 29	695,00	Time 29	79	Time 29	79		
Time 30	158,5	Time 30	180	Time 30	317	Time 30	214	Time 30	22,56	Time 30		Time 30	594,62	Time 30	748,00	Time 30	104	Time 30	104		
Average tim	185,9166667	Average tim	134,3	Average tim	324,0333333	Average tim	216,5	Average tim	24,314	Average tim	#DIV/0!	Average tim	57	Average tim	162	Average tim	586,752	Average time	732,033333	Average tim	92,0666667
Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%
Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%
Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance	
Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%	Ajuste Measuring allowance	0%
Time (min)	3,563402778	Time (min)	2,574083333	Time (min)	6,210638889	Time (min)	4,149583333	Time (min)	0,466018333	Time (min)	#DIV/0!	Time (min)	1,0925	Time (min)	3,105	Time (min)	11,24608	Time (min)	14,0306389	Time (min)	1,76461111
Nest	0,125	Nest	0,25	Nest	0,5	Nest	0,5	Nest	0,5	Nest	1	Nest	0,5	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1
PPH Net	2,104729796	PPH Net	5,82731717	PPH Net	4,830420918	PPH Net	7,22964153	PPH Net	64,3751498	PPH Net	#DIV/0!	PPH Net	27,4599542	PPH Net	9,661835749	PPH Net	5,33519235	PPH Net	4,27635552	PPH Net	34,001826

ADD CONNECTOR TO J1		ADD ALIGNMENT PINS		ADD SCREWS		100% ELECTRICAL TEST		ADD CAP TO J1		ADD LABELS		ADD STRAP TO HOUSING		BAG		VACUUM SEAL		BOX PACKAGE 1	
HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX		HDR-191555-XX	
Task		Task		Task		Task		Task		Task		Task		Task		Task		Task	
Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)	Time	Time (s)
Time 1	76	Time 1	49,44	Time 1	78	Time 1	195	Time 1	18	Time 1	608	Time 1	315,00	Time 1	173,29	Time 1	91,63	Time 1	98,27
Time 2	70	Time 2	49,28	Time 2	73	Time 2	207	Time 2		Time 2	651	Time 2	325,00	Time 2	176,13	Time 2	92,04	Time 2	98,46
Time 3	73	Time 3	52,87	Time 3	74	Time 3	186	Time 3		Time 3	621	Time 3	317,00	Time 3	182,17	Time 3	88,97	Time 3	100,05
Time 4	77	Time 4	46,68	Time 4	90	Time 4	219	Time 4		Time 4	605	Time 4	312,00	Time 4	174,29	Time 4	90,78	Time 4	101,82
Time 5	75	Time 5	49,78	Time 5	105	Time 5	205	Time 5		Time 5	598	Time 5	322	Time 5	177,13	Time 5	87,95	Time 5	99,74
Time 6	79	Time 6	52,34	Time 6	76	Time 6	180	Time 6		Time 6	634	Time 6	318	Time 6	183,17	Time 6	89,73	Time 6	102,33
Time 7	74	Time 7	47,96	Time 7	80	Time 7	211	Time 7		Time 7	616	Time 7	328	Time 7	175,29	Time 7	90,39	Time 7	97,85
Time 8	72	Time 8	51,24	Time 8	79	Time 8	197	Time 8		Time 8	626	Time 8	311	Time 8	178,13	Time 8	91,02	Time 8	98,68
Time 9	78	Time 9	48,52	Time 9	75	Time 9	204	Time 9		Time 9	635	Time 9	326	Time 9	184,17	Time 9	88,86	Time 9	101,01
Time 10	76	Time 10	53,01	Time 10	82	Time 10	178	Time 10		Time 10	603	Time 10	321	Time 10	179,29	Time 10	92,18	Time 10	99,28
Time 11	80	Time 11	47,14	Time 11	85	Time 11	198	Time 11		Time 11	619	Time 11	319	Time 11	186,13	Time 11	87,29	Time 11	101,35
Time 12	73	Time 12	50,39	Time 12	81	Time 12	208	Time 12		Time 12	628	Time 12	314	Time 12	185,17	Time 12	91,89	Time 12	99,63
Time 13	77	Time 13	49,17	Time 13	86	Time 13	183	Time 13		Time 13	610	Time 13	324	Time 13	172,29	Time 13	89,42	Time 13	100,79
Time 14	71	Time 14	51,65	Time 14	78	Time 14	216	Time 14		Time 14	612	Time 14	316	Time 14	181,13	Time 14	90,95	Time 14	99,11
Time 15	69	Time 15	47,43	Time 15	73	Time 15	202	Time 15		Time 15	645	Time 15	327	Time 15	187,17	Time 15	88,61	Time 15	101,12
Time 16	68	Time 16	49,92	Time 16	74	Time 16	175	Time 16		Time 16	629	Time 16	313	Time 16	180,29	Time 16	90,24	Time 16	99,46
Time 17	82	Time 17	48,86	Time 17	90	Time 17	190	Time 17		Time 17	611	Time 17	323	Time 17	188,13	Time 17	87,64	Time 17	101,57
Time 18	81	Time 18	52,65	Time 18	105	Time 18	212	Time 18		Time 18	636	Time 18	320	Time 18	173,17	Time 18	89,18	Time 18	98,92
Time 19	67	Time 19	46,79	Time 19	88	Time 19	193	Time 19		Time 19	622	Time 19	325	Time 19	176,29	Time 19	92,37	Time 19	100,36
Time 20	70	Time 20	51,88	Time 20	84	Time 20	201	Time 20		Time 20	604	Time 20	317	Time 20	182,13	Time 20	88,45	Time 20	100,45
Time 21	79	Time 21	50,06	Time 21	91	Time 21	187	Time 21		Time 21	633	Time 21	312	Time 21	174,17	Time 21	91,29	Time 21	98,56
Time 22	75	Time 22	47,62	Time 22	89	Time 22	172	Time 22		Time 22	625	Time 22	322	Time 22	177,29	Time 22	92,12	Time 22	99,23
Time 23	72	Time 23	53,17	Time 23	92	Time 23	194	Time 23		Time 23	620	Time 23	318	Time 23	183,13	Time 23	87,07	Time 23	100,94
Time 24	78	Time 24	46,96	Time 24	87	Time 24	210	Time 24		Time 24	617	Time 24	328	Time 24	175,17	Time 24	92,28	Time 24	99,88
Time 25	73	Time 25	52,46	Time 25	83	Time 25	199	Time 25		Time 25	631	Time 25	311	Time 25	178,29	Time 25	86,6	Time 25	101,76
Time 26	81	Time 26	49,59	Time 26	70	Time 26	181	Time 26		Time 26	632	Time 26	320	Time 26	184,13	Time 26	93,42	Time 26	98,77
Time 27	76	Time 27	48,21	Time 27	95	Time 27	189	Time 27		Time 27	614	Time 27	323	Time 27	179,17	Time 27	89,52	Time 27	100,19
Time 28	68	Time 28	51,52	Time 28	72	Time 28	214	Time 28		Time 28	609	Time 28	310	Time 28	167,29	Time 28	87,46	Time 28	99,62
Time 29	74	Time 29	47,35	Time 29	77	Time 29	200	Time 29		Time 29	639	Time 29	320	Time 29	171,13	Time 29	90,15	Time 29	101,43
Time 30	70	Time 30	52,01	Time 30	94	Time 30	173	Time 30		Time 30	618	Time 30	323	Time 30	189,17	Time 30	89,02	Time 30	99,99
Average tim	74,4666667	Average tim	49,865	Average tim	83,53333333	Average tim	195,966667	Average tim	18	Average tim	621,7	Average tim	319,333333	Average tim	179,13	Average tim	89,9506667	Average tim	100,020667
Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%	Personal needs allowance	5%
Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%	Basic fatigue allowance	4%
Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance		Relaxation allowance	
Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%	Ajuste	0%
Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%	Measuring allowance	6%
Time (min)	1,42727778	Time (min)	0,95574583	Time (min)	1,601055556	Time (min)	3,75602778	Time (min)	0,345	Time (min)	11,9159167	Time (min)	6,12055556	Time (min)	3,433325	Time (min)	1,72405444	Time (min)	1,91706278
Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1	Nest	1
PPH Net	42,0380678	PPH Net	62,7781968	PPH Net	37,47527673	PPH Net	15,9743228	PPH Net	173,913043	PPH Net	5,03528194	PPH Net	9,80303168	PPH Net	17,4757706	PPH Net	34,8016852	PPH Net	31,2978796

Apéndice 3 Fórmulas de Herramienta en Excel del HDR-187158-XX

Figura 39 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.1

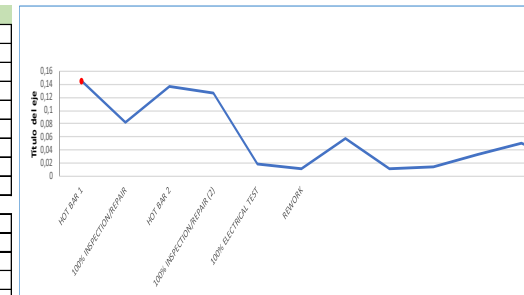
Part Number		HDR-187158-XX									
Operation	Process	Required Hours	#Estaciones	Rec. Reales	Rec. STD	T disp	Eficiencia	Utilizacion			
1000	CUT CABLE TO LENGTH	0,005	1	21,5	21,5	=F4*E4	=1-((F4-G4)/F4)	=+G4/H4			
3416	CABLE PREP CCS-173725-01	0,25	1	21,5	21,5	=F5*E5	=1-((F5-G5)/F5)	=+G5/H5			
5832	HOT BAR 1	0,136475555555556	1	24	21,5	=F6*E6	=1-((F6-G6)/F6)	=+G6/H6			
8248	100% INSPECTION/REPAIR	=0,136190185185185/2	1	21,5	21,5	=F7*E7	=1-((F7-G7)/F7)	=+G7/H7			
10664	HOT BAR 2	0,144274158730159	1	24	21,5	=F8*E8	=1-((F8-G8)/F8)	=+G8/H8			
15496	100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,111428333333333	1	21,5	21,5	=F9*E9	=1-((F9-G9)/F9)	=+G9/H9			
17912	100% ELECTRICAL TEST	0,0109	=1/2	24	21,5	=F10*E10	=1-((F10-G10)/F10)	=+G10/H10			
20328	REWORK	0,01	1	21,5	21,5	=F11*E11	=1-((F11-G11)/F11)	=+G11/H11			
22744	ADD EPOXY	0,0668	1	24	21,5	=F12*E12	=1-((F12-G12)/F12)	=+G12/H12			
25160	BAKE	0,013889	1	24	21,5	=F13*E13	=1-((F13-G13)/F13)	=+G13/H13			
27576	HUMIDITY CHAMBER	0,017	1	24	21,5	=F14*E14	=1-((F14-G14)/F14)	=+G14/H14			
99999	LEAKAGE TEST	0,038462	1	24	21,5	=F15*E15	=1-((F15-G15)/F15)	=+G15/H15			
1000	ADD HOUSING 12/13	0,05	1	21,5	21,5	=F16*E16	=1-((F16-G16)/F16)	=+G16/H16			
5833	100% FINAL E-TEST/STAMP	0,0136	0,5	24	21,5	=F17*E17	=1-((F17-G17)/F17)	=+G17/H17			
8250	CLEAN & LABEL	0,043478	1	21,5	21,5	=F18*E18	=1-((F18-G18)/F18)	=+G18/H18			
10666	PACKAGE	0,04	1	21,5	21,5	=F19*E19	=1-((F19-G19)/F19)	=+G19/H19			

All calculations leave Cable Preparation out because of the OMM

What if: Maximum Capacity			
# Shifts	3	Enter the # of shifts running	
TT production	=MAX(D6:Q19)		
PPH	=REDONDEAR.MENOS(I/D24;0)		
1		0,9	0,8
Output per Shift	=7,25/D24	=D27*0,9	=D27*0,8
Output per Day	=D27*D23	=D28*0,9	=D28*0,8
Output per Week	=D28*3	=D29*0,9	=D29*0,8
People Required	=REDONDEAR.MAS(SUM(A/Q6:Q19);0)		

What if: Planned Capacity by Output			
Output Required per Week	658	Enter the Output required	
# Shifts	3	Enter the # of shifts running	
TT plan	=7,25*(D34*5)/D33		
PPH	=1/D35		
1		0,9	0,8
Output per Shift	=7,25/D35	=D38*0,9	=D38*0,8
Output per Day	=D38*D34	=D39*0,9	=D39*0,8
Output per Week	=D39*5	=D40*0,9	=D40*0,8
People Required	=REDONDEAR.MAS(SUM(A/S6:S19);0)		

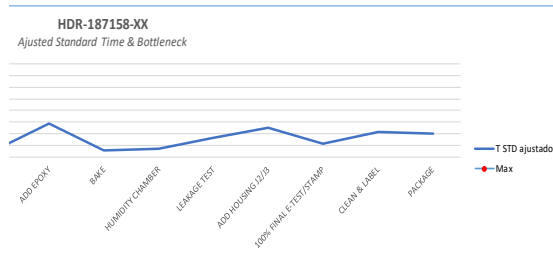
What if: Planned Capacity by People			
People Available	=REDONDEAR.MAS(SUM(A/U6:U19);0)		
# Shifts	3	Enter the # of shifts running	
TT	0,18	Change Takt Time until reaching the # of operators desired	
PPH	=REDONDEAR.MENOS(I/D46;0)		
1		0,9	0,8
Output per Shift	=7,25/D46	=D49*0,9	=D49*0,8
Output per Day	=D49*D45	=D50*0,9	=D50*0,8
Output per Week	=D50*5	=D51*0,9	=D51*0,8



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 40 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.2

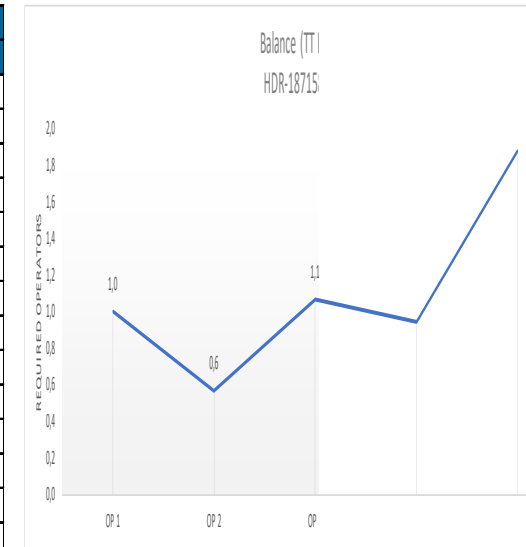
T STD	% Scrap	Yield %	Yt	T STD ajustado	T STD / TT MAX	T STD / TT OUT	T STD / TT PEOPLE	Max	# OP PROP
=D4*34)/(2-14)	0	=1-L4	=M4*N5	=K4*(1/N4)	=O4/MAX(\$O\$4:\$O\$5;\$O\$7:\$O\$18)	=O4/\$D\$35	=O4/\$D\$46	=SI(O4=MAX(O5:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O5:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U4,0)	
=D5*35)/(2-15)	0	=1-L5	=M5*N6	=K5*(1/N5)	=O5/MAX(\$O\$5:\$O\$6;\$O\$19)	=O5/\$D\$35	=O5/\$D\$46	=SI(O5=MAX(O6:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O6:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U5,0)	
=D6*36)/(2-16)	0,08	=1-L6	=M6*N7	=K6*(1/N6)	=O6/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O6/\$D\$35	=O6/\$D\$46	=SI(O6=MAX(O7:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O7:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U6,0)	
=D7*37)/(2-17)	0,04	=1-L7	=M7*N8	=K7*(1/N7)	=O7/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O7/\$D\$35	=O7/\$D\$46	=SI(O7=MAX(O8:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O8:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U7,0)	
=D8*38)/(2-18)	0,02	=1-L8	=M8*N9	=K8*(1/N8)	=O8/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O8/\$D\$35	=O8/\$D\$46	=SI(O8=MAX(O9:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O9:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U8,0)	
=D9*39)/(2-19)	0,05	=1-L9	=M9*N10	=K9*(1/N9)	=O9/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O9/\$D\$35	=O9/\$D\$46	=SI(O9=MAX(O10:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O10:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U9,0)	
=D10*310)/(2-110)	0	=1-L10	=M10*N11	=K10*(1/N10)	=O10/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O10/\$D\$35	=O10/\$D\$46	=SI(O10=MAX(O11:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O11:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U10,0)	
=D11*311)/(2-111)	0,02	=1-L11	=M11*N12	=K11*(1/N11)	=O11/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O11/\$D\$35	=O11/\$D\$46	=SI(O11=MAX(O12:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O12:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U11,0)	
=D12*312)/(2-112)	0	=1-L12	=M12*N13	=K12*(1/N12)	=O12/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O12/\$D\$35	=O12/\$D\$46	=SI(O12=MAX(O13:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O13:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U12,0)	
=D13*313)/(2-113)	0	=1-L13	=M13*N14	=K13*(1/N13)	=O13/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O13/\$D\$35	=O13/\$D\$46	=SI(O13=MAX(O14:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O14:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U13,0)	
=D14*314)/(2-114)	0	=1-L14	=M14*N15	=K14*(1/N14)	=O14/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O14/\$D\$35	=O14/\$D\$46	=SI(O14=MAX(O15:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O15:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U14,0)	
=D15*315)/(2-115)	0,04	=1-L15	=M15*N16	=K15*(1/N15)	=O15/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O15/\$D\$35	=O15/\$D\$46	=SI(O15=MAX(O16:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O16:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U15,0)	
=D16*316)/(2-116)	0	=1-L16	=M16*N17	=K16*(1/N16)	=O16/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O16/\$D\$35	=O16/\$D\$46	=SI(O16=MAX(O17:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O17:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U16,0)	
=D17*317)/(2-117)	0,02	=1-L17	=M17*N18	=K17*(1/N17)	=O17/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O17/\$D\$35	=O17/\$D\$46	=SI(O17=MAX(O18:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O18:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U17,0)	
=D18*318)/(2-118)	0	=1-L18	=M18*N19	=K18*(1/N18)	=O18/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O18/\$D\$35	=O18/\$D\$46	=SI(O18=MAX(O19:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O19:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U18,0)	
=D19*319)/(2-119)	0	=1-L19	=M19	=K19*(1/N19)	=O19/MAX(\$O\$6:\$O\$19)	=O19/\$D\$35	=O19/\$D\$46	=SI(O19=MAX(O20:\$O\$6:\$O\$19);MAX(O20:\$O\$6:\$=REDONDEAR.MAS(U19,0)	



Fuente: Elaboración propia

Figura 41 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.3

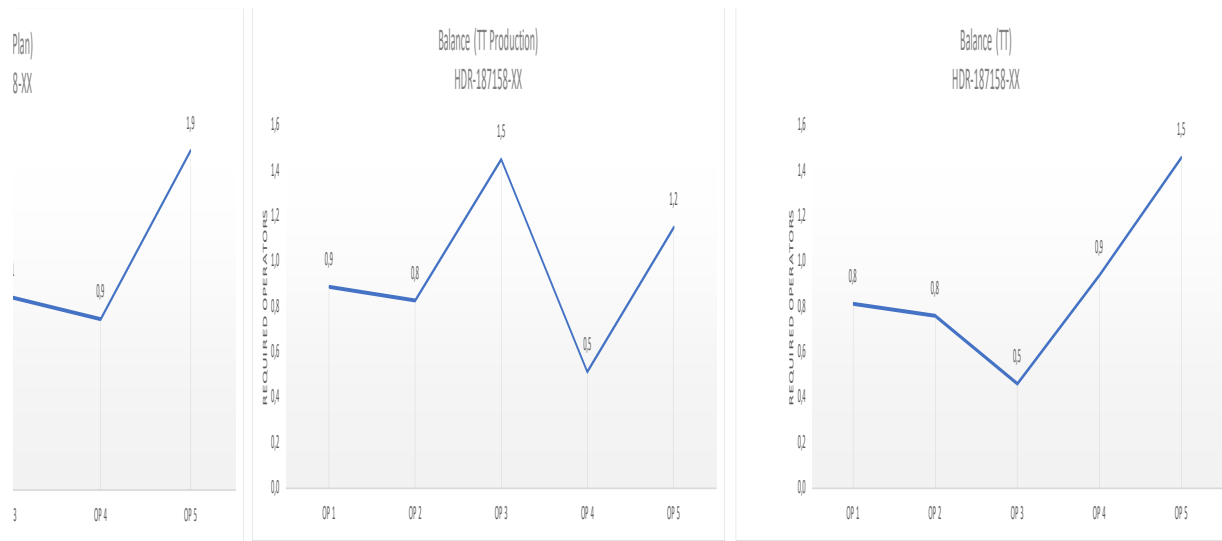
Balance de línea	=+C24	=+C35	=+C46
Process	A. Estación	A. Estación	A. Estación
HOT BAR 1	OP 1	OP 1	OP 1
100% INSPECTION/REPAIR	OP 2	OP 3	OP 3
HOT BAR 2	OP 3	OP 2	OP 2
100% INSPECTION/REPAIR (2)	OP 4	OP 3	OP 4
100% ELECTRICAL TEST	OP 3	OP 3	OP 4
REWORK	OP 4	OP 3	OP 4
ADD EPOXY	OP 5	OP 4	OP 5
BAKE	OP 5	OP 4	OP 4
HUMIDITY CHAMBER	OP 5	OP 4	OP 5
LEAKAGE TEST	OP 5	OP 5	OP 5
ADD HOUSING T2/T3	OP 5	OP 5	OP 5
100% FINAL E-TEST/STAMP	OP 5	OP 5	OP 5
CLEAN & LABEL	OP 5	OP 5	OP 5
PACKAGE	OP 5	OP 5	OP 5



Operador	T STD / TT MAX	T STD / TT OUT	T STD / TT PEOPLE
OP 1	=SUMAR.SI(\$P\$6:\$P\$19;C72;\$Q\$6:\$Q\$19)	=SUMAR.SI(\$R\$6:\$R\$19;C72;\$S\$6:\$S\$19)	=SUMAR.SI(\$T\$6:\$T\$19;C72)
OP 2	=SUMAR.SI(\$P\$6:\$P\$19;C73;\$Q\$6:\$Q\$19)	=SUMAR.SI(\$R\$6:\$R\$19;C73;\$S\$6:\$S\$19)	=SUMAR.SI(\$T\$6:\$T\$19;C73)
OP 3	=SUMAR.SI(\$P\$6:\$P\$19;C74;\$Q\$6:\$Q\$19)	=SUMAR.SI(\$R\$6:\$R\$19;C74;\$S\$6:\$S\$19)	=SUMAR.SI(\$T\$6:\$T\$19;C74)
OP 4	=SUMAR.SI(\$P\$6:\$P\$19;C75;\$Q\$6:\$Q\$19)	=SUMAR.SI(\$R\$6:\$R\$19;C75;\$S\$6:\$S\$19)	=SUMAR.SI(\$T\$6:\$T\$19;C75)
OP 5	=SUMAR.SI(\$P\$6:\$P\$19;C76;\$Q\$6:\$Q\$19)	=SUMAR.SI(\$R\$6:\$R\$19;C76;\$S\$6:\$S\$19)	=SUMAR.SI(\$T\$6:\$T\$19;C76)
Eficiencia	=PROMEDIO(D72:D76)/MAX(D72:D76)	=PROMEDIO(E72:E76)/MAX(E72:E76)	=PROMEDIO(F72:F76)/MAX(F72:F76)

Fuente: Elaboración propia

Figura 42 Herramienta HDR-187158-XX- formulas 1.4



Fuente: Elaboración Propia

Apéndice 4 Fórmulas de Herramienta en Excel del HDR-191555-XX

Figura 43 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.1

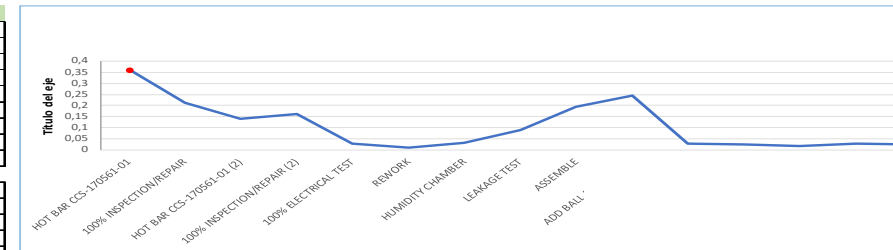
Process	HDR-191555-XX Required Hours	#Estaciones	Rec. Reales	Rec. STD	T disp	Eficiencia	Utilizacion
CUT CABLE TO LENGTH	0,111111	1	21,5	21,5	=E4*D4	=1-((E4-F4)/E4)	=+F4/G4
CABLE PREP CCS-170561-01-TB	0,588	1	21,5	21,5	=E5*D5	=1-((E5-F5)/E5)	=+F5/G5
HOT BAR CCS-170561-01	0,332584259259259	1	24	21,5	=E6*D6	=1-((E6-F6)/E6)	=+F6/G6
100% INSPECTION/REPAIR	0,171605555555556	1	21,5	21,5	=E7*D7	=1-((E7-F7)/E7)	=+F7/G7
HOT BAR CCS-170561-01 (2)	0,144914907407407	1	24	21,5	=E8*D8	=1-((E8-F8)/E8)	=+F8/G8
100% INSPECTION/REPAIR (2)	0,138319444444444	1	21,5	21,5	=E9*D9	=1-((E9-F9)/E9)	=+F9/G9
100% ELECTRICAL TEST	0,0155339444444444	=1/2	24	21,5	=E10*D10	=1-((E10-F10)/E10)	=+F10/G10
REWORK	0,01	1	21,5	21,5	=E11*D11	=1-((E11-F11)/E11)	=+F11/G11
HUMIDITY CHAMBER	0,036416666666667	1	24	21,5	=E12*D12	=1-((E12-F12)/E12)	=+F12/G12
LEAKAGE TEST	0,1035	1	24	21,5	=E13*D13	=1-((E13-F13)/E13)	=+F13/G13
ASSEMBLE	0,187434666666667	1	21,5	21,5	=E14*D14	=1-((E14-F14)/E14)	=+F14/G14
ADD BALL BEARINGS & LOAD SUBS	0,233843981481481	1	21,5	21,5	=E15*D15	=1-((E15-F15)/E15)	=+F15/G15
ADD ROLL PINS	0,0294101851851852	1	21,5	21,5	=E16*D16	=1-((E16-F16)/E16)	=+F16/G16
ADD CONNECTOR TO J1	0,023787962962963	1	21,5	21,5	=E17*D17	=1-((E17-F17)/E17)	=+F17/G17
ADD ALIGNMENT PINS	0,0159290972222222	1	21,5	21,5	=E18*D18	=1-((E18-F18)/E18)	=+F18/G18
ADD SCREWS	0,0266842592592593	1	21,5	21,5	=E19*D19	=1-((E19-F19)/E19)	=+F19/G19
100% ELECTRICAL TEST	0,0155339444444444	0,5	24	21,5	=E20*D20	=1-((E20-F20)/E20)	=+F20/G20
ADD CAP TO J1	0,00575	1	21,5	21,5	=E21*D21	=1-((E21-F21)/E21)	=+F21/G21
ADD LABELS	0,198598611111111	1	21,5	21,5	=E22*D22	=1-((E22-F22)/E22)	=+F22/G22
ADD STRAP TO HOUSING	0,102009259259259	1	21,5	21,5	=E23*D23	=1-((E23-F23)/E23)	=+F23/G23
BAG	0,0572220833333333	1	21,5	21,5	=E24*D24	=1-((E24-F24)/E24)	=+F24/G24
VACUUM SEAL	0,0287342407407408	1	21,5	21,5	=E25*D25	=1-((E25-F25)/E25)	=+F25/G25
BOX PACKAGE 1	0,0319510462962963	1	21,5	21,5	=E26*D26	=1-((E26-F26)/E26)	=+F26/G26

All calculations leave Cable Preparation out because of the OMM

What if: Maximum Capacity			
# Shifts	3	Enter the # of shifts running	
TT production	=MAX(N6:N26)		
PPH	=REDONDEAR.MENOS(1/C31;0)		
	1	0,9	0,8
Output per Shift	=7,25/C31	=C34*0,9	=C34*0,8
Output per Day	=C34*C30	=C35*0,9	=C35*0,8
Output per Week	=C35*3	=C36*0,9	=C36*0,8
People Required	=REDONDEAR.MAS(SUMA(P6:P26);		

What if: Planned Capacity by Output			
Output Required per Week	209	Enter the Output required	
# Shifts	3	Enter the # of shifts running	
TT plan	=(7,25*C41*5)/C40		
PPH	=1/C42		
	1	0,9	0,8
Output per Shift	=7,25/C42	=C45*0,9	=C45*0,8
Output per Day	=C45*C41	=C46*0,9	=C46*0,8
Output per Week	=C46*3	=C47*0,9	=C47*0,8
People Required	=REDONDEAR.MAS(SUMA(R6:R26);		

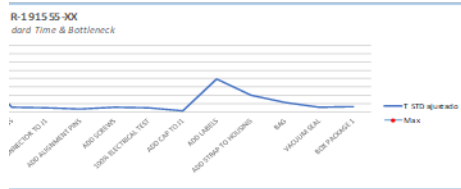
What if: Planned Capacity by People			
People Available	=REDONDEAR.MAS(SUMA(T6:T26);		
# Shifts	3	Enter the # of shifts running	
TT	0,5188	Change Takt Time until reaching the # of operators desired	
PPH	=REDONDEAR.MENOS(1/C53;0)		
	1	0,9	0,8
Output per Shift	=7,25/C53	=C56*0,9	=C56*0,8
Output per Day	=C56*C52	=C57*0,9	=C57*0,8
Output per Week	=C57*3	=C58*0,9	=C58*0,8



Fuente: Elaboración Propia

Figura 44 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.2

ESTD	% Scrap	Yield %	TT	T STD ajustado	T STD / TT MAX	T STD / TT OUT	T STD / TT PEOPLE	Max	FORMULA
[(C4*F10)/(2-H6)]	0	=1-K6	=L4*H6	=D4*(1/H6)	=E4/MAX(B6:B6;B6*(B6/B6))	=B6/C4*2	=B6/C4*2	=MAX(N5;S5A5;S5B5;S5C5;S5D5;S5E5;S5F5;S5G5;S5H5;S5I5;S5J5;S5K5;S5L5;S5M5;S5N5;S5O5;S5P5;S5Q5;S5R5;S5S5;S5T5;S5U5;S5V5;S5W5;S5X5;S5Y5;S5Z5)	=S5N 4=MAX(N5;S5A5;S5B5;S5C5;S5D5;S5E5;S5F5;S5G5;S5H5;S5I5;S5J5;S5K5;S5L5;S5M5;S5N5;S5O5;S5P5;S5Q5;S5R5;S5S5;S5T5;S5U5;S5V5;S5W5;S5X5;S5Y5;S5Z5)
[(C5*F10)/(2-H5)]	0	=1-K5	=L5*H5	=D5*(1/H5)	=E5/MAX(B5:B5;B5*(B5/B5))	=B5/C5*2	=B5/C5*2	=MAX(N6;S6A6;S6B6;S6C6;S6D6;S6E6;S6F6;S6G6;S6H6;S6I6;S6J6;S6K6;S6L6;S6M6;S6N6;S6O6;S6P6;S6Q6;S6R6;S6S6;S6T6;S6U6;S6V6;S6W6;S6X6;S6Y6;S6Z6)	=S6N 5=MAX(N6;S6A6;S6B6;S6C6;S6D6;S6E6;S6F6;S6G6;S6H6;S6I6;S6J6;S6K6;S6L6;S6M6;S6N6;S6O6;S6P6;S6Q6;S6R6;S6S6;S6T6;S6U6;S6V6;S6W6;S6X6;S6Y6;S6Z6)
[(C6*F10)/(2-H6)]	0,08	=1-K6	=L6*H6	=D6*(1/H6)	=E6/MAX(B6:B6;B6*(B6/B6))	=B6/C6*2	=B6/C6*2	=MAX(N7;S7A7;S7B7;S7C7;S7D7;S7E7;S7F7;S7G7;S7H7;S7I7;S7J7;S7K7;S7L7;S7M7;S7N7;S7O7;S7P7;S7Q7;S7R7;S7S7;S7T7;S7U7;S7V7;S7W7;S7X7;S7Y7;S7Z7)	=S7N 6=MAX(N7;S7A7;S7B7;S7C7;S7D7;S7E7;S7F7;S7G7;S7H7;S7I7;S7J7;S7K7;S7L7;S7M7;S7N7;S7O7;S7P7;S7Q7;S7R7;S7S7;S7T7;S7U7;S7V7;S7W7;S7X7;S7Y7;S7Z7)
[(C7*F10)/(2-H7)]	0,04	=1-K7	=L7*H7	=D7*(1/H7)	=E7/MAX(B7:B7;B7*(B7/B7))	=B7/C7*2	=B7/C7*2	=MAX(N8;S8A8;S8B8;S8C8;S8D8;S8E8;S8F8;S8G8;S8H8;S8I8;S8J8;S8K8;S8L8;S8M8;S8N8;S8O8;S8P8;S8Q8;S8R8;S8S8;S8T8;S8U8;S8V8;S8W8;S8X8;S8Y8;S8Z8)	=S8N 7=MAX(N8;S8A8;S8B8;S8C8;S8D8;S8E8;S8F8;S8G8;S8H8;S8I8;S8J8;S8K8;S8L8;S8M8;S8N8;S8O8;S8P8;S8Q8;S8R8;S8S8;S8T8;S8U8;S8V8;S8W8;S8X8;S8Y8;S8Z8)
[(C8*F10)/(2-H8)]	0,02	=1-K8	=L8*H8	=D8*(1/H8)	=E8/MAX(B8:B8;B8*(B8/B8))	=B8/C8*2	=B8/C8*2	=MAX(N9;S9A9;S9B9;S9C9;S9D9;S9E9;S9F9;S9G9;S9H9;S9I9;S9J9;S9K9;S9L9;S9M9;S9N9;S9O9;S9P9;S9Q9;S9R9;S9S9;S9T9;S9U9;S9V9;S9W9;S9X9;S9Y9;S9Z9)	=S9N 8=MAX(N9;S9A9;S9B9;S9C9;S9D9;S9E9;S9F9;S9G9;S9H9;S9I9;S9J9;S9K9;S9L9;S9M9;S9N9;S9O9;S9P9;S9Q9;S9R9;S9S9;S9T9;S9U9;S9V9;S9W9;S9X9;S9Y9;S9Z9)
[(C9*F10)/(2-H9)]	0,02	=1-K9	=L9*H9	=D9*(1/H9)	=E9/MAX(B9:B9;B9*(B9/B9))	=B9/C9*2	=B9/C9*2	=MAX(N10;S10A10;S10B10;S10C10;S10D10;S10E10;S10F10;S10G10;S10H10;S10I10;S10J10;S10K10;S10L10;S10M10;S10N10;S10O10;S10P10;S10Q10;S10R10;S10S10;S10T10;S10U10;S10V10;S10W10;S10X10;S10Y10;S10Z10)	=S10N 9=MAX(N10;S10A10;S10B10;S10C10;S10D10;S10E10;S10F10;S10G10;S10H10;S10I10;S10J10;S10K10;S10L10;S10M10;S10N10;S10O10;S10P10;S10Q10;S10R10;S10S10;S10T10;S10U10;S10V10;S10W10;S10X10;S10Y10;S10Z10)
[(C10*F10)/(2-H10)]	0	=1-K10	=L10*H10	=D10*(1/H10)	=E10/MAX(B10:B10;B10*(B10/B10))	=B10/C10*2	=B10/C10*2	=MAX(N11;S11A11;S11B11;S11C11;S11D11;S11E11;S11F11;S11G11;S11H11;S11I11;S11J11;S11K11;S11L11;S11M11;S11N11;S11O11;S11P11;S11Q11;S11R11;S11S11;S11T11;S11U11;S11V11;S11W11;S11X11;S11Y11;S11Z11)	=S11N 10=MAX(N11;S11A11;S11B11;S11C11;S11D11;S11E11;S11F11;S11G11;S11H11;S11I11;S11J11;S11K11;S11L11;S11M11;S11N11;S11O11;S11P11;S11Q11;S11R11;S11S11;S11T11;S11U11;S11V11;S11W11;S11X11;S11Y11;S11Z11)
[(C11*F11)/(2-H11)]	0,02	=1-K11	=L11*H11	=D11*(1/H11)	=E11/MAX(B11:B11;B11*(B11/B11))	=B11/C11*2	=B11/C11*2	=MAX(N12;S12A12;S12B12;S12C12;S12D12;S12E12;S12F12;S12G12;S12H12;S12I12;S12J12;S12K12;S12L12;S12M12;S12N12;S12O12;S12P12;S12Q12;S12R12;S12S12;S12T12;S12U12;S12V12;S12W12;S12X12;S12Y12;S12Z12)	=S12N 11=MAX(N12;S12A12;S12B12;S12C12;S12D12;S12E12;S12F12;S12G12;S12H12;S12I12;S12J12;S12K12;S12L12;S12M12;S12N12;S12O12;S12P12;S12Q12;S12R12;S12S12;S12T12;S12U12;S12V12;S12W12;S12X12;S12Y12;S12Z12)
[(C12*F12)/(2-H12)]	0	=1-K12	=L12*H12	=D12*(1/H12)	=E12/MAX(B12:B12;B12*(B12/B12))	=B12/C12*2	=B12/C12*2	=MAX(N13;S13A13;S13B13;S13C13;S13D13;S13E13;S13F13;S13G13;S13H13;S13I13;S13J13;S13K13;S13L13;S13M13;S13N13;S13O13;S13P13;S13Q13;S13R13;S13S13;S13T13;S13U13;S13V13;S13W13;S13X13;S13Y13;S13Z13)	=S13N 12=MAX(N13;S13A13;S13B13;S13C13;S13D13;S13E13;S13F13;S13G13;S13H13;S13I13;S13J13;S13K13;S13L13;S13M13;S13N13;S13O13;S13P13;S13Q13;S13R13;S13S13;S13T13;S13U13;S13V13;S13W13;S13X13;S13Y13;S13Z13)
[(C13*F13)/(2-H13)]	0,04	=1-K13	=L13*H13	=D13*(1/H13)	=E13/MAX(B13:B13;B13*(B13/B13))	=B13/C13*2	=B13/C13*2	=MAX(N14;S14A14;S14B14;S14C14;S14D14;S14E14;S14F14;S14G14;S14H14;S14I14;S14J14;S14K14;S14L14;S14M14;S14N14;S14O14;S14P14;S14Q14;S14R14;S14S14;S14T14;S14U14;S14V14;S14W14;S14X14;S14Y14;S14Z14)	=S14N 13=MAX(N14;S14A14;S14B14;S14C14;S14D14;S14E14;S14F14;S14G14;S14H14;S14I14;S14J14;S14K14;S14L14;S14M14;S14N14;S14O14;S14P14;S14Q14;S14R14;S14S14;S14T14;S14U14;S14V14;S14W14;S14X14;S14Y14;S14Z14)
[(C14*F14)/(2-H14)]	0	=1-K14	=L14*H14	=D14*(1/H14)	=E14/MAX(B14:B14;B14*(B14/B14))	=B14/C14*2	=B14/C14*2	=MAX(N15;S15A15;S15B15;S15C15;S15D15;S15E15;S15F15;S15G15;S15H15;S15I15;S15J15;S15K15;S15L15;S15M15;S15N15;S15O15;S15P15;S15Q15;S15R15;S15S15;S15T15;S15U15;S15V15;S15W15;S15X15;S15Y15;S15Z15)	=S15N 14=MAX(N15;S15A15;S15B15;S15C15;S15D15;S15E15;S15F15;S15G15;S15H15;S15I15;S15J15;S15K15;S15L15;S15M15;S15N15;S15O15;S15P15;S15Q15;S15R15;S15S15;S15T15;S15U15;S15V15;S15W15;S15X15;S15Y15;S15Z15)
[(C15*F15)/(2-H15)]	0	=1-K15	=L15*H15	=D15*(1/H15)	=E15/MAX(B15:B15;B15*(B15/B15))	=B15/C15*2	=B15/C15*2	=MAX(N16;S16A16;S16B16;S16C16;S16D16;S16E16;S16F16;S16G16;S16H16;S16I16;S16J16;S16K16;S16L16;S16M16;S16N16;S16O16;S16P16;S16Q16;S16R16;S16S16;S16T16;S16U16;S16V16;S16W16;S16X16;S16Y16;S16Z16)	=S16N 15=MAX(N16;S16A16;S16B16;S16C16;S16D16;S16E16;S16F16;S16G16;S16H16;S16I16;S16J16;S16K16;S16L16;S16M16;S16N16;S16O16;S16P16;S16Q16;S16R16;S16S16;S16T16;S16U16;S16V16;S16W16;S16X16;S16Y16;S16Z16)
[(C16*F16)/(2-H16)]	0	=1-K16	=L16*H16	=D16*(1/H16)	=E16/MAX(B16:B16;B16*(B16/B16))	=B16/C16*2	=B16/C16*2	=MAX(N17;S17A17;S17B17;S17C17;S17D17;S17E17;S17F17;S17G17;S17H17;S17I17;S17J17;S17K17;S17L17;S17M17;S17N17;S17O17;S17P17;S17Q17;S17R17;S17S17;S17T17;S17U17;S17V17;S17W17;S17X17;S17Y17;S17Z17)	=S17N 16=MAX(N17;S17A17;S17B17;S17C17;S17D17;S17E17;S17F17;S17G17;S17H17;S17I17;S17J17;S17K17;S17L17;S17M17;S17N17;S17O17;S17P17;S17Q17;S17R17;S17S17;S17T17;S17U17;S17V17;S17W17;S17X17;S17Y17;S17Z17)
[(C17*F17)/(2-H17)]	0,02	=1-K17	=L17*H17	=D17*(1/H17)	=E17/MAX(B17:B17;B17*(B17/B17))	=B17/C17*2	=B17/C17*2	=MAX(N18;S18A18;S18B18;S18C18;S18D18;S18E18;S18F18;S18G18;S18H18;S18I18;S18J18;S18K18;S18L18;S18M18;S18N18;S18O18;S18P18;S18Q18;S18R18;S18S18;S18T18;S18U18;S18V18;S18W18;S18X18;S18Y18;S18Z18)	=S18N 17=MAX(N18;S18A18;S18B18;S18C18;S18D18;S18E18;S18F18;S18G18;S18H18;S18I18;S18J18;S18K18;S18L18;S18M18;S18N18;S18O18;S18P18;S18Q18;S18R18;S18S18;S18T18;S18U18;S18V18;S18W18;S18X18;S18Y18;S18Z18)
[(C18*F18)/(2-H18)]	0	=1-K18	=L18*H18	=D18*(1/H18)	=E18/MAX(B18:B18;B18*(B18/B18))	=B18/C18*2	=B18/C18*2	=MAX(N19;S19A19;S19B19;S19C19;S19D19;S19E19;S19F19;S19G19;S19H19;S19I19;S19J19;S19K19;S19L19;S19M19;S19N19;S19O19;S19P19;S19Q19;S19R19;S19S19;S19T19;S19U19;S19V19;S19W19;S19X19;S19Y19;S19Z19)	=S19N 18=MAX(N19;S19A19;S19B19;S19C19;S19D19;S19E19;S19F19;S19G19;S19H19;S19I19;S19J19;S19K19;S19L19;S19M19;S19N19;S19O19;S19P19;S19Q19;S19R19;S19S19;S19T19;S19U19;S19V19;S19W19;S19X19;S19Y19;S19Z19)
[(C19*F19)/(2-H19)]	0	=1-K19	=L19*H19	=D19*(1/H19)	=E19/MAX(B19:B19;B19*(B19/B19))	=B19/C19*2	=B19/C19*2	=MAX(N20;S20A20;S20B20;S20C20;S20D20;S20E20;S20F20;S20G20;S20H20;S20I20;S20J20;S20K20;S20L20;S20M20;S20N20;S20O20;S20P20;S20Q20;S20R20;S20S20;S20T20;S20U20;S20V20;S20W20;S20X20;S20Y20;S20Z20)	=S20N 19=MAX(N20;S20A20;S20B20;S20C20;S20D20;S20E20;S20F20;S20G20;S20H20;S20I20;S20J20;S20K20;S20L20;S20M20;S20N20;S20O20;S20P20;S20Q20;S20R20;S20S20;S20T20;S20U20;S20V20;S20W20;S20X20;S20Y20;S20Z20)
[(C20*F20)/(2-H20)]	0,02	=1-K20	=L20*H20	=D20*(1/H20)	=E20/MAX(B20:B20;B20*(B20/B20))	=B20/C20*2	=B20/C20*2	=MAX(N21;S21A21;S21B21;S21C21;S21D21;S21E21;S21F21;S21G21;S21H21;S21I21;S21J21;S21K21;S21L21;S21M21;S21N21;S21O21;S21P21;S21Q21;S21R21;S21S21;S21T21;S21U21;S21V21;S21W21;S21X21;S21Y21;S21Z21)	=S21N 20=MAX(N21;S21A21;S21B21;S21C21;S21D21;S21E21;S21F21;S21G21;S21H21;S21I21;S21J21;S21K21;S21L21;S21M21;S21N21;S21O21;S21P21;S21Q21;S21R21;S21S21;S21T21;S21U21;S21V21;S21W21;S21X21;S21Y21;S21Z21)
[(C21*F21)/(2-H21)]	0	=1-K21	=L21*H21	=D21*(1/H21)	=E21/MAX(B21:B21;B21*(B21/B21))	=B21/C21*2	=B21/C21*2	=MAX(N22;S22A22;S22B22;S22C22;S22D22;S22E22;S22F22;S22G22;S22H22;S22I22;S22J22;S22K22;S22L22;S22M22;S22N22;S22O22;S22P22;S22Q22;S22R22;S22S22;S22T22;S22U22;S22V22;S22W22;S22X22;S22Y22;S22Z22)	=S22N 21=MAX(N22;S22A22;S22B22;S22C22;S22D22;S22E22;S22F22;S22G22;S22H22;S22I22;S22J22;S22K22;S22L22;S22M22;S22N22;S22O22;S22P22;S22Q22;S22R22;S22S22;S22T22;S22U22;S22V22;S22W22;S22X22;S22Y22;S22Z22)
[(C22*F22)/(2-H22)]	0	=1-K22	=L22*H22	=D22*(1/H22)	=E22/MAX(B22:B22;B22*(B22/B22))	=B22/C22*2	=B22/C22*2	=MAX(N23;S23A23;S23B23;S23C23;S23D23;S23E23;S23F23;S23G23;S23H23;S23I23;S23J23;S23K23;S23L23;S23M23;S23N23;S23O23;S23P23;S23Q23;S23R23;S23S23;S23T23;S23U23;S23V23;S23W23;S23X23;S23Y23;S23Z23)	=S23N 22=MAX(N23;S23A23;S23B23;S23C23;S23D23;S23E23;S23F23;S23G23;S23H23;S23I23;S23J23;S23K23;S23L23;S23M23;S23N23;S23O23;S23P23;S23Q23;S23R23;S23S23;S23T23;S23U23;S23V23;S23W23;S23X23;S23Y23;S23Z23)
[(C23*F23)/(2-H23)]	0	=1-K23	=L23*H23	=D23*(1/H23)	=E23/MAX(B23:B23;B23*(B23/B23))	=B23/C23*2	=B23/C23*2	=MAX(N24;S24A24;S24B24;S24C24;S24D24;S24E24;S24F24;S24G24;S24H24;S24I24;S24J24;S24K24;S24L24;S24M24;S24N24;S24O24;S24P24;S24Q24;S24R24;S24S24;S24T24;S24U24;S24V24;S24W24;S24X24;S24Y24;S24Z24)	=S24N 23=MAX(N24;S24A24;S24B24;S24C24;S24D24;S24E24;S24F24;S24G24;S24H24;S24I24;S24J24;S24K24;S24L24;S24M24;S24N24;S24O24;S24P24;S24Q24;S24R24;S24S24;S24T24;S24U24;S24V24;S24W24;S24X24;S24Y24;S24Z24)
[(C24*F24)/(2-H24)]	0	=1-K24	=L24*H24	=D24*(1/H24)	=E24/MAX(B24:B24;B24*(B24/B24))	=B24/C24*2	=B24/C24*2	=MAX(N25;S25A25;S25B25;S25C25;S25D25;S25E25;S25F25;S25G25;S25H25;S25I25;S25J25;S25K25;S25L25;S25M25;S25N25;S25O25;S25P25;S25Q25;S25R25;S25S25;S25T25;S25U25;S25V25;S25W25;S25X25;S25Y25;S25Z25)	=S25N 24=MAX(N25;S25A25;S25B25;S25C25;S25D25;S25E25;S25F25;S25G25;S25H25;S25I25;S25J25;S25K25;S25L25;S25M25;S25N25;S25O25;S25P25;S25Q25;S25R25;S25S25;S25T25;S25U25;S25V25;S25W25;S25X25;S25Y25;S25Z25)
[(C25*F25)/(2-H25)]	0	=1-K25	=L25*H25	=D25*(1/H25)	=E25/MAX(B25:B25;B25*(B25/B25))	=B25/C25*2	=B25/C25*2	=MAX(N26;S26A26;S26B26;S26C26;S26D26;S26E26;S26F26;S26G26;S26H26;S26I26;S26J26;S26K26;S26L26;S26M26;S26N26;S26O26;S26P26;S26Q26;S26R26;S26S26;S26T26;S26U26;S26V26;S26W26;S26X26;S26Y26;S26Z26)	=S26N 25=MAX(N26;S26A26;S26B26;S26C26;S26D26;S26E26;S26F26;S26G26;S26H26;S26I26;S26J26;S26K26;S26L26;S26M26;S26N26;S26O26;S26P26;S26Q26;S26R26;S26S26;S26T26;S26U26;S26V26;S26W26;S26X26;S26Y26;S26Z26)
[(C26*F26)/(2-H26)]	0	=1-K26	=L26*H26	=D26*(1/H26)	=E26/MAX(B26:B26;B26*(B26/B26))	=B26/C26*2	=B26/C26*2	=MAX(N27;S27A27;S27B27;S27C27;S27D27;S27E27;S27F27;S27G27;S27H27;S27I27;S27J27;S27K27;S27L27;S27M27;S27N27;S27O27;S27P27;S27Q27;S27R27;S27S27;S27T27;S27U27;S27V27;S27W27;S27X27;S27Y27;S27Z27)	=S27N 26=MAX(N27;S27A27;S27B27;S27C27;S27D27;S27E27;S27F27;S27G27;S27H27;S27I27;S27J27;S27K27;S27L27;S27M27;S27N27;S27O27;S27P27;S27Q27;S27R27;S27S27;S27T27;S27U27;S27V27;S27W27;S27X27;S27Y27;S27Z27)



[Empty box]

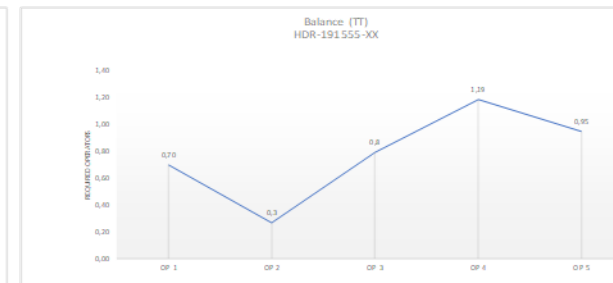
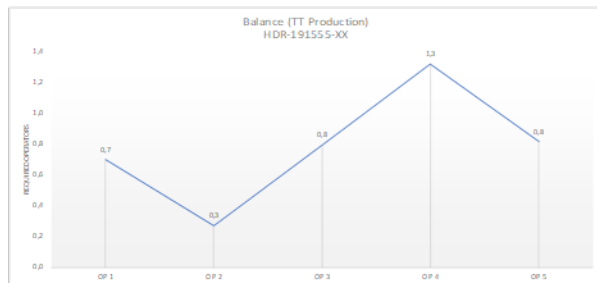
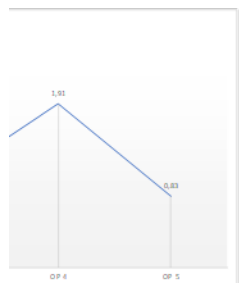


Figura 45 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.3

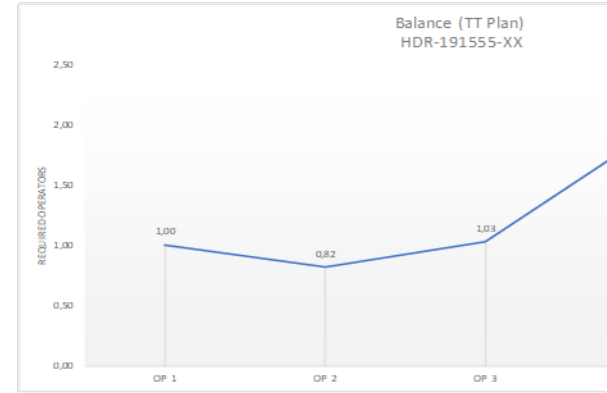
What If: Planned Capacity by People			
People Available	=REDONDEAR.MAS(SUMA(T6:T26))		
# Shifts	3	Enter the # of shifts running	
TT	0.5188	Change Takt Time until reaching the # of operators desired	
PPH	=REDONDEAR.MENOS(1/C53,0)		
	1	0,9	0,8
Output per Shift	=7,25/C53	=C56*0,9	=C56*0,8
Output per Day	=C56*C52	=C57*0,9	=C57*0,8
Output per Week	=C57*3	=C58*0,9	=C58*0,8

Balance de línea	=+B31	=+B42	=+B53
Process	A. Estación	A. Estación	A. Estación
HOT BAR CCS-170561-01	OP 1	OP 1	OP 1
100% INSPECTION/REPAIR	OP 3	OP 3	OP 3
HOT BAR CCS-170561-01 (2)	OP 2	OP 2	OP 2
100% INSPECTION/REPAIR (2)	OP 3	OP 3	OP 3
100% ELECTRICAL TEST	OP 2	OP 3	OP 3
REWORK	OP 2	OP 3	OP 3
HUMIDITY CHAMBER	OP 4	OP 4	OP 4
LEAKAGE TEST	OP 4	OP 4	OP 4
ASSEMBLE	OP 4	OP 4	OP 4
ADD BALL BEARINGS & LOAD SUBS	OP 4	OP 4	OP 4
ADD ROLL PINS	OP 4	OP 4	OP 4
ADD CONNECTOR TO J1	OP 4	OP 4	OP 4
ADD ALIGNMENT PINS	OP 4	OP 4	OP 5
ADD SCREWS	OP 4	OP 4	OP 5
100% ELECTRICAL TEST	OP 4	OP 4	OP 5
ADD CAP TO J1	OP 4	OP 5	OP 5
ADD LABELS	OP 5	OP 5	OP 5
ADD STRAP TO HOUSING	OP 5	OP 5	OP 5
BAG	OP 2	OP 5	OP 5
VACUUM SEAL	OP 2	OP 5	OP 5
BOX PACKAGE 1	OP 2	OP 5	OP 5

Operator	T STD / TT MAX	T STD / TT OUT	T STD / TT PEOPLE
OP 1	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B86;SP56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B86;SR56:SR526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B86;ST56:ST526)
OP 2	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B87;SP56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B87;SR56:SR526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B87;ST56:ST526)
OP 3	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B88;SP56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B88;SR56:SR526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B88;ST56:ST526)
OP 4	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B89;SP56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B89;SR56:SR526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B89;ST56:ST526)
OP 5	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B90;SP56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B90;SR56:SR526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B90;ST56:ST526)
Eficiencia	=PROMEDIO(C86:C90)/MAX(C86:C90)	=PROMEDIO(D86:D90)/MAX(D86:D90)	=PROMEDIO(E86:E90)/MAX(E86:E90)

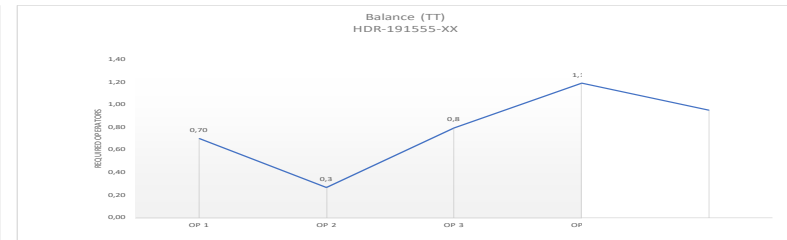
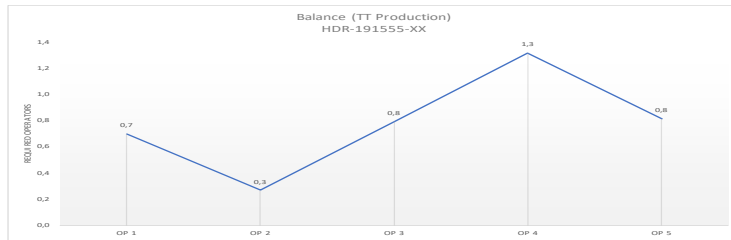
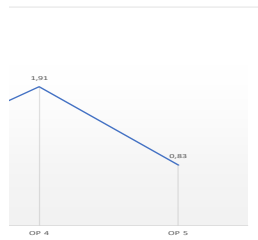
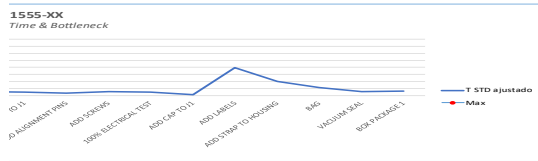
Nombre	Formula
TT Max	T STD ajustado/TT producción
TT OUT	T STD ajustado/TT Plan
TT People	T STD ajustado/TT

Operator	T STD / TT MAX	T STD / TT OUT	T STD / TT PEOPLE
OP 1	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B105;SN56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B105;SN56:SN526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B105;SN56:SN526)
OP 2	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B106;SN56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B106;SN56:SN526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B106;SN56:SN526)
OP 3	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B107;SN56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B107;SN56:SN526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B107;SN56:SN526)
OP 4	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B108;SN56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B108;SN56:SN526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B108;SN56:SN526)
OP 5	=SUMAR.SI(SO56:SO526;B109;SN56)	=SUMAR.SI(SO56:SQ526;B109;SN56:SN526)	=SUMAR.SI(SS56:SS526;B109;SN56:SN526)
Eficiencia	=PROMEDIO(C105:C109)/MAX(C105:C109)	=PROMEDIO(D105:D109)/MAX(D105:D109)	=PROMEDIO(E105:E109)/MAX(E105:E109)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46 Herramienta HDR-191555-XX- formulas 1.4



Fuente: Elaboración Propia.

6.5.1 Glosario

Alineamiento: En el contexto del Capítulo IV, se refiere a la alineación precisa de componentes en la producción.

Balance de línea: Distribución equitativa del trabajo en una línea de producción.

Beneficio/costo (B/C): Fórmula utilizada para evaluar la relación entre los beneficios y los costos de un proyecto.

Cumplimiento de entregas a tiempo (OTD): Capacidad para entregar productos a los clientes según los plazos acordados.

Eficiencia operativa: Mejorar la forma en que se realizan las operaciones para utilizar recursos de manera más eficiente.

Entrenamiento cruzado: Programa que permite a los operarios aprender múltiples tareas en la línea de producción.

Estación de alineamiento: Un área en el proceso de producción que se utiliza para alinear los conductores de los cables de manera precisa en las tarjetas.

Estudios de ergonomía: Investigaciones sobre la eficiencia y seguridad del entorno de trabajo, especialmente en relación con la salud de los trabajadores.

Índices de calidad: Métricas utilizadas para evaluar la calidad de los productos fabricados.

Nextest: El nombre del cliente, En el contexto de la empresa se nombra la línea de producción con el nombre del cliente al que se dedica.

Número de parte: Componentes o productos específicos que se producen en la línea de producción.

Optimización de la línea de producción: La mejora de procesos y recursos en la fabricación de productos.