

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LOS
PROCESOS EN LA LÍNEA C6 EN VOQOR S.R.L.**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: LUIS GUILLERMO MIRANDA CORDERO

TUTOR: ING. SHIRLEY MORA VALERIO

**SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA
DICIEMBRE, 2022**

CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA	I
CÉDULA DE IDENTIDAD	II
SOLICITUD DE DEFENSA.....	III
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR	V
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO	VI
CARTA DE ENTENDIMIENTO.....	VII
CONTENIDO	VIII
TABLAS.....	XII
FIGURAS.....	XIV
DEDICATORIA	XVII
AGRADECIMIENTOS.....	XVIII
EPÍGRAFE	XIX
RESUMEN.....	XX
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 ANTECEDENTES	5
1.4.1 Antecedentes nacionales.....	5
1.4.2 Antecedentes internacionales.....	8
1.5 PROYECCIONES.....	11
1.5.1 Alcances	11
1.5.2 Limitaciones	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES	14
2.1.1 Metodología DMAIC.....	14

2.1.2 Project charter.....	16
2.1.3 Árbol de CTQ	17
2.1.4 Diagrama SIPOC	18
2.1.5 Diagramas de flujo	19
2.1.6 Diagramas de recorrido.....	21
2.1.7 Gráfica de comportamiento	23
2.1.8 Caminata gemba.....	24
2.1.9 Círculo de Ohno	25
2.1.10 Matriz de hipótesis	26
2.1.12 Lluvia de ideas	27
2.1.13 Diagrama de Ishikawa.....	28
2.1.14 Multivoto.....	29
2.1.15 Diagrama de Pareto	30
2.1.16 Diagrama de Gantt.....	31
2.1.17 Registros históricos.....	32
2.1.18 Técnica grupal.....	33
2.1.19 Retorno de Inversión.....	33
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.....	34
2.2.1 Visión/misión	34
2.2.2 Antecedentes históricos	34
2.2.3 Ubicación geográfica.....	36
2.2.4 Estructura organizacional.....	36
2.2.5 Cantidad de empleados	37
2.2.6 Tipos de productos.....	38
2.2.7 Mercado de exportación.....	39
2.2.8 Descripción general del proceso productivo	39
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	46
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	51
3.3.1 Sujetos de información.....	51

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	51
3.5 INSTRUMENTOS	54
3.5.1 Observación	54
3.5.2 Entrevista	55
3.5.3 Registros históricos	55
3.5.4 Técnica grupal (reunión)	55
3.5.5 Recorridos	55
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	56
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
4.1 DEFINIR	60
4.1.1 Project charter	61
4.1.2 Árbol de CTQ	63
4.1.3 Diagrama SIPOC	65
4.1.4 Diagramas de flujo	68
4.1.5 Diagrama de recorrido	85
4.2 MEDIR	90
4.2.1 Gráfico de comportamiento	90
4.2.2 Caminata gemba y círculo de Ohno	91
4.2.3 Matriz de hipótesis	92
4.2.4 Experimentos para cada hipótesis	94
4.3 ANALIZAR	105
4.3.1 Lluvia de ideas	105
4.3.2 Diagrama de Ishikawa	106
4.3.3 Multivoto	111
4.3.4 Diagrama de Pareto	114
CAPÍTULO V. PROPUESTA	117
5.1 MEJORAR	118
5.1.1 Alternativa de solución 1: Estandarización de reportes	118
5.1.2 Alternativa de solución 2: Cambiar la frecuencia de las inspecciones de calidad	122

5.1.3 Alternativa de solución 3: Implementación de un sistema de control de producción	130
5.1.4 Alternativa de solución 4: Distribución de los reportes de capacitación	134
5.2 CONTROLAR	134
5.2.1 Implementación del reporte estandarizado	134
5.2.2 Auditorías de producto	136
5.2.3 Reuniones diarias	138
5.2.4 Indicador de capacitación	139
5.2.5 Cuantificación de beneficios	140
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
CONCLUSIONES	144
RECOMENDACIONES	145
REFERENCIAS	147
APÉNDICES Y ANEXOS.....	152
APÉNDICE 1: LISTA DE CHEQUEO DE LA CAMINATA GEMBA.....	153
APÉNDICE 2: TOMA DE TIEMPOS.....	154
APÉNDICE 3: REPORTE DE INVENTARIO (PRIMER Y SEGUNDO BLOQUE).....	162
APÉNDICE 4: REPORTE DE INVENTARIO (TERCER BLOQUE).....	163
ANEXO 1: VALOR DEL EQUIPO FRT MICROPROF 300.....	164

TABLAS

Tabla 2.1: Ejemplo de un project charter	17
Tabla 2.2: Símbolos utilizados en la creación de diagramas de flujo	20
Tabla 2.3: Cantidad de empleados por área.....	37
Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico.....	53
Tabla 4.1: Unidades producidas en el 1º trimestre de 2022, VOQOR S.R.L.....	58
Tabla 4.2: Acta de constitución del proyecto (project charter)	62
Tabla 4.3: Tiempos de ciclo por semana en las líneas de producción.....	67
Tabla 4.4: Matriz de hipótesis para comprobar la información recopilada en el apéndice 1	93
Tabla 4.5: Especificaciones del grosor en el paso 1–Rectificado Posterior.....	98
Tabla 4.6: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TA.....	100
Tabla 4.7: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TB.....	101
Tabla 4.8: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TC.....	102
Tabla 4.9: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TD.....	102
Tabla 4.10: Resumen de las certificaciones pendientes por turno	103
Tabla 4.11: Resultados de matriz de hipótesis.....	104
Tabla 4.12: Lluvia de ideas de factores que generan la problemática en la línea C6- uBaw.....	106
Tabla 4.13: Multivoto de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw .	112
Tabla 4.14: Multivoto ordenado de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw.....	113
Tabla 4.15: Pareto de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw	114
Tabla 4.16: Factores principales según el diagrama de Pareto.....	116
Tabla 5.1: Costos generales de la propuesta 1	121
Tabla 5.2: Reducción del inventario en proceso de la línea C6-uBaw.....	122
Tabla 5.3: Costo de modificar procedimientos.....	128
Tabla 5.4: Costo de capacitadores	128
Tabla 5.5: Costo de capacitar al personal operativo.....	129
Tabla 5.6: Costo general de la propuesta 2.....	129

Tabla 5.7: Comparación del muestreo actual y el muestreo propuesto	130
Tabla 5.8: Costo del modelado de la línea C6-uBaw en el sistema de control de producción	132
Tabla 5.9: Costo de la capacitación.....	132
Tabla 5.10: Costo de impartir la capacitación	133
Tabla 5.11: Costo general de la propuesta 3.....	133
Tabla 5.12: Implementación del reporte de toma de inventario	135
Tabla 5.13: Rechazos mensuales de la línea C6-uBAW	141
Tabla 5.14: Datos esperados al implementar alternativas de mejora	141
Tabla 5.15: Implementación de las alternativas de solución en la línea C6-uBaw	142

FIGURAS

Figura 2.1: Etapas DMAIC.....	16
Figura 2.2: Ejemplo de un diagrama de CTQ	18
Figura 2.3: Diagrama SIPOC.....	19
Figura 2.4: Diagrama de reproducción de un DVD.....	20
Figura 2.5: Diagrama de recorrido de un supermercado	21
Figura 2.6: Simbología de los diagramas de recorrido	22
Figura 2.7: Ejemplo de un gráfico de comportamiento	23
Figura 2.8: Círculo de Ohno	25
Figura 2.9: Ejemplo de una matriz de hipótesis.....	26
Figura 2.11: Lluvia de ideas.....	27
Figura 2.12: Ejemplo de un diagrama de Ishikawa.....	28
Figura 2.13: Secuencia de multivoto	29
Figura 2.14: Ejemplo de Pareto	30
Figura 2.15: Ejemplo de un diagrama de Gantt.....	31
Figura 2.16: Mapa satelital de VOQOR S.R.L.	36
Figura 2.17: Organigrama de VOQOR S.R.L.	36
Figura 2.18: Diagrama de flujo de la línea C6-uBaw de VOQOR S.R.L.	39
Figura 2.19: Oblea antes de ser procesada.....	40
Figura 2.20: Oblea después de Laminado de Obleas.....	41
Figura 2.21: Oblea después de Aplicado de Resina.....	41
Figura 2.22: Oblea después de Rectificado Superior	42
Figura 2.23: Ismeca NX32	43
Figura 2.24: Carrete con dispositivos	44
Figura 2.25: Pentamaster PM.....	44
Figura 3.1: Metodología DMAIC para realizar la investigación.....	49
Figura 3.2: Diagrama de flujo del proceso para la recolección y análisis de datos.....	56
Figura 4.1: Unidades producidas en el 1º trimestre de 2022, VOQOR S.R.L.	59
Figura 4.2: Gráfico del promedio semanal de producto en proceso	60
Figura 4.3: Árbol de calidad del producto DIES.....	64

Figura 4.4: Diagrama SIPOC para la fabricación de DIES en la línea C6-uBaw	65
Figura 4.5: Diagrama de flujo línea C6-uBaw	68
Figura 4.6: Verificación de obleas	70
Figura 4.7: Aros metálicos de 8"	70
Figura 4.8: Casete con obleas unidas a los aros metálicos de 8"	71
Figura 4.9: Verificación de puntos a las obleas poslaminado	71
Figura 4.10: Ingreso de obleas a DPM2190CX	72
Figura 4.11: Obleas y aros metálicos separados luego de Aplicado de Resina	73
Figura 4.12: Medición de la resina.....	73
Figura 4.13: Medición del grosor de la oblea en FRT Microprof 300	74
Figura 4.14: Caja de intercambio.....	75
Figura 4.15: Ejemplo de una fisura en la oblea	76
Figura 4.16: Obleas colocadas en el casete.....	77
Figura 4.17: Obleas pandeadas	77
Figura 4.18: Verificación de Corte Láser. Producto con defectos.....	78
Figura 4.19: Distancia entre DIES	79
Figura 4.20: Resultado de la prueba de PBFT	80
Figura 4.21: Ubicación de la pieza en el plano contra lo físico	81
Figura 4.22: Carrucha en proceso en Ismeca.....	81
Figura 4.23: Carrucha terminada.....	82
Figura 4.24: Ejemplos de rechazos en Pentamaster	82
Figura 4.25: Localización de rollos retenidos.....	83
Figura 4.26: Carrucha en el proceso de Empaque al Vacío	84
Figura 4.27: Carrucha en el empacado al vacío	84
Figura 4.28: Diagrama de recorrido en la fabricación de DIES.....	85
Figura 4.29: Gráfico de segundos/oblea por operación de la línea C6-uBaw.....	89
Figura 4.30: Gráfico de comportamiento del tiempo de ciclo en la línea C6-uBaw.....	90
Figura 4.31: Instrucciones de trabajo y procedimientos por operación de la línea C6-uBaw.....	92
Figura 4.32: Producción de las operaciones Aplicado de Resina, Rectificado Posterior y Corte Láser.....	94

Figura 4.33: Reporte de inspección de calidad de la operación Aplicado de Resina	96
Figura 4.34: Reporte de la inspección de calidad de la operación Rectificado Posterior	97
Figura 4.35: Cambio de grosor de la oblea en Rectificado Posterior.....	98
Figura 4.36: Grosor de obleas con la receta manipulada	99
Figura 4.37: Diagrama de Ishikawa de los factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw	107
Figura 4.38: Diagrama de Pareto de los factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw	115
Figura 5.1: Ejemplo de un inventario generado en TB.....	119
Figura 5.2: Reporte del Tableau. Lotes en WIP	120
Figura 5.3: Inspecciones requeridas en el documento WIS-003990	123
Figura 5.4: Documento WIS-003954	124
Figura 5.5: Documento WIS-004969	125
Figura 5.6: Documento WIS-003993	126
Figura 5.7: Documento WIS-004104	127
Figura 5.8: Sistema de Control de Producción (Pruebas Finales)	131
Figura 5.9: Reporte de tiempo muerto del Sistema de Control de Producción (Pruebas Finales)	131
Figura 5.10: Ubicación de los inventarios en C6-uBaw	135
Figura 5.11: Aplicación iAuditor	136
Figura 5.12: Lista de chequeo de Laminado de Obleas	137
Figura 5.13: Reporte de las fallas de auditorías de producto	138
Figura 5.14: Formulario para indicador de capacitación	140

DEDICATORIA

A mi esposa Jaz y mi hijo Santi,
con todo mi amor y cariño,
porque siempre estuvieron impulsándome
a seguir adelante y nunca perdieron la fe en mí.

¡Este logro es para ustedes!

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los que me ayudaron a crecer profesionalmente, en especial a Shirley, por su paciencia y acompañamiento a lo largo de la carrera; a mi padre, que me dio su apoyo y consejo; a don Jorge, que siempre me brindó su mano y a don Carlos, que me presionó a seguir estudiando.

EPÍGRAFE

El éxito es la suma de pequeños esfuerzos, repetidos día tras día.

Robert Collier

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la empresa VOQOR S.R.L., ubicada en la Zona Franca Metropolitana, en el cantón de Ulloa, provincia de Heredia, Costa Rica.

Se inició investigando, mediante la metodología DMAIC, las causas que afectaban el desempeño de la línea C6-uBaw; de este modo, se recabó gran cantidad de información, hechos y observaciones para entender por qué ocurría la sobreproducción y el desecho de lotes de producto que han provocado pérdidas por montos superiores a los \$ 8 256.

Gracias al análisis de toda la información obtenida y mediante la comprobación de varias hipótesis planteadas, se determinaron varios hechos que afectan de forma negativa el rendimiento de la línea en estudio. Posterior a eso, mediante un grupo multidisciplinario, se buscaron las razones por las cuales se dieron los hechos y situaciones que no permiten a las operaciones trabajar de manera fluida; así, se hicieron sesiones de lluvia de ideas, multivoto y Pareto, resultando en siete razones principales, a saber: falta de estandarización entre los turnos, una inadecuada toma de inventarios, inspecciones de calidad con poca frecuencia, falta de validaciones de equipos después de intervenciones, las metas no son conocidas por el personal operativo, falta de herramientas informáticas y presión por mantener los equipos trabajando, que sumadas representan el 79.29 % de los problemas

Seguidamente se diseñó un conjunto de propuestas, como elaborar un reporte para el control del producto en proceso, modificar instrucciones de trabajo de varias operaciones, utilizar un sistema ya existente para el control de la producción en todos los procesos de la línea C6-uBaw y crear indicadores para mantener al personal operativo actualizado con sus capacitaciones, con el fin de operar eficientemente toda la línea. Ahora bien, la inversión para la implementación de las mejoras es de ₡ 1 820 256, lo cual se reflejará en una disminución de producto en proceso y una reducción de material defectuoso en la línea C6-uBaw, obteniendo un retorno de inversión de 1.02 meses.

Palabras clave: DMAIC, procesos, inspecciones, inventarios.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la empresa VOQOR S.R.L., dedicada a la manufactura tecnológica, se desea realizar un análisis en una de sus líneas de producción, en específico la denominada C6-uBaw, encargada de la fabricación de las piezas llamadas DIES. A pesar de que la empresa posee varias líneas de producción, que van desde la C3 hasta la C9, solo la línea C6-uBaw presenta valores de producto en proceso excesivamente elevados.

La línea C6-uBaw ha experimentado un crecimiento del 56 %, pasando de producir en enero 2021 un total de 2 427 200 unidades diarias a producir en junio 2022 un total de 4 500 000 unidades diarias; por lo tanto, la línea C6-uBaw es la principal de la compañía en Costa Rica, siendo la segunda línea en importancia la C7-SMT, la cual trabaja a un ritmo de 3 309 000 unidades diarias. Sin embargo, el crecimiento de C6-uBaw ha estado acompañado de problemas, como altos inventarios de producto en proceso e indicadores fuera de meta, los mismos se han generado a lo largo de sus procesos, principalmente en el último, donde la operación DTR con frecuencia está saturada de material pendiente de ser procesado. Estos problemas se han asociado a un mal control y gestión de sus procesos.

Según el recorrido por el piso de producción, se observó que la operación tiene largas filas de órdenes de trabajo en espera de ser procesado, asimilando un sistema *push*, donde las operaciones saturan de material al siguiente proceso, lo que crea altos inventarios. Asimismo, se detectan de manera tardía los problemas de calidad, ocasionando material que debe ser reprocesado o muestreos e inspecciones adicionales para cumplir con la calidad requerida, incluso se desechan lotes completos por fallas no detectadas a tiempo, lo que provoca grandes pérdidas económicas. Al respecto, en enero 2022 se registró el rechazo completo de dos lotes de producción por un monto de \$ 4 128 por lote desechado, sumando un total de \$ 8 256 (el costo unitario de cada DIES es \$ 0.008 aproximadamente y los lotes pueden tener hasta las 516 000 DIES).

Estos altos inventarios generan que indicadores, como lo es el tiempo de ciclo (TC), estén normalmente fuera de la meta, originando una fuerte presión en los supervisores por finalizar las órdenes de trabajo. Además, esto ha provocado en varias ocasiones que en

los días calendario de feriados nacionales, la empresa deba invertir en tiempo extra solo en esta área para poder llevar los inventarios de producto en proceso a niveles normales, lo cual significa pérdidas adicionales en pagos de tiempo extraordinario a sus colaboradores.

Por lo anterior, se considera la siguiente interrogante: ¿Mediante la metodología DMAIC, cuáles son las mejoras que se pueden plantear en la gestión de procesos de la línea C6-uBaw en VOQOR S.R.L. para mantener un inventario mínimo en todas sus operaciones?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar el proceso de manufactura de la línea C6-uBaw en VOQOR S.R.L., mediante la aplicación de la metodología DMAIC, para proporcionar alternativas de solución que permitan la disminución de los inventarios a un nivel óptimo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir los factores que provocan el exceso de inventario actual en el proceso de la línea C6-uBaw.
- Medir la capacidad actual del proceso de la línea C6-Ubaw y el impacto en la manufactura del producto DIES y en sus inventarios.
- Aplicar distintas herramientas ingenieriles de análisis de causa, para encontrar la causa principal que genera el alto inventario de la línea C6-uBaw.
- Proponer alternativas de solución en el proceso, con el fin de disminuir el inventario y mejorar los estándares de calidad.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El incremento de volumen requerido en la línea C6-uBaw se debe al aumento en la demanda de productos especializados en telecomunicaciones, efecto originado por la pandemia de la COVID-19, lo cual provocó una mayor demanda en productos de índole tecnológica, como lo son los celulares, enrutadores de internet, computadores y otros

dispositivos considerados fundamentales en un mundo cada vez más tecnológico y conectado al internet.

Este crecimiento acelerado ocasionó que la planta de Costa Rica se adaptara rápidamente y ofreciera los resultados esperados de manera eficaz, y así es como se ha logrado vender el proyecto a nivel corporativo, ya que los resultados se han cumplido; sin embargo, la metodología utilizada para alcanzar estos objetivos se debe mejorar porque no ha sido eficiente. Si bien la pandemia pareciera estar acabando, no así sus efectos en el ámbito tecnológico y laboral, donde cada vez más empresas optan por mantener sesiones virtuales y el trabajo desde casa; de este modo, el nicho de mercado de la empresa tiene un futuro prometedor, pero si no se adaptan o modifican sus sistemas de manufactura a procesos altamente eficientes, la competencia en este mercado, que es bastante grande, puede tomar el lugar de VOQOR S.R.L., ofreciendo productos de mayor o igual calidad a un precio inferior.

Por otra parte, la competencia no es solo externa, debido a que la corporación cuenta con una planta que fabrica los mismos dispositivos en Dezhou, ciudad de la provincia de Shandong de la República Popular de China. Esta fábrica es de mayor tamaño, posee más de 5 000 trabajadores y es la principal competencia de la planta de Costa Rica. El nacimiento de la línea C6-uBaw se dio en 2019, como respuesta a las continuas restricciones impuestas por el Gobierno de Estados Unidos a China, previendo un incremento en las tensiones. Desde entonces, la planta de Costa Rica ha ocupado poco a poco la posición de protagonista, razón por la cual es urgente establecer métodos de trabajo eficientes para mejorar el flujo de material a lo largo de las diferentes operaciones, lo que aporte a la reducción del inventario en proceso y mantenga un equilibrio entre operaciones, eliminando el sistema *push* con el que se trabaja en la actualidad e implementando un sistema *pull* a lo largo de toda la línea de producción, por medio de lo cual se alcanzarían y mejorarían los indicadores de la línea, tales como el tiempo de ciclo, que con frecuencia está fuera de control.

Finalmente, mejorar el flujo de material dentro de las operaciones lograría un aumento en la calidad ofrecida en los distintos procesos, al detectar material defectuoso con mayor prontitud, lo cual evita la afectación de una mayor cantidad de lotes de producto. Así, este

conjunto de resultados mejoraría la productividad de la línea C6-uBaw, lo que reduce inventarios, disminuye el material defectuoso y elimina la inversión en tiempo extraordinario, esto aportaría a la disminución de costos a la empresa, arrojando mejores valores, por lo cual entraría en una competición de costos con la planta en Dezhou, mostrando a la corporación que la planta en Costa Rica está lista para seguir creciendo.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

A nivel nacional, el primer trabajo corresponde a Sofía Castrillo Sánchez, Jafeth Montoya Molina y Alejandro Mora Soto (2019), titulado: *Rediseño de los procesos del sistema de planificación y control de la producción en la empresa Global Lighting Solutions* y realizado para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial en la Universidad de Costa Rica. Este proyecto desarrolla la planeación de los requerimientos de la capacidad, tomando en cuenta los pedidos de los clientes, así como las proyecciones futuras de ventas.

En la investigación se analizan las necesidades de capacidad requerida en los procesos para poder afrontar los pedidos de los clientes, pero sin aumentar en equipos las operaciones, sino estableciendo métodos para los factores sobre los que se tiene control, como Castrillo Sánchez et al. (2019) lo indican: “[...] entre los controlables se pueden considerar la mano de obra, la maquinaria, las herramientas, la subcontratación, las horas extras, el mantenimiento preventivo, los materiales, etc.” (p. 27). De este modo, mediante la implementación de esta técnica y otras de planificación y pronósticos, se obtienen ganancias superiores a los \$ 88 000 en el periodo de un año.

Este proyecto se relaciona con la investigación actual al permitir comprender que el resultado de un análisis de procesos no siempre debe ser aumentar la capacidad de cada operación con más máquinas, sino que se debe ir más allá y entender cómo la planificación eficiente y el conocimiento previo de pronósticos, según Castrillo Sánchez et al. (2019), pueden llevar al mejoramiento de un proceso, con la capacidad de equipos que se poseen en la actualidad.

Un segundo antecedente consultado es el elaborado por Andrea María Carvajal Jiménez y María Alejandra Gamboa Alvarado (2009) para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial en la Universidad de Costa Rica, denominado: *Desarrollo de un modelo de caracterización de procesos para Samtec Costa Rica*. En este se detalla cómo es posible el ahorro de costos con la mejora de procesos mediante la técnica DMAIC.

En esta investigación se detallan las mejoras realizadas al proceso Ground Plane, con herramientas ya conocidas como definir, analizar, implementar, controlar y documentar aplicadas al proceso, permitiendo ahorros proyectados en más de \$ 150 000 anuales asociados a la no calidad del producto, solo con un análisis integral en la gestión de un proceso.

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que para el mejoramiento de un proceso no se trata de mejorar el equipo o maximizar el rendimiento del operador, sino que, como lo indican Carvajal Jiménez y Gamboa Alvarado (2009), se deben abarcar todos los factores internos y externos que interactúan con el proceso, como materia prima, maquinaria, equipos de medición, salidas, calidad y operadores.

Una tercera investigación consultada es la efectuada por José Enrique Arias Arias y Federico Castro Mora (2013) para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial en la Universidad de Costa Rica, denominada: *Rediseño de procesos para fortalecer el sistema de gestión de calidad en la empresa Tico Electronics*.

El objetivo de este trabajo es el rediseño de los procesos, cumpliendo los requerimientos de la norma aeroespacial AS9100; así, se deja a la empresa Tico Electronics lista para la obtención de esta certificación, siendo la primera en Costa Rica en conseguir esa certificación aeroespacial. Lo anterior mediante la actualización de procedimientos y herramientas en cada una de las operaciones del sistema productivo, las cuales podrían ser usadas por otros departamentos.

Este proyecto contiene aspectos que pueden ser aplicados en la investigación actual, pues, de acuerdo con Arias Arias y Castro Mora (2013), revisar la documentación de cada operación para verificar que esté actualizada y ajustada al proceso, además de verificar

que todas las herramientas de las operaciones se encuentren debidamente certificadas y calibradas en caso de requerirse, es el primer paso para lograr un buen desarrollo de los procesos.

El cuarto trabajo consultado es el realizado por Yuli Orozco Amador, Mitzy Rodríguez Centeno y Josephe Zamora Jiménez (2019) para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial en la Universidad de Costa Rica, titulado: *Mejora del proceso de producción de cables de aluminio enfocada en la disminución de scrap en la compañía General Cable Conducem*. En este se desarrollan temas como puntos de control en los diferentes procesos, desde el punto de vista de calidad, mejorando significativamente la productividad de los procesos.

Este documento demuestra cómo mediante la correcta implementación de un eficiente control de los procesos con puntos de control de calidad es posible la reducción de los rechazos, ya que a la operación solo debe ingresar material que esté en óptimas condiciones de ser procesado. Así, mediante el desarrollo de estos *check points*, se inicia teniendo un porcentaje de rechazos de 5.46 %, pasando después del desarrollo del proyecto a 2.7 % de rechazos, lo cual genera ganancias superiores a los \$ 8 000 por mes.

Este trabajo brinda una guía para llevar a cabo la presente investigación, porque, como lo demuestran Orozco Amador et al. (2019), para el análisis de procesos, se debe analizar también la materia prima suministrada, debido a que no sirve un proceso optimizado si el material ingresado ya viene cuestionado y termina desechado después de la operación, lo cual reduce la eficiencia de esta.

El quinto trabajo consultado es el elaborado por Argery Gamboa Rodríguez y Hillary Rodríguez Santamaría (2020) para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad de Costa Rica, denominado: *Rediseño de la operación, conforme el enfoque de procesos, en la Dirección General de Contabilidad Nacional*, el cual se realizó para mejorar los procesos en una empresa de servicios, optimizando la asistencia ofrecida a los clientes.

En el estudio se detalla cómo la mejora de operaciones no solo es aplicable a procesos de manufactura, sino también a las empresas que ofrecen servicios. Durante el análisis de los procesos, se encuentran falencias en el mapa de productos, elementos del proceso, falta de procesos de aseguramiento de la calidad, procesos no documentados, entre otros. A partir del desarrollo del proyecto, se determina que del total de 67 actividades analizadas, el 84 % requiere algún tipo de mejora u optimización y el 16 % no tiene valor agregado, por lo que se recomienda eliminar.

Este antecedente se relaciona con la investigación en curso al brindar un punto de vista diferente, a saber, las mejoras a las operaciones no deben darse solo en los procesos de la línea de manufactura, sino también en el sistema productivo; al respecto, es necesario determinar cuáles actividades sistemáticas no están generando valor agregado y cuáles si, qué información es valiosa y cuál no. Se debe hacer un análisis integral desde todas las aristas de la operación.

1.4.2 Antecedentes internacionales

A nivel internacional, se encuentra gran cantidad de trabajos de investigación de campo y estudios que proponen distintos métodos para el análisis de la capacidad de los procesos y su desarrollo.

Un primer trabajo corresponde al elaborado por Nayeli Alejandra Montes Flores (2014) para optar por el título de Ingeniería Química en la Universidad Nacional Autónoma de México, denominado: *Criterios para determinar la capacidad de producción en empresas de transformación PYMES*. El mismo se refiere a aspectos básicos por ser tomados en cuenta para el análisis de procesos, entre estos, el término capacidad efectiva del proceso; al respecto, Montes Flores (2014) lo define como:

La máxima salida de producción que un proceso o una empresa es capaz de sostener económicamente, en condiciones normales; es decir es el más alto nivel de producción que una compañía puede sostener razonablemente con horarios realistas de trabajo para sus empleados y equipo que tiene ya instalado (p. 14).

Este documento se relaciona con la investigación en curso porque brinda una guía de aspectos básicos por conocer, así como términos que se deben entender y manejar para desarrollar un proyecto con información confiable, que lo haga culminar con éxito.

Un segundo trabajo es el de John Paúl Reyes Vásquez y Juan Andrés Cabezas Moposita (2014), llevado a cabo para optar por el título de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización en la Universidad Técnica de Ambato y titulado: *Gestión de procesos para mejorar la productividad de la línea de productos para exhibición en la empresa Instruequipos Cía. Ltda.* El proyecto habla de la importancia de los procesos en una empresa, además de la distribución adecuada para su correcto funcionamiento. También establece los pasos por seguir para una eficiente gestión de procesos, al determinar, identificar y estudiar cada proceso existente en la empresa.

El estudio de Reyes Vásquez y Cabezas Moposita (2014) se relaciona con esta investigación al abarcar aspectos fundamentales para el desarrollo productivo de una empresa, como lo es la distribución de equipos y operaciones, así como no ignorar ningún proceso, por más pequeño o sencillo que parezca, siempre hay un margen de mejora.

Un tercer antecedente es el trabajo elaborado por Mercedes Paulina Jordán Álvarez y Edison Patricio Jordán Hidalgo (2013) para optar por el título de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador; llamado: *Sistema de control de procesos para el mejoramiento de la producción en la industria manufacturera de Calzado Lombardía.*

Este trabajo relaciona la importancia de un buen sistema de producción y un sistema de control con una eficiente gestión de operaciones; en cuanto a esto, Jordán Álvarez y Jordán Hidalgo (2013) señalan:

Las actividades reguladas por un sistema de producción se refieren al diseño del producto, diseño del proceso, selección del equipamiento, selección y capacitación del personal, selección de los materiales, selección de los proveedores, localización de planta, distribución interna de la planta, programación del plan e implementación del sistema (p. 27).

El proyecto demuestra que se pueden tener los procesos de una línea de producción bien depurados, pero sin un sistema de producción que dicte las directrices correctas, en aspectos como proyecciones, requerimientos, urgencias o prioridades, no es posible lograr la armonía correcta en la empresa.

Este antecedente se relaciona con la presente investigación porque, según Jordán Álvarez y Jordán Hidalgo (2013), a la hora de ejecutar una evaluación de los procesos, se debe ser más macro, revisar y verificar el correcto funcionamiento del sistema de producción utilizado, así como evaluar los puntos o sistemas de control a lo largo de la línea productiva.

Una cuarta investigación corresponde a Diana Carolina Flores Herrera (2007), quien realiza: *Mapeo de procesos para resolver indicadores de gestión por calidad* para optar por el grado de Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo en la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta investigación hace énfasis en el mejoramiento de la calidad mediante el mapeo de los procesos y cómo cada área de trabajo influye directamente en los indicadores del área siguiente.

El estudio de Flores Herrera (2007) deja claro cómo el mapeo de procesos es una herramienta muy poderosa para analizar la formación de una empresa y la interacción entre cada área, iniciando primero con una vista general de la empresa denominada macro proceso central; posterior a eso, se separa cada departamento de la organización en el proceso central de cada área; luego, se desglosan los procesos de esa área, considerando los procesos involucrados, así como su personal, para identificar las entradas y salidas de cada operación, de este modo se establecen los flujos de todas las actividades realizadas; por último, se debe señalar claramente los problemas por resolver en cada paso.

Este trabajo se relaciona con esta investigación porque, como lo indica Flores Herrera (2007), se debe descomponer cada proceso en sus unidades más básicas, entendiendo que se deben analizar todos sus componentes por separado y luego como un todo, identificando cuáles problemas afectan a otros, para tratar de eliminarlos o minimizarlos, con el propósito de conseguir un mejor flujo de la operación.

Un quinto trabajo es el efectuado por Katherine Cecilia Ponce Herrera (2016), denominado: *Propuesta de implementación de gestión por procesos para incrementar los niveles de productividad en una empresa textil* y presentado para optar por el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Este trabajo desarrolla la reingeniería de procesos para la obtención de certificaciones de calidad y la introducción de una nueva línea productiva para el crecimiento de la empresa.

El proyecto ayuda a rediseñar y mejorar los procesos actuales de la organización, con procesos que deben ser normalizados, estandarizados y documentados para certificaciones de calidad. Además, establece las bases para introducir procesos nuevos, tomando en cuenta que cada proceso de la empresa debe analizarse por separado y se documenta la situación actual para definir en qué debe ser mejorada.

Este antecedente ayuda a la investigación planteada, al demostrarse la importancia de la estandarización y documentación de los procesos para el mejoramiento de las operaciones, y como es ampliamente demostrado, hay procesos que funcionan de manera adecuada, pero su sistema de documentación y la falta de uniformidad del trabajo entre los turnos genera que la operación como tal no se desempeñe de forma adecuada.

1.5 PROYECCIONES

1.5.1 Alcances

La investigación se lleva a cabo en la empresa VOQOR S.R.L., dedicada a la manufactura tecnológica. A pesar de las diferentes líneas de producción que posee, el estudio se limita a la línea C6-uBaw, abarcando todos los turnos (A, B, C y D).

Además, con este proyecto se espera reducir los inventarios de material en proceso mayores al 50 % de los valores presentados actualmente, así como incrementar el muestreo efectuado a las obleas en las distintas operaciones, para disminuir o detectar a tiempo los problemas de calidad en la línea C6-uBaw de la empresa VOQOR S.R.L.

1.5.2 Limitaciones

Se menciona la limitante que presenta la empresa a la hora de compartir datos referentes a la naturaleza de sus procesos en lo que respecta a recetas, planos, fotografías y algunos procedimientos de los procesos en estudio, al ser considerados de carácter confidencial. Como complemento, se muestran fotografías equivalentes o imágenes de dominio público para proporcionar una referencia al lector.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente, se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles tomados en cuenta para el desarrollo de la presente investigación.

2.1.1 Metodología DMAIC

La metodología DMAIC es una herramienta para el mejoramiento continuo de procesos, basada en el método Seis Sigma, la cual realiza ajustes y mejoras de forma continua y progresiva, hasta lograr los resultados esperados.

El nombre DMAIC es un acrónimo de sus cinco fases en inglés: definir (*Define*), medir (*Measure*), analizar (*Analyze*), mejorar (*Improve*) y controlar (*Control*). Cada etapa del ciclo DMAIC tiene su propia definición, y sus herramientas, como se explica a continuación.

Definir

De acuerdo con Herrera Acosta y Fontalvo Herrera (2000), se “debe conocer e identificar las áreas susceptibles de mejora, definir las metas, objetivos y alcances del proyecto” (p. 9), para delimitar muy bien el alcance y, así, evitar confusiones cuando se lleve a cabo el proyecto.

Medir

En esta etapa se efectúa la recolección de datos para el proyecto, pero como lo indican Ocampo y Pavón (2012), “es necesario identificar cuáles son los requisitos y/o características en el proceso o producto que el cliente percibe como clave (variables de desempeño), y qué parámetros (variables de entrada) son los que afectan este desempeño” (p. 2); al saber esto, es posible asignar las herramientas correctas de medición.

Analizar

Con relación a esta etapa, se reúne toda la información recolectada, asegurando su confiabilidad y exactitud, para verificar y analizar el estado actual del proceso, e identificar posibles oportunidades de mejora. Además, se constata la existencia real del problema, no que sea una causa aleatoria.

Mejorar

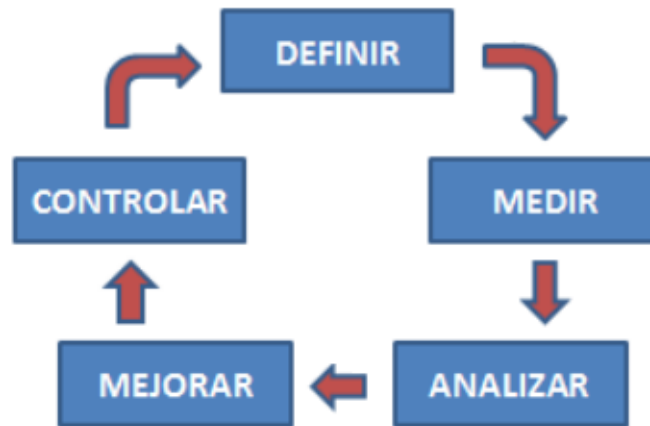
En esta etapa se enlistan los posibles cambios y soluciones que se pueden hacer a los problemas dados; al respecto, es muy habitual efectuar una lluvia de ideas con grupos multidisciplinarios, estas deben ser viables y validadas por el grupo de trabajo, para determinar que su implementación es factible.

Ocampo y Pavón (2012) proponen realizar las siguientes preguntas: “¿Qué opciones se tienen? ¿Cuáles de las opciones parecen tener mayor posibilidad de éxito? ¿Cuál es el plan para implementar el nuevo proceso (opciones)? ¿Esta solución está de acuerdo con la meta de la compañía?” (p. 3), con el fin de obtener soluciones reales al problema en cuestión.

Controlar

Cuando se logra implementar una solución al problema en cuestión, es de suma importancia verificar que se pueda mantener en el tiempo, así como establecer mecanismos de control para detectar cualquier anomalía y asegurar que el proceso se comporte de manera eficiente. Una vez alcanzada esta etapa, el grupo vuelve a iniciar con otro problema que requiera ser mejorado.

Figura 2.1: Etapas DMAIC



Fuente: Ocampo y Pavón, 2012, p. 2.

2.1.2 Project charter

El *project charter* consiste en la elaboración de un documento que formaliza la creación y existencia de un proyecto, y “empodera al director del proyecto para usar los recursos de la compañía en beneficio de su ejecución” (Molina, 2021), mejorando la planificación con el propósito de asegurar su éxito.

En este se incluyen varios puntos: el nombre del proyecto, su justificación como objeto de origen del proyecto, sus objetivos como definición clara para el éxito, las estimaciones y restricciones, además de los diversos parámetros descriptivos; elementos que son parte de su estructura principal.

Si bien se cuenta con una estructura definida para desarrollar el *project charter*, la presentación varía dependiendo del proyecto por realizar, sin obviar aspectos fundamentales, pero sí prescindiendo de algunos otros. También, puede diseñarse en diferentes formatos como Word, PowerPoint o PDF. Asimismo, en algunas empresas se identifica como el acta de constitución o estatuto del proyecto.

Tabla 2.1: Ejemplo de un project charter

Project Charter (Recuperación)			
A. Información general del proyecto a recuperar			
Nombre del proyecto	Implementación CRM de Oracle	Project manager	Jesús Domínguez
Fecha de inicio de la recuperación	15/03/2006	Autorizado Por:	Director de PMO
B. Objetivos de la recuperación del proyecto			
Recuperar el proyecto y llevarlo a condiciones normales de su límite de variación en el lapso de 8 semanas.			
C. Alcance de la recuperación (Dentro de Alcance)			
<ul style="list-style-type: none"> • Describir requerimientos en forma específica • Descomponer el WBS a un nivel 4 especificando los entregables correspondientes a los terceros. • Completar cronograma con lo especificado arriba e incluir las acciones correctivas y preventivas del informe del diagnóstico (definir micro actividades, validar hitos, asegurar interdependencias, etc) • Implementar los procesos de costos, tiempos y riesgos, y definir métricas de desempeño de ellas. • Hacer seguimiento exhaustivo semanal con reuniones de seguimiento de riesgos y problemas semanales. 			
D. Nivel de la Recuperación : Nivel 3			

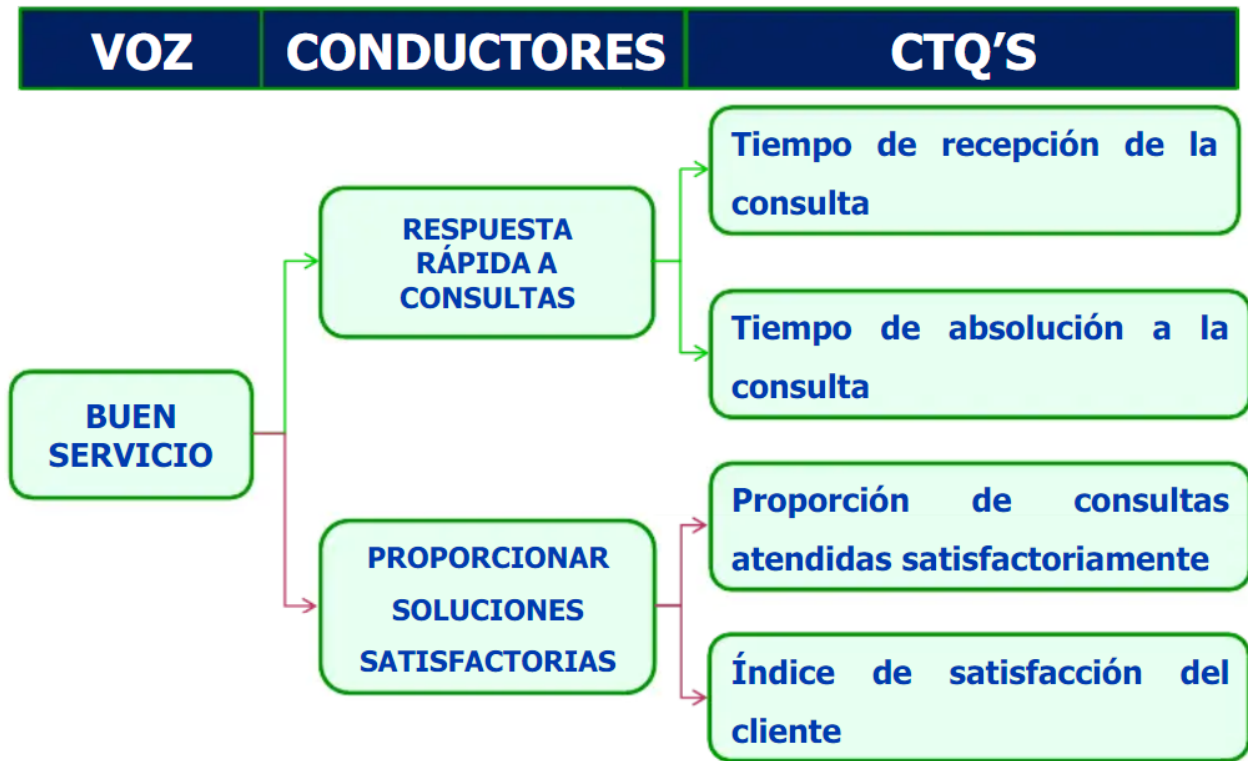
Fuente: Anyosa Soca y Núñez, 2006.

2.1.3 Árbol de CTQ

Una forma de identificar medidas relacionadas con los requisitos del cliente es el árbol de CTQ, el cual es muy utilizado por distintas empresas para ver su producto desde la perspectiva del cliente, con el fin de eliminar los problemas o reducirlos al mínimo, tratando de elevar la satisfacción de sus clientes.

Es similar a un diagrama de árbol, pero se enfoca en las características críticas de calidad; dicho esto, la herramienta “ayuda no solo a visualizar y entender mejor los requerimientos del cliente, sino a identificar qué tipo de información se debe recopilar durante el Proyecto Six Sigma para el logro de los objetivos propuestos” (Martínez Cedillo, 2012, p. 13).

Figura 2.2: Ejemplo de un diagrama de CTQ



Fuente: Marín Lira, 2015.

2.1.4 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC brinda la descripción de un proceso mediante un análisis desde cinco puntos diferentes: proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes, donde se detalla cómo se envía y recibe el material entre las distintas operaciones, así como la relación entre sus componentes.

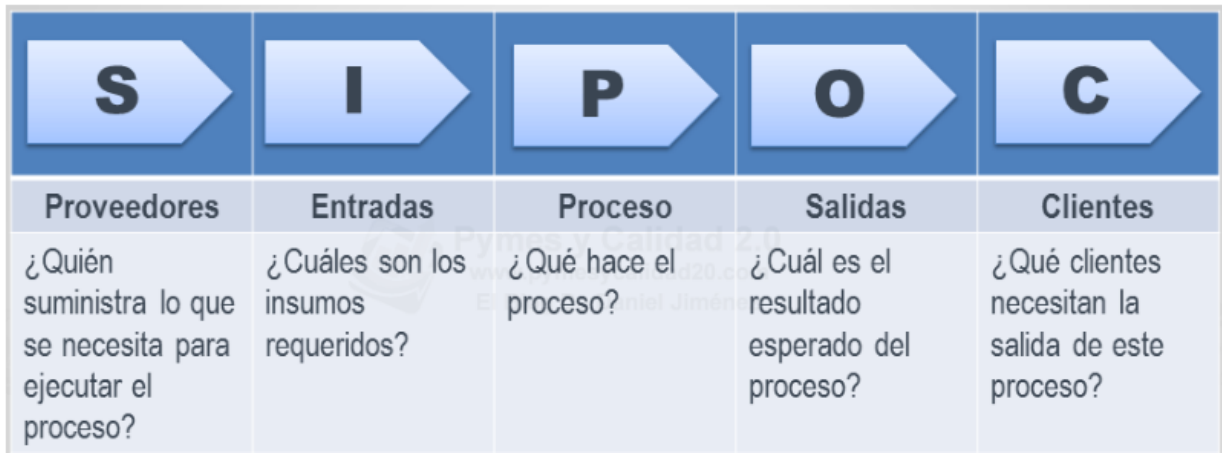
Estos diagramas no son muy específicos, “no están diseñados para proporcionar demasiados detalles, sino que brindan a las partes interesadas un mapa general de los procesos para ayudarlas a tomar decisiones y generar ideas de mejora” (MacNeil, 2021).

El acrónimo SIPOC proviene de estos cinco componentes, palabras originarias del idioma inglés, que se explican a continuación:

- Proveedores (*Suppliers*): La fuente de las entradas del proceso.
- Entradas (*Inputs*): Los recursos necesarios para que el proceso funcione.

- Proceso (*Process*): Los pasos generales que componen el proceso.
- Salidas (*Outputs*): Los resultados del proceso.
- Clientes (*Customers*): Las personas que reciben los resultados o salidas.

Figura 2.3: Diagrama SIPOC








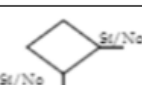
Fuente: Hernández, 2019.

2.1.5 Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo son una representación gráfica de todas las tareas realizadas en un proceso a pequeña o gran escala. De forma más concreta, Gutiérrez Pulido y De la Vara Salazar (2009) indican que es la “representación gráfica de la secuencia de pasos de un proceso, que incluye inspecciones y reprocesos” (p. 165). Asimismo, los diagramas de flujo permiten detectar duplicidad de tareas y cómo se relacionan unas con otras; además, son muy útiles para establecer mejoras al proceso.

Con el fin de estandarizar los diagramas de flujo, estos emplean una simbología, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2.2: Símbolos utilizados en la creación de diagramas de flujo

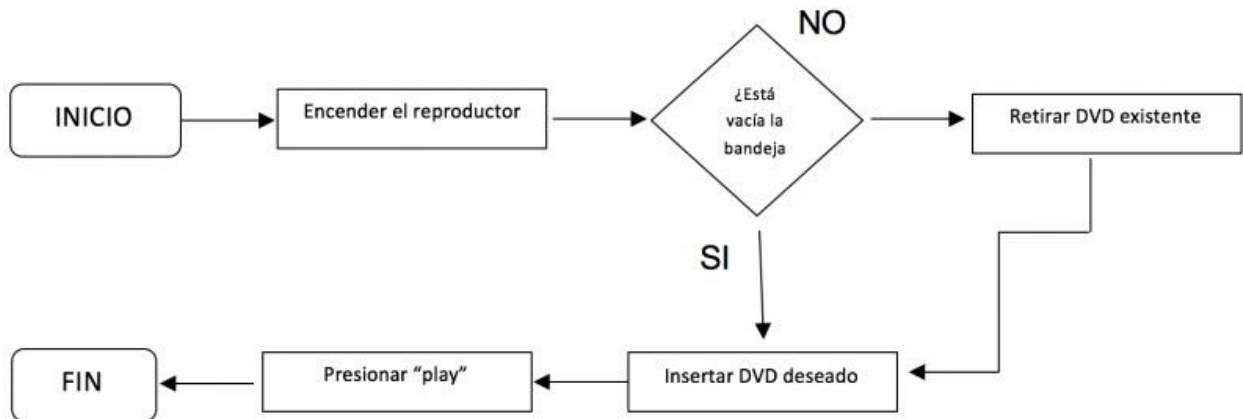
Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	Inicio / Fin		Ingreso o salida de datos
	Operación / Proceso		Almacenamiento
	Documentación		Decisión

Fuente: Autor.

Es posible hacer un diagrama de flujo de todas las actividades que se llevan a cabo en una sola operación, también realizar un diagrama de flujo de todos los procesos que componen la fabricación de un producto.

Estos diagramas “permiten una mayor organización, evaluación o replanteamiento de secuencias de actividades y procesos de distinta índole, dado que son versátiles y sencillos” (Editorial Etecé, 2021). De este modo, son utilizados en muchas áreas, como lo es la informática, procesos industriales, economía y finanzas.

Figura 2.4: Diagrama de reproducción de un DVD



Fuente: Editorial Etecé, 2021.

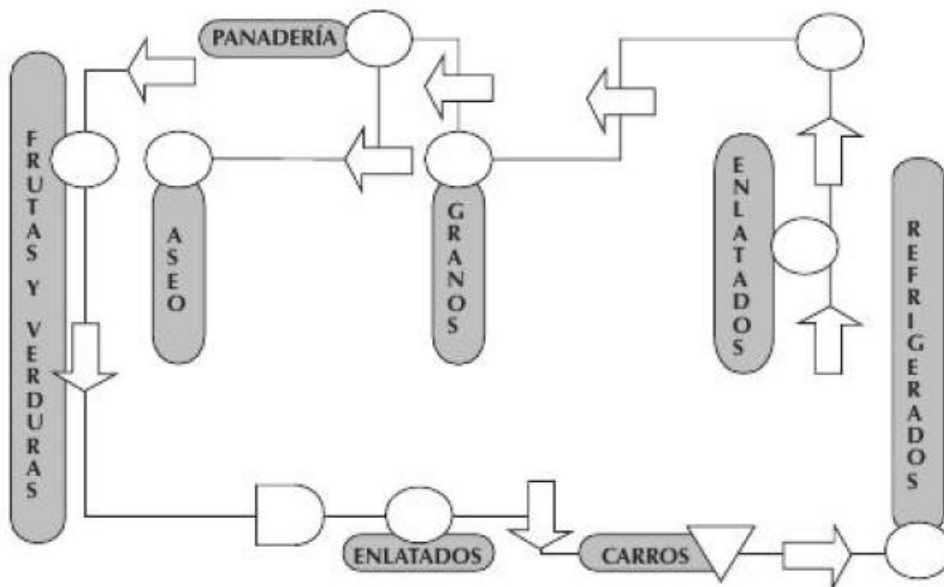
2.1.6 Diagramas de recorrido

Este diagrama es prácticamente un plano del área de trabajo en estudio donde se sigue el recorrido del objeto o actividad en estudio, mediante la representación gráfica de todos los pasos o actividades del proceso; adicional, es posible ver cómo se relacionan las diferentes actividades. Asimismo, Palacios Acero (2016) señala:

Este diagrama es particularmente útil porque proporciona una vista global compacta y general de un proceso en existencia o propuesto. Es un auxiliar valioso en el trabajo de distribución de la planta. Su elaboración familiariza rápida y efectivamente al ingeniero con el proceso completo y el lugar donde se desarrolla cada actividad (p. 89).

De esta manera, un estudio tan sistemático sirve para verificar el impacto de los cambios, además de ahorrar tiempo y espacio, estableciendo futuras acciones o evaluando las mejores opciones sin tener que impactar el proceso productivo directamente.

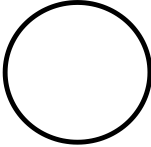
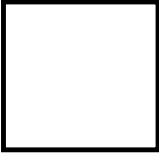
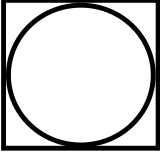
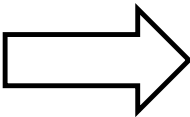
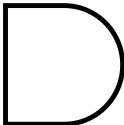
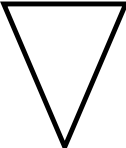
Figura 2.5: Diagrama de recorrido de un supermercado



Fuente: Palacios Acero, 2016, p. 89.

Los diagramas de recorrido poseen una simbología con la cual se representa cada paso ejecutado a lo largo del proceso o recorrido. Estos símbolos están estandarizados a las siguientes figuras:

Figura 2.6: Simbología de los diagramas de recorrido

Operación	Inspección	Inspección y operación simultaneo
		
Transporte	Retraso o espera	Almacenamiento
		

Fuente: Autor.

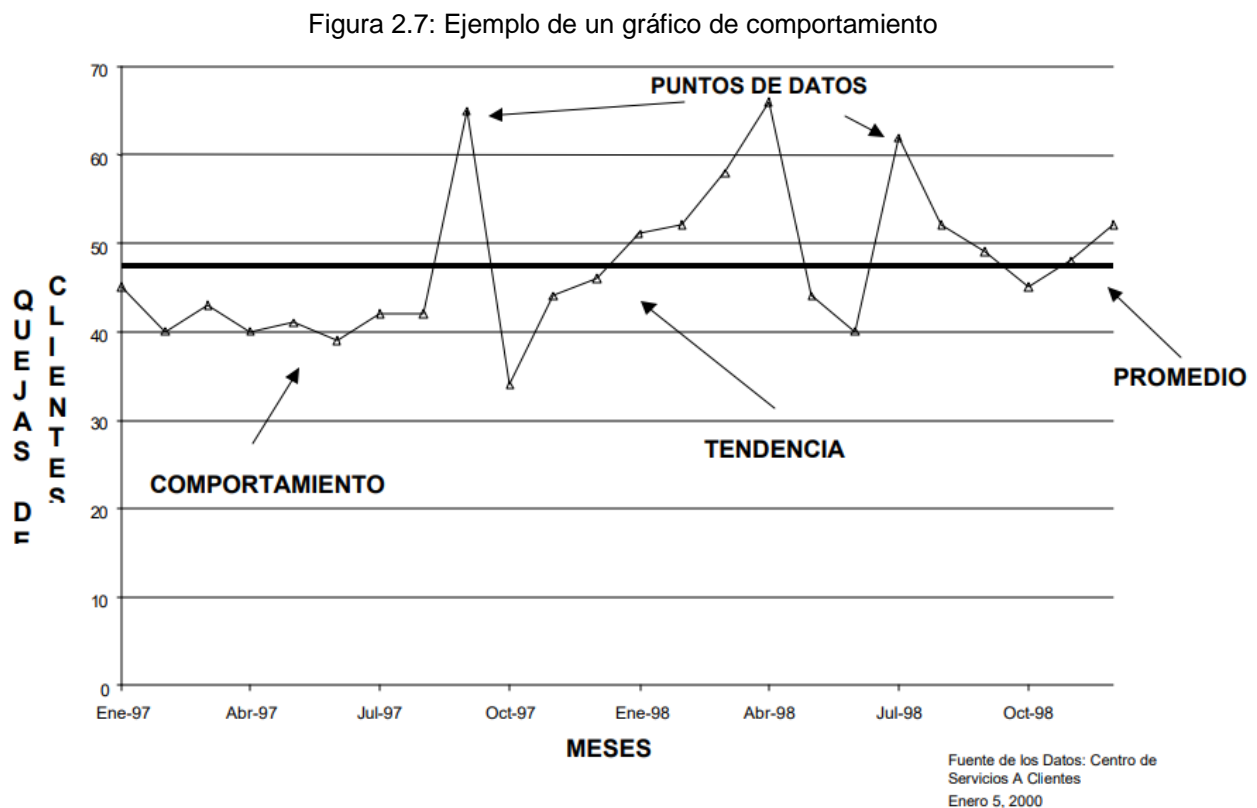
A partir de la figura anterior, se determina:

- Operaciones: Cuando se producen cambios en el producto (físicos o químicos) o también se recibe información, se hacen planes o cálculos.
- Inspección: Cuando se inspecciona la calidad de un producto o sus características.
- Inspección y operación: Operaciones combinadas, cuando se realiza el proceso junto con verificaciones de calidad en el mismo momento.
- Transporte: Cuando se traslada el producto o persona de un lugar a otro, sin tomar en cuenta los movimientos propios al ejecutar una operación.
- Esperas: Cuando no se puede continuar el proceso por una interferencia en el flujo productivo y provoca una demora en la siguiente operación.
- Almacenamiento: Cuando el producto u objeto es almacenado, o es retenido y protegido contra movimientos no autorizados.

2.1.7 Gráfica de comportamiento

Según la Sociedad Latinoamericana para la Calidad (2000), “la gráfica de comportamiento se utiliza para estudiar los datos de procesos en cuanto a las tendencias o patrones a lo largo del tiempo”; por consiguiente, es ampliamente empleada cuando se ocupa medir y analizar un determinado proceso u operación.

Este tipo de gráficas se suele utilizar por diversas razones, entre estas, establecer una línea base para mejorar el proceso, pues la gráfica permite comparar el rendimiento histórico con el rendimiento después de aplicar mejoras o cambios. También es ampliamente usado para entender qué sucede en los procesos, ya que con las medidas realizadas de manera periódica, se observan las tendencias y promedios en el comportamiento histórico.



Fuente: Sociedad Latinoamericana para la Calidad, 2000.

2.1.8 Caminata *gemba*

La palabra *gemba* es de origen japonés y su significado es el lugar actual o donde el trabajo se lleva a cabo. Este concepto fue desarrollado por Taiichi Ohno e implementado en el sistema de producción Toyota.

La caminata *gemba* es cuando los altos mandos o directivos van al lugar donde se realiza el trabajo o la producción y comprenden en realidad cómo se ejecuta al observar, analizar y aprender. Sin embargo, Ahuja Sánchez (2014) destaca:

Las caminatas *gemba* no son tan sencillas como parecen, aun cuando no son caminatas largas. Ir al *gemba* implica, en primer término, que seas capaz de observar; esto es, examinar detenidamente y con atención, percibir no solamente con la vista, sino incorporar todos los sentidos; observar significa advertir, notar y darte cuenta.

Según CDI Lean (2012), para efectuar una caminata *gemba* de manera exitosa, se deben cumplir las siguientes reglas básicas:

Ir a ver: Lo primero de todo es ir a ver cómo funciona el proceso. Pero ¿qué es lo que buscamos? Buscamos saber si los procesos y las personas están alineados para conseguir los objetivos de la empresa.

Preguntar ¿por qué?: El paseo *gemba* tiene como objetivo conocer con detalle el proceso e impulsar soluciones a los problemas. Las preguntas ¿qué?, ¿cuándo?, ¿cómo?, o ¿quién? no incitan a la reflexión por parte del operario. Sin embargo, la pregunta ¿por qué? impulsa a cuestionarse las acciones habituales y activa la creatividad [...]

Respeto por el personal: Cuando se va a iniciar un diálogo con alguna persona en el *gemba*, debe realizarse con cordialidad y concreción. Hay que comenzar saludando. Las preguntas deben ser cortas y deben estar centradas en el propio *gemba*. No se trata de socializar, pero sí mostrar nuestro interés sincero por cómo se sienten las personas y averiguar cómo podemos facilitar su correcto desempeño.

2.1.9 Círculo de Ohno

El círculo de Ohno fue creado por Taiichi Ohno, uno de los principales impulsores del sistema de producción de Toyota. El método que implementó Ohno era simple: dibujó un círculo en el piso, un tanto alejado del proceso, para tener una amplia vista de la operación, y colocó a un aprendiz o discípulo dentro de él, con la única instrucción de que observara el proceso y anotara sus observaciones.

El aprendiz no podía salir del círculo hasta que Ohno volviera por él; cuando lo hacía, preguntaba por sus observaciones y si no estaba a gusto con sus respuestas, lo dejaba de nuevo en el círculo y le pedía que continuara observando, incluso por horas.

Esta herramienta, aunque sea muy simple, arroja resultados significativos, porque quien se queda en el círculo agudiza su percepción sobre el problema, mediante la observación continua. De acuerdo con Amaral (2018), es necesario “observar, observar, observar y observar, con ojos críticos, y de ahí, solo así, tal vez, es que se comience a entender, de verdad, el problema, lo que será el primer paso para encontrar la causa raíz” y, de este modo, proporcionar una solución definitiva al problema en cuestión.

Figura 2.8: Círculo de Ohno



Fuente: Autor.

2.1.10 Matriz de hipótesis

La matriz de hipótesis es una herramienta en la cual se establece un sistema de filas y columnas, donde primeramente se argumentan las hipótesis en las filas. Al respecto, una hipótesis se define como “una afirmación que puede o no ser cierta. Sin embargo, se formula en base a un indicio o a una serie de hechos, a los cuales se puede añadir determinados supuestos” (Westreicher, 2020); o sea, son conjeturas realizadas por medio de la observación de diferentes situaciones.

Seguidamente, en las columnas, se plantean los experimentos con los que se desea refutar o demostrar las distintas hipótesis. Además, se pueden añadir columnas adicionales, incluyendo aspectos como responsables, fechas esperadas y tipo de análisis, solo se debe reservar la última columna para anotar los resultados de las pruebas realizadas.

Figura 2.9: Ejemplo de una matriz de hipótesis

HIPÓTESIS	PROTOTIPO	+		-
<p>Hipótesis 1</p> <p>¿Los usuarios ven práctico organizarse las actividades de viaje desde una página web?</p>	<p>Versión 1</p>	<p>“Es más rápido, está todo en el mismo sitio, no hay que mirar más blogs”</p>	<p>“Terminas con un itinerario ya formado, además, puedes luego incluir más datos en el pdf impreso”</p>	<p>“Tengo la sensación de que encontraré mejores ofertas si comparo en otros sitios”</p>
<p>Hipótesis 2</p> <p>¿Confían los usuarios en las actividades propuestas?</p>	<p>Versión 2</p>	<p>“Aparece todo muy bien explicado, con lo que debes llevar y todo”</p>	<p>“Me gusta que haya recomendaciones de otros viajeros”</p>	<p>“Pero como no sé si voy a poder acceder realmente, parecen de terceros”</p> <p>“No sé ni siquiera si va a estar en mi idioma”</p>
<p>Hipótesis 3</p> <p>¿Los usuarios son capaces de acceder a las actividades con la app?</p>	<p>Versión 3</p>	<p>“En la lista de documentos se ve claramente que esto lo tengo que llevar impreso”</p>	<p>“Solo es ir a la actividad dentro del itinerario, está después de la descripción”</p>	<p>“¿Y si no puedo imprimirlos y no tengo internet?”</p>

Fuente: Dothinklab, 2022.

2.1.12 Lluvia de ideas

También conocida como tormenta de ideas, su objetivo es generar nuevas y creativas ideas mediante el trabajo en equipo. Al respecto, Peiró (2019) menciona que esta técnica “surge ante la necesidad de obtener nuevas soluciones, propuestas o alternativas ante un tema determinado. Además, el hacerlo en equipo puede resultar más alentador si cabe, ya que surgirá una mayor cantidad de ideas en menor tiempo de dedicación”.

Esta herramienta se originó en 1948 por el ejecutivo publicitario Alex F. Osborn, quien exploraba formas de que sus empleados generaran nuevas ideas y estableció varias características de la lluvia de ideas, entre estas: evitar criticar a los compañeros, apuntar todas las ideas, respetar los turnos y exponer todo lo que pase por la mente (aunque no tenga sentido inicialmente, puede impulsar nuevas ideas).

Es necesario recalcar el respeto por todos los compañeros, pues ninguna idea tiene por qué ser disparatada, sino que todos los aportes deben ser tomados en cuenta durante todo el proceso.

Figura 2.11: Lluvia de ideas



Fuente: Peiró, 2019.

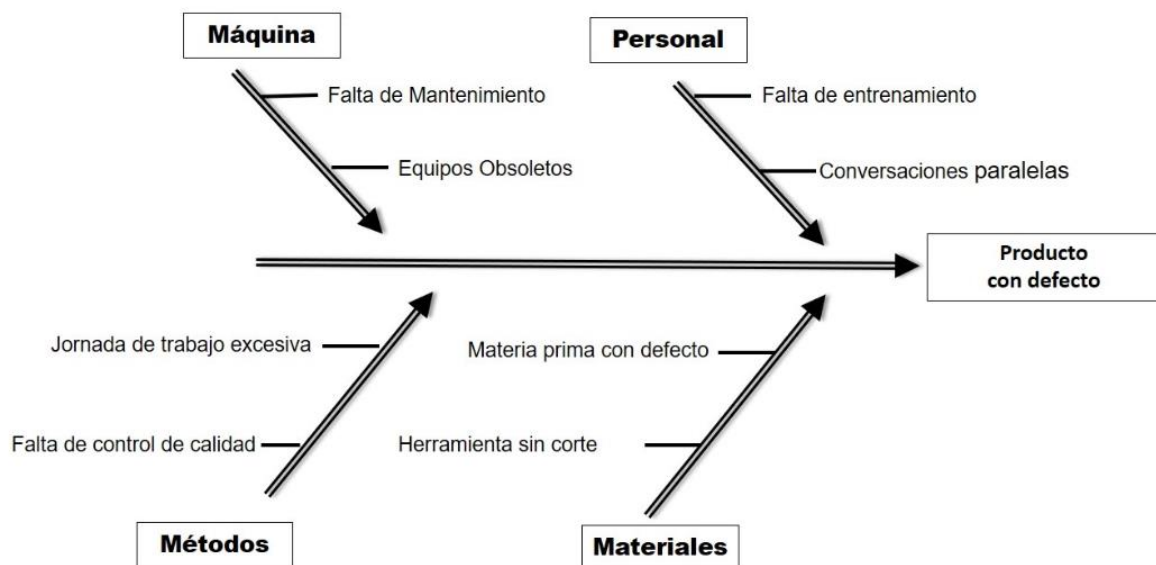
2.1.13 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, conocido como diagrama de causa y efecto, es una herramienta de calidad que ayuda a listar las causas y raíces de un problema, analizando todos los factores involucrados en la ejecución del proceso. En cuanto a esto, según el Blog de la Calidad (2017), “eliminado las causas, se elimina el problema”, porque todo problema tiene causas específicas y deben ser analizadas y probadas, una a una, a fin de comprobar cuál está causando el efecto (problema) que se quiere eliminar.

El diagrama de Ishikawa es una herramienta práctica, muy utilizada para realizar el análisis de la causa raíz en evaluaciones de no conformidades, la cual indica la relación existente entre el resultado no deseado o no conforme de un proceso (efecto) y los diversos factores (causas) que pueden contribuir a ese resultado.

Originalmente, se proponen seis categorías para desarrollar el diagrama, a saber: máquina, materiales, mano de obra, medio ambiente, método y medidas (las 6M). Sin embargo, no en todos los procesos o problemas se emplean todos estos factores, por lo que es necesario evaluar cuáles están presentes o son importantes para la ejecución.

Figura 2.12: Ejemplo de un diagrama de Ishikawa



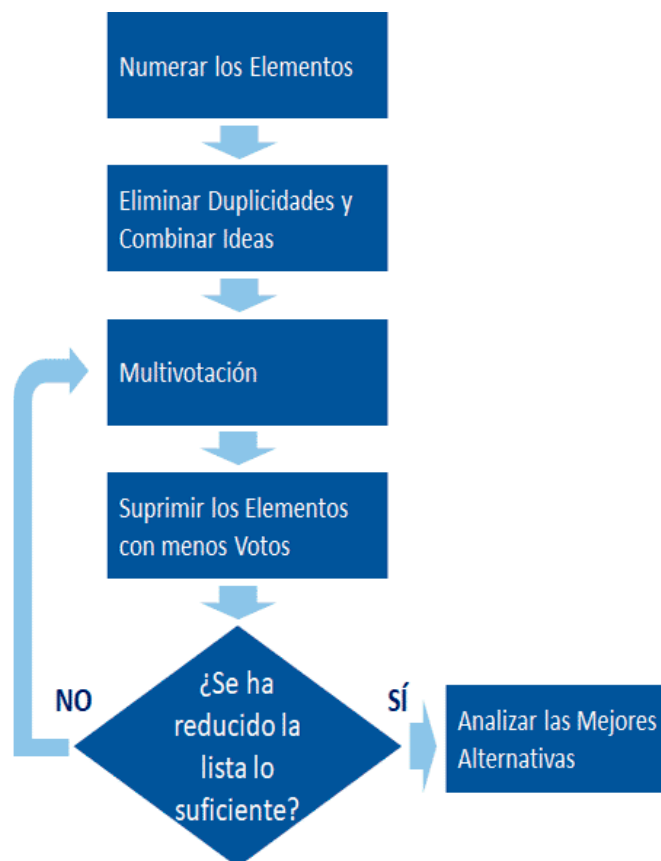
Fuente: Blog de la Calidad, 2017.

2.1.14 Multivoto

El multivoto es una técnica que consiste en reducir una lista de ideas hasta un número razonable, mediante una serie escalonada de votos. Esta técnica reduce la lista y deja pocas ideas que el grupo reconoce como de peso o considera como las más relevantes.

Para implementarlo, es necesario enlistar todas las ideas y, luego, cada persona del grupo da un voto a cada una, de preferencia de entre 1 y 3, siendo 1 sin importancia y 3 importante. Al final de la votación, se suman los votos otorgados a cada idea y se desechan aquellas con menos votos. Si la lista continúa con exceso de ideas, se repite la votación hasta tener una cantidad de ideas razonable, o se efectúa una discusión grupal de cuánto es el máximo de ideas por tratar.

Figura 2.13: Secuencia de multivoto



Fuente: Aiteco, s.f.

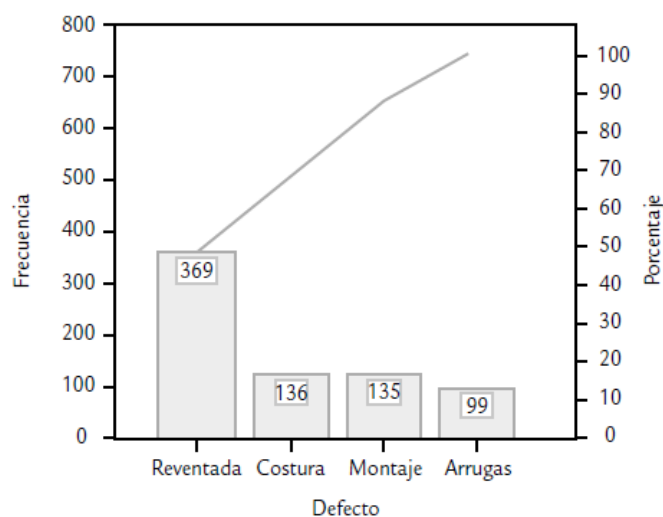
2.1.15 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto funciona bajo la premisa 80-20, lo cual a nivel empresarial se traduce a que el 80 % de la problemática de una situación específica es generado por el 20 % de las causas. De acuerdo con Gutiérrez Pulido y De la Vara Salazar (2009):

Es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a localizar el o los problemas vitales, así como sus principales causas. La idea es que cuando se quiere mejorar un proceso o atender sus problemas, no se den ‘palos de ciego’ y se trabaje en todos los problemas al mismo tiempo atacando todas sus causas a la vez, sino que, con base en los datos e información aportados por un análisis estadístico, se establezcan prioridades y se enfoquen los esfuerzos donde estos tengan mayor impacto (p. 140).

Por lo tanto, su principal función es reducir los problemas a unas pocas causas que provocan la mayoría de la problemática, obteniendo resultados favorables en menor tiempo.

Figura 2.14: Ejemplo de Pareto



Fuente: Gutiérrez Pulido y De la Vara Salazar, 2009, p. 140.

2.1.16 Diagrama de Gantt

Según Martins (2022), el diagrama de Gantt es una herramienta muy utilizada en la gestión de proyectos y consiste en un gráfico de barras horizontales, empleadas para ilustrar el cronograma de avance de un proyecto; así, es fácil visualizar la programación, dar seguimiento al avance y estar al tanto de los logros del cronograma de trabajo, ofreciendo un panorama general, pero a la vez muy completo de lo que se debe realizar en cada etapa, quién lo hace y cuándo.

Figura 2.15: Ejemplo de un diagrama de Gantt

DIAGRAMA DE GANTT

Actividades	DIAGRAMA DE GANTT												
	Junio				Julio				Agosto				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Programar jornadas de alfabetización tecnológica a usuarios.	■	■											
Verificar el estado de los equipos informáticos.		■	■										
Gestionar recursos para el mantenimiento y reparación de las P.C.				■									
Realizar mantenimiento a las P.C.					■	■	■						
Facilitar talleres a usuarios tecnológicos de la Institución.								■	■	■			
Jornada de cierre de proyecto en la Institución.											■	■	

Fuente: Administrar Proyectos, s.f.

El primer diagrama de Gantt fue creado por Karol Adamiecki, quien inventó el llamado armonograma en 1896. Adamiecki publicó sus hallazgos en los idiomas ruso y polaco, lo que entorpeció su acceso en los países de habla inglesa.

En 1910, Henry Laurence Gantt popularizó un gráfico similar en los Estados Unidos, elaborado con el objetivo de simbolizar cuánto tiempo tardaban los obreros de una fábrica en trabajar sobre una tarea específica. Desde entonces, los dos sistemas se combinaron para crear lo que hoy se conoce como el diagrama de Gantt.

2.1.17 Registros históricos

Los registros históricos son antecedentes ocurridos a lo largo de la historia de la empresa, tales como indicadores, registros de producción, movimiento de personal, entre otros, que se almacenan en diferentes medios, como electrónicos o físicos, para la consulta y posterior análisis de tendencias o simplemente para tomar referencias de hechos ocurridos con anterioridad.

Dentro de las empresas, al igual que los datos de las investigaciones, se pueden obtener tres tipos de registros históricos, los cuales son:

- Registros sin procesar: Son registros originales, que son almacenados sin ningún tipo de análisis previo.
- Registros procesados: Son los registros primarios que ya fueron digitalizados, validados y segregados a información considerada como importante.
- Registros analizados: Estos registros son parte de modelos, gráficos, tendencias o proyecciones realizadas para cualquier situación o evento.

Es importante mencionar que los datos procesados ya fueron segregados por algún individuo con ciertas necesidades, por lo cual la necesidad de una persona no siempre es la misma de otra; de este modo, para el éxito de un proyecto, se recomienda iniciar con registros sin procesar.

2.1.18 Técnica grupal

Las técnicas grupales son dinámicas realizadas a grupos de trabajo para cumplir un objetivo desde múltiples puntos de vista, obteniendo una mayor productividad, logrando el compromiso de los miembros y aumentando la gratificación grupal.

Existen muchas técnicas de este tipo, por lo cual se debe efectuar un análisis de las que mejor se adapten a la necesidad planteada con un moderador que sea oportuno, pues las técnicas no operan por sí solas, requieren un uso oportuno y adecuado.

2.1.19 Retorno de inversión

El ROI, por sus siglas en inglés (*Return On Investment*), o retorno de inversión, es una métrica utilizada por las empresas para determinar cuánta ganancia se obtuvo por medio de las inversiones realizadas, y sirve para proporcionar una dirección a los gerentes y evaluar la ejecución de los proyectos.

De acuerdo con Maejo (2022), “Se trata de una ecuación muy sencilla y directa que puede ser empleada para hacer los cálculos sobre la rentabilidad estimada la mayoría de las inversiones, desde acciones, hasta algún proyecto comercial o transacciones inmobiliarias”, lo cual permite ser utilizada como una herramienta financiera imprescindible en los proyectos, ya que posibilita:

- Evitar las pérdidas en proyectos.
- Facilita a los administradores la planificación.
- Prioriza el aprovechamiento de los recursos.

Para obtener el ROI, se utiliza una ecuación muy sencilla y directa que puede ser empleada para hacer los cálculos sobre la rentabilidad estimada de la mayoría de las inversiones, desde acciones hasta algún proyecto comercial o transacciones inmobiliarias, y es la siguiente:

$$ROI = \frac{\text{Ganancia neta de la Inversión}}{\text{Costo de la Inversión}}$$

Donde:

Ganancia neta de la inversión: Son todas aquellas ganancias o rendimientos obtenidos de la inversión, sin olvidar todo lo que se pueda derivar de esta.

Costo de la Inversión: Es el total del dinero colocado en la inversión, tomando en cuenta los gastos generados desde la concepción hasta puesta en marcha del proyecto, incluyendo todos los pagos o gastos derivados a partir de este.

El resultado de esta ecuación permite obtener una cifra de retorno por la inversión hecha en el proyecto, determinando así un porcentaje para analizar el entorno.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se exponen los detalles más significativos de la empresa VOQOR S.R.L., donde se lleva a cabo el estudio.

2.2.1 Visión/misión

La visión y misión de la empresa VOQOR S.R.L. se muestran seguidamente.

Visión

“Transformar la forma en que vive, trabaja, juega y se comunica” (VOQOR S.R.L., 2022).

Misión

“Impulsar la conectividad, sin importar la tecnología” (VOQOR S.R.L., 2022).

2.2.2 Antecedentes históricos

La compañía se fundó en 1979 en Orlando, estado de La Florida, Estados Unidos, bajo el nombre de TEKSAW. Fue creada por un grupo de cuatro ingenieros de la reconocida empresa Texas Instruments, quienes decidieron unir sus conocimientos y experiencia en

la investigación, diseño, desarrollo, ampliación y fabricación de unidades de onda acústica de superficie.

En los primeros años del desarrollo de la empresa, TEKSAW dependía en gran medida de los contratos con el Gobierno de los Estados Unidos, pero a mediados de la década de 1980, debido a los recortes presupuestarios militares, la empresa comenzó a cambiar su enfoque hacia el creciente número de aplicaciones comerciales. Aunque la empresa fue favorecida por el impacto de la tecnología digital en la industria de las telecomunicaciones, que para ese entonces estaba entrando en un importante período de rápida expansión y había impulsado el propio crecimiento de TEKSAW, la transición a la esfera comercial fue, en el mejor de los casos, gradual y tomó más de una década.

De este modo, en enero de 1996, debido a la creciente demanda en sus productos, por la alta calidad y tecnología de punta utilizada en los mismos, la compañía expandió sus operaciones fuera de los Estados Unidos, iniciando sus operaciones en suelo costarricense, donde ubicó su planta en la Zona Franca Ultrapark en La Aurora de Heredia. Sin embargo, por su rápido crecimiento inició la construcción de una nueva planta en la Zona Franca Metropolitana en Ulloa de Heredia, lugar conocido popularmente como Barreal de Heredia, donde se encuentra asentada desde julio de 1998. En ese mismo año la empresa se certificó bajo la norma de calidad ISO 9001-2000, reconocida internacionalmente por garantizar la calidad de los productos de manufactura.

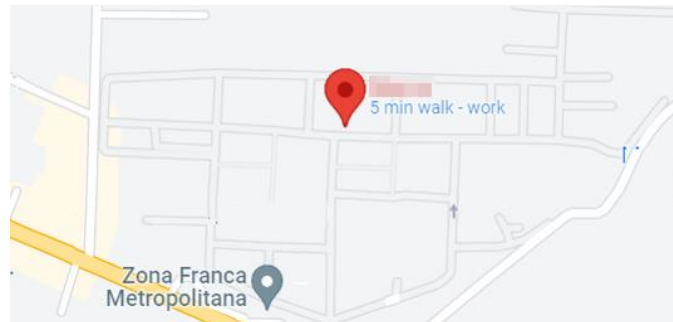
En julio del 2001, se realizó una fusión entre la compañía TEKSAW y la corporación QUINTTRI Semiconductor, la cual permitió expandir las ofertas de productos, con la visión del desarrollo de módulos integrados para la industria de las comunicaciones inalámbricas. A causa de esta integración, se procedió con el cambio de nombre de la compañía a QUINTTRI S.R.L. y pasó a ser de la corporación QUINTTRI Semiconductor, Inc.

En el 2014 se unió con la compañía MDRF, formándose una nueva corporación llamada VOQOR S.R.L. en enero del 2015. De esta manera, se creó uno de los principales competidores del mercado y se posicionó como la principal opción a nivel mundial en soluciones de semiconductores, ubicada en más de 51 localidades a lo largo del planeta.

2.2.3 Ubicación geográfica

La empresa VOQOR S.R.L. se localiza en la Zona Franca Metropolitana, en el distrito de Ulloa, cantón de Heredia, provincia de Heredia. A continuación, se muestra su ubicación en la siguiente figura:

Figura 2.16: Mapa satelital de VOQOR S.R.L.

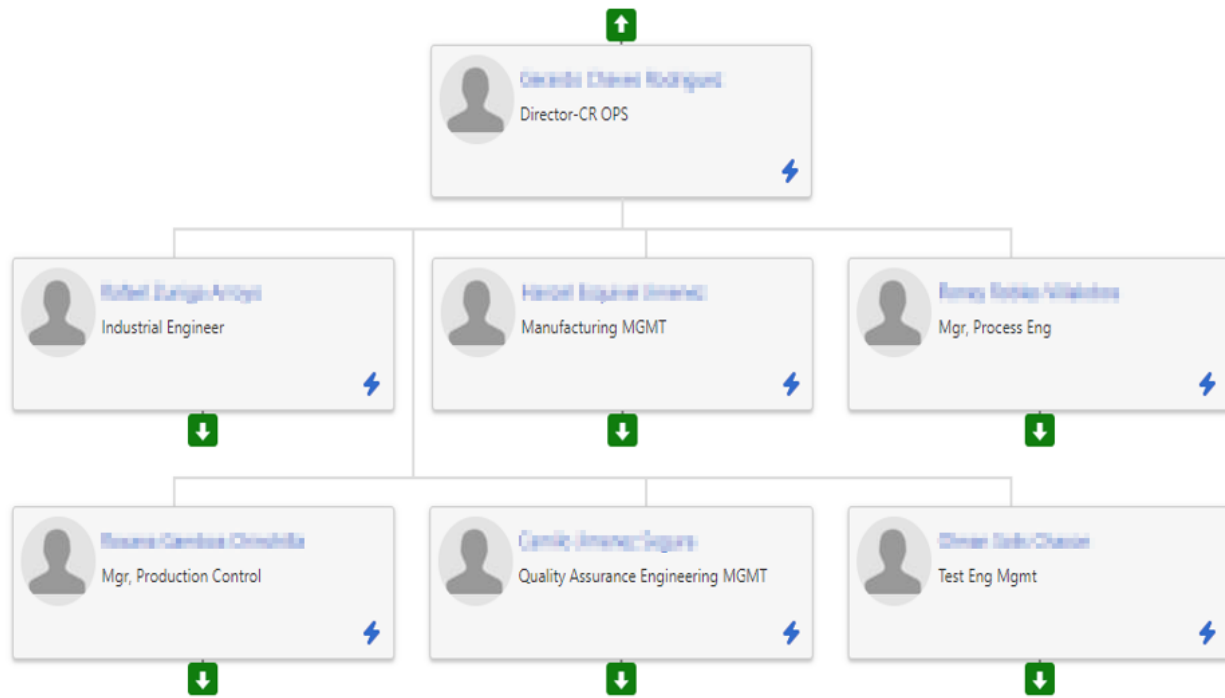


Nota. Google, 2022.

2.2.4 Estructura organizacional

Seguidamente, se presenta la estructura organizacional de la empresa VOQOR S.R.L.:

Figura 2.17: Organigrama de VOQOR S.R.L.



Fuente: RR.HH. de VOQOR S.R.L.

Según el organigrama anterior, la organización está compuesta por varias áreas, las cuales colaboran entre sí para alcanzar los objetivos; iniciando con la Gerencia General, a cargo de las áreas de Industrial, Gerencia de Producción, Gerencia de Ingeniería de Ensamble, Gerencia de Operaciones, Gerencia de Calidad y Gerencia de Ingeniería de Pruebas.

La empresa consta de dos departamentos adicionales, que no reportan directamente a la Gerencia General, estos son dirigidos desde la corporación en Estados Unidos, a saber, Gerencia de Recursos Humanos y Gerencia de Sistemas de Información, los cuales están al servicio de las demás áreas en Costa Rica para el cumplimiento de los objetivos.

2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 2.3: Cantidad de empleados por área

Puesto o área	Cantidad
Gerencia General	1
Ingeniería Industrial	2
Producción	190
Ingeniería de Ensamble	48
Operaciones	27
Calidad	22
Ingeniería de Pruebas	22
Recursos Humanos	4
Sistemas de Información	13
Total	329

Fuente: RR.HH. VOQOR S.R.L.

2.2.6 Tipos de productos

La empresa VOQOR S.R.L. se especializa en dispositivos BAW y SAW, también en otro tipo de tecnología de semiconductores. VOQOR S.R.L. (s.f.) enumera los siguientes productos:

- **Amplificadores:** Amplificadores de señal utilizados en una amplia variedad de aplicaciones como dispositivos móviles, conectividad inalámbrica, infraestructuras de red y defensa, así como aeroespacial, con grandes capacidades de rendimiento.
- **Transistores discretos:** Transistores de radiofrecuencia de alta potencia y frecuencia.
- **Filtros y duplexores:** Filtros avanzados y de alto rendimiento que permiten el nivel más alto de cobertura de red inalámbrica de coexistencia LTE, con la cartera más amplia, cubriendo las frecuencias de 400 MHz a 2.7 GHz, incluidas las bandas celulares (2G/3G/4G/LTE), GPS e industrial, científica y médica (ISM).
- **Convertidores de frecuencia:** Una amplia gama de productos fuente y de conversión de frecuencia utilizados en la conversión ascendente o descendente de señales de RF que ofrecen un rendimiento de vanguardia al tiempo que mantienen paquetes estándar de la industria y están optimizados para infraestructura celular, radio punto a punto y radar automotriz.
- **Módulos integrados:** Productos integrados combinan múltiples funciones en un solo paquete, lo que reduce la complejidad del diseño y maximiza el rendimiento. Diseñados para una amplia gama de aplicaciones, incluidos productos móviles, conectividad WiFi, automotriz, televisión por cable, Internet de las cosas y más.
- **Conectividad inalámbrica:** Abarca módulos frontales integrados, WiFi, filtros, conmutadores, controladores de Internet de las cosas (IoT) y transceptores de banda ultraancho. Estos productos sirven para una amplia variedad de aplicaciones en los mercados de consumo, industrial, automotriz y otros.
- **Gestión de energía:** Los productos de administración de energía brindan nuevos niveles de eficiencia para cargar, alimentar y controlar una amplia gama de aplicaciones industriales, comerciales y de consumo. Altamente configurables y

los circuitos integrados de administración de energía analógicos programables minimizan el uso de energía, reducen el tamaño y el costo de la solución, mejoran la confiabilidad del sistema y acortan el tiempo de desarrollo del sistema.

- Pasivos: Una variedad de componentes pasivos generales para mejorar la optimización de los sistemas. Los productos pasivos incluyen transformadores, circuitos de protección ESD, divisores de potencia, acopladores Lange y filtros Bessel.

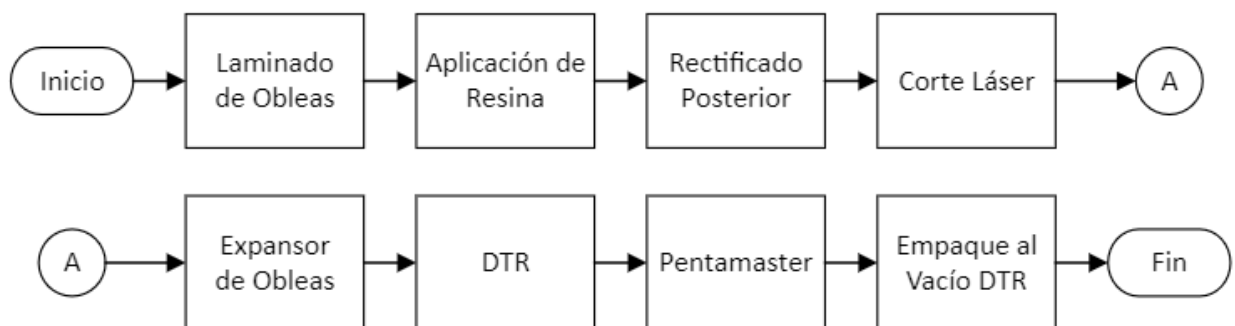
2.2.7 Mercado de exportación

El mercado de exportación de VOQOR S.R.L. es en su mayoría a clientes asiáticos, con locaciones como China, Vietnam, Corea del Sur, Malasia, entre otros países. El mercado estadounidense es el segundo en importancia para la empresa, donde son requeridos en mayor cantidad los productos de última tecnología y los clientes son líderes tecnológicos en sus respectivas áreas, quienes exigen calidad de primer mundo y tienen fábricas que adquieren subensambles de módulos ya terminados, listos para ser insertados en sus procesos de fabricación, o arman sus propios módulos de funcionamiento, con componentes de VOQOR S.R.L. y de otros proveedores.

2.2.8 Descripción general del proceso productivo

A continuación, se indica el diagrama de flujo de la línea de producción C6-uBaw de la empresa VOQOR S.R.L.:

Figura 2.18: Diagrama de flujo de la línea C6-uBaw de VOQOR S.R.L.



Fuente: Autor.

El proceso de producción de la línea C6-uBaw está conformado por ocho operaciones, donde cada lote consta de una única oblea. Al respecto, una oblea es una lámina con miles de dispositivos, en este caso, de hasta 70 000 piezas, que se ensamblan con otros materiales para formar un producto determinado de VOQOR S.R.L.

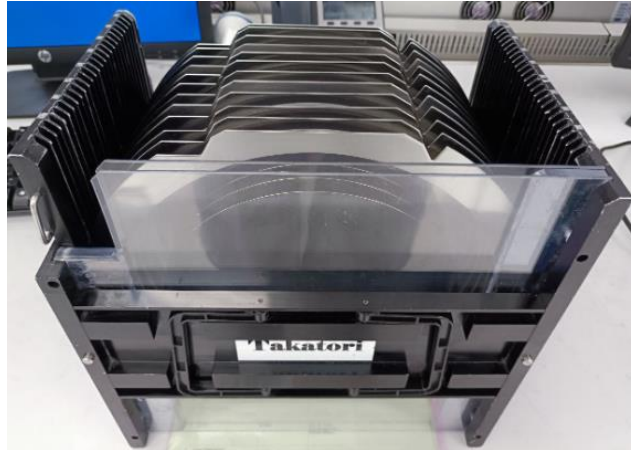
Figura 2.19: Oblea antes de ser procesada



Fuente: Autor.

- Laminado de Obleas (*Wafer Lamination*): Es la operación inicial. Se trata de un proceso automático realizado en una única máquina, Takatori DTM-300B, con una capacidad máxima de doce unidades y en la cual se introducen las obleas en un lado del equipo, se colocan en un casete de almacenamiento como el mostrado en la imagen anterior y, una vez procesadas, salen del otro lado del equipo, en un casete de mayor tamaño, unidas al aro metálico, mediante una película de plástico transparente, perfectamente alineadas.

Figura 2.20: Oblea después de Laminado de Obleas



Fuente: Autor.

- Aplicado de Resina (*Resin Apply*): Este es un proceso automático, efectuado en una única máquina DPM2190CX. Las obleas se introducen al equipo en el mismo casete que viene del proceso anterior y la máquina las toma una a una para agregarles una resina en la parte inferior, esto aumenta el grosor de la oblea. Luego, las separa de la lámina plástica aplicada en el proceso anterior, para colocarlas en la salida de la máquina, en un casete de menor tamaño.

Figura 2.21: Oblea después de Aplicado de Resina

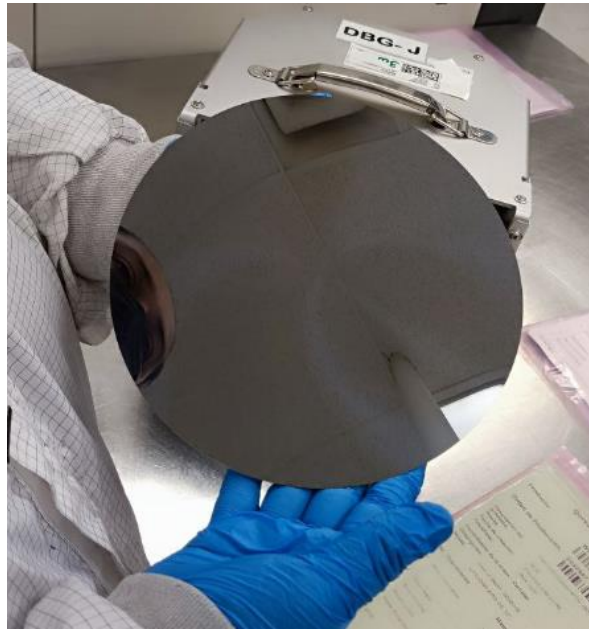


Fuente: Autor.

- Rectificado Posterior (*Back Grinding*): Este proceso se lleva a cabo en un único equipo DFG8540 y es totalmente automático, solo se debe ingresar el material en el casete que viene del proceso anterior y la máquina toma una a una cada oblea,

les realiza una pulida de dos fases en la parte posterior, donde fue aplicada la resina, para eliminar cualquier irregularidad generada y dejarla del grosor requerido. Luego, vuelve a colocar la oblea en la misma posición que lo tomó.

Figura 2.22: Oblea después de Rectificado Superior



Fuente: Autor.

- Corte Láser (*Stealth Laser*): Como los procesos realizados anteriormente, es automático y ejecutado en una única máquina DFL7361. Consiste en ingresar el casete con las obleas para que el equipo haga un corte con láser, dividiendo una oblea completa en filas y columnas de piezas. El corte efectuado es tan delgado, que no es apreciable a simple vista.
- Expansor de Obleas (*Wafer Expander*): Es un proceso automático, realizado en una única máquina DFX2400, en la cual se ingresa el casete con la oblea y se ejecuta un proceso similar a la primera operación. Así, se coloca la oblea en un aro metálico mediante una cinta plástica transparente, pero se le agrega un paso más: se expande la cinta. Esta función es para separar las piezas unas de otras, a una distancia que aún no es visible a simple vista, poco más de 0.04 mm, con el fin de que la operación siguiente no tenga problemas para recolectar las mismas.

- DTR: Esta es considerada la operación más importante de la línea. Es un proceso semiautomático, donde cada oblea es ingresada en la máquina Ismecca NX32 y esta es atendida por los operadores para mantenerla trabajando. Se tienen siete equipos disponibles para esta operación y cada máquina se encarga de recolectar uno a uno cada DIES que conforma la oblea.

Figura 2.23: Ismecca NX32



Fuente: Autor.

Los dispositivos son colocados en un carrito plástico, con una capacidad máxima de 50 000 unidades, el cual es la presentación final entregada al cliente. En el lenguaje de producción, estos carritos son conocidos como rollos. Cada uno de estos rollos tiene una identificación única e irrepetible, y es diferente al lote del cual provienen, pues siguen un consecutivo que enlista todos los modelos producidos.

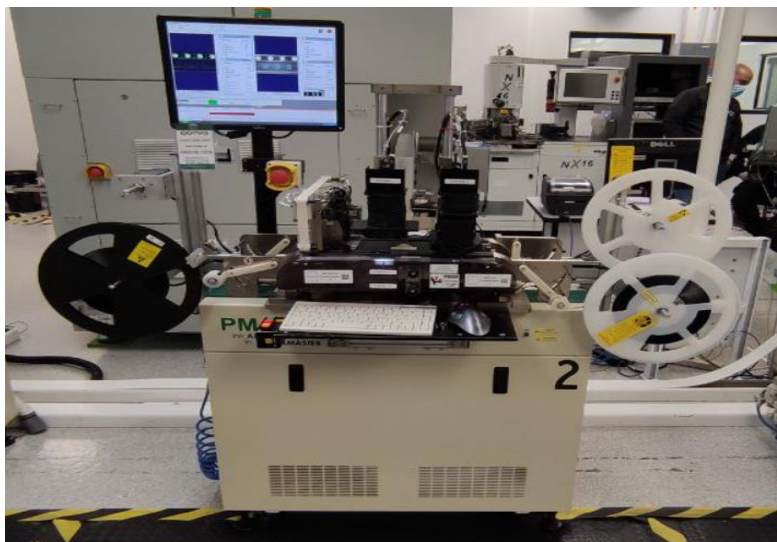
Figura 2.24: Carrete con dispositivos



Fuente: Autor.

- Pentamaster: Esta es una operación automática en la cual se ingresan los ahora llamados rollos a los equipos y se les realiza una inspección óptica al 100 %. La inspección se lleva a cabo para verificar la integridad de cada pieza, evitando enviar material con defectos a los clientes. Esta inspección no se les hace a todos los rollos, solo al primer rollo de cada máquina en cada turno, con el propósito de certificar el buen funcionamiento de los equipos de DTR, ya que estos también poseen sistemas de visión para segregar material defectuoso.

Figura 2.25: Pentamaster PM



Fuente: Autor.

- Empaque al Vacío DTR (*Vacuum Pack DTR*): Esta última operación es manual y solo se cuenta con una estación de trabajo en la cual los rollos son introducidos en bolsas metálicas que son infladas con nitrógeno, para luego retirar el nitrógeno y sellar la bolsa metálica al vacío. El propósito del nitrógeno es eliminar el oxígeno de la bolsa antes de sellarla y, así, evitar que el producto genere corrosión con el paso del tiempo. Por último, solo se entregan los rollos a la bodega en grupos de diez.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis actual posee un enfoque de investigación mixto, el cual se desarrolla como un proceso que recolecta, analiza y posee una conexión de datos cuantitativos (estadísticas, causa-efecto, proceso, secuencial, deductivo, probatorio, análisis objetivo, generalización, control, precisión, réplica, predicción) y enfoque cualitativo (significados, inductivo, interpretativo, realidad subjetiva, profundiza ideas, amplitud, contextualiza) (Hernández Sampieri et al., 2014).

Al respecto, Hernández Sampieri et al. (2014) señalan que es necesario tener una secuencia en la investigación y mantenerla para cumplir con éxito cada parte y al ser con un enfoque cuantitativo, se debe acotar y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación.

Además, los autores agregan acerca del enfoque cualitativo:

[...] guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis precede a la recolección y el análisis de datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de datos (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 7).

Por lo tanto, se emplearon ambos enfoques al ser necesarios en la investigación.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método o diseño, según Hernández Sampieri et al. (2014), “se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de resolver el planteamiento del problema” (p. 128). Asimismo, de acuerdo con estos autores:

Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis (o no se establecieron debido a la naturaleza del estudio), el investigador debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los

objetivos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular de su estudio (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 128).

Debido a lo expuesto, en el análisis se utilizó la metodología DMAIC, *project charter*, árbol de CTQ, diagrama de SIPOC, diagramas de flujo, diagramas de recorrido, gráfica de comportamiento, caminata *gemba*, círculo de Ohno y matriz de hipótesis como herramientas indispensables para el correcto análisis de la gestión. En la siguiente figura, se aprecian las etapas seguidas con la metodología DMAIC:

Figura 3.1: Metodología DMAIC para realizar la investigación



Fuente: Autor.

En la etapa definir, se empleó el *project charter* para la constitución del estudio, estableciendo los involucrados y otorgando las responsabilidades; así mismo, se plantearon los objetivos esperados y las fechas para cada etapa del estudio.

Por medio del diagrama SIPOC, se indicaron todos los elementos que intervienen en el proceso productivo y, con los diagramas de flujo y recorrido, se demostraron y definieron las relaciones existentes entre las diferentes operaciones que componen la línea C6-uBaw.

Ahora bien, en la etapa medir, con la ayuda del gráfico de comportamiento, se detalló el estado actual de la línea de producción, detectando posibles tendencias en esta. Además, con las observaciones directas, realizadas por medio de la caminata *gemba* y el círculo de Ohno, se efectuó una serie de conjeturas con las cuales se desarrollaron hipótesis que desembocaron en comprobaciones, con la finalidad de refutar o comprobar las suposiciones hechas anteriormente por el analista.

Por su parte, en la etapa analizar, se llevó a cabo el estudio aplicando las distintas herramientas de investigación de causas, como lo son la lluvia de ideas, el diagrama de Ishikawa, el multivoto y el diagrama de Pareto, para determinar las causas críticas de los datos obtenidos en las mediciones.

Con relación a la etapa mejorar, se implementó la verificación de las inspecciones de calidad en las auditorías de producto, de igual modo se aplicó la estandarización del reporte de toma de inventario y un mejor control de las capacitaciones del personal operativo.

Por último, en la etapa controlar, mediante el diagrama de Gantt, se calendarizaron las mejoras, junto con las auditorías de producto, para asegurar el cumplimiento de los requerimientos. Asimismo, por medio de la creación de un indicador de capacitación, se estableció un control sobre el estado actual de las certificaciones del personal.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para los insumos de este proyecto, se trabajó con fuentes primarias de información, con el objetivo de establecer la problemática de acumulación de producto en proceso en la línea C6-uBaw y la tardía detección de producto defectuoso, lo cual genera pérdidas para la empresa. De esta manera, se investigó y consultó en documentos teóricos, por medio de miembros de la organización y mediante la recolección de datos y muestras.

En cuanto a lo expuesto, Barrantes Echavarría (2014) menciona: “La recolección de datos es un proceso tan importante como los anteriores y requiere de prudencia, paciencia y orden. Esto implica la necesidad de utilizar instrumentos capaces de captarlos tal cual son, con sus medidas apropiadas y su exacto valor” (p. 193).

Además, Hernández Sampieri et al. (2006), citando a Dahnke, distinguen tres tipos básicos de fuentes de información e indican que estas se componen de fuentes primarias o directas, secundarias y terciarias. Por su parte, Buonocore (1980) define las fuentes primarias de información como “las que contienen información original no abreviada ni traducida: tesis, libros, nomografías, artículos de revista, manuscritos. Se les llama también fuentes de información de primera mano [...]” (p. 229); entre estas, se incluye la producción documental electrónica de calidad.

3.3.1 Sujetos de información

La población de este proyecto son los trabajadores de VOQOR S.R.L., específicamente de la línea C6-uBaw. Asimismo, la información se recolectó por medio de varias herramientas ingenieriles y modelos matemáticos diseñados y ratificados a lo largo del tiempo.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

Las variables sirven para medir, controlar y estudiar un proyecto de investigación. Ahora bien, el estudio de las variables se realizó en un marco conceptual, operacional e instrumental. Al respecto, Hernández Sampieri et al. (2014) explican:

Conceptual: Es el proceso a través del cual se definen teóricamente las variables de estudio, son definiciones de diccionario, de libro especializado y describen la esencia o las características reales de un objeto o fenómeno.

Operacional: Se expone la forma en que se aplican los criterios de medición y evaluación de cada variable, es la que describe las actividades que un observador debe realizar para indicar la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado.

Instrumental: Muestra el o los instrumentos utilizados para medir cada variable.

Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Definir los factores que provocan la problemática en el proceso de la línea C6-uBaw.	Análisis del entorno	Plan de acción para identificar factores estratégicos del entorno y diferenciar entre oportunidades y amenazas.	Se definen todas las variables que influyen en la fabricación de DIES en la línea C6-uBaw, así como los diferentes traslados realizados.	<i>Proyect Charter</i> Árbol de CTQ Diagrama de SIPOC Diagrama de flujo Diagrama de recorrido
Medir la capacidad actual del proceso de la línea C6-uBaw y su impacto en la manufactura del producto "DIES" y en sus inventarios.	Medición	Donde ocurre la recopilación de los datos y la medición de los procesos para determinar los parámetros y expectativas del cliente, así como las variables y el producto que se espera obtener al final del proceso.	Mediante observaciones directas al proceso, se establecen conjeturas sobre los problemas que afectan la línea, comprobando su veracidad mediante experimentos.	Gráfico de comportamiento Caminata <i>gemba</i> Círculo de Ohno Matriz de hipótesis
Aplicar distintas herramientas ingenieriles de análisis de causas, para encontrar la causa principal que genera el alto inventario de la línea C6-uBaw.	Análisis de causas	Levantamiento de las causas raíz de un problema, analizando todos los factores que involucran la ejecución del proceso.	Se analizan todas las causas verificadas que afectan la línea C6-uBaw, para determinar cuáles son las que generan mayor afectación.	Lluvia de ideas Diagrama de Ishikawa Multivoto Diagrama de Pareto
Proponer alternativas de solución en el proceso, con el fin de disminuir el inventario y mejorar los estándares de calidad.	Mejora del proceso	Análisis del proceso actual para la detección de actividades que se pueden mejorar, como ineficiencias y obstáculos, con la finalidad de definir sus metas y objetivos, el flujo de trabajo, los controles y la integración con otros procesos.	Se plantean mejoras a los procesos de la línea C6-uBaw, con el propósito de establecer un método de trabajo fluido y eficiente, reduciendo las pérdidas por fallas de calidad.	Diagrama de Gantt Indicadores de desempeño Auditorías programadas

Fuente: Autor.

La tabla anterior define el paso a paso de cada etapa del proyecto, estableciendo el método por seguir en conjunto con las herramientas aplicadas en cada fase, tanto desde el enfoque cualitativo como el enfoque cuantitativo, con el propósito de lograr de manera exitosa cada objetivo específico planteado, asegurando el cumplimiento del objetivo general y, por ende, el desarrollo del proyecto para la empresa VOQOR S.R.L. en su línea C6-uBaw.

3.5 INSTRUMENTOS

Se deben emplear herramientas ingenieriles y técnicas que permitan recopilar toda la información necesaria para tener una vista clara de la situación planteada por el problema en estudio.

En cuanto a esto, Barrantes Echavarría (2014) indica: “En la investigación se dispone de instrumentos para medir las variables y las interrogantes, a fin de recolectar la información necesaria. Se puede utilizar uno o varios de estos instrumentos, según sea el enfoque en el que estemos trabajando” (p. 259).

Así, para recolectar la información vinculada a los conceptos y las variables fijados en los objetivos de este proyecto, se seleccionó una serie de instrumentos ampliados a continuación.

3.5.1 Observación

Respecto a la observación, Barrantes Echavarría (2014) explica:

[...] la ciencia que comienza con la observación y, finalmente, tiene que volver a ella para su validación final. En cualquier sector de la investigación científica, cabe la observación para descubrir y poner en evidencia las condiciones de los fenómenos (puede ser cotidiana o científica). Ambas se utilizan para obtener conocimientos, pero la segunda es la que debe aplicarse en la investigación (p. 259).

Se efectuó una observación del lugar donde se llevó a cabo el proyecto de investigación, con el fin de tener una idea general de cómo es el ambiente en el cual se desarrollan las actividades y procesos de la empresa.

3.5.2 Entrevista

De acuerdo con Bernal Torres (2010), la entrevista es:

Técnica orientada a establecer contacto directo con las personas que se consideren fuente de información. A diferencia de la encuesta, que se ciñe a un cuestionario, la entrevista, bien puede soportarse en un cuestionario muy flexible, tiene como propósito obtener información más espontánea y abierta. Durante la misma, puede profundizarse la información de interés para el estudio (p.194).

De este modo, se aplicó una entrevista a los operadores y líderes involucrados para obtener información de la problemática en estudio.

3.5.3 Registros históricos

Los registros históricos corresponden a toda la información que la empresa tenga disponible y pueda aportar para sustentar la situación actual de la misma y, así, orientar los esfuerzos con el objetivo de analizar la problemática abarcada en el proyecto.

3.5.4 Técnica grupal (reunión)

Por medio de esta técnica, se obtuvo información acerca de la problemática planteada en el proyecto. Al respecto, se consideró la participación de diversos colaboradores involucrados en las diferentes etapas de la fabricación de los DIES en la línea C6-uBaw. También, se llevaron a cabo reuniones con el equipo de trabajo requerido en distintas etapas de la investigación.

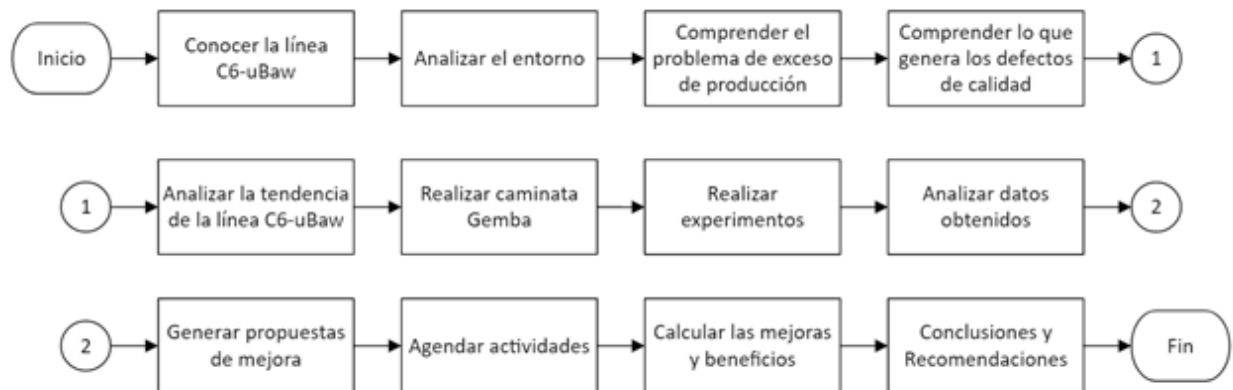
3.5.5 Recorridos

Este instrumento consiste en hacer recorridos por el lugar donde está sucediendo el problema analizado en el proyecto.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

A continuación, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al proceso de análisis de datos:

Figura 3.2: Diagrama de flujo del proceso para la recolección y análisis de datos



Fuente: Autor.

En un inicio, se dio a conocer la información sobre la línea C6-uBaw y el tipo de producto elaborado allí; posteriormente, se analizó el entorno del problema, recopilando todos los registros de datos históricos que influyen en el proceso.

Luego, se aplicaron análisis de tendencia y caminatas *gemba* para entender dónde se deberían enfocar los esfuerzos del estudio, con el propósito de realizar experimentos de aquellas hipótesis que plantearan la aparición del defecto. Cuando, al experimentar con ciertas causas, el defecto se replicó, se generaron propuestas de mejora, atacando las causas encontradas.

Por último, se presentó el costo beneficio de las propuestas, así como las conclusiones y recomendaciones finales, según correspondiera.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta investigación se realizó en la empresa VOQOR S.R.L., ubicada en el sector de Heredia, en la Zona Franca Metropolitana, la cual se dedica al desarrollo y manufactura de filtros de frecuencia SAW y BAW de uso en tecnologías inalámbricas. Ahora bien, para llevar a cabo el proyecto, solo se tomó en cuenta la línea productiva C6-uBaw, que fabrica los componentes llamados DIES.

A continuación, se presenta un resumen con la cantidad de unidades de producto terminado fabricadas en todas las líneas de producción de la empresa VOQOR S.R.L. para el primer trimestre del 2022.

Tabla 4.1: Unidades producidas en el 1º trimestre de 2022, VOQOR S.R.L.

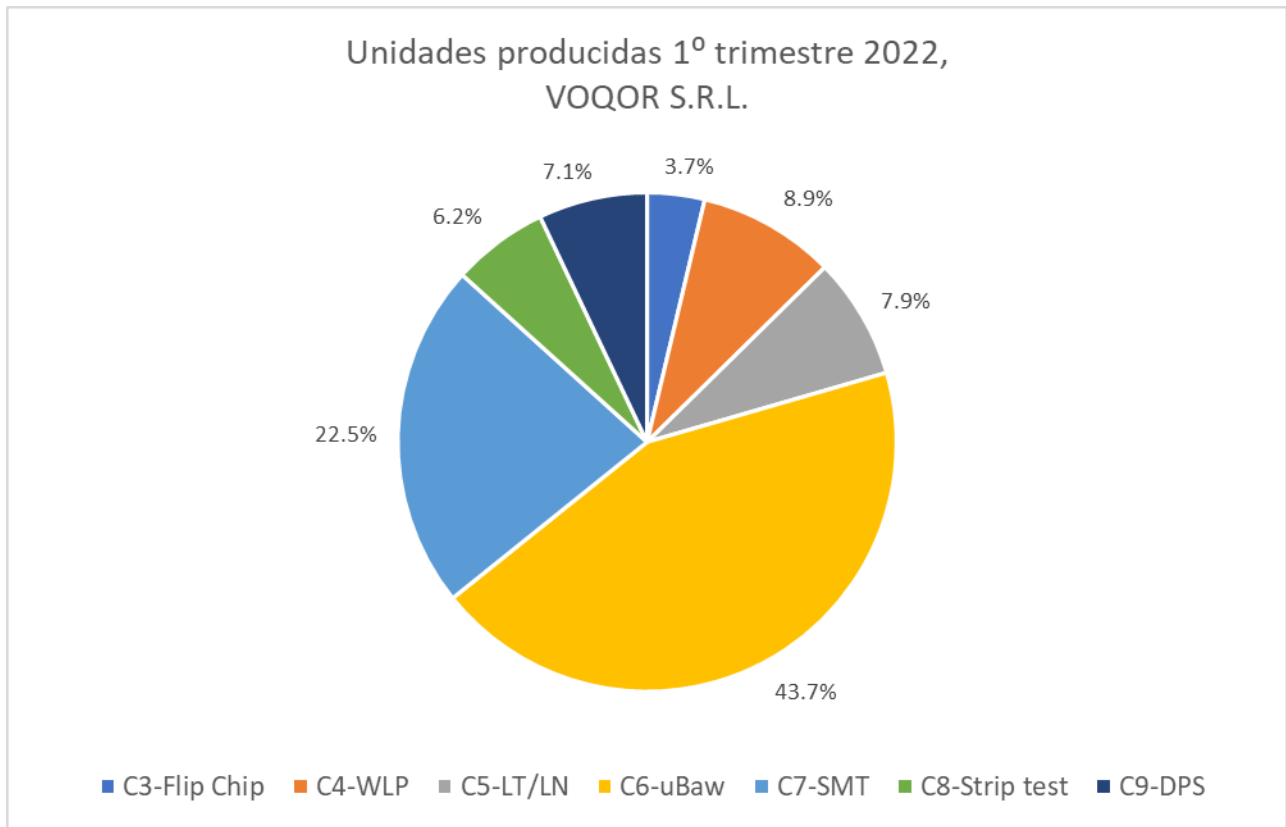
Línea	1º Trimestre 2022	Promedio diario	Porcentaje
C3-Flip Chip	45,948,320	510,537	3.7%
C4-WLP	110,051,200	1,222,791	8.9%
C5-LT/LN	97,316,080	1,081,290	7.9%
C6-uBaw	539,947,760	5,999,420	43.7%
C7-SMT	277,316,240	3,081,292	22.5%
C8-Strip test	77,092,800	856,587	6.2%
C9-DPS	87,182,960	968,700	7.1%
TOTAL	1,234,855,360	13,720,615	100.0%

Fuente: Autor.

La cantidad de producto terminado que produce la empresa VOQOR S.R.L. no se limita a una sola línea productiva, ya que, como se mencionó, consta de siete líneas diferentes, las cuales aportan en menor o mayor proporción. Se aclara que la tabla anterior solo muestra la cantidad de unidades fabricadas consideradas como buenas, no así la cantidad de piezas con defectos rechazadas en ese periodo de tiempo.

El siguiente gráfico de pastel, basado en la tabla 4.1, aporta de manera visual una mejor apreciación de la distribución del producto final entre las líneas productivas:

Figura 4.1: Unidades producidas en el 1º trimestre de 2022, VOQOR S.R.L.



Fuente: Autor.

Como se observa en el gráfico anterior, la línea C6-uBaw representa para la empresa VOQOR S.R.L. un porcentaje mayor al 43 %, alcanzando prácticamente la mitad de su producto terminado total. La línea que sigue en importancia, de acuerdo con el volumen de unidades producidas, es la C7-SMT, la cual corresponde a un 22.5 % del volumen total de la empresa. De este modo, la línea C6-uBaw logra una ventaja de 21.2 puntos porcentuales sobre su competidora más cercana. Esto demuestra que las mejoras aplicadas a la línea C6-uBaw generarían mayores ganancias para VOQOR S.R.L. que cualquier otra implementación de mejora realizada a las otras líneas productivas.

La línea estudiada tiene problemas de exceso de material en proceso, lo cual ha desembocado en otra serie de inconvenientes que provocan problemas en efecto dominó sobre sus procesos y, por ende, afectan su desempeño general. Lo anterior ocasiona la necesidad de abordar el tema para establecer alternativas de solución a los problemas presentes.

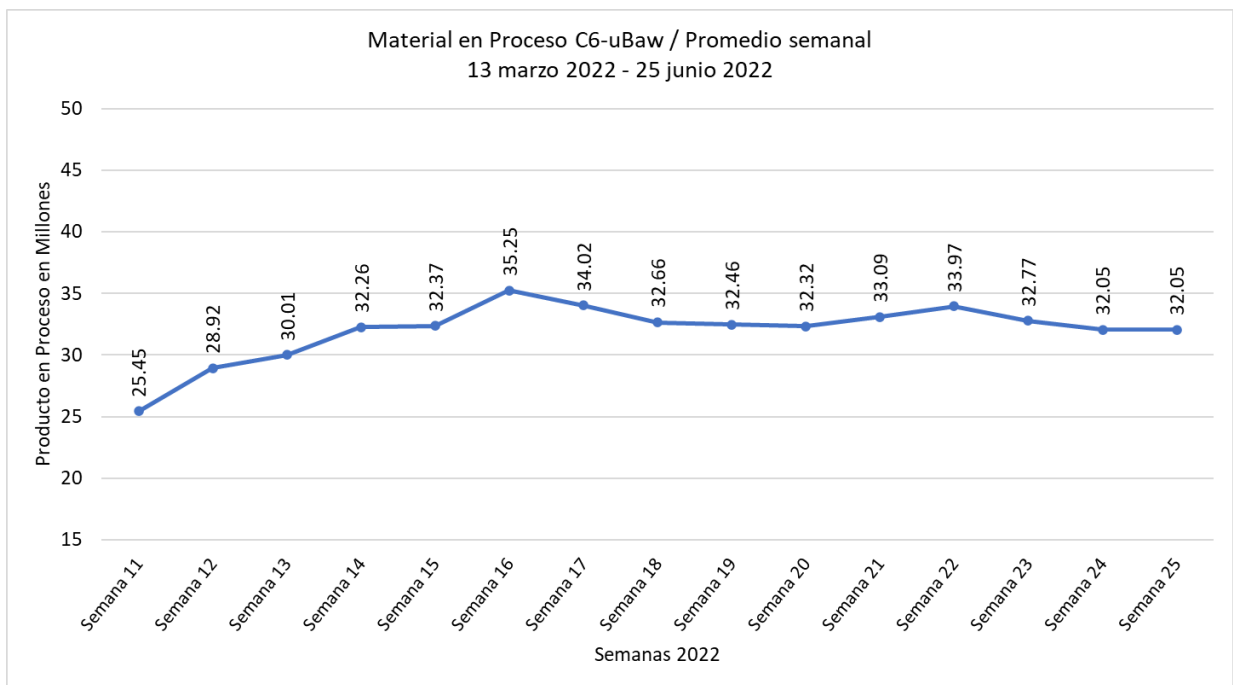
Con el fin de detallar el comportamiento real de la variable estudiada, se utilizó la metodología DMAIC, la cual consta de cinco partes.

4.1 DEFINIR

La empresa VOQOR S.R.L. experimentó un crecimiento exponencial este último año en la demanda de sus productos DIES de la línea C6-uBaw, generando como principal problema el exceso de material en proceso a lo largo de sus operaciones.

En el siguiente gráfico, se detalla el promedio semanal de producto en proceso para la línea C6-uBaw, en el periodo de tiempo que abarca desde el 13 de marzo hasta el 25 de junio del 2022:

Figura 4.2: Gráfico del promedio semanal de producto en proceso



Fuente: Autor.

El gráfico anterior demuestra cómo la línea C6-uBaw mantuvo una tendencia de crecimiento de inventario en proceso las primeras seis semanas graficadas, creciendo desde los 25.4 millones de unidades hasta llegar a un pico máximo de 35 millones de unidades, para que posteriormente descendiera hasta estancarse en los 32 millones de

unidades en las últimas semanas, incrementado en 7 millones de unidades el inventario de producto en proceso a lo largo de la línea productiva.

4.1.1 Project charter

Este proyecto tiene un alto nivel de importancia en la empresa, al ser un problema que se ha dejado de lado por varios meses, debido a la implementación y desarrollo de otras líneas productivas; por lo tanto, se asignó un grupo de trabajo amplio, con el cual se organizó un plan de trabajo. A continuación, en la siguiente tabla, se presenta el *project charter* del proyecto:

Tabla 4.2: Acta de constitución del proyecto (project charter)

Título del Proyecto	Evaluación de los Procesos en la línea C6-uBaw	
Aprobadores		
Nombre	Posición	Fecha Aprobación
Hanzel Esquivel	Gerente de Manufactura	7 marzo, 2022
Goldy Calvo Reyes	Supervisora de Ensamble	7 marzo, 2022
Contexto de Proyecto		
La línea C6-uBaw tiene un crecimiento en la demanda de sus productos "DIES", lo que ha generado un crecimiento significativo en sus procesos productivos, que han sido acompañados de exceso de material en proceso a lo largo de sus operaciones. Por estas razones, se va a realizar un estudio de para ofrecer soluciones para una mejor gestión de sus procesos de manufactura.		
Descripción del Problema		
El principal problema es el exceso de material en proceso en la línea C6-uBaw, pero este ha desencadenado en otra serie de problemas que están afectando las operaciones, tales como defectos de calidad que no son detectados a tiempo y afectación de indicadores de producción.		
Alcance del Proyecto		
La investigación se va a realizar en la VOQOR S.R.L, ubicada en la Zona Franca Metropolitana, ubicada en la zona de Heredia, en específico en la línea de manufactura C6-uBaw, desarrollando soluciones que permitan una reducción de material en proceso, permitiendo que las operaciones trabajen de manera fluida. Además, los hallazgos y resultados que genere la investigación podrían ser exportados a las demás líneas de manufactura en un futuro.		
Objetivos del Proyecto		
Objetivo general Analizar el proceso de manufactura de la línea C6-uBaw mediante la aplicación de la metodología DMAIC, para proporcionar alternativas de solución que permitan el mejor desarrollo del proceso.		
Objetivos específicos		
<ul style="list-style-type: none"> •Definir los factores que provocan la problemática en el proceso de la línea C6-uBaw. •Medir la capacidad actual del proceso de la línea C6-Ubaw y su impacto en la manufactura del producto "DIES". •Aplicar distintas herramientas ingenieriles de análisis de causa, para encontrar la causa principal que genera el alto inventario de la línea C6-uBaw. •Proponer alternativas de solución en el proceso, con el fin de disminuir el inventario y mejorar los estándares de calidad 		
Entregables / Resultados clave		
Soluciones para gestión de las operaciones de la línea C6-uBaw que ayuden a la disminución de inventario en proceso y problemas de calidad, así como mejoramiento de indicadores.		
Limitaciones y Riesgos		
En la investigación solo se va a tomar en cuenta la línea C6-uBaw, no se va a tomar en cuenta las demás líneas de manufactura de la empresa.		
Etapas	Agenda	Métrica
Definir	Abril, 2022	
Medir	Abril - junio, 2022	
Analizar	Julio, 2022	
Mejorar	Setiembre 2022	
Controlar	Setiembre - octubre, 2022	
Nombres del Equipo		
Nombre	Puesto	
Luis Miranda Cordero	Líder de Proyecto	
Carlos Ulate Rodríguez	Supervisor de Pruebas Finales	
Marco Hernández	Ingeniero de Calidad	
Goldy Calvo Reyes	Supervisora de Ensamble	
Gerald Rojas	Líder de Grupo DTR	
Luis Sánchez	Líder de Grupo TTR	

Fuente: Autor.

La gerencia decidió iniciar la elaboración del acta de constitución del proyecto cuanto antes, para realizarle un análisis exhaustivo a la línea C6-uBaw y atacar los diferentes problemas de exceso de producto que se arrastran. Ahora bien, con el propósito de establecer un grupo multidisciplinario, se añadieron participantes externos a la línea en estudio; así, se tendrían puntos de vista distintos a los que ya se desempeñan en esta, o como la gerencia lo indicó: “ojos frescos”, los cuales puedan aportar ideas a procesos o situaciones consideradas en este momento como normales o cotidianas, además de posibilitar exportar ideas de mejora implementadas en otras líneas productivas.

4.1.2 Árbol de CTQ

Para establecer las necesidades de calidad, así como los requisitos fundamentales de calidad del producto de la línea C6-uBaw, DIES, se llevó a cabo un árbol de CTQ (*Critical to Quality*—crítico para calidad).

Al respecto, los puntos críticos de la calidad detallados son primordiales para el correcto desempeño de los dispositivos, asegurando la satisfacción del cliente en sus subensambles.

Cabe mencionar que este árbol de CTQ fue desarrollado en conjunto con los ingenieros de Calidad e ingenieros de Proceso del área en estudio.

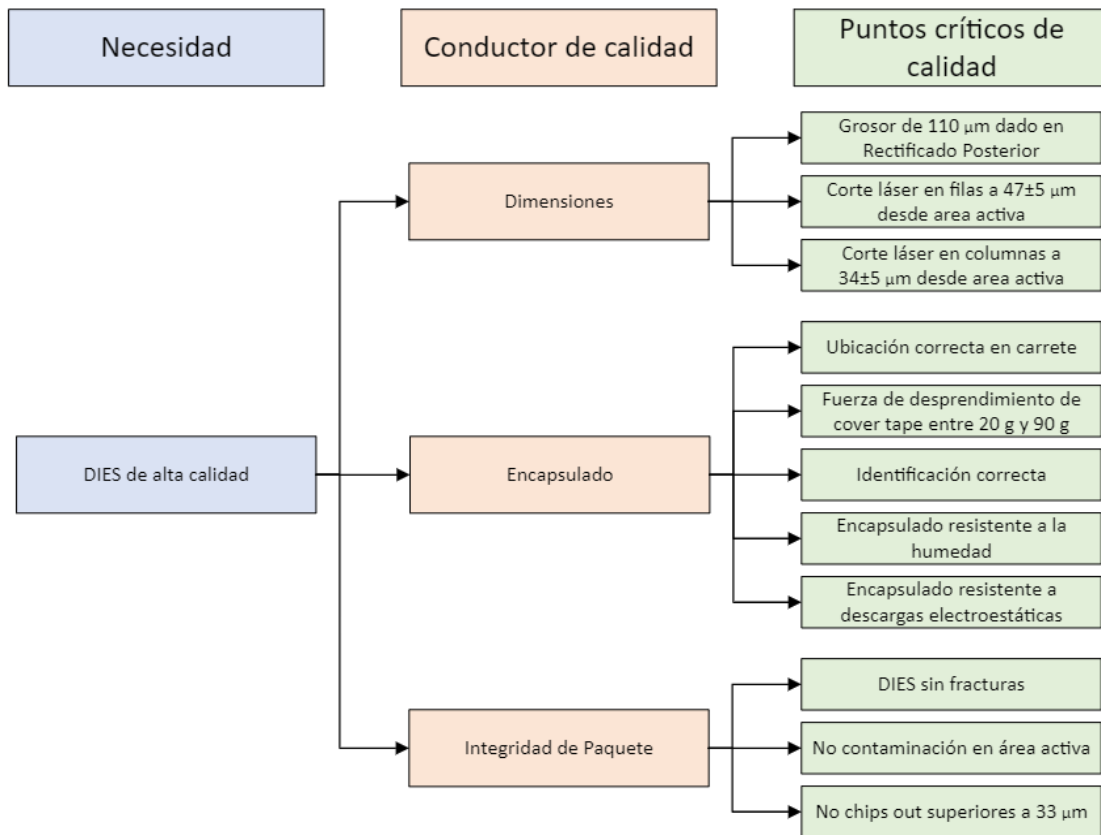


Figura 4.3: Árbol de calidad del producto DIES

Fuente: Autor.

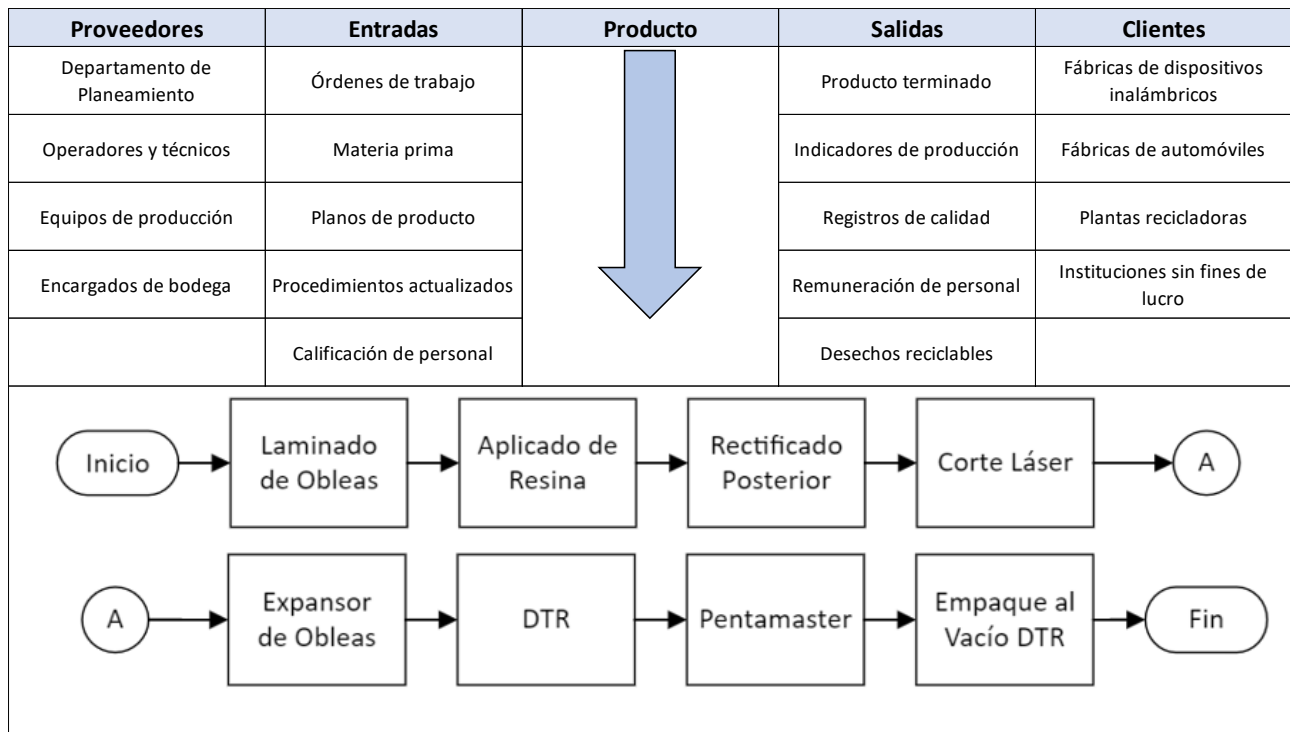
El árbol de CTQ evidencia que en la fabricación de DIES, al ser productos hechos de cristal, los aspectos relacionados a sus dimensiones son muy importantes, pues la mínima variación en sus dimensiones, tanto en sus lados como en el ancho, puede provocar que el producto se fisure en la fabricación de módulos más complejos, generando daños en sus áreas activas, los cuales no serían visibles hasta terminados los componentes; por esto, se realizaron tres inspecciones a las dimensiones del producto en diferentes procesos. Asimismo, la integridad del paquete desde su fabricación es fundamental, por consiguiente, se efectuó una inspección final automática al 100 % de las unidades producidas.

Por último, el almacenamiento o encapsulado es un tema igualmente de gran relevancia, al asegurar la correcta posición en la que el cliente tomará cada unidad; además, se debe garantizar la integridad completa de cada DIES durante su traslado y manipulación.

4.1.3 Diagrama SIPOC

Mediante el diagrama de SIPOC (proveedores, entradas, producto, salidas, cliente), se proporciona una idea general del proceso de manufactura de los DIES a lo largo de la línea C6-uBaw, lo cual permite un mayor entendimiento de su funcionamiento.

Figura 4.4: Diagrama SIPOC para la fabricación de DIES en la línea C6-uBaw



Fuente: Autor.

A partir del diagrama anterior, se determinaron los siguientes aspectos:

Proveedores

El Departamento de Planeamiento se encarga de captar las diferentes órdenes de los clientes y consolidarlas en un plan maestro de producción. Por su parte, los operadores son quienes ponen a trabajar los equipos. Asimismo, se cuenta con técnicos de dos tipos: los técnicos de equipos, encargados de realizar mantenimientos preventivos a los equipos e intervenciones mayores de aspectos encontrados en los mantenimientos correctivos, y los técnicos de producción, responsables de ejecutar ajustes menores y cambios de parámetros en los equipos. También, se hallan los equipos de producción, a

los cuales les corresponde efectuar los procesos establecidos a la materia prima. Por último, están los encargados de bodega, quienes tienen la función de suministrar los materiales necesarios para elaborar el producto solicitado.

Entradas

Como primera entrada al piso de producción, están las órdenes de trabajo generadas por el Departamento de Planeamiento, las cuales especifican el modelo de producto y la cantidad requerida. Además, la materia prima entregada por la bodega de suministros es necesaria para iniciar el proceso de manufactura. Ahora bien, los planos de producto son de las entradas más importantes, al encontrarse en estos las especificaciones de cada modelo de DIES. Asimismo, los procedimientos actualizados son vitales para los operadores, con el propósito de ejecutar su trabajo de la manera adecuada sin afectar la calidad del producto. Por último, la calificación del personal asegura que el operador o técnico realizará una labor determinada según los estándares establecidos, minimizando la generación de defectos.

Producto

Con todos los suplidores presentes y las entradas del proceso requeridas, se inicia la manufactura o ensamble del producto en cada operación. De este modo, en las primeras operaciones se manejan casetes con obleas y, luego, en los procesos finales, son empacadas en contenedores tipo carruchas de máximo 50 000 unidades, para que luego se lleven a cabo inspecciones visuales antes de ser entregadas a la bodega de producto terminado, listas para ser exportadas.

Salidas

Al finalizar el proceso de manufactura, se genera el producto terminado, listo para los clientes, pero también se originan indicadores de producción, obtenidos por medio del funcionamiento de los procesos y el manejo dado a las órdenes de trabajo, que muestran cómo se desempeña la línea de producción. Otra salida relevante son los registros de calidad obtenidos en varias operaciones, los cuales muestran el nivel de calidad saliente

del producto terminado, así como tendencias, ya sean positivas o negativas. Otra salida, no menos importante, es una gran cantidad de desechos, los cuales son 70 % reciclables.

Cientes

El producto terminado es enviado directamente a los clientes desde Costa Rica y, después, los clientes lo hacen parte de sus productos. Asimismo, el producto es enviado a plantas propias de la corporación para realizar subensambles. Por último, a las plantas recicladoras se les venden los desechos reciclables y todas las ganancias obtenidas se destinan a ayudas materiales para instituciones sin fines de lucro.

Elaborar el diagrama SIPOC posibilitó identificar aspectos que sugieren problemas en la línea correspondientes a su gestión, como lo es el tiempo de ciclo, el cual es medido en todas las órdenes de trabajo procesadas. A continuación, se indica el tiempo de ciclo (TC) obtenido en las líneas de producción de VOQOR S.R.L. de la semana 11 hasta la semana 25 de 2022:

Tabla 4.3: Tiempos de ciclo por semana en las líneas de producción

CT - CR Lines							
WW	C3-FLIP	C4-WLP	C6-uBAW	C7-SMT	C8-Strip test	C9-DPS	
closed	11	6.9	3.0	5.1	3.0	0.4	0.9
closed	12	5.5	2.3	4.4	2.4	0.4	0.8
closed	13	5.6	2.0	4.6	3.1	0.5	0.9
closed	14	5.8	2.0	5.0	4.2	0.9	0.9
closed	15	6.8	2.4	5.9	4.3	0.5	0.9
closed	16	6.9	1.7	4.6	4.5	0.4	0.9
closed	17	5.2	2.5	6.9	4.4	0.6	0.9
closed	18	8.1	4.4	9.3	4.7	1.3	1.5
closed	19	7.7	3.8	9.2	5.9	1.1	1.2
closed	20	7.5	2.4	8.6	5.6	0.9	0.9
closed	21	7.4	2.5	8.9	5.9	0.5	0.9
closed	22	6.1	2.9	7.9	5.4	0.4	1.0
closed	23	5.3	3.0	7.6	5.1	0.7	1.0
closed	24	6.6	2.8	7.2	4.7	0.5	0.9
closed	25	5.2	3.3	7.9	4.5	0.8	0.7
Promedio		6.4	2.7	6.9	4.5	0.7	0.9
Goal		7	3.3	3.5	4.5	2	1

Fuente: Documentación VOQOR S.R.L.

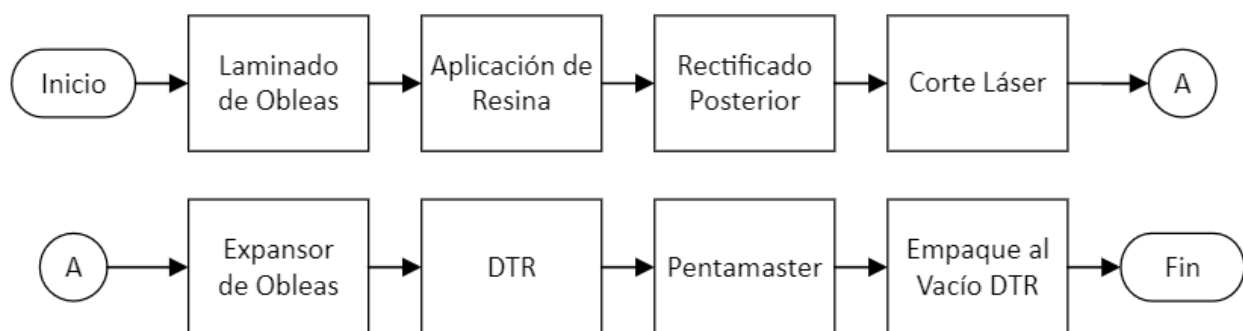
Según la tabla anterior, las diferentes líneas de producción se mantienen dentro de lo establecido (ver la fila “Promedio” en la tabla) en relación con la meta determinada en la parte inferior de la tabla, correspondiente a “Goal”; a excepción de la línea C6-uBaw, la cual está prácticamente al doble de lo establecido. Esto es un claro indicador de que esta línea de manufactura necesita ser intervenida, planteando métodos de control para reducir el tiempo de ciclo de las órdenes de trabajo y mejorando el desempeño de sus procesos.

En cuanto a las otras líneas de producción, tienen semanas fuera de la meta, marcando tendencia en la semana 18, debido al Día del Trabajador, feriado nacional de Costa Rica, el 1 de mayo; además, la empresa decidió dar un día adicional de vacaciones, para un total de dos días no trabajados en esa semana, pero las líneas se logran sobreponer rápidamente.

4.1.4 Diagramas de flujo

El diagrama de flujo permite una visión general de los procesos a los que son sometidas las piezas, estableciendo una relación entre las operaciones y detectando posibles errores o falencias del proceso, así como el faltante de puntos de control dentro de las operaciones. A continuación, se aprecia un diagrama de flujo detallado de los procesos en la línea C6-uBaw:

Figura 4.5: Diagrama de flujo línea C6-uBaw



Fuente: Autor.

El diagrama de flujo anterior muestra que la línea de manufactura consta de tan solo ocho operaciones, por lo tanto, son muy pocos pasos desde que se inicia la materia prima hasta ser considerada producto final. Cabe mencionar que más del 80 % de las operaciones, siete de las ocho totales, se llevan a cabo en un ambiente controlado en un cuarto limpio, clase 10000, y solo se tiene la operación posterior de rectificado, que es ejecutada en un ambiente controlado, pero fuera del cuarto limpio, debido a su naturaleza, lo cual se explica más adelante.

En el cuarto limpio hay muchas restricciones para garantizar el correcto ensamble y funcionamiento de los dispositivos; entre las principales restricciones, están las siguientes:

- Uso obligado de gabacha, cubrecabello, cubrezapatos y cubrebocas (este cubrebocas es diferente a las mascarillas empleadas en pandemia, el cubrebocas del cuarto limpio se debe utilizar encima de la mascarilla).
- Cada vez que se sale del cuarto limpio, se debe desechar el cubrecabello, cubrezapatos y cubrebocas. Solo la gabacha se debe guardar en los percheros del vestíbulo del cuarto limpio y se utiliza por el máximo de una semana.
- Uso obligatorio de guantes de nitrilo. Se deben cambiar cada vez que se sale del cuarto limpio, muestren exceso de suciedad o estén rotos.
- Prohibido el ingreso de alimentos, bebidas, cartón, madera y cualquier otra fuente de partículas.

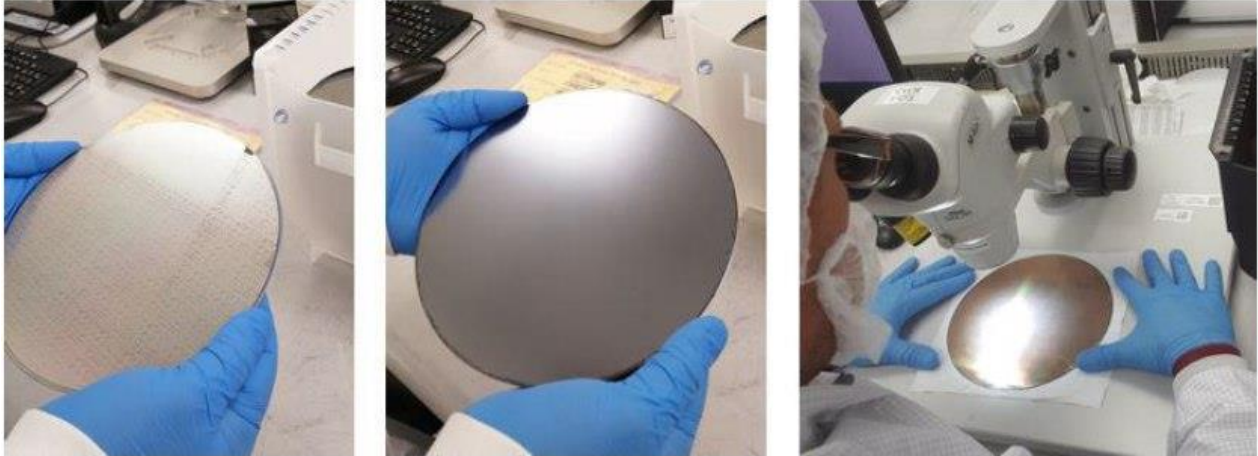
Laminado de Obleas

El proceso de Laminado de Obleas inicia en la línea C6-uBaw, donde se toman las obleas de cristal de silicio (Si), llamadas en el piso como *wafers*, y se revisa que sean del material asignado en la orden de trabajo.

Después, se verifican a simple vista, tanto en la espalda como en el frente, para determinar que no tengan protuberancias, rayones, fisuras, quebraduras o rastros de contaminación. En caso de detectarse alguna de las anomalías anteriores, se debe

notificar a Calidad y realizar una verificación de todas las obleas del lote en el microscopio a una magnificación de 70X, tal y como se indica en la siguiente figura:

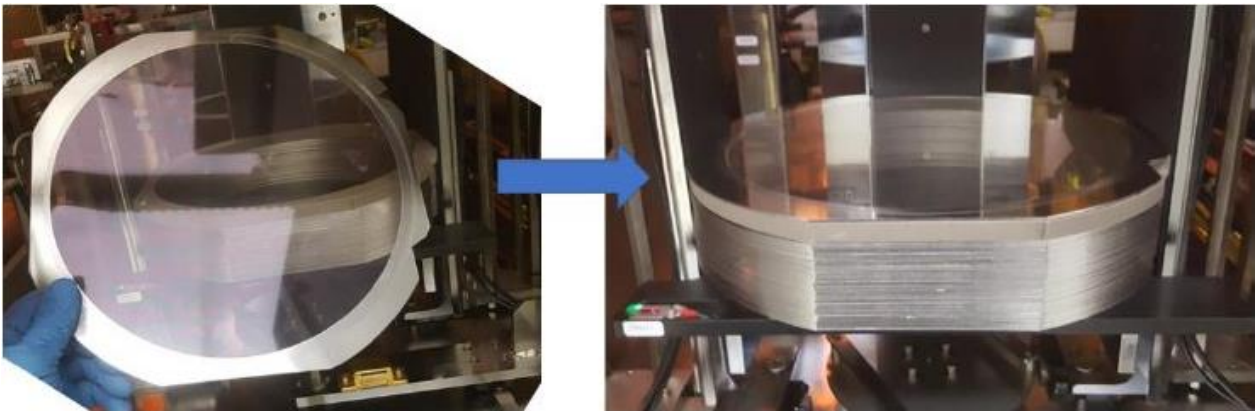
Figura 4.6: Verificación de obleas



Fuente: Autor.

Luego de la verificación de obleas, se cargan en el equipo, a saber, la máquina Takatori DTM-300B, y se procede a cargar los aros metálicos de 8 pulgadas, previamente enteipados, como se muestra en la siguiente figura:

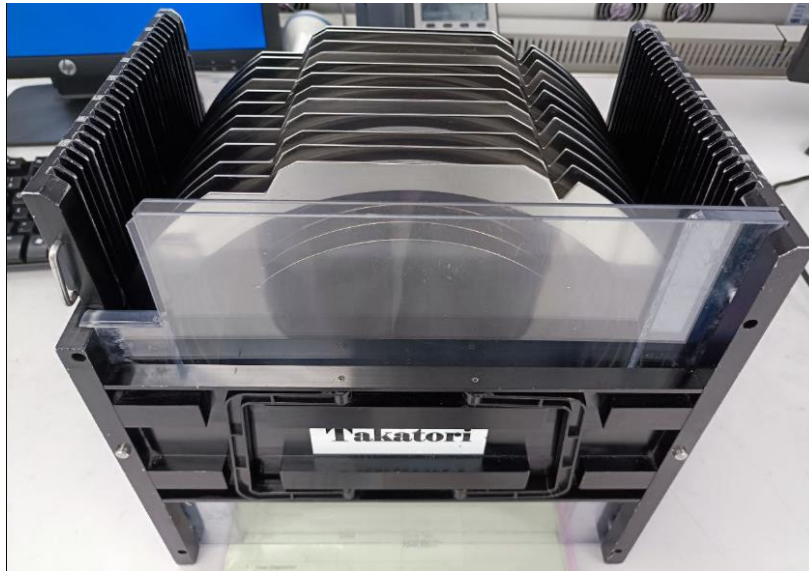
Figura 4.7: Aros metálicos de 8''



Fuente: Autor.

Las restricciones del equipo son procesar únicamente un lote a la vez y no exceder las doce obleas por lote. Al final de la operación, el equipo entrega un casete cargado con las obleas adheridas a los aros metálicos.

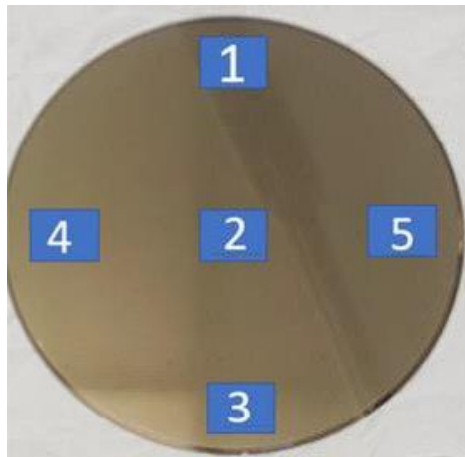
Figura 4.8: Casete con obleas unidas a los aros metálicos de 8"



Fuente: Autor.

Además, se realiza una verificación de calidad en cinco puntos, para asegurar la correcta adherencia entre los aros y las obleas, y verificar que no hay rastros de burbujas en las obleas, similares a las formadas cuando se emplástica un libro, ya que pueden afectar los procesos posteriores. Esta verificación se lleva a cabo una vez por turno, a la primera oblea procesada.

Figura 4.9: Verificación de puntos a las obleas poslaminado

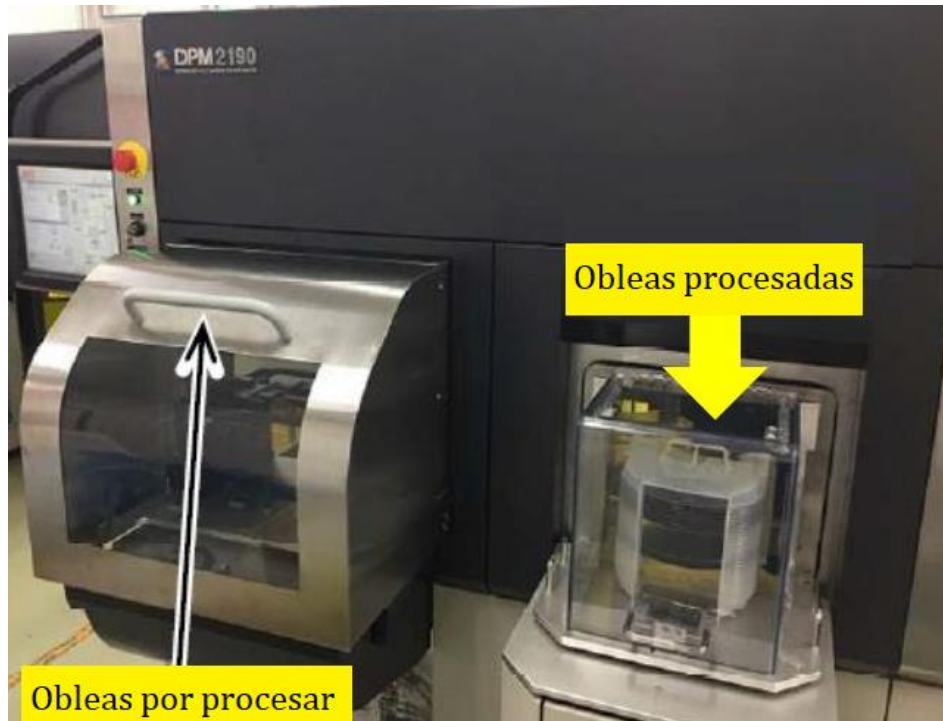


Fuente: Autor.

Aplicado de Resina

Luego de completado el proceso anterior, el casete es pasado con las obleas enteipadas en los aros metálicos de 8" al proceso Aplicado de Resina, donde inicialmente solo se verifica que la papelería de la orden de trabajo coincida con las obleas, después el casete es ingresado tal cual a la máquina DPM2190CX.

Figura 4.10: Ingreso de obleas a DPM2190CX



Fuente: Autor.

El equipo se encarga de aplicar una resina en la espalda de la oblea, llamada Keeplat, cubierta luego por un material denominado CONDOX, con el fin de aumentar el grosor de la oblea y permitir que esta no sufra daños en los procesos posteriores.

Una vez terminado el proceso, las obleas se separan de los aros metálicos y son entregadas en un casete pequeño. La separación la realiza el mismo equipo, antes de aplicar el Keeplat, dejando los aros en la parte posterior del equipo y las obleas al frente. Los aros son retornados a la operación anterior y las obleas pueden continuar al siguiente proceso.

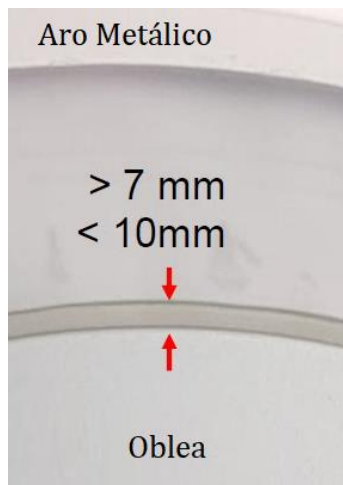
Figura 4.11: Obleas y aros metálicos separados luego de Aplicado de Resina



Fuente: Autor.

En este proceso se llevan a cabo dos verificaciones de calidad a la primera oblea procesada en cada turno. La primera verificación consiste en determinar que la resina exceda la oblea en más de 7 mm y menos de 10 mm. Un número menor es un indicativo de que el grosor de la oblea es mayor a lo estipulado y posiblemente el sistema de dispensado del equipo esté obstruido; por otro lado, una medida mayor a 10 mm sugiere que el grosor de la oblea es inferior a lo estipulado, lo cual convierte a la oblea en un producto muy frágil que podría sufrir fisuras o quebraduras más adelante.

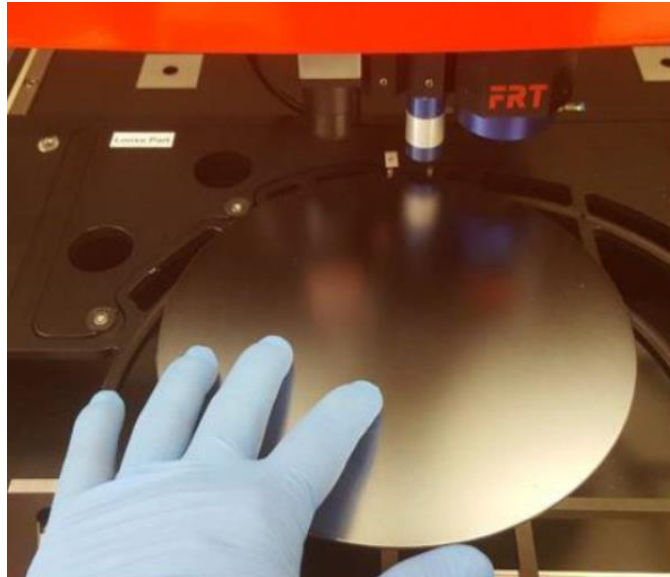
Figura 4.12: Medición de la resina



Fuente: Autor.

La segunda verificación se efectúa una vez por turno en el equipo FRT Microprof 300, el cual comprueba mediante un sensor infrarrojo el ancho de la oblea, el mismo debe estar entre $1\ 115\ \mu\text{m}$ y $1\ 135\ \mu\text{m}$.

Figura 4.13: Medición del grosor de la oblea en FRT Microprof 300



Fuente: Autor.

Rectificado Posterior

La operación de Rectificado Posterior consiste en un desgaste en la espalda de las obleas hasta lograr un grosor específico y eliminar el exceso de rugosidad. Por esta razón, es la única operación realizada fuera del cuarto limpio, ya que, por su naturaleza, es una gran generadora de partículas.

Las órdenes se envían a la operación por medio de una “caja de intercambio”, la cual es una caja con una compuerta de cada lado, una con acceso al cuarto limpio y la otra con acceso al exterior.

Su función es poder abrir una puerta, colocar las órdenes de trabajo y luego cerrar la puerta, entonces la persona afuera del cuarto limpio puede abrirla y sacar la orden de trabajo sin contaminar el ambiente del cuarto limpio. La caja de intercambio tiene un sistema poka-yoke, el cual solo permite abrir una puerta a la vez, evitando que las dos estén abiertas al mismo tiempo.

Figura 4.14: Caja de intercambio



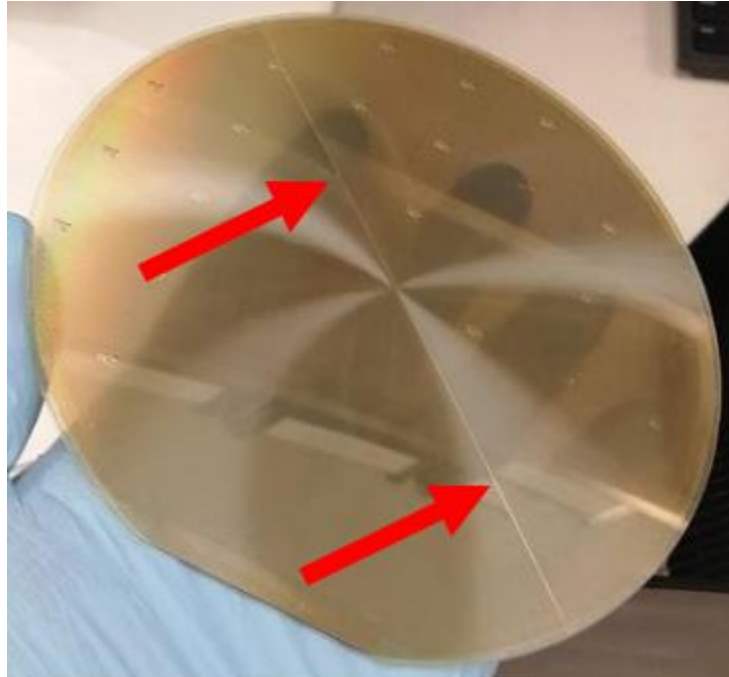
Fuente: Autor.

Inicialmente, en el proceso de Rectificado Posterior, se verifica que las obleas concuerden con las asignadas en la orden de trabajo y, después, se revisa la integridad de estas. Al igual que en operaciones anteriores, no deben tener fisuras, quebraduras, protuberancias ni rayones que comprometan la integridad de las mismas.

Las obleas son ingresadas al equipo DFG8540 en el mismo casete que son recibidas y se les da un tratamiento de dos pasos. El primer paso es un desgaste hasta obtener el grosor establecido y en un segundo paso se lleva a cabo el pulido de la oblea para eliminar la rugosidad y dejar la espalda con una superficie estable, muy similar a un espejo.

Todas las obleas se verifican luego del proceso en una inspección visual en busca de rayones, huecos, quebraduras o manchas, como se muestra en la siguiente figura, y no se puede seguir procesando más material hasta completar la revisión.

Figura 4.15: Ejemplo de una fisura en la oblea



Fuente: Procedimientos VOQOR S.R.L.

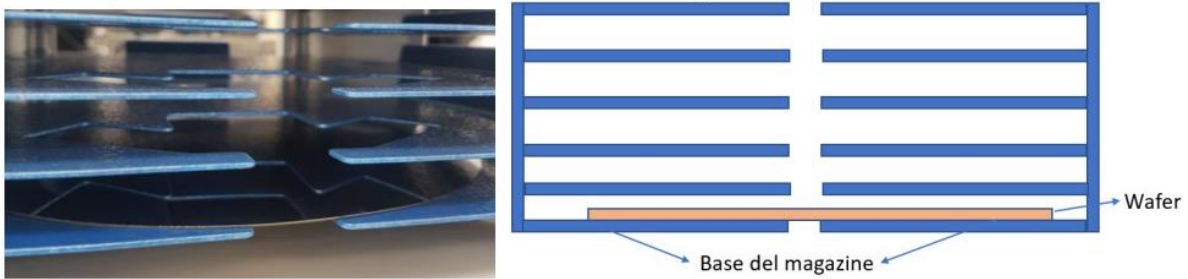
En este paso también se hace uso del equipo FRT Microprof 300 para verificar el grosor de la oblea después del desgaste, pero la medición se efectúa dentro del cuarto limpio bajo los siguientes criterios:

- Primera oblea procesada en el turno.
- Primera oblea de cada orden de producción.
- Primera oblea después de un cambio de rectificador y pulidor.
- Primera oblea luego de realizado un mantenimiento.
- Cuando lo indique Ingeniería.

Corte Láser

Esta operación es ejecutada de nuevo en el cuarto limpio, por lo tanto, el material debe ser ingresado por la caja de intercambio después de llevar a cabo el proceso de rectificado posterior. Antes de ingresar las obleas al proceso, es necesario verificar que están sentadas en la base del casete, como se aprecia en la siguiente figura:

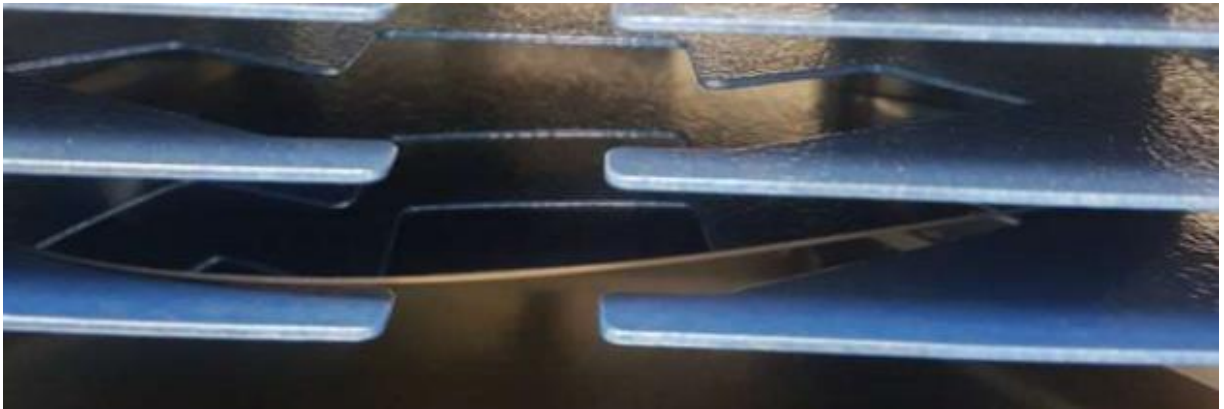
Figura 4.16: Obleas colocadas en el casete



Fuente: Procedimientos VOQOR S.R.L.

En caso de encontrar una oblea pandeada, como se indica en la siguiente figura, no es permitido ingresarla. Se debe notificar al supervisor a cargo para que este brinde la información a los ingenieros de Calidad y Proceso y se pueda disponer el material.

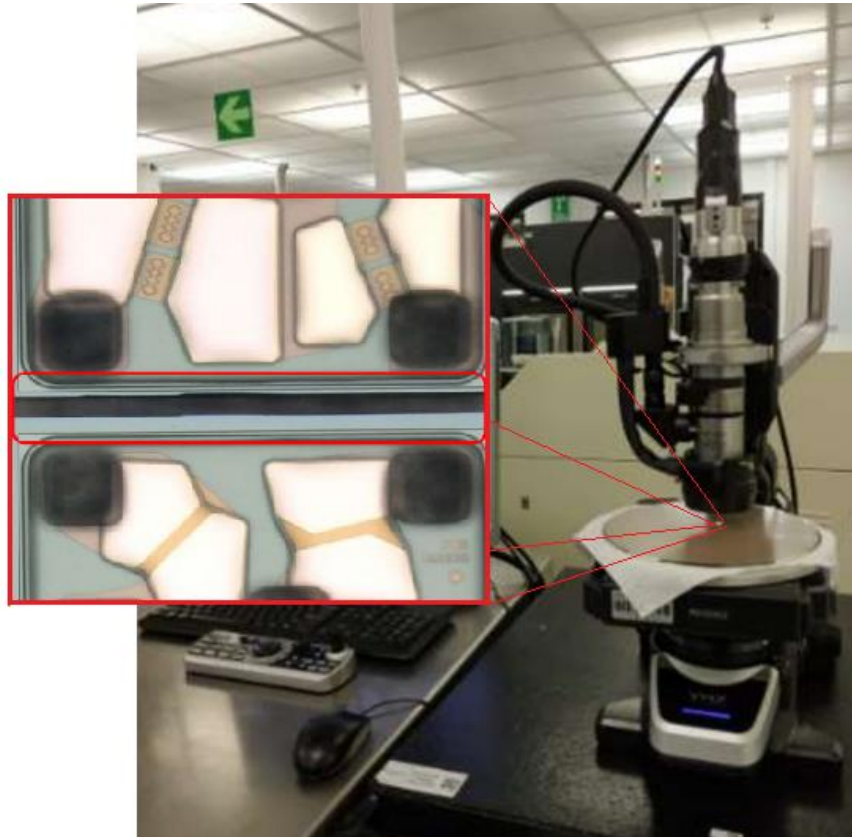
Figura 4.17: Obleas pandeadas



Fuente: Procedimientos VOQOR S.R.L.

Una vez verificadas las obleas, se ingresan en el casete al equipo Disco DFL7361 y el operador selecciona el modelo de la orden de trabajo para luego iniciar el corte láser. Cuando el proceso termina, se verifica en el microscopio electrónico la integridad del corte de la primera oblea procesada en el turno y el correcto centrado en las filas y columnas.

Figura 4.18: Verificación de Corte Láser. Producto con defectos



Fuente: Autor.

En cuanto al material que no cumpla con los criterios de aceptación en el proceso de Corte Láser, si es menor al 10 % del total de la orden de producción, puede ser rechazado y continuar a lo largo de la línea; mayor al 10 %, la disposición debe ser dada por los ingenieros de Calidad y Proceso en conjunto.

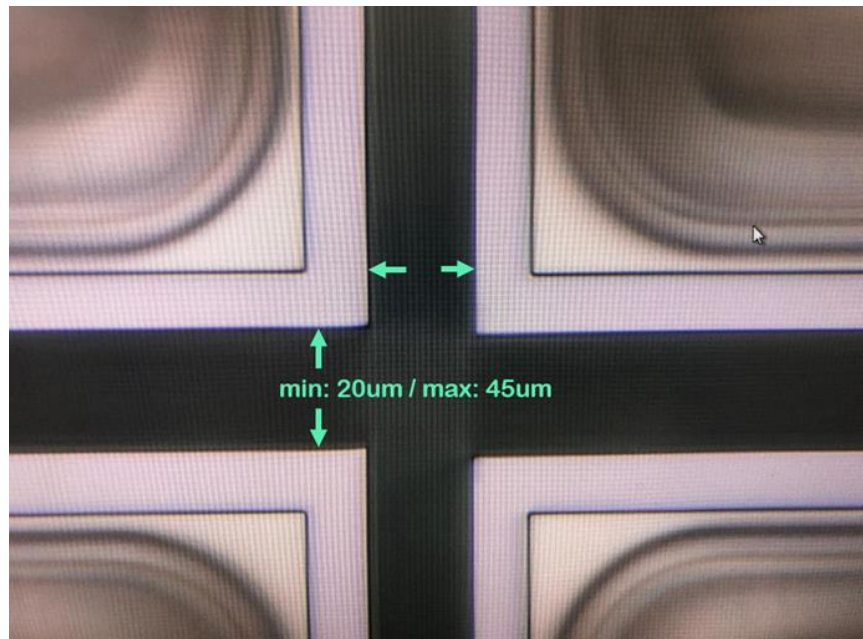
Expansor de Obleas

El proceso de Expansor de Obleas consiste en eliminar el Condox de las obleas y enteiparlas en aros metálicos de 12". Al inicio de esta operación, solo se revisa que las obleas pertenezcan a la orden de trabajo, sin sacarlas del casete, ya que por el proceso anterior, donde se cortaron con láser, son muy frágiles y fácilmente se pueden dañar.

El proceso pasa las obleas a los aros metálicos de 12", con una gran precisión, y luego expande levemente la cinta para separar las piezas unas de otras. La distancia entre pieza y pieza no debe ser menor a 20 μm o superior a los 45 μm , y al igual que las

operaciones previas, solo se verifica la primera oblea procesada durante el turno. En esta operación, el casete donde viajan las obleas cambia a uno de mayor tamaño, en el cual puedan ingresar los aros metálicos de 12”.

Figura 4.19: Distancia entre DIES



Fuente: Autor.

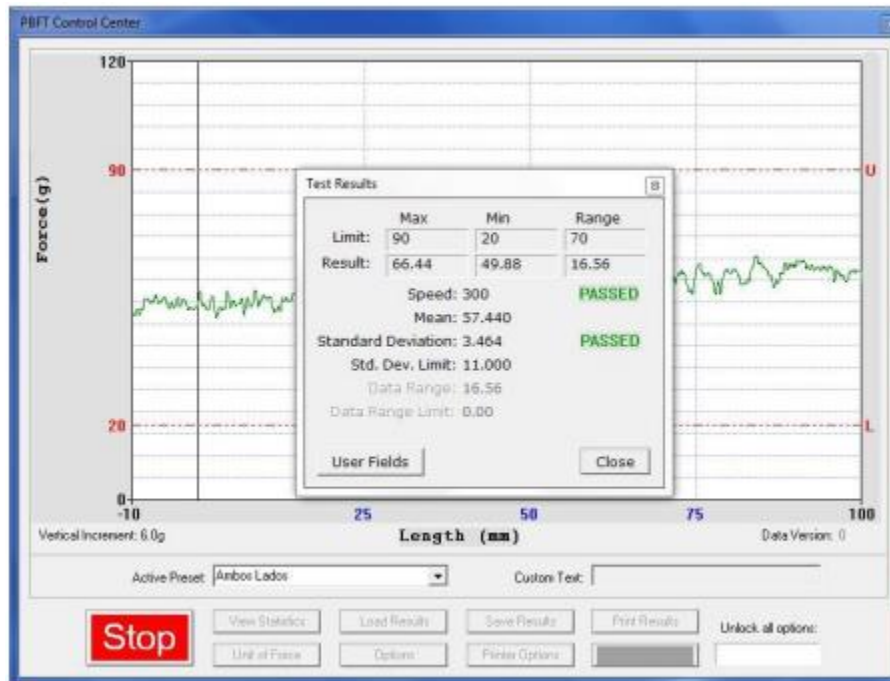
DTR

En los equipos de DTR, se realiza la transformación visual más notoria de los DIES. Aquí las piezas dejan de formar parte de una oblea y se colocan en una cinta plástica que se introduce en carretes (los cuales son llamados “rollos” en el piso de producción), de ahí viene el nombre de la operación: DTR es un acrónimo de *DIES To Reel* (DIES a carrucha). Esta operación se considera la más compleja de la línea C6-uBaw y es donde los operadores tienen más intervención en los equipos.

Antes de iniciar la operación, el operador verifica que el equipo Ismeca posea la cinta plástica transportadora adecuada, porque hay más de 51 tipos diferentes que varían dependiendo del modelo o cliente. Posterior a esto, se efectúa una prueba de PBFT (*Peel Back Force Test*), la cual verifica el nivel de adherencia de la cinta transportadora con una cinta transparente, que es colocada sobre los DIES, para garantizar que mantengan

la posición adecuada dentro de la cinta. Esta se lleva a cabo una vez por turno y sus valores deben ser mínimos de 20 g y máximos de 90 g.

Figura 4.20: Resultado de la prueba de PBFT

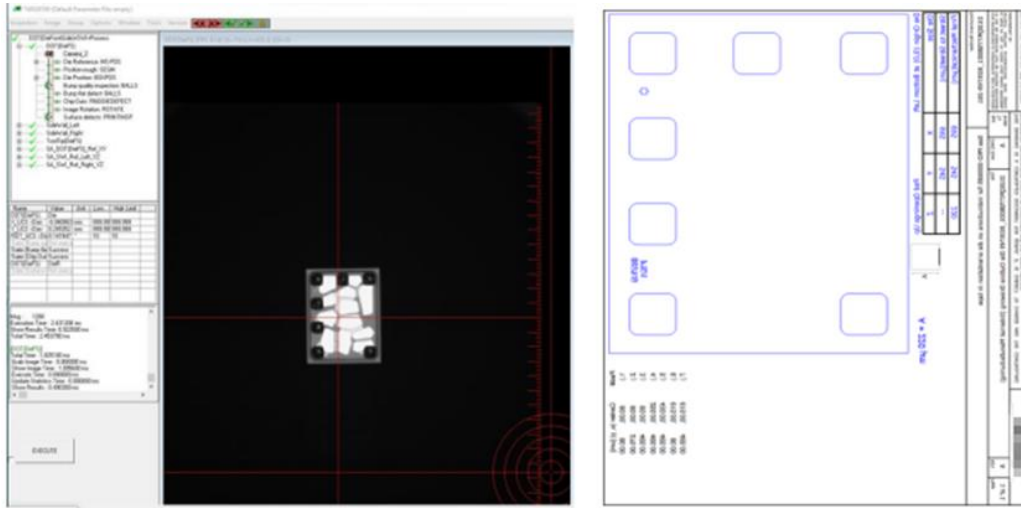


Fuente: Autor.

Antes de comenzar, se genera un número de carrucha, el cual es la identificación final del material y es diferente para cada oblea del lote. Al final de la operación, el lote desaparece y solo quedan las carruchas con su identificación correspondiente.

Completados los pasos anteriores, se ingresa el material al equipo y se obtiene una muestra de diez piezas para verificar la posición del DIES en la cinta transportadora, como lo indica el plano asignado al modelo.

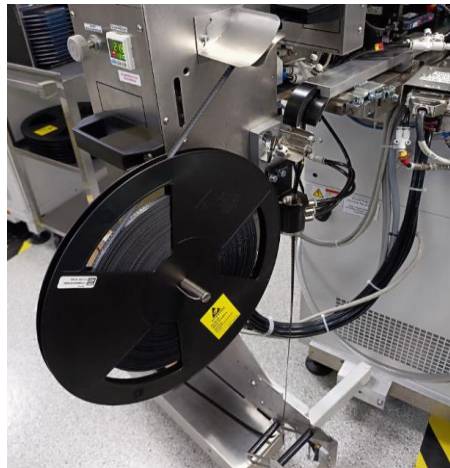
Figura 4.21: Ubicación de la pieza en el plano contra lo físico



Fuente: Autor.

Si todas las inspecciones anteriores son exitosas, se trabaja con el equipo, el cual retirará uno por uno los DIES de la oblea y los colocará en la cinta transportadora, hasta finalizar la oblea. El tamaño máximo de la carrucha son 50 000 DIES, por consiguiente, hay obleas que pueden ser transferidas a dos carruchas diferentes.

Figura 4.22: Carrucha en proceso en Ismecca



Fuente: Autor.

Al final del proceso DTR, se tienen carruchas, como las mostradas en la siguiente figura, y los aros metálicos son retornados a las operaciones previas para ser reutilizados.

Figura 4.23: Carrucha terminada

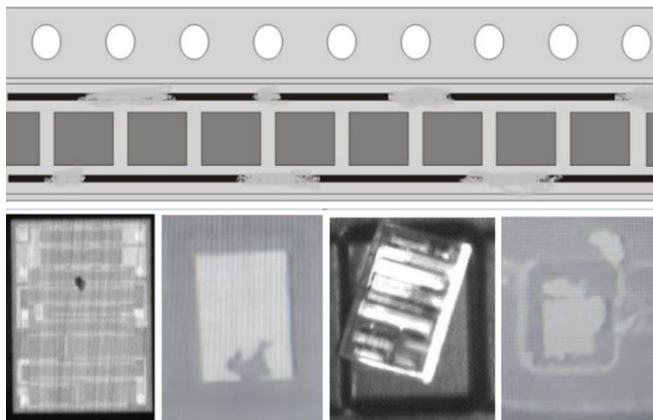


Fuente: Autor.

Pentamaster

En este proceso, a las ahora carruchas de DIES, se les realiza una inspección óptica automática al 100 %, donde se verifican aspectos como quebraduras, manchas, desprendimientos, piezas mal orientadas, piezas vueltas, piezas fuera de posición, así como aspectos de la cinta transportadora, tales como problemas de sellado incompleto o cinta dañada.

Figura 4.24: Ejemplos de rechazos en Pentamaster



Fuente: Autor.

Esta operación se efectúa solo a la primera carrucha de turno por cada máquina. En caso de salir DIES con problemas, se retira un máximo de 30 unidades de la cinta transportadora, y la carrucha continúa normal; pero si es necesario retirar más de 30

unidades, se debe contactar al ingeniero de Calidad. Además, en caso de detectar los rechazos mencionados, se debe examinar todo el material procesado desde la última verificación.

Figura 4.25: Localización de rollos retenidos



Fuente: Autor.

Las disposiciones por Calidad son todos los días; al respecto, los operadores verifican al inicio del turno todas las carruchas que se encuentran en el *rack* de Disposiciones, en busca de cuáles ya tienen disposición de uso por parte de Calidad.

Empaque al Vacío DTR

El material que llega a esta operación es producto que cumple con el 100 % de calidad requerida. Se trata de la última operación antes de ingresar las carruchas a la bodega de producto terminado. Consiste en ingresar cada carrucha en una bolsa metálica, e introducir un desecante y un indicador de humedad y sellar al vacío.

Figura 4.26: Carrucha en el proceso de Empaque al Vacío



Fuente: Autor.

Antes de sellar las bolsas al vacío, se introduce nitrógeno para desplazar el oxígeno, evitando así el peligro de corrosión en los DIES, y se le colocan dos etiquetas adicionales, una que indica toda la identificación del material dentro de la bolsa y otra que señala el día, año, hora y temperatura de cuando se empacó.

Figura 4.27: Carrucha en el empackado al vacío



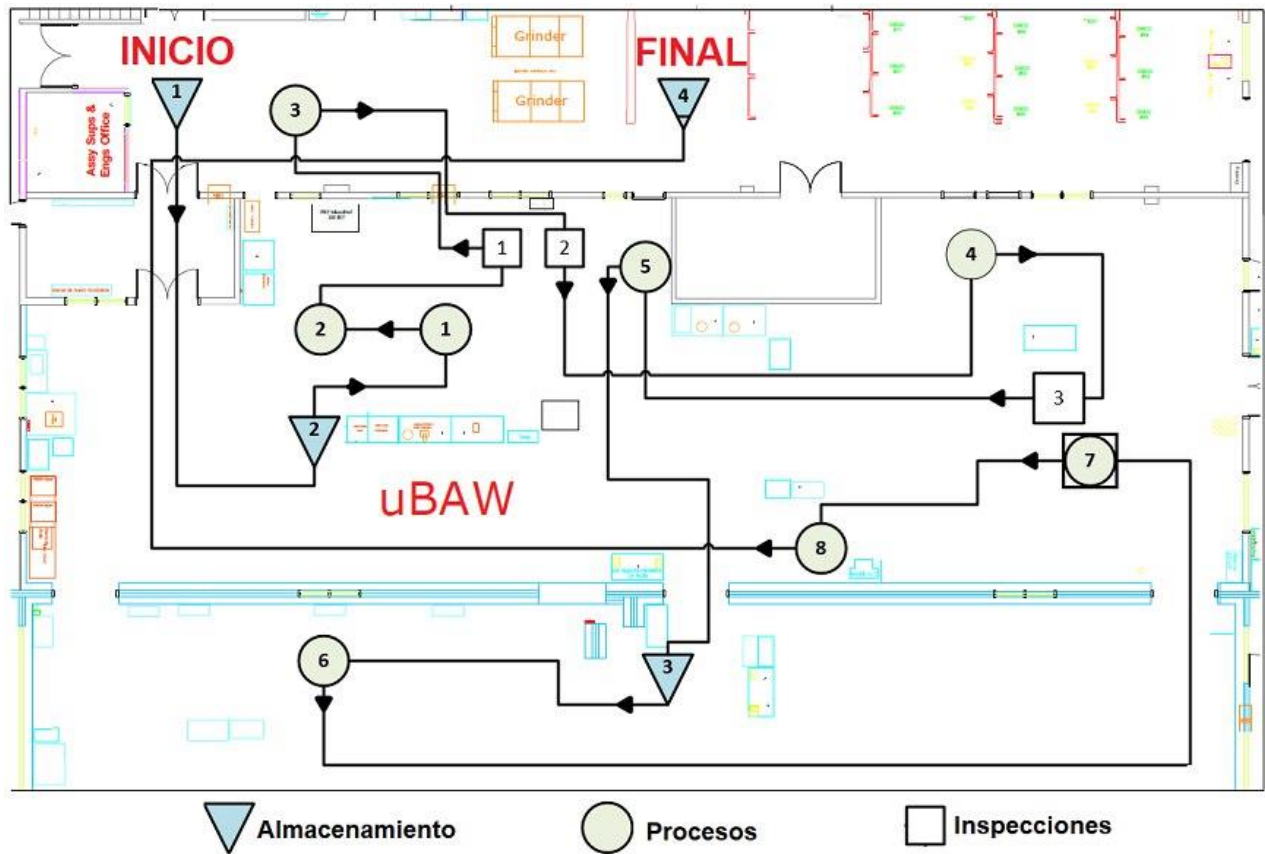
Fuente: Autor.

Empacadas las carruchas al vacío, se hacen grupos de máximo 35 unidades y son entregadas a la bodega de producto terminado, dando por finalizado el proceso de manufactura en la línea C6-uBaw.

4.1.5 Diagrama de recorrido

En las distribuciones de planta, el recorrido que debe seguir el producto es fundamental para el incremento de la eficiencia operacional, un recorrido inteligente y acertado les permite un ahorro en tiempo y esfuerzo a los operadores. A continuación, se aprecia el recorrido hecho en la fabricación de DIES en la línea C6-uBaw:

Figura 4.28: Diagrama de recorrido en la fabricación de DIES



Fuente: Autor.

El diagrama de la imagen anterior muestra cómo el material es transportado a lo largo del piso de producción y que son necesarias ocho operaciones, con cuatro almacenamientos, de las cuales dos son en áreas de producción y dos en la bodega externa; además, el material es sometido a cuatro verificaciones para asegurar su calidad. Seguidamente, se brinda una explicación más profunda del recorrido realizado.

El proceso inicia en la bodega de materia prima, indicada con el triángulo 1, que se encuentra a un costado del cuarto limpio, donde se tienen almacenadas las obleas de cristal de silicio (Si). En esta bodega se mantienen y son retenidas hasta que el supervisor de la línea C6-uBaw solicite surtir al piso de producción.

Cuando la bodega recibe la solicitud de material, este se traslada de la bodega de material prima a un *rack* en producción, señalado con el triángulo 2, donde es almacenado momentáneamente. El uso de ese material es solo bajo autorización del líder de la línea C6-uBaw, encargado de crear e imprimir las órdenes de trabajo.

Posterior a la entrega de las órdenes de trabajo, el operador traslada el material asignado a la primera operación, Laminado de Obleas, la cual se marca con el círculo 1. Esta operación consta de una sola máquina, la Takatori DTM-300B, que es totalmente automática, solo se debe ingresar el material y esperar a que este se procese y el equipo lo saque.

Finalizado el primer proceso, el material es trasladado inmediatamente a la máquina localizada al costado izquierdo, en la operación de Aplicado de Resina, marcada con el círculo 2. Esta operación también consta de una sola máquina, la DPM2190CX, que es por completo automática. En este equipo solo es necesario ingresar las obleas; seleccionar la receta correspondiente al modelo, de forma manual; iniciar el proceso y esperar a que la máquina procese el material.

Cuando el proceso 2 es finalizado, a saber, Aplicado de Resina, el material es trasladado a la primera inspección en la línea productiva. Esta inspección está marcada con el cuadro 1 y es realizada con el equipo FRT Microprof 300, el cual se encarga de medir que el grosor de las obleas sea el correspondiente, como se expuso. Cabe mencionar que los tres últimos pasos, las operaciones 1 y 2 y la inspección 1, son llevados a cabo por el mismo operador.

Terminada la primera inspección, el material es trasladado afuera del cuarto limpio y enviado por medio de la caja seca a la tercera operación, marcada con el círculo 3. Esta es la operación de rectificado posterior, la cual consta, al igual que las operaciones

anteriores, de un solo equipo que es de funcionamiento similar, un equipo totalmente automatizado, donde solo es necesario ingresar el material, seleccionar la receta correspondiente y ponerla a trabajar.

El siguiente paso en el recorrido del material es la segunda inspección, marcada con el cuadro 2, la cual también se efectúa en el equipo FRT Microprof 300. El material se traslada de nuevo al cuarto limpio mediante la caja seca y es tomado por el operador de la otra operación.

La operación de Corte Láser es la siguiente en el recorrido, marcada con el círculo 4 en el diagrama de recorrido. Este proceso se realiza en las máquinas Disco DFL7361; al respecto, hay dos equipos habilitados para la producción. Existe un tercer equipo, pero está reservado para pruebas de ingeniería. Este proceso es automático, por lo cual solo se ingresa el material y se selecciona la receta para iniciar su funcionamiento.

Luego del Corte Láser, está la tercera inspección en la fabricación de DIES, la cual se lleva a cabo por medio de un microscopio electrónico de alta amplificación y solo se cuenta con uno para la verificación del corte láser. Esta inspección, así como los dos pasos previos, son ejecutados por el mismo operador.

El orden del proceso productivo continúa con la operación de Expansor de Obleas, marcada con el círculo 5, el cual consta de un solo equipo, la máquina DFX2400, y al igual que los procesos previos, es un equipo altamente automatizado, solo que en este no es necesario seleccionar el modelo por trabajar.

Después de Expansor de Obleas, se pasa al tercer *rack* de almacenamiento en el piso de producción, marcado con el triángulo 3. Aquí el material es retenido hasta que el supervisor o líder de la línea asigne el material a un equipo en la siguiente operación. El material puede pasar varios días en este *rack*, a la espera de establecerse el equipo que lo debe trabajar.

En cuanto a la sexta operación, DTR, indicada con el círculo 6, es considerada el proceso más importante de la línea C6-uBaw. Para realizar esta operación, hay siete equipos Ismecca NX32, cada uno es empleado por un operador. Es una operación semiautomática,

la cual requiere una intervención constante por parte de los operadores. Aquí, como se expuso, el material sufre la transformación en la línea, ya que, por decirlo de alguna forma, sufre un cambio de contenedor.

Los carretes generados en la operación de DTR son enviados a la séptima operación e inspección, marcada con el círculo 7, es decir, Pentamaster. Esta consiste en dos operadores que trabajan los cuatro equipos Pentamaster, los cuales realizan una inspección visual al 100 % a la primera carrucha del turno originada por las DTR o al material con sospecha de defectos. Este es el último filtro de calidad, pues es la inspección final hecha al material antes de entrar a la bodega de producto terminado.

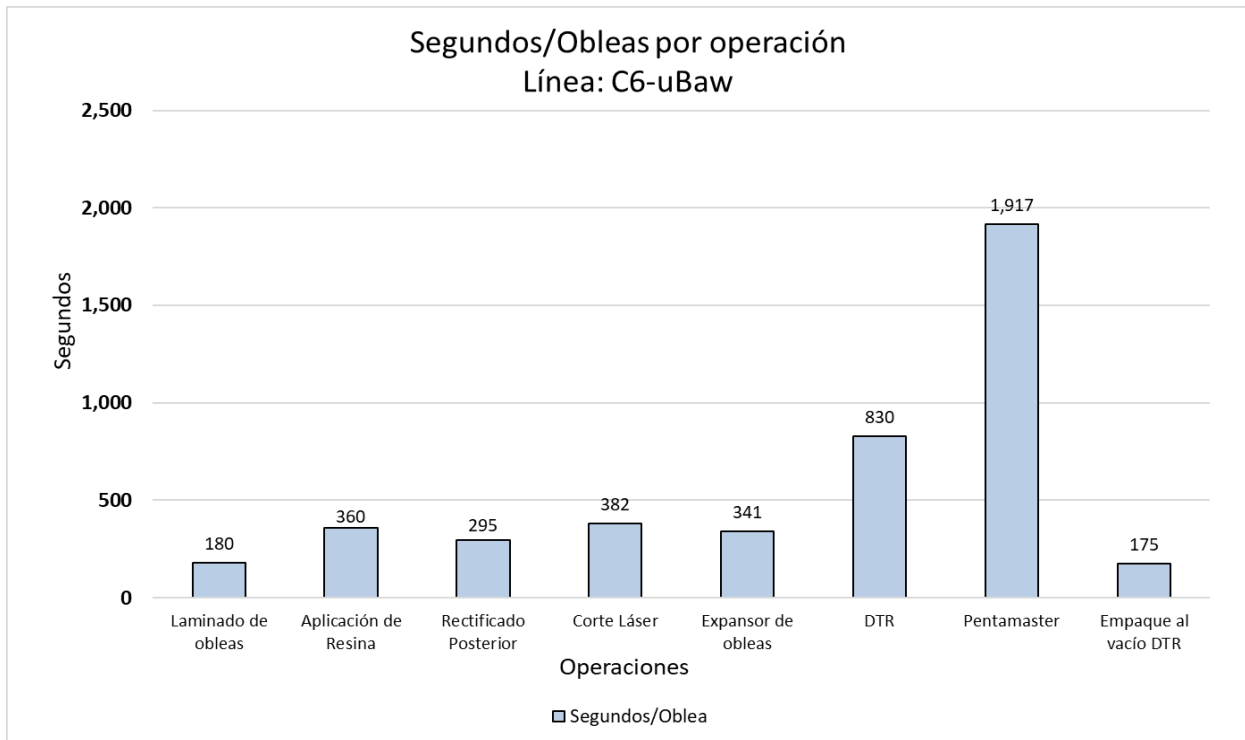
La octava operación es Empaque al Vacío DTR, señalada con el círculo 8, se trata del último proceso de la línea de C6-uBaw. Aquí se cuenta con un solo equipo, muy manual, donde es sellado el material en bolsas metálicas y es utilizado por un solo operador.

Por último, se traslada el material terminado a la bodega de producto terminado, marcado con el triángulo 4. Este es el último traslado que sufre el material dentro del proceso de manufactura en la línea C6-uBaw y es llevado a cabo por el mismo operador que efectúa la operación 8, a saber, Empaque al Vacío DTR.

Así, con un total de catorce traslados, desde la bodega de materia prima hasta la bodega de material terminado, entre operaciones e inspecciones varias, se completa la fabricación de DIES en la línea C6-uBaw.

A continuación, se muestran los tiempos promediados de las mediciones de cada paso, indicando lo que tarda una oblea en ser procesada por cada operación:

Figura 4.29: Gráfico de segundos/oblea por operación de la línea C6-uBaw



Fuente: Autor.

En el gráfico se aprecia cómo las primeras cinco operaciones tienen una capacidad mucho mayor a la operación de DTR. La operación Empaque al Vacío DTR logra procesar más rápido el material, a pesar de ser 100 % manual, con 175 segundos por *wafer*, que en este caso ya es una carrucha; por su parte, la operación de Pentamaster junto con la de DTR son las más lentas procesando el producto de la línea C6-uBawn, con una duración de 830 segundos y 1 917 segundos por oblea respectivamente.

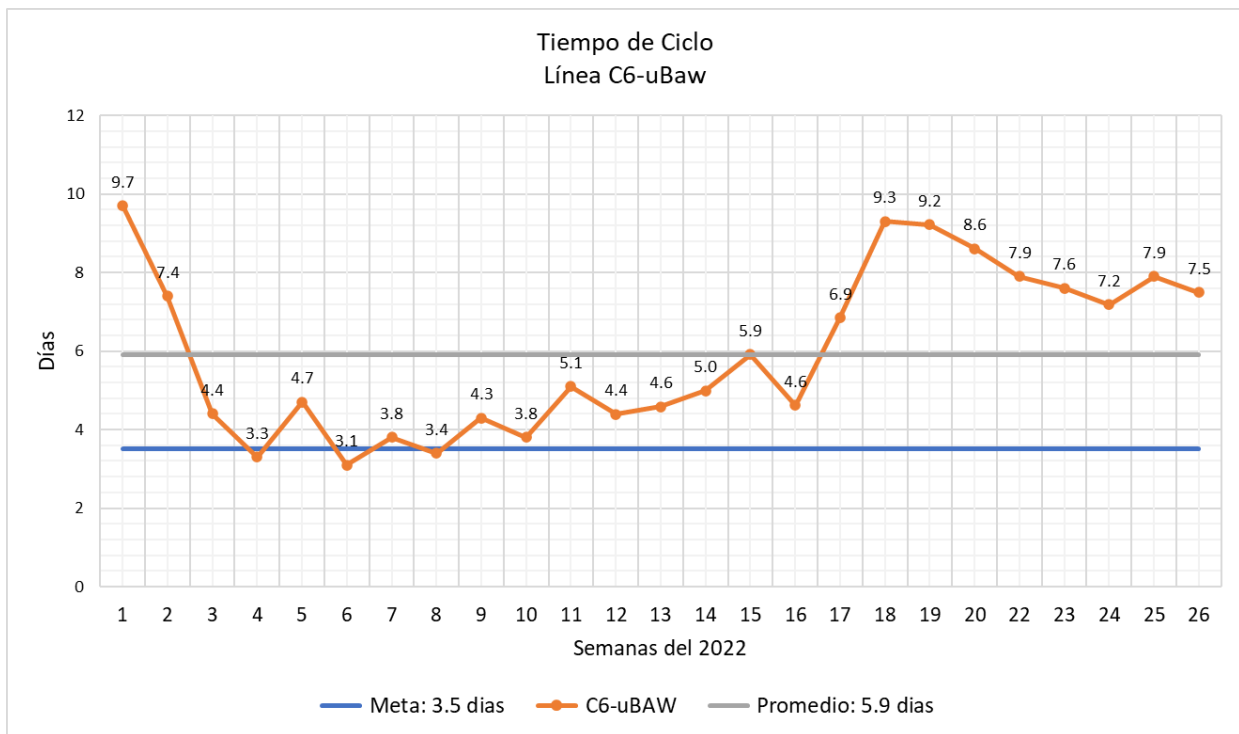
Con relación a la operación de Pentamaster, a pesar de ser la más lenta, ya se había mencionado que no procesa el 100 % del material, porque solo se procesa la primera carrucha de cada equipo por turno o material con sospechas de calidad. Además, los equipos tienen dos canales de servicio, pero solo se utiliza uno; en caso de requerir el segundo canal, la reducción de los segundos por oblea sería a la mitad. Ingeniería indicó que el segundo canal se emplea solo en casos de solicitudes especiales del Departamento de Calidad.

4.2 MEDIR

4.2.1 Gráfico de comportamiento

Para obtener una tendencia del funcionamiento de la línea C6-uBaw, se grafica el comportamiento del tiempo de ciclo. Este valor es medido diariamente en el proceso productivo y se almacena el promedio semanal en los registros históricos de la empresa. A continuación, se muestra el tiempo de ciclo para el periodo de tiempo comprendido entre el 2 de enero al 2 de junio del 2022, siendo un total de 26 semanas.

Figura 4.30: Gráfico de comportamiento del tiempo de ciclo en la línea C6-uBaw



Fuente: Autor.

Como se observa en el gráfico anterior, el tiempo de ciclo fue normalizado en las primeras semanas del 2022, llegando a un valor de 3.3 días; de este modo, se logró mantener dentro de la meta establecida por la empresa. Pero el gráfico sugiere que en las semanas siguientes, hasta llegar a la semana 15, hubo una leve tendencia a incrementar el tiempo de ciclo, siendo que entre las semanas 16 y 18 dio un brinco abismal, pasando de 4.6 días a 9.3 días.

Posterior a la semana 18, se aprecia una leve tendencia a la disminución en el tiempo de ciclo de casi dos días, pero, aun así, con valores que prácticamente doblan lo esperado.

Adicional a las tendencias indicadas, en los primeros seis meses del 2022, la línea de C6-uBaw solo ha conseguido estar dentro de la meta establecida por la empresa de 3.5 días de tiempo de ciclo un total de tres semanas (semanas 4, 6 y 8).

4.2.2 Caminata gemba y círculo de Ohno

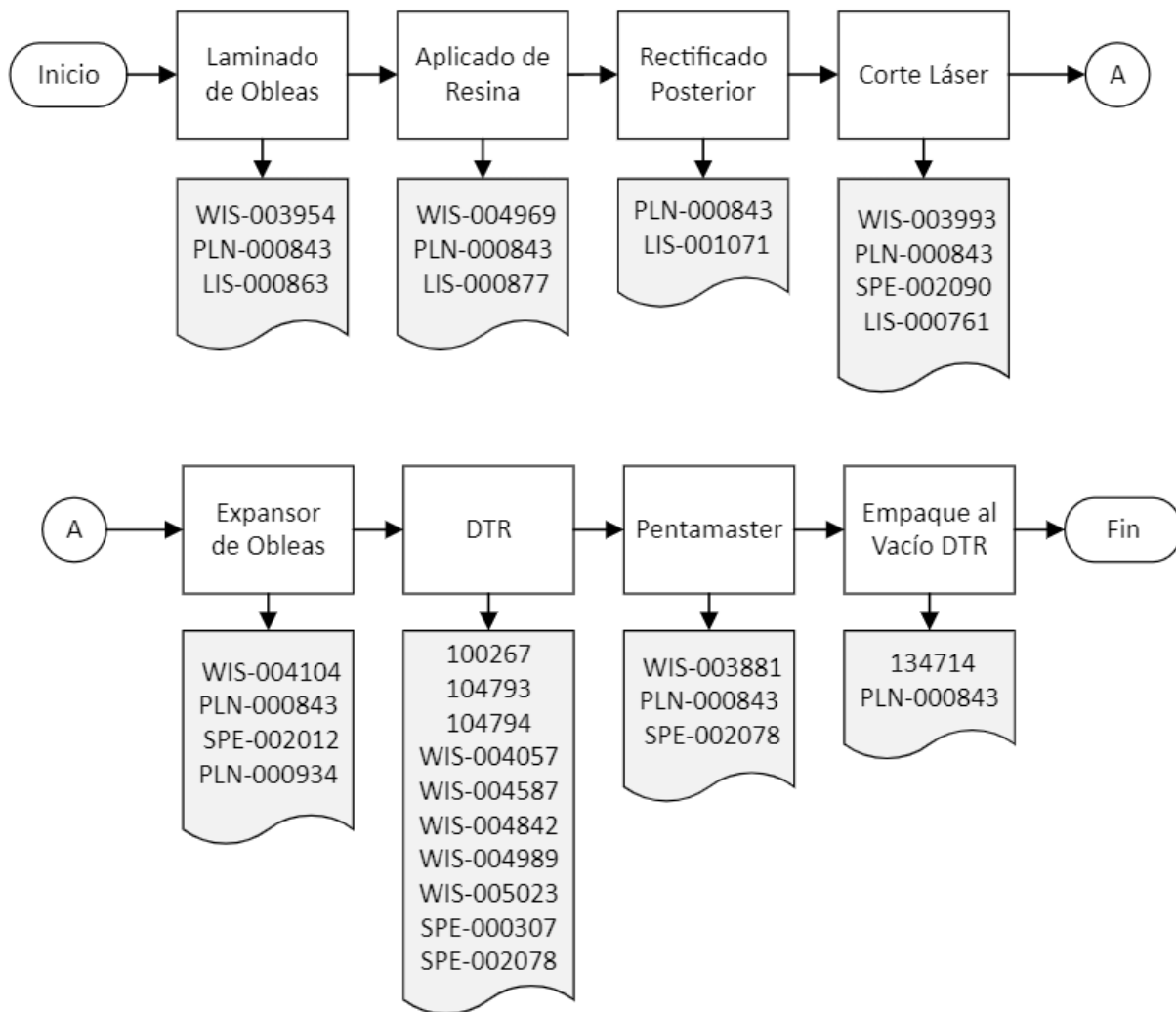
En la semana 37 del 2022, entre el 12 y 16 de setiembre, se realizó la caminata *gemba* por la línea C6-uBaw, con el equipo previamente formado en la constitución del proyecto, integrado por el supervisor de Pruebas Finales, supervisor de Ensamble, ingeniero de Calidad y dos líderes de grupo de DTR, pero adicionando la participación de un ingeniero de Proceso.

Se decidió llevar a cabo la caminata *gemba* distribuyendo varias operaciones a lo largo de la semana, con el fin de no recargar las observaciones en un solo turno. En esta, se tomó en cuenta el criterio experto y se observaron los métodos de trabajo utilizados en diferentes turnos, haciendo más representativo el análisis efectuado.

En la caminata se empleó la lista de verificación presentada en el apéndice 1, con la idea de documentar puntos específicos para el análisis de las distintas operaciones de la línea C6-uBaw, así como tener retroalimentación por parte de los operadores de cada proceso en los aspectos de mayor interés para la investigación.

A continuación, se aprecia el diagrama de flujo expuesto en la figura 4.4, pero detallando los procedimientos de cada operación analizada:

Figura 4.31: Instrucciones de trabajo y procedimientos por operación de la línea C6-uBaw



Fuente: Autor.

Este diagrama de flujo pone en manifiesto lo comentado anteriormente, es decir, que la operación de DTR es la más compleja dentro de la línea de C6-uBaw, pues existen múltiples instrucciones de trabajo y procedimientos asociados.

4.2.3 Matriz de hipótesis

La siguiente matriz de hipótesis es el resultado obtenido de aplicar el círculo de Ohno, la caminata *gemba* y la información recolectada con el formulario del apéndice 1.

Tabla 4.4: Matriz de hipótesis para comprobar la información recopilada en el apéndice 1

Descripción del Problema	Hipótesis	Prueba de Comprobación	Encargado	Fecha de Entrega
Sobreproducción	Las primeras 5 operaciones no tienen metas claras de cuanto producir, trabajan hasta que el líder de grupo indique detenerlas.	Analizar la producción realizada en las primeras 5 operaciones durante el lapso de una semana.	Supervisor de Producción de Ensamble	21 setiembre 2022
Falta de control en material que requiere inspecciones de calidad	Las inspecciones se realizan varios minutos u horas después de haber procesado el material y no tienen claro cual material requiere ser inspeccionado	Identificar a primera oblea a procesar en la operación de Aplicado de Resina y Rectificado Posterior, y comparar con la hora de ingreso al sistema Q-SPC	Supervisor de Producción de Ensamble	20 setiembre 2022
Las inspecciones de calidad no son suficientes	Las inspecciones en su mayoría son solo al inicio de turno, y no se toma en cuenta lo que pueda ocurrir el resto de la jornada	Realizar un mantenimiento simulado a las 11:00 am en la operación Rectificado Posterior y modificar los valores de especificación, dejando las obleas más anchas, fuera de especificación.	Ingeniero de Proceso	21 setiembre 2022
Falta de control sobre entrenamiento de operadores	Los operadores están trabajando en las operaciones sin estar 100% capacitados.	Analizar el estado de capacitación de los operadores de la línea C6-uBaw.	Encargado de Capacitaciones y Documentación	21 setiembre 2022

Fuente: Autor.

A continuación, se amplían los aspectos tomados en cuenta para la prueba de comprobación y los resultados presentados en la tabla anterior para complementar el análisis efectuado.

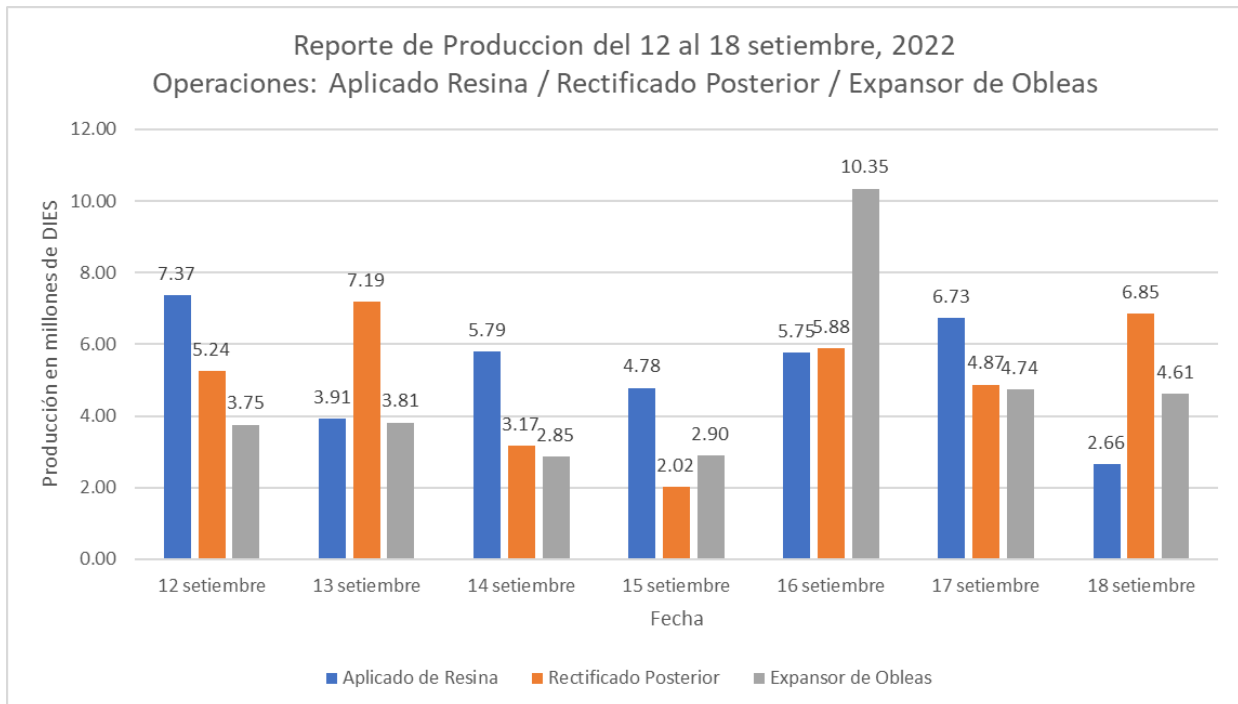
4.2.4 Experimentos para cada hipótesis

Como producto de la matriz de la tabla 4.4 y con el propósito de comprobar o rechazar las hipótesis planteadas, se procedió a ejecutar los experimentos de comprobación.

Sobreproducción

Uno de los problemas observados en las primeras cinco operaciones, que además fue comentado por los operadores, fue la falta de conocimiento de las metas de producción. Por lo tanto, se analizó la producción de las primeras cinco operaciones durante la semana del 12 al 18 de setiembre del 2022.

Figura 4.32: Producción de las operaciones Aplicado de Resina, Rectificado Posterior y Corte Láser



Fuente: Autor.

El gráfico anterior evidencia la falta de control en las operaciones, porque en el experimento se deseaba analizar la producción de los primeros cinco procesos, pero en los reportes hay dos operaciones que no son medidas directamente. Las operaciones de Laminado de Obleas y Corte Láser no se controlan como el resto de los procesos de la línea C6-Ubaw, ya que según indicó la supervisora de Producción de Ensamble, se consideran operaciones hermanas del proceso siguiente y se miden con el rendimiento de esa operación.

En otros términos, la operación de Laminado de Obleas es hermana de Aplicado de Resina y la operación de Corte Láser es hermana de Expansor de Obleas; por consiguiente, se debe asumir que el rendimiento de las operaciones faltantes es el mismo a su operación hermana.

Adicional a la falta de información encontrada, el gráfico permite ver lo inestable que trabajan las operaciones a lo largo de la semana, pasando de producir leves a grandes cantidades de DIES, como lo es el caso de Expansor de Obleas, que viene los primeros tres días de la semana con producciones inferiores a los 4 millones de DIES, pero al quinto día prácticamente triplica la producción realizada, con más de 10 millones de DIES, lo cual demuestra que la producción entre los procesos es inestable, sin ninguna tendencia que se pueda predecir.

Falta de control en material que requiere inspecciones de calidad

Durante las observaciones efectuadas en el círculo de Ohno, se prestó atención a que los operadores no llevaban a cabo las inspecciones de calidad de inmediato una vez que las obleas eran procesadas. Incluso, en algunas ocasiones, los operadores tomaban una oblea, al parecer aleatoria, para ejecutar la inspección requerida.

Como parte del experimento hecho, al iniciar el turno, en la ronda inicial, la supervisora de Producción de Ensamble anotó las primeras obleas que se estaban procesando en las operaciones de Aplicado de Resina y Rectificado Posterior, obteniendo los siguientes datos:

- Aplicado de Resina: orden de trabajo CR6023L500, oblea 2216409-09.

- Rectificado Posterior: orden de trabajo CR6023LF00, oblea: 2209308J-05.

Al finalizar el día, se verificaron los datos ingresados y este fue el reporte automático generado por el sistema Q-SPC para la operación de Aplicado de Resina:

Figura 4.33: Reporte de inspección de calidad de la operación Aplicado de Resina

SPC Main Report

Start Date: 2022-09-20 **End Date:** 2022-09-20 **Plant:** CR
Area: (C6) uBAW **Process:** Resin apply_uBAW **Spctype:** Resin apply_uBAW_Corte
Spctype Sub Type: Resin apply_uBAW_Kerf width Z1 **Spec Limit:** All **Assembly Lot:**
Hide Excluded: No **Machine:** All **Points To show:** 25

View Details	Excluded	Spctype Sub Type	Spctype Spec Limit	Lot	Unit ID	Date	Machine	Value
	FALSE	Resin apply_uBAW_Kerf width Z1	Resin apply_uBAW_Kerf width Z1_WEG9772	CR6023L500	2216409-09	9/20/2022 2:07:18 PM	DFD6341-02	0.04
							Average	0.04

Fuente: Sistema Q-SPC, VOQOR S.R.L.

Con relación a la figura anterior, en la columna “Date” se indica el momento donde el valor es ingresado al sistema automático Q-SPC. En este caso, hasta las 2:07 p.m. fue cuando se ingresó la prueba, evidenciando que esta se realiza como lo establece el procedimiento, pero no en el momento adecuado, lo cual puede afectar el material en caso de detectarse un fallo.

Para el reporte de la operación de Rectificado Posterior, se obtuvieron los siguientes datos del sistema Q-SPC:

Figura 4.34: Reporte de la inspección de calidad de la operación Rectificado Posterior

SPC Main Report

Start Date:	2022-09-20	End Date:	2022-09-20	Plant:	CR
Area:	(C6) uBAW	Process:	Backgrinder uBAW	Spctype:	Grosor cristal
Spc Sub Type:	Grosor Cristal uBAW	Spec Limit:	All	Assembly Lot:	
Hide Excluded:	No	Machine:	All	Points To show:	25

	Excluded	Spc Sub Type	Spc Spec Limit	Lot	Unit ID	Date	Machine	Value
View Details	FALSE	Grosor Cristal uBAW	WEG0058	CR6023JJ00	222144609-09	9/20/2022 8:59:44 AM	BackGrinder 05	930.81
				CR6023JJ00	222144609-09	9/20/2022 8:59:44 AM	BackGrinder 05	933.94
				CR6023JJ00	222144609-09	9/20/2022 8:59:44 AM	BackGrinder 05	931.42
							Average	932.06

Fuente: Sistema Q-SPC, VOQOR S.R.L.

En la operación de Rectificado Posterior, se aprecia en la columna “Date” que los datos fueron ingresados con mayor prontitud, casi a las 9:00 a.m., pero con el problema de que no coinciden la orden de trabajo y la oblea anotadas por la supervisora de Producción de Ensamble al iniciar el turno, demostrando el problema visualizado durante la caminata *gemba*.

El operador que realiza la operación de Rectificado Posterior estaba afuera del cuarto limpio y la inspección de calidad fue ejecutada cuando la orden de trabajo se introdujo de nuevo al cuarto limpio por el operador del siguiente proceso, a saber, Corte Láser. El operador de Corte Láser no conocía cuál fue la primera oblea procesada en la operación previa al no colocársele algún identificador, y si se considera que tenía varias órdenes de trabajo por procesar, mucho menos sabía cuál de todas fue la primera en Rectificado, por consiguiente, tomó un lote aleatorio y llevó a cabo la prueba a la primera oblea del casete.

Inspecciones de calidad insuficientes

Este punto fue observado y discutido durante la caminata *gemba* y el círculo de Ohno, e incluso se comentó por parte de los mismos operadores que se debe aumentar la frecuencia de las inspecciones de calidad. Para la prueba de comprobación, en la operación de Rectificado, se simuló un mantenimiento preventivo al equipo y se modificó deliberadamente el valor del grosor esperado en el paso 1 de la operación, el desgaste,

sin comentarle nada al operador. A continuación, se muestra marcado en color rojo el valor establecido en el procedimiento LIS-000914 para el ancho de la oblea:

Tabla 4.5: Especificaciones del grosor en el paso 1–Rectificado Posterior

Spindle	Parámetro	Valor	Unidades
NA	ID	uBAW_Tape Nitto	NA
Z1	Grind	Use	NA
Z1	Gauge	Use	NA
Z1	Air cut	50.0	um
Z1	Spindle RPM	4800	RPM
Z1	Original	930.0	um
Z1	P1 Cut amount	680.0	um
Z1	P1 Cut speed	5.0	um/s
Z1	P1 Cut Chuck RPM	300	RPM

Fuente: Documento LIS-000914, VOQOR S.R.L.

Esta modificación se hizo con el propósito de aumentar el grosor de la oblea, provocando que esté fuera según la especificación. En la siguiente figura, se muestra el valor modificado en el equipo, el cual fue incrementado por 200 μm con respecto a lo indicado en el procedimiento.

Figura 4.35: Cambio de grosor de la oblea en Rectificado Posterior

Recipe/Detail				MR0110.SDF
ID	uBAW_EG5335_NITTO			
Z1 Grind	Use	Gauge	Use	
Air Cut	50 um	Spindle RPM	4800 rpm	
Original	1130.0 um			
P1 Cut	680.0 um	5.00 um/s	300 rpm	
P2 Cut	590.0 um	3.00 um/s	300 rpm	
P3 Cut	530.0 um	1.00 um/s	300 rpm	
Spark Out	1 rev.		300 rpm	
Escape Cut	5.0 um	5.00 um/s	300 rpm	
		Process Time	191 sec	

Fuente: Autor.

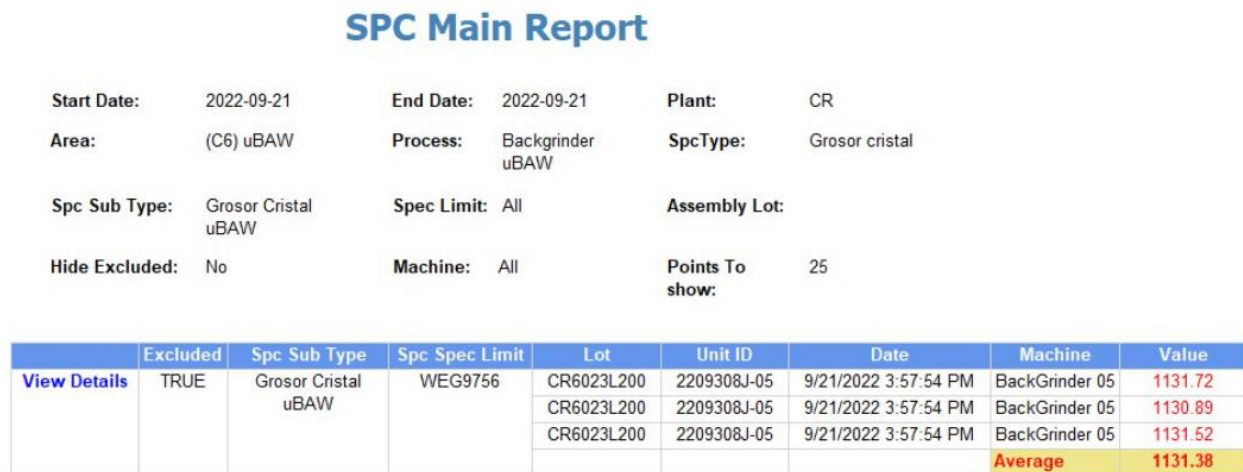
El equipo se entregó, sin ninguna indicación adicional, al operador luego del mantenimiento preventivo simulado, y se procesó la orden de trabajo CR6023L200 de

acuerdo con esta receta modificada. Después, al ingresar el material al cuarto limpio, se indicó pasar la orden de trabajo al líder de grupo y retenerla; posterior a esto, el equipo se detuvo y se volvió a ajustar a la receta validada por el procedimiento LIS-000914.

El operador no sabía que se estaba realizando una validación o experimento y no brindó indicaciones adicionales de ejecutar la prueba de grosor a ese lote específico; por lo tanto, se evidenció que las inspecciones de calidad se deben aumentar no solo en los lapsos establecidos, sino también cuando se cumplen ciertas condiciones o detonantes que pueden variar el rendimiento de los equipos, tales como las intervenciones técnicas.

A continuación, se aprecian los valores capturados por el sistema Q-SPC, para la medición del grosor de la oblea:

Figura 4.36: Grosor de obleas con la receta manipulada



Fuente: Sistema Q-SPC, VOQOR S.R.L.

Al ser una prueba controlada, los datos se excluyeron del control de SPC, como se observa en la segunda columna; además, los valores de la última columna se muestran en rojo por haber fallado la medición.

Falta de control sobre el entrenamiento de operadores

El sistema de entrenamiento de la empresa es manejado por el departamento al que pertenece el colaborador, siendo este el que valida el momento en el cual se considera

que ya el entrenamiento ha sido cumplido o no; por lo tanto, no cuenta con un departamento o ente independiente e imparcial que valide estos conocimientos.

Seguidamente, se presenta un resumen del estado de capacitación de cada operador de la línea C6-uBaw, por cada turno, con fecha de corte del 16 de setiembre del 2022, donde se aprecia que el proceso de capacitación del personal tiene oportunidades de mejora. Las certificaciones pueden ser de una o más operaciones donde esté certificado el operador, no son necesariamente de una única operación.

Turno A

Para el turno A, en la línea C6-uBaw, hay un total de once operadores, de los cuales, al momento de realizar la consulta, cuatro colaboradores tenían vencida la certificación que los acredita como operadores capacitados en diferentes operaciones, esto representa un 36 % del turno en su respectiva línea.

Tabla 4.6: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TA

ID Colaborador	Turno	Estado de certificaciones
18091	A	al día
20102	A	al día
30957	A	1 pendiente
34657	A	1 pendiente
34917	A	al día
34923	A	2 pendientes
46264	A	al día
46293	A	al día
46374	A	al día
46412	A	1 pendiente
46450	A	al día
Promedio capacitaciones pendientes:		0.5

Fuente: Autor.

En cuanto a las certificaciones pendientes, se determinó que en promedio cada operador de la línea C6-uBaw del turno A contaba con 0.5 certificaciones pendientes de completar.

Turno B

Referente al turno B, en la línea C6-uBaw hay un total de diez operadores, de los cuales, al momento de efectuar la consulta, siete colaboradores tenían vencida la certificación que los acredita como operadores capacitados en distintas operaciones, esto representa un 70 % del turno en su respectiva línea.

Tabla 4.7: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TB

ID Colaborador	Turno	Estado de certificaciones
34147	B	3 pendientes
34983	B	1 pendiente
44392	B	3 pendientes
44395	B	al día
44398	B	4 pendientes
44401	B	1 pendiente
44405	B	2 pendientes
44407	B	6 pendientes
46410	B	al día
46959	B	al día
Promedio capacitaciones pendientes:		2.0

Fuente: Autor.

Con relación a las certificaciones pendientes, en promedio cada operador de la línea C6-uBaw del turno B tenía dos certificaciones pendientes de completar.

Turno C

En el caso del turno C, en la línea C6-uBaw hay un total de diez operadores, de los cuales, al momento de llevar a cabo la consulta, cuatro colaboradores tenían vencida la certificación que los acredita como operadores capacitados en diferentes operaciones, esto representa un 40 % del turno en su respectiva línea.

Tabla 4.8: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TC

ID Colaborador	Turno	Estado de certificaciones
32962	C	2 pendientes
33438	C	3 pendientes
33800	C	al día
45439	C	al día
45440	C	1 pendiente
46165	C	al día
46169	C	al día
46268	C	al día
46456	C	1 pendiente
46915	C	al día
Promedio capacitaciones pendientes:		0.7

Fuente: Autor.

En cuanto a las certificaciones pendientes, en promedio cada operador de la línea C6-uBaw del turno C contaba con 0.7 certificaciones pendientes de completar.

Turno D

Con relación al turno D, en la línea C6-uBaw se mantienen once operadores, los cuales, al momento de realizar la consulta, siete colaboradores tenían vencida la certificación que los acredita como operadores capacitados, esto representa un 63 % del turno en su respectiva línea.

Tabla 4.9: Certificaciones pendientes de los operadores de C6-uBaw en TD

ID Colaborador	Turno	Estado de certificaciones
40067	D	13 pendientes
40774	D	3 pendientes
41232	D	3 pendientes
44455	D	4 pendientes
44459	D	al día
44463	D	2 pendientes
45445	D	al día
46166	D	6 pendientes
46170	D	1 pendiente
46913	D	al día
33624	D	al día
Promedio capacitaciones pendientes:		2.9

Fuente: Autor.

En el caso de las certificaciones pendientes, en promedio cada operador de la línea C6-uBaw del turno D contaba con 2.9 certificaciones pendientes de completar. Referente al operador 40067 con trece certificaciones pendientes, se indicó por parte del líder de grupo que fue un traslado de un operador de una línea a otra, por lo tanto, se estaban procesando y completando las bitácoras respectivas.

A continuación, se expone un resumen de los resultados obtenidos correspondientes a las certificaciones pendientes para cada uno de los turnos de producción:

Tabla 4.10: Resumen de las certificaciones pendientes por turno

Turno	Promedio capacitaciones pendientes	Porcentaje de personal con capacitaciones pendientes	Porcentaje de capacitaciones pendientes
A	0.5	36%	4.95%
B	2.0	70%	19.80%
C	0.7	40%	6.93%
D	2.9	63%	31.68%

Fuente: Autor.

Como se observa en el cuadro anterior, el personal del turno A y C, a pesar de tener entre el 30 % y 40 % de personal pendiente de capacitarse en algún proceso, cuenta con muy pocas capacitaciones incompletas, ya que no sobrepasan el 7 % del total de certificaciones por realizar, como lo sugiere la última columna.

Caso contrario ocurre con los turnos B y D, los cuales abarcan el mayor número de personal pendiente en capacitarse y una gran cantidad de capacitaciones sin llevar a cabo o incompletas, pues rondan entre el 19 % y el 31 %.

Seguidamente, se detallan los experimentos hechos para la matriz de hipótesis con sus resultados obtenidos:

Tabla 4.11: Resultados de matriz de hipótesis.

Descripción del problema	Hipótesis	Prueba de comprobación	Encargado	Fecha de entrega	Resultados/ comentarios
Sobreproducción	Las primeras cinco operaciones no tienen metas claras de cuánto producir, trabajan hasta que el líder de grupo indique detenerlas.	Analizar la producción efectuada en las primeras cinco operaciones durante el lapso de una semana.	Supervisor de Producción de Ensamble	21 setiembre 2022	Resultado: Hipótesis comprobada. Comentarios: Se verificó la producción reportada en el reporte llamado Sumary Report.
Falta de control en el material que requiere inspecciones de calidad	Las inspecciones se realizan varios minutos u horas después de haber procesado el material y no tienen claro cuál material requiere ser inspeccionado.	Identificar la primera oblea por procesar en la operación de Aplicado de Resina y Rectificado Posterior, y compararla con la hora de ingreso al sistema Q-SPC.	Supervisor de Producción de Ensamble	20 setiembre 2022	Resultado: Hipótesis comprobada. Comentarios: Los datos ingresados al Q-SPC alrededor de las 2:00 p.m. y el dato de Rectificado Posterior no coincidieron con lo anotado previamente.
Las inspecciones de calidad no son suficientes	Las inspecciones, en su mayoría, son solo al inicio del turno y no se toma en cuenta lo que pueda ocurrir el resto de la jornada.	Realizar un mantenimiento simulado a las 11:00 a.m. en la operación Rectificado Posterior y modificar los valores de especificación, dejando las obleas más anchas fuera de especificación.	Ingeniero de Proceso	21 setiembre 2022	Resultado: Hipótesis comprobada. Comentarios: El lote fue retenido después de finalizar la operación, el defecto provocado puede ser reparado luego de ser reprocesado.
Falta de control en cuanto al entrenamiento de operadores	Los operadores están trabajando en las operaciones sin estar 100 % capacitados.	Analizar el estado de capacitación de los operadores de la línea C6-uBaw.	Encargado de Capacitaciones y Documentación	21 setiembre 2022	Resultado: Hipótesis comprobada. Comentarios: Se analizó el reporte de capacitaciones al último corte realizado (16 setiembre de 2022).

Fuente: Autor.

Según la matriz de hipótesis anterior, los cuatro problemas planteados fueron verificados como existentes y se concluyó que estas son las principales causas que están afectando el rendimiento de la línea C6-uBaw.

4.3 ANALIZAR

De acuerdo con las mediciones hechas, la problemática se genera en la línea C6-uBaw por la falta de verificaciones y controles en esta, por lo cual se efectuó un análisis con varias herramientas ingenieriles.

4.3.1 Lluvia de ideas

Mediante una lluvia de ideas, se analizaron las principales causas que generan el exceso de inventario y los problemas de calidad reportados en la línea C6-uBaw.

En la sesión de lluvia de ideas estuvieron presentes el supervisor de Pruebas Finales, el supervisor de Ensamble, el ingeniero de Calidad, dos operadores de la línea C6-Baw, un técnico de Proceso y un líder de grupo.

La tabla que se expone a continuación muestra las ideas generadas en dicha sesión, eliminando las ideas repetidas de alguna manera o consolidando las ideas en una sola.

Tabla 4.12: Lluvia de ideas de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw

Factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw	
A	Poca supervisión de operaciones
B	Inspecciones de calidad con pocas frecuencias
C	Entrenamiento de operadores inadecuado
D	Las metas no son conocidas por el personal operativo
E	Inadecuada toma de inventarios
F	Falta de estandarización entre turnos
G	Equipos inestables
H	Presión por mantener equipos trabajando
I	Exceso de funciones de los operadores
J	Falta de validaciones de equipos después de intervenciones
K	Materia prima de baja calidad
L	Falta de seguimiento a Inspecciones de calidad
M	Inadecuada operación de equipos
N	Mantenimientos deficientes
O	Obleas trasladadas inadecuadamente
P	Obleas almacenadas de manera descuidada
Q	Falta de conocimiento de certificaciones pendientes
R	Poca frecuencia de mantenimientos
S	Obleas procesadas con defectos
T	Falta de herramientas informáticas
U	No hay soporte de superiores directos

Fuente: Autor.

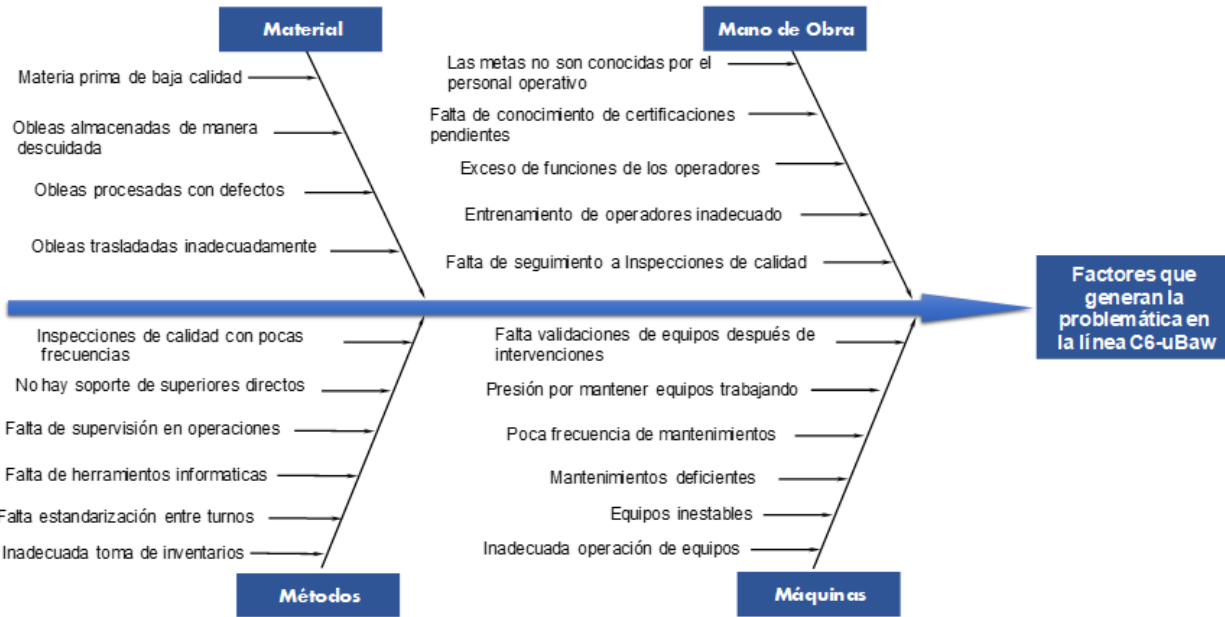
Las ideas expuestas en la tabla anterior abarcan todo tipo de aspectos involucrados en el proceso de manufactura, considerando todo aquello que está afectando de una manera u otra la línea C6-uBaw.

4.3.2 Diagrama de Ishikawa

En cuanto a la lluvia de ideas generada en el rubro anterior, correspondiente al problema de sobreproducción y defectos de calidad, las ideas se organizaron en un diagrama de Ishikawa según su respectiva categoría, con el fin de comprender cuál o cuáles causas afectan principalmente a la línea C6-Baw.

Figura 4.37: Diagrama de Ishikawa de los factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw

Diagrama de Ishikawa de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw



Fuente: Autor.

Al observar el diagrama de causa y efecto, los factores se dividieron en cuatro ramas, las cuales son: material, personal, método y máquinas, para de esta manera organizar y tener una mejor comprensión de qué afecta a la línea C6-uBaw.

Con el propósito de mejorar la comprensión del diagrama de causa y efecto expuesto, se realizó un breve análisis de cada una de las causas de cada rama para el problema en estudio.

Material

Materia prima de baja calidad: Las obleas de baja calidad provocan defectos en las operaciones y la necesidad de efectuar sobreajustes en los equipos para que sean capaces de procesarlas, o si se tiene otros insumos de baja calidad, estos podrían afectar el rendimiento en las operaciones o generar daños a las mismas obleas, aumentando el nivel de producto defectuoso, lo cual a su vez origina inspecciones adicionales, acaparando un mayor tiempo del operador.

Obleas procesadas con defectos: Si las verificaciones de las obleas no se llevan a cabo adecuadamente y son procesadas en condiciones dudosas, al detectarse defectos, se realiza toda una investigación para determinar la causa raíz, reteniendo grandes cantidades de materiales con el objetivo identificar de dónde proviene dicho error, lo cual provoca acumulaciones de inventarios de material que no puede ser procesado.

Obleas trasladadas inadecuadamente: El material de las obleas es de cristal, si su manejo no se hace de modo adecuado, se pueden producir quebraduras en las obleas o fracturas internas, que no son detectadas a simple vista e incluso son descubiertas en procesos posteriores, sin llegar a tener claro cómo pudo originarse dicho problema.

Obleas almacenadas de manera descuidada: Su almacenamiento inadecuado provoca mezclas de material, generando un punto de escape para procesar material con parámetros diferentes, o contaminar los DIES de las obleas, lo que ocasionaría fallos en los dispositivos. También, como se mencionó en el punto anterior, puede originar quebraduras o fracturas en las obleas.

Mano de obra

Entrenamiento de operadores inadecuado: Un entrenamiento inadecuado puede desembocar en un sinnúmero de problemas para la empresa, material mal ensamblado, daño a las obleas o DIES, daño a los equipos o incluso enviar a los clientes material defectuoso.

Exceso de funciones de los operadores: Si los operadores son sobrecargados de funciones, lo más probable es que dejen incompleto su trabajo o no lleven a cabo ciertas labores que cumplen aspectos importantes dentro del proceso productivo, como lo son las inspecciones de calidad.

Falta de seguimiento a las inspecciones de calidad: Si el personal operativo no les da un claro seguimiento a las inspecciones de calidad establecidas en los procesos o solicitadas por el Departamento de Ingeniería y/o Calidad, el resultado podría ser material con defectos circulando a lo largo de la línea o equipos que generen material defectuoso de manera continua sin control.

Falta de conocimiento de las certificaciones pendientes: Si los operadores no saben cuál o cuáles certificaciones tienen vencidas y trabajan así sus respectivos procesos, no hay garantía de que lleven a cabo su trabajo de acuerdo con las últimas actualizaciones dadas, lo cual provoca que, en el peor de los casos, realicen trabajos de forma inadecuada, originando material no conforme, sin estar enterados.

Las metas no son conocidas por el personal operativo: Si los operadores trabajan “a ciegas”, sin conocer qué se espera de ellos en el proceso donde se desempeñan, mantener una producción constante es imposible. Pueden llegar a duplicar la producción esperada fácilmente sin darse cuenta, lo cual hace surgir cuellos de botella en operaciones posteriores.

Máquinas

Equipos inestables: Los equipos que trabajan de manera inestable son generadores de problemas, al no saberse en qué momento van a empezar a fallar y hasta cuándo podría ser detectada la situación, lo cual provoca grandes cantidades de producto defectuoso.

Inadecuada operación de equipos: Una mala operación de los equipos, por parte de los operadores o técnicos, puede hacer surgir mucha variación, dejando producto fuera de las especificaciones de la operación, lo cual ocasiona inspecciones masivas o desecho de producto.

Mantenimientos deficientes: Un mantenimiento deficiente origina mayores problemas en los equipos, con todo lo que esto puede incurrir, como detener el equipo más tiempo para resolver problemas tratados inadecuadamente en la máquina, mayor inversión de horas técnico que podrían ser ocupadas en otros equipos, mayor probabilidad de generar producto con defectos, entre otros.

Poca frecuencia de mantenimientos: Un equipo con una frecuencia de mantenimiento mal asignada puede provocar que el equipo esté más anuente a fallar y generar producto defectuoso, así como una disminución de la vida útil de la máquina.

Presión por mantener los equipos trabajando: La presión por mantener las máquinas trabajando puede hacer que las intervenciones no se realicen de una manera efectiva, provocando arreglos rápidos y poco eficientes que pueden ocasionar una mayor variación o defectos en el proceso.

Falta de validaciones de los equipos después de las intervenciones: Cuando un equipo recibe una intervención en sus partes o parámetros, la variación está presente, y si no se valida que el equipo quedó trabajando correctamente, podría generar producto fuera de especificaciones sin que nadie se entere, llegando a saberse cuando hay una gran cantidad de material que ya fue procesado.

Métodos

Inadecuada toma de inventarios: Si el inventario no es medido de forma correcta, el funcionamiento de la línea no va a ser el mejor, por ejemplo, se puede surtir material cuando la línea está llena, o activar o detener operaciones innecesariamente, ocasionando burbujas de inventario dentro de la línea.

Inspecciones de calidad con poca frecuencia: Si las inspecciones no se realizan con una frecuencia adecuada al proceso, no se controla cómo se produce en la línea, lo cual origina más variación dentro de las operaciones y producto defectuoso.

Falta de supervisión en las operaciones: Las operaciones que no son controladas, no son medibles, por lo tanto, para la línea productiva son un vacío que podría ocasionar producto bueno o malo, al límite de las especificaciones o fuera de estas.

Falta de herramientas informáticas: Sin las herramientas informáticas necesarias, el personal operativo no puede ejecutar sus funciones de modo adecuado, por lo cual trabajan más lento o de forma errónea, provocando atrasos en sus operaciones o material defectuoso y se darían cuenta de manera tardía.

Falta de estandarización entre turnos: Si los turnos trabajan diferente entre sí, con dificultad se alcanzan las metas. Los cuatro turnos de la línea C6-uBaw no trabajan de forma uniforme ni sincronizada debido a que el líder de cada turno elabora sus reportes

de manera distinta, principalmente el de inicio del turno, donde se recopila la información del estado de cada operación y sus inventarios de producto en proceso.

No hay soporte de superiores directos: Si los operadores no cuentan con el soporte de los líderes de la línea, o los líderes de sus supervisores, cada uno, en su respectiva función, trabaja como mejor le parezca y a lo que le alcance el tiempo disponible; incluso, opte por ejecutar una tarea que no sea la verdadera prioridad de la línea C6-uBaw, por consiguiente, solo estaría originando más problemas.

4.3.3 Multivoto

Con todas las causas e ideas establecidas en el diagrama de Ishikawa, se realizó un multivoto con el mismo grupo que participó en la lluvia de ideas, este se compuso por el supervisor de Pruebas Finales, el supervisor de Ensamble, el ingeniero de Calidad, dos operadores de la línea C6-Baw, un técnico de Proceso y un líder de grupo.

Para el multivoto, se otorgaron 100 puntos a cada miembro, los cuales debían ser asignados a las causas presentadas. Los puntos se distribuyeron de acuerdo con la afectación que creyeran conveniente a cada causa de la problemática de la línea C6-uBaw, por ejemplo, podían distribuirlos equitativamente en cada causa, otorgar todos los puntos a una sola, recargar más puntos en una causa o dejar causas con 0 puntos.

Se explicaron las reglas del multivoto y se verificó que todos los involucrados comprendieran las normas establecidas. Una vez efectuado el multivoto, se tabuló toda la información, resultando en la siguiente tabla:

Tabla 4.13: Multivoto de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw

Causa	Sup. De P.Finales	Sup. de ensamble	Ing. de calidad	Op. 1 C6-uBaw	Op. 2 C6-uBaw	Téc. de Proceso	Líder de grupo	Total
A	0	0	5	0	1	1	0	7
B	10	14	10	10	15	10	10	79
C	0	0	5	0	0	3	0	8
D	5	15	10	10	15	10	0	65
E	18	20	15	8	8	15	15	99
F	27	20	15	14	20	20	12	128
G	5	1	4	2	2	0	5	19
H	0	0	1	15	10	10	10	46
I	0	0	0	5	5	0	2	12
J	14	10	15	10	10	5	15	79
K	0	0	0	3	5	2	2	12
L	1	0	5	2	0	0	2	10
M	0	1	0	0	0	5	0	6
N	1	1	0	1	0	0	1	4
O	1	0	0	1	0	1	1	4
P	1	0	2	2	0	3	1	9
Q	1	2	5	2	2	5	2	19
R	2	3	0	2	0	0	0	7
S	3	5	0	2	0	3	2	15
T	10	8	5	9	5	7	15	59
U	1	0	3	2	2	0	5	13
Total	100	100	100	100	100	100	100	700

Fuente: Autor.

Al ordenar el multivoto anterior según el porcentaje logrado por cada causa, se obtuvo el siguiente cuadro:

Tabla 4.14: Multivoto ordenado de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw

Causa	Ideas	Total	Porcentaje
F	Falta de estandarización entre turnos	128	18.29%
E	Inadecuada toma de inventarios	99	14.14%
B	Inspecciones de calidad con pocas frecuencias	79	11.29%
J	Falta de validaciones de equipos después de intervenciones	79	11.29%
D	Las metas no son conocidas por el personal operativo	65	9.29%
T	Falta de herramientas informáticas	59	8.43%
H	Presión por mantener equipos trabajando	46	6.57%
G	Equipos inestables	19	2.71%
Q	Falta de conocimiento de certificaciones pendientes	19	2.71%
S	Obleas procesadas con defectos	15	2.14%
U	No hay soporte de superiores directos	13	1.86%
I	Exceso de funciones de los operadores	12	1.71%
K	Materia prima de baja calidad	12	1.71%
L	Falta de seguimiento a Inspecciones de calidad	10	1.43%
P	Obleas almacenadas de manera descuidada	9	1.29%
C	Entrenamiento de operadores inadecuado	8	1.14%
A	Poca supervisión de operaciones	7	1.00%
R	Poca frecuencia de mantenimientos	7	1.00%
M	Inadecuada operación de equipos	6	0.86%
N	Mantenimientos deficientes	4	0.57%
O	Obleas trasladadas inadecuadamente	4	0.57%
Total		700	100%

Fuente: Autor.

Analizando los datos del multivoto anterior, se observa que hay siete causas principales, las cuales inician en 18.29 % de los puntos obtenidos, disminuyendo hasta llegar a 6.57 %, y entre ellas suman un total de 79.29 % de los puntos asignados. Por debajo de estas causas principales, se encuentran los considerados como factores secundarios, catorce en total, con valores porcentuales obtenidos de 2 % o menos.

4.3.4 Diagrama de Pareto

Al organizar los datos del multivoto, asignando el porcentaje acumulado a cada causa que afecta a la problemática de la línea C6-uBaw, se elaboró el diagrama de Pareto, mostrado a continuación:

Tabla 4.15: Pareto de factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw

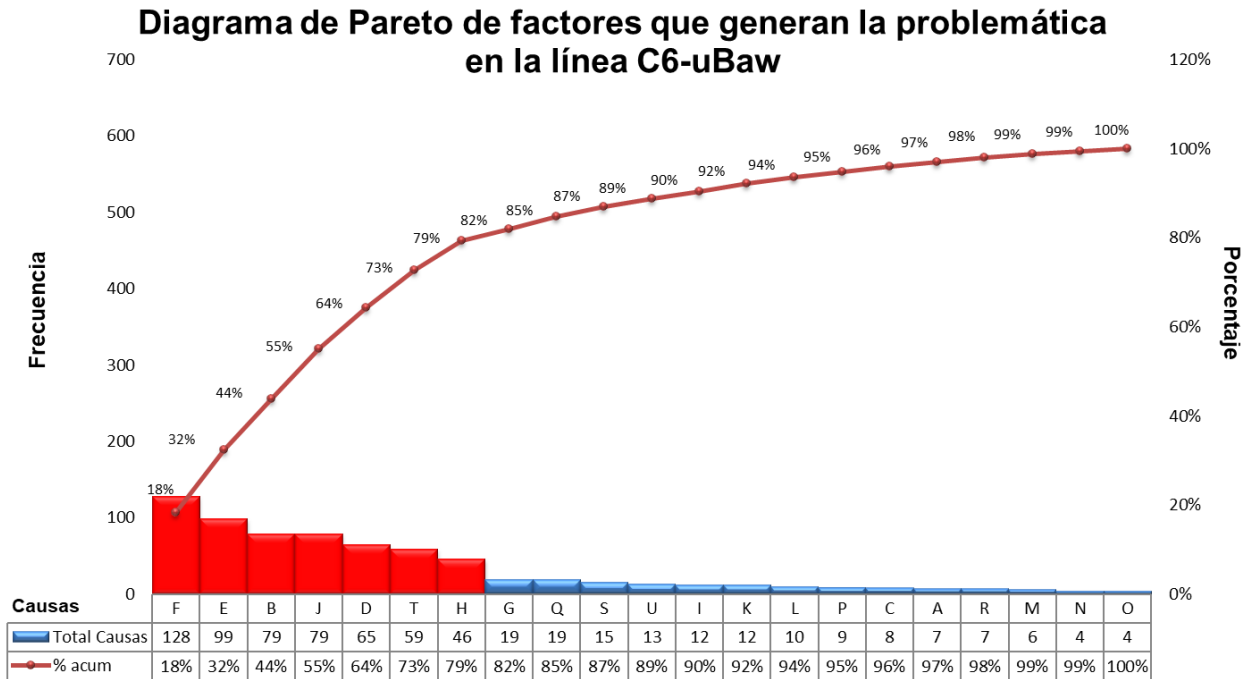
Causa	Ideas	Total	Porcentaje	Porcentaje acumulado
F	Falta de estandarización entre turnos	128	18.29%	18.29%
E	Inadecuada toma de inventarios	99	14.14%	32.43%
B	Inspecciones de calidad con pocas frecuencias	79	11.29%	43.71%
J	Falta de validaciones de equipos después de intervenciones	79	11.29%	55.00%
D	Las metas no son conocidas por el personal operativo	65	9.29%	64.29%
T	Falta de herramientas informáticas	59	8.43%	72.71%
H	Presión por mantener equipos trabajando	46	6.57%	79.29%
G	Equipos inestables	19	2.71%	82.00%
Q	Falta de conocimiento de certificaciones pendientes	19	2.71%	84.71%
S	Obleas procesadas con defectos	15	2.14%	86.86%
U	No hay soporte de superiores directos	13	1.86%	88.71%
I	Exceso de funciones de los operadores	12	1.71%	90.43%
K	Materia prima de baja calidad	12	1.71%	92.14%
L	Falta de seguimiento a Inspecciones de calidad	10	1.43%	93.57%
P	Obleas almacenadas de manera descuidada	9	1.29%	94.86%
C	Entrenamiento de operadores inadecuado	8	1.14%	96.00%
A	Poca supervisión de operaciones	7	1.00%	97.00%
R	Poca frecuencia de mantenimientos	7	1.00%	98.00%
M	Inadecuada operación de equipos	6	0.86%	98.86%
N	Mantenimientos deficientes	4	0.57%	99.43%
O	Obleas trasladadas inadecuadamente	4	0.57%	100.00%
Total		700	100%	

Fuente: Autor.

Una vez recopilada la información obtenida con la herramienta del multivoto, se sometió a un análisis estadístico, lo cual permitió determinar siete causas principales que están afectando a la línea C6-uBaw de manera negativa.

Seguidamente, se aprecia el diagrama de Pareto generado con la información suministrada:

Figura 4.38: Diagrama de Pareto de los factores que generan la problemática en la línea C6-uBaw



Fuente: Autor.

Según la figura anterior, el diagrama de Pareto señala siete causas principales que originan la problemática en la línea C6-uBaw, el porcentaje logrado entre los factores mencionados suma 79.2 %. A continuación, se expone un resumen del porcentaje obtenido para las siete causas identificadas y el porcentaje que representan esos puntos.

Tabla 4.16: Factores principales según el diagrama de Pareto

Causa	Ideas	Total	Porcentaje
F	Falta de estandarización entre turnos	128	18.29%
E	Inadecuada toma de inventarios	99	14.14%
B	Inspecciones de calidad con pocas frecuencias	79	11.29%
J	Falta de validaciones de equipos después de intervenciones	79	11.29%
D	Las metas no son conocidas por el personal operativo	65	9.29%
T	Falta de herramientas informáticas	59	8.43%
H	Presión por mantener equipos trabajando	46	6.57%
Total		555	79.29%

Fuente: Autor.

Así, las siete causas principales fueron seleccionadas bajo el criterio de mayor peso porcentual, a las cuales se les deben implementar acciones a corto plazo que permitan mitigar su incidencia, con alternativas de solución que disminuyan o eliminen su influencia en la problemática presentada en la línea C6-uBaw. Las mismas se desarrollan en las siguientes dos etapas de la herramienta DMAIC, detalladas en el capítulo V, llamado "Propuesta".

CAPÍTULO V. PROPUESTA

En la etapa anterior, se encontraron varios factores que provocan la problemática de sobreproducción y los problemas de calidad en la línea C6-uBaw, es necesario eliminar o minimizar los efectos de estas causas, identificadas por medio de múltiples herramientas, en los procesos productivos mediante la implementación de mejoras, para esto es necesario pasar a las etapas de mejorar y controlar de la metodología DMAIC.

5.1 MEJORAR

En esta etapa se detallan las mejoras por implementar en la línea C6-uBaw, con el fin de reducir o eliminar la sobreproducción y las fallas de calidad previamente detalladas.

5.1.1 Alternativa de solución 1: Estandarización de reportes

La siguiente figura es un reporte de inventario generado por el turno B, donde el líder tardó de 1.5 a 2 horas en completar el detalle, con información recabada a mano y con alta probabilidad de cometer algún error. Pero, aun así, este es el reporte más detallado dentro de los cuatro turnos, ya que los demás líderes comparten el inventario, dando una lista de modelos en prosa, con el total de cada modelo en toda la línea C6-uBaw.

Figura 5.1: Ejemplo de un inventario generado en TB

Línea de Ubaw.

- 9798 cuando termina el material pasa al modelo 9795.
- DTR 7 wafers con bajo yield.

Modelo	Wafer Lamination	Laser uBaw	uBaw DTR	DTR's trabajando
WEG9795	139,822	695,329	634,989	
WEG9798			169,315	1
WEG9799	236,522		1,169,366	1
WEG2525		2,363,611	463,611	1
WEG2801	116,965	45,366	3,016,141	2
WEG2528		236,511	1,198,226	
WEG2538		211,693	3,965,552	2
WEG2539	3,621,633	136,955	1,126,366	
WEG2806		2,631,633		
WEG2506		485,693		
WEG2516	169,855			
WEG2531		354,862		
WEG2810	770,319	638,525		
WEG2517		162,661		
WEG2541	1,716,336			
WEG2811		13,631		
WEG2530	563,574	163,112		
WEG2616		1,636,211		
WEG2621	163,113	89,635		
WEG2532	1,045,967			
WEG2524		65,933		
WEG2629	635,963			
WEG2636	139,362	246,935		
WEG2527	111,635			
Total	9,431,066	10,178,296	11,743,566	
Gran TOTAL		31,352,928		

Fuente: Autor.

Ante esta situación, la primera propuesta es crear una fórmula estándar que sea aplicada en todos los turnos para la toma de inventario y envío de reportes; además, que se genere rápidamente y sirva de fundamento para tomar decisiones eficientes. Todo esto con el objetivo de atacar los dos primeros factores del diagrama de multivoto.

Este formulario debe minimizar la introducción de datos manuales, para evitar el error humano en la toma de inventarios, proporcionando un número confiable con el cual se puedan tomar decisiones bien fundamentadas. Por lo tanto, se debe alimentar del reporte “Lotes en WIP” de la herramienta Tableau, el cual es un reporte que lleva el control de la ubicación de cada orden de trabajo en el sistema.

Figura 5.2: Reporte del Tableau. Lotes en WIP

Lote	Material	Cantidad	Work Order	Owner	Step	% Avance	Estado Proceso	Tiempo Ciclo
CR40099900	W85152AGD (A)	69313	2516879	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:23:04:00
CR40099000	W85078AGD (B)	68322	2516848	5810	Hoop Expansion	77% (10 de 13 Steps)	ESPERANDO MOVOUT	00:23:08:13
CR40099F00	W85079AGD (B)	63906	2515607	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:06:28:11
CR40099300	W85151AGD (A)	63240	2516865	5810	Stealth Laser Taping	23% (3 de 13 Steps)	EN COLA	00:23:06:43
CR40099C00	W85134AGD (A)	61092	2516889	5810	Stealth Laser Taping	21% (3 de 14 Steps)	EN COLA	00:23:02:12
CR40099800	W85152AGD (A)	58708	2516879	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:23:04:33
CR40099B00	W85152AGD (A)	58147	2516879	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:23:03:26
CR40099200	W85078AGD (B)	57890	2516848	5810	Hoop Expansion	77% (10 de 13 Steps)	ESPERANDO MOVOUT	00:23:07:35
CR40099G00	W85079AGD (B)	54852	2515607	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:06:27:16
CR40099500	W85151AGD (A)	54599	2516865	5810	Stealth Laser Taping	23% (3 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:23:06:07
CR40099E00	W85079AGD (B)	54559	2515607	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:06:28:50
CR40099A00	W85134AGD (A)	53974	2516889	5810	Stealth Laser Taping	21% (3 de 14 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:23:03:30
CR40099600	W85079AGD (B)	53243	2515606	5810	Hoop Expansion	77% (10 de 13 Steps)	ESPERANDO MOVOUT	00:23:05:39
CR40099D00	W85134AGD (A)	49704	2516889	5810	Stealth Laser Taping	21% (3 de 14 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:22:58:10
CR40099700	W85151AGD (A)	42872	2516865	5810	Stealth Laser Taping	23% (3 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:23:05:24
CR40099K00	W85078AGD (B)	10911	2516849	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:00:03:11
CR40099J00	W85078AGD (B)	10911	2516849	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:00:03:44
CR40099H00	W85078AGD (B)	10911	2516849	5810	BG Taping	0% (1 de 13 Steps)	LISTO PARA INICIAR	00:00:04:16

Fuente: Autor.

Este reporte presenta la deficiencia de que muestra las órdenes de producción de todas las líneas (C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9) de Costa Rica, pero los datos pueden ser descargados a Microsoft Excel para tratarlos de mejor manera. El nuevo reporte estandarizado por desarrollar debe contemplar las siguientes características:

- Separar el reporte en tres secciones:
 - El primer bloque debe contar con las operaciones de Laminado de Obleas, Aplicación de Resina, Rectificado Posterior, Corte Láser y Expansor de Obleas.
 - La operación de DTR sola en un segundo bloque. Es la operación más compleja de toda la línea, donde se manejan muchas variables.
 - Las operaciones Pentamaster y Empaque al Vacío DTR deben quedar en un tercer bloque, debido a que el material cambia de presentación, de

obleas a carruchas, y esto el sistema lo detecta como nuevos lotes en la línea y reinicia su tiempo de ciclo, cambiando las prioridades.

- Indicar por cada modelo de la línea C6-uBaw la cantidad de material en proceso o en espera de ser procesado en los primeros dos bloques del reporte.
- Indicar el tiempo de ciclo promedio de cada modelo en cada bloque.
- Indicar la cantidad de equipos asignados a cada modelo en DTR.
- Indicar la cantidad de horas de trabajo disponible con la que cuenta cada equipo de DTR de acuerdo con el material en proceso. Si es menor a 36 horas de trabajo o mayor a 48, debe alarmar.

Los aspectos anteriores son el mínimo de requisitos necesarios para un reporte bien fundamentado, que permita una planificación íntegra a lo largo de las operaciones, con un detalle muy específico de cada proceso; así, cuando se tomen decisiones como cuándo se debe surtir material, detener o trabajar un proceso o el avance de un modelo determinado, se va a realizar con la información más confiable.

La creación del reporte debe ser en Microsoft Excel, donde la versatilidad y flexibilidad del programa se ajusta a una solución económica y eficiente. En cuanto a la creación de dicho reporte, se encarga el ingeniero de Manufactura, quien estima que una vez aprobada la propuesta, tardaría un aproximado de una semana laboral (cinco días) desde la definición de requerimientos hasta su implementación y, adicional, un día por turno para capacitar a líderes y supervisores en la nueva herramienta. La inversión del desarrollo e implementación de la nueva herramienta se detalla a continuación:

Tabla 5.1: Costos generales de la propuesta 1

A	Salario de Ingeniero Manufactura por hora	₡4,688
B	Horas invertidas en generación e implementación de reporte	80
C	Costo total de generar el Reporte	₡375,040

Fuente: Autor.

Según la tabla anterior, el costo total de la implementación es de ₡ 375 040, lo cual es un valor pequeño comparado con los beneficios por obtener. No se considera el costo del entrenamiento del personal, ya que se va a efectuar dentro del mismo turno, al inicio de cada jornada, llevando a cabo una toma de inventario y entrenamiento al mismo tiempo.

Con esta nueva herramienta, el objetivo es mantener un inventario máximo equivalente a la producción de cuatro turnos de la operación DTR, correspondiente a 13 440 000 unidades aproximadamente, partiendo de que cada equipo de DTR posee una capacidad efectiva de 40 000 unidades por hora.

Al promediar el inventario de las últimas diez semanas, de acuerdo con el gráfico presentado en la figura 4.2, en la línea C6-uBaw se mantiene un inventario promedio de 33 062 868 unidades, lo cual significaría una reducción del inventario en proceso de aproximadamente 19 622 868 unidades.

Tabla 5.2: Reducción del inventario en proceso de la línea C6-uBaw

Inventario actual promedio	Inventario esperado	Reducción de inventario	Costo unitario de cada DIES	Reducción de Inventario en \$
33,062,868	13,440,000	19,622,868	\$0.008	\$156,982

Fuente: Autor.

Como lo indica la tabla anterior, la propuesta es reducir el inventario de producto en proceso en un 60 % del valor actual, lo cual representa una reducción de \$ 156 982.9 en el inventario.


5.1.2 Alternativa de solución 2: Cambiar la frecuencia de las inspecciones de calidad

Un generador de los problemas existentes en la línea C6-uBaw son las inspecciones de calidad que no se ejecutan en las frecuencias idóneas, porque en la actualidad las inspecciones estipuladas en los documentos de las siguientes operaciones son de una vez por turno, a una oblea, cuya cantidad promedio es de 43 314 unidades.

Entre inspecciones se procesa un máximo aproximado de 4 800 000 unidades, lo cual significa que solo se muestrea el 0.9 % de la producción diaria. Además, en las inspecciones no se incluyen los diferentes eventos producidos en el turno que pueden originar variación en el producto.

De este modo, se propone incrementar las frecuencias de las inspecciones de calidad tal y como lo estipula el documento WIS-003990 de la operación de Rectificado Posterior.

Figura 5.3: Inspecciones requeridas en el documento WIS-003990

	Instrucciones de trabajo para Back Grinding DFG 8540 / DFG 8545	Page 23 of 46
	WIS-003990	Rev B

- 8.5 La verificación del grosor del cristal se debe realizar en la FTR Microprof 3000, validando el valor del Thickness del equipo con lo establecido en el control plan. La medición se debe hacer cuando:
- 8.5.1 Primer wafer del turno
 - 8.5.2 Primer wafer de cada PPO
 - 8.5.3 Primer wafer después de cambio de rueda y SPM
 - 8.5.4 Después de cada intervención técnica y PM
 - 8.5.5 A solicitud de Ingeniería.

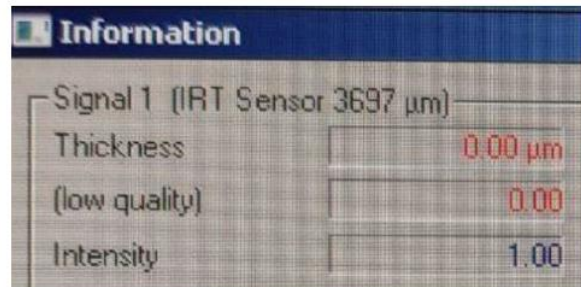


Figura 13

Fuente: Documentación VOQOR S.R.L.

De acuerdo con la figura anterior, las verificaciones cubren no solo el producto inicial de cada turno, pues es evaluado cualquier tipo de evento que pueda provocar una variación en el producto, generando más confiabilidad en el proceso.

Los cambios se deben realizar en las siguientes operaciones:

Laminado de Obleas: En el procedimiento WIS-003954, corregir el punto 10.6.1.1.

Figura 5.4: Documento WIS-003954

	Enteipado con Takatori DTM-300B	Page 16 of 19
	WIS-003954	Rev E

10.6 INSPECCION Y SPC DEL MATERIAL POSTERIOR AL LAMINADO

10.6.1 La inspección visual se realiza en dos pasos:

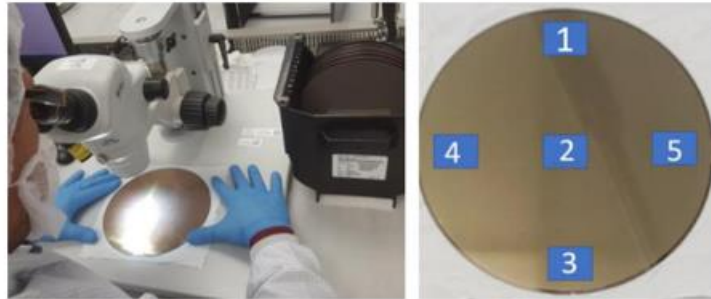


Figura 29

Figura 30

10.6.1.1 Al primer wafer del turno: Con ayuda de un microscopio de base ancha con aumento 10X-30X en 5 zonas del wafer. Ver figuras 29 y 30. Se debe revisar la calidad del enteipado alrededor de los pads y en los test dies.

Fuente: Documentación VOQOR S.R.L.


Se debe cambiar la instrucción del procedimiento y colocar la siguiente:

“Con la ayuda de un microscopio de base ancha con aumento 10X-30X en cinco zonas del *wafer*, como se muestra en las figuras 29 y 30, se debe revisar la calidad del enteipado, alrededor de los *pads* y en los test DIES, bajo los siguientes eventos:

- Primer *wafer* del turno.
- Primer *wafer* de cada PPO.
- Después de cada intervención técnica y PM.
- A solicitud de Ingeniería”.

Aplicado de Resina: En el procedimiento WIS-004969, corregir el punto 10.8.1.

Figura 5.5: Documento WIS-004969

	Proceso Pressure Mounter con DPM 2190CX	Page 23 of 26
	WIS-004969	Rev A

10.7.2.5 Peeling del condox: Si se observa desprendimiento del condox, no se debe seguir haciendo el proceso de corte del condox y seguir lo que indica el OCAP, documento [LIS-000877](#).



Figura 28A: daño en borde wafer



Figura 28B- Quebradura causada por sobrante de condox

10.8 SPC GROSOR DESPUES DE SPM

10.8.1 Debe realizarse un SPC de grosor (*thickness*) al primer wafer de cada turno con la maquina FRT MP300. Ver documento [WIS-004051](#).

10.8.2 Digite los resultados de las mediciones en el QSPC

10.8.3 El valor de *thickness* y el TTV deben estar dentro de control para poder continuar.

Fuente: Documentación VOQOR S.R.L.

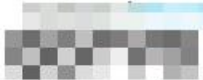
Se debe cambiar la instrucción del procedimiento y colocar la siguiente:

“Debe realizar un SPC de grosor (*thickness*) con la máquina FRT MP300 (ver documento WIS-004051) bajo los siguientes eventos:

- Primer *wafer* del turno.
- Primer *wafer* de cada PPO.
- Después de cada intervención técnica y PM.
- A solicitud de Ingeniería”.

Corte Láser: En el procedimiento WIS-003993, en el punto 10.12.1.

Figura 5.6: Documento WIS-003993

	Instrucciones de trabajo para realizar el corte de wafers en Stealth Laser C6 μ BAW	Page 17 of 31
	WIS-003993	Rev G

10.11 Cuando retire el material de la zona de carga y descarga del material levante ligeramente el magazín hacia usted, para asegurarse de que todos los wafer están colocado en el interior del magazín

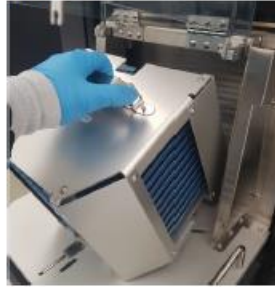


Figura 10. Retiro del material de la SL.

10.12 Recolección de Datos

10.12.1 Al primer wafer del turno se debe inspeccionar la integridad del corte, no debe haber chipouts, y el centrado adecuado de los dies en el hairline. Los resultados deben ser introducidos en el QSPC.

10.12.2 Siempre se debe seguir el orden establecido, el cual consiste en:

Fuente: Documentación VOQOR S.R.L.

Se debe cambiar la instrucción del procedimiento y colocar la siguiente:

“Debe realizar una verificación de la integridad del corte, no debe haber *chipouts*, y el centrado adecuado de los DIES en el *hairline*, en las siguientes frecuencias:

- Primer *wafer* del turno.
- Primer *wafer* de cada PPO.
- Después de cada intervención técnica y PM.
- A solicitud de Ingeniería”.

Expansor de Obleas: En el procedimiento WIS-004104, punto 10.18.

Figura 5.7: Documento WIS-004104


	Instrucción de trabajo para la operación de Expander (DFX2400)	Page 14 of 32
	WIS-004104	Rev D



Figura 1. Revisión de un un wafer.

10.18 Al primer wafer procesado en el turno se debe verificar la distancia entra dies, asegurando que la distancia se encuentre entre 20 y 45 um. En caso de error notifique al supervisor.

10.19 Coloque el material en la zona

Fuente: Documentación VOQOR S.R.L.

Se debe cambiar la instrucción del procedimiento y colocar la siguiente:

“Se debe verificar la distancia entra DIES, asegurando que la distancia se encuentre entre 20 y 45 um en las siguientes frecuencias:

- Primer *wafer* del turno.
- Primer *wafer* de cada PPO.
- Después de cada intervención técnica y PM.
- A solicitud de Ingeniería.

Los datos deben ingresarse en el QSPC y, en caso de error, detenga el proceso y notifique al supervisor”.

Estos cambios son llevados a cabo por los dueños de cada proceso, en total son dos ingenieros de Proceso (cada ingeniero tiene a cargo dos procesos). A continuación, se detalla el costo de efectuar el cambio de los documentos:

Tabla 5.3: Costo de modificar procedimientos

A	Salario de Ingeniero Proceso por hora	₡4,688
B	Horas invertidas en corrección de documento	4
C	Costo total de generar el Reporte	₡18,752

Fuente: Autor.

Se calculan cuatro horas invertidas en la modificación de los procedimientos, considerando una hora por cada documento. Una vez incluidos los cambios en los procedimientos, se someten al flujo normal de aprobación, lo cual puede tardar hasta dos días. Este tiempo de aprobación no se toma en cuenta en la inversión, al ser varios documentos los que son sometidos a diario en la empresa y al tenerse personal dedicado a esta labor. Por lo tanto, el cambio en los documentos significa una inversión de aproximadamente ₡ 18 752.

Aprobados los procedimientos, se debe reentrenar a los operadores en los nuevos requerimientos establecidos. El entrenamiento va a ser realizado por el ingeniero de cada proceso, con una duración de 45 minutos aproximadamente; además, el personal debe firmar la bitácora 136001CR al final del entrenamiento, certificando el haber recibido el entrenamiento correspondiente.

Tabla 5.4: Costo de capacitadores

A	Salario de Ingeniero Proceso por hora	₡4,688
B	Total de Ingenieros	2
C	Total tiempo invertido (horas)	1.5
D	Cantidad de turnos	4
E	Costo de capacitadores $E = A*B*C*D$	₡56,256

Fuente: Autor.

La tabla anterior indica la inversión por asumir con respecto a los capacitadores, que en este caso son los ingenieros de Proceso. Se toma el total de la capacitación en 90 minutos y es necesario dividir el grupo en dos para no detener el funcionamiento de la línea productiva; así, el segundo grupo permanece trabajando mientras el primero recibe la capacitación y cubre las funciones del compañero ausente, cuando intercambian los grupos igualmente, tal y como sucede en las coberturas de los tiempos de receso.

En la siguiente tabla, se muestra el costo para los operadores y líderes:

Tabla 5.5: Costo de capacitar al personal operativo

A	Salario de operadores por hora	₡1,863
B	Total de Operadores	42
C	Salario de líderes por hora	₡2,760
D	Total de líderes	4
E	Total de tiempo invertido (horas)	0.75
F	Costo de capacitar operadores y líderes $F = (A*B*E) + (C*D*E)$	₡66,965

Fuente: Autor.

La inversión de entrenar al personal operativo asciende a ₡ 66 965, un costo relativamente bajo; también, se incluye a los líderes de grupo de cada línea, para tener a todo el grupo completamente entrenado. A continuación, se aprecia el costo total del cambio en la documentación de los procesos:

Tabla 5.6: Costo general de la propuesta 2

A	Modificación de documentos	₡18,752
B	Costo de capacitadores	₡56,256
C	Costo de entrenar el personal operativo	₡66,965
TOTAL (A+B+C)		₡141,973

Fuente: Autor.

La inversión total para la implementación de esta propuesta asciende a los ₡ 141 973, contemplando el cambio de documentos y las capacitaciones pertinentes. Con la implementación de esta mejora, se busca aumentar el muestreo hecho turno tras turno en las diferentes operaciones. Se proyecta que las inspecciones pasarían a ser un mínimo de doce, si se contempla que por turno se procesa un promedio de nueve lotes y se suman dos muestreos adicionales para intervenciones técnicas, cambio de componentes o mantenimientos preventivos.

Tabla 5.7: Comparación del muestreo actual y el muestreo propuesto

	Actual	Propuesta
Cantidad de Inspección Actual (Obleas)	1	12
Piezas por Obleas	43,314	43,314
Producción máxima por turno	4,800,000	4,800,000
Porcentaje de muestreo	0.90%	10.83%

Fuente: Autor.

Con doce inspecciones de calidad mínimas por turno, se incrementaría el muestreo del 0.9 % a un 10.8 %, lo cual genera confianza en los procesos y esto, a su vez, incrementaría la calidad de salida del producto terminado en 0.3 %, al detectar las no conformidades a mayor velocidad.

5.1.3 Alternativa de solución 3: Implementación de un sistema de control de producción

Un factor señalado por el diagrama de Pareto es el desconocimiento de las metas de producción por parte del personal operativo, lo cual dificulta que los operadores desarrollen su trabajo a un buen ritmo, al desconocer si van atrasados, bien o adelantados con respecto a la producción requerida.

En la línea C3, en pruebas finales, se posee la aplicación “Sistema de Control de Producción (Pruebas Finales)”, que es totalmente automática. Este sistema tiene una función de mantenimiento, en la cual se pueden agregar nuevas líneas, operaciones y máquinas, así como configurar la meta diaria establecida por cada operación o equipo específico.

Figura 5.8: Sistema de Control de Producción (Pruebas Finales)

Fuente: Autor.

La función de este sistema es validar la cantidad que el operador reporta por hora contra la meta establecida; si el operador reporta una cantidad de producción inferior a su meta, realiza un cálculo de tiempo improductivo basado en la cantidad reportada y solicita que justifique ese tiempo improductivo, como se demuestra a continuación:

Figura 5.9: Reporte de tiempo muerto del Sistema de Control de Producción (Pruebas Finales)

-Report- Machine Time Off

VTECK 29

Category	SubCategory	Hour	Minutes	Comments	Operator
Proceso TMTR	Mecanicos 4P	06:00 - 07:00 AM	17	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Mecanicos Pick up track	07:00 - 08:00 AM	6	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Yield Eléctrico Flat Test	09:00 - 10:00 AM	26	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Taping Drop position	10:00 - 11:00 AM	1	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Mecanicos 4P	11:00 - 12:00 AM	32	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Taping Drop position	12:00 - 01:00 PM	6	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Yield Eléctrico Falso contacto.	01:00 - 02:00 PM	26	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Taping Drop position	02:00 - 03:00 PM	9	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Mecanicos 4P	03:00 - 04:00 PM	12	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Mecanicos Pick up track	04:00 - 05:00 PM	11	n/a	Carlos Carmona Ramos
Proceso TMTR	Mecanicos Pick up track	05:00 - 06:00 PM	9	n/a	Carlos Carmona Ramos
Total time off			2.58(Hours)		

Back

Fuente: Autor.

Se propone efectuar un modelado de la línea C6-uBaw, en este sistema de control de producción, para lograr un control automático de las operaciones. Este sistema va a ser modelado por un ingeniero de Información, quien va a ejecutar el entrenamiento de los

usuarios, el cual consta de dos etapas: primero, se entrena a los supervisores y líderes, y, en una segunda etapa, a los operadores de la línea.

El ingeniero informático estimó que aprobada la propuesta, el modelado de la línea C6-uBaw en esta aplicación tardaría catorce días. Entre sus comentarios, indicó que el modelado tarda un máximo de cuatro días o incluso menos, y los otros diez días son para depurar posibles errores de la aplicación, ya que tiene varios años de funcionar. Por lo tanto, se establecen catorce días, pero se podría habilitar en menor tiempo.

Tabla 5.8: Costo del modelado de la línea C6-uBaw en el sistema de control de producción

A	Salario de Ingeniero Informático por hora	₡4,688
B	Horas invertidas en modelado de línea C6-uBaw	134.4
C	Costo total de modelar la aplicación	₡630,067

Fuente: Autor.

Como se observa, la inversión de actualizar el programa para que funcione en la línea C6-uBaw es de ₡ 630 067. A continuación, se detalla la inversión de los entrenamientos hechos a supervisores, líderes y operadores:

Tabla 5.9: Costo de la capacitación

A	Salario de Supervisor por hora	₡5,688
B	Total de supervisores	4
C	Salario de Lideres por hora	₡2,760
D	Total de lideres	4
E	Salario de operadores por hora	₡1,863
F	Total de Operadores	42
G	Duración de capacitación (horas)	4
H	Costo de capacitar el personal $H = ((A*B) + (C*D) + (E*F))*G$	₡448,152

Fuente: Autor.

Según la tabla anterior, se va a invertir un total de cuatro horas de capacitación para los operadores referente al sistema. Se invierten varias horas aunque el sistema es muy sencillo e intuitivo, para asegurar que el personal posea la confianza de utilizarlo y le saque el mayor provecho.

Con el propósito de no impactar la línea de producción, se realiza la capacitación dividiendo a dos grupos por turno, por consiguiente, se trata de un total de ocho capacitaciones. Asimismo, en los turnos diurnos se desarrolla en dos tramos de dos horas y, en los turnos nocturnos, en un solo tramo. A continuación, se muestra la inversión de brindar la capacitación:

Tabla 5.10: Costo de impartir la capacitación

A	Salario de Ingeniero Informático por hora	₪4,688
G	Duración de capacitación (horas)	4
D	Total de grupos	12
A	Costo de dar la capacitación	₪225,024

Fuente: Autor.

Se consideran doce grupos, que constan de cuatro grupos iniciales (en cada grupo asiste el líder y supervisor de cada turno) y ocho grupos de operarios (se separa a los operarios de los cuatro turnos a la mitad).

Por último, se muestra el costo total de la propuesta, incluyendo la inversión de crear el reporte y dar la capacitación a los usuarios:

Tabla 5.11: Costo general de la propuesta 3

A	Costo total de generar el Reporte	₪630,067
B	Costo de capacitar el personal	₪448,152
C	Costo de dar la capacitación	₪225,024
D	Costo total de la propuesta	₪1,303,243

Fuente: Autor.

Con una inversión de ₪ 1 303 243, se espera controlar la irregularidad de las producciones entre las distintas operaciones o de las mismas operaciones entre diferentes días, como se demostró en la figura 4.32, que promedia hasta un 43 % entre procesos, reduciéndola a un valor menor del 5 %.

También, esto permitiría que las cantidades producidas entre operaciones sean similares, lo cual posibilitaría mover el material entre operaciones con más fluidez, ayudando a reducir el tiempo de ciclo del valor actual de 6.9 días a los valores esperados de 3.5 días.

5.1.4 Alternativa de solución 4: Distribución de los reportes de capacitación

Por medio de las diferentes observaciones y herramientas aplicadas en la línea C6, se observó que las capacitaciones de los colaboradores no están al día, en algunos casos incluso hay muchas certificaciones pendientes. En cuanto a esto, el reporte de capacitaciones, como se mencionó antes, es generado por el encargado de Documentación, quien lo almacena en un uso común y los líderes y supervisores son los encargados de consultar y poner al día sus respectivos grupos.

Se recomienda que el reporte sea distribuido por correo electrónico al grupo de correo "VOQORCR all users", en el cual está todo el personal de la planta. En dicho correo, el encargado de Documentación solo debe adjuntar el reporte ya realizado y enviarlo.

La implementación de esta propuesta no requiere una inversión adicional por parte de la compañía, es un reporte ya generado, solo debe ser distribuido de manera generalizada para todos.

Esto beneficiaría a que cada colaborador sea el responsable de mantenerse al día, al contar con la información de primera mano y hacer su propio proceso de certificación, disminuyendo las capacitaciones pendientes, que promedian 16 % entre los cuatro turnos, a un valor menor al 2 %.

5.2 CONTROLAR

En la etapa de control de la metodología DMAIC, se estableció una serie de estrategias que permiten dar un seguimiento a las alternativas de solución propuestas en la etapa de mejorar. Estas medidas se deben cumplir para garantizar el éxito del proyecto y, así, lograr una reducción de inventario en proceso y disminución de material defectuoso en la línea C6-uBaw.

5.2.1 Implementación del reporte estandarizado

De acuerdo con lo planteado en la propuesta 1, referente a la etapa mejorar, la creación del reporte estandarizado, que se puede observar en los apéndices 3 y 4, sirve para la

toma de inventario de la línea C6-uBaw. En el siguiente diagrama de Gantt, se aprecian las semanas establecidas para esta implementación:

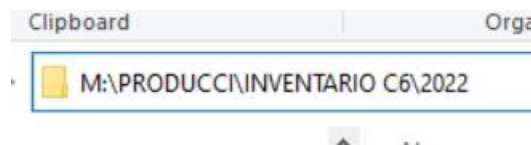
Tabla 5.12: Implementación del reporte de toma de inventario

Tarea	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Definición de requerimientos			
Desarrollo de Formulario			
Pruebas y correcciones			
Entrenamientos			
Presentación preliminar			
Aprobación			
Implementación oficial			

Fuente: Autor.

A partir de la aprobación del reporte y de que los cuatro turnos sean capacitados, se establece el envío turno a turno del reporte del inventario; además, se debe guardar una copia de este en la siguiente dirección en un disco en común de los servidores de la empresa, la cual servirá para mantener el histórico del inventario en un lugar específico.

Figura 5.10: Ubicación de los inventarios en C6-uBaw



Fuente: Autor.

El reporte de inventario debe ser distribuido a todos los que de una u otra forma están involucrados con el desempeño de la línea C6-uBaw, por consiguiente, se debe enviar a los siguientes grupos de correo:

- Gerencia CR.
- Ensamble CR–Sups.
- SJO DTR Producción.
- SJO DTR Proceso.
- Planning VOQOR CR.

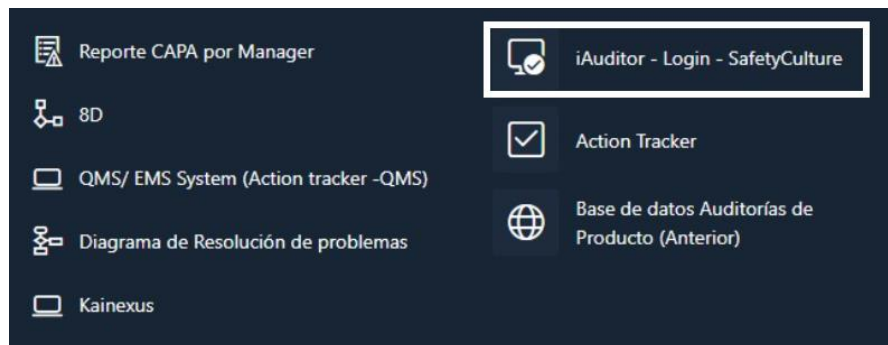
Por último, cada líder de grupo debe analizar el indicador horas-inventario mostrado por el archivo y surtir o no material de acuerdo con este indicador.

El control del inventario debe ser turno a turno, los siete días de la semana, para asegurar una nivelación entre las operaciones, por eso esta información es validada y supervisada por todo el grupo al que se le comparte el reporte del inventario por correo.

5.2.2 Auditorías de producto

Al ser certificada en diferentes normas internacionales, como lo es la ISO 9001, la empresa se ve obligada a realizar auditorías a los procesos de manera diaria, denominadas auditorías de producto. Por consiguiente, en la lista de chequeo de los inspectores, se incluye la verificación del ingreso de las inspecciones de calidad al momento de la auditoría.

Figura 5.11: Aplicación iAuditor



Fuente: Autor.

Dicha auditoría se lleva a cabo con una lista de chequeo virtual, por medio de la aplicación “iAuditor”, en el sistema utilizado por el Departamento de Calidad; por lo tanto, se le brinda al ingeniero de Calidad la instrucción redactada para que sea incluida en las auditorías, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 5.12: Lista de chequeo de Laminado de Obleas

▼ Página 2 de 2 Puntuación

Wafer Lamination 0 / 15 (0%)

* Verificar que el equipo auditado cuente con los registros del QSPC (mínimo 1 wafer de inicio de turno y 1 wafer adicional por orden de producción iniciada en el turno)

Operario y/o técnico usa taconeras o wrist strap

Fuente: Autor.

La instrucción añadida en las listas de chequeo de las primeras cinco operaciones fue: “Verificar que el equipo auditado cuente con los registros del QSPC (mínimo un *wafer* de inicio de turno y un *wafer* adicional por orden de producción iniciada en el turno)”, con las únicas opciones de pasa o falla.

En estas auditorías, cuando se encuentra un fallo, el equipo es bloqueado a nivel de sistema y el operador no puede hacer uso de la maquinaria. Para liberar el equipo, el supervisor del área debe documentar lo ocurrido, con acciones inmediatas de contención; además, se abre un proceso en el cual el supervisor debe establecer acciones para evitar la recurrencia del suceso.

También, la aplicación guarda un histórico de fallos de auditorías, como el siguiente:

Figura 5.13: Reporte de las fallas de auditorías de producto

Inicio	Auditorías	Reportes	Mantenimiento	Ayuda	
Reporte de Fallas de Auditorías de Producto					
Fecha Inicio:	<input type="text" value="10/7/2018"/>	Area:	<input type="text" value="Todas"/>	Auditor:	<input type="text" value="Todos"/>
Fecha Final:	<input type="text" value="10/7/2019"/>	Máquina:	<input type="text" value="Todas"/>	Turno:	<input type="text" value="Todos"/>
<input type="button" value="Consultar"/> <input type="button" value="Exportar"/>					
Area	Falla	Incidencia	Rechazos	Reg. Fallas	
Array Saw / Top Grinding / Corte ULC	Corte corrido, paso 2	1	50	SI	
Array Saw / Top Grinding / Corte ULC	Material defectuoso sin identificar	6	0	NO	
Array Saw / Top Grinding / Corte ULC	Material en proceso sin identificar	2	0	NO	
Ball Bumping	El programa que se utiliza no corresponde con el del plano	1	0	NO	
Ball Bumping	Limpieza y orden de área de trabajo	1	0	NO	
Ball Bumping	Registros requeridos (Incompletos/Sin llenar/Datos incorrectos/etc.)	2	0	NO	
Ball Bumping	Wafer contaminados	1	42	SI	
Bombas-Piscinas (TMTR)	Incumplimiento de normas de ESD	1	0	NO	
Bombas-Piscinas (TMTR)	La galga no queda totalmete sumergida dentro de la bomba	4	168	SI	
DTR	Carrier Tape no concuerda con el indicado para el modelo.	1	0	NO	
DTR	Check list no está debidamente lleno/firmado	3	0	NO	
DTR	Plano incorrecto	3	0	NO	
Flip Chip	Magazine con fecha de lavado vencido	2	0	NO	
Flip Chip	Material en proceso mal identificado (P/N, lote incorrectos/mal escritos)	1	0	NO	
Flip Chip	Material vencido	1	42	SI	
Flip Chip	Pinzas PN 1204417 no cuentan con un buen estado fisico.	1	1	SI	
Flip Chip	Plano incorrecto	1	0	NO	
Flip Chip	Secuencia al cargar/descargar los arrays en el magazine no es la correcta	2	0	NO	
Laminado ULC	Alfombras desconectadas	1	0	NO	

Fuente: Autor.

Con este reporte, es posible hacer un seguimiento de las infracciones dadas a los procedimientos, determinando tendencias entre turnos, o incluso procesos u operadores, por medio de lo cual se puede conocer el cumplimiento de lo establecido y efectuar mejoras al proceso.

5.2.3 Reuniones diarias

Como parte del control del avance del producto de las diferentes operaciones, se debe implementar la herramienta usada en la línea C3, cuyos resultados fueron muy beneficiosos y se alcanzaron a corto plazo.

Consiste en una pequeña reunión de máximo 15 minutos, al inicio del turno, aproximadamente a las 8:30 a.m., donde se revisan de manera general el estado de cada proceso, principales problemas del día previo y qué se hará para que no se repita o se reduzca la situación, prioridades del día y cualquier otra situación considerada importante que sea conocida por el aforo de dicha reunión.

Entre los participantes con asistencia obligatoria a estas pequeñas juntas, están: supervisores, líderes, ingenieros de Calidad, ingenieros de Proceso y encargado de Planeamiento de la línea C6-uBaw, los cuales transmitirán toda la información dada y los acuerdos realizados a sus respectivos grupos.

También, se mantiene un grupo de personas con asistencia opcional, pues por las prioridades del día tras día se entiende que no pueden asistir siempre; este se conforma por las gerencias, líder técnico y operario Gold.

5.2.4 Indicador de capacitación

Todo proceso o tarea que no sea medido no es controlado y, bajo este ideal, se propone crear un indicador de capacitación.

Para controlar la tercera alternativa de solución, se planteó crear un indicador de capacitación que mida el nivel porcentual de capacitaciones al día. El reporte si bien es generado semanalmente y se propone circularlo mediante toda la empresa por correo electrónico para garantizar que llegue a la población meta, no es garantía de que las capacitaciones se realizan como se espera, al poder estar dejando de lado el reporte, como pareciera que sucede en la actualidad con las jefaturas.

Este indicador, que debe ser controlado por el personal de documentación, se debe considerar como un aspecto indispensable de la calidad del producto y tener todo el apoyo y respaldo del Departamento de Calidad, para promover un esfuerzo en los colaboradores, líderes, técnicos, supervisores e ingenieros a mantenerse al día en sus capacitaciones.

Si se toma como referencia el personal operativo de la línea C6-uBaw, el indicador de capacitación debería estar aproximadamente en 84 %, por lo cual se recomienda iniciar con una meta del 95 % de capacitaciones completas y al día.

Inicialmente, se presente el siguiente formulario, para ser enviado por correo electrónico, a la población general:

Figura 5.14: Formulario para indicador de capacitación

Buenas,

Estimados compañeros el reporte de capacitaciones fue actualizado, y a partir de este momento va a ser distribuido semanalmente los días viernes,


Donde encontrarlo: En el siguiente link ► [Reporte de Certificaciones](#)

Como parte de la cultura Lean, se estableció como meta que toda la población este al 98% de sus capacitaciones y certificaciones, utilizando los siguientes símbolos:

Código de color

- Verde ► por encima de la meta 
- Rojo ► por debajo de la meta 

Para la WK31 de FY23, se reporta el siguiente %:

% Alcanzado: **89.13%** 

Fuente: Autor.

El formulario, inicialmente, muestra el enlace para acceder al reporte de certificaciones, donde el usuario podrá verificar si tiene o no alguna certificación pendiente y, al final, indica el porcentaje general obtenido en las certificaciones pendientes y completadas, utilizando la siguiente simbología:

- Dedo arriba verde: Se cumplió con la meta.
- Dedo abajo rojo: No se logró alcanzar la meta planteada.

Como ya se mencionó, el indicador será medido por semana y se comunicará el reporte de capacitación que se circula a toda la compañía, para que todos se den por enterados de cómo está la planta a nivel general. Otro punto relevante es establecer una evaluación trimestral de dicho indicador, con la posibilidad de aumentar la meta, pero no de bajarla, con el propósito de iniciar un proceso de mejora continua en las capacitaciones.

5.2.5 Cuantificación de beneficios

A continuación, la siguiente tabla muestra la cantidad de material defectuoso que está presentando la línea C6-uBAW al último dato registrado, a saber, en setiembre 2022.

Tabla 5.13: Rechazos mensuales de la línea C6-uBAW

Producción por día (unidades de DIES)	6,100,000
Producción por mes (unidades de DIES)	183,000,000
Porcentaje de rechazo mensual	2.9%
DIES rechazadas	5,307,000
Costo de DIES rechazados por mes (colones)	¢26,347,344.48

Fuente: Autor.

Según la tabla anterior, la empresa está rechazando un promedio de 5 307 000 DIES mensualmente, lo que representa más de 122 obleas, con un costo de ¢ 26 347 344, con un tipo de cambio de ¢ 620,58.

En la siguiente tabla, se aprecia el total de inversiones que debe realizar la empresa para implementar las alternativas de solución, así como las ganancias obtenidas mensualmente al lograr incrementar la detección de material no conforme en 9.9 %, lo cual se traduce en disminuir los rechazos en 525 393 unidades, aumentando el indicador de calidad en 0.3 %:

Tabla 5.14: Datos esperados al implementar alternativas de mejora

Alternativas de mejora	Porcentaje asignado a problemática	Ahorro generado	Inversión
Estandarización de reportes	29.29%	¢763,997	¢375,040
Cambiar frecuencia de inspecciones de calidad	19.71%	¢514,113	¢141,973
Implementación de sistema de control de producción	15.71%	¢409,778	¢1,303,243
Distribución de reportes e indicador capacitación	3.43%	¢89,468	-
TOTAL	68.14%	¢1,777,355	¢1,820,256

Fuente: Autor.

Como se observa, el total de inversión requerida consta de ¢ 1 820 256 y esta abarca el 68.14 % de la problemática presentada en la línea C6-uBaw, con unas ganancias mensuales, una vez implementadas las alternativas de solución, de ¢ 1 777 355.

Retorno de inversión

$$ROI = \frac{\text{Costos Implementación}}{\text{Ahorros Obtenidos}}$$

$$ROI = \frac{\text{C}\$375\,040 + \text{C}\$141\,973 + \text{C}\$1\,303\,243}{\text{C}\$1\,777\,355} = 1.02 \text{ meses}$$

La inversión por la implementación de las propuestas se recupera en 1.02 meses, lo cual es alrededor de 31 días.

Por último, se expone el diagrama de Gantt con el que se desarrollan las alternativas de solución para mejorar el desempeño de la línea C6-uBaw:

Tabla 5.15: Implementación de las alternativas de solución en la línea C6-uBaw

Tareas	Semanas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estandarización de reportes	■	■	■									
Cambiar frecuencia de inspecciones de calidad			■	■	■							
Implementación de sistema de control de producción					■	■	■	■	■	■	■	
Distribución de reportes e indicador capacitación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Autor.

De acuerdo con la tabla anterior, para la primera alternativa de solución, la creación e implementación de un reporte estandarizado para la toma y distribución de inventario, se asignó un total de tres semanas calendario, las cuales ya habían sido detalladas con anterioridad.

En cuanto a la segunda alternativa de solución, se asignó una semana de tiempo para el cambio de documentos, así como para la ruta de aprobación, con el fin de aprovechar las siguientes dos semanas, la 4 y 5, para llevar a cabo el entrenamiento en los cuatro turnos.

Respecto a la tercera alternativa de solución, se asignaron las dos semanas solicitadas por el ingeniero informático, semanas 5 y 6; la semana 7 para realizar el entrenamiento de líderes y supervisores y las semanas 8, 9, 10 y 11, cuatro semanas en total, para desarrollar el entrenamiento en los cuatro turnos, un total de una semana por turno.

Por último, la cuarta alternativa de solución es considerada una tarea continua que será efectuada indefinidamente, por lo cual abarcó todas las semanas calendarizadas en el diagrama de Gantt.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente estudio.

Conclusiones

- Durante la etapa inicial del proyecto, se definió que la línea de C6-uBaw, cuyo crecimiento ha sido mayor al 50 % en el último año, sufre una sobreproducción en sus operaciones, generando inventarios de producto en proceso superiores a las 30 millones de unidades, lo cual ha originado problemas de calidad y cuestionamientos de su gestión, todo esto asociado al crecimiento acelerado y al parecer sin el control adecuado. Además, se identificó que sus operaciones no siguen un orden lineal a lo largo de la infraestructura de la empresa y se efectúan varios recorridos en los cuales el producto avanza y retrocede a lo largo de las instalaciones, provocando movimientos no muy eficientes.
- A partir de las mediciones realizadas al indicador de tiempo de ciclo de la línea C6uBaw, se determinó que presenta una tendencia errática, la cual tiene altos y bajos, pero está siempre por fuera de la meta establecida. Al respecto, en el primer semestre del 2022, se alcanzó la meta en dos semanas, esto es un claro signo de que la línea productiva experimenta problemas para desarrollar sus operaciones adecuadamente. Asimismo, se identificó que la operación de DTR es la más compleja de la línea, al ser la que cuenta con más operadores asignados, mayor cantidad de equipo y múltiples procedimientos asociados.
- De acuerdo con las observaciones hechas, se detectó que en las operaciones de la línea C6-uBaw algunas situaciones afectan la calidad y el buen funcionamiento de sus procesos. En cuanto a esto, se desarrolló una serie de experimentos con el fin de comprobar o rechazar su existencia, controlados con una matriz hipótesis. Dichas pruebas abarcaron aspectos como la falta de conocimiento de las metas en las operaciones, la falta de control y frecuencias inadecuadas de las inspecciones de calidad requeridas, y el control inadecuado de las certificaciones del personal operativo. Luego de recabar los datos, los experimentos de la matriz de hipótesis se comprobaron uno a uno, confirmando los problemas observados.

- Por medio de las herramientas ingenieriles de análisis, se obtuvo un total de 21 razones que podrían estar generando el problema en la línea C6-uBaw, las cuales fueron segregadas en cuatro grandes ramas mediante un diagrama de Ishikawa. Posteriormente, se redujo la lista por medio de un multivoto con un grupo multidisciplinario, el cual seleccionó siete causas como las principales y les asignó un valor mayor al 71 %; dichas causas abarcaron temas como la estandarización entre turnos, las tomas de inventario, inspecciones de calidad, conocimiento de objetivos, entre otros.
- Por último, se desarrolló una serie de propuestas o alternativas de solución que permitan la reducción del inventario de producto en proceso de la línea C6-uBaw, eliminando así el problema de sobreproducción y disminuyendo los problemas de calidad originados en esta, para poder cumplir con los indicadores establecidos por la empresa, como el tiempo de ciclo de 3.5 días, y mantener inventarios máximos de 13 440 000 DIES.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis detallado de las inspecciones de calidad hechas en las diferentes operaciones de las demás líneas de la empresa VOQOR S.R.L., con el propósito de encontrar frecuencias inadecuadas que puedan generar mayores defectos en el producto.
- Se sugiere difundir la aplicación “Sistema de Control de Producción (Pruebas Finales)” en las distintas líneas de producción de la empresa VOQOR S.R.L. Es una herramienta existente que no se aprovecha, la cual es de fácil implementación, además permite controlar, saber y proyectar el estado de las operaciones rápidamente y en cualquier momento.
- Es sumamente conveniente establecer un grupo multidisciplinario que trabaje en la línea C7-SMT de la misma manera que se efectuó en la línea C6-uBaw, pues esta línea es la segunda en importancia en la compañía y, según la tabla 4.3, el indicador del tiempo de ciclo está al límite permitido.
- Se recomienda verificar la relación costo beneficio de nivelar el nivel de salida de las diferentes operaciones en la línea C6-uBaw, al demostrarse que los

primeros cinco procesos tienen una capacidad que prácticamente dobla e incluso triplica la operación de DTR, como se demostró en la figura 4.29.

- Se recomienda verificar la relación costo beneficio de adquirir un equipo FRT Microprof 300 para colocarlo afuera del cuarto limpio, asegurando que el operador de Rectificado Posterior lleve a cabo la inspección de calidad y no dependa de otro operador. El valor de dicho equipo es de \$ 198 000, como se visualiza en el anexo 1.

REFERENCIAS

- Administrar Proyectos. (s.f.). *Diagrama de Gantt: ¿qué es?, ventajas y desventajas*.
<https://administrarproyectos.com/que-es-el-diagrama-de-gantt/>
- Ahuja Sánchez, L. (2014). *Recorrer juntos el Gemba...*
<https://lahuja.wordpress.com/2014/03/15/caminatas-gemba-gemba-walks-que-tienen-de-diferente/>
- Aiteco. (s.f.). *Multivotación: seleccionando las mejores ideas*.
<https://www.aiteco.com/multivotacion-seleccionando-las-mejores-ideas/>
- Anyosa Soca, V. y Núñez, A. (2006). *Recuperación de proyectos en problemas*.
<https://www.pmi.org/learning/library/es-recperacion-proyectos-con-problemas-sintomas-sausas-8127>
- Arias Arias, J. E. y Castro Mora, F. (2013). *Rediseño de procesos para fortalecer el sistema de gestión de calidad en la empresa Tico Electronics*. (Proyecto de graduación de Licenciatura en Ingeniería Industrial). Universidad de Costa Rica. San Pedro. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/1743>
- Barrantes Echavarría, R. (2014). *Investigación: un camino al conocimiento*. EUNED.
- Bernal Torres, C. (2010). *Metodología de la investigación para administración y economía*. Pearson Educación.
- Blog de la Calidad. (2017). *Diagrama de Ishikawa*. <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/>
- Buonocore, D. (1980). *Diccionario de bibliotecología*. Marymar.
- Carvajal Jiménez, A. y Gamboa Alvarado, M. A. (2009). *Desarrollo de un modelo de caracterización de procesos para Samtec Costa Rica*. (Proyecto de Licenciatura en Ingeniería Industrial). Universidad de Costa Rica. San José. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/1576/1/30824.pdf>
- Castrillo Sánchez, S., Montoya Molina, J. y Mora Soto, A. (2019). *Rediseño de los procesos del sistema de planificación y control de la producción en la empresa Global Lighting Solutions*. (Proyecto de Licenciatura en Ingeniería Industrial). Universidad de Costa Rica. San José. <http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/8837>

- CDI Lean. (2012). *Gemba Walk. Paseo por el gemba.*
<https://lean.cdiconsultoria.es/gemba-walk-paseo-por-el-gemba/>
- Direct Industry. (2022). *Band-pass electronic filter.*
<https://www.directindustry.com/prod/avago-technologies/product-33934-1223569.html>
- Dothinklab. (2022). *Matriz de hipótesis.*
<https://dothinklab.com/conoce/herramientas/crear/matriz-de-hipotesis/?v=1d7b33fc26ca>
- Editorial Etecé. (2021). *Diagrama de flujo.* <https://concepto.de/diagrama-de-flujo/>
- Flores Herrera, D. C. (2007). *Mapeo de procesos para resolver indicadores de gestión por calidad.* (Tesis de Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo). Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/pd2008/0624285/Index.html>
- Gamboa Rodríguez, A. y Rodríguez Santamaría, H. (2020). *Rediseño de la operación, conforme el enfoque de procesos, en la Dirección General de Contabilidad Nacional.* (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial). Universidad de Costa Rica. Alajuela.
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/16531>
- Google. (2022). *Zona Franca Metropolitana.*
<https://www.google.com/maps/place/Zona+Franca+Metropolitana/@9.9806304,-84.1473088,17z/data=!4m5!3m4!1s0x8fa0fbaa61ead097:0x3a099d06ffb1df99!8m2!3d9.9795528!4d-84.1468242>
- Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.* México: McGraw Hill.
- Hernández Sampieri, R., Collado Fernández, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodologías de la investigación.* México: McGraw Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2006). *Metodología de la investigación.* McGraw Hill.
- Hernández, J. (2019). *Análisis de procesos con SIPOC.*
<https://agileexperience.es/2019/12/30/analisis-de-procesos-con-sipoc/>

- Herrera Acosta, R. J. y Fontalvo Herrera, T. J. (2000). *Seis Sigma métodos estadísticos y sus aplicaciones*. EUMED. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2011b/939/939.pdf>
- Jordán Álvarez, M. P. y Jordán Hidalgo, E. P. (2013). *Sistema de control de procesos para el mejoramiento de la producción en la industria manufacturera de calzado Lombardia*. (Trabajo de graduación de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/4973>
- MacNeil, C. (2022). *¿Qué es un diagrama SIPOC? 7 pasos para trazar y comprender los procesos de negocios*. <https://asana.com/es/resources/sipoc-diagram>
- Maejo, R. (2022). *¿Qué es el ROI? Conoce el retorno de la inversión y cómo calcularlo*. <https://blog.nubox.com/empresas/que-es-el-roi-conoce-el-retorno-de-la-inversion>
- Marín Lira, P. (2015). *Lean Six Sigma*. (Curso taller del Programa de Especialización en Gestión Empresarial). Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua. https://www.academia.edu/28996266/UNI_LEAN_SIX_SIGMA_Sesion01_15
- Martínez Cedillo, M. (2012). *Implementación de la metodología Six Sigma para la reducción de merma de PVC y PET en el proceso de sellado de Blister con tarjeta*. (Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Industrial). Institución Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/628621>
- Martins, J. (2022). *Diagrama de Gantt: qué es y cómo crear uno con ejemplos*. <https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics>
- Molina, D. (2021). *Project charter: gestiona tu proyecto con un documento clave*. <https://www.iebschool.com/blog/project-charter-gestiona-tu-proyecto-con-un-documento-clave-agile-scrum/>
- Montes Flores, N. A. (2014). *Criterios para determinar capacidad de producción en empresas de transformación PYMES*. (Trabajo de Ingeniería Química). Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0708073/0708073.pdf>
- Ocampo, J. y Pavón, A. (2012). Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la simulación de eventos discretos en Flexsim. Tenth LACCEI Latin American and

- Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2012). Panamá.
<http://laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP147.pdf>
- Orozco Amador, Y., Rodríguez Centeno, M. y Zamora Jiménez, J. M. (2019). *Mejora del proceso de producción de cables de aluminio enfocada en la disminución de "scrap" en la compañía General Cable Conducem*. (Proyecto de graduación de Licenciatura en Ingeniería Industrial). Universidad de Costa Rica. Alajuela.
<http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/8836>
- Palacios Acero, L. C. (2016). *Ingeniería de métodos: movimientos y tiempos*. ECOE Ediciones.
- Peiró, R. (2019). *Lluvia de ideas*. <https://economipedia.com/definiciones/lluvia-de-ideas.html>
- Ponce Herrera, K. C. (2016). *Propuesta de implementación de gestión por procesos para incrementar los niveles de productividad en una empresa textil*. (Proyecto para optar por el título de Ingeniero Industrial). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/620981/Tesis%20Textil%20S.A.C.%20-%20Katherine%20Ponce%20Herrera.pdf?sequence=1>
- Reyes Vásquez, J. P. y Cabezas Moposita, J. A. (2014). *Gestión de procesos para mejorar la productividad de la línea de productos para exhibición en la empresa Instruequipos Cía. Ltda.* (Proyecto de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7344>
- Sociedad Latinoamericana para la Calidad. (2000). *Gráfica de comportamiento*.
http://sigc.uqroo.mx/03_map_proc/dgc/a/Metodologias/Comportamiento.pdf
- Westreicher, G. (2020). *Hipótesis*. <https://economipedia.com/definiciones/hipotesis.html>
- Yepes Piqueras, V. (2013). *¿Qué es el diseño de experimentos?*
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/21/que-es-el-diseno-de-experimentos/>

APÉNDICES Y ANEXOS

APÉNDICE 1: Lista de chequeo de la caminata gemba

Lista de chequeo de la caminata gemba	
Número de colaborador:	
Operación:	
¿Existen instrucciones de trabajo para la operación?	Sí, es:
	No.
¿Sabe la meta de producción diaria para la operación?	Sí, es:
	No.
¿Tiene la operación inspecciones de calidad?	Sí, ¿cuál?
	No.
¿Considera eficientes las inspecciones de calidad?	Sí, ¿por qué?
	No, ¿por qué?
	N/A
¿Existe un plan de reacción si falla la inspección de calidad?	Sí, ¿cuál?
	No.
	N/A
¿A quién le comunica sus problemas al ejecutar procesos?	
¿Se puede hacer algo para mejorar la operación?	
Comentarios adicionales	
Fecha y firma del inspector	

APÉNDICE 2: Toma de tiempos

Proceso:	Laminado de Obleas				
Máquina:	Takatori DTM-300B				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	A	9/12/2022	10	1788	178.8
2	A	9/12/2022	8	1429	178.6
3	A	9/12/2022	8	1427	178.4
4	A	9/12/2022	7	1392	198.9
5	A	9/12/2022	12	2147	178.9
6	A	9/12/2022	5	888	177.6
7	B	9/12/2022	9	1607	178.6
8	B	9/12/2022	8	1428	178.5
9	B	9/12/2022	9	1609	178.8
10	B	9/12/2022	8	1428	178.5
11	B	9/12/2022	10	1789	178.9
12	B	9/12/2022	8	1427	178.4

Promedios: 1529.9 180.2

Proceso:	Aplicado de Resina				
Máquina:	DPM2190CX				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	A	9/13/2022	10	3543	354.3
2	A	9/13/2022	8	2894	361.8
3	A	9/13/2022	8	2891	361.4
4	A	9/13/2022	7	2571	367.3
5	A	9/13/2022	12	4184	348.7
6	A	9/13/2022	5	1885	377.0
7	B	9/13/2022	9	3222	358.0
8	B	9/13/2022	8	2894	361.8
9	B	9/13/2022	9	3224	358.2
10	B	9/13/2022	8	2892	361.5
11	B	9/13/2022	10	3539	353.9
12	B	9/13/2022	8	2895	361.9

Promedios: 3052.8 360.5

Proceso:	Rectificado Posterior				
Máquina:	DFG8540				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	A	9/14/2022	10	2954	295.40
2	A	9/14/2022	8	2361	295.13
3	A	9/14/2022	8	2362	295.25
4	A	9/14/2022	7	2064	294.86
5	A	9/14/2022	12	3545	295.42
6	A	9/14/2022	5	1478	295.60
7	D	9/14/2022	9	2658	295.33
8	D	9/14/2022	8	2363	295.38
9	D	9/14/2022	9	2659	295.44
10	D	9/14/2022	8	2362	295.25
11	D	9/14/2022	10	2954	295.40
12	D	9/14/2022	8	2362	295.25

Promedios: 2510.2 295.3

Proceso:	Corte Láser				
Máquina:	DFL7361				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	B	9/12/2022	7	5241	748.71
2	B	9/12/2022	9	7203	800.33
3	B	9/12/2022	8	6718	839.75
4	A	9/13/2022	12	8986	748.83
5	A	9/13/2022	12	8594	716.17
6	A	9/13/2022	8	6002	750.25
7	D	9/14/2022	8	5766	720.75
8	D	9/14/2022	6	4516	752.67
9	D	9/14/2022	3	2473	824.33
10	C	9/15/2022	11	7857	714.27
11	C	9/15/2022	9	7613	845.89
12	C	9/15/2022	10	7008	700.80

Promedios: 6498.1 763.6

Proceso:	Expansor de Obleas				
Máquina:	DFX2400				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	C	9/16/2022	12	4103	341.92
2	C	9/16/2022	10	3396	339.60
3	C	9/16/2022	11	3764	342.18
4	A	9/18/2022	9	3068	340.89
5	A	9/18/2022	7	2397	342.43
6	A	9/18/2022	8	2749	343.63
7	B	9/18/2022	6	2039	339.83
8	B	9/18/2022	7	2389	341.29
9	B	9/18/2022	8	2737	342.13
10	A	9/19/2022	12	4079	339.92
11	A	9/19/2022	7	2405	343.57
12	A	9/19/2022	10	3406	340.60

Promedios: 3044.3 341.5

Proceso:	DTR				
Máquina:	Ismeca NX32				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	A	9/20/2022	1	823	823.00
2	A	9/20/2022	1	846	846.00
3	A	9/20/2022	1	848	848.00
4	A	9/21/2022	1	864	864.00
5	A	9/21/2022	1	831	831.00
6	A	9/21/2022	1	799	799.00
7	C	9/22/2022	1	807	807.00
8	C	9/22/2022	1	824	824.00
9	C	9/22/2022	1	839	839.00
10	C	9/23/2022	1	849	849.00
11	C	9/23/2022	1	833	833.00
12	C	9/23/2022	1	796	796.00

Promedios: 829.9 829.9

Proceso:	Pentamaster				
Máquina:	Pentamaster				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	C	9/24/2022	1	1737	1737.00
2	C	9/24/2022	1	1899	1899.00
3	C	9/24/2022	1	1866	1866.00
4	C	9/24/2022	1	1966	1966.00
5	C	9/24/2022	1	2496	2496.00
6	A	9/26/2022	1	1966	1966.00
7	A	9/26/2022	1	1711	1711.00
8	A	9/26/2022	1	2336	2336.00
9	A	9/26/2022	1	1701	1701.00
10	A	9/26/2022	1	1496	1496.00

Promedios: 1917.4 1917.4

Proceso:	Empaque al Vacío DTR				
Máquina:	American VaC				
Medición	Turno	Fecha	Cantidad de obleas	Duración (segundos)	Duración por oblea
1	A	9/26/2022	1	177	177.00
2	A	9/26/2022	1	174	174.00
3	A	9/26/2022	1	176	176.00
4	A	9/26/2022	1	174	174.00
5	A	9/26/2022	1	175	175.00
6	A	9/26/2022	1	175	175.00
7	A	9/26/2022	1	176	176.00
8	A	9/26/2022	1	175	175.00
9	A	9/26/2022	1	177	177.00
10	A	9/26/2022	1	175	175.00

Promedios: 175.4 175.4

APÉNDICE 3: Reporte de inventario (primer y segundo bloque)

Ensamble - uBaw							DTR - uBaw					
Modelo	Dicing Saw Laminado	Back Grinding	Laser	W. Expander	Horas Trabajo DTR	TOTAL	Modelo	WIP	Horas	Qty DTR	Maquinas	Comentarios
WEG2531TR13	-	-	-	859,549		859,549	WEG2531TR13	1,860,070				
WEG9957TR13	-	-	-	60,833	2.77	60,833	WEG9957TR13	2,306,701	28.83	2	11, 17	CAMBIA A 2531
WEG2539TR13	40,495	-	-	293,222		333,717	WEG2539TR13	1,257,382				
WEG9790TR13	302,947	-	-	1,048,619	61.43	1,351,566	WEG2530TR13	2,035,866	50.90	1	15	
WEG2516TR13	319,480	-	-	-		319,480	WEG9790TR13	7,974,619	99.68	2	21, 8	
WEG2757TR13	268,907	-	-	-	---	268,907	WEG2516TR13	1,125,956				
WEG9791TR13	171,155	-	-	361,764	48.45	532,919	WEG2538TR13	2,585,549	64.64	1	19	
D11QM77058L05TR13	-	-	-	14,503	---	14,503	WEG2528TR13	343,971	8.60	1	29	CAMBIA A 2527
D10QM77098L19TR13	-	-	-	12,209	---	12,209	WEG9791TR13	822,968	20.57	1	7	CAMBIA A 2516
D8QM77098L13TR13	4,269	-	-	-		4,269	D9QM77058L05TR13	13,476				PILOTO
D11QM77058L04TR13	-	-	-	3,568	---	3,568	D8QM77098L15TR13	11,195				PILOTO
WEG2664TR13	215,027	-	-	-	---	215,027	D7QM77098L14TR13	4,445				PILOTO
WEG9890TR13	916,419	-	-	-		916,419	D8QM77098L13TR13	429				PILOTO
WEG9177TR13	629,702	-	-	-		629,702	D9QM77058L04TR13	3,482				PILOTO
WEG9796TR13	259,641	-	-	-		259,641	D8QM76051L03TR7	50				PILOTO
WEG2527TR13	468,542	-	-	-		468,542	WEG9890TR13	70,627				
WEG2690TR13	645,454	-	-	-		645,454	WEG9177TR13	127,181				
WEG9798TR13	395,205	-	-	-		395,205	WEG9796TR13	289,251				
WEG2534TR13	216,745	-	-	-		216,745	WEG2527TR13	133,930				
WEG9171TR13	124,977	-	-	-	---	124,977	WEG2690TR13	71,718				
D10QM77098L17TR13	-	-	-	2,124	---	2,124	WEG2663TR13	46,683				
	-	-	-	-	---		WEG2809TR13	76,050				
	-	-	-	-	---		WEG2806TR13	41,021				
	-	-	-	-	---		WEG9798TR13	40,234				
	-	-	-	-	---		WEG9717TR13	38,928				
	-	-	-	-	---		WEG9716TR13	38,702				
	-	-	-	-	---		WEG2534TR13	186,865				
	-	-	-	-	---		WEG9142TR13	29,483				
	-	-	-	-	---		WEG9715TR13	29,233				
	-	-	-	-	---		WEG9899TR13	27,153				
	-	-	-	-	---		WEG9153TR13	20,282				PILOTO
	-	-	-	-	---		D8QM77058L05TR13	13,242				PILOTO
	-	-	-	-	---		D10QM77098L18TR13	12,548				PILOTO
	-	-	-	-	---		D7QM77098L16TR13	10,779				PILOTO
	-	-	-	-	---		D8QM77098L14TR13	10,736				PILOTO
	-	-	-	-	---		D7QM77098L15TR13	10,716				PILOTO
	-	-	-	-	---		WEG2526TR13	9,857				
	-	-	-	-	---		D10QM77098L17TR13	2,985				PILOTO
	4,978,965	0	0	2,656,391		7,635,356		21,684,363		8		

APÉNDICE 4: Reporte de inventario (tercer bloque)

Línea	Rollo	Material	Cantidad	Owner	Step	Bloqueado?	CT Dias	Comentarios
(C6) uBAW	CR6-059889	WEG9170TR13	60000	5810	Pentamaster	NO	0.02	
(C6) uBAW	CR6-059789	WEG9762TR13	58749	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.40	
(C6) uBAW	CR6-059809	WEG9762TR13	58644	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.27	
(C6) uBAW	CR6-059288	WEG9762TR13	58549	5810	Pentamaster	NO	2.94	
(C6) uBAW	CR6-059288	WEG9762TR13	58549	5810	Pentamaster	NO	2.94	
(C6) uBAW	CR6-059772	WEG9762TR13	57802	5810	Pentamaster	NO	0.51	
(C6) uBAW	CR6-059884	WEG9762TR13	57428	5810	DTR	NO	0.06	
(C6) uBAW	CR6-059878	WEG9762TR13	57400	5810	Pentamaster	NO	0.08	
(C6) uBAW	CR6-059745	WEG9762TR13	57253	5810	Pentamaster	NO	0.54	
(C6) uBAW	CR6-059815	WEG9762TR13	56675	5810	Pentamaster	NO	0.33	
(C6) uBAW	CR6-059767	WEG9762TR13	56095	5810	Pentamaster	NO	0.60	
(C6) uBAW	CR6-059262	WEG9957TR13	50072	5810	Vacuum Pack DTR	NO	3.15	
(C6) uBAW	CR6-059896	WEG9750TR13	50000	5810	Pentamaster	NO	0.03	
(C6) uBAW	CR6-059876	WEG9170TR13	50000	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.08	
(C6) uBAW	CR6-059861	WEG9170TR13	50000	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.19	
(C6) uBAW	CR6-059844	WEG9750TR13	50000	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.20	
(C6) uBAW	CR6-059842	WEG9750TR13	50000	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.25	
(C6) uBAW	CR6-059808	WEG9957TR13	50000	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.23	
(C6) uBAW	CR6-059805	WEG9750TR13	50000	5810	Pentamaster	NO	0.36	
(C6) uBAW	CR6-059803	WEG9750TR13	50000	5810	Pentamaster	NO	0.44	
(C6) uBAW	CR6-059755	WEG9957TR13	50000	5810	Pentamaster	NO	0.51	
(C6) uBAW	CR6-059168	WEG9790TR13	49509	5810	Vacuum Pack DTR	NO	3.86	
(C6) uBAW	CR6-059625	WEG9792TR13	46667	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.86	
(C6) uBAW	CR6-059854	WEG9793TR13	43498	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.13	
(C6) uBAW	CR6-059760	WEG9793TR13	43412	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.48	
(C6) uBAW	CR6-059870	WEG9793TR13	43297	5810	DTR	NO	0.09	
(C6) uBAW	CR6-059874	WEG9793TR13	43222	5810	Pentamaster	NO	0.08	
(C6) uBAW	CR6-059793	WEG9793TR13	43190	5810	Pentamaster	NO	0.40	
(C6) uBAW	CR6-059835	WEG9793TR13	43136	5810	Pentamaster	NO	0.25	
(C6) uBAW	CR6-059796	WEG9793TR13	42613	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.39	
(C6) uBAW	CR6-059836	WEG9793TR13	42247	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.23	
(C6) uBAW	CR6-059824	WEG9573TR13	41421	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.29	
(C6) uBAW	CR6-059871	WEG9750TR13	41141	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.09	
(C6) uBAW	CR6-059890	WEG9176TR13	40992	5810	Pentamaster	NO	0.02	
(C6) uBAW	CR6-059800	WEG9762TR13	40987	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.46	
(C6) uBAW	CR6-059797	WEG9176TR13	40980	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.43	
(C6) uBAW	CR6-059790	WEG9573TR13	40976	5810	Pentamaster	NO	0.45	
(C6) uBAW	CR6-059408	WEG9176TR13	40673	5810	DTR	NO	2.17	
(C6) uBAW	CR6-059857	WEG9573TR13	40462	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.10	
(C6) uBAW	CR6-059883	WEG9798TR13	40243	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.08	
(C6) uBAW	CR6-059868	WEG9573TR13	40022	5810	Pentamaster	NO	0.09	
(C6) uBAW	CR6-059763	WEG9750TR13	40000	5810	Pentamaster	NO	0.55	
(C6) uBAW	CR6-059826	WEG9573TR13	39861	5810	Pentamaster	NO	0.26	
(C6) uBAW	CR6-059783	WEG9798TR13	39339	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.48	
(C6) uBAW	CR6-059894	WEG2537TR13	39174	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.05	
(C6) uBAW	CR6-059776	WEG9594TR13	39142	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.44	
(C6) uBAW	CR6-059821	WEG9798TR13	39041	5810	Pentamaster	NO	0.33	
(C6) uBAW	CR6-059786	WEG9573TR13	38832	5810	Pentamaster	NO	0.45	
(C6) uBAW	CR6-059886	WEG9957TR13	37821	5810	Vacuum Pack DTR	NO	0.06	
(C6) uBAW	CR6-059778	WEG9717TR13	37492	5810	Pentamaster	NO	0.53	
(C6) uBAW	CR6-059839	WEG2537TR13	36303	5810	Pentamaster	NO	0.25	
(C6) uBAW	CR6-059825	WEG9594TR13	36095	5810	Pentamaster	NO	0.27	
(C6) uBAW	CR6-059873	WEG9750TR13	35370	5810	Pentamaster	NO	0.09	

ANEXO 1: Valor del equipo FRT Microprof 300



FRT GmbH • Friedrich-Ebert-Straße 75 • 51429 Bergisch Gladbach



FRT of America LLC West Coast Office
 Mr. Paul Flynn
 1101 South Winchester Boulevard Suite L-240
 SAN JOSE CALIFORNIA 95128
 USA

FRT GmbH
 Friedrich-Ebert-Straße 75
 51429 Bergisch Gladbach
 Deutschland



☎ +49 (0)2204 842430
 ☎ +49 (0)2204 842431
 ✉ info@frt-gmbh.com
 🌐 www.frtmetrology.com


 Olga Fries

Customs Invoice - only for customs use

Our reference: 
 Your order: 

Dear Mr. Flynn,

Referring to your order dated , we delivered to your customer  as agreed:


Pos	QTY	Description	Single price	Total price
1	1	MicroProf 300 TTV Optical Surface Measuring System (MPR1526)	198.000,00 USD	198.000,00 USD
Total amount (FCA, Bergisch Gladbach, Germany, Incoterms 2010)				198.000,00 USD

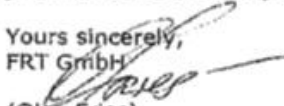
Remark This is a tax-free export shipment.

Payment

All payments are due in full within 60 days after receipt of invoice. Payment conditions:
 90% after system delivery
 10% after final acceptance

HS-Code: 9031.4100 - Optical instruments with accessories for inspecting semiconductor wafers or devices used in manufacturing semiconductor devices.

The exporter of the products covered by this document (customs authorization No ) declares that, except where otherwise clearly indicated, these products are of European Union preferential origin.

Yours sincerely,
 FRT GmbH

 (Olga Fries)

Delivery Address / End-User:



FRT GmbH
 Geschäftsführer: Dr. Thomas Fries
 Sitz Bergisch Gladbach iAG Köln HRB 87409
 USt-IdNr. DE305921316 • Steuernummer 204/5713/1824

Bankverbindungen:
 Kreissparkasse Köln
 IBAN: DE35 3705 0299 0312 5620 89
 SWIFT/BIC: COKSDE33XXX

Commerzbank AG
 IBAN: DE18 3704 0048 0512 0040 00
 SWIFT/BIC: COBADE33XXX



Netzwerk
 DIN EN ISO 9001:2015