

Universidad de Costa Rica

Sede Rodrigo Facio

Proyecto de Graduación

Diseño de un modelo de planificación y control de la producción
y suministro de materiales en Samtec Costa Rica

Adriana Fonseca Salís

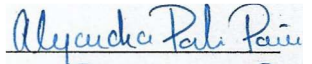
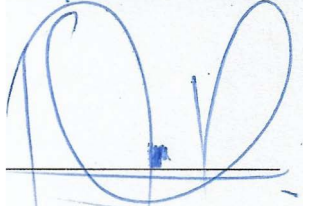
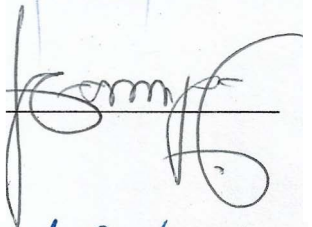
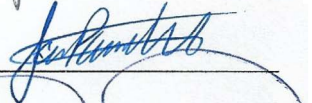

Mónica Mora Chaves

Georgianella Rodríguez Ugarte

Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Setiembre 2017

Aprobación del Proyecto

Nombre	Puesto	Fecha	Firma
Inga. Alejandra Pabón Páramo	Representante de la Dirección	<u>25/10/2017</u>	
Dr. Roberto Quirós Vargas	Director del comité asesor	<u>26/10/2017</u>	
Ing. Héctor Ocampo Molina	Asesor técnico	<u>26/10/2017</u>	
Ing. Jean Paul Jirón Fallas	Profesional contraparte	<u>25/10/2017</u>	
Dr. José Enrique Roig Oller	Profesor lector	<u>26/10/2017</u>	

Resumen Gerencial

Este proyecto consiste en el diseño de un modelo de planificación y control de la producción y suministro de materiales en Samtec Costa Rica, con el objetivo de disminuir la incidencia de pedidos extra de material, los tiempos de paro en producción, los niveles de inventario y aumentar la capacidad de respuesta del almacén.

Para desarrollar este modelo se analizan tres procesos en la empresa: i) producción de conectores, ii) reabastecimiento de materias primas y sub-ensambles y iii) logística interna, con énfasis en las transferencias de material entre el almacén y el área de producción.

En el diagnóstico de la situación actual de estos, se evidencia la desvinculación de tres procesos críticos: el reabastecimiento, la logística interna y la producción, lo cual representa una oportunidad de mejora de \$ 190 334,19 en el estado de situación debido a la disminución del activo circulante, una oportunidad de ahorro de \$47 583,54 por concepto de disminución del costo de acarreo del inventario y de \$92 966 en la reducción de costos operativos.

A nivel de estado de balance, se determina una oportunidad de mejora, pues se detecta el acarreo de un 43,2% de inventario extra debido a las políticas utilizadas para realizar el aprovisionamiento de las materias primas; que, a pesar de satisfacer el nivel de servicio deseado, contribuyen al engrosamiento innecesario del inventario; según el estudio de los tiempos de abastecimiento, los puntos de re-orden y la demanda, demuestra el potencial para disminuir los niveles, manteniendo su capacidad de respuesta al cliente.

Asimismo, se determina que el reabastecimiento de sub-ensambles, que representan el 98% de la producción, no se encuentra ligado a los requerimientos proyectados de producción, sino que es determinado de forma subjetiva por cada supervisor. Esta situación permite disimular el efecto del exceso de capacidad instalada; sin embargo, impide la mejora de la producción y el almacenamiento en función de los requerimientos reales de la demanda. Ambos escenarios contribuyen al engrosamiento del inventario que representa una mejora potencial por disminución de los niveles del inventario de \$190 224,19 y \$47 583,54 en los costos por acarreo del mismo.

En el proceso productivo se identifica la ausencia de una metodología de planificación y control de la producción, que sumado a lo anterior, y a la falta de visibilidad de indicadores pertinentes, genera la producción de órdenes fuera de la ventana de planificación establecida. Lo anterior, repercute en el aumento de solicitudes extra de material al almacén, la interrupción de las actividades de producción con un costo operativo de \$73 483 anuales, el incumplimiento del OTO, así como el empleo innecesario de capacidad extra, con un costo anual de \$19 483. Lo anterior se perfila como una oportunidad en la disminución de los gastos operativos de la compañía, lo que puede conllevar a un incremento en la rentabilidad del negocio.

Como agravante de esta situación, también se determina, mediante estudios de tiempos y movimientos, que la capacidad de respuesta de la logística interna es baja debido a que el tiempo de ciclo de las transferencias y los pedidos extra de material consta en más de un 30% de actividades que no agregan valor, como transportes y esperas. Esta situación impide suplir rápidamente al área de producción, restando flexibilidad en detrimento de la productividad del área.

Como solución a lo anterior, se diseñan cuatro propuestas para la consecución del objetivo del proyecto. Para responder a la ausencia de una sistemática de planificación y control, se diseña una metodología para planificar la producción a corto plazo, la cual consiste en una sistemática para asignar las órdenes que se van a producir por día, utilizando criterios de priorización como la fecha de inicio de manufactura y el tipo de orden, tomando en cuenta la capacidad disponible por turno, y el tiempo de producción de las órdenes.

Como respuesta a las oportunidades identificadas en el reaprovisionamiento de materias primas y los sub-ensambles, se diseñan dos metodologías para calcular el reabastecimiento tanto de productos *make-to-stock* como de componentes, cuya base es la demanda histórica y futura, los niveles de inventario en tiempo real, así como los *lead times* de los proveedores. Esto permite determinar cuánto material se debe solicitar y cuándo hacerlo de manera más eficiente, pues se realiza en función de las cantidades en inventario y los requerimientos futuros de producción.

La última solución diseñada, corresponde al mejoramiento de la capacidad de respuesta del almacén mediante una estructura física que aproveche la configuración de la planta. Con el fin de responder a esta necesidad, se realiza primero una comparación entre dos posibles soluciones, una banda transportadora o un puente, que unan la bodega con el segundo piso de producción. Para la elección final se toman en cuenta aspectos ergonómicos, económicos, de instalación y de desempeño, obteniendo como resultado la elección de la banda transportadora debido a que el puente es descartado por representar un peligro ocupacional y requerir la pérdida de espacio de almacenamiento en la bodega dada su extensión.

Finalmente, la validación de las propuestas diseñadas permite confirmar el potencial de las oportunidades de mejora diagnosticadas, pues los indicadores de pedidos extra y *lead times* del almacén a producción disminuyen en un 77% y 35% respectivamente, mientras que la rotación del inventario se aumenta en un 38%.

Esto se obtiene mediante la comparación del desempeño histórico de la producción y el reabastecimiento, contra la simulación en Excel del comportamiento de ambos bajo las metodologías propuestas, durante el mismo periodo. De igual forma se realiza una simulación de la implementación de una banda transportadora en el *software* Rockwell Arena® para evaluar la eficiencia en contraposición con el método actual.

Como siguientes etapas se proponen: i) el ajuste de los *over issues* para aprovechar la oportunidad de reducción de costos asociada, ii) el rediseño del modelo de compensación de los operarios para evitar las malas prácticas de producción ligadas a esto, así como iii) la migración del modelo de producción actual a uno *pull*, pues la implementación del *software* PRISM® permitirá el encadenamiento de los procesos productivos y una mejor gestión de la producción en tiempo real.

Índice

Introducción.....	15
CAPÍTULO I. PROPUESTA DE PROYECTO.....	16
1.1 Justificación del proyecto	16
1.1.1 Descripción de la organización.....	16
1.1.2 Alcance del proyecto.....	16
1.1.3 Justificación del problema	16
1.1.4 Problema por resolver.....	18
1.1.5 Beneficios asociados al proyecto	18
1.2 Objetivo general e indicadores de éxito	19
1.2.1 Objetivo General.....	19
1.2.2 Indicadores de éxito.....	19
1.3 Limitaciones.....	20
1.4 Marco teórico de referencia.....	20
1.5 Metodología general	23
1.6 Cronograma de trabajo	26
CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO.....	28
2.1 Objetivo del diagnóstico	28
2.1.1 Objetivo general de diagnóstico	28
2.1.2 Objetivos específicos de diagnóstico	28
2.2 Metodología de diagnóstico	28
2.3 Resultados del diagnóstico	31
2.3.1 Evaluación de la variabilidad de los turnos en la compañía.....	31
2.3.2 Caracterización de procesos de producción, reabastecimiento y manejo de inventarios	33
2.3.3 Caracterización de productos.....	35
2.3.4 Caracterización de tipo de órdenes.....	35
2.3.5 Estudio de los periodos de anticipación de la producción Run-Aheads.....	36
2.3.6 Determinación de la existencia de una sistemática para planificación de la producción	38
2.3.7 Análisis del sistema de información	39
2.3.8 Determinación de la incidencia de los over issues	39

2.3.9	Evaluación de la incidencia de los correos como medio para solicitar material extra.....	40
2.3.10	Evaluación de la estrategia de reabastecimiento	41
2.3.11	Evaluación de los porcentajes de desecho estimados versus los reales	42
2.3.12	Determinación de las tendencias de los desabastos de materia prima.....	44
2.3.13	Identificación de los materiales obsoletos y los costos asociados	45
2.3.14	Evaluación de la gestión del inventario	45
2.3.15	Análisis de la distribución de la bodega y criterios de acomodo	46
2.3.16	Determinación de la rotación de las materias primas en la bodega.....	48
2.3.17	Identificación de las materias primas requeridas por cada piso de producción	48
2.3.18	Identificación de los indicadores de control en la Planificación de la Producción	49
2.4	Hallazgos de diagnóstico	49
CAPÍTULO 111. DISEÑO.....		52
3.1	Objetivos de diseño	52
3.1.1	Objetivo general	52
3.1.2	Objetivos específicos	52
3.2	Metodología de diseño	52
3.3	Diseño	54
3.3.1	Diseño de la metodología para la planificación y control de la producción	54
3.3.2	Diseño de la metodología para el reabastecimiento de los productos make-to-stock	61
3.3.3	Diseño de la metodología para el reabastecimiento de los componentes	69
3.3.4	Diseño de la solución para incrementar la capacidad de respuesta de la logística Interna de abastecimiento	78
CAPÍTULO IV. VALIDACIÓN.....		85
4.1	Objetivo de validación	85
4.1.1	Objetivo general de validación	85
4.1.2	Objetivos específicos de validación	85
4.2	Metodología de validación	85
4.3	Resultados de validación	86
4.3.1	Validación de metodología para la planificación y el control de la producción	86

4.3.2	Validación de la metodología para el cálculo del reabastecimiento de componentes	92
4.3.3	Validación de la metodología para el cálculo de reabastecimiento de productos make-to-stock	97
4.3.4	Vinculación del modelo de reabastecimiento, con la planificación de la producción.	100
4.3.5	Banda transportadora: solución para incrementar la capacidad de respuesta de la logística interna de abastecimiento	104
	Conclusiones.....	109
	Recomendaciones.....	110
	Glosario.....	111
	Bibliografía	112
	Anexos	113
	Apéndices	111

Índice de cuadros

Cuadro 1. Metodología general	23
Cuadro 1. Metodología general (continuación)	24
Cuadro 1. Metodología general (continuación)	25
Cuadro 1. Metodología general (continuación)	26
Cuadro 2. Metodología de diagnóstico	28
Cuadro 2. Metodología de diagnóstico (continuación)	29
Cuadro 2. Metodología de diagnóstico (continuación)	30
Cuadro 2. Metodología de diagnóstico (continuación)	31
Cuadro 3. Análisis de varianza entre turnos de producción	32
Cuadro 4. Análisis de órdenes según volumen de producción.....	36
Cuadro 5. Resultados del muestreo de tiempos de aprovisionamiento.....	41
Cuadro 6. Resultados generales comparación <i>scrap</i> estimado versus real	43
Cuadro 7. Tiempos de aprovisionamiento de transferencias	46
Cuadro 8. Análisis de rotación de inventarios.....	48
Cuadro 9. Materias primas por piso de producción.....	48

Cuadro 10. Metodología de diseño.....	52
Cuadro 10. Metodología de diseño (continuación).....	53
Cuadro 10. Metodología de diseño (continuación).....	54
Cuadro 11. Horas disponibles por turno	55
Cuadro 12. Parámetros de planificación por turno.....	57
Cuadro 13. Rangos de capacidad	57
Cuadro 14. Muestreo para el cálculo de velocidades	80
Cuadro 15. Resultados de la simulación	81
Cuadro 16. Comparación de cotizaciones	81
Cuadro 17. Análisis comparativo del ahorro esperado	82
Cuadro 18. Metodología de validación	85
Cuadro 19. Resultado de los indicadores	89
Cuadro 20. Beneficios asociados	90
Cuadro 21. Resultados para las categorías de capacidad.....	90
Cuadro 22. Resultados de la encuesta de percepción de la metodología de planificación y control de producción.....;	92
Cuadro 23. Resultados de encuesta de la percepción de la metodología para el cálculo del reabastecimiento de componentes.....	96
Cuadro 24. Resultado de los indicadores	101
Cuadro 25. Resultados para las categorías de capacidad.....	102
Cuadro 26. Beneficios asociados	104
Cuadro 27. Distribuciones asociadas a los procesos.....	106
Cuadro 28. Resultados de los indicadores	107
Cuadro 29. Ahorros del tiempo y los costos esperados.....	108

Índice de figuras

Figura 1. Distribución de material en la bodega de central inventory.....	47
Figura 2. Diagrama de Pareto de ítems transferidos	47
Figura 3. Muestra de información de las órdenes de producción.....	58
Figura 4. Muestra de la planificación de las órdenes de producción 1.....	59
Figura 5. Muestra de la planificación de las órdenes de producción 2.....	59

Figura 6. Diagrama SIPOC reabastecimiento de producto make-to-stock	65
Figura 7. Cálculo de parámetros de metodología de reabastecimiento de productos make to stock	67
Figura 8. Prototipo de herramienta para el cálculo de reabastecimiento de productos make-to-stock.....	67
Figura 9. Reporte de materiales make-to-stock por producir	68
Figura 10. Caso de estudio producto make to stock, inventario bajo ROP.....	68
Figura 11. Caso de estudio producto make to stock, inventario sobre ROP	69
Figura 12. Diagrama SIPOC modelo de reabastecimiento de componentes	74
Figura 13. Cálculo de parámetros ROP Reels.....	75
Figura 14. Cálculo de parámetros ROP Bodies.....	76
Figura 15. Prototipo de herramienta para el modelo de reabastecimiento de componentes	76
Figura 16. Reporte de componentes a ordenar	77
Figura 17. Caso de estudio componente bajo ROP	77
Figura 18. Caso de estudio componente sobre ROP.....	78
Figura 19. Simulación para la banda transportadora	79
Figura 20. Simulación para el puente	80
Figura 21. Especificación de la altura de la barrera y la altura de estiba	83
Figura 22. Diagrama de proceso de solicitud de material a WIP cage.....	87
Figura 23. Validación de la metodología.....	88
Figura 24. Validación de la metodología (2)	88
Figura 25. Validación de la metodología conjunta	101
Figura 26. Diagrama de flujo de la simulación	106

Índice de gráficos

Gráfico 1. Gráfico de volumen de producción por turno.....	32
Gráfico 2. Cantidad de órdenes producidas fuera de la ventana de 13 días	37
Gráfico 3. Cantidad de horas extra de centros de trabajo.....	38
Gráfico 4. Histórico de over issues	40
Gráfico 5. ,Histograma de tiempos de aprovisionamiento muestreados	42

Gráfico 6. Diagrama de Pareto para diferencia entre desechos estándar y real	43
Gráfico 7. Porcentaje de órdenes con desabastos de materia prima	44
Gráfico 8. Tendencia de costo por desperdicio de procesos para las familias A.....;	50
Figura 9. Uso de la capacidad extra	91
Gráfico 10. Inventario final de Samtec versus inventario final del modelo diseñado	94
Gráfico 11. Cantidad de piezas producidas (Modelo Samtec vs. Modelo diseñado)	98
Gráfico 12. Desabasto de piezas make-to-stock	99
Gráfico 13. Gráfico del uso de la capacidad extra	103

Abreviaturas y Acrónimos

ROP: Punto de re-orden, es decir, el punto hasta el cual se deja que caiga el inventario para volver a pedir material al proveedor.

ASP: Productos de aplicación específica (*Application Specific Products* por sus siglas en inglés). Se refiere a productos personalizados que solicitan los clientes.

BOM: *Bill of Materiales*, se refiere al desglose y la cantidad de materiales necesarios para realizar cada uno de los productos.

CSL: *Cycle Service Level*, implica el nivel de servicio por cumplir al responder ante la demanda de un cliente.

MPS: *Master Production Schedule*, se refiere al plan maestro de producción.

CRP: *Capacity Requirements Planning*, es aquel plan en donde se evalúa la capacidad de la planta para producir lo indicado.

MRP: *Material Requirements Planning*, se denomina así al plan de requerimientos de materiales.

OUL: *Order Up to Level*, punto máximo que se alberga de inventario de materiales.

EOQ: *Economic Order Quantity*, tipo de orden calculada según el costo y los posibles desabastos en la producción.

S&OP: *Sales & Operations Planning*, planeamiento de ventas y operaciones.

ANOVA: Análisis de varianza que prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales.

OTD: *On-time-delivery*, este indicador se refiere a la cantidad de órdenes que se entregan a tiempo al cliente.

Introducción

El trabajo final de graduación se realiza en Samtec Costa Rica, una empresa transnacional líder en la manufactura de la industria electrónica, que opera en Costa Rica desde el año 2006 y que actualmente cuenta con más de mil empleados.

Este proyecto se desarrolla en los procesos de producción, reabastecimiento y manejo de inventarios, y su principal objetivo es solventar la problemática que existe en la vinculación de estos; para lograr lo anterior es necesaria la exploración cuantitativa y cualitativa de los procesos, a través de distintas herramientas, las cuales permiten proponer las soluciones que aquí se describen.

El documento se divide en cuatro capítulos, primeramente, se presenta la propuesta del proyecto, ésta incluye el alcance y una detallada justificación del problema que se quiere resolver, así como los beneficios asociados al proyecto, los objetivos y los indicadores de éxito, las limitaciones encontradas y un marco teórico de referencia, finalmente, se presenta en este capítulo la metodología general para la realización del proyecto.

Como segundo capítulo, se presenta el diagnóstico, se inicia con el planteamiento de los objetivos y la metodología por seguir, para luego desarrollar cada uno de los análisis realizados en los distintos procesos y situaciones.

El capítulo tres desarrolla el diseño del proyecto, es decir, las propuestas que se plantean para solucionar las distintas situaciones encontradas, cada una de ellas comprende los aspectos evaluados y el resultado de estos, además de los distintos análisis que soportan la elección de estas soluciones.

Finalmente, el capítulo cuatro describe la validación de las distintas soluciones propuestas en el diseño, mismas que incluyen los resultados que fundamentan su impacto en los indicadores de éxito seleccionados. Se incluyen, los apartados de las conclusiones y las recomendaciones generales.

CAPÍTULO I. PROPUESTA DE PROYECTO

1.1 Justificación del proyecto

1.1.1 Descripción de la organización

Samtec es una empresa transnacional, dedicada a la manufactura de la industria electrónica; su casa matriz se encuentra ubicada en Estados Unidos y a la vez posee siete plantas manufactureras en otros cuatro países.

En la actualidad, dicha organización está valorada en \$613 millones de dólares y su oferta se basa en una amplia línea de bloques de solución de interconexión electrónica; incluyendo más de seiscientos tipos de productos, englobados en las categorías de conectores, cables, interconectores RF y fibra óptica. Los principios de flexibilidad, velocidad, ganar-ganar e innovación permiten prestar agilidad en el servicio al cliente y son la base de la organización.

En Costa Rica se estableció en el 2006 bajo el régimen de zona franca, y debido a su rápido crecimiento en el país, actualmente cuenta con más de mil empleados en sus procesos. Cabe destacar, que en el país únicamente se realiza la manufactura, por lo que no se perciben ingresos por ventas directamente. Además, cuentan con tres turnos para asegurar la capacidad de cubrir pedidos las veinticuatro horas del día.

1.1.2 Alcance del proyecto

Este proyecto se desarrolla en los procesos de producción, específicamente en el área denominada *automation*, proceso de reabastecimiento y el manejo de inventarios en el área de almacén de materia prima denominada *central inventory*. Se considera un proyecto, dentro del eje temático de gestión de la producción, los suministros y los inventarios; además, su alcance se limita a los productos presentes en las familias A¹.

1.1.3 Justificación del problema

En la compañía se presenta la necesidad de diseñar y controlar los procesos de planificación de la producción y la gestión del inventario; lo cual permitirá disminuir la incidencia de pedidos extra de material, los tiempos de paro en producción y mejorar la utilización del espacio de bodega, permitiendo así, aumentar su capacidad de respuesta.

i. Desvinculación entre planificación de la producción y el reabastecimiento

Como insumo vital para la producción, se encuentra el proceso de reabastecimiento. En el cual participan como actores claves los planificadores de la demanda, quienes tienen asignadas las diferentes categorías de materias primas (pines, pines X, *bodies*, sub-ensambles, material de empaque, entre otros) y se encargan de realizar los pedidos de cada ítem de acuerdo con los requerimientos de material. Para cumplir este objetivo, los planeadores revisan los requerimientos

¹ Las familias A son definidas a partir de los volúmenes de producción 2014-2015, con base en la regla 80/20, donde las que conforman el 80% del volumen producido, califican como familia A.

de material registrados en el sistema para los siguientes meses e identifican los ítems que presentarán un nivel menor al establecido.

No obstante, el proceso de reabastecimiento no se encuentra completamente supeditado a la demanda de producción, pues el sistema asigna un porcentaje de desecho estimado el cual no responde al comportamiento real del proceso. En el análisis realizado para los cuatro productos más vendidos, se identifica una variación promedio de 6,5% entre el desecho estimado y el real (Apéndice 1). Esta variación origina sobre o subestimaciones de los requerimientos de materias primas y el consecuente exceso o desabasto de estas (Apéndice 2).

En un escenario idóneo, el proceso de reabastecimiento debería estar subordinado al de producción, para vincular ambas operaciones y así aumentar la rotación del inventario de materias primas, permitir la disminución de materiales obsoletos, que actualmente representan un 4,67% del inventario (Apéndice 3); así como disminuir las cantidades almacenadas y evitar desabastos de la materia prima que alimenta a producción.

ii. Desvinculación entre la planificación de la producción y el suministro de materias primas

A partir de las subestimaciones en el reabastecimiento de las materias primas, se crean desabastos en los centros de trabajo y por ende se deben realizar ajustes de material, a los cuales se les conoce como *over issues*, para poder completar las órdenes de pedido. En consecuencia, la empresa está generando costos mensuales asociados a los ajustes de materia prima de \$1 397 049, los cuales pueden llegar a representar la octava parte de los ingresos por ventas estimados para Samtec Costa Rica² en Samtec global, lo que significa que los agregados de material mencionados implican un costo equivalente al 13,41% de los ingresos proyectados.

No obstante, en la empresa no se han tomado acciones para reducir ni controlar esta situación; lo anterior según un estudio de cinco meses donde se registra un promedio de novecientos cincuenta y ocho ajustes de material semanales, con un costo promedio de \$57 658 y una variabilidad promedio de \$29 566 por semana.

Por otro lado, al no existir una metodología de planificación de la producción por parte de los supervisores, conjugado con el hecho de mantener tres turnos de producción, se presenta un exceso de capacidad instalada, la cual es solventada mediante la producción de órdenes fuera de la ventana de planificación de producción de trece días. Bajo este esquema, se vuelve recurrente la solicitud de material extra a través de correos electrónicos para poder atender tales órdenes.

Es importante mencionar, que en el transcurso en que se responde a estas órdenes extras; se generan tiempos de paro en producción de cuarenta y tres minutos en promedio, así como la interrupción de las actividades de bodega, con un tiempo promedio de veinticuatro minutos por solicitud de ajuste de material, en donde, según un análisis estadístico, se calcula que en promedio se reciben treinta correos por día. Dado lo anterior, se estima que la existencia de estas

² Como Samtec Costa Rica no percibe ingresos por ventas sino que funge únicamente como planta productora, se calculan los ingresos estimados para Costa Rica partiendo de la premisa de dividir las utilidades de manera equivalente entre las ocho plantas globales.

situaciones genera un costo anual por atención de correos electrónicos de hasta \$73 483, representando aproximadamente el costo de mantener tres operarios en un año (Apéndice 4).

Asimismo, el esquema de producción fuera de la ventana de planificación es poco deseable debido a que la empresa no cuenta con una bodega destinada al almacenamiento de productos terminados, por lo que se ven forzados a almacenarlos de manera temporal en los estantes de producto en proceso, causando dificultades en la trazabilidad de las órdenes. Adicionalmente, por criterio de los gerentes de inventario y de calidad, los correos solicitando material extra deberían reducirse en un 75%, por lo que se espera que el evento se presente únicamente en caso de órdenes “scarlet”.

iii. Desvinculación entre reabastecimiento y suministro de materiales

En cuanto al proceso de reabastecimiento de la compañía, éste se apega a una política designada por la casa matriz, la cual consiste en que el punto de reorden por artículo a nivel global es equivalente a:

$$\text{Promedio de requerimientos de 3 meses} + \text{Requerimientos del siguiente mes (1 + 42\%)}$$

De lo anterior, se denota un punto de reorden de 2,42 meses, además se establece un tamaño del pedido de hasta tres meses para cada producto. Al estudiar el impacto de dicha política en Samtec Costa Rica en setiembre 2015, se identifica un 85% de utilización de la bodega, porcentaje considerado alto por parte de los encargados del área, dado que ese mes presenta el menor volumen de producción del año.

Además, al realizar un análisis del punto de reorden (ROP) recomendado por la teoría versus el actual a un 99,9% de nivel de servicio, se determina que se deben poseer treinta días inventario para los ítems de las Familias A, sin embargo, actualmente se manejan 2,42 meses inventario, es decir, se gestiona aproximadamente un 43,2% de inventario de más (Apéndice 5).

Lo anterior evidencia el desajuste en la sincronía entre el proceso de reabastecimiento y la gestión del inventario, ya que se realizan los pedidos sin contemplar la variable de espacio en el almacén o el nivel de producción actual.

1.1.4 Problema por resolver

La planificación de la producción y su desvinculación con la programación del suministro de materias primas y productos pre-ensamblados, asociado a la baja capacidad de respuesta de la logística interna de suministros, causan que Samtec incurra en altos costos por pedidos extra y ajustes de materiales, tiempos de paro en producción y altos niveles de inventario.

1.1.5 Beneficios asociados al proyecto

i. Beneficios para la sociedad

Al vincular las operaciones de gestión de inventarios y gestión de la producción mediante un modelo integral en Samtec, se espera la reducción en los niveles de inventario, permitiendo que

³ Este tipo de orden es prioridad para la compañía e implica su priorización en el proceso productivo.

la incidencia de materias primas obsoletas disminuya, lo cual puede generar un beneficio ambiental, ya que actualmente el desecho, en su mayoría, consiste en componentes plásticos.

También, se espera impactar en la mejora de la calidad de vida de los colaboradores como consecuencia de la disminución en el esfuerzo físico que demandan las actividades en la bodega de materia prima, propiamente en la atención a los pedidos de materiales.

ii. Beneficios para la organización

En cuanto a la organización, se espera que mediante la solución de la problemática identificada se logre un aumento de la capacidad de respuesta de bodega al mejorar su configuración actual, así como la sincronización existente y conocida entre las operaciones, debido a la expectativa de vincular la gestión de la producción con la gestión del inventario.

Adicionalmente, se pretende lograr una disminución de los costos por acarreo del inventario al estudiar las políticas de reabastecimiento y los niveles de inventario actuales presentes en la compañía, así como la meta de disminuir estos últimos.

A su vez, se espera contribuir con el cumplimiento de las metas de la compañía, las cuales consisten en disminuir la incidencia de correos de solicitud de material extra en un 75% así como disminuir el tamaño *working inventory in process (WIP cage)* o bodega auxiliar en producción actual en al menos un 50%.

Posteriormente, Samtec desea implementar en sus operaciones la metodología *lean*⁴, por lo que al crear estas interconexiones entre las operaciones se podría mejorar la comunicación entre estas, permitiendo la creación de métodos fluidos en las actividades que responden a la gestión de la producción y gestión del inventario, lo cual facilitaría la implementación de la filosofía *lean*.

1.2 Objetivo general e indicadores de éxito

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de planificación y control de la producción y suministro de materiales que vincule ambos procesos para disminuir la incidencia de los pedidos extra de material, los tiempos de paro en producción, los niveles de inventario y aumentar la capacidad de respuesta del almacén.

1.2.2 Indicadores de éxito

i. Rotación del inventario

Este indicador se utiliza para determinar la medida de rotación en el inventario de la compañía. Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula, en donde se evalúa la relación porcentual entre el inventario requerido por producción y el inventario disponible en los almacenes en un periodo de tiempo, en este caso de materia prima.

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{\text{Ventas anuales}}{\text{Valor del inventario}} \quad (1)$$

⁴ El término "*lean*" se utiliza para hacer referencia al modelo de manufactura esbelta.

ii. Tiempo de paro de producción

El presente indicador se utiliza para analizar la tendencia de los tiempos de paro de producción debidos a la espera de material por parte del área de suministro, a partir de éste se puede contabilizar el ahorro asociado a la disminución de los costos por pedidos extra de material, visto desde las esperas de producción. Para su cálculo se emplea el conteo de tiempo desde que se envía la solicitud por correo, hasta que se confirma el abastecimiento de materiales requeridos, tomando como referencia la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de paro de producción} = \text{Hora de confirmación de envío} - \text{Hora de solicitud de material} \quad (2)$$

iii. Lead time de bodega a producción

Este indicador comprende el intervalo de tiempo que tarda el inventario desde que inicia el proceso de transferencia de material, hasta que las materias primas son entregadas al *WIP cage*. Esto con el fin de determinar la capacidad de respuesta del almacén de inventario y registrar la disminución en el costo por pedidos extra de material.

$$\text{Lead Time} = \text{Hora de inicio del recorrido} - \text{Hora de entrega en WIP Cage} \quad (3)$$

1.3 Limitaciones

Como se menciona en el alcance y el problema, el presente proyecto va dirigido hacia los procesos de producción, manejo de inventario y reabastecimiento. Específicamente en el proceso de manejo de inventarios, se encuentra una limitación en el acceso al sistema de información utilizado para la gestión del material en el almacén, esto debido a la complejidad en la configuración del mismo, razón por la cual, las soluciones que puedan darse en esa problemática deben considerar otros aspectos.

Además, en el proceso de reabastecimiento, la limitación consiste en que los proveedores y sus directrices, ya sea en cuanto a cantidad por comprar o *lead time*, no pueden ser modificadas. De igual forma, la información de los proveedores es manejada de forma confidencial.

1.4 Marco teórico de referencia

El objetivo del presente proyecto abarca la interconexión entre dos importantes temáticas de la ingeniería industrial, la administración de operaciones y suministro relacionado con la logística interna de la organización. En primera instancia se encuentra la administración de operaciones y suministro, este término incluye a su vez dos áreas, donde "operaciones" se refiere a los procesos que se emplean para transformar los insumos que utiliza una empresa en los productos y servicios que desean los clientes, y "suministro" se entiende como la forma de abastecer los materiales y los servicios que entran y salen de los procesos de transformación de la empresa (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Para lograr la administración de operaciones y suministro se hace uso de una segunda temática, la logística, definida como "aquello que sucede en la cadena de suministro y cuyas principales actividades (respuesta al cliente, gestión de inventario, abastecimiento, transporte y almacenamiento) se conectan y activan los objetos en la cadena de suministro" (Frazelle, 2002).

Es dentro de estos tópicos que se encuentra el problema de Samtec Costa Rica, pues como se evidencia en secciones anteriores la vinculación entre la gestión de la producción y la gestión del inventario son posibles oportunidades de mejora en la organización.

Partiendo de la planificación, se menciona que los pronósticos de la demanda realizan una estimación de las posibles ventas de uno o varios productos para un periodo de tiempo determinado, generalmente a través de métodos estadísticos (Chopra & Meindl, 2008), en donde a partir de ellos es posible manufacturar órdenes del tipo *make-to-stock* o *push*, las cuales como su nombre lo dicen son aquellos productos que serán destinados a ser almacenados, para la empresa Samtec son denominadas “línea cero” y corresponden a sub-ensambles o a productos terminados que se mantienen en inventario debido a que son utilizados para procesos de transformación posteriores o al crecimiento de ventas⁵ que han presentado, respectivamente.

Por otro lado, se mencionan las órdenes del tipo *make-to-order* o *pull* que se producen basándose en la demanda actual o en órdenes del cliente directamente (Gupta & Benjaafar, 2000). Para Samtec Costa Rica se identifica que en la organización se denominan “órdenes *customer*” y se refieren a aquellos productos terminados que se envían directamente al cliente, es decir, no son almacenadas al culminar el proceso productivo. Este tipo de órdenes presenta dos vertientes de comportamiento de la demanda distintas, pues pueden responder a contratos a largo plazo con los clientes, escenario bajo el cual se conoce la demanda; o a órdenes de compra que ingresan diariamente en el sistema y cuentan con tiempos de aprovisionamiento menores a una semana, es decir, tienen asociada una alta incertidumbre de la demanda evidenciando de esta manera un modelo mixto de producción.

Asimismo, el objetivo de los pronósticos es convertirse en la entrada de los demás planes operativos (Carranza & Sabriá, 2004), en Samtec Costa Rica no se realizan cálculos de este tipo lo cual influye directamente sobre la forma en que se planifica la producción, pues no se cuenta con un MPS (*Master Production Schedule*) que es definido por Chase et al. (2009) como un “plan con los tiempos desglosados que especifica cuántas piezas finales y cuándo van a ser fabricadas por la empresa”. Este plan maestro de producción debe estar vinculado con el CRP (*Capacity Requirements Planning*) el cual “permite generar y evaluar la carga detallada para cada centro de trabajo, permitiendo determinar si los recursos disponibles son capaces de responder al plan de producción planteado” (Sipper & Bulfin, 1998).

Además de la capacidad de los centros de trabajo, es importante considerar las materias primas necesarias para producir, en donde puede ser utilizado el MRP (*Materials Requirements Planning*) ya que es una “herramienta que permite calcular y programar las materias primas y suministros necesarios para hacer los productos determinados por el MPS” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009), en donde se menciona que “el modelo de reabastecimiento de una compañía idealmente debería basarse en este, ya que indica cuándo hay que pedir estos materiales, piezas o componentes para poder cumplir con el plan de producción” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Por su parte, un modelo de reabastecimiento se sustenta en políticas que implican decisiones respecto a cuándo y cuánto ordenar, estas decisiones determinan también los *inventarios de*

⁵ El Departamento de Ventas ubicado en New Albany, EEUU, es el que manda la directriz indicando cuáles productos se deben mantener en *stock* y la cantidad que debe mantenerse almacenada.

seguridad, cuyo "principal objetivo es satisfacer la demanda que excede la cantidad pronosticada para un periodo dado, además del CSL, del inglés *Cycle Service Level*, también conocido como nivel de servicio, que es igual a la probabilidad de no tener desabasto en un ciclo de resurtido" (Chopra & Meindl, 2008). En distintas configuraciones prácticas, las compañías tienen un nivel deseado de disponibilidad del producto y desean diseñar políticas de resurtido que logren tal nivel. Justamente en Samtec Costa Rica se establece un nivel de servicio de 100% para todos los productos; esto debido a que las políticas estratégicas, así como los principios de la compañía, incluyen una completa satisfacción de los clientes.

No obstante, como se mencionaba en la justificación de la problemática encontrada, la compañía adopta las políticas de la casa matriz y solicitan los materiales necesarios para cubrir los siguientes tres meses de reabastecimiento. En respuesta de esta situación, diferentes autores establecen que las políticas de reabastecimiento tradicionales se basan ya sea en el OUL (*Order Up-to Level*), que representa el máximo nivel de inventario que puede permitirse almacenar o el EOQ (*Economic Order Quantity*). Frazelle (2002) menciona que el hecho de mantener niveles de inventario tan elevados puede llevar a una empresa a incurrir en costos innecesarios, para lo cual propone el modelo EOQ que se define como el "número de unidades por reaprovisionamiento que minimizan el costo de pedir y manejar la cantidad de inventario asociada a esa orden".

Otra sección indispensable en las políticas de reabastecimiento es el ROP, que se refiere a la "cantidad a la cual se permite dejar caer el inventario antes de colocar un pedido de reaprovisionamiento" (Ballou, 2004). Según las políticas actuales en Samtec este es de 2.42 meses de inventario. En consecuencia, presentan una sobreutilización de la bodega a pesar de tener tiempos de reaprovisionamiento que les permiten contar con ROPs menores a un mes.

A su vez, junto a las políticas de reabastecimiento está el almacenamiento del inventario que consiste en contener físicamente las materias primas, es importante considerar que el método de almacenamiento depende del tamaño y cantidad de los ítems en inventario, y de las características de manipulación del producto. Además, un aspecto que debe considerarse es el *storing/putaway*, lo cual se entiende como el acto de ubicar la mercadería en la bodega, e incluye el manejo del material, la verificación de la ubicación y la colocación del producto. Frazelle (2002) establece que lo anterior se debe realizar "siempre buscando disminuir el costo laboral, además de utilizar de forma eficiente el espacio y el equipo en la bodega, mientras se cumple con el tiempo de ciclo y los requerimientos de la capacidad de almacenamiento".

Una vez que la materia prima es requerida en producción, es necesario realizar el *picking*, que se refiere al proceso de remover los ítems de la bodega para cumplir con una demanda específica. En Samtec Costa Rica el almacenamiento del inventario tiene algunas particularidades, pues se cuenta con una bodega de cuatro pisos y cerca de 230 m², donde los operarios deben movilizarse utilizando las escaleras, mientras que las materias primas se mueven a través de un ascensor, lo cual influye directamente en la duración del proceso de *picking* y por lo tanto, en la capacidad de respuesta de bodega a producción.

Ahora bien, "si los sistemas de administración de inventarios no se comunican a la perfección con otros sistemas de planeación y ejecución, los niveles no serán los óptimos. La inhabilidad de los sistemas de administración de inventarios para proporcionar visibilidad y comunicarse eficazmente con otros sistemas casi siempre constituye el gran obstáculo para su éxito" (Chopra

& Meindl, 2008). Queda claro que entre las áreas de planificación de la producción, la producción, el reabastecimiento y el manejo de inventarios (bodega) siempre deben existir relaciones bidireccionales que permitan mantener una comunicación eficaz en la organización.

Es indispensable considerar que en el manejo de la interacción de estas temáticas expuestas, existe la posibilidad de incorporar filosofías o estrategias que permitan mejorar el desempeño y la calidad, beneficiando la integración de las áreas de la compañía y velando por los principios correspondientes a Samtec; una de estas filosofías es el *Just in Time* que, “según Toyota, permite eliminar completamente el desperdicio, pues se tiende a producir justo lo que se requiere, cuando se necesita, con excelente calidad y sin desperdiciar recursos del sistema” (Marín & Delgado, 2015). Otra filosofía que puede llegar a desarrollarse es la Producción Esbelta, que se entiende como un “conjunto integrado de actividades diseñado para lograr la producción utilizando inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y bienes terminados” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Adicionalmente, otro aspecto que puede beneficiar a Samtec Costa Rica, es el trabajo en conjunto de las distintas áreas, lo anterior a través del S&OP (*Sales & Operations Planning*). Según Chávez (2013) el planeamiento de ventas y operaciones viene a unir el plan operativo con el plan de negocio estratégico, ofreciendo así una visión holística de la demanda, la oferta y las finanzas para que pueda realizar un planeamiento y lograr la rentabilidad. En síntesis, es un método de planificación, cuyo objetivo es conciliar los pronósticos comerciales con los requerimientos logísticos y financieros.

El conjunto de herramientas proporcionado por la teoría apoyará la consecución del objetivo del proyecto en la búsqueda de la integración entre las diferentes áreas, proporcionando un marco estructurado que permite diseñar un modelo que genere un mejor desempeño en la gestión de Samtec Costa Rica.

1.5 Metodología general

Con el fin de diagnosticar el problema en Samtec, diseñar una solución y validar su aplicación, se plantea una metodología general que facilite el correcto desarrollo del proyecto. La metodología incluye las actividades que se van a realizar, las herramientas que se aplicarán y los resultados que espera obtenerse.

Cuadro 1. Metodología general

Actividad	Herramienta	Resultado
Diagnóstico		
Caracterización de los procesos de producción de conectores, inventario y reabastecimiento, y de los productos referentes a Samtec Costa Rica	<ul style="list-style-type: none"> - ABC de familias - Mapeo de procesos 	<ul style="list-style-type: none"> - Familias y productos clasificados - Diagramas de flujo de procesos - Procesos que integran la gestión del inventario y el proceso sustantivo de producción de conectores

Cuadro 2. Metodología general (continuación)

Actividad	Herramienta	Resultado
Determinación de la demanda de periodos anteriores y análisis de la variabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis estadístico - Análisis probabilístico 	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda diaria y mensual de cada ítem desde junio 2014-febrero 2016 así como la variabilidad determinada
Evaluación de la estrategia de reabastecimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de ROPs de Samtec - Estudio de BOM para cada ítem - Caracterización de las materias primas de acuerdo con los proveedores, el volumen y el costo 	<ul style="list-style-type: none"> - ROP para cada ítem de las familias A analizados - Materias primas caracterizadas - Costos de reabastecimiento
Identificación de los tiempos de aprovisionamiento de proveedores	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de los tiempos de aprovisionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempos de aprovisionamiento de proveedores identificados
Evaluación de la gestión del inventario	<ul style="list-style-type: none"> - Mapeo de procesos - Estudio de tiempos - Registro de correos por pedidos extra de material - Registro de tiempos muertos de producción por pedidos extra de material 	<ul style="list-style-type: none"> - Procesos que integran la gestión del inventario - Tiempos de aprovisionamiento de bodega para transferencias de <i>bodies & assemblies</i> y <i>reels</i>, así como para pedidos extra de material identificados - Promedio de correos por turno y tiempos muertos por turno
Análisis de la distribución de la bodega y los criterios de acomodo	<ul style="list-style-type: none"> - Mapeo de bodega - Criterios de acomodo 	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución de ítems por piso de bodega - Ubicaciones fijas y dinámicas para las familias
Determinación de la utilización de la bodega	<ul style="list-style-type: none"> -Registro de porcentaje de utilización de estantes en cada piso 	<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de utilización de la bodega de Central Inventory
Caracterización de los tipos de órdenes	<ul style="list-style-type: none"> -Análisis estadístico del comportamiento de la demanda de cada tipo de orden 	<ul style="list-style-type: none"> -Comportamiento de la demanda para stock orders, customer orders y órdenes scarlet
Evaluación de la planificación de la producción	<ul style="list-style-type: none"> -Entrevistas a los supervisores 	<ul style="list-style-type: none"> -Criterios establecidos de planificación de la producción

Cuadro 3. Metodología general (continuación)

Actividad	Herramienta	Resultado
Determinación y caracterización de la incidencia de los <i>Over Issues</i>	- Análisis estadístico de la variabilidad y el costo de los <i>over issues</i> por semana y por mes	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad promedio de <i>over issues</i> por semana - Centros de trabajo que presentan mayor recurrencia de <i>over issues</i> - Costo anual de <i>over issues</i> según causa - Tipo de material que genera mayor recurrencia de <i>over issues</i>
Diseño		
Producción		
Diseño de un método de pronósticos que se adapte a los tipos de órdenes que debe suplir la compañía	- Modelos de pronósticos	- Método de pronósticos establecido y adaptado a las condiciones de la compañía
Establecimiento de un método de planificación de la producción acorde a las políticas de la empresa	- Métodos de MPS	- Método de planificación de la producción
Reabastecimiento		
Diseño de las políticas de reabastecimiento, los niveles de servicio, ROP y el tamaño de la orden, acordes con las categorías de productos	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos de reabastecimiento - Modelo de control de inventarios - Métodos de MRP 	- Política de reabastecimiento, ROP, OUL, y CSL para las familias A
Almacenes		
Determinación de una distribución de almacén según las necesidades identificadas	<ul style="list-style-type: none"> - Modelos de acomodo en bodega - Criterios de acomodo 	- Diseño de distribución de almacén según los criterios y las necesidades identificadas
Identificación de una solución que permita disminuir los tiempos de transporte entre la bodega y el segundo piso de producción	- Simulación	- Solución óptima para disminuir los tiempos de transporte entre la Bodega de Central Inventory y el segundo piso de producción

Cuadro 4. Metodología general (continuación)

Actividad	Herramienta	Resultado
Validación		
Elección de muestras por validar	- Muestreo estadístico - Simulación - Herramienta diseñada	- Comprobación de la factibilidad del uso del modelo en la organización
Ejecución del modelo integral diseñado	- Indicadores de éxito	
Análisis de los resultados obtenidos en los indicadores		

1.6 Cronograma de trabajo

Etapa del proyecto	Actividad	Semana	Duración (semanas)	
Diagnóstico	1	Caracterización de procesos y productos referentes a Samtec Costa Rica	Semana 1	1
	2	Determinación de la demanda de periodos anteriores y análisis de la variabilidad.	Semana 2	1
	3	Caracterización de los tipos de órdenes	Semana 3	1
	4	Estudio de periodos de anticipación de la producción <i>Run-Aheads</i>	Semana 4	1
	5	Evaluación de la sistemática de planificación de la producción	Semana 5	1
	6	Determinación de la incidencia de los <i>Over Issues</i>	Semana 6	1
	7	Evaluación de la incidencia de correos como medio para solicitar material extra	Semana 7	1
	8	Evaluación de la estrategia de reabastecimiento	Semana 8	1
	9	Identificación de <i>lead times</i> de proveedores		
	10	Evaluación de la gestión del inventario	Semana 9	1
	11	Análisis de la distribución de la bodega y criterios de acomodo	Semana 10	1
	12	Determinación de la utilización de la bodega.		
	13	Determinación de la rotación de materias primas		
Diseño	14	Diseño de una metodología para la planificación y control de la producción	Semana 11 - Semana 12	2
	15	Diseño de una metodología para la definición y control del inventario de los productos <i>make-to-stock</i>	Semana 13 - Semana 15	3
	16	Establecimiento de una metodología para el cálculo y control del reabastecimiento de componentes	Semana 16 - Semana 17	2

Etapa del proyecto	Actividad		Semana	Etapa del proyecto
	17	Identificación de una solución que permita disminuir los tiempos de transporte entre la bodega y el segundo piso de producción	Semana 18 - Semana 19	2
Validación	18	Elección de muestras a validar.	Semana 20	1
	19	Ejecución del modelo diseñado.	Semana 21 - Semana 22	2
	20	Análisis de los resultados obtenidos.	Semana 23 - Semana 25	3
Total				25

CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO

2.1 Objetivo del diagnóstico

2.1.1 Objetivo general de diagnóstico

Analizar la planificación de la producción y su vinculación con las operaciones de reabastecimiento y gestión del inventario, con el fin de identificar oportunidades de mejora que utilicen eficientemente los recursos en los distintos procesos.

2.1.2 Objetivos específicos de diagnóstico

- Realizar un perfilado de los productos, las materias primas, los proveedores y los procesos de producción, el reabastecimiento y el manejo de inventarios para obtener una mayor comprensión de las variables que influyen en las metodologías utilizadas actualmente.
- Analizar las metodologías empleadas en la planificación de la producción, el reabastecimiento y el manejo de inventario para identificar las consecuencias de su uso en la compañía.
- Determinar los costos que surgen como consecuencia del modelo de producción y suministro de materiales, con el fin de relacionar los mismos con la problemática encontrada y generar oportunidades de mejora.

2.2 Metodología de diagnóstico

Una vez que se ha delimitado el problema y se han establecido los objetivos de la etapa diagnóstica, se plantea la metodología por seguir, en la que se incluyen las distintas actividades por desarrollar con el fin de identificar y analizar los factores relacionados con la problemática encontrada, para determinar así las oportunidades de mejora en la gestión de operaciones y suministro en la empresa Samtec Costa Rica.

Cuadro 5. Metodología de diagnóstico

Actividades	Herramientas	Resultados
Diagnóstico		
Evaluación de la variabilidad de los turnos en la compañía	-Análisis estadístico de producción -Análisis de la variabilidad ANOVA	-Diferencia estadística entre los turnos
Caracterización de productos y procesos de producción, reabastecimiento y manejo de inventarios en Samtec Costa Rica	- ABC de familias - Mapeo de procesos	- Familias y productos clasificados

Cuadro 6. Metodología de diagnóstico (continuación)

Actividades	Herramientas	Resultados
Producción		
Determinación de la demanda de periodos anteriores y análisis de la variabilidad	- Análisis estadístico - Análisis probabilístico	- Demanda diaria y mensual de cada ítem desde junio 2014-febrero 2016 así como variabilidad determinada
Caracterización de los tipos de órdenes	-Análisis estadístico del comportamiento de la demanda de cada tipo de orden	-Comportamiento de la demanda para <i>stock orders</i> , <i>customer orders</i> y órdenes <i>scarlet</i>
Estudio de los periodos de anticipación de la producción <i>Run-Aheads</i>	-Análisis estadístico -Entrevistas a supervisores	-Comportamiento de las órdenes y la planta de producción frente a los periodos de anticipación
Determinación de la existencia de una sistemática para la planificación de la producción	-Entrevistas a los supervisores -Revisión de las métricas corporativas	-Criterios de planificación de la producción establecidos
Determinación y caracterización de la incidencia de los <i>over issues</i>	- Estadística descriptiva y de costo de los <i>over issues</i> por semana	- Cantidad promedio de <i>over issues</i> por semana - Centros de trabajo que presentan mayor recurrencia de <i>over issues</i> - Costo anual de <i>over issues</i> según causa - Tipo de material que genera mayor recurrencia de <i>over issues</i>
Evaluación de la incidencia de los correos como medio para solicitar material extra	-Estudio de registros -Análisis de tendencias	-Tendencias y frecuencia de los pedidos de material extra a través de la herramienta de correo electrónico - Desglose de materiales por pedidos extra - Tiempos de aprovisionamiento de los pedidos y los tiempos muertos de producción - Registro de los tiempos muertos de producción por los pedidos extra de material

Cuadro 7. Metodología de diagnóstico (continuación)

Actividades	Herramientas	Resultados
Reabastecimiento		
Evaluación de la estrategia de reabastecimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de ROPs para familias A - Identificar BOM para cada ítem - Caracterización de las materias primas de acuerdo con los proveedores, el volumen y el costo 	<ul style="list-style-type: none"> - ROP para cada ítem de las familias A analizados - Determinación de materias primas por proveedor
Identificación de los tiempos de aprovisionamiento de proveedores	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de los tiempos de aprovisionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempos de aprovisionamiento de los proveedores identificados
Evaluación de los porcentajes de desecho estimados versus los reales	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de la variabilidad entre estimaciones de desecho y realidad de proceso (Estudio de proporciones) 	<ul style="list-style-type: none"> - Estimación de la cantidad de ítems con diferencia significativa entre los porcentajes de desecho estimados y los reales - Tendencias de los porcentajes de desechos
Determinación de las tendencias de los desabastos de materia prima	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de tendencias 	<ul style="list-style-type: none"> - Tendencias y frecuencia de los desabastos de material
Identificación de los materiales obsoletos y costos asociados	<ul style="list-style-type: none"> - Muestreo estadístico - ICC e ICR en Samtec 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales obsoletos identificados y cuantificados, así como los costos asociados a estos
Manejo de Inventarios		
Evaluación de la gestión del inventario	<ul style="list-style-type: none"> - Mapeo de procesos - Estudio de tiempos - Registro de correos por pedidos extra de material - Registro de tiempos muertos de producción por pedidos extra de material 	<ul style="list-style-type: none"> - Procesos que integran la gestión del inventario - Tiempos de aprovisionamiento de bodega para Transferencias de <i>Bodies & Assemblies</i> y <i>Reels</i>, así como para pedidos extra de material identificados - Promedio de correos por turno y tiempos muertos por turno
Análisis de la distribución de la bodega y los criterios de acomodo	<ul style="list-style-type: none"> - Mapeo de bodega - Criterios de acomodo 	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución de ítems por piso de bodega - Ubicaciones fijas y dinámicas para las familias

Cuadro 8. Metodología de diagnóstico (continuación)

Actividades	Herramientas	Resultados
Determinación de la capacidad de la bodega	-Estudio de capacidad	- Capacidad de bodega determinada
Determinación de la rotación de las materias primas en la bodega	-Estudio histórico de los <i>issues</i> de material	-Rotación de las materias primas en la bodega determinados
Identificación de las materias primas requeridas por cada piso de producción	-Análisis de los productos y su BOM para cada piso de producción	-Materias primas necesarias en cada piso de producción

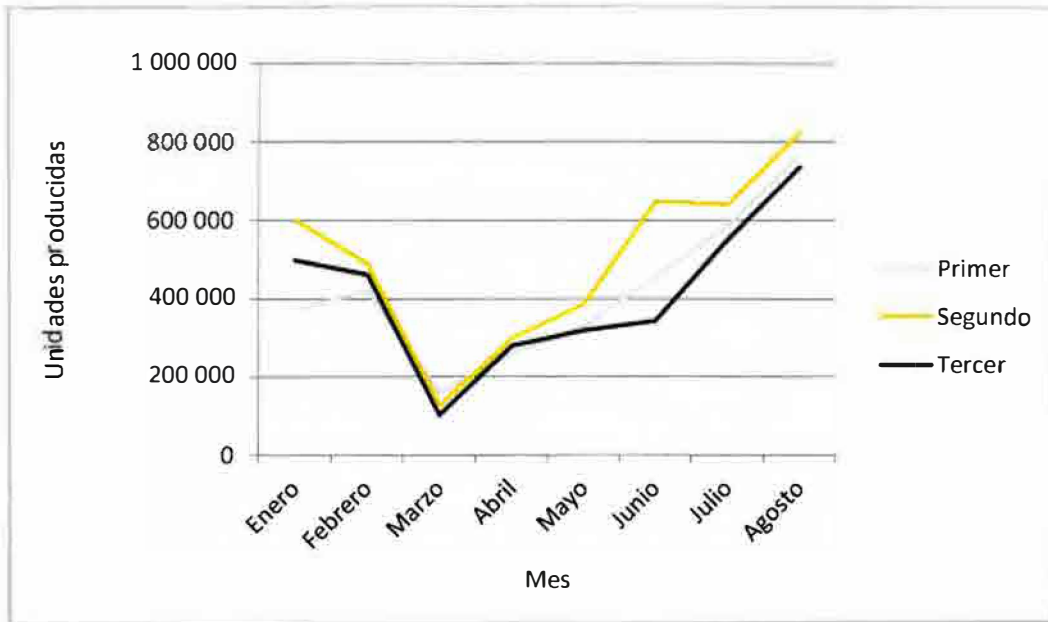
2.3 Resultados del diagnóstico

2.3.1 Evaluación de la variabilidad de los turnos en la compañía

La evaluación de la variabilidad entre turnos de trabajo en la compañía se realiza mediante un ANOVA (Análisis de Varianza), en el cual se tiene como insumo los datos de producción de los turnos de trabajo para cada mes desde enero hasta agosto del año 2015.

La aplicación del ANOVA tiene como fin evaluar la equivalencia probabilística entre los tres turnos de trabajo, para así identificar el comportamiento entre estos y simplificar el estudio a un único grupo muestral, como base para generalizar el problema en los turnos restantes. Por ello, se recolecta la información de producción que constituye insumo del análisis, mostrado en forma gráfica a continuación.

Gráfico 1. Gráfico de volumen de producción por turno



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Luego de comprobar los supuestos de homocedasticidad, normalidad e independencia (Apéndice 6) requeridos por el análisis, se procede a plantear las hipótesis y realizar el ANOVA, del cual se obtienen los siguientes datos:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$$

$$H_1: \text{al menos una desigual}$$

Cabe destacar, que se utiliza un nivel de significancia de 5%, puesto que al elegir un nivel de confianza de 95%, se asegura que el valor brindado se encuentra entre dos desviaciones de la distribución normal, haciendo que este intervalo sea lo suficientemente amplio para obtener resultados positivos y a su vez discriminante en cuanto a la veracidad de los datos obtenidos.

Cuadro 9. Análisis de varianza entre turnos de producción

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	4,14362E+14	2,07181E+14	0,51	0,610
Error	21	8,60686E+15	4,09850E+14		
Total	23	9,02122E+15			

En el cuadro anterior, se observa que a un 95% de confianza no hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula, por lo que se establece que las varianzas de los turnos de producción son estadísticamente iguales. Por ende, se infiere que los tres turnos son estadísticamente equivalentes y el hecho de trabajar sobre los datos del primer turno permite generalizar el comportamiento de los restantes (segundo y tercero) en la compañía.

2.3.2 Caracterización de procesos de producción, reabastecimiento y manejo de inventarios

Con el objetivo de comprender cada uno de los procesos que se presentan en la justificación del problema, se procede a realizar una caracterización de estos, mediante el uso de entrevistas y los diagramas de flujo (Apéndice 7), donde se muestran las actividades involucradas. De la problemática se establece la interacción de tres procesos: la producción, el manejo de inventarios y el reabastecimiento, mismos que se detallan a continuación.

a. Producción

1. Ingreso de orden

Tal como se indica en la sección anterior, el proceso de producción es sustantivo en la organización y en la planta de Costa Rica se compone de dos grandes áreas: conectores y cables. Como se menciona en el alcance, este proyecto se centra en el área de producción de conectores, que se configura como la principal familia de productos de Samtec, pues en el 2015 representó el 97% del volumen de producción de la planta en Costa Rica; posicionándola en el mercado como uno de los líderes de dicho segmento.

Este proceso inicia con el ingreso de órdenes, estas pueden ser introducidas por el Departamento de Ventas o por los planificadores de la demanda. Cabe destacar que, en ambos casos, al crear la orden de producción el sistema agrega el porcentaje de desecho estimado de acuerdo con las materias primas requeridas y selecciona la planta en la que va a ser producida la orden.

2. Planificación de la producción por supervisores

Una vez ingresadas las órdenes, son categorizadas en el cuadro de mando del sistema de información de acuerdo con la fecha de manufactura. En este módulo cada supervisor de la producción asigna las órdenes a las máquinas utilizando como criterio el tiempo disponible por máquina, la proximidad de la fecha de entrega, las características de los productos y la similitud de las materias primas; esto para minimizar el tiempo de configuración de la máquina. Por tanto, la planificación de la producción responde al criterio del supervisor en cada uno de los turnos.

La ventana de planificación que utiliza Samtec es de trece días; sin embargo, los supervisores pueden producir órdenes que se encuentren fuera de dicho límite. Este escenario es poco deseable debido a que la empresa no cuenta con una bodega destinada para almacenar los productos "customer", por lo que se ven forzados a almacenarlos de manera temporal en los estantes de producto en proceso.

3. Producción en centros de trabajo

A su vez, los supervisores tienen a su cargo uno o varios centros de trabajo, que corresponden a conglomerados de operaciones establecidos por la afinidad de los procesos productivos que incluyen, o el tipo de producto que realizan. Dependiendo de las características del producto y de las inspecciones que requiera, es producido y revisado en uno o más centros de trabajos.

b. Reabastecimiento

Como insumo vital para el proceso productivo, se encuentra el proceso de reabastecimiento. En él participan actores clave tales como: los planificadores de la demanda, quienes tienen asignadas las diferentes categorías de materias primas (pines, pines X, *bodies*, sub-ensambles,

material de empaque, entre otros) y se encargan de realizar los pedidos de cada ítem de acuerdo con los requerimientos de material.

Para realizar los pedidos, los planeadores revisan los requerimientos de material registrados en el MRP del sistema para los siguientes meses e identifican los ítems que presentarán un nivel menor al establecido. Para ello la política de reabastecimiento establece que el punto de re-orden para cada materia prima debe ser calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Promedio de requerimientos de 3 meses} + \text{Requerimientos del siguiente mes} (1 + 42\%) \quad (4)$$

Resultando en un punto de re-orden equivalente a 2,42 meses de inventario para cada ítem, calculado a partir de la fórmula mostrada. Además, el tamaño del pedido responde a la categoría de la materia prima (A, B, C o D) y consiste en la suma de los requerimientos de los siguientes 90 días⁶.

Los planificadores de la demanda también tienen la potestad de realizar pedidos por cantidades mayores a la mencionada, esto con el fin de obtener descuentos por cantidad o convenios de almacenamiento con el proveedor. De esta forma se identifica que el proceso de reabastecimiento está estrechamente ligado al criterio de cada planificador.

c. Manejo de inventarios (transferencias)

Finalmente, el proceso de apoyo que permite la continuidad del proceso de producción es el de manejo de inventarios. Éste se encarga, entre otras funciones logísticas, de suplir las necesidades de materias primas que tiene producción por medio de las transferencias de material a los *WIP cages*.

Las transferencias de material se realizan en cada turno y consisten en tres entregas, una por cada familia de materia prima, que abastecen los *WIP cages* con los requerimientos de material para producir en el periodo de siete días. Esta modalidad le permite a Samtec suplir el proceso de producción en cada turno, de manera que se tomen en cuenta los requerimientos de órdenes nuevas que deban ser producidas dentro del término de una semana.

De esta forma, el *WIP cage* funge como un almacenamiento temporal que acerca las materias primas a cada área de producción, dada la lejanía de estas respecto a la bodega principal. Una vez en el *WIP cage*, los materiales son asignados a las órdenes de producción y transportados a los distintos estantes de producto en proceso dentro de cada centro de trabajo.

Las transferencias tienen distintos tiempos de aprovisionamiento dependiendo del material transportado, debido a las características de peso, acomodo y dimensiones de los mismos, esto es detallado con más profundidad en el apartado 2.3.4.

Adicional a las transferencias, se presentan los pedidos extra de material por medio de correos electrónicos al inventario central, debido a que los supervisores colocan órdenes fuera de la ventana de tiempo contemplada en la transferencia, por lo que las materias primas no se encuentran disponibles en el *WIP cage*.

⁶ En algunos productos se pide para 30 o 60 días, dependiendo del convenio con el proveedor.

2.3.3 Caracterización de productos

Actualmente, en la planta de Costa Rica se maneja una cartera de aproximadamente diez mil productos, los cuales se encuentran clasificados en setenta y cinco familias distintas; luego de establecer los productos por producir en el país, y realizar un análisis de Pareto según el volumen de producción, se obtiene la siguiente clasificación:

- Familias A: 21
- Familia B: 17
- Familias C: 37

Para seleccionar las familias A, se utiliza únicamente el criterio de volumen de producción, debido a que los mayores costos se dan por las series que más producción generan, llámese costos laborales, por sobre asignación de material, entre otros.

Esto fue determinado a partir de un ABC de familias que caracteriza como A las familias que representan hasta el 81% del volumen de producción, como B a las que constituyen del 81% al 95% y como C a las restantes hasta llegar al 100%. Así se obtiene que el 28% de las familias representan el 81% del volumen de producción, cumpliendo el principio de Pareto.

Luego de realizar una comparación entre los productos se establece que la mayoría de los conectores, área donde se enfoca el proyecto, se encuentran compuestos por: *bodíes*, pines, opciones y material de empaque. A su vez, los conectores tienen la posibilidad de procesarse en cuatro procesos distintos (inserción automatizada, inserción manual, opciones secundarias e inspección), todos los productos deben procesarse en inserción, sin embargo, la naturaleza de la orden delimita por cuales de los otros procesos deberá transitar, para su posterior tráfico o almacenamiento.

2.3.4 Caracterización de tipo de órdenes

Para realizar la caracterización de los tipos de órdenes, se efectúa un análisis probabilístico del volumen de producción, para así establecer cuál tipo de orden es el más solicitado en la compañía y enfocar un posterior diseño en los pocos vitales que ayuden a mejorar los procesos de producción.

En Samtec se identifican dos tipos de órdenes denominadas por Chopra & Meindl (2008) como *make-to-stock* y *make-to-order*, por lo que presentan un modelo mixto de producción. La primera, como su nombre lo indica, está destinada a ser almacenada posterior al proceso productivo, en la organización este tipo de órdenes se denominan “línea cero” y corresponden a sub-ensambles que son utilizados para procesos de transformación posteriores, llamados “segundas opciones (2nd Ops por sus siglas en inglés)” en Costa Rica u otras plantas de Samtec; o productos terminados que se mantienen en inventario debido al crecimiento de ventas⁷ que han presentado.

El segundo tipo de orden se produce bajo el esquema de producción *pull*, “basándose en la demanda actual o en órdenes del cliente directamente” (Gupta & Benjaafar, 2000). En Samtec este tipo de orden se denomina “*customer*” y se refiere a aquellos productos terminados que se

⁷ El Departamento de Ventas ubicado en New Albany, EEUU, envía la directriz indicando cuáles productos se deben mantener en *stock* y la cantidad que debe mantenerse almacenada.

envían directamente al cliente, es decir, no son almacenadas al culminar el proceso productivo. Estas presentan dos comportamientos de la demanda distintos, pues pueden responder a contratos a largo plazo con los clientes, escenario bajo el cual se conoce la demanda; o las órdenes de compra que ingresan diariamente en el sistema y cuentan con tiempos de aprovisionamiento menores a una semana, es decir, tienen asociada una alta incertidumbre de la demanda.

Cuadro 10. Análisis de órdenes según volumen de producción

Tipo de orden	Volumen de producción	Porcentaje	Cantidad de órdenes	Porcentaje
<i>make-to-stock</i>	1 082 088 368	98%	14 161	33%
<i>make-to-order</i>	19 355 462	2%	28 554	67%
TOTAL	1 101 443 830	100%	42 715	100%

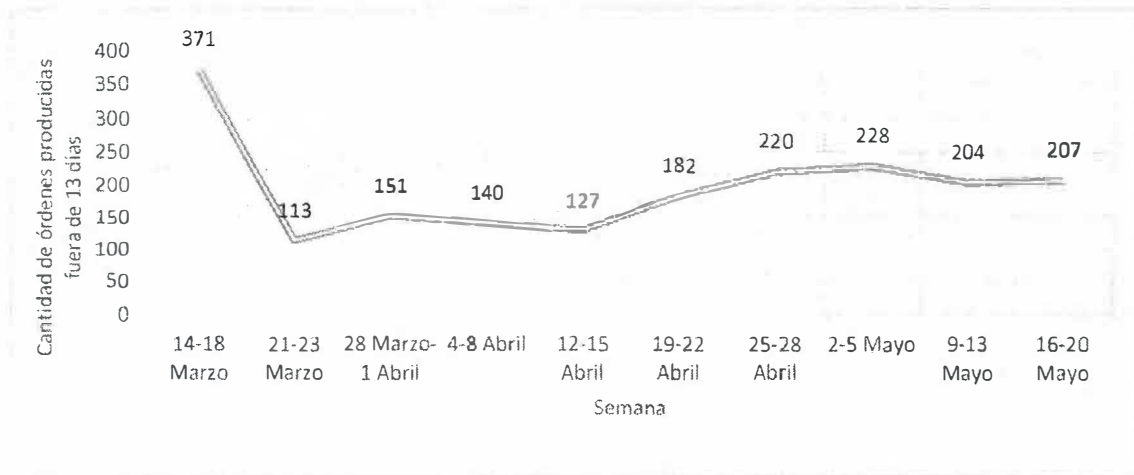
Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

A través del análisis del volumen de producción del periodo 2015, se obtiene que el 98% de lo producido corresponde a órdenes tipo *make-to-stock*, mientras que el 2% restante se refiere a órdenes *make-to-order*. Ahora bien, en términos de cantidad de órdenes, la relación cambia a 67% contra 33% respectivamente. Dentro de este aspecto es importante destacar que el volumen producción generado por órdenes *scarlet* en 2015 fue menor del 1% y de acuerdo a la prueba de significancia que se realiza se determina a un 95% de confianza que el impacto de este tipo de órdenes no afecta de manera significativa la incertidumbre de la demanda (Apéndice 8).

2.3.5 Estudio de los periodos de anticipación de la producción *Run-Aheads*

Debido a que en Samtec Costa Rica no existe una bodega de producto terminado, se procura alinear la producción dentro de una ventana de trece días, dando prioridad a las fechas más cercanas. Sin embargo, a través del estudio llevado a cabo de marzo a mayo 2016 de la incidencia de órdenes fuera del periodo de trece días, se determina que los supervisores no se apegan a la venta estipulada y adelantan órdenes, esto se muestra en el gráfico a continuación.

Gráfico 2. Cantidad de órdenes producidas fuera de la ventana de 13 días

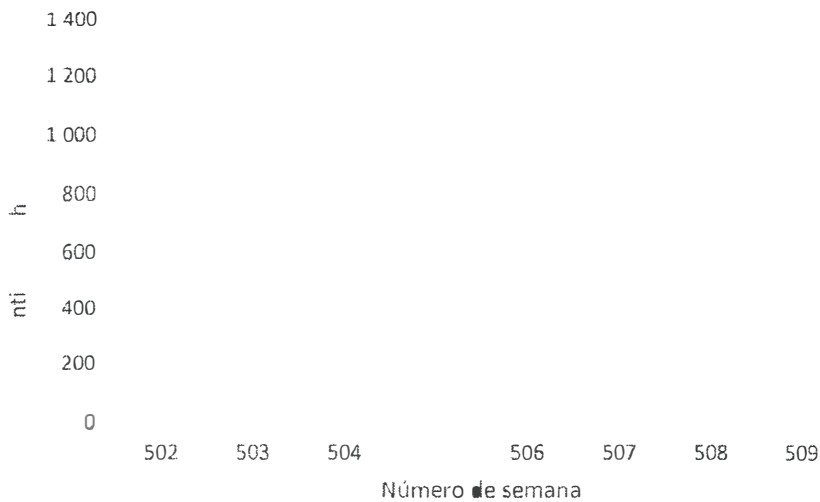


Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Como se aprecia en el gráfico 2, se presenta una tendencia creciente en las últimas seis semanas muestreadas y se determina que este fenómeno repercute de manera negativa en los procesos de post-producción (inspección final y empaque). Pues consume aproximadamente el 50% de la capacidad de procesamiento de las operaciones, en órdenes que no son prioritarias, además de requerir espacio extra de almacenamiento que dichos procesos no poseen. Esta situación deriva en que se coloquen tarimas con producto terminado en diferentes zonas del piso de producción y se eleva así el riesgo de pérdida o el deterioro de la orden. Como consecuencia de lo anterior, se ve afectada la métrica de *On-Time-Delivery* (OTD) de la planta, pues no se logran despachar todos los pedidos del día a tiempo.

Sumado a lo anterior, se realiza un análisis de la incidencia de las horas extra en los centros de trabajo que presentan órdenes de periodos más allá de la ventana de los trece días, logrando identificar que existe un alto consumo de capacidad extra que deriva de la mala planificación de la producción. Pues el hecho de adelantar órdenes de periodos lejanos, se visualiza como un síntoma de sobrecapacidad instalada; sin embargo, al requerir horas extra para poder completar los pedidos del día, se evidencia un deficiente manejo de la calendarización de órdenes, a continuación se muestra un detalle de las horas extra registradas en los centros de trabajo.

Gráfico 3. Cantidad de horas extra de centros de trabajo



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

2.3.6 Determinación de la existencia de una sistemática para planificación de la producción

A través de la entrevista a los supervisores, y del estudio de las funcionalidades del sistema de información para la asignación de órdenes, con el cual se realiza la planificación de la producción, se determina que no existe una sistemática estandarizada para ello, lo cual se ve reflejado en los datos mostrados en el apartado anterior.

Este sistema de información denominado “*Dashboard*” permite que el supervisor establezca los parámetros para asignar las órdenes en las máquinas o las celdas de producción. Sin embargo, carece de una lógica de secuenciación que defina la forma óptima de asignación, dejándola a criterio del supervisor.

No obstante, pese a no contar con una sistemática definida, sí se identifican criterios comunes en la asignación de órdenes, como lo son: la fecha más cercana, el tiempo de configuración de la máquina y la similitud de materias primas.

Sin embargo, la ausencia de una sistemática deriva en cambios sustanciales en el patrón de producción a lo largo de cada turno, pues se ha observado que los turnos II y III priorizan las órdenes con mayor volumen, dejando de lado el criterio de la proximidad de la fecha de entrega, generando así una acumulación de órdenes con fechas adelantadas en los procesos de post-producción. De acuerdo con el estudio mencionado en el apartado 2.3.5, este fenómeno consume el 50% de la capacidad del proceso de inspección final, provocando que varias órdenes “del día” no puedan ser enviadas. Lo anterior genera que de enero a junio del 2016, Samtec Costa Rica presente un indicador de OTD⁸ que ha variado del 75% al 100%, teniendo la mayor cantidad de

⁸ *On-time-delivery*: este indicador se refiere a la cantidad de órdenes que se entregan a tiempo al cliente.

registros diarios de 93,75% a 98,25% siendo solo cinco los casos en los que logra el 100% de OTD.

2.3.7 Análisis del sistema de información

El sistema de información utilizado para coordinar los procesos relacionados con la producción se denomina *Shop Floor Control* (SFC). Este sistema es de autoría interna y consta de varios módulos que permiten desde el pedido de materias primas a bodega, hasta la asignación de los órdenes de producción, contemplando además los reportes, la visualización de requerimientos de materias primas para órdenes, entre otras.

Para el caso particular de este estudio, el módulo de mayor relevancia dentro del SFC es el *Dashboard* que, como se menciona en el apartado anterior, tiene como objetivo el control de la producción por parte de los supervisores mediante la asignación de órdenes en cada máquina o estación de trabajo. Este módulo permite la creación de conglomerados de operaciones, que usualmente corresponden a centros de trabajo o líneas de producción específicas dentro de un centro de trabajo⁹.

Por lo tanto, cada supervisor cuenta con una visualización distinta del *Dashboard* que le permite gestionar los procesos que se encuentran a su cargo. Sin embargo, el módulo tiene varias limitaciones en lo que respecta a la planificación y el control de la producción, pues no toma en consideración la capacidad real de los procesos ni los operarios, sino que tiene una capacidad fija por proceso en términos de horas que puede producir, calculado como capacidad de la máquina produciendo a tiempo completo. Esto genera que, en niveles superiores de planificación se ingresen órdenes en las plantas basadas en una capacidad instalada que no es real.

Asimismo, el módulo tampoco cuenta con una lógica de asignación de órdenes que permita una secuenciación óptima, sino que posee una opción que permite desplegar las órdenes por varios criterios, ya sea la fecha de inicio de la manufactura, la fecha de entrega, el número de parte, entre otras. Y la asignación de la orden a cada máquina o estación debe realizarla el supervisor en el orden que considere más apropiado. Esto deriva en diferencias significativas en los criterios de planificación, dada la subjetividad del proceso.

Finalmente, el *Dashboard* tampoco despliega en su interface principal las unidades o las horas que faltan por producir de cada orden, sino que el supervisor debe ingresar dentro de cada orden para tener el dato en tiempo real, sumando complejidad al proceso de planificación.

2.3.8 Determinación de la incidencia de los *over issues*

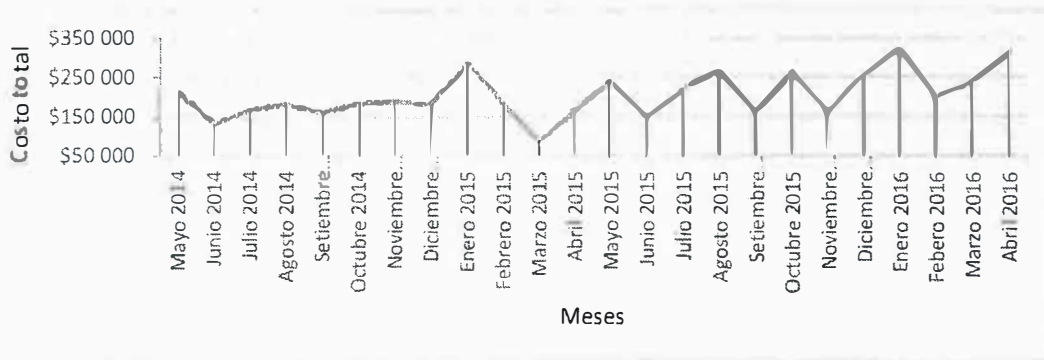
Los *over issues* se refieren a una sobreasignación de material a una orden, estos pueden atribuirse a problemas de calidad que requieran producir de nuevo una parte o el total de la orden, o a que se sobrepase el porcentaje de desperdicio establecido para ésta.

Para evaluar el impacto de los *over issues* en el área de conectores, se realiza un análisis del costo que han representado durante el periodo de mayo 2014 a abril 2016, obteniendo un costo total de \$4 948 112 con un valor mensual promedio de \$206 171 y una desviación estándar de \$58 321.

⁹ Esto se presenta en el caso de las líneas que trabajan como celdas *Lean*.

De igual forma, en el siguiente gráfico se muestra la tendencia del comportamiento mensual de los *over issues*, obteniendo una tendencia creciente con una alta variabilidad.

Gráfico 4. Histórico de *over issues*



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Asimismo, de los veinticinco centros de trabajo que han presentado *over issues* en el periodo analizado, ocho contribuyen al 80% del costo total y cuatro de ellos son de *automation*, por lo que se encuentran dentro del alcance del proyecto.

La alta incidencia de *over issues* genera un trastorno en el proceso de reabastecimiento, pues la planificación de requerimientos de materias primas no contempla los *over issues* en la cuantificación de requerimientos de las órdenes futuras; esto deriva en un consumo más acelerado del inventario y los consecuentes desabastos de materias primas. Sin embargo, los altos niveles de inventario que se manejan y el escaso control sobre el reabastecimiento permiten diluir el verdadero impacto que podría implicar la presencia de *over issues*.

Otro proceso que se ve afectado a raíz de los *over issues* es el de producción, pues la solicitud de la asignación extra de materias primas genera tiempos ociosos en los operarios, mientras esperan la entrega del material para concluir las órdenes.

2.3.9 Evaluación de la incidencia de los correos como medio para solicitar material extra

Como se menciona anteriormente, los *WIP cages* son abastecidos con los requerimientos de materias primas para siete días de producción, por lo tanto, cuando un supervisor va a procesar una orden con una fecha de inicio mayor a dicho periodo, se solicitan las materias primas a través de correos al inventario central.

Al consultar a los gerentes de inventario y calidad e ingeniería, se concluye que este tipo de solicitudes no deben ser comunes, sino que se deberían limitar a órdenes *scarlet* u órdenes *customer* con cambios repentinos de fecha de entrega. Sin embargo, a partir del análisis de incidencia de los correos realizado de setiembre 2015 a marzo 2016, se obtiene un promedio de siete correos por turno.

Lo anterior deriva en la presencia de dos costos de oportunidad, uno por el tiempo de procesamiento de la orden por parte del personal de inventario y el segundo debido a la espera de los operarios en el piso de producción. Por medio de un estudio de tiempos se determina que

el tiempo promedio de procesamiento del pedido es de veinticuatro minutos y mediante el registro de la hora de envío del correo con la solicitud y el correo de confirmación de la entrega, se obtiene que el tiempo promedio de espera en producción es de cuarenta y cinco minutos; ambos costos sumados generan un total anual de \$61 434¹⁰ lo cual representa un 10% del costo anual de la planilla de inventario.

De lo cual, se reafirma la deficiencia en la planificación de la producción que se realiza actualmente, ya que se correlaciona con lo presentado en el apartado 2.3.5, donde el adelantamiento de las órdenes desmejora el cumplimiento del OTD e incluso incrementa el riesgo de extravío de los productos.

2.3.10 Evaluación de la estrategia de reabastecimiento

Para evaluar la estrategia de reabastecimiento se realiza una caracterización de las materias primas de acuerdo con los proveedores y los tiempos de aprovisionamiento; identificando dieciocho proveedores de *bodies*¹¹, de los cuales ocho son internos y catorce proveedores de *reels*¹², cuatro de ellos internos. Cabe destacar que esta información es confidencial, por lo que no se utilizan los nombres reales de los proveedores en las siguientes etapas.

En lo relativo a tiempos de aprovisionamiento, se encuentra que el 80% de los *bodies* tardan de cinco a quince días en arribar a la bodega, mientras que los *reels* cuentan con tiempos más largos que comprenden periodos de veinte a treinta y cinco días. Este comportamiento permite identificar una primera desvinculación con el cálculo del ROP, pues éste consiste, como se muestra en la siguiente ecuación, en 2,42 meses de inventario global almacenado cuando en realidad los tiempos de aprovisionamiento permiten un nivel menor de re-orden.

$$ROP = (Req \text{ de } 3 \text{ meses previos}) + (Req \text{ del siguiente mes} \times 1.42) \quad (5)$$

Donde:

1. *Req de 3 meses previos*: Promedio de los requerimientos de los 3 meses anteriores
2. *Req del siguiente mes* : Requerimientos del siguiente mes

Para ejemplificar lo anterior se realiza un estudio del ROP con demanda y tiempo de aprovisionamiento variables, utilizando la demanda para Costa Rica de los cinco productos de mayor volumen de producción de cada una de las primeras seis familias A, y teniendo como parámetro el tiempo de aprovisionamiento de *bodies*; con esto se obtiene que, con una tasa de servicio de 99,9%, Samtec debería utilizar un ROP promedio de veinte días para las familias A.

Cuadro 11. Resultados del muestreo de tiempos de aprovisionamiento

Familias muestreadas	FTSH, QSE, CLP, CLT, BSH, QSH
Tamaño de muestra total	30 productos
ROP mínimo obtenido	3 días
ROP promedio	20 días

¹⁰ Para este cálculo se utiliza el costo laboral por hora de \$8 20, que corresponde al estándar de Samtec para evaluar los costos por mano de obra.

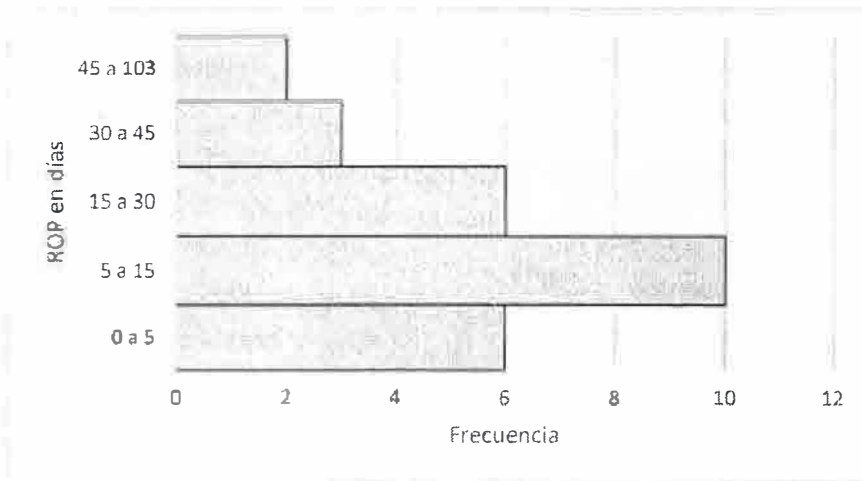
¹¹ Los *bodies* corresponden al cuerpo de resina que alberga los pines.

¹² Los *reels* son carruchas que contienen los pines que serán insertados dentro de los *bodies*.

ROP máximo 103 días

Sumado a la información mostrada en el cuadro anterior, se realiza el siguiente histograma de frecuencias para determinar cuáles tiempos de aprovisionamiento obtienen una mayor frecuencia, dando como resultado que la mayoría de los casos muestreados se ubican entre los seis y los quince días de tiempo de aprovisionamiento.

Gráfico 5. Histograma de tiempos de aprovisionamiento muestreados



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

De lo anterior se concluye, que en promedio Samtec está almacenando más de cincuenta días inventario para los productos A, esto repercute en aspectos como la utilización del espacio de almacenamiento y el costo de manejo del inventario.

Asimismo, al estudiar el BOM para los productos se determina que éste se compone de varios niveles, pues un producto final puede estar conformado por un sub-ensamble y opciones secundarias, o un sub-ensamble puede ser considerado como producto final per se, junto con otros componentes.

Del estudio realizado se concluye que Samtec utiliza puntos de reorden más altos que el ROP promedio estimado en el estudio, por lo que está almacenando un sobre inventario que no es congruente con los tiempos de reaprovisionamiento de sus proveedores ni responde a los requerimientos de su nivel de servicio, pues podría cubrir el 99,9% de las órdenes con puntos de reorden menores. Lo anterior implica costos de acarreo de inventario mayores pues este costo es proporcional al valor del inventario y evidencia que la compañía podría disminuir los ROPs para sus familias A sin repercutir de manera negativa en la métrica de OTD.

2.3.11 Evaluación de los porcentajes de desecho estimados versus los reales

Actualmente, los porcentajes de desecho de cada producto responden a un porcentaje fijo para cada materia prima, que fue calculado a partir del desperdicio generado en el lote "piloto",

realizado previo al lanzamiento de cada producto al mercado. De manera tal, que el porcentaje de desecho no responde al comportamiento real del proceso productivo, sino a un estimado inicial. Por ello, se procede a realizar un análisis de los porcentajes de desecho estimados versus los reales con el fin de estudiar la diferencia entre ambos criterios y el valor promedio para los casos de sub-estimación y sobre-estimación para un periodo de cinco meses, partiendo de enero hasta mayo del 2016.

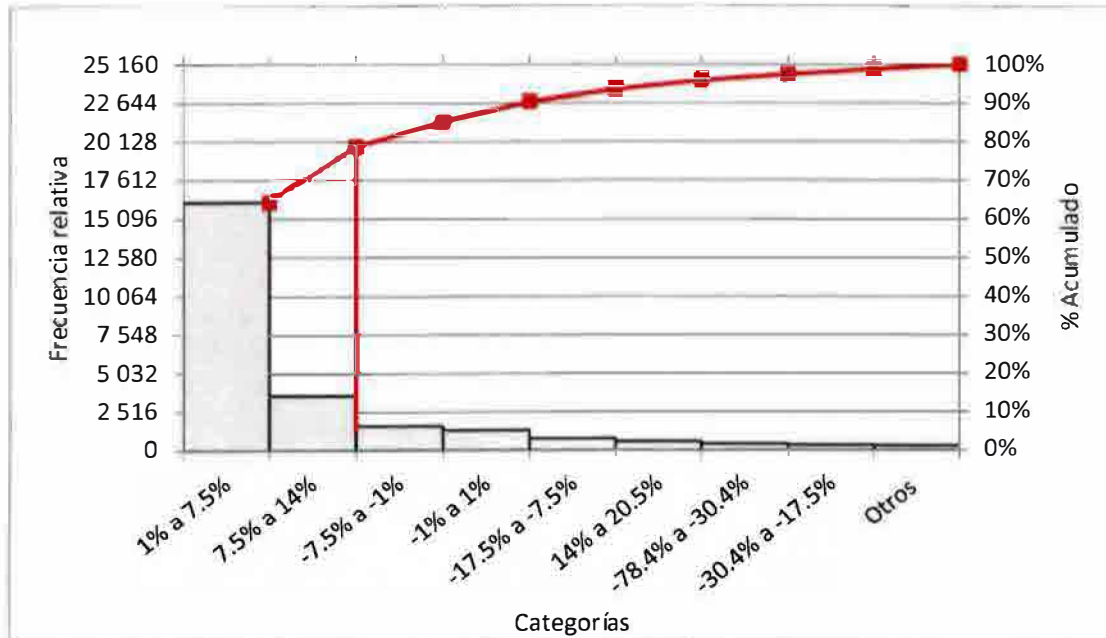
Cuadro 12. Resultados generales comparación *scrap* estimado versus real

Cantidad de:		Diferencia promedio
Estimaciones correctas	201	0.00%
Sub-estimaciones	3 938	-32,32%
Sobre-estimaciones	21 013	4,4%

Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Se deduce que el escenario que sucede con mayor frecuencia, es la sobre-estimación de los desechos; con una diferencia promedio de 4,4%. No obstante, se debe resaltar la importancia de las subestimaciones, ya que si bien ocurrió únicamente en el 15% de los casos estudiados, el valor del *scrap* teórico resultó ser menor en un 32,32% que el porcentaje de *scrap* real.

Gráfico 6. Diagrama de Pareto para diferencia entre desechos estándar y real



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

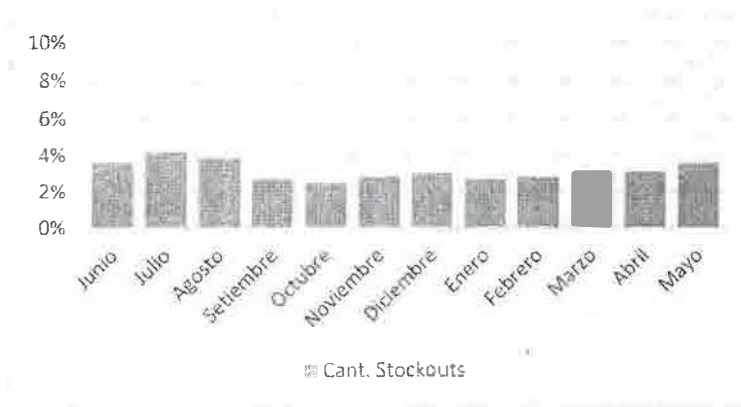
Del gráfico anterior, se concluye que la mayoría de las diferencias ocurren en sobre-estimaciones con valores que oscilan entre el 1% y el 14% lo cual puede explicar parte del exceso de inventario en la compañía, máxime si ocurre en productos con mayor recurrencia en las órdenes de compra.

Del análisis realizado en este apartado y en el de *over issues* se destacan dos hallazgos relevantes, el primero consiste en que la sobrestimación del porcentaje de desperdicio deriva en un cálculo de requerimientos sobredimensionados, que conlleva a un engrosamiento del inventario. El segundo radica en que si bien parte de los *over issues* pueden estar siendo generados por los altos valores encontrados en las subestimaciones, su frecuencia de aparición es relativamente baja, por lo que no se podría afirmar que todos ellos son producto de esta situación; lo cual permite inferir que las condiciones propias del sistema al registrar el desperdicio en cada proceso por parte de cada operario, permiten que se diluya el verdadero comportamiento del *scrap*; pues resulta incongruente la tendencia creciente de los *over issues* contra un comportamiento con una clara inclinación hacia la sobrestimación del desperdicio.

2.3.12 Determinación de las tendencias de los desabastos de materia prima

Con el fin de determinar la incidencia de los desabastos de materia prima, se realiza un estudio comparativo entre la cantidad de órdenes que debieron ser re-agendadas debido a la falta de uno o más materiales, contra la cantidad total de órdenes producidas cada mes. De esto se obtiene un comportamiento que no evidencia una tendencia creciente, pues en los doce meses muestreados se mantiene entre 3-4%, con un promedio de 3,26%.

Gráfico 7. Porcentaje de órdenes con desabastos de materia prima



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Tal como se esperaba, por lo previsto en el apartado de *over issues*, los desabastos de materia prima no tienen una alta incidencia y esto puede deberse a los altos niveles de inventario que almacenan. Sin embargo, sí tienen un impacto directo en la métrica de OTD de la compañía, pues implica la postergación de las fechas de entrega al cliente.

2.3.13 Identificación de los materiales obsoletos y los costos asociados

Por la naturaleza de los productos de la compañía, las materias primas no poseen fecha de caducidad, sin embargo, son considerados obsoletos aquellos materiales que se mantienen por más de tres años en inventario.

Tomando en consideración que los materiales obsoletos requieren del espacio en la bodega y el recurso humano para su correcta conservación y custodia, se estudian los materiales que se localizan en este escenario para el año 2015.

Por ello, se realiza una contabilización de los *parcels* que poseen fechas inferiores o iguales al 2012; de donde se obtiene que el 4,67% de los *parcels* de materiales son considerados obsoletos para ese año. Por su parte, al realizar la misma evaluación en el año 2016 la cantidad de *parcels* obsoletos decrece a un 1,3%.

Al estudiar los costos y el espacio requerido por estas materias primas en el almacén para el año 2016; se obtiene que el costo en materias primas obsoletas es de \$89 547 y un espacio requerido equivalente a 5,27 m³, es decir un 0,98% de los 540 m³ considerados como espacio útil en bodega.

De lo anterior, se establece que la obsolescencia de los materiales no es un riesgo para la compañía, puesto a que los porcentajes obtenidos son relativamente bajos y por ende aceptables en un modelo de negocio donde existen incertidumbres asociadas.

2.3.14 Evaluación de la gestión del inventario

Para evaluar la gestión del inventario en términos de la capacidad de respuesta se elige utilizar la metodología de producción esbelta seleccionada en el marco teórico, dado que la empresa tiene como objetivo la implementación paulatina de la misma, aunque el alcance actualmente se limita al área de producción.

Para ello se mapean las actividades de transferencias de material y se identifican las mudas o actividades que no agregan valor como transportes, reprocesos, esperas, inventario, sobreprocesos y movimientos. Por la naturaleza de la operación, que es de almacenamiento del inventario, se procede a resumir la clasificación de las tareas sólo en dos mudas: transportes y esperas.

Las actividades de transferencia derivan en una muda de inventario, pues el objetivo de estas es suplir los *WIP cages* con el material necesario para cubrir siete días de producción de manera que se pueda acercar el material a los centros de trabajo, dada la lejanía de estos con el inventario central. Las transferencias son entregas de material diferenciadas para cada uno de los cuatro *WIP cages*¹³ y a su vez se subdividen por tipo de materia prima, la de *bodies* y sub-ensambles, y la de *reels*.

Para analizar la capacidad de respuesta de la logística interna se realizan estudios de tiempos para determinar los tiempos de ciclo de cada actividad, incluyendo los de atención de los pedidos extra vía correo, a continuación se presenta la información recolectada.

¹³ Debido al alcance de este proyecto, sólo se toman en cuenta las transferencias al *WIP Cage de Automation*.

Cuadro 13. Tiempos de aprovisionamiento de transferencias

Actividad	Tiempo de ciclo	Porcentaje de tiempo en transportes	Porcentaje de tiempo en esperas
Transferencia de <i>bodies</i> y sub-ensambles	65,73 min	25%	7%
Transferencia de <i>reels</i>	94,64 min	12%	13%
Pedidos extra por correo	23,66 min	20%	21%

Del estudio realizado y en congruencia con las observaciones realizadas por los gerentes de Inventario y Calidad e Ingeniería, se determina que la capacidad de respuesta de la logística interna podría mejorarse, pues los tiempos de ciclo de más de una hora podrían retrasar el inicio de órdenes en espera del material y restan disponibilidad a los colaboradores de bodega para ocuparse de las otras actividades. Por lo tanto, se evidencia la necesidad de disminuir el tiempo invertido en actividades que no agregan valor, de manera que se pueda suplir el área de Producción con tiempos de ciclo menores, aumentando así la flexibilidad del sistema de producción.

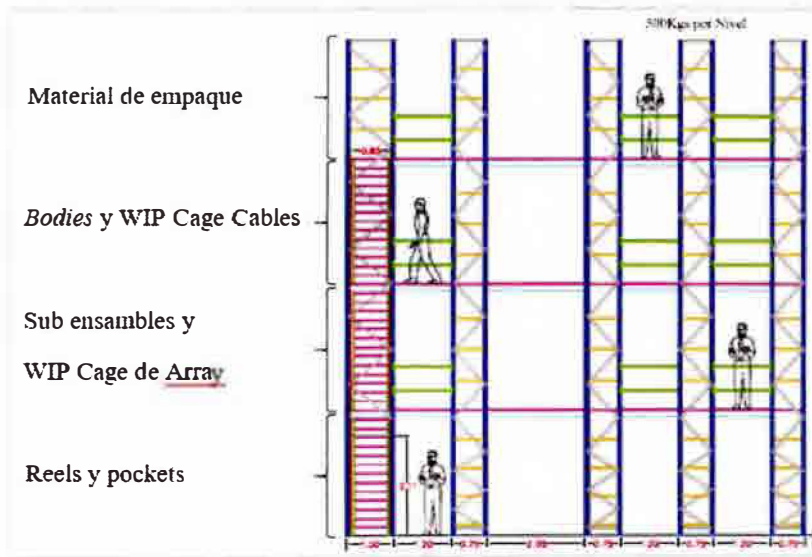
2.3.15 Análisis de la distribución de la bodega y criterios de acomodo

La bodega consta de dos secciones principales: *central inventory* y *X pins*. La primera consiste en cuatro pisos dedicados al almacenamiento de materias primas y material de empaque, además contiene el *WIP cage* de *Array* (área de conectores de la familia SEAX y SEAM fuera del alcance de este proyecto). La segunda sección está destinada a almacenar los *reels* previos al proceso de plateado de pines, razón por la cual se denominan pines X; y material de empaque final.

En la bodega de *central inventory*, se determina que los pisos se encuentran divididos de acuerdo con las materias primas que albergan. Es decir, el primer piso contiene *reels* y un pasillo destinado a *pockets*, el segundo piso almacena sub-ensambles y el *WIP cage* de *Array*, el tercer piso está dedicado a *bodies* y ocasionalmente a sub-ensambles, así como materias primas del área de Cables, finalmente, el cuarto piso alberga material de empaque¹⁴.

¹⁴ Este tipo de empaque es intermedio y corresponde a bandejas, tubos y tapones para tubos que se utilizan para transportar los productos entre los procesos, pues al cliente final se le envían empacados en cajas que protegen estos empaques intermedios.

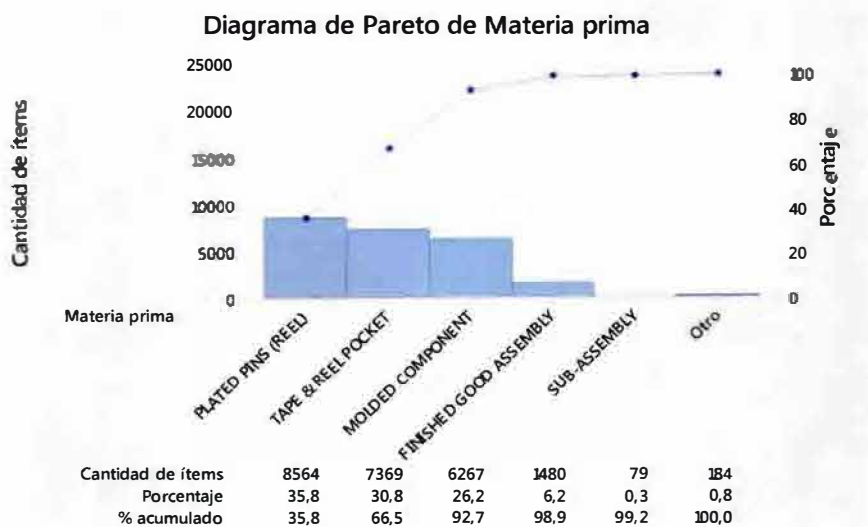
Figura 1. Distribución de material en la bodega de *central inventory*



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Al realizar un análisis de la cantidad de ítems enviados en la transferencia al *WIP cage* de *Automation* en el periodo 30/6/2015 al 5/3/2016, se identifica que las principales materias primas transferidas por esta actividad son *reels*, *pockets*, *bodies* (mostrado como *molded component*), sub-ensambles (se toman en cuenta *finished good assembly* y *sub-assembly*), tal como se aprecia en el siguiente diagrama de Pareto.

Figura 2. Diagrama de Pareto de ítems transferidos



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

2.3.16 Determinación de la rotación de las materias primas en la bodega

Con el fin de evaluar la gestión del inventario se analiza el indicador del coeficiente de rotación de inventario, utilizando el valor de las ventas basado en el costo de las piezas producidas y el valor del inventario al 21/6/2016, tal como lo muestra la siguiente ecuación.

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{\text{Ventas anuales}}{\text{AIV}^{15}} \quad (6)$$

Al realizar el estudio en el periodo comprendido entre el 1/1/2015 y el 1/1/2016 se obtienen los resultados mostrados en el siguiente cuadro, en el cual se identifica un coeficiente de rotación del inventario de 6,71, de manera que esté rota cada cincuenta y cuatro días.

Cuadro 14. Análisis de rotación de inventarios

Ventas anuales	\$ 52 574 527	Rotación del inventario
AIV (21/Junio/2016)	\$ 7 834 710	6,71

Al tomar en consideración el resultado de rotación y compararlo con el análisis realizado para los tiempos de aprovisionamiento de proveedores, se determina que los días de suministro con que cuenta Samtec son casi el doble de los que permiten los tiempos de aprovisionamiento de sus proveedores, por lo que este indicador podría ser un síntoma de un mantenimiento excesivo de materias primas con el fin de mantener un alto nivel de servicio; aunque con dicho análisis queda claro que se puede mantener una tasa de disponibilidad de un 99,9% con menos inventario.

Asimismo, se identifica que la industria de manufactura maneja indicadores de rotación de entre 5 y 10 (Chase J. , 2013), por lo que Samtec se ubica en el límite inferior del estándar de la industria; sin embargo, dado que la vida útil de los materiales es de tres años, no se considera un riesgo en términos de obsolescencia, como sí lo es en lo que respecta a la utilización del espacio de bodega.

2.3.17 Identificación de las materias primas requeridas por cada piso de producción

A partir de lo mostrado en el apartado de análisis de la distribución de la bodega, se procede a determinar el destino de las materias primas de acuerdo con los centros de trabajo a las que van dirigidas y al agrupar estas por piso de producción se visualiza el comportamiento de los requerimientos de material por área, a continuación se muestra la información recolectada.

Cuadro 15. Materias primas por piso de producción

Materia prima	Piso 1	Piso 2
Subensamble FG	74%	26%
Bodies	9%	91%
Empaques	56%	44%
Reels	0%	100%
Subensamble	93%	7%
Pockets	45%	55%

¹⁵ Average Inventory Value, AIV por sus siglas en inglés.

Materia prima	Piso 1	Piso 2
Trays	20%	80%
Tubos	18%	82%

La información mostrada evidencia que la gestión de la logística interna del inventario podría verse mejorada al tomar en consideración las distintas segregaciones de los productos de acuerdo con su destino y no limitarse al acomodo por tipo de material, pues las sesiones de transferencia para cada *WIP cage* podrían reducir los tiempos de entrega si el área de cobertura de la búsqueda de material fuera menor, escenario que se puede lograr bajo una redistribución del material.

2.3.18 Identificación de los indicadores de control en la Planificación de la Producción

Los indicadores del seguimiento y el control en los procesos desempeñan un papel importante, ya que permiten retroalimentar y ajustar las políticas de las compañías, las herramientas y por ende, contribuyen en la mejora continua de los procesos.

En Samtec Costa Rica, se identifica que se contabiliza y registra digitalmente la información de las órdenes, los procesos y los resultados de calidad constantemente desde que el material es ingresado a la bodega hasta que los productos son enviados al cliente; sin embargo, esta información no es procesada en forma de indicadores en el proceso de planificación de la producción, exceptuando el caso de aquellos relacionados directamente con el cumplimiento de órdenes, como lo es el OTD interno y externo.

Asimismo, se identifica que la gestión del recurso humano se encuentra en una base de datos separada de la de producción, por lo que no se han ligado indicadores de desempeño del personal como horas extra con resultados de desempeño de los procesos productivos. Actualmente cuentan con una iniciativa en proceso de migración y creación de indicadores interactivos en el sistema en línea Tableau. Sin embargo, como muchos de ellos no se encuentran en su versión liberada, no se califica el desempeño ni se planifica con base en ellos.

Es claro que Samtec Costa Rica recolecta información importante de sus procesos, y que la misma está disponible en distintas bases de datos y puede ser accedida por los diferentes mandos de la compañía dependiendo de su importancia, sin embargo, no se da una correcta gestión de esta información para ser traducida en decisiones que deriven en oportunidades de mejora. Por lo tanto, se concluye que en el proceso de planificación de la producción, no se mantienen indicadores de control relacionados con la capacidad extra requerida y la complejidad de las órdenes procesadas.

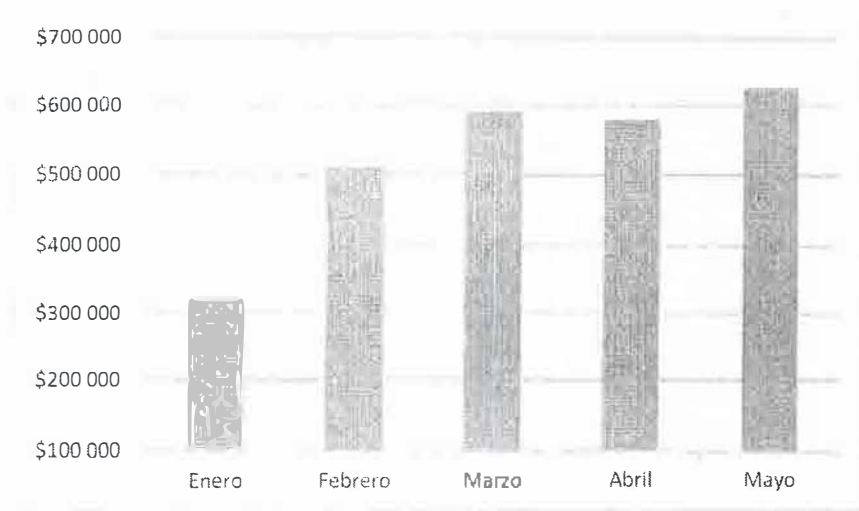
2.4 Hallazgos de diagnóstico

Con la aplicación de las herramientas seleccionadas para diagnosticar las causas de la problemática identificada en Samtec Costa Rica, se determinan una serie de hallazgos que permiten visualizar aspectos por tener en cuenta en el diseño. Primero, se determina a través de un análisis estadístico, que no existe diferencia entre los tres turnos de trabajo que se realizan en la empresa, lo cual permite seleccionar uno de los turnos para analizar los datos de interés y asegurar un comportamiento igual para los dos restantes.

Por otra parte, al analizar la estrategia de reabastecimiento, se encuentra que las políticas utilizadas para realizar el aprovisionamiento de los materiales, se ajustan al nivel de servicio que se desea ofrecer, sin embargo, contribuyen al engrosamiento innecesario del inventario, pues el estudio de *lead times* de los proveedores muestra que existe la capacidad para disminuir los niveles y mantener la capacidad de respuesta a los clientes.

En el comportamiento de los desperdicios reales de las órdenes, se identifica que los totales reportados, no son congruentes con lo indicado en la tendencia de *over issues*, en este punto, cabe destacar que existe una tendencia creciente en el costo por desperdicio de material en los procesos, a pesar de que existen sobrestimaciones en el porcentaje de desperdicio al momento de realizar el aprovisionamiento de materiales, por lo que se corrobora lo identificado en el apartado 2.3.11, donde se infiere que se podría estar dando una mala práctica en el registro del desperdicio de cada proceso, el gráfico siguiente muestra la tendencia creciente indicada.

Gráfico 8. Tendencia de costo por desperdicio de procesos para las familias A



Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Además, al realizar el estudio de distribución de las materias primas en la bodega y compararlo con los requerimientos de material en cada piso, se evidencia que al realizar un reacomodo de las ubicaciones dentro de la bodega, se pueden reducir los tiempos de las transferencias e incorporar ubicaciones dinámicas que respondan a la rotación de los ítems. En cuanto al almacén de materia prima, se identifica un espacio entre el tercer piso de la bodega y el segundo piso de producción que permite la construcción de una conexión entre ambos, de manera que se puedan reducir los tiempos de entrega de material.

En cuanto al análisis de productos obsoletos se destaca la necesidad de dar una alternativa de manejo a los productos obsoletos, de manera que se pueda aumentar el espacio disponible en la bodega, pues se encontró que no existe una política para disponer de materiales considerados obsoletos y esto contribuye a los altos niveles encontrados de inventario.

CAPÍTULO III. DISEÑO

3.1 Objetivos de diseño

3.1.1 Objetivo general

Diseñar un método que permita vincular y controlar la planificación de la producción y los suministros, con el fin de disminuir la incidencia de los pedidos extra de material y el costo por tiempos de paro en producción, reducir los niveles de inventario y aumentar la capacidad de respuesta de la bodega.

3.1.2 Objetivos específicos

- Diseñar una metodología para la planificación y el control de la producción que permita disminuir la incidencia de pedidos extra de material y el costo por tiempos muertos en producción.
- Diseñar una metodología para la definición y el control del inventario de los productos *make-to-stock* en función de los requerimientos históricos de producción, con el fin de reducir los niveles actuales de inventario.
- Establecer una metodología para el cálculo y el control del reabastecimiento de componentes¹⁶, para disminuir los niveles de inventario y aumentar la rotación de las materias primas.
- Identificar una solución que permita incrementar la capacidad de respuesta de la logística interna de abastecimiento, para disminuir los costos por tiempo de paro en producción debido a las esperas por entregas de pedidos de material extra.

3.2 Metodología de diseño

Luego de identificar los principales factores que influyen en la problemática encontrada, se plantea la metodología de diseño, ésta sirve como principal guía para el desarrollo de las actividades necesarias en el diseño de las soluciones, que permiten disminuir la incidencia de pedidos extra de material, los tiempos de paro en producción, los niveles de inventario, aumentar la capacidad de respuesta del almacén y la rotación del inventario de materias primas.

Cuadro 16. Metodología de diseño

Actividades	Herramientas	Resultados
Objetivo: Diseñar una metodología para la definición y el control del inventario de los productos <i>make-to-stock</i> en función de los requerimientos de producción, con el fin de reducir los niveles de inventario.		
Calcular los ROP de los sub-ensambles presentes en la familia A	-Fórmula de ROP	ROP's definidos

¹⁶ Entiéndase como componentes solo *bodies* y *pines*.

Cuadro 17. Metodología de diseño (continuación)

Actividades	Herramientas	Resultados
Calcular el tamaño de pedido de los sub-ensambles	-Tamaño de pedido (EOQ,OUL)	Tamaño de orden óptima por subensamble
	- <i>Query</i> para obtención de órdenes futuras	
Determinar el modelo de reaprovisionamiento de sub-ensambles que más se adapte a las políticas de la empresa	-Modelos (ROP-OUL) (EOQ-ROP) (RTP-OUL) (RTP-ROP-OUL)	Modelo de reaprovisionamiento delimitado
Diseñar un modelo que permita planificar la producción de los sub-ensambles requeridos en los productos de la familia A	-Métodos de MPS Perseguido, Nivelado y Mixto	Método establecido de planificación de producción de los sub-ensambles
Diseño de una herramienta para el cálculo y la actualización de ROPs, los inventarios de seguridad y las cantidades por producir para productos <i>make-to-stock</i>	- Métodos de reabastecimiento	- Política de reabastecimiento, ROP, OUL, y CSL para los sub-ensambles de las familias A
	- Métodos de cálculo de ROP	
Establecer el procedimiento para la revisión periódica de los ROPs	- Diagrama de flujo	Procedimiento para la revisión de ROPs de productos <i>make-to-stock</i>
Objetivo: Establecer una metodología para el cálculo y el control de los ROPs de los componentes, para disminuir los niveles de inventario		
Calcular el ROP de los <i>bodies</i> y pines	- Fórmula de ROP	ROPs calculados
	- Demanda histórica	
Establecer el procedimiento para la revisión periódica de los ROPs	- Diagrama de flujo	Procedimiento para la revisión de ROPs de componentes
Objetivo: Diseñar una metodología para la planificación y el control de producción que permita disminuir la incidencia de pedidos extra de material y el costo por tiempos muertos en producción		
Diseño de la función de complejidad del producto	- Regresión lineal	- Función de complejidad por posiciones
Diseño de la distribución de complejidad y utilización por turno	- Análisis de capacidad disponible	- Distribución de complejidad y utilización por turno
	- Entrevistas a supervisores	

Cuadro 18. Metodología de diseño (continuación)

Actividades	Herramientas	Resultados
Diseñar la interfaz de la herramienta para planificación de la producción	- Programación en C# o Java	- Herramienta de planificación de la producción
Diseñar la lógica de integración de la metodología con el sistema PRISM	- Diagrama de flujo - Mapa de relaciones de tablas de la base de datos	- Lógica de integración
Objetivo: Diseñar una solución que permita incrementar la capacidad de respuesta de la logística interna de abastecimiento, para disminuir los costos por tiempo de paro en producción debido a la espera de la entrega de pedidos y aumentar la rotación de las materias primas		
Identificación de una solución que permita disminuir los tiempos de transporte entre la bodega y el segundo piso de producción	- Entrevista al Gerente de Facilidades - Consulta a proveedor de los racks de la bodega - Simulación con Arena - Entrevista con Ingeniera de Salud y Seguridad Ocupacional	- Solución elegida para disminuir los tiempos de transporte entre la Bodega de Central Inventory y el segundo piso de producción

3.3 Diseño

3.3.1 Diseño de la metodología para la planificación y control de la producción

La ausencia de una sistemática para la planificación y el control de la producción afectan tanto los procesos de posproducción, como los indicadores claves de cara al cliente, particularmente el OTD. Asimismo, del análisis de las características actuales del software utilizado por los supervisores, se identifica la ausencia de parámetros adecuados y estandarizados para la programación de la producción. En respuesta a esto, se diseña una metodología para la planificación de la producción a corto plazo que toma en cuenta la capacidad en horas laborales disponibles en cada turno, la complejidad de cada orden y su correspondiente parámetro de distribución.

Se decide utilizar una metodología con un horizonte de planificación a corto plazo debido a dos factores, el primero relativo a los tiempos de entrega de productos de catálogo, que comprenden periodos menores a los siete días, el segundo de acuerdo con el periodo de almacenamiento de las bodegas auxiliares, que corresponde a siete días.

Diseño de la metodología

1. Datos de entrada

a. Información de órdenes

Las órdenes se obtienen por medio de una consulta que se realiza a la base de datos del servidor de producción en cada turno. En ésta, se solicitan las órdenes con fecha de inicio de manufactura menor o igual que la fecha actual más siete días, siendo este el límite superior del rango; mientras que el límite inferior del periodo se deja abierto por si se diera la excepción de órdenes tardías.

Para garantizar que las órdenes tardías se atiendan, la consulta solicita todas aquellas órdenes con fechas menores al límite superior establecido, que no tengan el estado “completado”. De esta forma, se pueden priorizar las órdenes de días anteriores que no se hayan completado. Además, las órdenes se filtran según los centros de trabajo, de manera que los supervisores tienen visibilidad únicamente de las que se deben correr en los procesos que les corresponden a sus centros de trabajo.

b. Capacidad flexible por turno

A raíz del análisis del software utilizado por los supervisores, se identifica la ausencia de herramientas de planificación que contemplen la capacidad real de los procesos. Debido a lo anterior, se incorpora el parámetro de capacidad por turno.

Éste consiste en el ingreso de la cantidad de colaboradores que se encuentran disponibles al inicio del turno, de manera que el sistema calcula la cantidad de horas reales disponibles del centro de trabajo. Dicho cálculo se realiza con base en el turno que se trabaja, pues las horas laborales disponibles varían entre turnos, de acuerdo con el Código de Trabajo de Costa Rica.

Cuadro 19. Horas disponibles por turno

Turno	Horas laborales	Horas disponibles
1	8	7,25
2	8	7,25
3	7	6,25

Para registrar la capacidad disponible en cada turno es necesaria la creación de tres tablas en la base de datos. La primera, llamada “Shift_Capacity”, contiene la información de horas disponibles en cada turno, tal como se muestra en el Cuadro 7, más un identificador único por turno. La segunda, denominada “Capacity”, almacena la cantidad de colaboradores ingresada en cada turno por día y asigna un identificador único a cada planificación generada en el sistema. La tercera, llamada “ExtraTime”, registra la capacidad extra requerida y la liga con el identificador de la tabla “Capacity”.

De esta forma, la capacidad disponible se registra para ser utilizada en el cálculo de la capacidad extra requerida posteriormente, este cálculo se realiza comparando la capacidad ingresada para el turno y la capacidad requerida para producir las órdenes, obtenida del parámetro “RunHours” que contiene las horas estándar¹⁷ requeridas para producir la orden, tal como se muestra en la siguiente ecuación.

¹⁷ Las horas estándar usan como base los tiempos estándar para cada actividad y lo multiplican por la cantidad de unidades de la orden. Son un parámetro ya existente en el sistema.

$$Cap_{extra} = Cap_{disponible} - \sum Run\ hours \quad (7)$$

c. Función de complejidad

Como resultado de las entrevistas con los supervisores, del análisis de las tecnologías disponibles para la asignación de producción y las órdenes producidas más allá del horizonte de trece días de planificación; se identifica entre los turnos una tendencia de producir órdenes con menor complejidad, con el fin de obtener mayores puntajes de productividad individual y consecuentemente, mayores bonos. Dicha práctica promueve la asignación de órdenes independientemente de la proximidad de su fecha de producción y genera colas de órdenes “del día” que deben ser producidas haciendo uso de horas extra.

Para incluir esto dentro de la metodología, se diseña una función de complejidad basada en la cantidad de posiciones del conector, bajo el supuesto de que a mayor cantidad de posiciones, más complejo es el producto¹⁸. Esto permite asignar las complejidades para cada turno, de manera que se contemple como parámetro de planificación y se evite la asignación subjetiva de las mismas. Además, esta asignación de complejidades por orden permitirá dar visibilidad al fenómeno antes mencionado, que era imposible de verificar por medio de los reportes existentes.

La función consiste en una regresión lineal que asigna tres niveles de complejidad, para facilitar la distribución de complejidades por turno. Para realizarla se considera el criterio del Departamento de calidad y del Departamento de producción, para asignar los rangos de complejidad de acuerdo con los productos que más fallas de calidad presentan, las dificultades en la configuración de las máquinas y la experiencia requerida por parte de los operarios durante el proceso de producción. De esto, se obtuvo que el rango para el primer nivel, el cual corresponde a las posiciones de 1 a 38, el segundo nivel contempla de 39 a 113, mientras que el tercero incluye las posiciones de 114 a 150. Con esto se realizó una regresión lineal de la cual se obtiene la siguiente fórmula. Donde:

“y”: índice de complejidad

“x”: cantidad de posiciones del conector

“Redondeo”: es la función que convierte el resultado en un número entero.

$$y = \text{Redondeo}((0,0133x) + 0,9867) \quad (8)$$

2. Parámetros de planificación

Para esta metodología se proponen tres parámetros de planificación: la utilización, la complejidad y la fecha de inicio de la orden. El primero consiste en trabajar cada turno con diferentes porcentajes de utilización, dejando más holgura en turno 1 pues en este se realizan pruebas de ingeniería y con el fin de liberar capacidad en caso de que se presenten órdenes atrasadas “del día”. Para el segundo criterio, se emplean los porcentajes asignados en el siguiente cuadro, con base en el análisis del histórico de datos del 2015 para el centro de trabajo bajo estudio; en el que se aplica la fórmula de complejidad en cada una de las órdenes producidas durante 2015, se

¹⁸ Este supuesto sólo aplica para los productos del área de QXX en *Automation*.

suman las cantidades de órdenes por tipo durante el año y se determina el porcentaje de cada complejidad que se produjo por turno.

Finalmente, el tercer criterio se encarga de priorizar las órdenes con fecha del día siguiente, para trabajar con un día de holgura; colocando primero las órdenes *make-to-order* y luego las *make-to-stock*, con el fin de priorizar el cumplimiento del OTD externo sobre el interno.

Cuadro 20. Parámetros de planificación por turno

Parámetro	Turno I	Turno II	Turno III
Utilización	70%	90%	90%
Complejidad I	33%	60%	7%
Complejidad II	29%	64%	7%
Complejidad III	30%	63%	7%

3. Metodología de planificación de la producción

A partir de los datos de entrada, se propone asignar diariamente las órdenes de acuerdo con la siguiente metodología:

1. La fecha de inicio de manufactura es igual a la fecha de inicio estimada por el sistema menos dos días.
2. Cada día se pueden asignar órdenes con máximo tres días de adelantamiento, con lo cual se cumple que el rango de adelantamiento cubre de +2 a +5 días.
3. Se priorizan las órdenes *customer* sobre las *stock*, utilizando el número de línea para identificar las órdenes.
4. Se priorizan las órdenes con las fechas más cercanas de inicio de manufactura.
5. Se asignan órdenes hasta llenar o sobrepasar la capacidad disponible de 414 h diarias en caso de que la fecha de inicio de manufactura sea igual a la fecha de producción, es decir, cuando la orden debe producirse ese día. Por lo tanto, solo se utiliza capacidad extra para cumplir con el 100% de OTD diario.
6. El uso de horas extra se toma a partir de las 450 h porque bajo este escenario se utiliza más del 90% de capacidad en los tres turnos. Por lo tanto, se emplean tres categorías de capacidad.

Cuadro 21. Rangos de capacidad

Categoría	Rango de capacidad	Descripción
Roja	<414 h	Implica la subutilización de la capacidad disponible.
Verde	414-450 h	Es el rango deseable de producción. Cubre desde la capacidad propuesta hasta la máxima capacidad real del turno.
Amarilla	>450 h	Esta categoría implica el uso de horas extra.

- Una orden puede completarse en el transcurso de varios días al trasladar las horas faltantes a los siguientes días.

4. Aplicación práctica de la metodología

Para realizar la aplicación de la metodología planteada, se toma de la base de datos del servidor de producción, la información de productos manufacturados para el periodo de febrero a mayo 2016, y seguidamente se procede con la asignación de las órdenes según lo planteado en el punto anterior. A continuación se muestra el formato en que se obtiene la información de las órdenes de producción.

Figura 3. Muestra de información de las órdenes de producción

Manufactur	Order/Nombre	Line/Numero	Manufacturing	StartDate	Manufactur	Quantity/Req	WORK_CEN	WORK_CEN	TotalRunHrs	TotalSetupH	Mrs. Require	PartCost	Samtec Part	Master Description	Fecha estimada	Inicio
10385024	23949032	0	1/3/2016	2/3/2016	219	80020	SAMTEC COI	1,7072	0,52	2,2272	0,70457	B5E-100-01-L-D-A		28/2/2016		
11061621	24011950	0	1/3/2016	2/3/2016	100	80020	SAMTEC COI	1,2311	0,34	1,5711	1,87727	SUB-QTH-150-01-L-D-A-TY-CR		28/2/2016		
11034204	23988935	0	1/3/2016	3/3/2016	1000	50020	SAMTEC COI	18,634	0,54	11,174	0,40205	SUB-QSE-028-01-H-D-DP-A-TY-C		28/2/2016		
10950672	23922348	0	1/3/2016	4/3/2016	1000	80020	SAMTEC COI	16,11	0,44	16,55	0,79485	SUB-QSE-080-01-L-D-TY-CR		28/2/2016		
11029549	23935550	0	1/3/2016	8/3/2016	4000	80020	SAMTEC COI	30,132	0,34	30,472	0,29395	SUB-QTH-020-01-L-D-DP-A-TY-C		28/2/2016		
11017796	23974963	0	1/3/2016	11/3/2016	9700	50020	SAMTEC COI	66,0351	0,32	66,4061	0,32892	SUB-B5H-060-01-L-D-A-TY-CR		28/2/2016		
11034275	23989647	0	1/3/2016	3/3/2016	500	80020	SAMTEC COI	3,07	0,4	3,47	1,50771	B7H-120-02-L-D-A-CR		28/2/2016		
11045891	23998200	0	1/3/2016	2/3/2016	100	80020	SAMTEC COI	0,9569	0,44	1,3968	1,27542	S-QSE-040-01-L-D-EM2-GP-TY-C		28/2/2016		
11045906	23998209	0	1/3/2016	2/3/2016	101	80020	SAMTEC COI	0,9203	0,44	1,3603	1,2886	S-QTE-040-01-L-D-EM2-GP-TY-C		28/2/2016		
11016702	23974134	0	2/3/2016	4/3/2016	500	80020	SAMTEC COI	4,2775	0,317	4,5945	0,98195	ASP-124115-01-HZ		29/2/2016		
11037555	23992198	0	2/3/2016	3/3/2016	30	80020	SAMTEC COI	0,3399	0,52	0,9099	0,70457	B5E-100-01-L-D-A		29/2/2016		
11006761	23967033	0	2/3/2016	4/3/2016	1000	80020	SAMTEC COI	3,295	0,1	3,393	0,45302	SUB-B7H-050-01-L-D-TY-CR		29/2/2016		
11037637	23992192	0	2/3/2016	10/3/2016	3000	80020	SAMTEC COI	38,3996	0,64	38,7796	0,68241	SUB-QSE-056-01-L-D-DP-A-TY-C		29/2/2016		
11098289	23991505	0	2/3/2016	8/3/2016	2000	80020	SAMTEC COI	23,712	0,537	24,249	0,4754	SUB-QSE-020-01-L-D-DP-A-TY-C		29/2/2016		
11042818	23995137	0	2/3/2016	9/3/2016	1750	80020	SAMTEC COI	28,427	0,64	29,067	0,52908	QSE-060-01-F-D-A-K-TR-CEL		29/2/2016		
11019703	23975359	0	2/3/2016	4/3/2016	500	80020	SAMTEC COI	3,433	0,34	3,779	0,53977	SUB-QTS-025-02-L-D-A-TY-CR		29/2/2016		
11025354	23981966	0	2/3/2016	7/3/2016	3600	80020	SAMTEC COI	20,9124	0,32	21,2324	0,52017	SUB-B5E-060-01-L-D-A-TY-CR		29/2/2016		
10969030	23936198	0	2/3/2016	7/3/2016	500	80020	SAMTEC COI	7,3435	0,54	7,8895	0,74612	SUB-QSS-075-01-L-D-A-GP-TY-C		29/2/2016		
10956105	23976268	0	2/3/2016	4/3/2016	2000	80020	SAMTEC COI	5,614	0,1	5,714	0,34291	SUB-B7H-090-01-L-D-A-TY-CR		29/2/2016		
11071124	24019770	0	3/3/2016	15/3/2016	6000	80020	SAMTEC COI	51,018	0,34	51,358	0,41177	SUB-QTH-040-01-L-D-DP-A-TY-C		1/3/2016		
11006695	23966932	0	3/3/2016	9/3/2016	4100	80020	SAMTEC COI	26,5734	0,32	26,8934	0,296	SUB-B5H-030-01-H-D-A-TY-CR		1/3/2016		

Partiendo de esto, se planifica la producción para cada día a partir del 1/3/2016, tomando la fecha de inicio de manufactura, seguido por el tipo de orden y manteniendo siempre el control sobre la capacidad de producción total para cada día. A continuación se presenta la asignación realizada para algunas fechas dentro del periodo planificado.

Figura 4. Muestra de la planificación de las órdenes de producción 1

Día 1 1/3/2016		Día 2 2/3/2016	
MnfgOrderId	RunHrs	MnfgOrderId	RunHrs
10985024	1,7072	11058436	126,54
11061621	1,2311	11034298	20,296
11034204	10,634	11019704	3,1635
10950672	16,11	11057593	41,484
11029549	30,132	11049314	2,8858
11017766	66,0861	11016451	9,6272
11034275	3,07	11029563	23,829
11045891	0,9568	10995052	62,316
11045906	0,3203	10969463	9,614
11016702	4,2775	11052942	31,113
11037555	0,3899	11034252	58,065
11006761	3,293	11034356	1,388
11037437	38,3396	10974550	11,798
11036285	23,712	10974561	13,89
11042818	28,427		416,0095
11019703	3,433		
11025354	20,9124		
10969030	7,3435		
10956105	5,614		
11071224	51,018		
11006695	26,5734		
11044517	2,6652		
11035554	5,6635		
11057591	23,051		
11010545	7,3215		
11068103	1,869		
11069975	28,986		
	413,737		

Figura 5. Muestra de la planificación de las órdenes de producción 2

Día 49 25/4/2016		Día 50 27/4/2016		Día 51 28/4/2016		Día 52 29/4/2016	
MnfgOrderId	RunHrs	MnfgOrderId	RunHrs	MnfgOrderId	RunHrs	MnfgOrderId	RunHrs
11406789	135,0814	11334589	229,1112	11178181	47,07	11190082	193,7413
11293545	15,8395	11235610	31,113	11262345	34,839	11266176	11,327
11272339	16,216	11289707	6,94	11322243	3,1192	11277129	3,7665
11144847	0,3899	11225595	6,2588	11307849	114,5556	11300568	3,6582
11295023	34,1124	11184989	1,8195	11270865	1,4252	11317785	83,346
11184990	10,5052	11280938	169,3812	11287609	3,8278	11199005	3,2762
11218136	34,7	11264592	3,0586	11289540	6,6092	11313213	3,839
11287717	41,484	11249153	3,839	11283667	6,586	11230497	16,465
11281309	2,7709		451,5213	11295182	23,051	11297341	39,109
10576880	4,0096			11312577	5,9478	11280955	81,291
11250649	4,3945			11283689	11,3596		439,8192
11272522	3,839			11230754	42,536		
11266161	114,5556			11204819	0,9601		
11287768	5,8065			11224711	5,497		
10865312	0,4436			11253417	9,614		
11271045	3,5499			11307788	3,2865		
11155539	8,099			11288482	2,5126		
	435,797			11323803	94,905		
					417,7016		

Al ejecutar la metodología a través de la herramienta diseñada, se logra identificar un escenario que no se tenía contemplado dentro de las excepciones planteadas: el adelantamiento de órdenes en caso de feriados o eventos que así lo requieran. Por ejemplo, esto se da para los días miércoles santo hasta sábado santo, que son feriados para todo el personal de la empresa. Para cubrir los pedidos que debían empezarse en estos días fue necesario adelantar órdenes más allá

del horizonte establecido por la metodología, siendo necesario agendar órdenes con más de seis días de adelantamiento.

Esta situación permite la identificación de una oportunidad de mejora para la futura incorporación de la metodología al sistema PRISM®, donde se permita a los supervisores la alteración del parámetro “fecha” si se cuenta con la autorización del Gerente de Producción por medio de una solicitud virtual del sistema, donde se registre la aprobación y se habilite la opción por un rango establecido.

5. Indicadores

Para mejorar la planificación a corto plazo y permitir el uso de esa información como base para futuros análisis, se diseñan dos indicadores de desempeño de la planificación. El primero consiste en presentar la utilización proyectada por turno, con el fin de disminuir la incidencia de horas extra. Para ello la herramienta muestra si se necesita hacer uso de capacidad adicional y cuánto se requiere. Este cálculo se realiza al comparar las horas laborales disponibles obtenidas de la cantidad de operarios ingresada por el supervisor al inicio de turno, con la suma de los requerimientos de tiempo de las órdenes que se deben producir en el turno, obtenida de la suma del parámetro *RunHours*. Este indicador muestra el porcentaje de utilización de la capacidad, siendo mayor al 100% en caso de requerir horas extra y menor a 100% cuando se encuentre subutilizada.

Adicionalmente, se utiliza el indicador de órdenes pronosticadas a tiempo (OTD) para proyectar previo a la entrega, si se va a lograr cumplir con el objetivo de 98%. Caso contrario, se puede trabajar con anticipación en aumentar la capacidad del turno para lograrlo. Éste se obtiene al emplear la capacidad disponible y compararla con la requerida, de manera que se calcula el porcentaje de órdenes que se podrán cumplir con la capacidad disponible.

6. Diseño de la lógica para la integración con los sistemas de manufactura

Con miras a implementar la metodología propuesta de una manera más eficiente, evitando el uso de herramientas diseñadas en sistemas que no están integrados por completo con el sistema de información de la empresa, se diseña la lógica de la metodología ligada a las tablas de la base de datos de donde se toma la información para actualizarla. De manera que el sistema PRISM®¹⁹ pueda integrar la lógica detrás de la metodología y hacer uso de la información pertinente en tiempo real, al estar conectado con la red de la organización. De esta manera se evita la duplicación de funciones para los supervisores y se disminuyen los tiempos de respuesta de la herramienta.

Para esto, se realiza un mapa de relaciones de las tablas de la base de datos de producción, donde se identifican y validan los campos requeridos para extraer la información. Asimismo, se desarrolla la lógica del sistema en un diagrama de flujo (Apéndice 9) que permite establecer las actividades que efectúa el sistema y la tabla por consultar en cada actividad, así como nuevas tablas requeridas para la posterior generación de reportes, además del proceso mediante el cual se debe ejecutar la actualización de los parámetros.

¹⁹ PRISM es el nuevo sistema que la compañía está implementando para el control de la producción, que vendrá a sustituir al actual *Shop Floor Control*.

La integración de la metodología de planificación con el PRISM® permitirá la posterior incorporación de nuevos parámetros que robustezcan la información que alimenta tanto la capacidad real como la complejidad, pues ésta permite registrar datos del comportamiento en tiempo real de las máquinas y las características de las órdenes que se están produciendo. Por lo tanto, diseñar la lógica de implementación de la metodología en PRISM® en lugar de diseñarla para el actual sistema, provee más valor a mediano plazo.

3.3.2 Diseño de la metodología para el reabastecimiento de los productos *make-to-stock*

Según la teoría, para llevar a cabo una planificación de la producción adecuada es posible utilizar un MPS o un plan maestro de producción, tal como se expuso en el marco metodológico. Sin embargo, éste no se aplica tal cual lo indica la teoría, sino que se adecua según las restricciones y las características propias de Samtec, con el fin de realizar el agendamiento de las órdenes en el área de producción; esto se expone en la sección anterior, donde se diseña y aplica una metodología de planificación de la producción.

Uno de los parámetros determinados de planificación consiste en el tipo de orden, ya sea *make-to-stock* o *make-to-order*. Según el diagnóstico del presente proyecto, Samtec maneja dos tipos de órdenes: las *make-to-order* que corresponden al 2% y son aquellas que se envían directamente al cliente, responden a contratos a largo plazo o bien a solicitudes del Departamento de ventas y tienen tiempos de entrega menores a siete días.

Por otro lado, se encuentran las órdenes *make-to-stock*, que corresponde al 98% de las efectuadas y los productos realizados bajo esta modalidad están destinados a ser almacenados, se denominan “línea cero” y generalmente corresponden a sub-ensambles que son utilizados para procesos posteriores de transformación.

Dado que el tiempo de entrega de las órdenes *make-to-order* es menor a una semana, se propone agilizar los procesos de producción al mantener inventario *make-to-stock* de piezas estándar y posteriormente al hacer la solicitud del producto final, personalizar el pre-ensamble según los requerimientos que exponga el cliente.

Con el escenario propuesto, se pretenden agilizar los tiempos de entrega al cliente, brindar flexibilidad para el área de producción y garantizar el cumplimiento del cien por ciento de los requerimientos de ventas.

Proceso actual de asignación de órdenes *make-to-stock*

En Samtec actualmente el proceso de asignación de órdenes del tipo *make-to-stock* se encuentra indefinido y los parámetros para determinar cuánto y cuándo producir son delegados al criterio de los supervisores de producción y no responden a la demanda de productos finales, por lo que se encuentra una desvinculación con los requerimientos de ventas.

Como consecuencia, la orden por producir se define empíricamente, usualmente generada para compensar la ausencia de demanda *make-to-order* y se incluye en el *dashboard* de producción, para que sea asignada y realizada en los procesos de manufactura.

Diseño propuesto para la asignación de órdenes *make-to-stock*

Debido a que actualmente el proceso de asignación de órdenes es realizado de forma subjetiva, se evalúa la posibilidad de la integración de los dos sistemas de planificación, un modelo de

pronóstico o un modelo de reabastecimiento de productos *make-to-stock*. Ahora bien, considerando que en la compañía se mantienen proyecciones de ventas del producto final y para cada uno de ellos se tiene el sub-ensamble requerido, se identifica que realizar un modelo de reabastecimiento es lo más adecuado, ya que se incurre en menor incertidumbre de la demanda y la consecuente sub o sobre estimación.

Cabe destacar que Samtec no posee un modelo de producción de sub-ensambles mediante fórmulas de reabastecimiento, por lo que no cuenta con registros históricos de órdenes *make-to-stock*, dado que, los actuales no se encuentran supeditados a la demanda de producto final. Para compensar esto, se utilizan las ventas históricas de los productos finales, y se descomponen mediante el BOM para obtener las cantidades de sub-ensambles correspondientes, así como las respectivas estimaciones históricas.

Ahora bien, es importante resaltar que el modelo de reabastecimiento y la asignación de su producción se están realizando de acuerdo con el modelo de planificación de la producción y los criterios determinados en la sección anterior, resaltando que a este tipo de órdenes se le asignaría una priorización más baja que las órdenes "*make-to-order*" o "*customer*".

Asimismo, se determina que utilizar este modelo y un punto de reorden, contribuye a que se evalúe el *lead time* de la planta de producción, así como el inventario de seguridad necesario para resistir inconsistencias en la demanda, de igual forma toma en consideración el promedio y la variabilidad de esta última.

Se propone entonces una metodología que defina y controle el inventario de productos *make-to-stock*, tomando como base los requerimientos históricos de ventas. Esta metodología se percibe como un reabastecimiento interno, ya que los requerimientos de ventas activan el reabastecimiento de productos *make-to-stock* que va a concluir con la colocación de la orden de producción, se enviaría posteriormente a almacén y una vez que se solicite una orden *customer* que utilice este pre-ensamble, se solicita a la bodega para terminar su proceso de transformación y envío al cliente.

Datos requeridos

Como primer paso es vital seleccionar los datos que alimentarán la metodología y que permitirán realizar las posteriores funciones de calcular y controlar el inventario de productos *make-to-stock*. Por tanto, se determina que es fundamental contar con cuatro datos previos para realizar el cálculo:

1. Demanda anual histórica:

Para obtener los datos de la demanda histórica, se realiza una consulta a la base de datos del servidor de producción y se sustrae la información correspondiente a los productos finales realizados, asumiendo el supuesto de que para el primer año de cálculos, cada uno de los productos realizados se compone de un sub-ensamble *make-to-stock*. Es importante recalcar, que el año en el que se basan los cálculos históricos debe ser móvil, para mantener actualizados el promedio y la desviación de la demanda.

2. Tiempos de entrega de proveedores:

Esta información se obtiene del reporte de productos por proveedor, que contiene los datos correspondientes a los tiempos de entrega asociados a cada producto, pues de estos valores dependerán los inventarios de seguridad y los puntos de re-orden. Estos valores son constantes, generalmente engloban el tiempo que conlleva producirlos y se encuentran establecidos en su base de datos.

3. Tamaño de la orden:

Dado a que actualmente se colocan órdenes de forma subjetiva, esta metodología se diseña con un tamaño de orden equivalente a los requerimientos agendados del mes siguiente, para permitir la flexibilidad a mediano plazo.

4. Niveles de inventario en almacén:

Esta información se obtiene del reporte de cantidades de productos *make-to-stock* almacenados a la fecha de consulta en la bodega, con el fin de realizar el control del inventario y aplicar la lógica del reabastecimiento.

Lógica de funcionamiento

Para calcular y controlar el inventario de productos *make to stock*, se establece una lógica que permite calcular la cantidad de producto necesario para soportar eventualidades de la dinámica de producción (inventario de seguridad) y verificar el nivel de inventario en almacén (Figura 6).

De esta forma, se realiza primero el cálculo del ROP, para lo cual se toman los datos históricos correspondientes a un año de producción, y se analizan los estadísticos de promedio y desviación, y luego se aplica la fórmula teórica de abastecimiento (Ballou, 2004).

$$ROP = (\bar{D} * Lt) + SS \quad (9)$$

El primer componente corresponde a la demanda durante el tiempo de entrega, para lo cual se emplea la demanda promedio, que se toma de los datos históricos, y el *lead time* de aprovisionamiento. El segundo componente, SS, corresponde al *safety stock* o inventario de seguridad, el cual se calcula utilizando la siguiente fórmula (Ballou, 2004).

$$SS = N^{-1}(CSL) * S_D * \sqrt{Lt} \quad (10)$$

Se opta por un CSL de 0,99, debido a las políticas de la empresa de ofrecer el mayor nivel de servicio. Además, se toma el valor de la desviación estándar de los datos de producción históricos, y de igual forma el *lead time* asociado.

Una vez calculado el ROP, se revisan los niveles de inventario, para continuar con la comparación y la disposición de compra de materiales. Para tomar la decisión de colocar una orden de compra a producción de productos *make-to-stock*, se debe cumplir la condición de tener un nivel de inventario menor al punto de re-orden calculado. Esta orden por colocar será equivalente a los requerimientos del próximo mes.

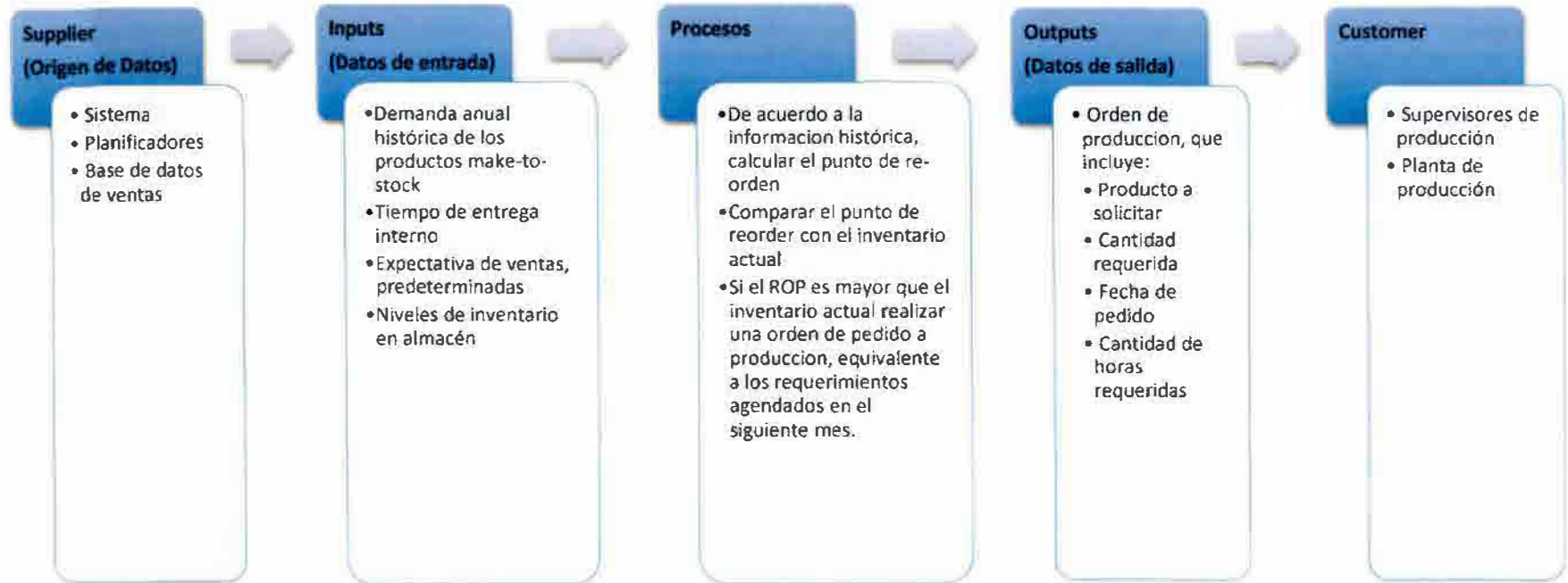
Datos de salida de la metodología

Una vez ingresados los datos, se realizan los cálculos de punto de re-orden para cada uno de los productos y se comparan con el inventario actual. El resultado consiste en los productos que requieren el reabastecimiento y la información del pedido:

1. El producto por agendar
2. La cantidad requerida
3. La fecha de pedido de producción
4. La cantidad de *run hours* necesarias, donde se incluye el tiempo de manufactura y de programación de las máquinas.

Diagrama SIPOC

Figura 6. Diagrama SIPOC reabastecimiento de producto *make-to-stock*



Aplicación de la metodología

Para aplicar la metodología diseñada, se realiza una herramienta prototipo en Excel, que permite incorporar las consultas a la base de datos para extraer la información de entrada, así como el cálculo de los parámetros propuestos y la estimación de los sub-ensambles por producir. Además, se prevé que la empresa utilice la metodología y las consultas a las bases de datos dentro de sus sistemas de información para replicarla de manera más eficiente.

Como se menciona en los apartados anteriores, la información de entrada se encuentra en la base de datos de la compañía, por ello se realizan consultas mediante lenguaje SQL (*Structured Query Language*). Por su parte, la herramienta al ejecutarse y acoplarse a la base de datos de Samtec, actualiza estas consultas automáticamente.

Consultas a las bases de datos

Tiempos de aprovisionamiento internos (*lead times* de producción): se realiza una actualización de los tiempos de aprovisionamiento según el Samtec Part Master ID almacenados en la net, esta consulta extrae el número de identificación del componente, la descripción, el balance mínimo teórico, el costo estándar, el tiempo de aprovisionamiento, el tamaño de lote y finalmente el vendedor, que en este caso sería Samtec, al tratarse de un aprovisionamiento interno.

Información histórica de la producción de piezas "Samtec Part Master": como se menciona anteriormente, se extrae la información histórica de los productos finales como base para la estimación, para lo que se obtiene:

- El *Samtec Part Master* ID y descripción
- Horas de manufactura por pieza
- Cantidad requerida
- Fecha de inicio y final de manufactura

Niveles de inventario actuales en bodega el producto *make-to-stock*: se realiza una consulta de los niveles actuales de inventario. Esta consulta extrae los siguientes campos de la base de datos:

- *Samtec Part Master* ID
- *Samtec Part Master* Description
- Cantidad actual
- Última fecha de ingreso del material

Requerimientos futuros de producción: Con el fin de determinar la cantidad de la orden del pedido se realiza un conteo de la cantidad de material por solicitar a la planta igual a los requerimientos del siguiente mes. Para ello, se extrae la siguiente información:

- *Samtec Part Master* ID y descripción
- Cantidad requerida
- Fecha del inicio de la manufactura
- Fecha límite de la manufactura

Cálculo del ROP

Con la información obtenida de las consultas anteriores, se agrupan los datos para realizar el cálculo del punto de reorden, el inventario de seguridad y la cantidad de orden de pedido de acuerdo con las fórmulas mencionadas en la metodología.

Figura 7. Cálculo de parámetros de metodología de reabastecimiento de productos *make to stock*

Part M	Part Master	Part Master	Department	Average	Std Dev	LT	ICSL	D LT	Safety Sta	ROP	ROP reorden	Costo XU	Q
543	FTSH-150-04-L-DV			10,86956572	66,92606028	8	0,99	86,9365217	440,3671471	527,323669	528	0,47137	0
10515	ASP-65067-01			43,4782609	292,7137341	10	0,99	434,782609	2193,35087	2588,13943	2589	0,37997	0
10592	ASP-65267-02			1,44927536	7,02690467	6	0,99	11,5942029	112,022263	123,616466	124	0,80903	0

Finalmente se realiza la comparación del inventario actual con el punto de reorden, para determinar si en el día que se está realizando la consulta y ejecutando la herramienta, se deben colocar las órdenes de pedido.

Figura 8. Prototipo de herramienta para el cálculo de reabastecimiento de productos *make-to-stock*

The screenshot shows the 'Stock Part's Replenishment' tool interface. At the top, there is a blue header with the Samtec logo and the title 'Stock Part's Replenishment'. Below the header, there is a search bar labeled 'SPM ID:' and a dropdown menu for 'SPM Description:' set to 'All'. There are three icons: a magnifying glass for 'Search', a shopping cart for 'Order', and a refresh symbol for 'Refresh'. Below these elements is a table with the following data:

Type	Component ID	Component Description	ROP	Current Stock	Quantity	Quantity Required
Body	579358	PPP-25-.CR	129932	407842	96000	0
Body	579364	PPP-48-.CR	1505	1966	1400	0
Body	579366	FTSH-50-CN-13-.CR	25513	28306	8000	0
Body	579381	FTSH-EP-.CR	131	331	300	0
Body	579385	FTSH-50-D-.CR	22960	2795	38300	35505
Body	579390	ES-FTSH-.CR	19924	34795	20300	0
Body	579402	FTS-50-DV-.CR	64051	16897	29000	37154

En la figura anterior se observa la página de control de los pedidos, la columna ROP indica el punto de reorden para cada producto, la columna "current stock" indica el inventario actual, la columna "quantity" señala la cantidad de producto requerido en el próximo mes y la columna "quantity required" es un indicador que compara los valores anteriores y decide si se debe realizar el agendamiento de una orden de acuerdo con la lógica de funcionamiento y cuánto se debe comprar.

Por medio de la opción "search" se pueden efectuar búsquedas de un determinado producto según el *Samtec Part Master ID* y mediante la opción "order", se obtiene un reporte de todos los productos para los cuales se requiere realizar pedidos de material.

Figura 9. Reporte de materiales *make-to-stock* por producir

SPM ID	SPM Description	ROP	Current Stock	Quantity	Quantity Required
727278	SUB-QTH-030-01-L-D-A-TY-.CR	79767	30615	8242	8242
582898	SUB-QTE-040-01-L-D-A-TY-.CR	31214	27435	3835	3835
4255082	MECT-110-01-M-D-RA1-.CR	35027	23892	15446	15446
583971	SUB-FTSH-110-01-F-DV-K-.CR	14184	12466	101	101
602620	SUB-BSE-020-01-L-D-A-TY-.CR	14056	11531	2728	2728
735604	SUB-QSH-040-01-L-D-DP-A-TY-.C	15277	11275	10086	10086
913467	SUB-BSH-030-01-F-D-A-TY-.CR	44978	11058	21913	21913
600040	SUB-QSE-080-01-L-D-A-TY-.CR	16088	10591	6469	6469

Otras consideraciones

- **Tiempo de ejecución:** Este archivo se liga a los sistemas y las bases de datos de Samtec y extrae los datos en tiempo real, por lo que se debe ejecutar en el momento de agendar los pedidos y utilizar el criterio del experto en caso de poseer pedidos mínimos de producto, o situaciones atípicas.
- **Frecuencia de ejecución:** Se recomienda ejecutar la herramienta o la metodología, una vez por semana, al tiempo que se realiza la planificación de la producción y así asegurarse que se están cubriendo los requerimientos necesarios.

Casos de estudio

Para el caso del SPM ID 727278 se calcula un ROP de setenta y nueve mil setecientos sesenta y siete (79 767) piezas según la fórmula mencionada en la metodología planteada, se extrae un inventario actual de treinta mil seiscientos quince (30 615) partes y un requerimiento de ocho mil doscientas cuarenta y dos (8 242) piezas. Al comparar el ROP con el inventario actual se determina que se debe realizar un pedido de material, dado que se requieren mil doscientas cuarenta y dos (8 242) piezas el siguiente mes.

Figura 10. Caso de estudio producto *make to stock*, inventario bajo ROP

SPM ID: 727278

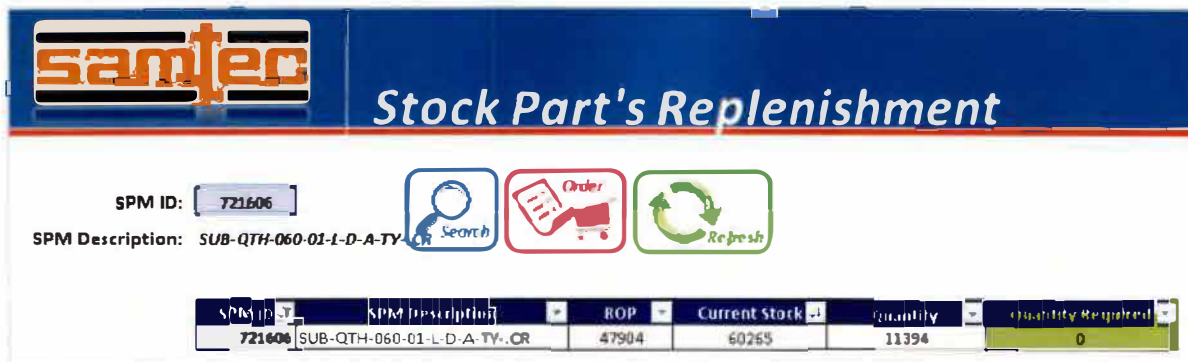
SPM Description: SUB-QTH-030-01-L-D-A-TY-.CR

SPM ID	SPM Description	ROP	Current Stock	Quantity	Quantity Required
727278	SUB-QTH-030-01-L-D-A-TY-.CR	79767	30615	8242	8242

De forma similar pasa en el caso del SPM ID 721606 donde se calcula un ROP de cuarenta y siete mil novecientos cuatro (47 904) piezas según la fórmula mencionada en la metodología planteada, se extrae un inventario actual de sesenta mil doscientos sesenta y cinco (60 265)

partes) y un requerimiento de once mil trescientas noventa y cuatro (11 394) piezas. Al comparar el ROP con el inventario actual, se determina que no se debe realizar un pedido de material, pues el inventario actual es capaz de satisfacer la demanda.

Figura 11. Caso de estudio producto make to stock, inventario sobre ROP



3.3.3 Diseño de la metodología para el reabastecimiento de los componentes

En Samtec se presenta la particularidad de que las ventas son pre-agendadas, por lo que se tiene visibilidad de los productos por realizar y, por ende, no es necesario contar con pronósticos, esto se perfila como una ventaja al realizar el reabastecimiento y la planificación de la producción.

Modelo del reabastecimiento actual

En la actualidad, los planificadores de Samtec utilizan la siguiente fórmula y la base de datos de ventas, para realizar el reabastecimiento de componentes o materias primas:

$$ROP = (\text{Promedio req de 3 meses previos}) + \left(\sum \text{Req del mes presente}\right) + \left(\sum \text{Req del mes presente} * 40\%\right) \quad (11)$$

En esta fórmula se distinguen tres componentes:

- Elemento histórico = (Promedio req de 3 meses previos)
- Inventario de seguridad = $(\sum \text{Req del mes presente} * 40\%)$
- Elemento futuro = $(\sum \text{Req del mes presente})$

Al incluir estos tres componentes como parte de la fórmula de punto de reorden, se logra disminuir la variabilidad del entorno. El elemento histórico les permite tener visibilidad del comportamiento de sus ventas en los últimos tres meses y estar atentos ante cualquier incremento o detrimento de ellas. El inventario de seguridad les brinda la capacidad de continuar funcionando ante cualquier eventualidad y no caer en desabasto, ya sean variaciones inesperadas en el incremento de las ventas, defectos de calidad de los materiales, entre otros. El elemento futuro permite tener visibilidad de las ventas y la producción del mes presente, este componente impide que se muestren casos del desabasto de materiales.

Del diagnóstico realizado se extrae que el método utilizado actualmente, afecta la rotación del inventario dado a su sobre-estimación; a pesar de presentar casos aislados de sub-estimación del inventario.

Cabe mencionar que para Samtec el servicio al cliente es uno de los componentes claves de la estrategia, por lo que tener una política de inventario que respalde las necesidades de producción

y cumpla con las órdenes de venta, es prioritario. Es por ello, que tener una baja rotación del inventario, las sobre-estimaciones y la obsolescencia de los componentes, no ha significado mayor problema para la compañía.

Modelo del reabastecimiento teórico

Diferentes autores como Frazelle (2002) y Ballou (2004), han logrado demostrar que es posible mantener una alta rotación del inventario, cumplir con el servicio al cliente requerido, disminuir los niveles de inventario y consecuentemente disminuir el costo de acarreo del mismo.

Según la teoría la fórmula básica para realizar los reabastecimientos de materiales es la siguiente (Ballou, 2004),

$$ROP = (\bar{D} * Lt) + SS \quad (12)$$

La primera variable corresponde a la demanda durante el tiempo de entrega, para lo cual se utiliza la demanda promedio, que se toma de los datos históricos anuales, y el *lead time* de aprovisionamiento, que se mantiene como un valor constante asociado al proveedor; para Samtec este ronda entre siete y quince días. La segunda variable "SS", corresponde al safety stock o inventario de seguridad, el cual se calcula utilizando la siguiente fórmula (Ballou, 2004).

$$SS = N^{-1}(CSL) * S_D * \sqrt{Lt} \quad (13)$$

- N = Distribución estándar inversa
- CSL = Nivel de servicio al cliente (*Cycle Service Level* por sus siglas en inglés)
- S = Desviación estándar de la demanda histórica

Para calcular este valor se emplea un CSL de 0,99, correspondiente al mayor nivel de servicio y el valor de la desviación estándar de la demanda anual histórica, que permite estar preparados ante cualquier comportamiento irregular en la venta del producto.

Se demuestra que la fórmula de ROP ofrecida por la teoría, se basa completamente en el comportamiento histórico de la demanda, pero incorpora diferentes elementos estadísticos, probabilísticos y constantes que le brindan mayor robustez al método; como lo son las distribuciones de probabilidad, las desviaciones estándares, los promedios, los tiempos de aprovisionamiento y el nivel de servicio.

Comparación de modelos

Al comparar el modelo de Samtec con el teórico, se llega a conclusiones importantes. Primeramente, se observa que el modelo de Samtec posee componentes históricos, futuros e inventarios de seguridad; mientras que el modelo teórico excluye la variable futura, que en el contexto de la compañía evita que se generen los desabastos, enriquece y vuelve más efectiva la fórmula.

Sin embargo, las variables que tienen en común ambas fórmulas, difieren en la forma en que se calculan. En la variable histórica del modelo de Samtec se observa un promedio de la demanda de los últimos tres meses, mientras que en la fórmula teórica se utiliza la demanda promedio anual suficiente para que abastezca a producción durante el tiempo que el proveedor envía la mercadería.

Por su parte, el inventario de seguridad de Samtec, se calcula como un 40% de la demanda del mes presente, como se menciona en el diagnóstico esta fórmula fue extrapolada de la casa matriz, por lo que este valor de 40% no tiene ningún sustento estadístico. Mientras que en la fórmula teórica, el inventario de seguridad está representado por una constante de nivel de servicio, la desviación de la demanda y la desviación del tiempo de entrega, variables que incorporan valor agregado al calcular el punto de reorden.

Por las razones mencionadas, se decide como parte del diseño adicionar a la fórmula teórica de ROP, la variable que añade visibilidad hacia el futuro para disminuir la cantidad de casos en los que se podrían presentar los desabastos, dada a la incertidumbre asociada por utilizar únicamente datos históricos.

No obstante, no se incorpora de la misma manera que lo hace la compañía, puesto que al sumar esta variable a la fórmula básica se incrementa el punto de re-orden y deriva en el aumento de los pedidos de inventario de forma innecesaria, evitando cumplir con el objetivo de aumentar la rotación del inventario.

Para integrar la variable al diseño propuesto, se establece una nueva condición al realizar el pedido de materia prima. Por ello, el reabastecimiento de materiales se da en caso de que el nivel de inventario sea menor al ROP y a su vez sea menor que los requerimientos del mes presente.

$$\text{Realizar pedido de inventario} \begin{cases} \text{Nivel de Inventario} < \text{ROP} = (\bar{D} * Lt) + [N^{-1}(\text{CSL}) * S_D * \sqrt{Lt}] \\ \text{Nivel de Inventario} < \text{Requerimiento del mes presente} \end{cases}$$

Metodología del reabastecimiento de las materias primas

Esta metodología de administración de inventarios incluye la reformulación del cálculo de punto de reorden y la definición de los parámetros y los indicadores de control, tanto a nivel de almacenamiento como de abastecimiento de inventarios de la materia prima.

Datos de entrada

Como primer paso se seleccionan los datos que alimentan la metodología y que permiten realizar las posteriores funciones de calcular y controlar el inventario de componentes. Se determina que es fundamental contar con cinco fuentes de información previo a realizar el cálculo:

1. Demanda anual histórica de la materia prima:

Para obtener los datos de las cantidades de materia prima requerida en el último año, se realiza una consulta a la base de datos del servidor de producción y se sustrae la información correspondiente a los materiales utilizados y sus cantidades. Cabe destacar que en el año en el que se basan los cálculos debe ser móvil, para mantener el promedio de la demanda lo más actualizado posible.

2. Proyección de consumo de materias primas:

Como se explica anteriormente, el 98% de ventas de Samtec son pre-agendadas y por ende el desglose de consumo de materias primas del 98% de las materias primas puede ser estimado al

convertir la información de ventas en requerimientos de materias primas. Este proceso se logra utilizando el BOM para descomponer el producto final en componentes primarios.

Al generarse el requerimiento de materias primas de forma individual, estas se consolidan por material, formando un requerimiento consolidado para todos los productos durante el período deseado.

3. Tiempos de entrega de proveedores:

Una de las fuentes de información más críticas corresponde a los tiempos de entrega asociados a cada producto, pues de estos valores dependerán los inventarios de seguridad y los puntos de re-orden de los productos. Estos valores son constantes y se obtienen mediante una consulta a la base de datos de productos por proveedor.

4. Tamaño de la orden:

Tal como se indica en las limitaciones, el tamaño de la orden de cada material es un dato que no será modificado por el grupo de trabajo, por lo que se define como la suma de los requerimientos de los siguientes tres meses. Cabe destacar, que si bien el grupo de trabajo no ha modificado este dato, es factible reducirlo si se logra asegurar el *lead time* de los proveedores.

5. Niveles de inventario en el almacén:

La cantidad de componentes almacenados se obtiene mediante una consulta a la base de datos de inventario, que entrega los niveles a la fecha. Este dato es la base de partida para realizar el control del inventario y aplicar la lógica del reabastecimiento, para planificar las órdenes que deben colocarse a los proveedores y así satisfacer las necesidades de los materiales de producción.

Lógica de funcionamiento

Para calcular y controlar el inventario de componentes, se establece una lógica que permite calcular la cantidad de producto necesario para soportar eventualidades de la dinámica de producción y verificar el nivel de inventario en almacén, con el fin de determinar la cantidad que debe ordenarse en el siguiente pedido de material de acuerdo con la cantidad en el inventario y el tamaño de la orden.

De esta forma, se realiza el cálculo del ROP, para lo cual se toman los datos históricos correspondientes a un año de producción, y se analizan los estadísticos de promedio y desviación, para así aplicar la fórmula teórica de abastecimiento:

$$ROP = (\bar{D} * Lt) + SS \quad (14)$$

El primer componente corresponde a la demanda durante el tiempo de entrega, para lo cual se utiliza la demanda promedio, que se toma de los datos históricos, y el *lead time* de aprovisionamiento. El segundo componente, SS, corresponde al safety stock o inventario de seguridad, el cual se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$SS = N^{-1}(CSL) * S_D * \sqrt{Lt} \quad (15)$$

Para calcular este valor se utiliza un CSL de 0,99, debido a las políticas de la empresa de ofrecer el mayor nivel de servicio. Además, se toma el valor de la desviación estándar de los datos históricos de producción, y de igual forma el *lead time* asociado al proveedor del producto.

Una vez calculado el ROP, se revisan los niveles de inventario, para continuar con la comparación y la decisión de compra de materiales. Para tomar la decisión de colocar una orden de compra al proveedor, se deben cumplir dos condiciones:

1. El punto de re-orden debe ser menor que el nivel del inventario actual
2. El nivel del inventario debe ser mayor que el requerimiento de la materia prima

En caso de cumplir las dos condiciones, el planificador coloca una orden de compra igual al requerimiento de material para los próximos tres meses.

Datos de salida de la metodología:

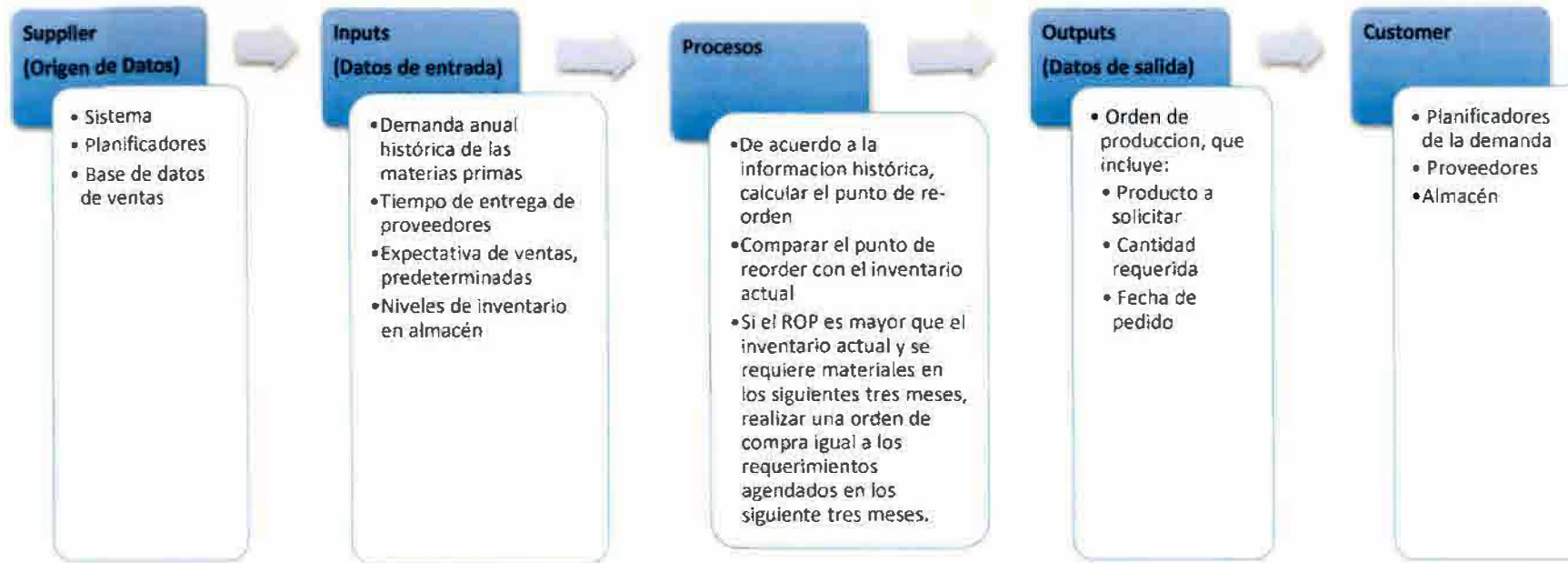
Una vez que se hayan ingresado los datos, se procede a realizar los cálculos de punto de re-orden para cada uno de los productos y compararlos con el inventario actual, de acuerdo con el resultado, se obtendrá para los productos que requieren el reabastecimiento:

1. El producto por solicitar
2. La cantidad requerida

En cuanto al proveedor por elegir o los procesos posteriores a la petición de orden de compra, se deben realizar según los parámetros actuales, efectuar las cotizaciones a los proveedores de acuerdo con el producto por solicitar y colocar la orden del pedido.

Diagrama SIPOC

Figura 12. Diagrama SIPOC modelo de reabastecimiento de componentes



Aplicación de la metodología

Para aplicar la metodología diseñada, se desarrolla un prototipo, que luego podrá ser utilizado por Samtec para implementar el método propuesto en su sistema de reabastecimiento de materias primas.

Como se menciona en los apartados anteriores, la información de entrada se encuentra en la base de datos de la compañía, por ello se realizan consultas mediante lenguaje SQL (*Structured Query Language*).

Consultas a las bases de datos

Tiempos de aprovisionamiento internos (*lead times* de producción): realiza una actualización de los tiempos de aprovisionamiento según el *Samtec Part Master ID* almacenados en la intranet, esta consulta extrae el número de identificación del componente, la descripción, el balance mínimo teórico, el costo estándar, el tiempo de aprovisionamiento, el tamaño de lote.

Información histórica de los pedidos de *bodies* y *reels*: se realiza esta consulta para obtener las entradas necesarias y así calcular la demanda promedio y la desviación de los componentes (*bodies* y *reels*). Los datos obtenidos corresponden a:

- El *Samtec Part Master ID* y descripción
- Día del pedido
- Cantidad solicitada

Niveles de inventario actuales en bodega: mediante esta consulta se extraen datos como:

- *Samtec Part MasterID*
- *Samtec Part Master Description*
- Cantidad actual
- Última fecha de ingreso del material

Requerimientos futuros de producción: para determinar la cantidad de orden del pedido se realiza un conteo de la cantidad de material por solicitar a la planta, equivalente a los requerimientos de los siguientes tres meses. Para ello, se extrae la siguiente información:

- *Samtec Part Master ID* y descripción
- Cantidad requerida
- Fecha de inicio de la manufactura
- Fecha límite de la manufactura

Cálculo del ROP

Con la información obtenida de las consultas anteriores, se organizan los datos para realizar el cálculo del punto de reorden, el inventario de seguridad y la cantidad de orden de pedido de acuerdo con las fórmulas mencionadas en la metodología, lo anterior para cada uno de los *bodies* y *reels*.

Figura 13. Cálculo de parámetros *ROP Reels*

Part	Samtec Part	Master Description	Average	Std Dev	LT	CSL	DDLE	Inventory	ROP	ROP reorden	Costo XU	Q
579339	T-1S15-02-L-CR		59044,9086	131367,1094	10	0,99	590448,086	966410,337	1556858,42	1556859	0,00277	1427123
579352	T-1S15-04-L-CR		19380,918	63247,40967	13	0,99	251951,934	530504,507	782456,44	782457	0,00289	282788
579353	T-1S15-02-F-CR		16349,2344	44565,089	13	0,99	212540,047	373801,563	586341,609	586342	0,00189	296926

Figura 14. Cálculo de parámetros *ROP Bodies*

Partes de Samtec	Part Master	Description	Average	Std Dev	Lot	CHL	D'Lt	Safety Std	ROP	ROP reordenamiento	Costo XU	Q
579356	PPP-25-.CR		3511,95331	5737,606407	20	0,99	70239,0661	59692,5001	129931,654	129932	0,0255	96000
579364	PPP-48-.CR		56,4319066	134,9612257	5	0,99	282,159533	1222,23822	1504,39775	1505	0,0255	1400
579366	FTSH-50-CN-13-.CR		506,645914	1478,293282	20	0,99	10132,9183	15379,1686	25512,0789	25513	0,166	8000

Finalmente, se realiza la comparación del inventario actual con el punto de reorden, para determinar si en el día que se está realizando la consulta y ejecutando la herramienta, se deben colocar las órdenes de pedido.

Figura 15. Prototipo de herramienta para el modelo de reabastecimiento de componentes

Type	Component ID	Component Description	ROP	Current Stock	Quantity	Quantity Required
Body	579356	PPP-25-.CR	129932	407842	96000	0
Body	579364	PPP-48-.CR	1505	1966	1400	0
Body	579366	FTSH-50-CN-13-.CR	25513	28306	8000	0
Body	579381	FTSH-EP-.CR	131	331	300	0
Body	579385	FTSH-50-D-.CR	22360	2735	38800	0
Body	579390	ES-FTSH-.CR	19924	34795	20300	0
Body	579402	FTS-50-DV-.CR	64051	16892	29000	0

En la figura anterior se observa la página de control de los pedidos, la columna ROP indica el punto de reorden para cada producto, la columna "current stock" indica el inventario actual, la columna "quantity" señala la cantidad del producto requerido en los próximos tres meses y la columna "quantity required" es un indicador que compara los valores anteriores y decide si se debe realizar el agendamiento de una orden de acuerdo con la lógica de funcionamiento y cuánto se debe comprar.

Por medio de la opción "search" se pueden realizar búsquedas de un determinado producto según el *Samtec Part Master ID* y mediante la opción "order", se obtiene un reporte de todos los productos para los cuales se requiere realizar pedidos de material.

Figura 16. Reporte de componentes a ordenar

SPM ID	SPM Description	ROP	Current Stock	Quantity	Quantity Required
727278	SUB-QTH-030-01-L-D-A-TY-.CR	79767	30615	8242	8242
582898	SUB-QTE-040-01-L-D-A-TY-.CR	31214	27435	3835	3835
4255082	MECT-110-01-M-D-RA1-.CR	35027	23892	15446	15446
583971	SUB-FTSH-110-01-F-DV-K-.CR	14184	12466	101	101
602620	SUB-BSE-020-01-L-D-A-TY-.CR	14056	11531	2728	2728
735604	SUB-QSH-040-01-L-D-IP-A-TY-.C	15277	11275	10086	10086
913467	SUB-BSH-030-01-F-D-A-TY-.CR	44978	11058	21913	21913
600000	SUB-QSE-000-01-L-D-A-TY-.CR	14000	10000	4000	4000

Otras consideraciones

Tiempo de ejecución: Este archivo se liga a los sistemas y las bases de datos de Samtec y extrae los datos en tiempo real, por lo que se debe ejecutar en el momento de agendar los pedidos y utilizar el criterio del experto en caso de poseer pedidos mínimos de producto o eventualidades.

Frecuencia de ejecución: Se recomienda ejecutar la herramienta o la metodología, una vez por semana al tiempo que se realiza la planificación de la producción.

Casos de estudio

Para el caso del SPM ID 579385 se calcula un ROP de 22 360 según la fórmula mencionada en la metodología planteada, se extrae un inventario actual de dos mil setecientos treinta y cinco (2 735) partes y un requerimiento de treinta y ocho mil ochocientos (38 800) piezas. Al comparar el ROP con el inventario actual, se determina que se debe realizar un pedido de material, dado que se requieren cincuenta y ocho mil cuatrocientas veinticinco (58 425) piezas.

Figura 17. Caso de estudio componente bajo ROP

Type	Component ID	Component Description	ROP	Current Stock	Quantity	Quantity Required
Body	579385	FTSH-50-D-.CR	22360	2735		38800

De forma similar pasa en el caso del SPM ID 800760 donde se calcula un ROP de trescientas nueve mil cuatrocientas setenta y nueve (309 479) piezas según la fórmula mencionada en la metodología planteada, se extrae un inventario actual de cuatrocientas noventa y tres mil

doscientas ochenta y siete (493 287) partes y un requerimiento de doscientas treinta y tres quinientas ochenta y una (233 581) piezas. Al comparar el ROP con el inventario actual, se determina que no se debe realizar un pedido de material, pues el inventario actual es capaz de satisfacer la demanda.

Figura 18. Caso de estudio componente sobre ROP

Type	Component ID	Component Description	ROP	Current Stock	Quantity	Quantity Required
Reel	800760	C-108-LM-CR	909475	493287	233581	0

3.3.4 Diseño de la solución para incrementar la capacidad de respuesta de la logística interna de abastecimiento

Como resultado del estudio de tiempos realizado con las actividades de la transferencia de materiales y el envío de correos extra, se determina que la capacidad de respuesta de la logística interna puede maximizarse al disminuir el tiempo utilizado en transportes y esperas, que en su mayoría derivan del uso de ascensores para transportar los materiales.

Asimismo, se identifica la posibilidad de unir físicamente la bodega de *central inventory* con el segundo piso de producción haciendo uso de la compuerta que se utiliza para subir maquinaria al segundo piso. Dicha compuerta separa ambas ubicaciones por una distancia de 2 m. Por lo tanto, en este apartado se plantea el análisis de la viabilidad de implementación de una banda transportadora o un puente que permita el paso de los materiales de manera más rápida.

Para ello, se plantea el análisis de diversos aspectos que podrían impactar el diseño propuesto, los cuales se listan a continuación:

- Capacidad de la estructura para soportar la instalación de la solución
- Disminución del tiempo de ciclo de cada solución
- Requerimientos de la instalación eléctrica
- Costo y ahorro de cada solución
- Seguridad y ergonomía

Análisis de la capacidad estructural de la bodega

Para determinar la viabilidad de ambas propuestas, un puente o una banda transportadora, en términos de capacidad de la estructura de la bodega de *central inventory* para soportar la instalación de cualquiera de estas, se consultó a la empresa proveedora de los *racks* que conforman la estructura.

A partir de este contacto, se obtienen los planos y la ficha técnica de los *racks* utilizados en la infraestructura (Anexo 1). De manera que la empresa proveedora confirmó que la estructura se encuentra en la facultad de soportar el peso proyectado de un puente o una banda transportadora, pues cada piso individualmente es capaz de soportar quinientos kg. De igual forma, los datos fueron corroborados por un colaborador de la empresa bajo estudio.

Los pesos proyectados para una banda transportadora y un puente fueron consultados a potenciales proveedores (Cobybsa, Vértice, EIQU, Obras Mecánicas y SismoCon), y se calcula que el peso de una banda sería de aproximadamente ciento sesenta kg, mientras que el de un puente sería de doscientos cincuenta kg²⁰. En ambos casos se comprometería menos del cincuenta por ciento de la capacidad de soporte estructural si el total del peso se distribuyera en la estructura de la bodega.

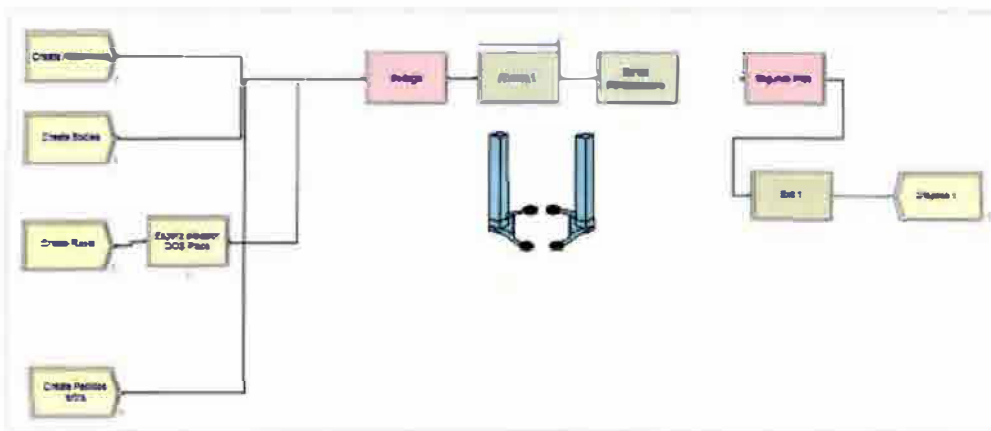
Asimismo, se realiza una visita al sitio con un representante de la compañía proveedora, para determinar cuáles parales debían modificarse para garantizar el soporte adecuado en el pasillo que llevará la mayor parte del peso de la solución, dado que centro de gravedad estará más cercano de la bodega, colocando cerca del setenta por ciento del peso en la estructura frontal del almacén.

Sin embargo, del análisis estructural se destaca la complejidad en el diseño de cada solución, pues ambas opciones deben ser elevables o removibles para las ocasiones en las que se requiera subir una máquina. Esto limita en mayor medida el diseño del puente puesto que la estructura estaría suspendida del techo y la compuerta se abre en dirección a la bodega, por lo que su apertura se vería interrumpida con los cables de soporte del puente. En el caso de la banda, los cables de elevación se suspenderían del tope de *rack* hacia el extremo opuesto de la banda, obligando a recoger la banda con un ángulo que permita la apertura de la puerta.

Análisis de la disminución del tiempo de ciclo

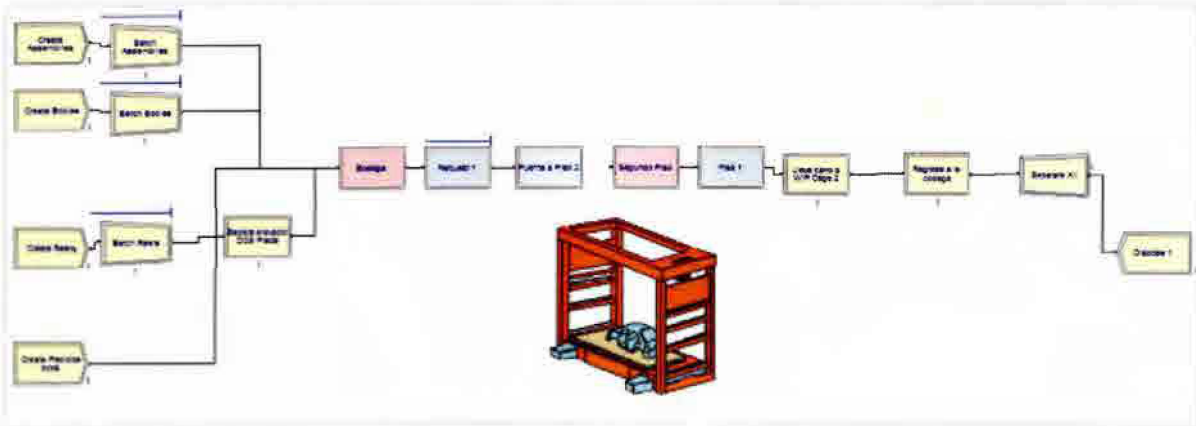
Para obtener una aproximación real del comportamiento del tiempo de ciclo para ambas propuestas, se diseña una simulación en el software Arena basada en las distribuciones estadísticas obtenidas de los estudios de tiempos realizados para el diagnóstico.

Figura 19. Simulación para la banda transportadora



²⁰ El puente estaría sostenido en su mayoría por las vigas del techo de la planta, no de la bodega.

Figura 20. Simulación para el puente



Las distribuciones estadísticas de cada actividad se determinan con la herramienta de análisis estadístico incorporada dentro del mismo software, que provee la distribución a la que mejor se ajustan los datos.

Como parámetros para diferenciar ambas simulaciones, también se estiman las velocidades de procesamiento de la banda transportadora y el puente. Basando la primera en un estudio comparativo entre bandas transportadoras similares a la que se propone, de esto se obtiene una velocidad promedio para la banda de 1m/s; el valor de la segunda, se calcula al hacer un muestreo de veinte ciclos con un operario de bodega atravesando 5 m con el carro para reposición cargado de materiales, y de su análisis se obtiene una velocidad de procesamiento para el puente de 0,8061m/s, ambas velocidades se asumen como constantes para la simulación.

Cuadro 22. Muestreo para el cálculo de velocidades

Corrida	Tiempo (s)	Corrida	Tiempo (s)
1	5,23	11	5,88
2	6,8	12	6,39
3	7,33	13	5,66
4	7,3	14	5,98
5	6,56	15	5,88
6	6,83	16	5,2
7	6,71	17	5,91
8	6,62	18	5,7
9	5,96	19	5,88
10	6,03	20	6,2
Tiempo promedio (s)		6,20	
Velocidad promedio (m/s)		0,80	

Cabe destacar que se simulan dos escenarios para cada propuesta, el actual, que consiste en que el colaborador del almacén recolecte el material en la bodega, lo transporte al segundo piso de producción y lo coloque en el *WIP cage*. Y el propuesto por el Gerente de Inventario, que omite la actividad de colocar el material en el *WIP cage*. Esto porque se desea que, al tener la solución

implementada, el personal de la bodega se limite al envío del material al piso de producción, delegando la tercera actividad al personal propio de cada *WIP cage*.

De la simulación se obtienen los datos que se presentan en el siguiente cuadro, de estos se determina que la mejor opción para el escenario 1 sería el puente; mientras que la que se configura como mejor opción en el escenario deseado es la banda transportadora, logrando una disminución del 95% del tiempo.

Cuadro 23. Resultados de la simulación

Proceso	Actual		Banda transportadora		Puente	
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Transferencia de <i>bodies</i> y sub-ensambles	24 min	24 min	12 min	1 min	4 min	1 min
Pedidos extra de material	3 min	3 min	0,05 min	0,05 min	1 min	1 min
Transferencia de <i>reels</i>	11 min	11 min	7 min	1 min	3 min	2 min
Utilización promedio del operario	28%	49%	19%	0%	11%	14%
Reducción del tiempo de ciclo			51%	95%	80%	95%

Análisis de los requerimientos de la instalación eléctrica

En ambos casos se requiere la misma acometida de potencia trifásica de 220 V, debido a la necesidad de contar con un polipasto para la elevación de la estructura. Sin embargo, al visitar las instalaciones se determina que actualmente no hay una conexión directa de este tipo en la infraestructura de la bodega. Debido a lo anterior, se analiza con el Gerente de Instalaciones la viabilidad de colocar dichas acometidas, y se confirma que es altamente viable que el equipo de mantenimiento interno de la planta coloque la acometida en el tercer piso, donde sería requerida.

Análisis económico

El análisis económico se divide en dos aspectos, el costo que tendría la posible solución, y además el ahorro que representaría. Para analizar el primer aspecto se contacta a posibles proveedores dentro del mercado nacional, siete en total, de los cuales se obtienen cinco cotizaciones.

Cuadro 24. Comparación de cotizaciones

Empresa	Banda transportadora	Puente
Equipemsa	\$9 932	
Cobybsa	\$14 735	
EIQU	\$15 300	
Obras Mecánicas		\$12 800

Cuadro 25. Comparación de cotizaciones

Cuadro 26. Comparación de cotizaciones (continuación)

Empresa	Banda transportadora	Puente
Sysmocon		\$6 250 ²¹
Mejor opción	\$9 932	\$12 800

De lo anterior se determina que, en términos de mejor opción debido al costo, la banda transportadora sería la solución por la que hay que inclinarse.

El segundo aspecto que se analiza es el ahorro que representaría para la compañía implementar esta solución, pues se espera que existan reducciones en tiempos al realizar las transferencias de material, a continuación se presenta un análisis comparativo de los ahorros esperados.

Cuadro 27. Análisis comparativo del ahorro esperado

	Banda transportadora	Puente
Tiempo de transporte ahorrado en transferencias de Bodles y Sub-ensambles por turno	23 min	23 min
Tiempo de transporte ahorrado en transferencias de Reels por turno	10 min	9 min
Tiempo de transporte ahorrado en transferencias de pedidos extra por turno	2,95 min	2 min
Tiempo total ahorrado por día	107,85 min	102,00 min
Tiempo total ahorrado por semana	10,79 h	10,20 h
Tiempo total ahorrado por mes	46,70 h	44,17 h
Tiempo total ahorrado por año	2 428 h	2 296 h
Ahorro anual esperado	\$5 759	\$5 447

Del cuadro anterior se infiere que ambas soluciones aportan un beneficio similar en términos de ahorro anual esperado, por lo que esta medida no resulta concluyente para la decisión.

Análisis de seguridad y ergonomía

Para realizar el análisis de seguridad y ergonomía se utilizan tanto las recomendaciones del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en Trabajo de España (INSHT por sus siglas en español), como el criterio técnico de la Ingeniera de Salud y Seguridad Ocupacional.

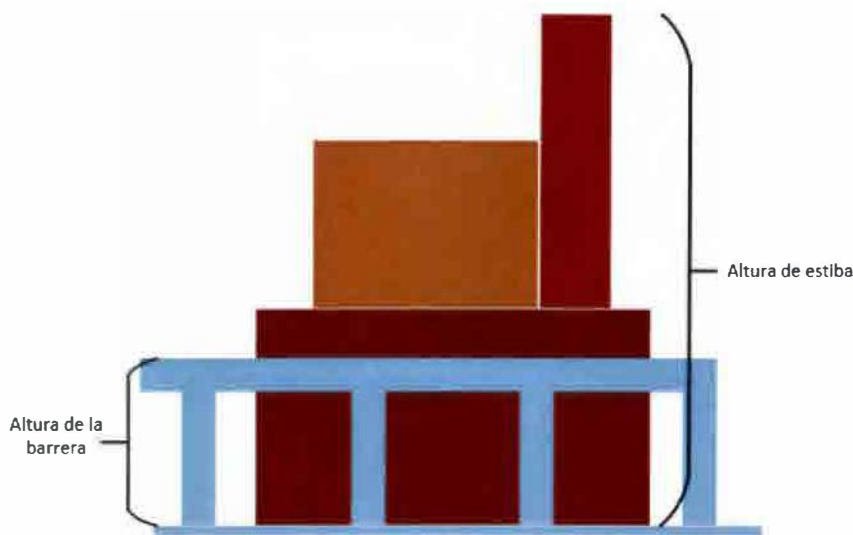
²¹ Este monto solo incluye diseño e inspección, no considera la construcción ni los materiales, por lo cual se descarta ya que no considera los mismos aspectos de la cotización.

Al consultar la Guía Técnica sobre la Manipulación Manual de Cargas del INSHT (2011), se encuentra como una de las recomendaciones, eliminar la manipulación manual de cargas mediante la automatización o la mecanización de los procesos, esto como la forma más segura de eliminar riesgos.

En cuanto a las recomendaciones de la lista de comprobación ergonómica se obtuvo que “si la estructura del lugar de trabajo lo permite se pueden usar grúas y polipastos suspendidos sobre las cabezas, pero hay que tener en cuenta que los dispositivos suspendidos implican peligros para el puesto de trabajo que pueden derivar en accidentes serios. Las ayudas a nivel del suelo son mejores, ya que pueden usarse con una menor elevación de los materiales” (Diego-Mas, 2015).

Basado en lo anterior, y del análisis de seguridad y ergonomía de la banda transportadora, se destacan tres requerimientos, el primero consiste en colocar barreras a lo largo de la banda, a una altura de 15 cm que impidan la caída de algún material, para prevenir accidentes en la primera planta; así como una altura máxima de estiba de materiales de 60 cm (Figura 8). El segundo es relativo a las barreras de seguridad en la sección del segundo piso de producción que eviten la cercanía de personas a menos de 1 m de la compuerta, de manera que se aíslen los accesos laterales de la banda para evitar caídas desde el segundo piso. El tercero implica el uso obligatorio de cascos cuando se ingrese al área del almacén, como medida preventiva en caso de caída de algún material.

Figura 21. Especificación de la altura de la barrera y la altura de estiba



En el caso del puente, al revisar el Real Decreto 486/1997 por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en trabajo, en su Anexo 1, Apartado 7 “Rampas, escaleras fijas y de servicio”, inciso 3; se lee “Las rampas tendrán una pendiente máxima del 12 por 100 cuando su longitud sea menor que 3 m, del 10 por 100 cuando su longitud sea menor que 10 m o del 8 por 100 en el resto de los casos. Sin embargo, la pendiente que existe entre la compuerta y el tercer piso de la bodega es de 25°, por lo que suavizar la pendiente conllevaría o

el sacrificio de la mitad de uno de los pasillos del tercer nivel, consiguiendo la pérdida de espacio de almacenamiento; o el incremento en el costo de la construcción para ampliar el tramo del puente colgante, que dificultaría el tránsito con el carrito de materiales y agregaría inestabilidad al recorrido, incrementando el riesgo para los colaboradores.

Como consecuencia de este análisis, se concluye que no es viable la implementación de un puente, pues conlleva el detrimento de la seguridad de los colaboradores y/o la pérdida de espacio crítico de almacenamiento. Caso contrario, basado en la Lista de Comprobación Ergonómica (Anexo 2), "se recomienda el uso de bancos o plataformas de trabajo (carros elevadores o cintas transportadoras ajustables) para situar los materiales, de modo que se reduzca la diferencia de altura". Por lo tanto, la banda transportadora se configura como la mejor opción.

CAPÍTULO IV. VALIDACIÓN

4.1 Objetivo de validación

4.1.1 Objetivo general de validación

Validar los métodos diseñados, con el fin de evaluar la factibilidad de implementación de las propuestas en Samtec y su impacto sobre los indicadores de éxito.

4.1.2 Objetivos específicos de validación

- Modelar los resultados de la aplicación de la metodología de planificación y control, y compararlos con los resultados históricos, para comprobar la efectividad de la propuesta en términos de pedidos extra de material y tiempos muertos de producción.
- Simular el comportamiento del inventario y puntos de reorden para *bodies* según la metodología propuesta y realizar la comparación con las políticas de Samtec, con el fin de evaluar la mejora en rotación del inventario.
- Simular el comportamiento del inventario y puntos de reorden para sub-ensambles de acuerdo con la metodología planteada y mediante una comparación con las políticas de Samtec, evaluar las diferencias en la cantidad de las piezas producidas y las órdenes colocadas.
- Realizar un estudio comparativo de la situación actual y la propuesta diseñada, mediante el estudio de tiempos de transferencia de material de bodega a producción, para evaluar el aumento de la capacidad de respuesta del almacén.

4.2 Metodología de validación

Una vez que se han diseñado las propuestas, se plantea la metodología de validación, donde se incluyen las distintas actividades por desarrollar, con el fin de identificar y analizar la viabilidad de implementación de las oportunidades de mejora.

Cuadro 28. Metodología de validación

Validación		
Actividad	Herramienta	Resultado
Elección de muestras por validar	- Muestreo estadístico - Simulación	- Comprobación de la factibilidad del uso del modelo en la organización
Ejecución del modelo integral diseñado	- Herramienta diseñada	
Análisis de los resultados obtenidos en los indicadores	- Indicadores de éxito	

4.3 Resultados de validación

4.3.1 Validación de metodología para la planificación y el control de la producción

Para validar la metodología de producción propuesta se utilizan datos históricos que comprenden el periodo de marzo a mayo del 2016. Dentro de este rango, se analizan los indicadores de éxito, obteniendo mejoras significativas que se presentan en este apartado.

Se decide ejecutar la validación de esta manera, debido a que al probar la herramienta junto con los supervisores, se determina que si se realiza de manera real, se verían perjudicados los bonos de productividad de los colaboradores; puesto que la metodología impide adelantar órdenes con fechas de inicio de producción mayores a cinco días, por lo que se restringiría la práctica de compensar órdenes de alta complejidad con órdenes futuras de escasa complejidad, práctica que les permite compensar los porcentaje de productividad para estar sobre el 80%. Evidenciando que la metodología de cálculo de bonos de productividad es uno de los factores que motiva el adelantamiento de las órdenes.

Asimismo, se elige este periodo, pues los análisis de horas extra, las órdenes producidas más allá de la ventana de trece días y los pedidos extra de material a producción convergen en estas fechas, pues no fueron realizados de manera simultánea.

Datos de entrada

- Información histórica de producción

La información de los productos manufacturados se obtiene mediante una consulta realizada a las bases de datos del servidor de producción donde se utilizan filtros de fecha, periodo febrero-mayo 2016, y centro de trabajo (80020-*Automation*). En esta consulta se emplean los siguientes campos: el identificador único de la orden, el número de orden, el número de línea, la fecha de inicio de manufactura, la fecha de finalización de manufactura, la cantidad requerida, el centro de trabajo, la cantidad de horas de producción requeridas para ese centro de trabajo, el costo unitario y el nombre del producto.

- Recopilación de información de pedidos extra de material a bodega

La información de los pedidos extra de material a la bodega central se registra con ayuda de los colaboradores del *WIP cage* y del inventario central en cada uno de los tres turnos. El proceso consiste en registrar la información de los correos enviados por el *WIP cage* y los bodegueros en dos etapas de la actividad, correspondientes a las tareas marcadas en amarillo, nombre y familia, cantidad requerida, cantidad total del pedido y ubicación.

Figura 22. Diagrama de proceso de solicitud de material a *WIP cage*



Este proceso de registro de información se realiza de manera ininterrumpida durante el periodo comprendido entre el 2 de octubre de 2015 y 9 de abril del 2016, logrando la recopilación de cuatro mil seiscientos seis (4 606) datos.

- Horas extra del periodo

El registro semanal de horas extra por centro de trabajo se obtiene mediante un informe confidencial entregado por el Departamento de Contabilidad que contiene las semanas comprendidas por el periodo enero-abril 2016. En este se detalla la cantidad de horas extra por número de semana y colaborador.

Para obtener el total de horas extra por centro de trabajo, se cruzan los datos del reporte “Roster” que contiene el centro de trabajo en el que labora cada colaborador, con los datos del informe de horas extra.

- Órdenes adelantadas +13

El reporte de órdenes que se comenzaron a producir más de trece días antes de la fecha estimada de inicio se obtiene mediante un reporte diseñado en marzo del 2016 por el Departamento de calidad, para evidenciar el descontrol en la producción. Este reporte se almacenó diariamente durante el periodo marzo-mayo 2016 y detalla las órdenes adelantadas, el centro de trabajo que la inició, la cantidad de piezas por producir y la fecha estimada de inicio de la orden.

Proceso de validación

- Metodología

Como se mencionó, la validación de la metodología propuesta no se realiza con la herramienta diseñada para evitar perjudicar a los colaboradores del centro de trabajo. En consecuencia, se efectúa con datos históricos para comparar los resultados reales obtenidos bajo el esquema de producción de la empresa, contra los que habría generado la aplicación de los parámetros de la metodología.

Para esto se utiliza la información de las órdenes producidas en el periodo febrero-mayo 2016 y la capacidad disponible de cuatrocientas cuarenta y cuatro horas por día, tomando en consideración los porcentajes de utilización por turno establecidos en la metodología.

La validación se realiza en el software Excel para el posterior análisis de los datos obtenidos. Este proceso se ejecuta tomando como día 1 el 1/03/2016 y como día 62 el 11/5/2016. En la siguiente figura se presenta una porción de la validación donde se aprecian tanto días “verdes” como “rojos”, que corresponden justamente a la utilización ideal y subutilización de la capacidad, respectivamente.

Figura 23. Validación de la metodología

Día 4 04/03/2016		Día 5 05/03/2016		Día 6 07/03/2016		Día 7 08/03/2016		Día 8 09/03/2016	
MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs
10987626	190,7	11064947	26,5734	11059991	48,558	11101649	111,128	11101587	86,3372
10987821	208,2	11066252	0,9841	11101589	115,8516	10893618	208,2	11100477	115,8516
11016512	16,215	11099976	2,1288	11073130	1,572	11101587	181,0092	11066119	41,484
Total	415,118	10994180	20,92	11051987	3,293	Total	500,3372	11084000	5,9587
		10999010	47,07	11089977	1,5066	Faltante	84,2278	11003492	40,878
		10999990	25,502	11084132	11,313			11030321	25,8094
		11012295	5,0875	11094009	14,9743			11074998	0,4067
		11022314	4,0465	11096309	40,465			11091285	81,791
		11018789	5,0875	11013523	31,355			11095096	1,6244
		11063016	8,2225	11076201	5,614			11062496	0,5801
		11059373	7,943	11076292	4,0405			11058716	19,324
		11086779	2,0716	10963483	115,8516			Total	415,118
		11059404	7,583	11083338	2,5502				
		11040694	34,11	11088780	1,889				
		10896450	0,3899	11044934	4,0812				
		11089420	181,0092	11041804	5,9065				
		11030191	7,9822	Total	415,118				
		11042830	34,33						
		Total	415,118						

Al ejecutar la validación, se debe planificar el adelantamiento de órdenes en caso de feriados o eventos que así lo requirieran, para cubrir los pedidos que debían empezarse en los días feriados de Semana Santa, fue necesario adelantar órdenes más allá del horizonte establecido por la metodología y agendar órdenes con más de seis días de adelantamiento. Estas veintinueve órdenes se señalan con azul en la siguiente figura, donde también se aprecia que el miércoles santo no se planificó producción.

Figura 24. Validación de la metodología (2)

Día 18 21/03/2016		Día 19 22/03/2016		Día 20 23/03/2016		Día 21 24/03/2016		Día 22 25/03/2016 Miércoles Santo	
MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs	MnfgOrderID	RunHrs
11134840	66,0861	11138023	114,5556	11087965	0,9801	10987624	208,2		
11137801	141,5556	11134811	23,829	11084058	52,4285	11120142	94,905		
11134820	47,2	11172815	9,862	11110333	2,7389	11126122	6,9015		
11127576	20,9124	11280351	21,6767	11174419	42,536	11126180	39,109		
11137809	22,926	11138234	2,5935	10947320	127,8	11086118	30,132		
11082335	11,798	11084058	16,465	11285270	7,3435	11096283	5,793		
11084058	3,5675	11148057	48,558	11075401	0,39	11172577	10,384		
11174412	30,6585	11156425	4,3945	11148019	31,113	11124902	21,268		
11142188	58,005	11183444	4,831	11091293	23,051	11172576	1,046		
11160179	30,6585	11172815	5,6615	11139920	3,677	Total	417,7385		
Total	413,4226	11198979	114,3556	11148318	6,5178				
		11133805	7,7063	Total	417,7385				
		11119422	7,0683						
		Total	413,4226						

Bajo estas circunstancias, se realiza la asignación manual de órdenes por parte del equipo, para distribuir las en días previos de manera que se aprovecharan días como el 18, 19 y 20 que presentaban casos de marcada subutilización.

Resultados

Para analizar el éxito de la metodología propuesta se utilizan varios indicadores, entre ellos la cantidad de pedidos extra de material a bodega, que consiste en uno de los objetivos principales

de este proyecto. Asimismo, se analizaron el uso de las horas extra y la cantidad de órdenes adelantadas más de trece días.

En el cuadro siguiente se resumen los resultados obtenidos para los tres indicadores de éxito mencionados, donde se destaca el desempeño superior de la metodología propuesta en cada uno de ellos.

Cuadro 29. Resultado de los indicadores

Semana	Pedidos extra de material a bodega		Horas extra		Órdenes adelantadas +13 días	
	Histórico	Modelado	Histórico	Modelado	Histórico	Modelado
1-5 marzo	12	0	46	0	1	0
7-12 marzo	25	0	246	0	0	0
14-19 marzo	23	29	390	0	1	0
21-26 marzo	14	0	47	0	0	0
28 marzo - 2 abril	24	0	400	28	0	0
4-9 abril	28	0	447	0	0	0
Total	126	29	1 576	28	2	0

Como se puede observar en el cuadro anterior, la cantidad de pedidos extra disminuyó de ciento veintiséis a veintinueve, lo cual representa un 77%, con lo cual se logra el objetivo inicial de lograr la reducción de los pedidos en un 75%.

Valoración económica

Para realizar la valoración económica se utiliza la cantidad de pedidos extra de material al inventario central obtenida de ambos modelos; el tiempo de entrega promedio del inventario al *WIP cage*, que se obtuvo del estudio de los tiempos realizado para el diagnóstico; el tiempo de espera promedio de los operarios para recibir el material, que corresponde al promedio de los tiempos de espera²² registrados durante las seis semanas bajo estudio, y el salario por hora de un bodeguero obtenido del salario mínimo para esta ocupación según el Decreto de Salarios Mínimo del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social para el primer semestre del 2016.

Los resultados, que se presentan en el siguiente cuadro, muestran una diferencia mayor a los diecisiete mil dólares entre ambos modelos, lo que expresa que la metodología propuesta genera un mayor ahorro pues conlleva una menor incidencia de pedidos extra de material.

²² El promedio general de tiempo de espera por parte de producción es de 49 minutos.

Cuadro 30. Beneficios asociados

	Samtec	Propuesto
Cant. pedidos extra de material	126	29
Tiempo de entrega (Inventario central)	24 min	
Tiempo espera de pedido (Producción)	64 min	
Costo laboral por hora	\$2,1	
Costo total	\$23 171	\$5 333
Beneficio	\$ 17 838	

De igual forma, al comparar las horas extra utilizadas por cada modelo se obtiene un ahorro de \$ 4 853. Pues el uso de capacidad extra en la metodología propuesta es más eficiente que el de Samtec en términos del uso de la capacidad disponible, dando validez a lo presentado en el capítulo de diagnóstico.

Indicadores adicionales

Con el fin de analizar el desempeño de la metodología en aspectos como el uso de la capacidad disponible, también se cuantifican los resultados obtenidos para las distintas categorías de capacidad. De esto se concluye que el 62% de los días se produjo bajo el esquema deseable; sin embargo, se presentó una alta incidencia, 37% de los días, con subutilización.

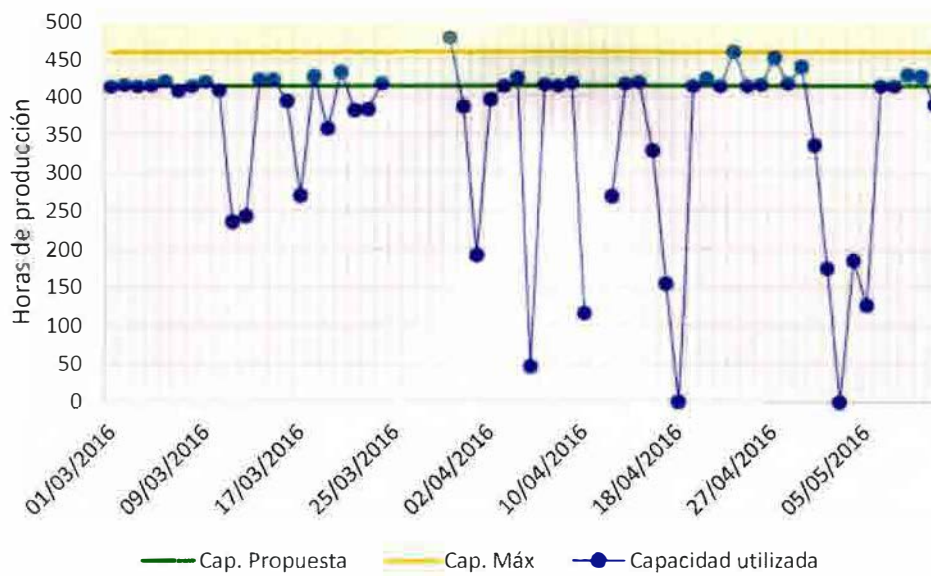
Cuadro 31. Resultados para las categorías de capacidad

	Categoría	Porcentaje de órdenes
	Subutilización	37%
	Zona ideal	62%
	Capacidad extra requerida	2%

Cabe destacar que la subutilización puede ser aprovechada para desarrollar el entrenamiento multifuncional de los colaboradores, habilitando mayores oportunidades del uso de la capacidad flexible entre los centros de trabajo. Sin embargo, en dos días no se registran requerimientos de producción, por lo que la subutilización se convierte en una oportunidad de mejora que puede ser mitigada con soluciones como la mencionada, en lugar de hacer uso del adelantamiento poco eficiente de órdenes.

Los resultados de la validación en términos de uso de capacidad se presentan en la siguiente figura, destacando el único día en que se utiliza capacidad extra y las veintitrés ocasiones que generan el 37% de subutilización.

Figura 9. Uso de la capacidad extra



Evaluaci3n de la percepci3n

Con el fin de asegurar la aplicabilidad del modelo, se realiza una encuesta a los supervisores del *work center* de *Automation* para recibir su retroalimentaci3n en aspectos funcionales de la metodología y la herramienta.

Para esto, previo a la encuesta se realiz3 una presentaci3n a los supervisores del turno I y II donde se mostraron los indicadores propuestos, la raz3n de utilizar dichos indicadores con base en los resultados del diagn3stico y los resultados obtenidos en la validaci3n.

Al día siguiente, se les envía la encuesta por correo electr3nico para evitar el sesgo en las respuestas al garantizar el anonimato de los resultados utilizando el software SurveyMonkey®. Para facilitar el analisis de datos, se emplea una escala de 1 a 5, donde 1 responde a "totalmente en desacuerdo", 2 a "en desacuerdo", 3 "neutral", 4 "de acuerdo" y 5 "completamente de acuerdo".

Los resultados obtenidos con la aplicaci3n de la encuesta se muestran a continuaci3n.

Cuadro 32. Resultados de la encuesta de percepción de la metodología de planificación y control de producción

Pregunta	Calificación		
	Sup 1	Sup 2	Promedio
¿Facilita la herramienta la visualización de indicadores oportunos para planificar la producción?	5	5	5
¿Genera la herramienta información eficaz y confiable?	4	4	4
¿La metodología propuesta genera una mejora respecto del modelo actual de planificación?	4	5	4,5
¿La incorporación de la metodología en SFC sería de utilidad para mejorar la planificación?	5	5	5

Con base en el cuadro anterior, se determina que la percepción general de la metodología es positiva, pues la calificación promedio es de 4,5. Asimismo, destaca que el aspecto con el menor puntaje es relativo a la herramienta, no a la metodología. Este factor puede deberse a que esta última fue validada con datos históricos y no en tiempo real, por lo que los supervisores no pueden garantizar la confiabilidad de la información al ejecutarse diariamente.

De la primera pregunta se rescata que ambos coinciden en que la selección de los indicadores de control facilita la planificación de la producción, pues les permiten gestionar la capacidad de manera más eficiente.

Asimismo, los resultados de la tercera pregunta confirman la hipótesis inicial de diseño que proponía que la metodología de planificación y control de la producción propuesta era más eficiente que la actual.

Finalmente, en la cuarta pregunta se destaca la importancia del diseño de la lógica de incorporación de la metodología en PRISM®, pues los supervisores coinciden en que sería de mucha utilidad contar con ésta en el sistema de información que ellos utilizan, el SFC.

4.3.2 Validación de la metodología para el cálculo del reabastecimiento de componentes

A partir del diseño realizado denominado "Metodología para el Cálculo de Reabastecimiento de Componentes", se procede a validar su factibilidad y aplicabilidad dentro del proceso de reabastecimiento en Samtec.

Se realiza por medio de una comparación de dos escenarios simulados, el primer escenario utiliza la metodología diseñada por el grupo de trabajo para realizar el reabastecimiento, mientras que el segundo emplea el método de Samtec. Al finalizar se contrastan los inventarios finales por mes y la rotación del inventario, tanto por materia prima como en conjunto.

Simulación del proceso de reabastecimiento

Para llevar a cabo esta validación, es necesario aclarar que los modelos se evalúan en una muestra de ciento uno componentes, correspondientes a los *bodies* de los productos A de la familia de los conectores.

Se realiza la simulación con el método de Samtec por la ausencia del registro de compras de estos materiales; para llevarlo a cabo se utiliza su fórmula de balance mínimo de inventario, los tamaños de orden y los parámetros de decisión de compra definidos en la sección de diagnóstico.

Las dos simulaciones se realizan en el mismo periodo, el cual comprende de septiembre 2015 a marzo 2016. A continuación, se enlistan los datos requeridos.

1. Demanda anual histórica: Consiste en la demanda de las fechas previas al periodo de simulación. Esto corresponde con los datos de consumo desde septiembre 2014 a septiembre 2015.
2. Consumo estimado: se utiliza el dato de consumo real histórico para el periodo evaluado, en ambas metodologías. De esta manera, se podrán evaluar los modelos por la forma en que son diseñados, sin hacer caso omiso a alguna de las variables y asegurar la igualdad en las predicciones de consumo.

El tiempo de entrega y el tamaño de la orden, se define según lo indicado en el apartado de diseño.

Como parte de los insumos de la simulación se tiene el inventario inicial, que corresponde a un estado del inventario en el mes de septiembre, a partir de estos niveles se realiza la simulación y se observan las variaciones en inventario almacenado en bodega.

Se procede a realizar el cálculo de las variables de reabastecimiento, el promedio de la demanda, la desviación estándar, el inventario de seguridad, el tiempo de entrega, el punto de re-orden y los tamaños de la orden de compra. Para así, simular el proceso de decisión de compra y los niveles de inventario en cada uno de los meses evaluados.

Indicador de éxito

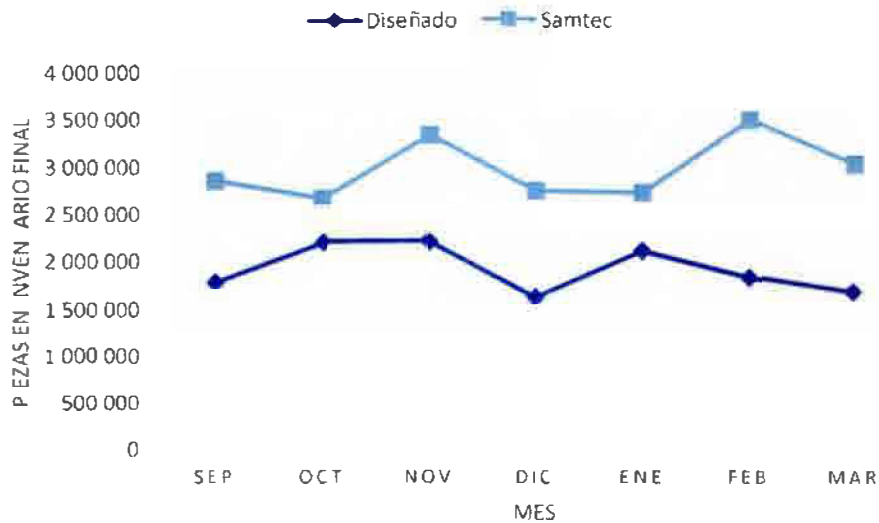
De acuerdo con lo definido en el primer capítulo, el indicador de éxito corresponde a la rotación del inventario, con este estadístico se evalúan los niveles de inventario y la rapidez con que es vendido.

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{\text{Costo de los productos vendidos (material, mano de obra)}}{\text{Costo del inventario promedio de materia prima}}$$

Además, se efectúa una comparación de los inventarios finales en conjunto y valor promedio del inventario por mes y por modelos, con el fin de evaluar las diferencias de inventarios en cada uno y tener una percepción del grado de mejoría al aplicar la metodología.

Al aplicar la lógica de funcionamiento para el proceso de reabastecimiento explicada en el diseño se obtienen los siguientes resultados.

Gráfico 10. Inventario final de Samtec versus inventario final del modelo diseñado



Tal como se observa en el gráfico anterior, al aplicar el método diseñado se obtiene una disminución considerable del inventario final en conjunto, en todos los meses evaluados. La disminución es de un 35% aproximadamente.

Al estudiar los resultados por producto, se obtiene una disminución promedio del inventario de un 40%, en los artículos que presentan movimientos de compras a proveedores. En treinta y cuatro de los ciento uno componentes estudiados, no se registran compras en el periodo definido, con ninguno de los dos métodos; lo anterior debido a que el inventario inicial logró cubrir los requerimientos de producción y la variación en el inventario fue constante (Apéndice 10).

Del estudio del indicador de rotación para los productos bajo estudio se obtiene una rotación del inventario de 2,4 con el modelo propuesto. Este indicador se logró mejorar en 0,9 en comparación con el obtenido por el método de reabastecimiento de Samtec de 1.5.

Una de las principales preocupaciones de la compañía al disminuir los inventarios, es el incumplir con el nivel de servicio, el cual fue definido en 99,9%. Por ello, se realiza una evaluación de los desabastos y se concluye que el nivel de servicio deseado se satisface con ambos modelos.

Finalmente, se evalúa el valor promedio del inventario. En el caso de Samtec se tiene un costo promedio de \$ 481 957 mensual en los productos validados, mientras que con el método diseñado se obtiene un costo de \$ 306 374 mensual. Lo anterior significa una disminución de \$175 582,44 dólares en el valor del inventario y por ende en los activos circulantes del balance de situación.

Según Richardson (1995) los costos por acarrear el inventario rondan entre un 25% y un 55% sobre el valor del inventario, por concepto de costo de capital (6% - 12%), impuestos (2% - 6%), seguros (1% - 3%), gastos de almacén (2% - 5%), manejo físico (2% - 5%), control del inventario (3% - 6%), obsolescencia (6% - 12%) y hurto o deterioro (3% - 6%).

Ahora bien considerando en el mejor de los casos la tasa inferior como costo de acarreo del inventario para Samtec (25%), se tendría una disminución de \$43 895,61. Cabe destacar que esta disminución es obtenida únicamente sobre los 101 componentes muestreados, de los 12

000 componentes que se manejan aproximadamente en la compañía. Por motivos de diferencia en el comportamiento de los componentes de acuerdo a la familia a la que pertenecen, realizar una extrapolación puede aumentar falsamente el impacto de la solución realizada, por lo cual los ahorros calculados, se limitan a los datos obtenidos. Lo que consiste en una disminución promedio de un 36% en los costos de acarreo del inventario.

Sin embargo, esta disminución afecta contablemente, tanto el balance de situación de Samtec como el estado de resultado; ya que las subcategorías de obsolescencia, hurto, deterioro y seguros son ahorros tangibles para la compañía que representan en esta situación 10% sobre el valor del inventario, equivalente a \$17 558,24.

Si bien, la disminución de ese 36% en los niveles del inventario, disminuye paralelamente el espacio utilizado en bodega, no se consideran ahorros por este efecto puesto que igualmente se debe incurrir en los costos de arrendamiento del local completo. No obstante, el espacio que se libera al utilizar la solución planteada, puede dedicarse a la expansión de las actividades de producción y diversificación del catálogo de productos que ofrece Samtec Costa Rica.

Por ende, se concluye que se logra disminuir los niveles de inventario, así como el costo promedio de mantener el inventario, lo cual favorece el indicador de rotación, que a su vez indica que la recuperación del dinero invertido es más rápida. Además, se asegura mantener el nivel de servicio deseado.

Con ello se muestra que la factibilidad y el beneficio que se pueden obtener al incorporar el método propuesto, representa una posibilidad de mejora viable en el proceso de reabastecimiento de componentes.

Análisis costo – beneficio

Es importante realizar un análisis costo beneficio para determinar la factibilidad de la implementación y justificar la inversión. Por ello se realiza un seccionamiento de los costos y el beneficio obtenidos.

Costos

El método de reabastecimiento fue confeccionado por el grupo de trabajo, de manera que la compañía no debe asumir un costo adicional por diseño. No obstante, la incorporación de la metodología y las fórmulas por utilizar en su sistema de reabastecimiento y el entrenamiento que se le debe proporcionar a los planificadores, consume tiempo laboral, lo que en cierta medida corresponde a un costo.

Beneficios

Por medio del nuevo método de reabastecimiento se busca introducir mejores prácticas en el cálculo de los parámetros involucrados, al incluir variables como el tiempo de entrega del proveedor, el nivel de servicio y el inventario de seguridad. A su vez, por medio de los indicadores, se fomentan los primeros pasos de control que posteriormente servirán para tomar acciones de acuerdo con los indicadores analizados.

Asimismo, la propuesta evaluada disminuye los niveles de inventario de forma significativa, lo que tiene un impacto monetario directo en términos del costo de adquisición, así como en la liberación

del espacio en bodega, lo que conlleva un costo de oportunidad y un ahorro en el costo de mantenimiento del inventario.

Evaluación de la percepción

Al igual que en el apartado 4.3.1, se realiza una encuesta a los planeadores de demanda de *bodies* y *reels* para recibir su retroalimentación en aspectos funcionales de la metodología y la herramienta.

Para esto, previo a la encuesta se realizó una presentación a los planeadores donde se mostró la comparación entre la metodología actual y la propuesta, y los resultados obtenidos en la validación.

Al día siguiente, se les envía la encuesta por correo electrónico para evitar el sesgo en las respuestas al garantizar el anonimato de los resultados utilizando el software SurveyMonkey®. Para facilitar el análisis de datos, se utiliza una escala de 1 a 5, donde 1 responde a “totalmente en desacuerdo”, 2 a “en desacuerdo”, 3 “neutral”, 4 “de acuerdo” y 5 “completamente de acuerdo”.

Los resultados obtenidos con la aplicación de la encuesta se muestran a continuación.

Cuadro 33. Resultados de encuesta de la percepción de la metodología para el cálculo del reabastecimiento de componentes

Pregunta	Calificación		
	P 1	P 2	Promedio
¿Considera que esta herramienta puede ayudar a disminuir el nivel de inventario en bodega?	4	5	4,5
¿Genera la herramienta información eficaz y confiable?	5	3	4
¿La metodología propuesta genera una mejora respecto del modelo actual de planificación?	5	5	5
¿La incorporación de la metodología en el sistema usado por los <i>planners</i> sería de utilidad para mejorar la planificación?	4	5	4,5

De estos resultados se concluye que la percepción general de los planeadores respecto de la metodología y la herramienta es elevada, pues el promedio general de las respuestas es mayor a 4,5.

En los resultados de la primera pregunta es importante destacar que los planeadores no tienen visibilidad de los niveles actuales de inventario, sin embargo, consideran que existe un alto potencial de generar un impacto positivo en los niveles de inventario basado en los resultados expuestos con la validación.

La segunda pregunta cuenta, al igual que en el apartado anterior, con la menor puntuación. Al respecto de esto, la retroalimentación obtenida fue que las consultas realizadas en Excel a las bases de datos, en algunas ocasiones presentan problemas de confiabilidad de los datos o de tiempo de ejecución. Razón por la cual se destaca la importancia de los resultados del punto 4,

donde ambos coinciden en que sería de mucha utilidad la incorporación de la metodología en el sistema de información que actualmente usan.

Finalmente, los resultados obtenidos en la tercera pregunta confirman que el buen desempeño mostrado por la herramienta en cuanto a los indicadores de éxito, se suman a una elevada percepción de mejora respecto del modelo actual de planificación; confirmando así la hipótesis de diseño.

4.3.3 Validación de la metodología para el cálculo de reabastecimiento de productos *make-to-stock*

A partir del diseño realizado denominado "Metodología para el Cálculo de Reabastecimiento de productos *make-to-stock*", se procede a validar la aplicabilidad dentro del proceso de reabastecimiento y producción en Samtec. Esto se logra tras sustituir su modelo actual, el cual tiene elementos de subjetividad.

La aplicabilidad se prueba a través de una comparación de dos escenarios, el primero es simulado utilizando la metodología diseñada para realizar el reabastecimiento, mientras que el segundo es un escenario real de producción de sub-ensambles en el periodo de evaluación. Al finalizar, se contrastan los inventarios finales por mes, la cantidad de órdenes colocadas en la producción y la rotación del inventario.

Simulación del proceso de reabastecimiento

Para llevar a cabo esta validación es necesario aclarar que los modelos se evalúan en una muestra de ciento veintidós productos *make-to-stock*, correspondientes a los sub-ensambles de los productos A de la familia de conectores.

La simulación es realizada en el periodo de septiembre 2015 a marzo 2016 y se compara con información real de los pedidos del producto a producción. A continuación, se enlistan los datos requeridos de acuerdo con el modelo explicado en la sección de diseño.

1. Demanda anual histórica: Consiste en la demanda de las fechas previas al periodo de simulación, es decir los datos de consumo desde septiembre 2014 a agosto 2015, se debe destacar que actualmente Samtec no siempre utiliza productos *make-to-stock* para fabricar sus productos finales. Sin embargo, dado que se desea implementar como parte de la propuesta, se desglosa con ayuda del BOM la cantidad de sub-ensambles utilizados según cada producto realizado.

El tiempo de entrega interno y el tamaño de la orden, se define según lo indicado en el apartado de diseño.

Como parte de los insumos de la simulación se tiene el inventario inicial, que corresponde al nivel del inventario en el mes de septiembre, a partir de ello se realiza la simulación y se observan las variaciones en el inventario almacenado en bodega.

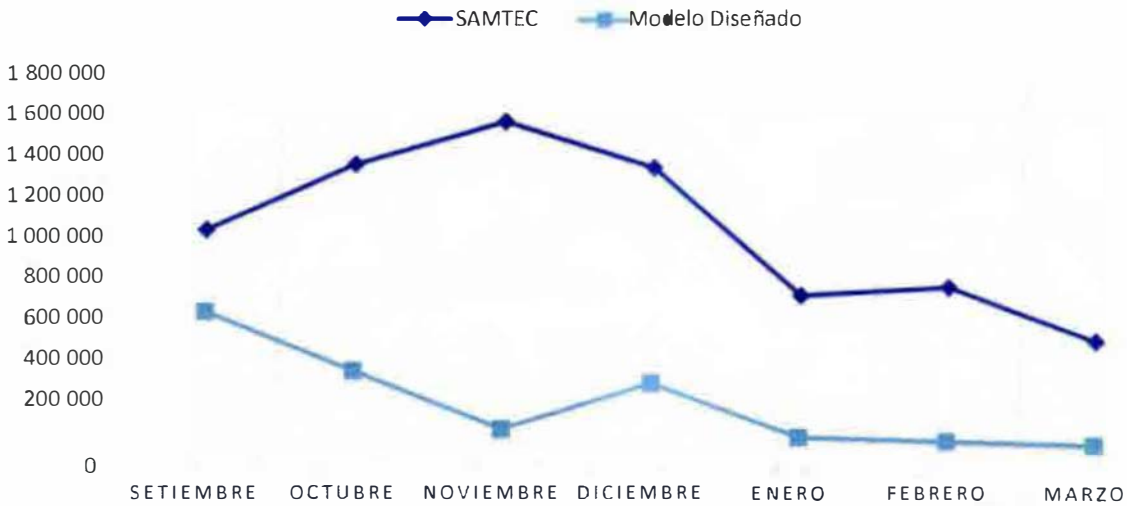
Se procede a realizar el cálculo de las variables del reabastecimiento, el promedio de la demanda, la desviación estándar, el inventario de seguridad, el tiempo de entrega, el punto de re-orden y los tamaños de la orden de compra. Esto con el fin de simular el proceso de decisión de compra y los niveles de inventario para cada uno de los meses evaluados.

Indicador de éxito

Para este modelo es de interés medir la colocación de las órdenes y el tamaño de las mismas y compararlo con la información real de Samtec. Asimismo, se realiza un estudio de los desabastos percibidos al emplear cada uno de los modelos.

Al aplicar el proceso de reabastecimiento simulado y obtener los datos reales para cada uno de los productos, se obtienen los resultados graficados a continuación.

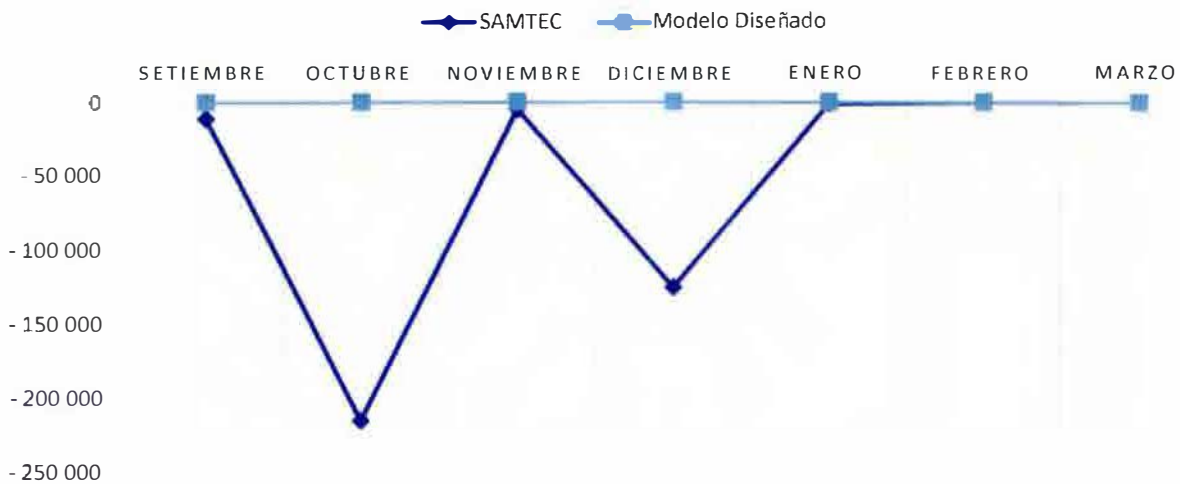
Gráfico 11. Cantidad de piezas producidas (Modelo Samtec vs. Modelo diseñado)



Tal como se observa en el gráfico anterior, al aplicar el método diseñado se obtiene una disminución considerable de la cantidad de piezas producidas, pasando de un promedio de un millón treinta y cuatro mil doscientas once (1 034 211) piezas con el modelo de Samtec a un promedio mensual de ciento noventa y un mil novecientos ochenta y cinco (191 985) piezas. Esto representa una disminución aproximada de un 83%. Además, al estudiar los resultados por producto, se muestra una disminución promedio del inventario de un 64% en los ciento veintidós artículos (Apéndice11).

Por otro lado, no se perciben desabastos al emplear el modelo diseñado, a diferencia del modelo de Samtec en el cual se determina un promedio de cincuenta y un mil doscientas noventa (51 290) piezas al mes.

Gráfico 12. Desabasto de piezas *make-to-stock*



Del estudio de la cantidad de órdenes colocadas, se obtiene para el modelo propuesto un promedio de dos órdenes por producto, mientras que con el modelo actual se colocan alrededor de cinco órdenes de producción por sub-ensamble. El hecho de que se perciba una disminución en la colocación de órdenes, se debe a que existe una alta cantidad de inventario almacenado en bodega.

Con el modelo propuesto, se logra sistematizar y estandarizar la producción de piezas *make-to-stock*, además de garantizar la presencia de piezas siempre que sea requerida por la planta de producción. Con ello, se muestra la viabilidad y el beneficio que se pueden obtener al incorporar el método propuesto y la mejora en el proceso de reabastecimiento de esta categoría de productos, puesto a que se incorporan parámetros que previamente no se tomaban en consideración y contribuyen a disminuir la incertidumbre asociada al modelo.

Análisis costo – beneficio

Es importante realizar un análisis costo beneficio para determinar la factibilidad de implementación y justificar la inversión. Por ello se realiza un seccionamiento de los costos y el beneficio obtenidos con la propuesta.

Costos

El método de reabastecimiento fue confeccionado por el grupo de trabajo, de manera que la compañía no debe asumir un costo adicional por diseño. No obstante, propiamente la incorporación de la lógica y las fórmulas por utilizar en su sistema de reabastecimiento actual y el entrenamiento que se le debe proporcionar a los planificadores, consume tiempo laboral, lo cual repercute en costos para Samtec. Lo anterior se estima como una semana de trabajo laboral para la implementación de la lógica en el sistema y dos días máximo para llevar a cabo el entrenamiento a los planificadores.

Beneficios

Por medio del nuevo método de reabastecimiento se busca introducir mejores prácticas en el cálculo de los parámetros de reabastecimiento interno, al incluir variables como el tiempo de entrega de producción, el nivel de servicio y el inventario de seguridad. Además de limitar a los planificadores para rellenar tiempos libres de producción con órdenes de producto *stock*. A su vez, por medio de la herramienta de control es posible llevar un rastreo de los indicadores y actuar con base en los resultados.

De forma directa, se encuentra una disminución promedio por artículo de \$ 137,03 por mes, lo cual para la muestra evaluada consiste en \$ 14 751,75 dólares. Disminución que impacta directamente el balance de situación de Samtec, en sus activos circulantes. Lo cual permite re-direccionar el dinero invertido actualmente en la adquisición y producción de inventario, en actividades de valor agregado para la compañía, como lo es la ampliación en sus procesos de manufactura o la diversificación del catálogo de productos.

Asimismo, se determina una disminución mínima del costo de acarreo del inventario de un 25% (Richardson, 1995) lo cual consta de \$3,687.94 dólares en los artículos validados, donde un 10% del costo de mantener el inventario impacta directamente la cuenta de pérdidas y ganancias al disminuir los riesgos por obsolescencia, hurto, deterioro y seguros en \$1,475.17.

4.3.4 Vinculación del modelo de reabastecimiento, con la planificación de la producción.

Como se menciona en el diseño, el modelo de reabastecimiento de productos *make to stock* indica cuántos y cuáles productos se realizarán en determinado periodo, logrando tener el insumo para colocar la orden de producción justificada. Sin embargo, esta metodología se debe vincular con el sistema de planificación de la producción, para abarcar los pasos posteriores a la colocación de la orden, derivando en la manufactura y almacenamiento del producto.

Por ello, se realiza para el periodo de marzo 2016 a mayo 2016 una sustitución de las órdenes de producto *make-to-stock* de las familias A, delimitadas en la validación de la metodología de reabastecimiento. Luego, se efectúa la nueva asignación de las órdenes y se determina la capacidad y los colaboradores requeridos, así como el nuevo plan de producción.

Como datos de entrada, se ingresan los mismos que en la validación de la planificación de la producción y se extraen de igual manera, estos incluyen:

1. Información histórica de la producción
2. Recopilación de los pedidos extra de material a bodega
3. Horas extra
4. Órdenes adelantadas +13 días

La validación se realiza en el software Excel para el posterior análisis de los datos obtenidos. Este proceso se ejecuta tomando como día 1 el 1/03/2016 y como día 62 el 11/5/2016. En la siguiente figura se presenta una porción de la validación donde se aprecian las capacidades requeridas para cada uno de los días.

Figura 25. Validación de la metodología conjunta

Día 1	01/03/2016	Día 2	02/03/2016	Día 3	03/03/2016	Día 4	04/03/2016	Día 5	05/03/2016
MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs	MnfgOrderHrs
11044517	3,1052	1096463	10,054	1106252	1,3841	1089450	0,9099	11094069	14,8143
11006695	26,8934	10987626	316,67	10994180	21,36	11089420	181,4492	11079130	1,872
11058436	126,86	10974550	12,138	11012295	5,4275	11030191	8,0822	11051987	3,393
11057591	23,151	11016512	16,636	11018789	5,4275	11042830	34,67	11069977	1,8466
11068103	2,306	11064947	26,8934	11063016	8,5225	11101589	116,3916	11084132	11,413
11069975	29,426		382,3914	11059379	8,283		341,5029	11013523	31,675
11034299	20,736			11068779	2,4616			11076201	5,714
11019704	3,4835			11040694	34,43			10563483	116,3916
11048914	3,2858				87,2962				187,1195
11029563	24,169								
10955052	62,756								
	326,1719								

Resultados

Para analizar el éxito de la integración de las metodologías propuestas se re-evalúan los indicadores de cantidad de pedidos extra de material a bodega, el uso de horas extra y la cantidad de órdenes adelantadas más de trece días.

En el cuadro siguiente, se resumen los resultados obtenidos para los tres indicadores de éxito mencionados, donde se destaca el desempeño superior de la metodología propuesta en cada uno de ellos.

Cuadro 34. Resultado de los indicadores

Semana	Pedidos extra de material a bodega		Órdenes adelantadas +13 días	
	Historico	Modelado	Historico	Modelado
1-5 marzo	12	0	1	0
7-12 marzo	25	0	0	0
14-19 marzo	23	1	1	0
21-26 marzo	14	0	0	0
28 marzo - 2 abril	24	0	0	0
4-9 abril	28	0	0	0
Total	126	1	2	0

Como se puede observar en cuadro anterior, la cantidad de pedidos extra disminuyó de ciento veintiséis a uno, lo cual representa un 99% de disminución, con lo cual se logra el objetivo inicial de lograr la reducción de los pedidos hasta en un 75%.

Indicadores adicionales

Con el fin de analizar el desempeño de la metodología en aspectos como el uso de la capacidad disponible, también se cuantifican los resultados obtenidos para las distintas categorías de

capacidad. De esto se concluye que el 13% de los días se produjo bajo el esquema deseable sin embargo se presentó una alta incidencia, 85% de los días, con subutilización.

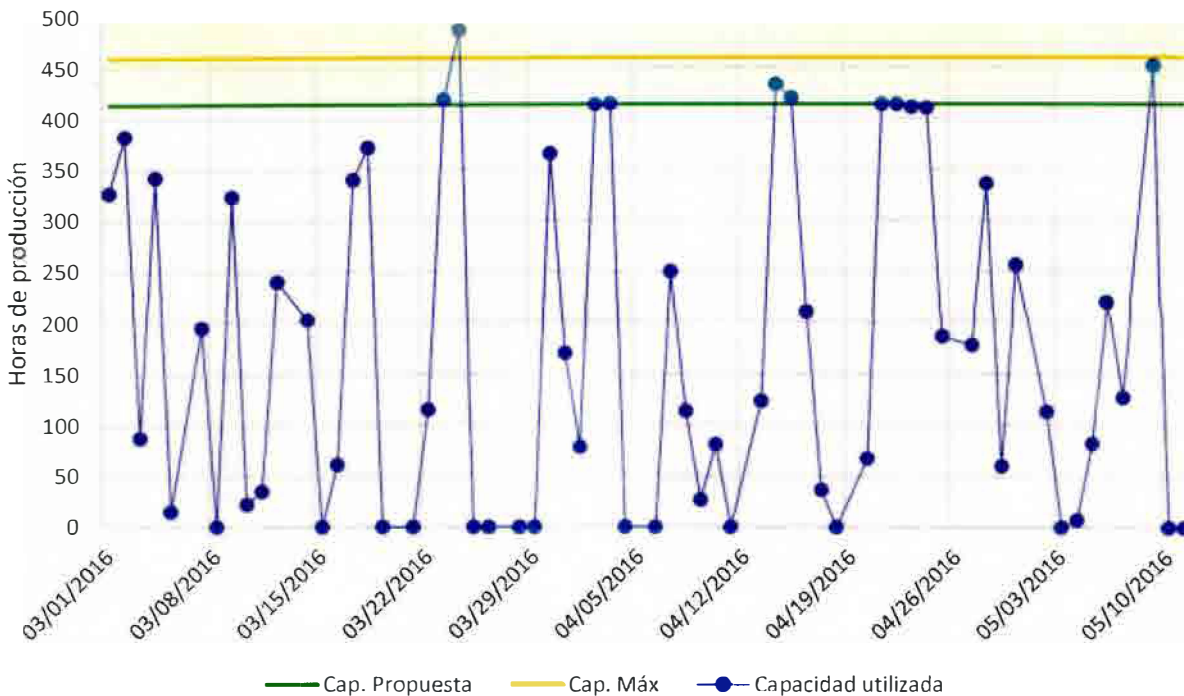
Cuadro 35. Resultados para las categorías de capacidad

	Categoría	Porcentaje de órdenes
■	Subutilización	85%
■	Zona ideal	13%
■	Capacidad extra requerida	2%

Cabe destacar que la subutilización puede ser aprovechada para desarrollar el entrenamiento multifuncional de los colaboradores. Sin embargo, en quince días no se registran requerimientos de producción, por lo que se reincide en los resultados anteriormente calculados y aun así se encuentran brechas más significativas al remplazar las órdenes *make-to-stock*, según la metodología propuesta.

Los resultados de la validación en términos de uso de capacidad se presentan en la siguiente figura, destacando el único día en que se utiliza capacidad extra y las veintitrés ocasiones que generan el 85% de subutilización.

Gráfico 13. Gráfico del uso de la capacidad extra



Valoración económica

Para realizar la valoración económica se utiliza la cantidad de pedidos extra de material al inventario central obtenida de ambos modelos; el tiempo de entrega promedio del inventario al *WIP cage*, que se obtuvo del estudio de tiempos realizado para el diagnóstico; el tiempo de espera promedio de los operarios para recibir el material, que corresponde al promedio de los tiempos de espera²³ registrados durante las seis semanas bajo estudio, y el salario por hora de un bodeguero que proviene del salario mínimo para esta ocupación tomado del Decreto de Salarios Mínimo del MTSS²⁴ para el primer semestre del 2016.

Los resultados presentan una diferencia mayor a los diecisiete mil dólares entre ambos modelos, mostrando que la metodología propuesta genera un mayor ahorro pues conlleva una menor incidencia de los pedidos extra de material.

²³ El promedio general de tiempo de espera por parte de producción es de 49 minutos.

²⁴ Ministerio de Trabajo y Seguridad Social

Cuadro 36. Beneficios asociados

	Samtec	Propuesto
Cant. pedidos extra de material	126	1
Tiempo de entrega (Inventario central)	24 min	
Tiempo espera de pedido (Producción)	64 min	
Costo laboral por hora	\$2,1	
Costo total	\$23 171,24	\$183,90
Beneficio	\$ 22 987,34	

De igual forma, al comparar las horas extra utilizadas por cada modelo se obtiene un ahorro de \$ 4 853,99. Pues el uso de capacidad extra en la metodología propuesta es más eficiente que el de Samtec en términos del uso de la capacidad disponible, dando validez a lo presentado en el capítulo de diagnóstico.

4.3.5 Banda transportadora: solución para incrementar la capacidad de respuesta de la logística interna de abastecimiento

Como resultado del análisis comparativo, efectuado para determinar la solución que permitiría incrementar la capacidad de respuesta de la logística interna de abastecimiento, se obtiene que la mejor opción es una banda transportadora, pues desde el punto de vista de seguridad y ergonomía, representa la alternativa que conlleva menor riesgo para el personal. Además, es una estructura más simple y funcional dada la facilidad de izaje²⁵.

A continuación, se pretende entonces, comprobar que la solución elegida constituye una mejora para la empresa en cuanto a la capacidad de respuesta de la logística interna de abastecimiento, evaluando como indicadores de éxito la disminución en el tiempo de transporte y el costo laboral asociado.

En este caso, dado que la solución planteada requiere de la compra y la instalación de un mecanismo, se realiza la validación por medio de la simulación en Arena® del comportamiento de las transferencias al utilizar una banda transportadora, comparándolo con los resultados del estudio de tiempos realizado durante los meses de agosto y setiembre de 2015.

Por tanto, la validación consta de tres partes: el estudio de tiempos como insumo para el proceso de simulación, el ajuste de los tiempos a distribuciones estadísticas para modelar el comportamiento de las actividades dentro del sistema y la simulación como tal. Por lo que a continuación se detalla cada sección.

²⁵ Forma para levantar o mover cargas mediante dispositivos mecánicos de forma segura y precisa, como por ejemplo poleas, pistones, entre otros.

Estudio de tiempos

Con el fin de obtener tanto los tiempos de ciclo de las actividades que componen una transferencia de material, sea de *bodies*, sub-ensambles o *reels*, como la muestra de tiempos para determinar las distribuciones estadísticas asociadas a cada actividad, se realizó un estudio de tiempos durante ocho semanas (agosto-setiembre 2015).

Los tiempos estándar para cada actividad se determinan por medio de muestreos aleatorios y utilizando la fórmula propuesta por la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 1996), que contempla el tiempo promedio de ciclo, los suplementos por fatiga básica, la fatiga variable y las necesidades personales, tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$T_{ciclo} = T_{promedio} (1 + Sup_{fatiga\ básica} + Sup_{fatiga\ variable} + Sup_{nec.personales})$$

Ahora bien, para determinar las distribuciones asociadas a cada actividad se consolidan las muestras tomadas a lo largo de todos los días de muestreo y se utilizó la herramienta de análisis estadístico incluida en Arena® que proyecta la distribución con mejor ajuste para cada actividad (Anexo 3). Para los sub-ensambles se utilizan treinta y ocho muestras, doscientas sesenta y nueve para los *bodies* y ciento siete para los *reels*.

Información de las transferencias

Asimismo, se analizan las cantidades procesadas en cada tipo de transferencia en el periodo que contempla del 30/6/2015 al 5/3/2016. Esto con el fin de obtener el promedio de los *reels*, los *bodies* y los sub-ensambles enviados en cada transferencia, para utilizarlo como la cantidad de entidades enviadas en cada transferencia.

De igual forma se verificó la normalidad de los datos empleando la prueba de normalidad en Minitab®, con el fin de asegurar que el promedio de los datos es confiable para ser utilizado como representación del comportamiento real del proceso.

Información de los pedidos extra del material

De la misma forma se procede con la cantidad promedio de materiales solicitados en cada pedido extra al almacén central; sin embargo, estos datos se obtienen del muestreo diario realizado entre 2/10/2015 y el 9/4/2016. Y no siguen una distribución normal, por lo que se utiliza el mínimo y el máximo registrados.

Velocidad de la banda

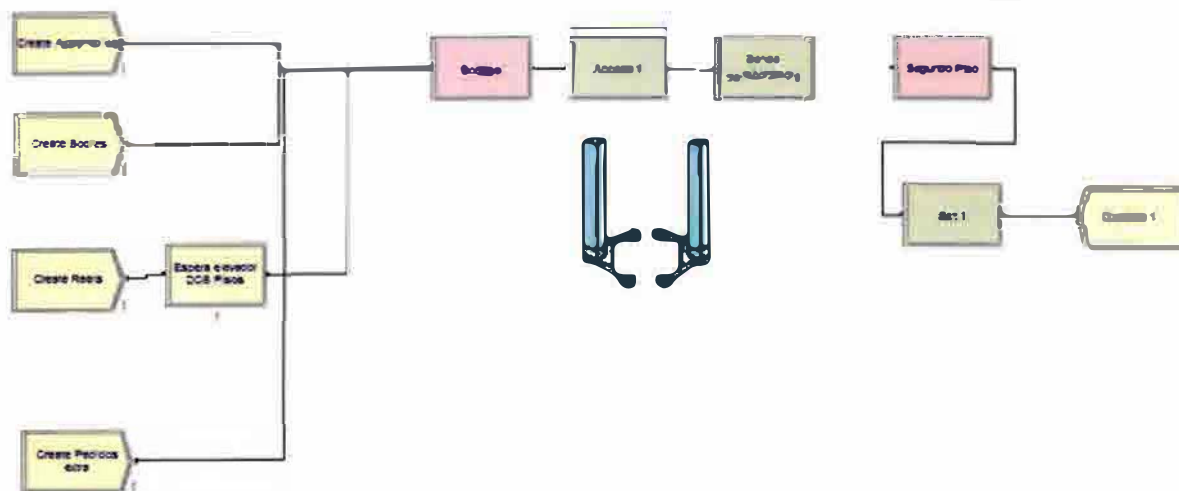
Para determinar la velocidad de la banda se realiza una investigación de las velocidades promedio de bandas transportadoras en industrias, obteniendo como resultado 0.3 m/s. Sin embargo, durante las visitas de los potenciales proveedores se consulta a los ingenieros mecánicos que realizaron las propuestas de diseño y se determina que por el tipo de material por transportar la velocidad más adecuada es de 1 m/s. Por lo que se utiliza este dato como parámetro para la simulación

De esta forma, con la ayuda del estudio de tiempos, el análisis de los datos históricos y la consulta a los expertos con criterio técnico, se obtienen los datos que alimentan la simulación de los distintos escenarios definidos, para lograr así validar la elección de la banda transportadora como una solución para aumentar la capacidad de respuesta de la logística interna del abastecimiento.

Diseño de la simulación

Como se menciona, la simulación se realiza en el *software* Arena® de Rockwell Automation utilizando la versión para estudiantes. Esto representa una limitante en cuanto a la cantidad de tareas que se podían incorporar, por lo que se simula únicamente el proceso de transporte de los materiales al segundo piso de producción, no todo el proceso de transferencias. En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo de la simulación.

Figura 26. Diagrama de flujo de la simulación



Los procesos “create” generan los requerimientos de transferencias que se dan una vez cada turno para cada tipo de material, enviando cantidades constantes de material, y los de pedidos extra de material que tienen una mayor ocurrencia en cada turno, y varían entre tres y catorce entidades por evento. En el siguiente cuadro se resumen las propiedades de estos elementos.

Cuadro 37. Distribuciones asociadas a los procesos

Proceso	Cantidad de entidades	Distribución estadística
Transferencia sub-ensambles	9	Constante
Transferencia <i>bodies</i>	26	Constante
Transferencia <i>reels</i>	29	Constante
Pedidos extra de material	[3,14]	Exponencial

Los elementos de color rojo en la simulación corresponden a “estaciones” cuya única función es ubicar el inicio y el fin de la banda. En este caso corresponden al tercer piso de la bodega y el segundo piso de producción respectivamente.

El elemento denominado "access" funciona para determinar el tamaño de la cola que se genera y el tiempo que permanecen las entidades en ella. Mientras que "Banda transportadora" realiza el flujo de material entre ambas estaciones.

Por último, se encuentran los elementos "exit" y "dispose" que señalan el final de la banda y de la simulación respectivamente.

Resultados

Para comprobar el éxito del mecanismo propuesto en términos de aumento de la capacidad de respuesta del almacén, se utilizan dos indicadores: el tiempo de paro en producción y el *lead time* de bodega a producción, dado que tiene un impacto directo en ambos.

Cuadro 38. Resultados de los indicadores

Tiempo de paro en producción		
	Escenario actual	23,66 min
	Escenario con solución	20,71 min
	Porcentaje de mejora	12%
Lead time de bodega a producción		
Transferencias de <i>bodies</i> y sub-ensambles	Escenario actual	65,73 min
	Escenario con solución	42,73 min
	Porcentaje de mejora	35%
Transferencias de <i>reels</i>	Escenario actual	94,64 min
	Escenario con solución	84,64 min
	Porcentaje de mejora	10%

Valoración económica

En este caso, el aspecto que debe analizarse, es el ahorro que representa para la compañía implementar esta solución, pues se espera que existan reducciones en tiempos al realizar las transferencias de material, a continuación se presenta un análisis del ahorro esperado.

Cuadro 39. Ahorros del tiempo y los costos esperados

Tiempo de transporte ahorrado en transferencias de <i>bodies</i> y sub-ensambles por turno	23,00 min
Tiempo de transporte ahorrado en transferencias de <i>reels</i> por turno	10,00 min
Tiempo de transporte ahorrado en transferencias de pedidos extra por turno	2,95 min
Tiempo total ahorrado por día	107,85 min
Tiempo total ahorrado por semana	10,79 h
Tiempo total ahorrado por mes	46,70 h
Tiempo total ahorrado por año	2 428,35 h
Costo por hora laboral (semicalificado)	¢1 292,59
Ahorro anual esperado	\$5 759

De los resultados mostrados en el cuadro anterior se obtiene que el retorno de la inversión que requiere la banda transportadora se da en aproximadamente dos años, sumado a la disminución en la fatiga de los colaboradores por la mejora de las condiciones ergonómicas respecto de su situación actual.

Conclusiones

Diagnóstico

Una vez realizado el diagnóstico, se determina que un 98% de productos son del tipo *make-to-stock*, por lo tanto, las oportunidades de mejora deben diseñarse en función de la optimización de estas órdenes. Al unir esto con la alta utilización de la bodega, aproximadamente 85%, el sobrestimado cálculo de ROPs y la carencia de una sistemática de planificación de la producción.

Se evidencia la necesidad de diseñar una solución que permita establecer un método adecuado para la producción de las órdenes *stock*, bajo los parámetros que se adecúen al modelo de negocio de Samtec, es decir, dando una alta ponderación al nivel de servicio y flexibilidad, y que a su vez, permita disminuir los niveles de inventario.

Además, se determina que la ausencia de una sistemática para la planificación de la producción afecta no solo el proceso sustantivo, sino también los procesos de apoyo como el reabastecimiento y la gestión del inventario, derivando en una disminución de la capacidad de respuesta de ambos. De lo anterior se concluye que el diseño de mejoras deberá contribuir en la sistematización del proceso de planificación.

Al analizar la capacidad de respuesta de la logística interna se concluye que los tiempos de ciclo de transferencias se configuran como limitantes en la alimentación de los procesos de producción, que ya de por sí se ven limitados por la ausencia de una sistemática de planificación. Asimismo, se determina que los tiempos de ciclo se ven afectados por la presencia de los transportes y las esperas que deberán ser disminuidos a través de la propuesta de mejora, de manera que se disminuyan los costos por los envíos de material y las esperas en producción.

Diseño

Según las oportunidades de mejora detectadas, se desarrollan cuatro posibles soluciones. El rediseño de la metodología de la planificación de la producción, los métodos de reabastecimiento, tanto de materias primas como producto *stock* y la implementación de una banda transportadora para mejorar la capacidad de respuesta del almacén de *Central Inventory*.

Validación

De los resultados obtenidos en el capítulo de validación se comprueba que el diseño en conjunto de una metodología para la planificación de la producción, el reabastecimiento interno y externo, y la implementación de una banda transportadora, responden a la problemática planteada en la propuesta de proyecto, a su vez la integración en conjunto permite tener una mayor vinculación entre los procesos e incorporar variables que agregan valor a los cálculos. Lo anterior se demuestra con la mejora en los indicadores de éxito.

A partir de los resultados de la validación de la metodología de la planificación y el control de la producción se determina que la metodología propuesta se desempeña mejor en términos de una menor incidencia de pedidos extra de material pues se comprueba una reducción del 90% como

consecuencia de la disminución del horizonte de planificación; así como en la mejora en el uso de capacidad laboral adicional, debido a que se logra una reducción del 93% de horas extra.

El diseño de un modelo que logra combinar las fórmulas utilizadas actualmente en la planificación con el respaldo teórico para realizar el reabastecimiento de las materias primas, permite el aumento de la rotación del inventario en 0.9 en los componentes analizados, además de reducir los niveles de inventario en un 40%, así como el costo de mantenerlos en almacén.

La comparación entre el proceso actual del reabastecimiento interno al realizar la fabricación de productos *make to stock* y el modelo propuesto, demuestra que actualmente en Samtec se están generando este tipo de ordenes sin ningún orden específico y en la mayoría de los casos no satisface los requerimientos de producción. Incorporar la metodología garantiza que los requerimientos de producción van a cumplirse el 99% de las veces, se disminuyen los pedidos realizados, la cantidad de piezas un 80% aproximadamente y además se asegura que existe un proceso estandarizado que contribuye en la toma de decisiones al colocar un pedido interno.

Por medio de la simulación del comportamiento del proceso de transferencias al sustituir los transportes actuales por una banda transportadora, se determina que se aumenta en un 35% la capacidad de respuesta del almacén en las transferencias de *bodies* y sub-ensambles, y un 10% en las de *reels*. Asimismo, se logra un 12% de disminución en el tiempo de paro de producción debido a las esperas de material. Por lo tanto, el retorno de la inversión se estima en dos años dado que genera ahorros anuales de \$5 759.

Recomendaciones

Con la realización de este proyecto se abordan problemáticas específicas, sin embargo, a la vez surgen también múltiples recomendaciones para la empresa Samtec Costa Rica, las cuales pretenden servir como un apoyo más en el mejoramiento de la gestión.

Como primer aspecto, se recomienda incorporar los indicadores de control en el proceso de reabastecimiento, tanto interno como externo, pues se considera vital una gestión del inventario que se encuentre orientada por métricas actualizadas que aporten en la toma de decisiones; indicadores como rotación del inventario, permiten visualizar de una mejor manera el movimiento de los productos dentro de la planta.

Por otra parte, se sugiere modificar el incentivo de bono de productividad por un beneficio que se alinee con una producción *lean*, que incorpore los valores principales de la empresa de ofrecer flexibilidad y rapidez a sus clientes, pero que además mantenga horizontes de planificación que no afecten las políticas de gestión del inventario.

Además, al ser un problema que se evidencia en el diagnóstico, pero que no se aborda con el diseño, se recomienda iniciar con la medición y el control de los desperdicios de material denominados *over issues*, pues como se muestra en el diagnóstico, este es un problema que genera costos altos asociados a la materia prima, y cuya raíz podrían ser problemas de calidad o porcentajes de desperdicio desactualizados en el sistema.

Glosario

WIP cage: Bodega auxiliar utilizada en el segundo piso de producción.

Central Inventory: Se refiere al área de bodega en el cual se encuentran las materias primas así como los productos pre-ensamblados necesarios para llevar a cabo los productos finales.

Bodies: Es el término utilizado para identificar las estructuras de plástico que dan forma al conector. Los *bodies* son materia prima comprada a proveedores externos.

Orden línea cero o stock: Este tipo de órdenes se producen para mantener un nivel determinado de *stock* en el inventario, ya sea como sub-ensambles que posteriormente serán transformados en procesos en Costa Rica u otra planta de Samtec; o los productos que han presentado una alta demanda en el último periodo, por lo que el Departamento de Ventas de casa matriz decide mantener cierto nivel de inventario. Responden al tipo de orden *make-to-stock* y al método de alimentación de la producción tipo pull. La nomenclatura de estas órdenes es O/L XXXXXXXX-0

Orden scarlet: Este tipo de órdenes son las solicitadas por un cliente importante, en donde se produce un paro general de la planta para cumplir con el pedido inmediatamente.

Orden customer: Este tipo de órdenes son realizadas directamente para el cliente, por lo que no se almacenan; responden al tipo de orden *make-to-order* y el método de alimentación de la producción es *pull*. En Samtec las órdenes tienen un número de parte único que las identifica para darles trazabilidad, las órdenes *customer* tienen la nomenclatura O/L XXXXXXXX-#

Over issue: Se refiere al material extra que se asigna a una orden para poder completarla. Esto se da por sobrepasar el porcentaje de desecho determinado y por problemas de calidad, de manera que se debe volver a construir la orden.

Plating: Proceso de electrodeposición de oro, níquel y otros elementos necesarios para generar los niveles de conductividad eléctrica requeridos por el cliente.

Reels: Se les denomina así a las carruchas que contienen los pines que han pasado por el proceso de *plating* (platinado). El proceso de *plating* se realiza en Samtec, por lo que es un proveedor interno.

Desecho: Se refiere al desperdicio de producto (materia prima o producto terminado) generado en el proceso.

On-time-delivery: este indicador se refiere a la cantidad de órdenes que se entregan a tiempo al cliente.

Bibliografía

- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Carranza, O., & Sabriá, F. (2004). *Logística. Mejores Prácticas en Latinoamérica*. Thomson.
- Chase, J. (30 de Diciembre de 2013). *SOPPLAN*. Obtenido de <http://www.sopplan.com/inventory-management/inventory-benchmarks/>
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministros*. México. D.F.: McGRAW-HILL.
- Chávez, J., & Torres, R. (Mayo de 2013). *Planificación de Ventas y Operaciones (S&OP)*. Obtenido de <http://www.emb.cl/negociosglobales/articulo.mvc?xid=1742&tip=11&xit=planificacion-de-ventas-y-operaciones-40samppop41-como-se-ve-desde-la-acera-logistica>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. México: Pearson Education.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministros. Estrategia, Planeación y Operación*. México: PEARSON Educación.
- Diego-Mas, J. A. (2015). *Análisis de riesgos mediante la Lista de Comprobación Ergonómica*. Valencia: Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia.
- Frazelle, E. (2002). *Supply Chain Strategy*. New York: McGraw-Hill.
- Gupta, D., & Benjaafar, S. (2000). *Make-to-order, Make-to-stock, or Delay Product Differentiation? - A common Framework for Modeling and Analysis*. University of Minnesota.
- Marín, F., & Delgado, J. (2015). *Las técnicas justo a tiempo y su repercusión en los sistemas de producción*. Obtenido de <http://www.cge.es/portalcge/tecnologia/innovacion/4115sistemajust.aspx>
- OIT. (1996). *Introducción al Estudio del Trabajo*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Pérez, F. (2006). *Introducción a la Gerencia de Operaciones*. Obtenido de <ftp://ftp.espe.edu.ec/GuiasMED/MGP2P/METODOS/INTRODUCCI%C3%93N%20A%20LA%20GOP.pdf>
- Richardson, H. (1995). Control Your Costs then Cut Them. *Vol. 36 Issue 12*, p 94.
- Sipper, D., & Bulfin, R. (1998). *Planeación y Control de la Producción*. México: Mc-Grawhill.
- Wolfgang, Thorstein, & Heike. (2014). *Global Logistics Management (Sustainability, Quality, Risks)*. Erich Schmidt Verlag.

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica de Rack Central

(Se encuentra adjunto)

Anexo 2. Lista de Comprobación Ergonómica de la OIT

(Se encuentra adjunto)

Anexo 3. Tabla de Distribuciones Estadísticas del estudio de tiempos

Tarea	Real			Corregida		
	Distribución	Parámetros		Distribución	Parámetros	
Assemblies 2-2 Busca parcel	Lognormal			11+ Erlang	13.2	2
Assemblies 2-2 Escanea	Normal	3.85	0.81			
Assemblies 2-3 Busca parcel	13+29*Beta	0.382	0.389			
Assemblies 2-3 Escanea	2.38+3.23*BETA	0.936	1.04			
Bodies 2-3 Busca parcel	5+Lognormal			Normal	35.5	19.1
Bodies 2-3 Escanea	2+9*BETA	3.65	9.56			
Busca shelf y escanea	Lognormal			4+65*BETA	1.33	2.26
Camina a elevador en Piso1	121+14*Beta	1.26	1.2			
Camina a WIP2	Triangular	119	126	128		
Coloca carro en elevador Piso1	16+95*Beta	0.584	0.611			
Coloca carro en elevador WIP2	Weibull	15.1	1.2	26+35*Beta	0.709	1.15
Coloca el parcel en shelf y escanea	Lognormal			2+34*Beta	1.16	3.02
Espera a que el elevador WIP2 baje	55+Weibull	56.7	0.73			
Espera elevador DOS Pisos y saca	71+12*Beta	0.626	0.64			
Espera elevador UN Piso y saca	44+18*Beta	1.22	1.25			
Lleva carro a elevador Piso 1	Exponencial	12.4		9 + 10*Beta	0.652	0.57
Lleva carro elevador WIP2	Lognormal			Normal	24.9	3.75
Lleva carro a la WIP cage2	Uniforme	9	47	9+25*Beta	0.414	0.559
Nueva transferencia	24+12*Beta	0.545	0.629			
Pone carro en el elevador	24+Erlang	8.06	3			
Reels 2- Busca parcel	9+Erlang	33.5	2			
Reels 2- Escanea	2+Erlang	0.516	5			
Saca carro del elevador Piso1	16+Erlang	4.58	2			
Saca carro del elevador WIP2	21+12*Beta	1.76	1.9			
Anota parcels	Lognormal			7 + ERLA	2.21	4
Busca parcels Piso 1	Normal	73	30.5			
Busca parcels Piso 2	15+Weibull	33.2	1.19	15+71*Beta	0.681	0.843
Busca parcels Piso 3	13+Erlang	13.1	2			
Busca parcels Piso 4	13+67*Beta	1.29	2.27			

Tarea	Real			Corregida		
	Distribución	Parámetros		Distribución	Parámetros	
Coloca carro en el ascensor WIP2	12+15*Beta	0.632	0.765			
Coloca carro en el elevador	Uniforme	11	25			
Espera elevador 1 Piso	27.7+2.55*Beta	0.857	1.29			
Espera elevador 2 Piso	Triangular	52	54.8	55.9		
Espera elevador 3 Piso	79.5+Erlang	0.429	3			
Escanea parcels	6+Lognormal	8.84	9.27	6+Erlang	4.27	2
Espera a que el elevador WIP2 baje	81+Erlang	0.874	4			
Lleva carro a elevador WIP2	15+10*Beta	1.12	1.18			
Lleva carro al elevador	7+Weibull	9.95	1.78	Normal	15.9	5.11
Redacta correo	Normal	10.4	2.3			
Saca carro del elevador	11+12*Beta	1.34	0.968			
Pone carro en el elevador	23+27*Beta	0.861	1.37			

Apéndices

Apéndice 1. Porcentaje de desecho actual

En el siguiente cuadro se presenta la comparación entre el porcentaje de desecho que otorga el sistema y el desecho real del proceso para el mes de Enero 2016, en los cuatro productos que presentan mayor volumen de producción en Samtec Costa Rica.

Comparación entre desecho asignado y desecho real

Producto	Desecho Boddies	Desecho real Enero 2016	Volumen producido en 2015
ST4-50-1.00-L-D-P-TR-.I	15%	24%	2 300 000
SUB-BSH-030-01-L-D-A-TY-.CR	8%	6%	1 800 000
QSE-040-01-L-D-A-K-TR-.ERI	9%	9%	1 700 000
SUB-QSE-040-01-L-D-A-TY-.ERI	18%	3%	1 900 000

Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Apéndice 2. Desabastos de materia prima

En el siguiente cuadro se observa el comportamiento de los desabastos de materia prima para los meses de octubre 2015 a Enero 2016 en todos los centros de trabajo de Samtec Costa Rica.

Comportamiento de desabastos para el mes de Octubre

Año	Mes	Cant. Stockouts	Cant. Órdenes producidas	Porcentaje de órdenes con stockout
2015	Octubre	250	11 598	2%
2015	Noviembre	265	9 548	3%
2015	Diciembre	317	9 943	3%
2016	Enero (al 25 de enero)	221	8 340	3%

Apéndice 3. Materiales obsoletos

Son considerados materiales obsoletos aquellos que posean más de tres años en bodega. Luego de un censo de materias primas, donde se estudió cada familia, y se analizó los parcels ubicados en bodega, se obtienen los siguientes resultados:

Análisis de materiales obsoletos

Familias	Parcels más de 3 años	Total de parcels	Porcentaje	Espacio requerido (m ³)
<i>Assemblies</i>	78	8 186	0,95%	0,55
<i>Bodies</i>	777	6 508	11,94%	10,37
<i>Packaging Support</i>	88	2 618	3,36%	4,35
<i>Plated Pins</i>	157	5 429	2,89%	2,25
<i>T&R Support</i>	8	991	0,81%	0,11
Total general	1 108	23 732	4,67%	17,62

Además según las dimensiones de bodega se obtiene un volumen total de la bodega de Inventario Central equivalente a 540 m³, por lo que se concluye que se ocupa un **3.3%** del espacio total con materiales obsoletos.

Apéndice 4. Análisis de incidencia de correos

A partir de un muestreo realizado en el mes de agosto 2015, se obtiene que el promedio de correos por pedidos extra de material es de diez en cada turno.

De lo anterior, derivan los siguientes costos asociados:

Costos asociados a pedidos extra

Promedio de correos por turno	10
Tiempo de aprovisionamiento de requerimientos extra	24 min
Turnos por día	3
Tiempo por día	12 h
Promedio de tiempos de paro de producción*	33,49 min
Tiempo perdido por día	17 h
Salario por hora	\$8,2

Costo por tiempo de aprovisionamiento (1 año)	\$ 73 482,89
-----------------------------------------------	--------------

El promedio de tiempos de paro de producción se obtuvo de acuerdo a las notificaciones de ausencia de material en *WIP cage* y presencia del mismo en este último.

Apéndice 5. Análisis ROP teórico versus práctico

Fórmula utilizada en Samtec



Fórmula práctica ROP

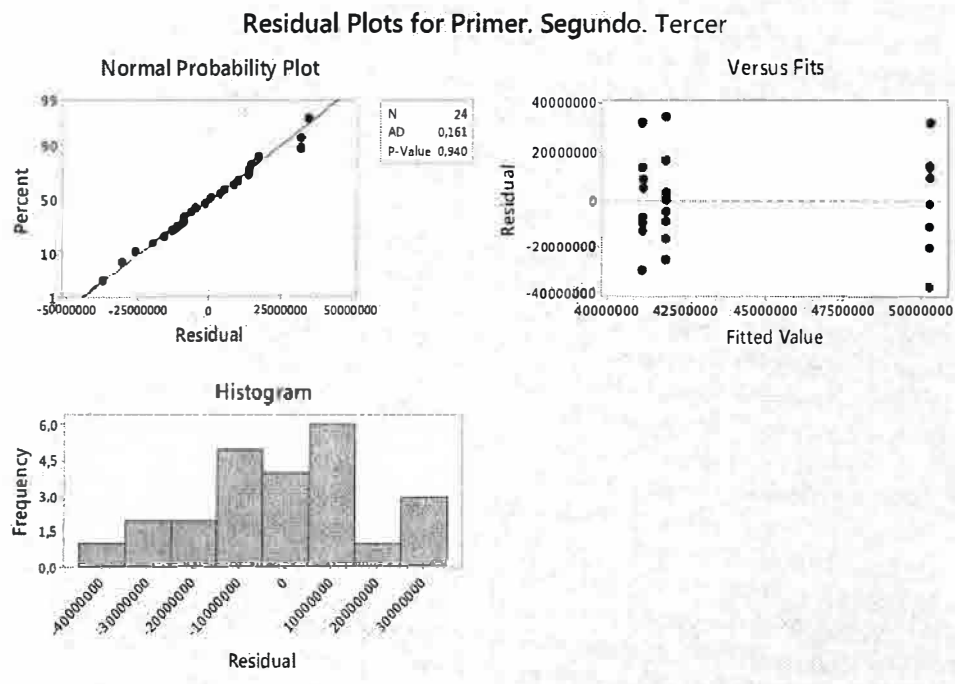


Ejemplo para el artículo FTSH-105-01-L-DV-K-P-TR

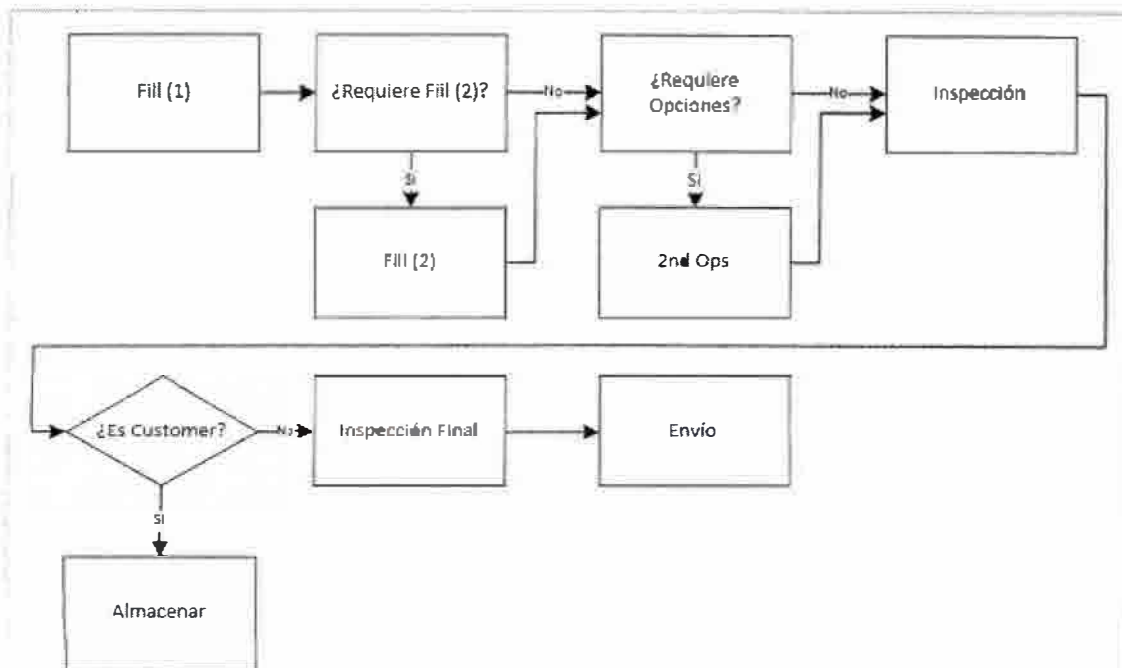
Análisis ROP teórico vrs práctico

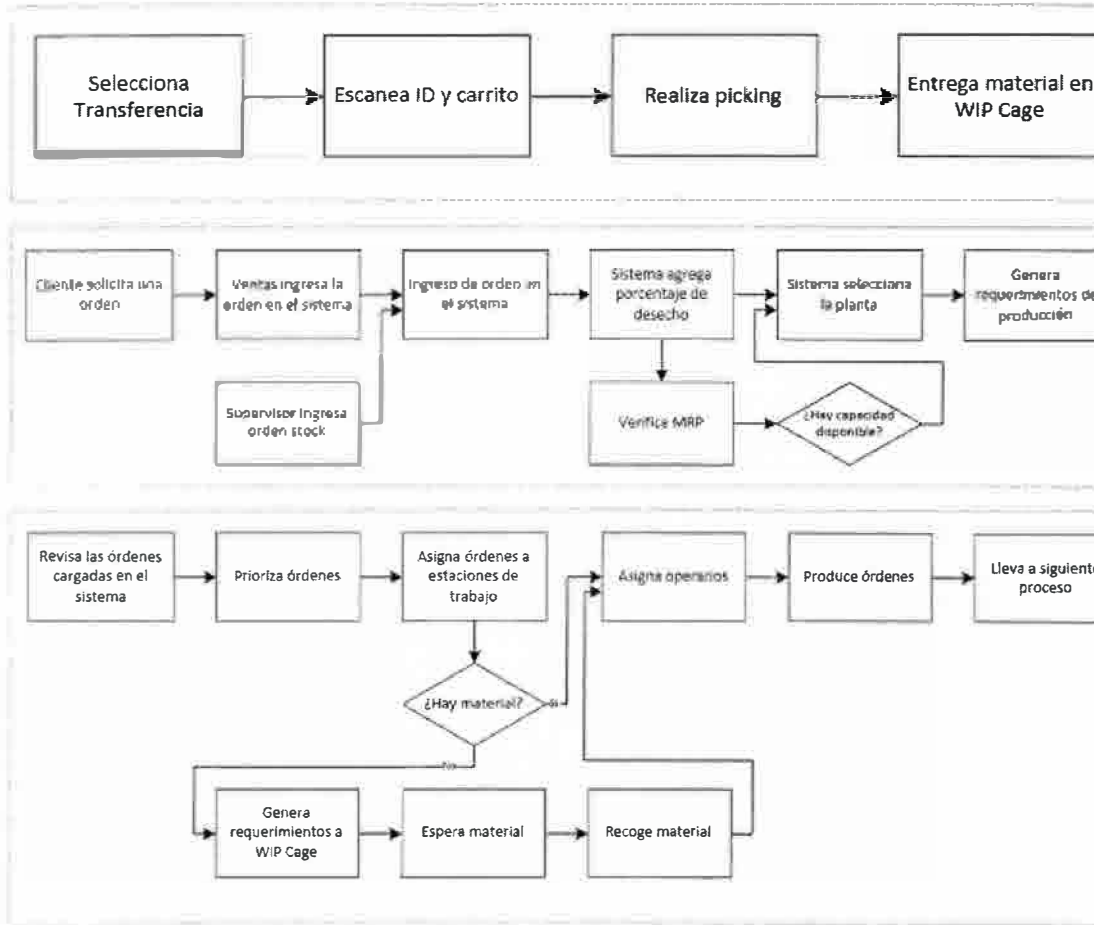
Categoría	Samtec	Teórico	Service Level
A	2,42 meses	31.42 días	99,9%

Apéndice 6. Comprobación de supuestos



Apéndice 7. Diagramas de flujo de procesos de producción, reabastecimiento y manejo de inventarios





Apéndice 8. Prueba de significancia de órdenes *scarlet*

Two-Sample T-Test and CI: QuantityRequired; ID

Two-sample T for QuantityRequired

ID	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal	242662	7623	151589	308
Scarlet	82	1352	5329	588

Difference = μ (Normal) - μ (Scarlet)

Estimate for difference: 6271

95% CI for difference: (4953; 7585)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 9,44 P-Value = 0,000 DF = 131

Apéndice 9. Diagrama de flujo MPS

Documento adjunto

Apéndice 10. Validación metodología para el reabastecimiento de componentes

Producto	Req. Real (promedio)	ROP	Inventario Inicial	Inventario Santeo (Promedio)	Inventario Nuevo (Promedio)	Diferencia	Porcentaje
QTE-20-01-D-01-A-FL-.CR	25	62	4	130	20	-110	85%
QSH-30-01-D-EM2-04-.CR	570	598	219	2 042	706	-1 337	65%
QTE-20-01-D-05-A-.CR	36	117	400	467	171	-295	63%
QSH-30-01-D-02-A-RT1-.CR	870	700	1 080	4 512	1 767	-2 745	61%
QSH-30-01-D-01-A-RT1-.CR	704	533	685	2 771	1 129	-1 643	59%
QTH-30-01-D-02-A-RT1-.CR	687	632	1 700	2 785	1 137	-1 648	59%
QTH-30-02-D-01-A-.CR	8 303	17 738	14 000	28 284	13 082	-15 202	54%
QSH-30-01-D-03-A-.CR	23 099	36 375	22 500	89 404	41 432	-47 973	54%
QTE-20-03-D-02-.CR	15 507	11 640	16 893	64893	30 224	-34 670	53%
QSE-20-01-D-04-.CR	1 280	1 560	1 500	5 415	2 546	-2 869	53%
QSH-30-01-D-03-.CR	70	140	202	344	163	-181	53%
QSH-30-01-D-02-A-FL-.CR	539	939	300	2 491	1 198	-1 292	52%
QTH-30-01-D-02-A-GP-.CR	78	157	204	240	117	-124	51%
QTH-30-02-D-03-A-.CR	5 983	6 276	7 500	23 701	11 656	-12 045	51%
QTE-20-01-D-04-A-.CR	850	1 053	1 226	3 272	1 625	-1 647	50%
QTH-30-01-D-EM2-04-.CR	349	449	1 000	1 077	539	-538	50%
QSE-20-01-D-03-A-RT1-.CR	89	143	164	310	157	-154	49%
QTE-20-01-D-02-A-RT1-.CR	401	502	575	1 524	773	-751	49%
QTHH-30-01-D-03-A-.CR	5 140	11 028	10 000	20 224	10 286	-9 937	49%
QTEH-20-01-D-01-A-.CR	18 123	34 400	20 000	68 665	35 597	-33 068	48%
QTE-20-01-D-01-A-RT1-.CR	280	323	131	1 074	577	-497	46%
QTH-30-02-D-02-A-.CR	57 131	103 592	54 000	229 267	124 757	-104 509	46%
QSH-30-01-D-EM2-03-.CR	25	105	358	404	221	-182	45%
QSE-20-01-D-03-A-.CR	21 990	21 827	19 943	101 558	55 951	-45 607	45%
QTHH-30-03-D-01-A-.CR	4 076	13 025	10 000	13 096	7222	-5874	45%
QTHH-30-03-D-04-A-.CR	229	291	21	581	326	-255	44%
QTHH-30-03-D-03-A-.CR	787	896	1 146	2 904	1 650	-1 255	43%
QTE-20-01-D-02-A-.CR	84 637	124 477	105 000	423 278	243194	-180 084	43%
QTH-30-01-D-02-A-.CR	53 944	94 581	205 000	199 265	114 942	-84 322	42%
QTE-20-03-D-01-.CR	13 006	9 956	12 000	47 631	27 497	-20 134	42%
QSH-30-01-D-05-A-.CR	584	712	1 383	2 733	1 589	-1 144	42%
QSH-30-01-D-02-.CR	384	563	1 110	1 299	756	-543	42%
QSE-20-11-D-03-A-.CR	1 117	1 403	841	4 267	2 488	-1 778	42%

Producto	Req. Real (promedio)	ROP	Inventario Inicial	Inventario Samtec (Promedio)	Inventario Nuevo (Promedio)	Diferencia	Porcentaje
QTH-30-02-D-02-.CR	23 513	33 666	48 000	90 220	53 261	-36 959	41%
QTH-30-01-D-01-A-.CR	76 529	171 055	280 000	281 221	166 110	-115 110	41%
QTE-20-03-D-02-A-.CR	10 132	11 416	14 000	38 865	23 271	-15 594	40%
QTE-20-02-D-04-A-.CR	1 985	2 351	2 855	7 623	4 603	-3 020	40%
QSH-30-01-D-01-RA-GP-.CR	8	34	105	120	75	-45	37%
QSH-30-01-D-02-RA-.CR	611	1 077	1 000	2 532	1 627	-906	36%
QTEH-20-01-D-02-A-.CR	39 793	60 243	95 000	166 518	107 489	-59 029	35%
QSH-30-01-D-01-.CR	13 515	37 915	50 000	57 884	37 736	-20 148	35%
QTEH-20-01-D-05-A-.CR	400	500	1 424	1 723	1 134	-588	34%
QTH-30-01-D-05-A-.CR	140	346	300	929	614	-314	34%
QTH-30-02-D-03-.CR	5 994	9 660	15 000	19 094	13 045	-6 049	32%
QSE-20-01-D-EM2-02-. CR	676	785	174	1 639	1 131	-508	31%
QTE-20-03-D-04-.CR	1 797	4 068	9 000	7 456	5 186	-2 270	30%
QSE-20-01-D-01-A-RT1-.CR	299	314	694	1 298	904	-394	30%
QSE-20-01-D-02-A-.CR	34 408	27 699	43 709	117 832	82 400	-35 372	30%
QTH-30-01-D-03-RA-.CR	147	225	514	575	410	-166	29%
QTHH-30-03-D-02-A-.CR	1 365	1 583	4 459	5 556	3 978	-1 578	28%
QSE-20-01-D-04-A-.CR	12 183	27 091	31 500	39 308	28 332	-10 976	28%
QSE-20-01-D-EM2-01-.CR	952	897	693	3 669	2 725	-944	26%
QTE-20-01-D-01-.CR	380	532	2 400	1 564	1 163	-401	26%
QTE-20-02-D-03-A-.CR	6 799	6 267	10 918	21 378	15 918	-5 460	26%
QSE-20-01-D-01-.CR	2 732	7 763	10 000	8 895	6 638	-2 257	25%
QTE-20-01-D-01-A-.CR	67 765	172 315	150 000	305 021	228 639	-76 382	25%
QTH-30-02-D-04-A-.CR	721	904	1 483	3 016	2 271	-745	25%
QTE-20-03-D-05-A-.CR	256	417	1 455	1 252	943	-309	25%
QTH-30-01-D-02-A-FL-.CR	570	818	50	2 383	1 796	-587	25%
QTE-20-02-D-02-A-.CR	33 116	65 501	156 000	159 837	120 697	-39 140	24%
QTEH-20-01-D-03-A-.CR	5 683	11 178	27 500	19 887	15 418	-4 468	22%
QSE-20-01-D-02-A-GP-.CR	43	107	90	170	135	-35	21%
QTE-20-02-D-05-A-.CR	132	288	696	775	617	-157	20%
QTE-20-02-D-01-A-.CR	14 666	26 242	42 000	53 128	42 400	-10 728	20%
QSE-20-01-D-EM2-02-GP-.CR	14	49	200	226	200	-26	12%
QSE-20-11-D-02-A-.CR	948	1 272	741	2 483	2 467	-16	1%
QSH-30-01-D-01-A-.CR	27 738	59 725	140 000	111 873	111 873	0	0%
QSH-30-01-D-04-A-.CR	3 935	8 491	28 031	17 275	17 275	0	0%
QTH-30-01-D-01-.CR	3 021	6 043	30 000	20 983	20 983	0	0%
QTH-30-01-D-EM2-02-.CR	1 860	4 726	7 500	4 455	4 455	0	0%
QTE-20-01-D-03-A-GP-.CR	1 050	2 459	5 339	5 339	5 339	0	0%
QSH-30-11-D-01-A-.CR	718	1 318	14 840	14 840	14 840	0	0%

Producto	Req. Real (promedio)	ROP	Inventario Inicial	Inventario Samtec (Promedio)	Inventario Nuevo (Promedio)	Diferencia	Porcentaje
QTH-30-01-D-02-RA-CR	301	598	4 000	2 949	2 949	0	0%
QSH-30-01-D-01-RA-CR	307	574	3 000	2 301	2 301	0	0%
QSH-30-01-D-01-A-FL-CR	315	620	543	779	779	0	0%
QSE-20-01-D-05-A-CR	253	837	3 000	2 265	2 265	0	0%
QSE-20-01-D-02-CR	138	480	8 000	7 743	7 743	0	0%
QTEH-20-01-D-02-CR	122	618	10 225	10 225	10 225	0	0%
QSE-20-01-D-EM2-04-CR	112	176	482	482	482	0	0%
QTE-20-01-D-EM2-05-CR	96	154	25	25	25	0	0%
QTE-20-01-D-02-CR	53	143	100	135	135	0	0%
QTHH-30-01-D-05-A-CR	46	224	6 000	5 829	5 829	0	0%
QTHH-30-01-D-02-CR	36	83	1 200	1 193	1 193	0	0%
QSE-20-01-D-EM2-01-GP-CR	33	107	1 170	1 109	1 109	0	0%
QTEH-20-01-D-01-CR	27	69	228	228	228	0	0%
QTE-20-02-D-02-CR	26	115	150	150	150	0	0%
QTE-20-01-D-EM2-04-CR	25	114	500	500	500	0	0%
QTH-30-01-D-01-A-GP-CR	36	88	55	55	55	0	0%
QTH-30-01-D-02-FL-CR	24	88	50	94	94	0	0%
QSH-30-01-D-01-A-GP-CR	35	105	350	350	350	0	0%
QSE-20-01-D-03-CR	33	84	25	25	25	0	0%
QTH-30-01-D-03-RA-PGP-CR	25	59	1 000	897	897	0	0%
QSH-30-01-D-02-A-GP-CR	19	88	36	72	72	0	0%
QTE-20-01-D-02-A-GP-CR	17	73	590	493	493	0	0%
QSH-30-01-D-04-CR	25	76	250	250	250	0	0%
QSH-30-01-D-03-RA-GP-CR	14	55	882	786	786	0	0%
QSH-30-01-D-03-A-GP-CR	10	31	20	32	32	0	0%
QTE-20-01-D-03-CR	9	38	50	50	50	0	0%
QTHH-30-01-D-03-CR	3	14	100	100	100	0	0%
QTHH-30-01-D-01-CR	3	14	850	850	850	0	0%

Fuente: Elaboración propia con datos de Samtec

Apéndice 11. Validación metodología para el reabastecimiento de productos make-to-stock

SUB	Req. Real (promedio)	ROP	Inventario Inicial	Producción promedio Samtec	Producción promedio modelo	Porcentaje
SUB-QTH-020-01-L-D-DP-A-TY-C	95	3 514	9 230	209	39	81%
SUB-QTH-020-01-H-D-DP-A-TY-C	17	626	1 282	47	12	74%
SUB-QTH-020-04-L-D-DP-A-TY-C	94	4 058	1 712	143	127	11%
SUB-QTH-030-01-C-D-A-TY-CR	15	774	541	19	16	19%
SUB-QTH-030-01-L-D-A-TY-CR	61	1 855	30 318	3 037	0	100%

SUB	Req. Real (promedio)	ROP	Inventario Inicial	Producción promedio Santec	Producción promedio modelo nuevo	Porcentaje
S-QTH-030-01-L-D-EM2-TY-CR	0	4	1 504	31	0	100%
S-QTH-030-01-H-D-EM2-TY-CR	1	37	1 346	0	0	0%
SUB-QTH-030-02-L-D-A-TY-CR	24	741	9 344	288	0	100%
SUB-QTH-030-03-L-D-A-TY-CR	12	394	5 638	151	0	100%
SUB-QTH-030-04-L-D-A-TY-CR	21	1 012	12 942	607	0	100%
SUB-QTH-030-05-L-D-A-TY-CR	13	461	5 604	183	0	100%
SUB-QTH-030-09-L-D-A-TY-CR	1	80	5 697	31	0	100%
SUB-QTH-040-01-L-D-DP-A-TY-C	13	530	1 728	173	4	98%
SUB-QTH-060-01-L-D-A-TY-CR	329	17 563	52 505	1 990	0	100%
SUB-QTH-060-01-L-D-DP-A-TY-C	1	46	1 380	21	0	100%
S-QTH-060-01-F-D-EM2-TY-CR	2	240	215	2	12	-489%
SUB-QTH-060-01-H-D-A-TY-CR	33	1 247	3 744	414	14	97%
S-QTH-060-01-L-D-EM2-TY-CR	38	1 589	1 746	16	34	-117%
SUB-QTH-060-02-L-D-A-TY-CR	42	1 548	12 569	660	0	100%
SUB-QTH-060-03-L-D-A-TY-CR	22	603	6 667	297	0	100%
SUB-QTH-060-04-L-D-A-TY-CR	11	332	2 701	147	0	100%
SUB-QTH-060-05-L-D-A-TY-CR	24	1 048	180	58	26	54%
SUB-QTH-060-09-L-D-A-TY-CR	0	6	584	26	0	100%
SUB-QTH-080-01-L-D-DP-A-TY-C	9	619	967	8	0	100%
SUB-QTH-080-03-L-D-DP-A-TY-C	0	26	462	0	0	0%
SUB-QTH-090-01-L-D-A-TY-CR	24	850	6 620	314	0	100%
SUB-QTH-090-02-L-D-A-TY-CR	6	361	4 334	178	0	100%
SUB-QTH-090-03-L-D-A-TY-CR	3	496	1 747	31	6	81%
SUB-QTH-090-04-L-D-A-TY-CR	4	212	1 589	120	0	100%
SUB-QTH-090-05-L-D-A-TY-CR	8	245	434	39	7	81%
SUB-QTH-090-09-L-D-A-TY-CR	18	1 351	734	18	62	-239%
SUB-QTH-100-02-L-D-DP-A-TY-C	0	16	120	0	0	0%
SUB-QTH-120-01-H-D-A-TY-CR	0	2	392			0%
SUB-QTH-120-02-L-D-A-TY-CR	0		260	34		100%
SUB-QTH-120-03-L-D-A-TY-CR	3	104	176	10	2	78%
SUB-QTH-120-04-L-D-A-TY-CR	0	31	360	8		100%
SUB-QTE-014-01-L-D-DP-A-TY-C	62	3 223	12 224	63		100%
SUB-QTE-014-01-H-D-DP-A-TY-C	1	90	5 388	19		100%
SUB-QTE-014-03-L-D-DP-A-TY-C	6	379	336	5	4	18%
SUB-QTE-014-05-L-D-DP-A-TY-C	34	2 267	820	52	102	-95%
SUB-QTE-020-01-L-D-A-TY-CR	34	806	90 425	3 639		100%
SUB-QTE-020-01-L-D-A-GP-TY-C	1	80	3 051	63		100%
S-QTE-020-01-L-D-EM2-TY-CR	73	2 224	567	94	110	-16%
SUB-QTE-020-01-H-D-A-TY-CR	22	1 515	488	68	20	71%

SUB	Req. Real (promedio)	ROP	Inventario Inicial	Producción promedio Samtac	Producción promedio modelo nuevo	Porcentaje
SUB-QTE-020-02-L-D-A-TY-CR	65	2 019	7 536	366	37	90%
SUB-QTE-020-03-L-D-A-TY-CR	20	684	7 584	209		100%
SUB-QTE-020-04-L-D-A-TY-CR	21	755	2 412	383	26	93%
SUB-QTE-020-05-L-D-TY-CR	0	5	215	1		100%
SUB-QTE-020-05-L-D-A-TY-CR	17	528	4 720	141		100%
SUB-QTE-028-01-L-D-DP-A-TY-C	11	620	2 976	105	8	92%
S-QTE-028-01-L-D-DP-EM2-TY-C	2	173	207	2	6	-168%
SUB-QTE-028-02-L-D-DP-A-TY-C	0	6	2 176	63		100%
SUB-QTE-028-04-L-D-DP-A-TY-C	0	50	240	5		100%
SUB-QTE-028-05-L-D-DP-A-TY-C	0		3 964	141		100%
SUB-QTE-040-01-L-D-A-TY-CR	16	536	75 241	954		100%
SUB-QTE-040-01-L-D-A-GP-TY-C	2	161	211	2	5	-162%
S-QTE-040-01-H-D-EM2-TY-CR	0	4	631	5		100%
SUB-QTE-040-02-L-D-A-TY-CR	14	506	12 116	445		100%
SUB-QTE-040-03-L-D-A-TY-CR	35	1 031	6 966	403		100%
SUB-QTE-040-04-L-D-A-TY-CR	9	460	2 628	308	7	98%
SUB-QTE-040-04-H-D-A-TY-CR	0		1 520	73		100%
SUB-QTE-040-05-L-D-TY-CR	5	418	540		3	--
SUB-QTE-040-05-L-D-A-TY-CR	20	720	1 368	188	18	90%
SUB-QTE-042-01-L-D-DP-A-TY-C	0	23	2 000	84		100%
SUB-QTE-042-02-L-D-DP-A-TY-C	1	42	100	1	1	9%
SUB-QTE-056-03-L-D-DP-A-TY-C	41	2 266	2 628		7	--
SUB-QTE-060-01-L-D-A-TY-CR	11	338	5 780	188		100%
SUB-QTE-060-01-L-D-A-GP-TY-C	3	211	5 209	10		100%
SUB-QTE-060-02-L-D-A-TY-CR	11	469	7 098	204		100%
SUB-QTE-060-03-L-D-A-TY-CR	11	536	4 755	272		100%
SUB-QTE-060-04-L-D-A-TY-CR	3	206	4 401	162		100%
SUB-QTE-060-05-L-D-A-TY-CR	11	413	540	39	10	75%
SUB-QTE-070-03-L-D-DP-A-TY-C	0	14	110			0%
S-QTE-080-01-L-D-EM2-GP-TY-C	1	159	43			0%
SUB-QTE-080-02-L-D-A-TY-CR	0		703	13		100%
SUB-QTE-080-04-L-D-A-TY-CR	0	20	730	37		100%
SUB-QTE-080-05-L-D-A-TY-CR	4	161	1 342	55		100%
SUB-QTE-100-04-L-D-A-TY-CR	1	81	102	1		100%
SUB-QSE-014-01-L-D-DP-TY-CR	0	21	255	5		100%
SUB-QSE-014-01-L-D-DP-A-TY-C	92	3 618	9 404	246	107	57%
SUB-QSE-020-01-L-D-TY-CR	1	55	4 419	47		100%
SUB-QSE-020-01-L-D-A-TY-CR	297	6 574	190 489	5 340		100%
SUB-QSE-020-01-L-D-A-GP-TY-C	77	3 974	3 322	140	167	-20%

SUB	Req. Real (promedio)	ROP	Inventario Inicial	Producción promedio Samtec	Producción promedio modelo nuevo	Porcentaje
S-QSE-020-01-L-D-EM2-TY-CR	3	227	68	24	5	79%
SUB-QSE-020-01-H-D-A-TY-CR	29	1 011	1 413	136	23	83%
SUB-QSE-028-01-L-D-DP-TY-CR	0	21	203	4		100%
SUB-QSE-028-01-L-D-DP-A-TY-C	11	433	6 330	325		100%
S-QSE-028-01-L-D-DP-EM2-TY-C	4	261	459			0%
SUB-QSE-040-01-C-D-A-TY-CR	19	727	24 786			0%
SUB-QSE-040-01-F-D-A-TY-CR	130	2 752	9 826	327	79	76%
S-QSE-040-01-L-D-EM2-TY-CR	1	90	478			0%
S-QSE-040-01-L-D-EM2-GP-TY-C	0	6	51	1		100%
SUB-QSE-040-01-H-D-A-TY-CR	4	227	990	91	3	97%
SUB-QSE-040-01-L-D-A-TY-CR	480	8 528	36 210	1 849	299	84%
SUB-QSE-040-01-L-D-A-TY-ERI	5108	175 640	13 825	3 330	7 535	-126%
SUB-QSE-042-01-L-D-DP-A-TY-C	2	74	2 478	115		100%
SUB-QSE-042-01-H-D-DP-A-TY-C	1	69	199	4		100%
SUB-QSE-056-01-L-D-DP-A-TY-C	5	289	3 775	24		100%
SUB-QSE-060-01-L-D-A-TY-CR	68	1 703	535	1 173	60	95%
SUB-QSE-060-01-L-D-A-GP-TY-C	3	220	8 491			0%
SUB-QSE-060-01-H-D-A-TY-CR	4	173	1 420	80		100%
SUB-QSE-060-11-L-D-A-TY-CR	0		1 055	37		100%
SUB-QSE-080-01-L-D-A-TY-CR	89	3 564	50 595	262		100%
SUB-QSE-080-01-L-D-A-GP-TY-C	2	182	44	3		100%
SUB-QSE-100-01-L-D-A-TY-CR	0	4	594	8		100%
SUB-QSH-020-01-L-D-DP-A-TY-C	166	4 489	8 436	521	136	74%
SUB-QSH-030-01-C-D-A-TY-CR	71	3 027	7 816	230	55	76%
SUB-QSH-030-01-L-D-TY-CR	0	43	25 350	785		100%
SUB-QSH-030-01-L-D-A-TY-CR	193	3 726	101 973	4 267		100%
SUB-QSH-030-01-L-D-A-GP-TY-C	1	159	273			0%
SUB-QSH-040-01-L-D-DP-A-TY-C	34	1 202	7 090	759		100%
SUB-QSH-060-01-C-D-A-TY-CR	3	99	2 127	157		100%
SUB-QSH-060-01-L-D-A-TY-CR	308	17 342	50 846	3 770		100%
SUB-QSH-060-01-L-D-DP-A-TY-C	2	165	167	41	2	94%
S-QSH-060-01-L-D-EM2-TY-CR	5	351	1 073	8		100%
SUB-QSH-080-01-L-D-DP-A-TY-C	7	316	408	8	3	58%
SUB-QSH-080-01-L-D-A-TY-CR	63	1 694	9 799	836		100%
S-QSH-090-01-L-D-EM2-TY-CR	0		50	3		100%
SUB-QSH-090-01-H-D-A-TY-CR	8	364	559	21	6	72%
SUB-QSH-120-01-L-D-A-TY-CR	13	506	6 254	105		100%
SUB-QSH-120-01-H-D-A-TY-CR	1	53	1 404	3		100%
SUB-QSH-150-01-L-D-A-TY-CR	0	8	777	21		100%