

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA**

**SISTEMA DE MEDICIÓN DEL TRÚPUT ORGANIZACIONAL , QUE  
PERMITA MEDIANTE SIMULADORES INCIDIR SOBRE VARIABLE  
PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y EL INDICADOR DE  
VALOR AGREGADO EN LA PLANTA DE CALZADO MODA DE LA  
INDUSTRIA PLASTICAUCHO S.A**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER  
EN INGENIERIA INDUSTRIAL Y PRODUCTIVIDAD**

**BOLÍVAR MARTÍN VELA CHICAIZA**

**Director: ING. OMAR FERNANDO BONILLA HIDALGO MSC.**

**Quito, enero 2020**

© Escuela Politécnica Nacional (2019)  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Bolivar Martin Vela Chicaiza declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Bolivar Martin Vela Chicaiza**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Bolívar Martín Vela Chicaiza, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Omar Fernando Bonilla Hidalgo MSC**  
**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todos los involucrados que hicieron posible este trabajo de investigación; profesores, principalmente al Matemático Gustavo Herrera que me inspiro en el tema tratado, así también como a mi Director de Tesis y a la empresa Plasticaucho.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi madre, hermanos y hermanas como ejemplo de lucha y emprendimiento, a mi esposa e hijos por su acompañamiento en todos mis retos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>IX</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1 EVA	1
1.1.1 EL Valor Bursátil	2
1.1.2 El Beneficio Neto	2
1.1.3 El Dividendo	2
1.1.4 El Cash-Flow	2
1.1.5 Utilidad antes de impuestos	3
1.2 ROE	3
1.2.1 La rentabilidad económica ROI	3
1.2.2 La rentabilidad económica ROE	3
1.2.3 Costo promedio de capital WAAC	4
1.3 Trúput	4
1.3.1 Estado del arte de la Contabilidad del Trúput	4
1.3.2 Definir las métricas fundamentales del sistema	8
1.3.3 Optimización del sistema	10
1.3.4 Cuentas del Trúput	13
1.3.5 Análisis de contribución del Trúput	15
1.4 Modelador Matemático	17
1.4.1 La investigación operativa	17
1.4.2 Optimización	17
1.5 Análisis de incidencia	18
1.5.1 Modelador matemático con TOC	19
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>

2.1 Descripción de la planta	21
2.2 Mapeo de procesos y sub procesos	22
2.2.1 Procesos para determinar estándares de producción	22
2.2.2 Procesos para determinar consumo de materiales	22
2.2.3 Costeo de productos y procesos	23
2.3 Generación de simuladores	24
2.4 Identificación de restricciones y variables que inciden en la productividad de la planta	25
2.4.1 Restricción de demanda	25
2.4.2 Restricción de cantidad mínima de pedido	26
2.4.3 Restricción de capacidad	26
2.4.4 Restricción de capacidad sub contratada	27
2.4.5 Restricción de disponibilidad de materias primas	27
2.4.6 Restricción de no negatividad	28
2.4.7 Modelo matemático	28
2.5 Explotación de las restricciones	29
2.6 EVALUACION DE CORRIDA EN PROYECTO PILOTO	30
2.6.1 Alcances	32
2.6.2 Limitaciones	33
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>34</b>
3.1 Descripción de la planta	34
3.2 Mapeo de procesos	38
3.3 Generación de simuladores	45
3.3.1 Propiedades de los objetos de interfaz	49
3.3.2 Códigos para eventos	50
3.4 Identificación de restricciones y variables que inciden en la productividad de la planta	50
3.4.1 Determinación de productos con mayor contribución del Trúput	51

3.4.2 Ejecución de macros para cálculo de restricción de planta	52
3.5 Corrida en proyecto piloto	54
3.5.1 Características generales de la línea de producción	54
3.5.2 Características de los productos que ofrece	55
3.5.3 Determinación de variables que afectan la productividad	55
3.5.3.1 Materias primas	55
3.5.3.2 Material de empaque	56
3.5.3.3 Gastos de operación	56
3.5.3.4 Ciclos de producción	56
3.5.4 Resolución del modelo matemático	61
3.5.5.6 Aplicación de simulación en línea relax	64
3.6 Explotación de la restricción y medición del impacto sobre el valor agregado de planta	69
3.7 Evaluación de corrida en proyecto piloto	81
<b>4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>84</b>
4.1 Conclusiones	84
4.2 Recomendaciones	85
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
Figura 1.1. Métricas operativas fundamentales	11
Figura 1.2. Puente métricas operativas fundamentales	12
Figura 1.3. Analogía de las empresas	16
Figura 1.4. Pasos método TOC	20
Figura 2.1. Esquema de implementación	32
Figura 3.1. Ubicación planta industrial Plasticaucho	35
Figura 3.2. Árbol negativo	36
Figura 3.3. Árbol positivo	37
Figura 3.4. Flujo de procesos para determinación de estándares	39
Figura 3.5. Flujo de procesos determinación de consumos	40
Figura 3.6. Flujo de procesos para costear productos	42
Figura 3.7. Flujo de procesos para generación informes de Trúput	43
Figura 3.8. Caracterización de procesos de sistematización	44
Figura 3.9. Tiempos requeridos por operación	45
Figura 3.10. Resultado aplicación solver	46
Figura 3.11. Maximización del Trúput	47
Figura 3.12. Interfaz del simulador del Trúput	48
Figura 3.13. Propiedad de cada objeto de interfaz	49
Figura 3.14. Flujo de operaciones planta piloto	54
Figura 3.15. Componentes de la sandalia para cuentas del Trúput	56
Figura 3.16. Proceso de troquelado	57
Figura 3.17. Proceso de estampado	58
Figura 3.18. Proceso de montaje	59
Figura 3.19. Proceso de empaque	60
Figura 3.20. Proceso de inyección	61
Figura 3.21. Interfaz del proceso solver en excel	62
Figura 3.22. Celda Objetivo	63
Figura 3.23. Saturación de recursos	66
Figura 3.24. Ranking de productos	67
Figura 3.25. Medidor de valor agregado primera simulación	68

Figura 3.26. Analisis de valor agregado lineas de producción	71
Figura 3.27. Mapa de flujo de procesos optimizado	73
Figura 3.28. Saturación de recursos	74
Figura 3.29. Ranking de productos	75
Figura 3.30. Medidor de valor agregado	75
Figura 3.31. Medidor de valor agregado tercera simulación	79
Figura 3.32. Evolucion EVA	82
Figura 3.33. Analisis de valor agregado linea de producción relax	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.	Capacidad de producción troquelado	57
Tabla 3.2.	Tiempo de producción troquelado	57
Tabla 3.3.	Capacidad de producción estampado	58
Tabla 3.4.	Tiempo de producción de estampado	58
Tabla 3.5.	Capacidad de producción montaje	59
Tabla 3.6.	Tiempo de producción montaje inicial	59
Tabla 3.7.	Capacidad de producción empaque	60
Tabla 3.8.	Tiempo de producción empaque	60
Tabla 3.9.	Capacidad de producción inyección	59
Tabla 3.10.	Matriz de función objetivo	65
Tabla 3.11.	Informe de contribución del Trúput primera simulación	69
Tabla 3.12.	Lineas de producción de WACC	70
Tabla 3.13.	Eva calculado de cada línea de negocios	70
Tabla 3.14.	Saturación de recursos	71
Tabla 3.15.	Informe de contribución del trúput segunda simulación	76
Tabla 3.16.	Incremento de demanda	77
Tabla 3.17.	Matriz de función objetivo tercera simulación	78
Tabla 3.18.	Informe de contribución del Trúput tercera simulación	80
Tabla 3.19.	Evolución de EVA	81

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b>	
Organigrama departamento financiero	35
<b>ANEXO II</b>	
Aplicación práctica del modelo matemático	47
<b>ANEXO III</b>	
Funcionamiento del simulador (Video adjunto en CD)	48
<b>ANEXO IV</b>	
Flujo de proceso montaje de sandalia inicial	54
<b>ANEXO V</b>	
Sistema SAP con informacion del producto	55
<b>ANEXO VI</b>	
Base de datos sistema SAP	64
<b>ANEXO VII</b>	
Matriz de datos de entrada	65
<b>ANEXO VIII</b>	
Demanda de productos	65
<b>ANEXO IX</b>	
Primera simulacion ejecutada (Video adjunto en CD)	66
<b>ANEXO X</b>	
Segunda simulacion ejecutada (Video adjunto en CD)	72
<b>ANEXO XI</b>	
Tercera simulacion ejecutada (Video adjunto en CD)	76
<b>ANEXO X II</b>	
Diagrama de recorrido inicial	72
<b>ANEXO X III</b>	
Diagrama de recorrido óptimo	72

## RESUMEN

En la actualidad las empresas productoras de calzado basan sus decisiones en la afectación que tendría sobre los costos unitarios, en muchas ocasiones esto impide mantenerse en el mercado y crecer, dado que los conceptos tradicionales no permiten visualizar con claridad y en forma oportuna el impacto de las decisiones sobre las inversiones de nuevos productos que se produce. Un indicador que permite visualizar el crecimiento de una empresa es el EVA que genera, de esta manera el desarrollo del presente trabajo de investigación busca dotar una herramienta gerencial que permita la toma de decisiones oportunas, basadas en el impacto que estas tienen sobre el valor agregado.

La investigación comprende una primera parte el análisis conceptual de los ejes financieros Eva y Roe y el estado del arte de la Contabilidad del Trúput, para luego implementar en una línea productiva de una industria del sector calzado. Se realiza la descripción de la planta, con los procesos relacionados y el desarrollo de un simulador basados en programación lineal que permita medir de forma rápida las métricas, Gastos de operación, Trúput total, Utilidad operacional neta, Productividad y EVA. También se identifican los productos que contribuyen más a las utilidades de la empresa, esto para la toma de decisiones más rápidas.

El simulador desarrollado en Microsoft Excel mediante programación visual Basic 2005, permite visualizar las restricciones del sistema y la saturación de los procesos, para incidir sobre ellos e inmediatamente antes de ejecutar en planta y observar la afectación sobre las métricas antes mencionadas, por lo tanto se pueden tomar las mejores dediciones sobre los procesos productivos conociendo de antemano la afectación que se tiene en el indicador EVA.

## INTRODUCCIÓN

Con la aplicación de la dolarización oficial en el Ecuador y la desaparición consiguiente de las devaluaciones, la manufactura ecuatoriana empezó a soportar una competencia de todo tipo de bienes importados, muchos de los cuales tenían una protección importante en sus países de origen, pues habían realizado devaluaciones competitivas o mantenían salarios artificialmente bajos. Un sector particularmente afectado fue el del calzado, el cual tuvo que soportar la competencia proveniente principalmente de china y de los países vecinos, a tal extremo que según un boletín de la FLACSO de mayo del 2010 afirma que de cada 10 pares de zapatos vendidos en el Ecuador, aproximadamente 8 pares eran importados. Esto se eliminó con las salvaguardas aplicadas el primer trimestre del 2009, mediante las cuales el calzado importado paga un arancel, que hasta la actualidad se mantiene; para muchos industriales del sector calzado; esto les ha permitido crecer, sin embargo también se ha producido en estatismo en la mejora de los procesos provocando costos altos de producción. Si las salvaguardas se eliminan, el sector quedará expuesto con baja competitividad dentro de la región. En el entorno competitivo actual las empresas de calzado requieren de un sistema gerencial que permita tener un mejor entendimiento de las decisiones sobre las inversiones considerando su impacto en la rentabilidad. De esta manera la contabilidad del Trúput es un modelo estratégico, sistemático y estructurado para conseguir que los productos fabricados y el sistema de producción tengan una rentabilidad óptima, evaluar las limitaciones de capacidad del sistema permitirá entender claramente sus restricciones, para administrar de una manera más efectiva la capacidad de las líneas de producción.

Para la realización del presente proyecto se lleva a cabo un análisis sistemático y documentado de los procesos, en una empresa de calzado ubicado en Tungurahua, PLASTICAUCHO INDUSTRIAL misma que se encuentra empeñada en el Mejoramiento Continuo, para el efecto tiene implementado el sistema de gestión de calidad ISO9001 y un ERP que funciona a través del software SAP, mantiene asesoramiento constante de un especialista sobre manejo de TOC en los proyectos y en algunas líneas de producción. Con todas estas herramientas, la

estructura organizacional ha pasado a componerse en una estructura por procesos, y esta es la razón por la cual el área de Finanzas debe estar alineada a los cambios vertiginosos del mercado actual, y prepararse para competir a nivel regional, se busca generar indicadores que permitan medir el desempeño de los procesos, siendo uno de ellos la medición de Valor Agregado que genera cada línea de negocios. Los métodos de contabilidad de costos no han mantenido el ritmo de transformación necesarios que vayan acorde a las necesidades del entorno competitivo actual, los conceptos tradicionales no permiten visualizar con claridad y en forma oportuna el impacto sobre las decisiones de las inversiones de cada colección que se produce en una de sus plantas productivas, esto indudablemente afecta la rentabilidad de la planta en mención, al final de la producción y venta. Esto conlleva la búsqueda de una correcta utilización de bienes y o servicios para lograr una cadena de valor sincronizada, que permita bajar los costos de operación e inventarios medidos financieramente con el Trúput entendido como “la tasa a la que el sistema genera dinero a través de las ventas” (Goldratt y Fox, 1997, p. 42) en base a la determinación de aquellos subprocesos que intervienen en la producción de una de sus planta productivas, mediante la identificación de restricciones y su localización funcional. Todo esto se lleva a un simulador para cuantificar el impacto de las decisiones sobre la Utilidad Neta y el Retorno sobre la Inversión, mismos que impactan directamente sobre el indicador EVA. Por tanto identificar cuales productos contribuye más a las utilidades de la empresa permitirá tomar decisiones más rápidas y acertadas.

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 EVA

El EVA (Economic Value Added), que se podría traducir al castellano como Valor Económico Añadido, se puede definir como el monto remanente de la utilidad neta después de impuestos en los libros de la corporación, después de eliminar el costo del capital invertido durante el año, esto significa que "EVA indica la contribución de un proyecto a la ganancia neta de la corporación después de impuestos" (Blank y Tarquin, 2004, p.619). Es por lo tanto un modelo que cuantifica la creación de valor que se ha producido en una empresa durante un determinado período de tiempo.

Peter Drucker (2016), en un artículo de Harvard Business Review, realizó una reflexión al Concepto de la generación de valor diciendo: "Mientras que un negocio tenga un rendimiento inferior a su costo de capital, operará a pérdidas. No importa que pague impuestos como si tuviera una ganancia real. La empresa aún deja un beneficio económico menor a los recursos que devora... mientras esto suceda no crea riqueza, la destruye" (P.145). El Valor Económico Agregado permite invertir los recursos financieros de la empresa en aquellas áreas que contribuyen de manera directa en la generación de valor. Existen otros indicadores que se utilizan actualmente de valor a los cuales el EVA trata de apalear sus defectos:

- El Valor Bursátil
- El Beneficio Neto
- El Dividendo
- El Cash-Flow
- La Rentabilidad Económica (ROI)
- La Rentabilidad Financiera (ROE)

A continuación se analizan cada una de estas magnitudes y las ventajas e inconvenientes que presentan en su interpretación como medida de valor creado por la empresa.

### **1.1.1 EL VALOR BURSÁTIL**

Según un curso dado por The Bottom Line en el año (2015) con el instructor Jorge Vera se indicó que el Valor Bursátil, “únicamente se puede aplicar en aquellas empresas que cotizan en bolsa y está sujeto a factores externos a la empresa, como la evolución del mercado bursátil en general, dado que es influenciado por factores subjetivos, como por ejemplo noticias del entorno que puedan influir en una subida o bajada de la cotización” (P.23). Es imposible dividir el valor bursátil por áreas de negocio y por tanto saber cuáles de ellas son las que generan mayor o menor valor.

### **1.1.2 EL BENEFICIO NETO**

Según un curso dado por The Bottom Line (2015) con el instructor Jorge Vera se indicó que es divisible por áreas de negocios, en este caso “sí se puede dividir el beneficio por áreas de negocio, implantando un sistema de contabilidad analítica, no se compara con ningún parámetro de inversión” (P.21). Es decir, un beneficio de 1000 es siempre mejor que uno de 100.

No contempla la situación de la liquidez de la empresa.

No tiene en cuenta el coste de la financiación propia. El beneficio neto únicamente contempla el coste de las fuentes financieras ajenas.

### **1.1.3 EL DIVIDENDO**

“Es una medida parcial de la creación de valor, ya que el dividendo puede o no distribuirse, por lo que no manifiesta necesariamente el valor creado durante el período, está influido por la decisión de la Junta General de Accionistas”. (Blank y Tarquin, 2004, p.368). En ocasiones no está acorde con la generación de recursos y por tanto con la liquidez de la empresa.

### **1.1.4 EL CASH-FLOW**

El cash-flow sí tiene en cuenta “la capacidad de la empresa para generar efectivo y por tanto la liquidez generada por la misma”. (Robayo, 2010, p.47). Se puede dividir por áreas de negocio, igual que el beneficio neto; no obstante, tiene los mismos inconvenientes comentados anteriormente del beneficio neto.

### **1.1.5 UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (EBIT)**

En inglés las siglas EBIT significan Earnings Before Interest and Taxes, se define, como “la utilidad antes de descontar los gastos financieros y los impuestos, se conoce como el resultado operacional o de explotación del periodo” (Cornejo y Díaz, 2006, p.37).

El EBIT se puede comparar con la utilidad bruta, conforme a su definición para casos prácticos de cuantificación del EVA.

## **1.2 ROE**

### **1.2.1 LA RENTABILIDAD ECONÓMICA (ROI)**

La rentabilidad económica es la relación entre el BAI (Beneficio Antes de Intereses e Impuestos) y el Activo Neto Total, es decir “mide la tasa en que la inversión de la empresa se está recompensando, esta magnitud presenta las siguientes ventajas e inconvenientes en cuanto a su interpretación como valor generado por la empresa” (Corbett, 2010, p.47).

A continuación se relaciona el beneficio con la inversión y se observan tres puntos negativos:

- No contempla ningún tipo de coste de los recursos.
- Tiende a valorar el rendimiento a corto plazo por encima del largo plazo.
- Es difícil calcularla por áreas de negocio.

### **1.2.2 LA RENTABILIDAD ECONÓMICA (ROE)**

La rentabilidad económica “mide la relación entre el Beneficio Neto y los Fondos Propios, es decir, la inversión de los accionistas” (Blank y Tarquin, 2004, p.263).

Esta magnitud presenta las siguientes ventajas e inconvenientes en cuanto a su interpretación como valor generado por la empresa:

Relaciona un beneficio con una inversión.

- Tiene en cuenta el coste de los recursos financieros ajenos.
- Es una medida que permite efectuar comparaciones entre alternativas de inversión de los accionistas.
- Es difícil calcularla por áreas de negocio.

### **1.2.3 COSTO PROMEDIO DE CAPITAL (WACC)**

Sus siglas en inglés WACC significan Weighted Average Cost of Capital, según definición dada por Robayo (2010) “indica lo que debe rendir la empresa es el promedio ponderado del costo de capital invertido” (P.242).

Esta magnitud permite el cálculo del EVA, dado que intervienen para su determinación, el costo de la deuda, costo del patrimonio, los intereses e impuestos.

## **1.3 TRÚPUT**

### **1.3.1 ESTADO DEL ARTE DE LA CONTABILIDAD DEL TRÚPUT**

En toda organización las Gerencias requieren de un sistema de información como eje principal para una adecuada toma de decisiones en todos los niveles jerárquicos que la constituyan; por tanto la toma de decisiones en base a la información financiera es una parte medular que define los planes estratégicos de la compañía, evidentemente si esta información es errónea las compañías comenzarán a tomar decisiones equivocadas con las cuales finalmente pierde la compañía y entonces todos los empleados también.

La Contabilidad de Costos forma parte de los sistemas de información Gerencial que mantienen las empresas y cumplen un rol relevante en su funcionamiento, desde sus inicios las organizaciones han evolucionado por lo que la especialización del trabajo se vuelve fundamental y es necesario mirarlo en dos dimensiones, por un lado el aumento de las capacidades productivas para cubrir necesidades cada vez más altas de los mercados y el desarrollo de centros industriales como segunda dimensión, el empresario reconoce la necesidad de allegarse de información que le permita tomar las mejores decisiones, siendo la contabilidad de costos un elemento indispensable dentro de los ejes productivos organizacionales surge la contabilidad con un carácter científico. Siendo en sus inicios muy simples porque la gran parte de costos totales está representado por costos directos, con lo cual el costo de cada artículo resulta sencillo y adecuado en esa realidad se desconocen los costos indirectos y gastos de operación.

Actualmente la participación de la mano de obra directa sobre el total de los costos en las empresas se ha reducido; “en muchos casos no es mayor del 10%. Aun así, la mayoría de las empresas continúan utilizándola como la base de asignación de los Gastos de Operación” (Corbett, 2005, p.20). Muchos consideran que este factor es la

causa de que la información de la contabilidad esté errada. De la forma como se usa, solamente cumple con la meta de las entidades externas. El objetivo verdadero de la contabilidad gerencial se ha olvidado. Además, la mano de obra directa ya no se paga por unidad producida, y los gastos de operación que son los gastos asignados a los productos, son ahora el costo más significativo de las empresas. Esto ha ocasionado que la aproximación de la asignación ya no sea lo más acertada posible.

Ahora la mayoría de los gastos no varían directamente con el volumen de producción, en la mayoría de casos solamente los costos de materia prima se comportan de esa forma.

La Contabilidad Gerencial buscó resolver estos problemas desarrollando más el actual paradigma. Expandieron los conceptos de contabilidad de costos creando metodologías más complejas, que siguen basadas en los mismos principios. Los teóricos asumen que lo que estaba mal con la contabilidad gerencial era el hecho de que se asignaba utilizando solamente una actividad como medidor – la mano de obra directa – y por lo tanto estipulan que deberían utilizarse muchas actividades como medidores.

Actualmente la contabilidad de costos no asignan los gastos basado solamente en medidores de actividad relacionados con el volumen producido. También utiliza otros medidores de actividad, además de reconocer que ciertos costos varían en proporción con el número de unidades producidas, el costeo basado en actividades también busca identificar la variabilidad del costo en relación con el número de lotes de producción, con las actividades de mantenimiento de productos en el mercado, cambios en la tecnología de producción y en sus metodologías, ventas y distribución de productos, etc.

Las nuevas metodologías de contabilidad de costos asumen que todos los costos son variables en relación con alguna actividad, sea el número de lotes de producción, el número de pedidos, o lo que sea. “El costo variable en ABC es un elemento de costo que varía con los cambios en el factor de costeo o en los volúmenes de las actividades. Por ejemplo, el costo de la actividad de mover materiales varía de acuerdo al número de veces que es necesario mover el material de una actividad a la otra. ¿Si se cambia el número de veces que se mueve el material, varían los costos? ¿Si se incrementa

el número de veces que se mueven los materiales, se requiere otra persona para que lo haga? O, ¿si se reduce el número de veces que el material se mueve se despide a alguien? Esto no suena muy razonable” (Corbett, 2005, p.21).

La obsolescencia de la contabilidad de costos no se debe a que solamente utiliza una actividad como medidor para asignar costos, sino que lo asigna a los productos, y proviene del hecho que los gastos, bajo cualquier sistema de distribución, no varían directamente con el volumen de producción y/o la mezcla, o de acuerdo con ninguna otra variable. Por tanto, la asignación solamente nos confunde y nos lleva a tomar decisiones irracionales.

Este es un primer intento por resolver esta pregunta. La asignación ya no es capaz de ofrecernos información adecuada, debido a que está basada en supuestos erróneos. “El concepto de costos está en el supuesto de que podemos medir el impacto de un área local (o de una decisión local) sobre las utilidades de la empresa, al medir cuánto dinero esta área (o decisión) absorbe o libera. Este supuesto es válido solamente si aceptamos que la importancia de todas las cosas en una organización es proporcional al gasto operacional incurrido en ellas. La vida diaria nos enseña lo contrario. Tomemos por ejemplo el caso cuando nos hace falta un material específico. El daño al sistema puede estar por fuera de toda proporción al costo de ese material” (Corbett, 2005, p.22).

Muchas personas hablan de la necesidad de cambiar la gerencia, para poder hacer del cambio una realidad. Drucker habla sobre el cambio en las prácticas gerenciales, Senge y Deming, entre otros abogan por un cambio significativo en la gerencia. Para ello, se debe abandonar los conceptos gerenciales tradicionales y utilizar nuevos.

Para el año 1980 y 1990 los gerentes se enfrentaron a un dilema dado que los sistemas de costos no ayudan a tomar decisiones, Eliyahu Goldratt uno de los estudiosos de esta problemática analiza desde la logística de producción con el desarrollo denominada Teoría de Restricciones.

“Si queremos alcanzar nuestra meta, debemos estar seguros de que los componentes de la organización se comportan consistentemente respecto a la meta establecida, para ello debemos ser capaces de entender a detalle cómo interactúan en el sistema esos elementos. Esto significa que se debe ser capaz de ver la organización como una red de procesos interdependientes, es decir se debe entender

cómo trabaja el sistema". (Lepore y Cohen, 2002, p.26-28). Este enfoque sistemático rompe el análisis del sistema como departamentos aislados.

El enfoque sistémico permite focalizar la restricción en base a cinco pasos a continuación descritos:

1.-Se puede identificar la restricción analizando los intervalos de variabilidad de un proceso y su interacción en el sistema, considerando que la variabilidad del proceso está controlada, caso contrario en cualquier momento podrá convertirse en una restricción, se pueden encontrar restricciones externas a la organización como el mercado o abastecimiento de materias primas, sea esta interna o externa como la restricción es lo que determina el Trúput se debe seguir al siguiente paso

2.- una vez encontrada la restricción se debe hacer trabajar al máximo, a esto se lo llama explotar la restricción, esto conlleva la administración de la misma y su influencia con los otros elementos del sistema, lo que significa entrar al siguiente paso.

3.-los otros elementos del sistema deben trabajar sincronizada mente de tal modo que la restricción no se detenga y pueda trabajar al máximo, a esto se lo denomina subordinar los elementos a la restricción, logrado esto se debe buscar el siguiente paso.

4.-Buscar que todos los otros recursos necesarios para completar el proceso productivo se eleve la restricción, dependiendo de la restricción, se podría adicionar máquinas o recursos, en este punto podría dejar de ser restricción, entonces se continua al paso 5.

5.- Cumplido el paso anterior deberá aparecer una nueva restricción, esto implica que se debe regresar al paso 1 y focalizar la nueva restricción.

Es indudable que en toda organización deben existir varias restricciones independiente de la naturaleza de las mismas estas deben ser administradas de forma tal que se puedan identificar dado que de estas depende el Trúput que generen, es decir la cantidad de dinero fresco que ingresa a la organización dependerán de las restricciones que estas posean.

Los empresarios que crean negocios requieren que sus inversiones produzcan los dividendos necesarios y apropiados al negocio, que son medidos finalmente con índices financieros, los mismos que serán apalancados con las mejoras sustanciales generadas en planta cuantificadas en forma sistémica por el Trúput, esto incluso antes de que se ejecuten las mejoras, lo que permite al Gerente tomar las decisiones con

una cantidad determinada de recursos sobre inversiones antes de ejecutarlas para lograr los retornos sobre la inversión, es decir, la mayor utilidad a largo plazo

### 1.3.2 DEFINIR LAS MÉTRICAS FUNDAMENTALES DEL SISTEMA

En un sistema los resultados alcanzados por los esfuerzos de los individuos o de las funciones tienen sentido solo en términos de que afecten el resultado global, logrando la meta. “Si se siguen utilizando grupos de medidores que fomenten los individuos y en las funciones la optimización de sus desempeños locales, se quebranta la visión compartida establecida anteriormente” (Monden y Sakura, 1992, p.97). Es la fuerza de esta visión compartida la que incrementa diariamente el nivel de cohesión entre las personas manteniendo sus acciones alineadas con la meta común.

En cualquier tipo de organización sea esta de servicios o de producción de bienes, las métricas principales se definen a través de las interrogantes:

¿Qué volumen de unidades direccionadas a la meta genera empresa?

¿Cuáles son las necesidades operacionales financieras?

¿Qué cantidad de dinero fresco ingresa al sistema, a través de las ventas?, y ¿Cuándo dinero sale del sistema?

Goldratt responde a estas preguntas con tres métricas: Trúput, Inventarios, y Gastos Operativos:

Trúput (T): “es la velocidad a la cual el sistema genera unidades de la meta” (Lapore, y Cohen, 2002, p.18).

Inventario (I): “es todo el dinero que el sistema invierte para comprar bienes” (Lapore, y Cohen, 2002, p.17).

Gasto Operativa (G.O.): “es todo el dinero que el sistema gasta transformando el inventario en Trúput” (Lapore, y Cohen, 2002, p.18).

Goldratt en algunos de sus textos menciona la velocidad para generar dinero, o sea que debe existir un elemento de tiempo en su consideración.

“El Trúput por unidad resulta de restar el costo totalmente variable del precio de venta. Recuerde que el costo totalmente variable es el costo que varía directamente con el volumen de producción. Si la empresa produce y vende otra unidad del producto va a incurrir en esa cantidad” (Corbett, 2005, p.43). Se entiende entonces que la mano de obra directa no es un costo variable al menos según la legislación actual, dado que el

personal tiene un sueldo fijo mensual. El costo del transporte por ejemplo en una empresa, deberá analizar si es variable o no dependerá si se paga el transporte por flete independiente de la cantidad a transportar será fijo pero si se paga por unidad transportada será variable, es importante tener claridad en esto.

El Trúput mide la cantidad de dinero que ingresa a la organización por lo tanto se mide unidades monetarias. Las entregas de productos o servicios producidos por la organización que salen a los clientes cuando se vende bien o servicio se miden en unidades. Cada unidad tendrá un precio de venta y un costo variable, por lo tanto un Trúput.

El volumen de unidades direccionadas a generar Trúput, está determinado por otra métrica fundamental es el inventario, que debe incluir materia prima; productos en proceso y terminados, adicionalmente también todo el dinero invertido en la organización tal como edificios, maquinaria, cuentas por cobrar, caja o bancos y otros bienes de capital, es decir la inversión total.

Las necesidades operativas que una organización tiene para su funcionamiento esta determinado por la métrica gastos operativos que incluye la mano de obra directa e indirecta. Se diría que son los gastos necesarios para que la organización pueda generar los bienes o servicios que salen a través de las ventas. Se podría decir que son aquellos rubros que la organización desembolsa aunque esté operando a media capacidad. “Estos medidores encajan perfectamente con el conocimiento intuitivo que tenemos acerca del desempeño de los sistemas. Es evidente que entre más Trúput se genere más cerca está de la meta del sistema, es igualmente claro que tanto la Inversión como los Gastos Operativos deben tender a minimizar su valor dado que el dinero es un recurso escaso” (Lepore y Cohen, 2002, p.18).

A continuación se muestra la relación que existe entre las métricas antes mencionadas:

$$\text{Truput} = \text{Ventas} - \text{Costos Totalmente Variables} \quad (\text{Corbett, T, 2005, p. 30}) \quad [1.1]$$

$$T = V - \text{CTV}$$

$$\text{Utilidad Operacional} = \text{Truput} - \text{Gastos Operativos} \quad (\text{Corbett, T, 2005, p. 30}) \quad [1.2]$$

$$UN = T - GO$$

$$\text{Utilidad Operacional} = \text{Ventas} - \text{CTV} - \text{Gastos Operativos} \quad [1.3]$$

$$UO = V - \text{CTV} - GO$$

- Utilidad operacional neta

Es la métrica de resultados globales que más se utiliza. Pero, también se debe considerar el retorno sobre la inversión.

“Retorno sobre la inversión (R.O.I): es igual al Trúput del periodo menos los gastos operativos del periodo, dividido por la inversión de ese periodo” (Lapore y Cohen, 2002, p.21).

$$R. O. I = \frac{\text{Trúput} - \text{Gastos operativos}}{\text{Inversión}} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Inversión}} \quad [1.4]$$

- Productividad

La productividad se entiende como “el cociente entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados” (Corbett, 2005, p.43).

Esta es una métrica importante, que se define como razón entre el Trúput y los Gastos Operativos:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Trúput}}{\text{Gastos Operativos}} \quad [1.5]$$

El incremento de la productividad está relacionada directamente con el incremento del Trúput en tanto los gastos operativos permanecen constantes o con incrementos muy discretos. Se puede deducir que:

$$\text{Mejora en Productividad} = \frac{\text{Incremento en Trúput}}{\text{Gastos Operativos}} \quad [1.6]$$

La rotación de la inversión está dada por la relación Trúput inversión.

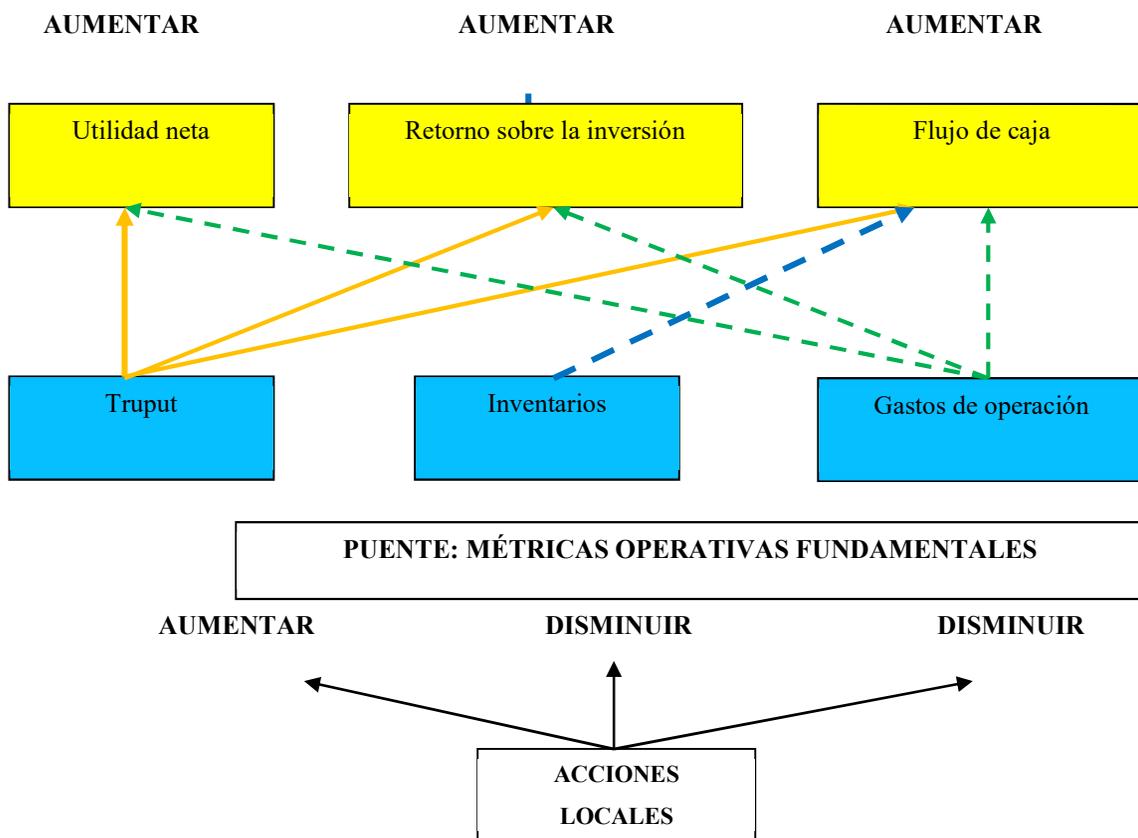
$$\text{Rotación} = \frac{\text{Trúput}}{\text{Inversión}} \quad [1.7]$$

### 1.3.3 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA

Conforme a las definiciones anteriores para una empresa cuya meta es ganar dinero se puede apreciar lo que se indica en la figura. 1.1. Si se incremente el Trúput sin afectar de forma importante los inventarios ni los gastos de operación, entonces la

unidad neta, el retorno sobre la inversión y el flujo de caja aumentan simultáneamente. Se logra el mismo resultado al reducir los gastos operativos sin afectar de manera significativa al Trúput y los inventarios.

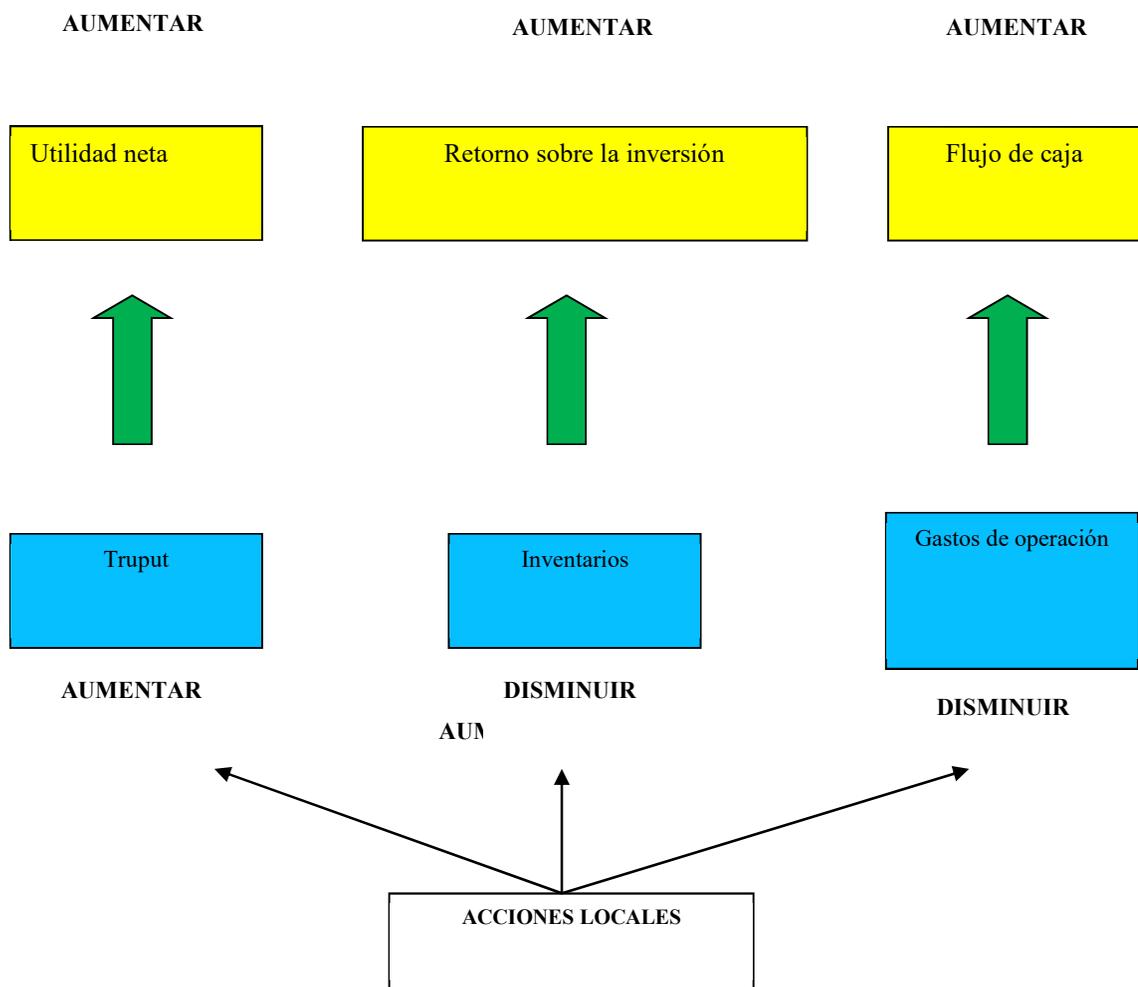
Si se analiza el impacto por disminución de inventario el resultado de esto no es diferente. Reducir el inventario incrementa el retorno sobre la inversión y el flujo de caja. No tiene un impacto directo sobre la utilidad, sino un impacto indirecto mediante el costo de mantenimiento. Si se reduce el inventario, como productos obsoletos entre otros y el nivel de materiales necesarios para la producción, entonces incrementan los tres indicadores operativos. Goldratt y Fox en el libro La Carrera lo interpreta según la figura 1.1.



**Figura 1.1.** Puente: Métricas operativas fundamentales  
(Goldratt, E. Fox, R. 1997, p.32)

La reducción del inventario tiene vital importancia en el retorno sobre la inversión dado que sin duda alguna está quizá una de las inversiones más cuantiosas que tiene una empresa que afecta al flujo de caja debido al impacto directo e indirecto. Tradicionalmente la contabilidad revela que en la medida que se incrementan los inventarios las utilidades netas también deberían aumentar; sin embargo los

inventarios son bienes que aún no se venden, es decir son productos con la esperanza de venderlos pronto, es indudable que esto no aumenta la rentabilidad además, los inventarios aumentan los costos de mantenimiento en el mediano y largo plazo. Ejemplo de este aumento es cuando los inventarios se vuelven obsoletos debido a cambio de modas o caducidad, que según el tipo de productos pueden representar cantidades ingentes en una empresa. Por tanto al bajar el nivel de inventarios aumenta liquidez de la empresa entonces la capacidad de generar Trúput en el futuro como se indica en la figura 1.2.



**Figura1.2.** Puente Métricas Operativas fundamentales

(Goldratt, E. Fox, R. 1997, p.32)

Para lograr la meta en la organización el objetivo entonces es aumentar Trúput que indudablemente mejorara los resultados globales.

Debemos ignorar los medidores tradicionales de la contabilidad de costos y considerar la diferencia entre Trúput y Gastos de Operación como aproximación exacta y precisa a la Utilidad Neta.

Si la diferencia entre el Trúput y los Gastos de Operación es positiva, entonces el impacto de la utilidad neta del sistema será positiva, independientemente del informe financiero al cual este sujeto el sistema. Este es un punto muy importante, en la medida en que, en muchos casos, los gerentes tienen dificultad con la conexión entre sus acciones y los resultados finales de la compañía, las utilidades. Los únicos medidores que los gerentes deberían utilizar para la toma de decisiones son Trúput, Inventarios, y Gastos de Operación.

El tener la habilidad simple y práctica de conectar las acciones a los resultados puede contrariar a los expertos financieros; pueden argumentar que la definición simplista de la Teoría de Restricciones maneja de utilidad neta esta errada. La definición financiera de la utilidad de un sistema puede ser más compleja; pero cualquier sistema puede ser considerado saludable si el Trúput excede los Gastos de Operación (Lapore, D & Cohen, O, 2002, p.20).

“Estas métricas, son suficientes para evaluar las decisiones estratégicas o de inversión. Los datos con que se construye estas métricas están a disposición, porque son contabilizados como costos, gastos e ingresos. Para comenzar a aplicar estas métricas, solo se necesita identificar las restricción del sistema” (Ignacio y Gómez, 1997, p.43).

#### **1.3.4 CUENTAS DEL TRÚPUT**

Se jerarquizan los siguientes indicadores como los más importantes para las empresas según Goldratt.

**Trúput:** “La velocidad en que el sistema genera dinero a través de las ventas” (Goldratt, E & Fox, R, 1997, p.32).

$\text{Trúput} = \text{Precio de venta} - \text{Costo totalmente variable}$

**Inversión:** Todo el dinero que el sistema invierte en comprar elementos que el sistema pretende vender.

**Gasto de operación:** “Todo el dinero que el sistema gasta en convertir la inversión en Trúput” (Corbett, T, 2005, p.29).

Se podría deducir entonces que el Trúput es el indicador principal en la Teoría de Restricciones, el segundo es entonces las inversiones que están fundamentalmente en los inventarios y Gastos de Operación como tercer indicador. Para la contabilidad tradicional el gasto de operación es el indicador número 1, pero para la contabilidad TOC es el último.

**Precio de venta:** Es lo que el mercado está dispuesto a pagar por un bien o servicio, si es un monopolio lo determina el dueño a conveniencia, es decir el precio lo pone el mercado.

**Inversión o Inventario.** “Todo dinero que el sistema invierte en comprar elementos que el sistema pretende vender. Este medidor y el medidor de activo de la contabilidad tradicional pueden confundirse, pero difieren cuando se refieren a trabajo en proceso y al inventario de productos terminados” (Corbett, 2005, p.31). es decir el valor que se debe considerar incluyendo los gastos asociados a mantenimiento y no únicamente las materias primas que se pagaron a proveedores o partes compradas del producto. La inversión se determina en un periodo de tiempo dado que el Trúput también tiene una métrica de tiempo y los gastos de operación.

**Costo totalmente variable (CTV):** “Son todos aquellos que varían según los volúmenes de producción” (Corbett, 2005, p.43). Son variables porque aumentan conforme los volúmenes de producción, se pueden considerar, fletes, empaques, energía de las maquinarias, comisiones a los vendedores. En los costos tradicionales ciertas organizaciones pueden llegar a distinguir, costos semifijos y costos semivariables, aquí es donde se separa los criterios de la contabilidad del Trúput con la contabilidad tradicional. La contabilidad del Trúput maneja el concepto de costo totalmente variable como se indica en líneas anteriores. Si existe duda sobre la asignación de un rubro es mejor colocarlo dentro de los gastos de operación.

**Gasto de operación:** Son los gastos necesarios para mantener en funcionamiento el negocio, estos no dependen de los volúmenes de producción. Los gastos de operación comúnmente se clasifican:

Salarios de mano de obra directa e indirecta

Servicios públicos

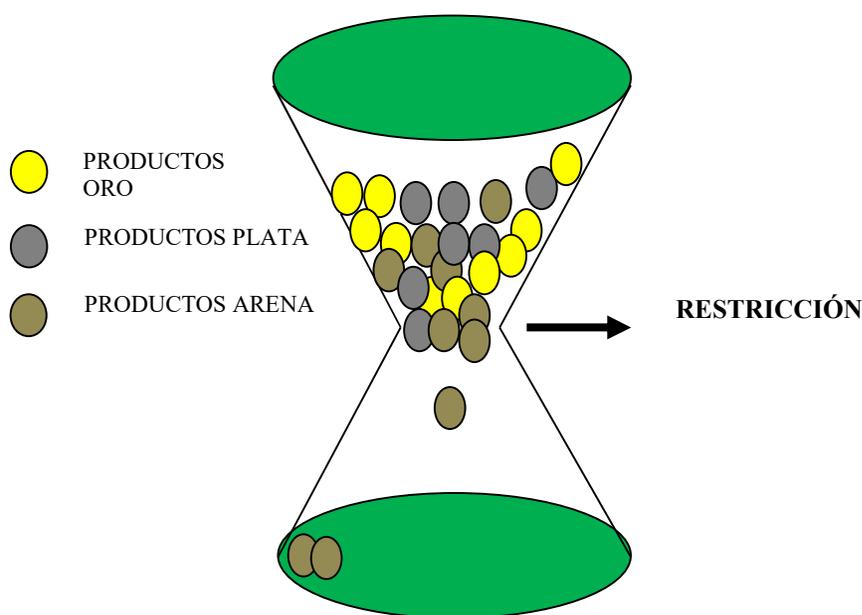
Depreciación

Publicidad, promoción  
Transporte de personal  
Gastos de administración, ventas  
Mantenimiento  
Intereses financieros

### **1.3.5 ANÁLISIS DE CONTRIBUCIÓN DEL TRÚPUT**

Se ha manifestado en los capítulos anteriores que la meta de toda organización con fines de lucro es ganar dinero, para esto el Trúput ayuda visualizando cuales productos son los más rentables considerando los cuellos de botella, para visualizar esto el autor Mark Woeppel realiza una analogía considerando las empresas como un reloj de arena. “os volúmenes de producción totales están las restricciones de planta como cuello de botella, fig 1.3. Sin embargo no toda la arena que fluye es la misma, una cierta cantidad es oro, otra es plata y otra solamente arena” (Woeppel, 2005, p.41). El mix de productos es el que determinara la mezcla óptima para obtener productos oro en primer lugar y luego plata, para en última instancia los productos arena que no generan Trúput pero que son necesarios para cubrir demandas del mercado dentro de un portafolio, conforme estrategia de ventas, incrementando así los ingresos que fluyen según restricciones de planta.

Dado que la restricción puede estar en el mercado, esto provoca una subutilización de los recursos lo que no ayuda a la rentabilidad de la planta productiva. Independiente de los costos incurridos en un producto se deberá aceptar producción para generar actividad en los recursos ociosos esto sí y solo si los precios de venta superan los costos totalmente variables. Por eso se debe tener en cuenta otro factor en la planificación de ventas el cual es la capacidad de la planta. El departamento de Ventas deberá incrementar sus esfuerzos para evitar una planta ociosa, reducir selectivamente los precios o diseñar promociones para estimular las mismas (Woeppel, 2005, p.40). En la figura 1.3 muestra como la restricción debe permitir pasar los productos oro y no los arena dado que los primero son los que generan rentabilidad, sin embargo pasan por el mismo sitio o proceso.



**Figura1.3** Analogías de la empresa  
(Woeppel, J. 2005, p.40)

El Análisis de Contribución del Rendimiento ayuda a que la organización dirija sus esfuerzos y recursos financieros hacia las restricciones que incrementen la productividad de la empresa, al utilizar el análisis de contribución por producto se puede establecer los puntos críticos e incidir sobre ellos para apalancar la productividad que incide directamente sobre la rentabilidad global de la organización y conseguir mayores utilidades mediante planes de producción y ventas, que estarán determinados por un ranking de productos. Este ranking de productos se ha de establecer analizando el tiempo consumido en la restricción según cada operación que corresponda la fabricación del producto es decir el tiempo consumido en cada máquina o recurso, esto también permite primero un entendimiento del sistema productivo total de tal forma que se logara la cooperación de todas las áreas como producción, distribución, mercadeo y ventas, finanzas.

## 1.4 MODELADOR MATEMÁTICO

### 1.4.1 LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA

Investigación operativa “es la aplicación por grupos interdisciplinarios, del método científico a los problemas complejos producidos en la dirección y gestión de grandes sistemas de hombres, máquinas” (Ramos, Sánchez y Linares, 2010, p.3).

Otra definición de Investigación operativa es: “Un método científico para dotar a los departamentos ejecutivos de una base cuantitativa para las decisiones que tengan que ver con las operaciones bajo su control” (Merino, 2015, p.7).

Según las definiciones planteadas la investigación operativa, permitirá analizar las operaciones para gestión, planificación o predicción, que permita proponer soluciones y gestionar la información para implantar acciones de mejora, técnicas apoyados de herramientas matemáticas, dado que las disciplinas propias de este ramo es la optimización y simulación, es una rama de los métodos científicos apropiados para la generación de modelador matemático.

### 1.4.2 OPTIMIZACIÓN

La optimización tiene sus inicios en la década de los 40 en donde se desarrolla el métodos Simplex, siendo este utilizado actualmente como base de la programación lineal para encontrar soluciones de matrices complejas que no se pueden desarrollar con sistemas de ecuaciones, entonces la definición que se puede aplicar para el presente estudio es: “La optimización consiste en la selección de una alternativa mejor, en algún sentido, que las demás alternativas posibles” (Ramos, Sánchez y Linares, 2010, p.5). “Dicha esta definición el argumento matemático que permite encontrar esta mejor alternativa basada en una función, para encontrar una asociación ente los elementos de salida y los elementos de entrada se denomina función lineal” (Lara y Arroba, 1998, p.117).

La forma matemática para una función lineal está dada por la siguiente expresión:

$$F(x) = ax + bx + cx + \dots \dots nx \quad [1.8]$$

“En términos de programación lineal, si la función lineal está sujeta a restricciones de igualdad o desigualdad se la llama una función Objetivo” (Merino, 2015, p.12).

La función objetivo puede representar un problema de maximización o minimización, sujeta a restricciones, estas restricciones son variables negativas o positivas, cuando se satisfacen todas las restricciones se denomina región factible del problema. Es decir que “las variables  $X$  pertenezcan al conjunto de los números reales y se llama óptima si proporciona el valor más favorable a la función objetivo” (Ramos, Sánchez y Linares, 2010, p.6).

Apostol (1985) define la forma de una función lineal de la siguiente forma (p.8):

$$f(x) = \sum_{i=1}^k C_i X_i \quad [1.9]$$

Esta función lineal se convierte en objetivo si tenemos las variables que representan las decisiones que se pueden tomar que afectan la función, sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^k a_{ij} x_i = b_i, \quad j = 1, 2, 3 \dots p - 1 \quad [1.10]$$

$$\sum_{i=1}^k a_{ij} x_i \geq b_i, \quad j = p \dots \dots q - 1 \quad [1.11]$$

$$\sum_{i=1}^k a_{ij} x_i \leq b_i, \quad j = q \dots \dots m \quad [1.12]$$

Donde  $p$ ,  $q$  y  $m$  son enteros positivos tales que:

$$1 \leq p \leq q \leq m \quad [1.13]$$

En la optimización se busca un óptimo global. “Sin embargo, las condiciones de optimización solo garantizan, en general óptimos locales, si estos existen. Los problemas lineales presentan propiedades que hacen posible garantizar el óptimo global” (Marchena y Ornales, 2007, p.5)

## 1.5 ANÁLISIS DE INCIDENCIA

Para el presente estudio el análisis de incidencia permite evaluar si con el modelo matemático se logra obtener resultados alineados con el propósito de la investigación,

para ello se plantea como criterio la Teoría de Restricciones, creada por el físico Eliyahu Goldratt, con la lógica del sentido común, un modelo que rescata la esencia de la función empresarial. “Para la Teoría de Restricciones, una empresa es un sistema de relaciones entre recursos con la meta permanente de generar valor. Lo que le impide generar más valor son sus restricciones del momento: una, dos, como mucho, tres restricciones. Si estas restricciones no existieran, el sistema generaría ganancias ilimitadas. Siendo las restricciones los factores que bloquean la obtención de más ganancias, concluye que toda gestión debe hacer foco en ellas” (Corbett, T, 2005, p.25).

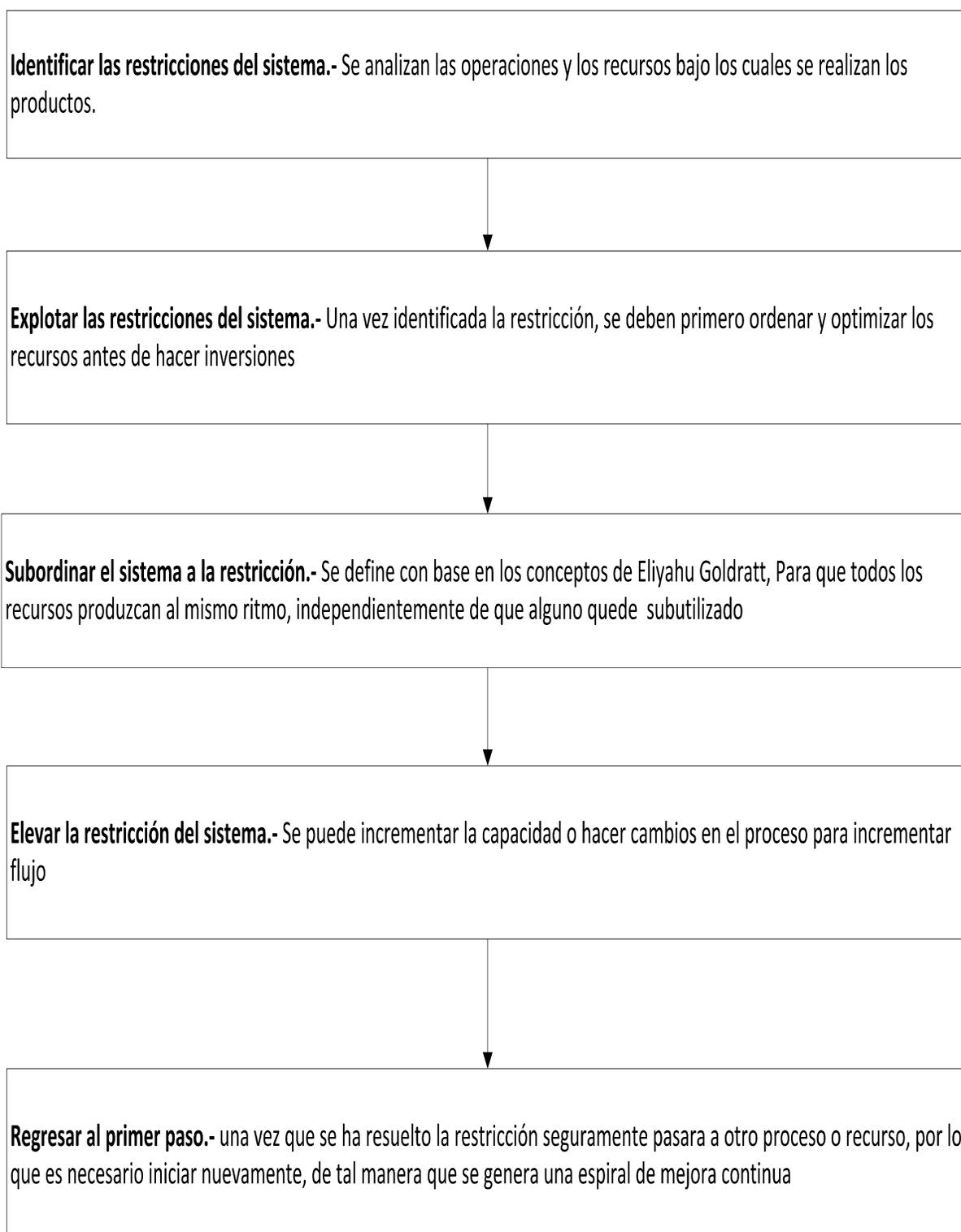
Se deriva de aquí, una metodología simple y efectiva para realizar la gestión con resultados sorprendentes en el corto plazo, sin inversión de dinero, sin despidos, sin recortes. Se demuestran, como incrementar las eficiencias en los procesos adecuados ayudan al desempeño exitoso de todo el sistema y se miden el verdadero impacto de cada área en la Cuenta de Resultados de Ganancias y Pérdidas.

El análisis de incidencia se llevara a cabo con un simulador desarrollado en Excel.

### **1.5.1 MODELADOR MATEMÁTICO CON TOC**

El sistema desarrollado por TOC tiene como fundamento manejar la restricción del sistema y gerenciar la cadena del Trúput significa que, una vez asegurada la estabilidad de todos los eslabones, “lo primero que se debe hacer dentro de cualquier sistema es identificar cuál es el eslabón más débil, y luego llevar ese eslabón a través de los Cinco Pasos de focalización de Goldratt”. (Lapore y Cohen, 2002, p.53) indicados en la Figura 1.4.

La programación lineal puede ser vista como una herramienta importante para asegurar que los principios de la Teoría de restricciones sean aplicados correctamente e incrementan el Trúput eficientemente dado que se tienen que satisfacer unas restricciones en busca de un Objetivo; el modelo de programación lineal, como en cualquier modelo de investigación de operaciones, tiene tres componentes básicos: las variables de decisión que se trata de determinar, el objetivo (la meta) que se trata de optimizar, y las restricciones que se deben satisfacer. De esta manera el Modelador matemático sirve para optimizar las restricciones de un sistema actuando sobre el recurso que esté saturado, cuyos valores pueden ser estadísticamente comprobados.



**Figura 1.4.** Esquematización de los 5 Pasos método TOC

## **2. METODOLOGÍA**

La presente investigación aborda la problemática de productividad, en una planta industrial del sector calzado y planteada una posible resolución de la siguiente manera: Diseñar un Sistema de medición a través de simuladores que permitan visualizar el Trúput de las planta de Calzado en Plasticaucho, con modelo matemático, para analizar la productividad y su impacto sobre el valor agregado permitirá lograr una mezcla óptima de productos de tal forma que disminuyan los inventarios de producto en procesos y terminado, mejorando productividad identificando a tiempo las restricciones; para esto se usa como herramienta investigativa un árbol para solución de problemas, en donde se plantea en primera instancia la situación actual con las variables que afectan la productividad se puede incidir en las restricciones y por lo tanto explotarlas, para mejorar la mezcla de productos y disminuir inventarios, esto da las siguientes alternativas de solución:

- Generar un sistema de medición Trúput que permita la utilización de simuladores e identificar variables que incrementen la productividad mediante la mezcla optima de productos que inciden en el indicador de valor agregado de la planta Calzado Moda en la Línea Relax de Plasticaucho Industrial.
- Realizar simulaciones para identificar las variables que afectan la productividad sujeta a las restricciones de fábrica para una identificación temprana de las mismas.
- Explotar las restricciones de las variables que afectan la productividad para mediante simuladores medir los cambios del indicador del valor agregado de la empresa para asegurar la mezcla óptima de productos

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA**

Para poder identificar las variables que afecten la productividad de una planta productiva se deberá conocer el elemento de estudio en cuestión, es decir el entorno y el negocio en la cual está inmersa, para esto se tienen acceso a los registros y procedimientos que mantienen, para el presente estudio la planta productiva cuenta con un sistema de gestión de calidad ISO 9000 implementado, como base documental para la implementación de las metodologías que se requieran en este caso, el sistema de medición Trúput, mediante simuladores.

## **2.2 MAPEO DE PROCESOS Y SUBPROCESOS**

La organización tiene definidos los procesos bajo los cuales gestionan las diferentes líneas de negocios, de los cuales se tienen procesos del departamento de Costeo, mismos que debe reconfigurar para poder realizar las simulación correspondientes, entonces se mapean los procesos para asegurar la estructura adecuada bajo la cual debe operar el sistema de medición del Trúput, a través del departamento de Costeo, que asegure la confiabilidad de los datos, y sean oportunos enmarcado dentro del contexto operacional de la empresa, en las líneas estratégicas financieras.

### **2.2.1 PROCESO PARA DETERMINAR ESTÁNDARES DE PRODUCCIÓN**

Los métodos de trabajo utilizados para determinar los estándares de producción de los productos que se procesan en las diferentes plantas de Plasticaucho, son deterministas, deductivos basados principalmente en la observación y medición combinados con la experiencia y la formación académica de las personas dedicados al estudio de métodos y tiempos aseguran una alta confiabilidad de los datos generados.

Se determinan los diferentes instantes en donde se deben realizar los estudios de métodos y tiempos para determinar los estándares de producción, esto es fundamental para establecer la carga fabril que representa cada modelo y poder contrastar con las capacidades de los centros productivos, es decir los estándares de producción son la materia prima para establecer la productividad de la planta y por ende establecer en donde se puede mejorar.

### **2.2.2 PROCESO PARA DETERMINAR CONSUMO DE MATERIALES**

Los análisis de consumos, ofrecen datos preliminares valiosos del estado fundamental del modelo. Indudablemente el Consumo contempla desperdicios y es uno de los indicadores más importantes a tener en cuenta para el costo del prototipo.

No siempre se dispone de la información de toda las tallas para determinación directa, pues resulta bastante costoso y demorado realizar prototipos de toda la serie y en los momentos actuales se puede llegar a una ecuación que permite estimar de forma práctica y efectiva en el caso de requerir varias tallas.

Los métodos utilizados para determinación de consumos tenemos:

Método del paralelogramo, que consiste básicamente en la ubicación de las piezas que corresponden a un modelo de calzado de forma consecutiva alterna, se van girándolas de dos en dos hasta alcanzar el par y unir en puntos análogos, esto permite formar un paralelogramo cuya área corresponde al consumo de un par.

Otro método utilizado del sintético, mismo que se usa cuando se conocen las medidas del área del cual se van a extraer los pedazos, se distribuyen las piezas respetando el sentido de corte conforme al diseño de los diferentes modelos, hay que tomar en cuenta la distancia que debe existir entre cada corte y el área útil del material del cual se está extrayendo las piezas de corte, este proceso es el de mayor incidencia dentro del presente proyecto por cuanto el resultado de este determina el costo totalmente variable del producto que radica principalmente el consumo de materias primas representando también el 60% del costo del producto, esto significa que la determinación del consumo de materias primas es base fundamental.

### **2.2.3 COSTEO DE PRODUCTOS Y PROCESOS**

Los métodos de costeo es el proceso de medir, calcular, analizar e informar sobre el costo que se va a incurrir al transformar las materias primas a través de diferentes procesos y técnicas en un determinado modelo de calzado, De manera, que si adquiere materia prima, se utiliza mano de obra, maquinarias con el fin de fabricar los prototipos o bocetos propuestos en lotes de producción la cantidad monetaria que significa esto se representa en un informe de costos por par según cada modelo.

Todo esto conlleva la determinación de estándares de producción, consumos de materiales y procesos bajo los cuales se van a realizar los diferentes modelos en las líneas de producción bajo condiciones normales, esto implica realizar estimaciones que nacen de la experiencia o datos históricos que luego son contractados con datos resultantes de la fabricación de dichos productos.

Para esto se cuenta con un equipo de trabajo conformado por un especialista en medición del trabajo, un analista de materiales y una asistente, adicionalmente se han desarrollado herramientas informáticas que permiten una respuesta rápida en la determinación de costos.

### 2.3 GENERACIÓN DE SIMULADORES

El simulador se desarrolla en un ambiente de Visual Basic del sistema operativo Microsoft Windows. Las aplicaciones creadas con ese lenguaje de programación están basadas en objetos y son manejadas con eventos.

Este lenguaje es el usado para la generación de un simulador práctico que permita visualizar las restricciones del sistema e incidir sobre las mismas para medir el impacto sobre el valor agregado de la Línea de producción. La ejecución de la aplicación se inicia con la primera línea de código, y sigue una ruta predefinida a través de la aplicación, llamando procedimiento según sea necesario.

Para generar el simulador se identifica dos partes primordiales; primero la forma como se va a encontrar el resultado más óptimo al realizar la simulación dado que el propósito de ejecutarla es obtener un valor que permita tomar decisiones y en segunda instancia es poseer la herramienta para de forma coherente gestionar la información y obtener un valor que ayude al objetivo de visualizar el Trúput de la planta de Calzado Moda en Plasticaucho, Se definen las siguientes variables, que están dadas en términos matriciales dado que la herramienta Solver de Excel resuelve sistemas matriciales:

$$D_{ij} = \text{Demanda en pares de zapatos tipo } i \text{ en el período } j \quad [2.1]$$

Dónde:  $i = 1, 2, \dots, N$  y  $j = 1, 2, \dots, m$

$$P_{ij} = \text{Cantidad mínima de pedido en pares de zapatos tipo } i \text{ en el período } j \quad [2.2]$$

Dónde:  $i = 1, 2, \dots, N$  y  $j = 1, 2, \dots, m$

$$t_{it} = \text{Tiempo requerido (en minutos) por par de zapatos tipo } i, \text{ para cada operación tipo } t \quad [2.3]$$

Dónde:  $i = 1, 2, \dots, N$  y  $t = 1, 2, \dots, t$

$$T_{tj} = \text{Tiempo total disponible para cada operación tipo } t \text{ en el período } j \quad [2.4]$$

Dónde:  $t = 1, 2, \dots, t$  y  $j = 1, 2, \dots, m$

$TM_{ki}$  = Consumo de cada material tipo k requerido, en sus respectivas unidades, por par de zapatos tipo i [2.5]

Donde:  $k = 1, 2, \dots, K$  y  $i = 1, 2, \dots, N$

k: Índice que identifica el tipo de material requerido, donde  $k = 1, 2, \dots, K$

$M_{kj}$  = Cantidad disponible de cada material tipo k, en sus respectivos unidades, para la fabricación de calzado en el período j, dónde:  $k = 1, 2, \dots, K$  y  $j = 1, 2, \dots, m$  [2.6]

$T_i$  = Truput de cada modelo  $i$ , para la fabricación de calzado en el período j, donde:  $i = 1, 2, \dots, N$  y  $j = 1, 2, \dots, m$  [2.7]

Una vez que se han definido las variables en el modelo matemático para el simulador se toma la forma matemática de capítulos anteriores, y se representa de la siguiente manera.

$$f(x) = \sum_{i=1}^N (t_{ji} \times D_{ji}) \quad [2.8]$$

“Esta función se explica con el hecho de que matrices de tamaño apropiadas pueden multiplicarse entre sí. Se obtiene una definición natural del producto de dos matrices a, b, con m columnas y n filas” (Courant y John, 1999, p.187).

## **2.4 IDENTIFICACIÓN DE RESTRICCIONES Y VARIABLES QUE INCIDEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA PLANTA**

Para plantear el modelo matemático tomaremos en cuenta restricciones de: demanda, cantidad mínima de pedido, capacidad disponible de maquinarias, y la restricción de no negatividad, cuyas variables serán medidas a través de los análisis de Mercadeo de cada línea de negocios y estudios de métodos y tiempos respectivamente, adicional al análisis de consumos por modelo.

### **2.4.1 RESTRICCIÓN DE DEMANDA**

Los valores de la demanda se extraen del plan de operaciones financiero para una línea de negocios.

La cantidad de pares que se produzcan de cada modelo debe ser menor o igual a la demanda de cada modelo en el mismo periodo de tiempo.

$$q_{ij} \leq D_{ij} \quad \forall i = 1,2,3 \dots \dots N ; \quad \forall j = 1,2,3 \dots \dots m \quad [2.9]$$

En donde  $q$  se define como la cantidad mínima de producción de cada modelo y talla;  $D$  se define como la demanda de cada talla y modelo, para todos los enteros positivos finitos.

#### 2.4.2 RESTRICCIÓN DE CANTIDAD MÍNIMA DE PEDIDO

Las cantidades mínimas de pedido se establecen mediante la restricción de toda la línea de producción.

La cantidad mínima de producción de cada modelo debe ser mayor o igual a la cantidad mínima del pedido en el mismo periodo de tiempo de cada modelo producido.

$$q_{ij} \geq P_i \quad \forall i = 1,2,3 \dots \dots N ; \quad \forall j = 1,2,3 \dots \dots m \quad [2.10]$$

En donde  $q$  se define como la cantidad mínima de producción de cada modelo y talla;  $P$  se define como la cantidad mínima de pedido para cada modelo, de todos los enteros positivos finitos, el sub índice  $i$  indica que corresponde a cada modelo y el subíndice  $j$  representa el tiempo de producción de cada modelo.

#### 2.4.3 RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD

La restricción de capacidad para cada centro de producción se determina como la sumatoria de los tiempos en cada centro productivo de cada modelo a producirse debe ser menor o igual a la capacidad instalada del tiempo disponible de los centros productivos.

$$\sum t_{ij} \leq T_t \quad \forall i = 1,2,3 \dots \dots N ; \quad \forall t \text{ del centro productivo} \quad [2.11]$$

En donde  $t$  se define como el tiempo de cada modelo en cada centro;  $T$  se define como el tiempo disponible, de todos los enteros positivos finitos, el sub índice  $i$  indica

que corresponde a cada modelo y el subíndice  $j$  representa el tiempo de producción de cada modelo, en tanto que el subíndice  $t$  indica el tiempo en cada centro productivo.

#### 2.4.4 RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD SUB CONTRATADA

Esta operación sirve, para determinar la capacidad de respuesta del subcontratista, esto en el caso que se requiera un elemento fabricado fuera de la organización, y se definiría como la capacidad de producción del sub ensamble proporcionado por el proveedor debe ser mayor a la cantidad de pares producidas, este dato se lo coloca para que las simulaciones tengan un carácter más amplio hacia otras empresas, dado que en la actual en donde se realiza el análisis no posee, partes subcontratadas .

$$q_{ij} \leq C_{ij} \quad \forall i = 1,2,3 \dots N ; \quad \forall j = 1,2,3 \dots m \quad [2.12]$$

En donde  $q$  se define como la cantidad mínima de producción de cada modelo y talla;  $C$  se define como la cantidad mínima que el proveedor es capaz de producir para cada modelo, de todos los enteros positivos finitos, el sub índice  $i$  indica que corresponde a cada modelo y el subíndice  $j$  representa el tiempo de producción de cada modelo.

#### 2.4.5 RESTRICCIÓN DE DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS

Para determinar la disponibilidad de los materiales se utilizara la información bajada del software (SAP) que maneja la organización como un ERP en toda la cadena de valor del producto, y la restricción se define como la sumatoria de todos los materiales  $k$  que consume un modelo  $i$  por todos los producidos.

$$\sum TM_{ik} \leq M_{kj} \quad \forall i = 1,2,3 \dots N ; \quad \forall k = 1,2,3 \dots N ; \quad \forall j = 1,2,3 \dots m \quad [2.13]$$

En donde  $TM$  se define como la cantidad mínima de materia prima necesaria para cada modelo y talla;  $M$  se define como la cantidad mínima de materia prima disponible de producir para cada modelo, de todos los enteros positivos finitos, el sub índice  $i$  indica que corresponde a cada modelo y el subíndice  $j$  representa el intervalo de tiempo de producción de cada modelo y  $k$  representa cada materia prima según modelo.

De la misma manera, se identificaron las tasas de consumo de los materiales correspondientes en sus respectivas unidades

#### 2.4.6 RESTRICCIÓN DE NO NEGATIVIDAD

Esta restricción hace referencia a que la variable de decisión del modelo debe ser entera y no negativa, es decir solo de productos producidos.

$$q_{ij} \leq Z \rightarrow \forall i = 1,2,3 \dots \dots N ; \forall j = 1,2,3 \dots \dots M \quad [2.14]$$

Se elabora un modelo matemático de programación lineal entera que se evidencia más adelante, el cual permite determinar restricciones a través de saturación de recursos. Dicho modelo permite el aprovechamiento de los recursos productivos, así como la satisfacción de la demanda y la maximización de su Trúput.

#### 2.4.7 MODELO MATEMÁTICO

Para el modelador matemático se parte de la forma básica para cálculo del Trúput(Tu) unitario que según Corbett (2005) lo representa como, Precio de venta (P) menos costos totalmente variable (CTV), (P.30):

$$Tu = P - CTV \quad [2.15]$$

En donde Tu = Trúput por unidad de producto

P = Precio por unidad de producto

CTV= Costo totalmente Variable

De esta fórmula se deriva el Trúput total por serie de productos:

$$TTP = Tu \times q \quad [2.16]$$

En donde TTP = Trúput total por serie de productos

q = Cantidad vendida en el periodo (en el presente caso cantidad producida).

Por lo tanto el Trúput total de una línea que produce varios productos sería la suma de los Trúput totales por producto que se expresan en la ecuación.

$$f(x) = \sum TTP \quad [2.17]$$

Está claro que se busca lograr la mayor cantidad de Trúput generado en la línea de producción en función del mix de productos y las restricciones asociadas a estos en la línea de producción; esto la convierte en una función objetivo que puede ser resuelta mediante modelos de programación lineal, para esto se plantea la función objetivo como sigue:

$$Z = \sum_{i=1}^N T_i \sum_{j=1}^m q_{ij} \geq TTP \quad [2.18]$$

Donde:

$q_{ij}$  = Cantidad de pares de sandalias tipo  $i$  a fabricar en el periodo  $j$

$i$ : Índice que identifica el tipo de calzado a fabricar, donde  $i = 1, 2, \dots, N$

$j$ : Índice que identifica el período de producción, donde  $j = 1, 2, \dots, m$

$T_i$  = Trúput por par de zapatos tipo  $i$  fabricados, donde:  $i = 1, 2, \dots, N$

## **2.5 EXPLOTACION DE LAS RESTRICCIONES Y MEDICION DEL IMPACTO SOBRE EL VALOR AGREGADO DE LA LINEA DE NEGOCIOS**

La organización en la cual se ejecutará la medición de valor agregado, mantiene un performance financiero riguroso implementando métodos de control de proyectos, para identificar las verdaderas fuentes de valor que pueden medirse con el aumento del precio de sus acciones, de esta manera se mide el Valor Económico Agregado (EVA), como se indica a continuación:

$$EVA = UNDI - CCODI \quad [2.19]$$

En donde:

UNDI = Utilidad Operacional Neta después de Impuestos=  $EBIT(1-t)$

CCODI= Costos Capital Operacional después de Impuestos=  $(N.O.F+ACTIVOS FIJOS NETOS)*WACC$

De donde se puede expresar la siguiente ecuación.

$$\text{EVA} = \text{EBIT}(1-t) - [\text{NOF} + \text{ACTIVOS FIJOS}] * \text{WACC} \quad [2.20]$$

Si:

- EVA >0; Genera Valor
- EVA =0; NO Genera Valor
- EVA <0; NO Genera Valor

El cálculo de tasa de descuento WACC está ejecutado por consultores Financieros de la empresa Plasticaucho, por lo tanto el desarrollo del mismo no es parte del presente estudio, sí los valores que son proporcionados por cada línea en el presente caso.

El momento que se detectan los recursos saturados con los cuales se produce un producto, se toma el de mayor saturación como restricción, se incide sobre este explotándolo, esto indudablemente incide sobre el EBIT, a través de los gastos operativos y la Utilidad bruta que está determinada por la contribución del Trúput de los productos.

## **2.6 EVALUACIÓN DE CORRIDA EN PROYECTO PILOTO**

El estudio propone aplicar el procedimiento de la Teoría de restricciones usando el enfoque de programación lineal, una herramienta importante para asegurar que los principios de la Teoría de restricciones son aplicados correctamente e incrementan el Trúput eficientemente; tiene tres componentes básicos: las variables de decisión, que en este caso está dado por la cantidad de productos a producir según cada modelo, y la función objetivo es Maximizar el uso de los recursos, para asegurar una mezcla de productos adecuados, las restricciones que se deben satisfacer son el tiempo disponible de cada recurso según las operaciones y la demanda del mercado, que está establecida por el departamento de mercadeo. La empresa cuenta con el sistema SAP que permite gestionar toda la requisición de materias primas y recursos de toda la cadena de valor en la organización, aquí se extrae la información para los análisis de contribución del Trúput, este sistema se realiza en base a matrices lógicas, estas matrices son generadas por el departamento de Ingeniería y Costeo mismo que es donde se realizarán las simulaciones, esta información es la misma para análisis de

Trúput y también para la contabilidad tradicional que debe manejar la organización para efectos tributarios y legales.

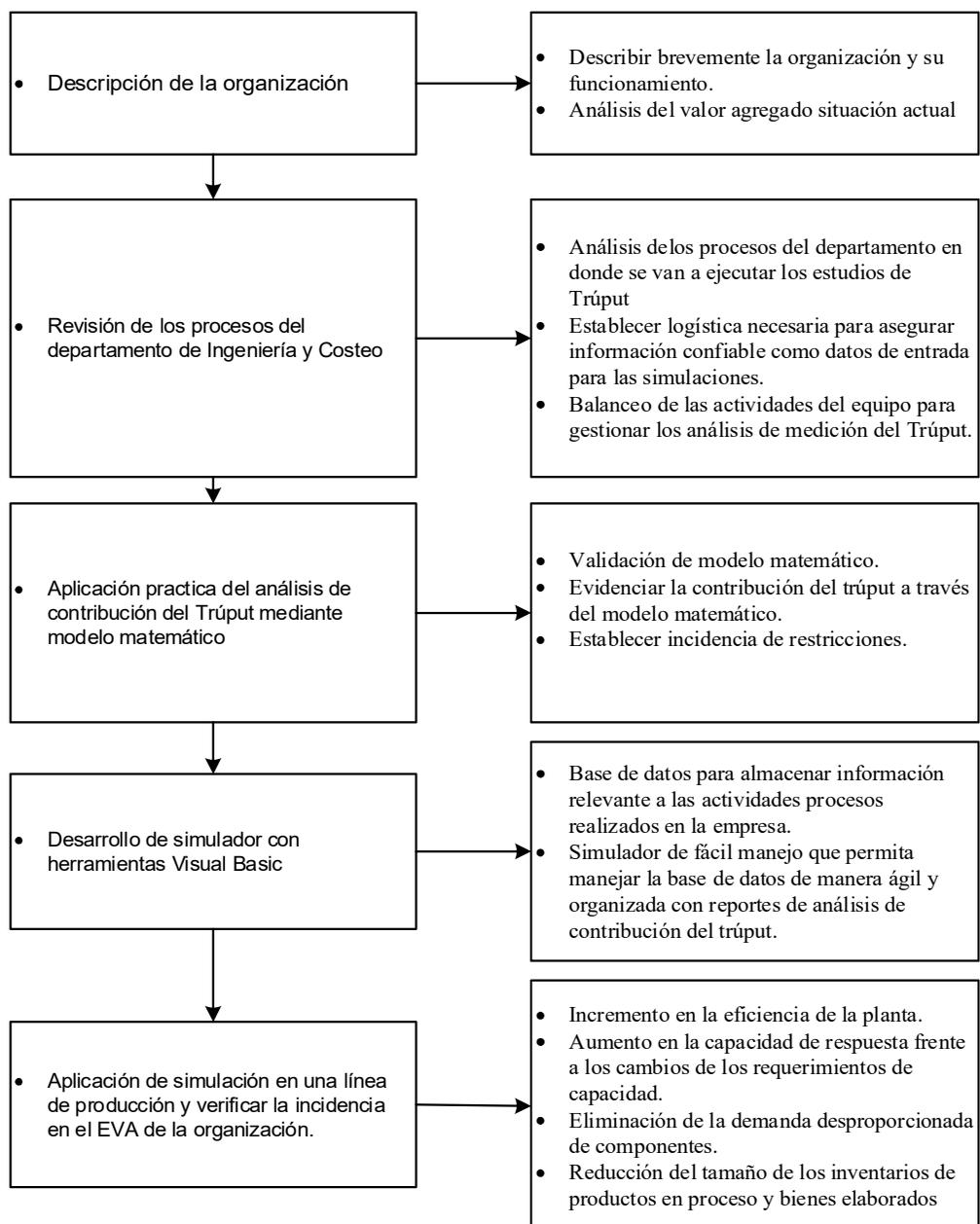
En la figura 2.1. Se aprecia las fases principales de la implementación que comprenden: la definición del problema, la construcción del modelo, la solución del modelo, la validación del modelo, y la implementación de la solución. En la investigación de operaciones no se tiene una sola técnica general con la que se resuelvan todos los modelos matemáticos que surgen en la práctica, la técnica utilizada para el presente estudio es la programación lineal, lo cual es resuelto por el Solver de Excel.

**METODOLOGIA IMPLEMENTACION SISTEMA MEDICION  
TRUPUT ORGANIZACIONAL**

Meta: Desarrollar un sistema , que permita mediante simuladores incidir sobre variables para mejorar la productividad y el indicador de valor agregado en la planta de Calzado Moda de la industria PLASTICAUCHO S.A.

**PASO:**

**RESULTADO:**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.1.** Esquema de implementación

### 2.6.1 ALCANCES

El proyecto se desarrolló en una empresa de Tungurahua, donde se evaluó las restricciones de planta en una línea de producción; para luego aplicar un sistema de

información gerencial basado en la Contabilidad del Trúput, además se diseña un simulador que permita conocer la contribución del Trúput de las líneas de Sandalias por periodo, para toma de decisiones de Mercadeo, Producción y Ventas, la incidencia del simulador se aplica a la parte productiva, también se puede simular la Venta, sin embargo la incidencia en este proceso relativamente baja, dado que el incremento de las ventas está asociada a otras políticas sobre las cuales no se tienen incidencia es decir si la restricción es el mercado el presente proyecto no puede incidir sobre dicha restricción.

### **2.6.2 LIMITACIONES**

El estudio se aplica en toda la cadena de producción de la Línea Sandalias. Por confidencialidad algunos datos son supuestos, pero los datos informes y resultados serán expuestos.

Dado que para TOC no es la recolección de datos lo que prevalece, sino el cambio de paradigma en las mentes de las personas, sin embargo esto podría suponer que al no clasifica por función, ni por variabilidad; no separa en costos de operación y capacidad; desconoce la direccionalidad y por lo tanto el costo del producto y la utilidad que este provee es irrelevante, sin embargo en la práctica el costo del producto es el que se pelea en el mercado, para generar competitividad, mas no la utilidad que genere la empresa, adicionalmente al tener un sistema contable bien estructurado, la información que se requiere para calcular el Trúput y sus métricas es más directo, dado que en la metodología no permite una discriminación ni clasificación de los datos, esto se puede observar en los datos de entrada para el simulador en el cual la base de datos esta proporcionada por el SAP mismo que sirve también para el sistema contable que maneja la organización, por lo tanto siempre será única la información que se maneja, esto queda demostrado al incidir sobre el valor agregado de la línea de negocios a través del Trúput.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA**

Para poder identificar las variables que afectan la productividad de los procesos se debe conocer la naturaleza de la organización y el negocio en el cual está inmersa, esto permite ser más objetivos en el análisis, para asegurar que los resultados sean aquellos que representen la situación real y de esta manera las soluciones sean implementadas de forma eficiente. Entonces se procede describir la planta y al mapeo de procesos y sub procesos.

La organización fue fundada en 1931, su fundador Don José Filomentor Cuesta Tapia, orienta la manufactura de sus productos a la fabricación de artículos de caucho y calzado en general bajo la marca VENUS. Al fallecimiento del fundador en 1957 se transforma en “Venus Industrializadora del Caucho S.A.”, posteriormente en 1968 los hermanos Cuesta-Holguín fundan PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A. , la Planta se traslada al Km.2½ Panamericana norte de la ciudad de Ambato en el sector de Catiglata, donde inicia una nueva etapa de desarrollo y crecimiento, ocupando una superficie de 22.464 m.<sup>2</sup> En el 2003, la compañía traslada las operaciones de distribución de sus productos a las nuevas instalaciones, ubicadas en el Parque Industrial de la ciudad de Ambato KM 10 1/2, sobre un terreno cuya superficie es de 85.000m<sup>2</sup> figura 3.1 donde cuenta con modernas instalaciones industriales, actualmente la empresa ha extendido sus mercados a Perú y Colombia donde mantiene plantas industriales de producción de calzado.

La organización tiene varias líneas de producción que se menciona a continuación:

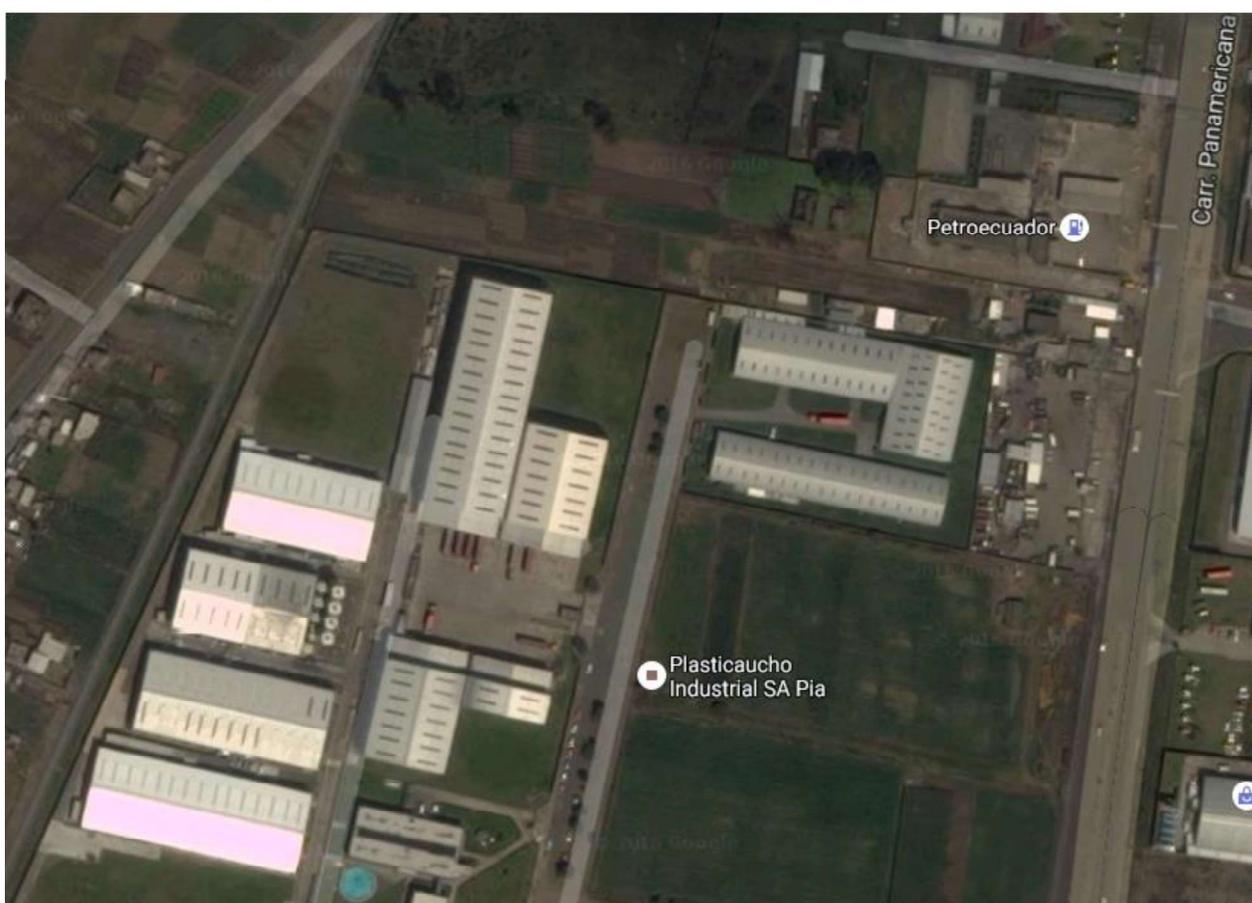
Línea de calzado Moda (Colecciones, Chanclas y Suecos); productos fabricados principalmente de etileno vinil acetato y Lona.

Industrias diversas; se producen artículos de caucho y etileno vinil acetato.

Línea de calzado plástico; se producen botas y zapatos.

Línea de calzado escolar; se producen se producen zapatos de cuero y deportivos.

Línea de calzado Lona; se producen zapatos de tela.



**Figura3.1.** ubicación Planta Industrial Plasticaucho. Ubicación geográfica, Tungurahua - Ambato Panamericana Norte Km 10 ½ (Google)

En el Anexo I, adicionalmente se puede observar el organigrama del departamento financiero cuya estructura muestra el equipo de costeo con el cual se llevan a cabo los estudios correspondientes tanto para costear productos como para el análisis del Trúput de las diferentes líneas de negocios.

En la figura 3.2. Se establece el árbol negativo mediante la cual se establecen las causas de una baja productividad que la planta productiva tiene en el momento actual, esto permite identificar soluciones descritas en la figura 3.3. Como un árbol positivo con posibles soluciones que apalanquen una mejor productividad y por lo tanto una mejora en la rentabilidad para el presente caso de la planta Relax, en base a una situación esperada que tiene como input identificar las restricciones.

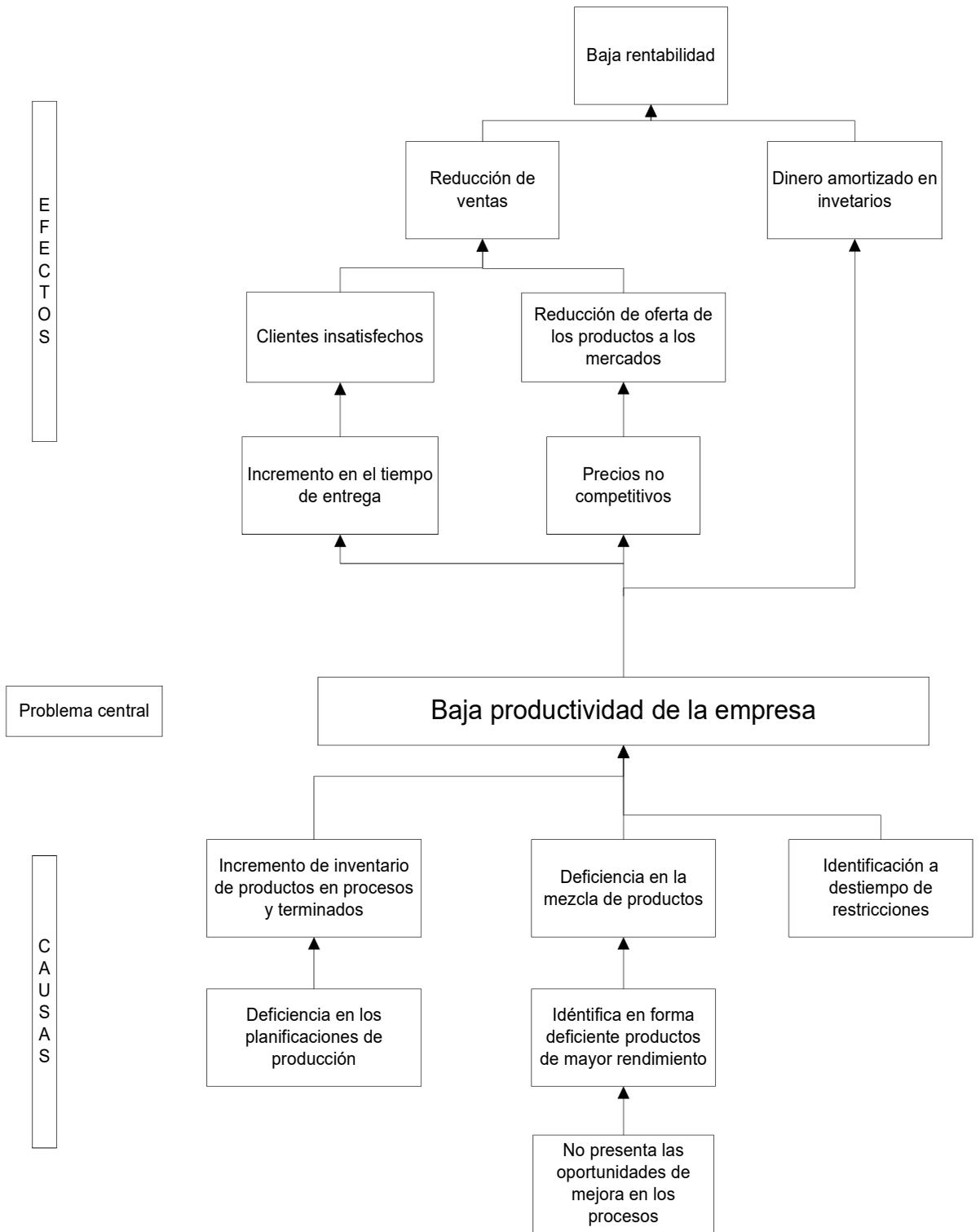


Figura 3.2.Árbol negativo

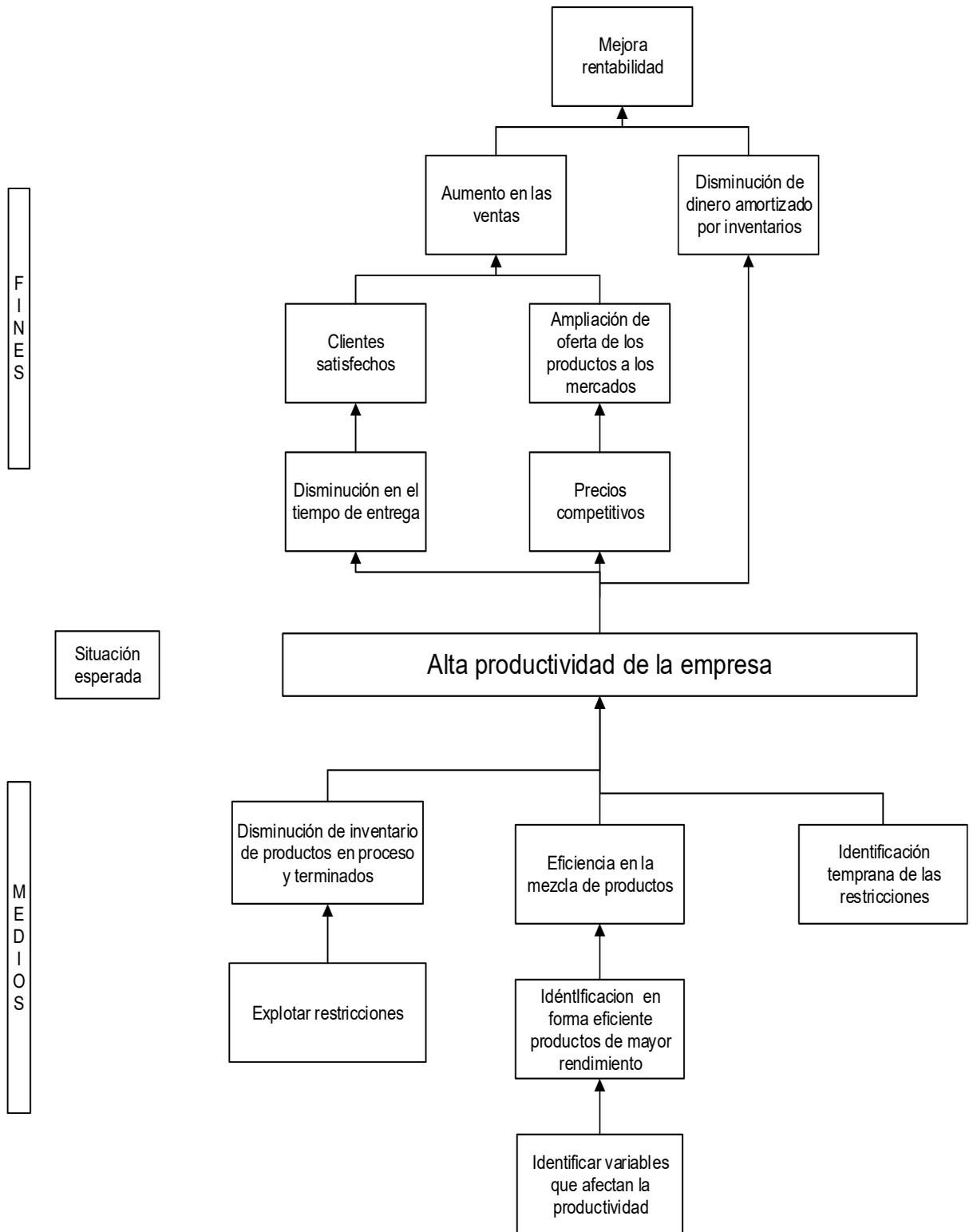


Figura 3.3 Árbol positivo

### 3.2 MAPEO DE PROCESOS Y SUBPROCESOS

El área encargada de análisis de Trúput mediante los simuladores es Finanzas dado que,este departamento mide el Valor agregado de cada línea de negocios, con el departamento de Costeo que tiene cuatro sub procesos:

- Determinación de estándares de producción
- Determinación de consumos
- Costeo de productos y procesos
- Sistematización de productos en ERP SAP.

En la figura 3.4. Se observa el flujo de proceso levantado para determinación de estándares, mismos que están determinados en tres instancias; en fase de prototipo, luego cuando se ejecutan planes de prueba en la planta y se validan definitivamente en la producción de piso, los estándares están definidos en función del tiempo estándar bajo la siguiente fórmula:

$$Te = Tn(1+K) \quad [3.1]$$

En donde

Te = Tiempo estándar

Tn = Tiempo normal

K = tanto por ciento concedido por suplemento/100

Los resultados de este proceso y de las mediciones están descritos en el capítulo más adelante sobre los ciclos de producción.

En la figura 3.5. Se puede apreciar el método para calcular los consumos de materiales este dato es la entrada para establecer el CTV de cada producto. Para el cálculo de consumos se cuenta con una herramienta llamada SIPECO, lo que permite tener una buena asertividad en el dato, mismos que con el diseño del proceso para determinarlos en las diferentes etapas del producto, aseguran confiabilidad del dato pues se han establecido fases de verificación en las diferentes etapas de producción, para luego cargar el dato al sistema SAP, mismo que devuelve el costo CTV del producto, esto se puede apreciar en el anexo V.

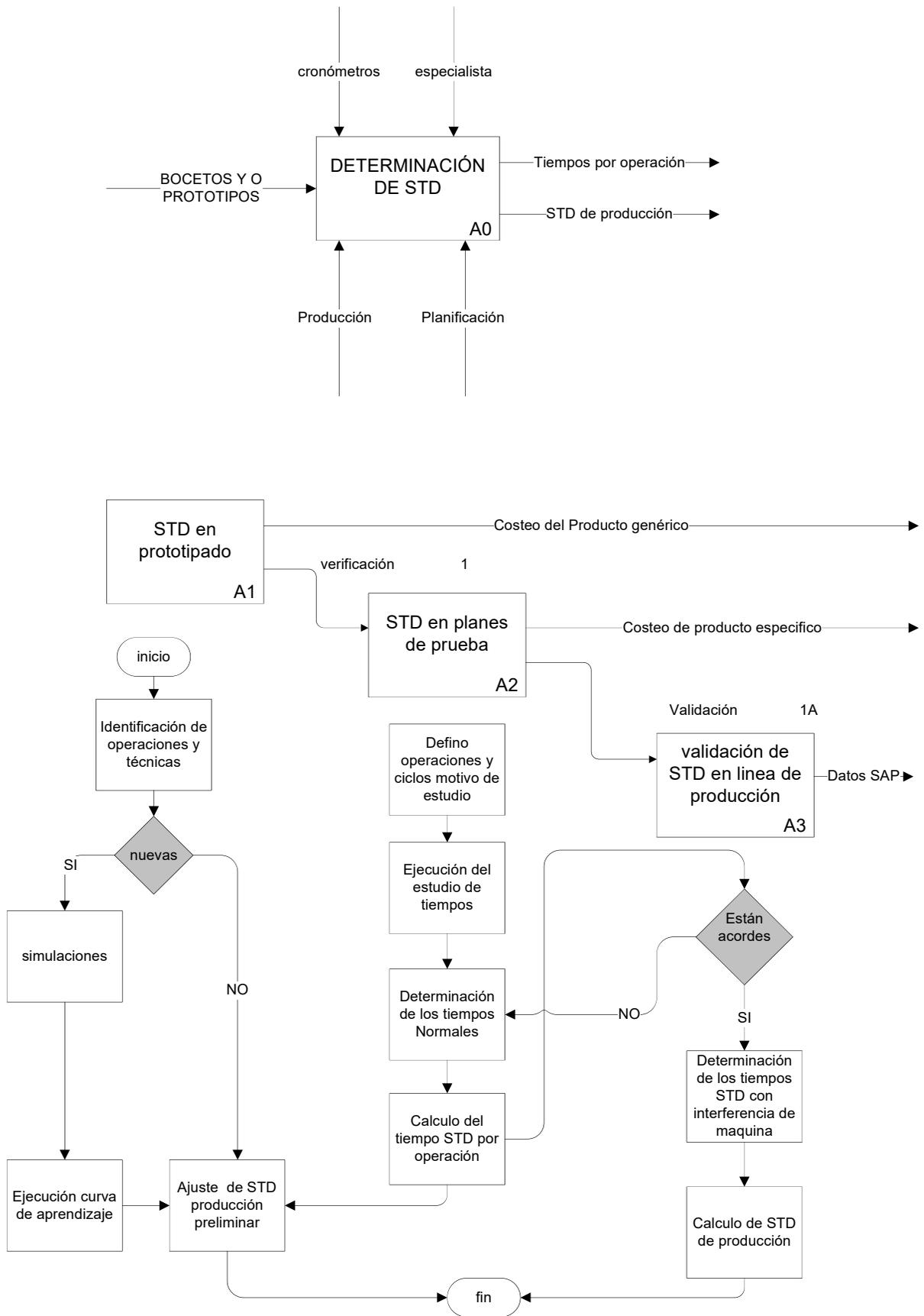
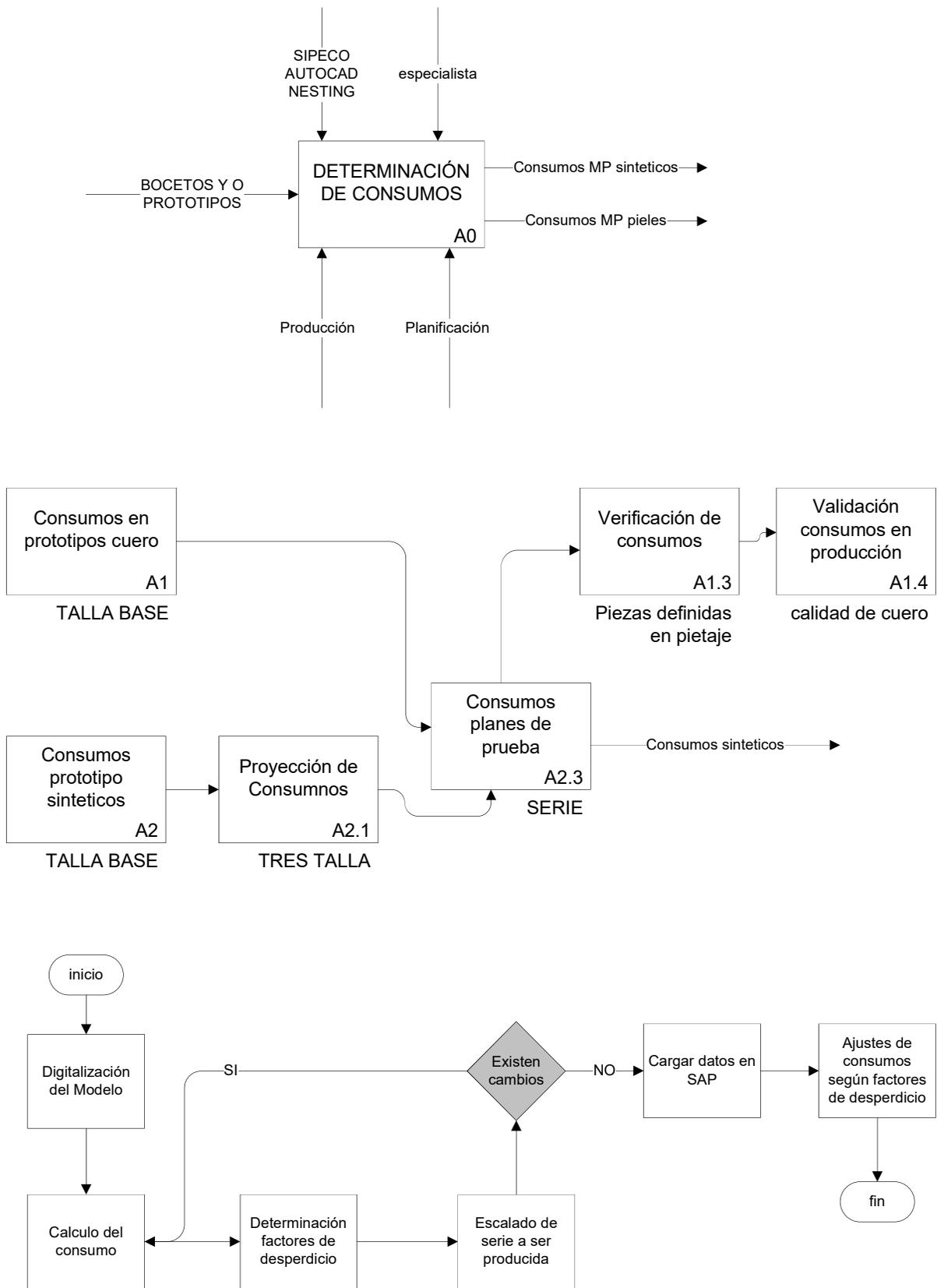


Figura 3.4. Flujo de procesos para determinación de estándares



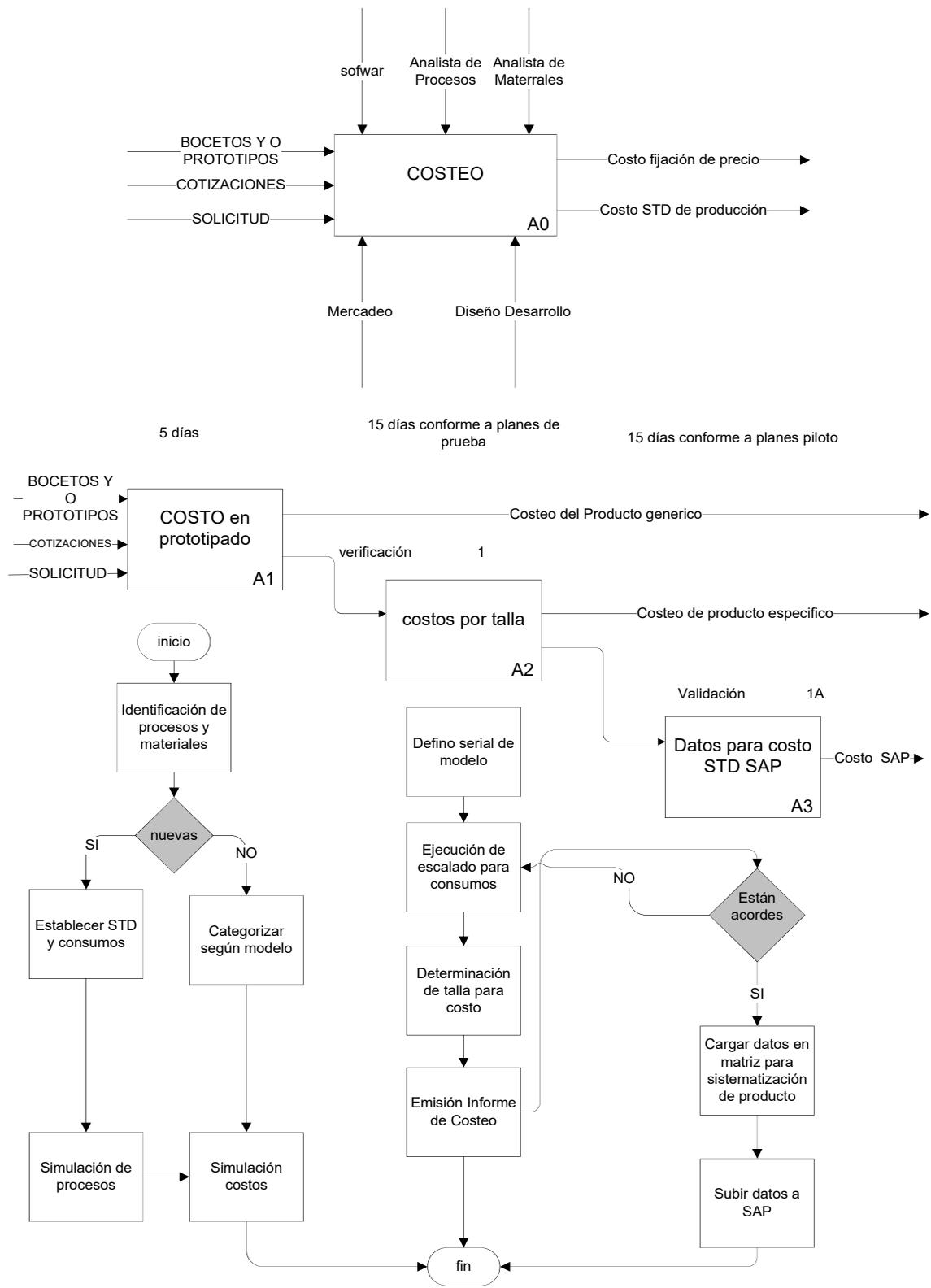
**Figura 3.5.**Flujo de procesos para determinación de consumos

En la figura 3.6. se muestra el flujo inicial de proceso levantado para costear los productos en el departamento de costeo, mismo costeo está basado en costo estándar definido contablemente, existen tres fases, primero cuando se ejecutan los prototipos generalmente es una talla base, después se establecen las tallas del costeo para todo el seriado, en esta fase se validan datos para cargar al sistema SAP, y realizar los ajustes necesarios sean a nivel de estándares de producción o consumo de materiales, esto es de suma importancia dado que pueden existir cambios desde el prototipo hasta la ejecución de la producción del modelo, el flujo es diseñado es fundamental por cuanto permite visualizar en que etapas se requieren controles hasta la emisión del informe de costos del producto asegura un dato confiable, sin embargo el presente trabajo está relacionado a la medición del Trúput, dado que el método contable de costos no permite tomar decisiones acertadas respecto al mix de productos, porque se costea por modelo, es menester entonces reconfigurar el proceso de costeo para generar otra arista de trabajo en cuanto a la medición del Trúput, manteniendo el coste unitario.

En la figura 3.7. Se observa el nuevo flujo de proceso propuesto que permita asegurar la información confiable con datos de entrada definidos y controles adecuados, se establece como parte de las actividades dentro del flujo la simulación, el establecimiento de restricciones y la definición del mix de productos esto conjuntamente con la emisión del costo unitario, para que este proceso funcione conforme al flujo, la organización ha decidido contratar un analista de costeo, mismo que está en proceso de entrenamiento para levantar la información requerida en el simulador.

La figura 3.8 muestra la caracterización del proceso de sistematización levantado para que toda la información se pueda subir al SAP en forma coherente mediante matrices lógicas, se muestra todos los procesos proveedores y los entregables necesarios para una correcta ejecución de la sistematización de productos, cuyas salidas del proceso son datos base para el sistema contable y evidentemente el análisis del Trúput, dado que las salidas del proceso son estructura de productos y listas de materiales.

Todos los procesos anteriormente descritos se diseñaron para aplicar en todas las líneas de producción.



**Figura 3.6.**Flujo de procesos para Costear productos

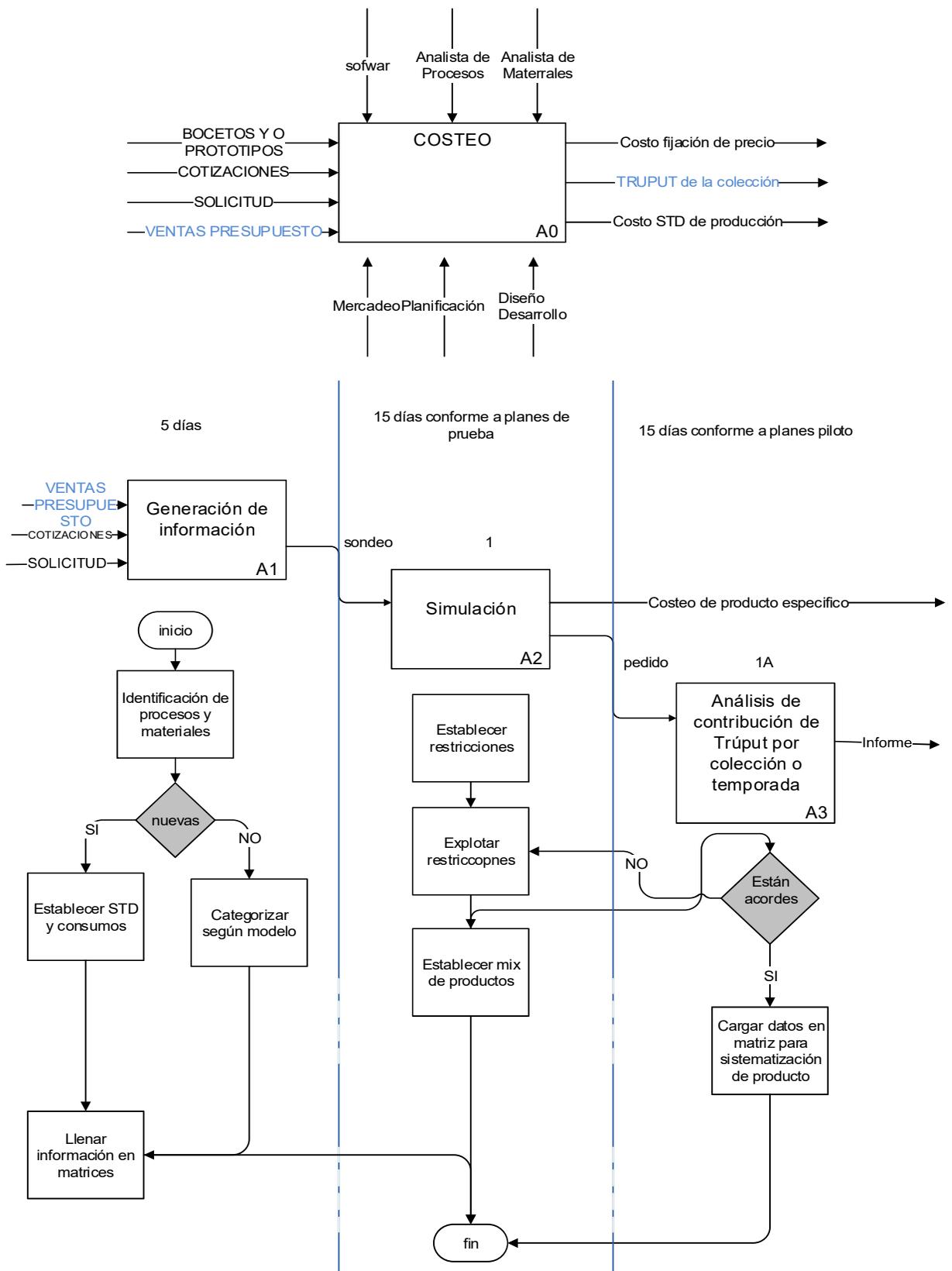


Figura 3.7. Flujo de procesos actualizado para generación de informes de Trúput

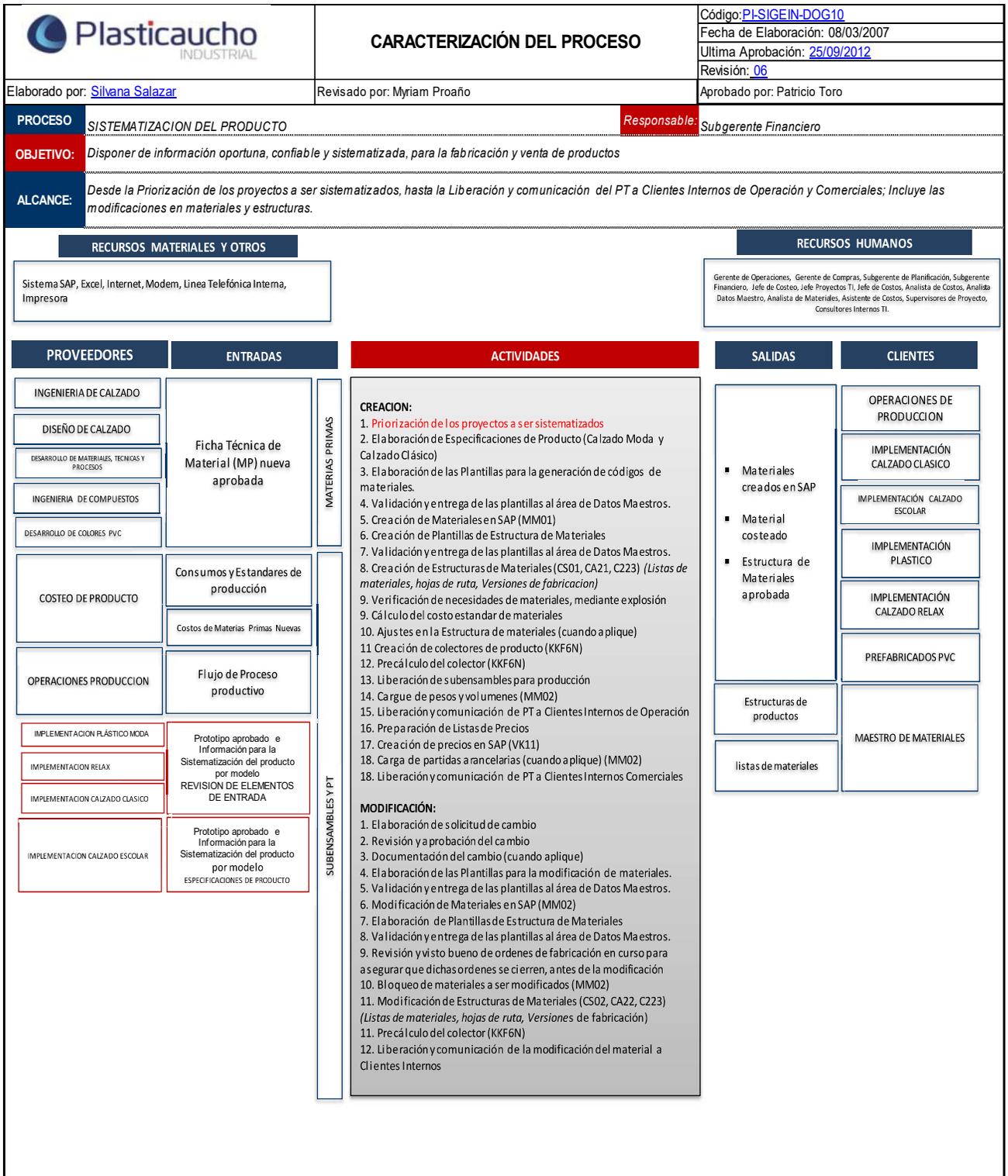


Figura 3.8. Caracterización de procesos de sistematización

### 3.3 GENERACION DE SIMULADORES

El sistema de medición del Trúput permite obtener los datos necesarios así se establecen los tiempos por operación de cada operación en función de los procesos de determinación de estándares antes mencionados, bajo los cuales se producen los diferentes productos, estos datos se los puede observar en la figura 3.9, para 18 modelos, con esta información se prueba el modelo matemático en Excel con la herramienta Solver, siendo la ecuación [2.15] como función objetivo, el resultado es la cantidad optima a producir de cada modelo para maximizar el uso de recursos.

Productos	Demanda (pares)	Tiempos requeridos por operación en min / par				
		Troquelado	Corte	Confeccion capellada	Montaje	Limpieza y empaque
modelo 1	104	NA	4,580	15,140	5,450	5,230
modelo 2	82	NA	4,580	15,140	5,450	5,230
modelo 3	53	NA	4,580	15,140	5,450	5,230
modelo 4	7	NA	4,580	15,140	5,450	5,230
modelo 5	10	NA	4,580	15,140	5,450	5,230
modelo 6	26	NA	4,580	15,140	5,450	5,230
modelo 7	172	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 8	90	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 9	28	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 10	34	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 11	35	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 12	117	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 13	14	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 14	96	NA	1,580	7,240	5,300	4,710
modelo 15	168	3,03	NA	7,650	3,730	4,420
modelo 16	24	3,03	NA	7,650	3,730	4,420
modelo 17	12	3,03	NA	7,650	3,730	4,420
modelo 18	48	3,03	NA	7,650	3,730	4,420
Tiempo total requerido por operación (min) Tit		763,56	2217,44	10439,92	5582,66	5348,76
Tiempo total disponible por operación (min) Tij		7481	7481	7481	7481	7481
% de Utilización Restriccion		10,21%	29,64%	139,55%	74,62%	71,50%

**Figura 3.9.** Tiempos requeridos por operación.

En la figura 3.10 está el resultado del Solver en la columna “Producción” se observa la cantidad a producir de cada modelo, evidente es que este dato ya permite tener el primer punto de decisión al poder discernir que modelos se van a producir y cuáles no, esto se debe analizar con Mercadeo, también se obtiene la ocupación de los recursos, troquelado está al 10,21% de utilización, Corte está al 17,68%, Guarnición está al 100%, Montado al 60,39% más limpieza empaque está al 57,83%, estos valores identifican las restricciones, por cuanto según la metodología TOC, todo recurso que este sobre el 80% de utilización es propenso a convertirse en una restricción, de esta manera entonces se identifican las restricciones con el modelo

planteado, adicional se observan también recursos con poca actividad lo cual ayuda a tomar decisiones sobre balances de líneas.

El resultado de la optimización muestra que se cumple con la restricción de capacidad, es decir la sumatoria de todos los tiempos necesarios para producir los productos es menor al tiempo total de los recursos disponibles, se muestra en la siguiente ecuación.

$$\sum t_{ij} \leq T_t \quad \forall i = 1,2,3 \dots N ; \forall t \text{ del centro productivo} \quad [3.1]$$

Productos	Demanda (pares)	Produccion (pares)	Tiempos requeridos por operación en min / par				
			Troquelado	Corte	Guranición	Montado	Limpieza y empaque
modelo 1	104	0	0	4,58	15,14	5,45	5,23
modelo 2	82	24	0	4,58	15,14	5,45	5,23
modelo 3	53	53	0	4,58	15,14	5,45	5,23
modelo 4	7	0	0	4,58	15,14	5,45	5,23
modelo 5	10	10	0	4,58	15,14	5,45	5,23
modelo 6	26	0	0	4,58	15,14	5,45	5,23
modelo 7	172	172	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 8	90	90	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 9	28	28	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 10	34	34	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 11	35	35	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 12	117	117	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 13	14	14	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 14	96	96	0	1,58	7,24	5,3	4,71
modelo 15	168	168	3,03	0	7,65	3,73	4,42
modelo 16	24	24	3,03	0	7,65	3,73	4,42
modelo 17	12	12	3,03	0	7,65	3,73	4,42
modelo 18	48	48	3,03	0	7,65	3,73	4,42
Tiempo total requerido por operación			763,56	1322,33738	7481	4517,52697	4326,62317
Tiempo total disponible por operación			7481	7481	7481	7481	7481
% de Utilización Restriccion			10,21%	17,68%	100,00%	60,39%	57,83%

Figura 3.10. Resultado aplicación del Solver.

$$\sum tit * q_{ij} \leq T_{ij}$$

En donde se cumple que :

$$q_{ij} \leq Z \rightarrow \forall i = 1,2,3 \dots N ; \forall j = 1,2,3 \dots M$$

Restricción de demanda

$$q_{ij} \leq D_{ij} \quad \forall i = 1,2,3 \dots N ; \forall j = 1,2,3 \dots M$$

Como segunda arista de la ejecución de la optimización con el modelo matemático se tiene la maximización del Trúput, dado que las cantidades a producir son optimizadas

y previamente se ha obtenido la cantidad de materiales a consumir con el método de consumos de materias primas, está definido el costo totalmente variable de los productos con la ecuación [2.7], se obtiene el Trúput unitario y mediante sumatoria el Trúput total, con lo cual se puede medir la utilidad bruta de la empresa.

De esta manera se observa en la figura 3.11 la maximización del Trúput mediante la expresión:

$$Z = \sum_{i=1}^N T_i \sum_{j=1}^m q_{ij} \quad [3.2]$$

En donde se multiplica el Trúput individual de cada modelo por la cantidad a ser producida la sumatoria de esto da como resultado un Trúput Total maximizado dado que *q<sub>ij</sub> está maximizado mediante la función objetivo con el Solver de Excel*, se identifica en la tabla como Utilidad Total, para cada uno de los 18 modelos y la sumatoria, si la utilidad de los 18 modelos se calcula a través del costo en el Anexo II, la utilidad final resulta diferente es decir menor por cuanto el costo unitario no tiene presente la restricción y no identifica la afectación del Mix de productos sobre el centro productivo, esto indudablemente afecta la utilidad total.

Producto	modelo 1	modelo 2
Cantidad de pares demandados	104	82
Cantidad de pares a fabricar	0	23
Cantidad de pares faltantes a fabricar	104	59
Cantidad de pares a fabricar	79	79
Trúput por par	\$ 1,75	\$ 1,75
Utilidad Total	\$ 138,42	\$ 138,42
$Z = \sum_{i=1}^N T_i \sum_{j=1}^m q_{ij}$	<b>\$ 2.445,44</b>	

**Figura 3.11.** Maximización del Trúput de 2 modelos tomados como ejemplo

Al utilizar la función objetivo se obtiene un Trúput maximizado dado que se optimiza el uso de recursos, para un mix de productos dado.

Este modelo se resuelve mediante la función SOLVER del Excel cuyos resultados han sido expuestos, sin embargo no se han considerado restricciones de

abastecimientos de materia prima, ni de productos sub contratados porque está dado para una planta productiva, que no contrata partes de productos y por definición estratégica se considera que el abastecimiento de materias prima, no debe ser una restricción, quiere decir que el departamento de compras de materiales debe gestionar todas las necesidades de forma oportuna.

De esta manera queda probado el modelo matemático para; un sistema de Información Gerencial que permitió la medición del Trúput en la empresa y tomar decisiones a tiempo, al visualizar la restricción y explotarla para ser más competitivo, demuestra que la medición del Trúput en la planta de Calzado Moda a través del modelo matemáticos ( $Z = \sum Ti \cdot qij$ ) y simulador Trúput; mediante aplicaciones Excel, Anexo III (video en CD).

Toda aplicación necesita una interfaz de usuario, la parte visual a través de la cual el usuario interactúa con la aplicación. Los bloques básicos de construcción de una interfaz de usuario son los formularios y los controles. De esta manera se crea la ventana para acceso de información, en la cual se dibuja controles y objetos sobre un formulario; a fin de hacer que su código sea fácil de leer y depurar, se asignan nombres a los objetos usando convenciones de nombres estándar, en la figura 3.12 se puede observar la interfaz de usuario para el simulador de Trúput que permita incidir sobre las restricciones del sistema.

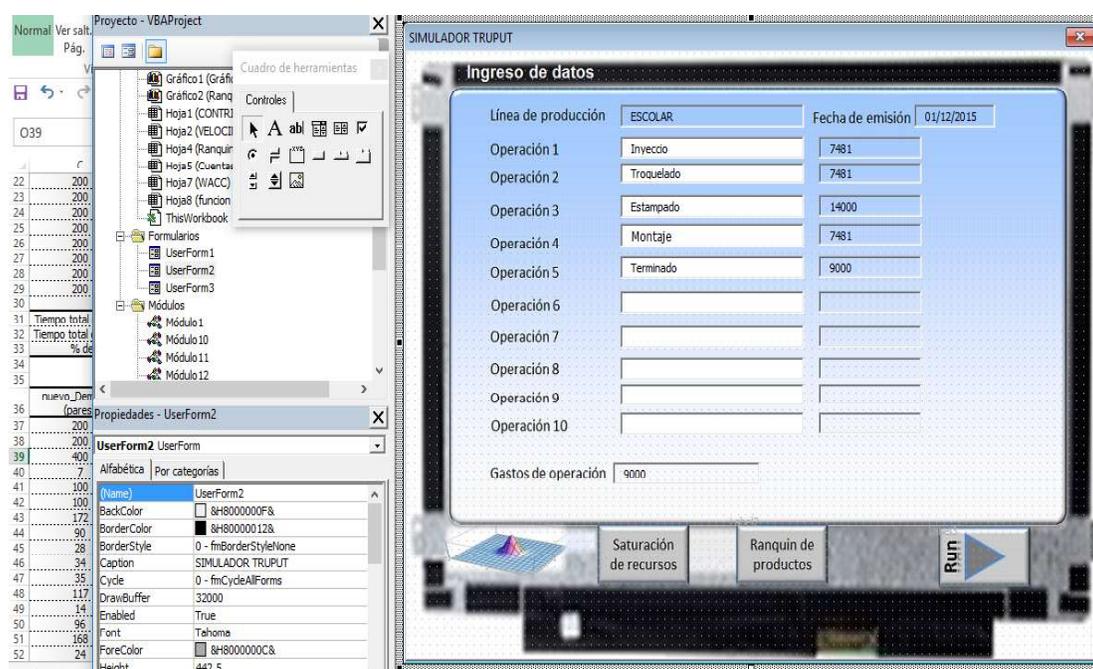
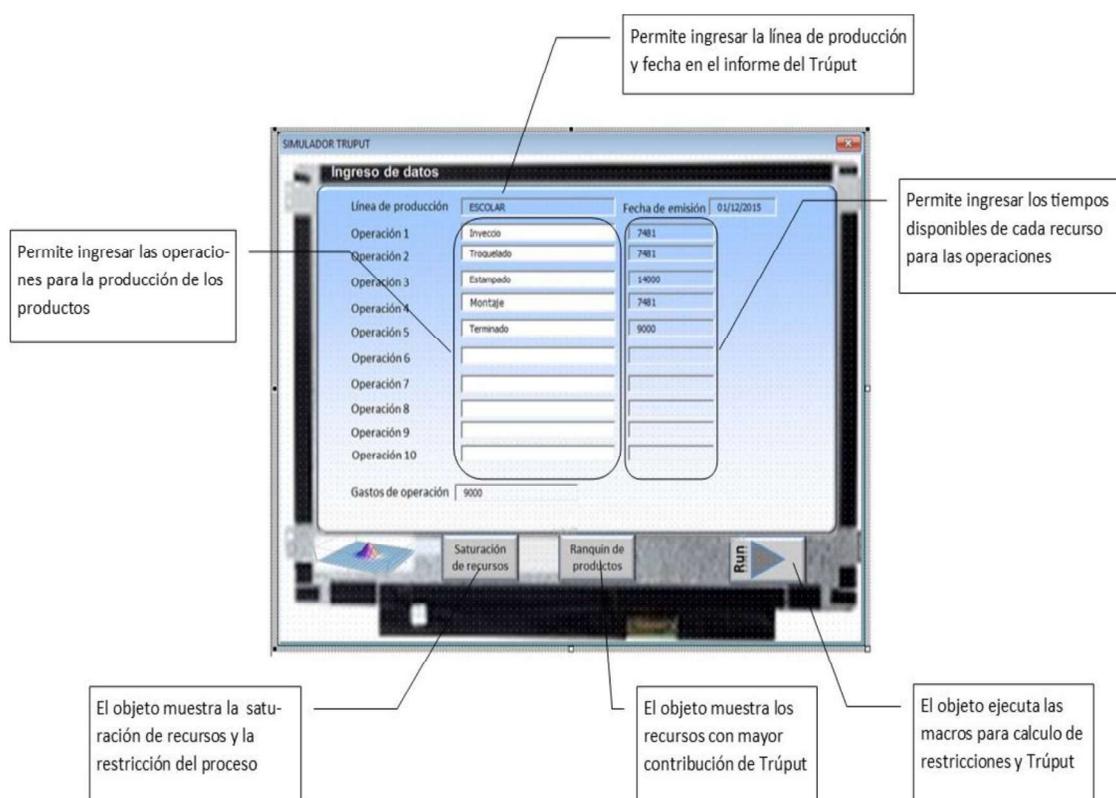


Figura 3.12. Interfaz del simulador del Trúput

### 3.3.1 PROPIEDADES DE LOS OBJETOS DE INTERFAZ

Luego de añadir objetos al formulario, se colocan las propiedades de los objetos (figura 3.13). Puede establecer valores iniciales ya sea la ventana de propiedades en tiempo de diseño o escribiendo código para modificar las propiedades en tiempo de ejecución. La ventana de interfaz permite ingresar datos de diez operaciones estos datos de entrada están relacionados a las restricciones de planta, dado que es la capacidad que tiene cada proceso en minutos, esta ventana también se pueden ingresar la línea de negocios, la fecha que es importante para efectos de trazabilidad de los datos, se ingresan también los gastos de operación. Toda vez que se ingresa la información se ejecuta las simulaciones mediante el botón RUN, y en tanto que los botones saturación de recursos y Ranking de productos permite desplegar los gráficos en los que se podrá identificar los recursos saturados y cuales productos son los que generan mayor Trúput.



**Figura 3.13.** Propiedades de cada objeto de la interfaz

### 3.3.2 CÓDIGOS PARA EVENTOS

Luego de establecer las propiedades para el formulario y cada objeto, se añade el código que ejecutará en respuesta a los eventos, estos ocurren cuando las acciones se ejecutan sobre un control u objeto; por ejemplo click es un evento que despliega la gráfica en donde se muestran las restricciones del proceso, a continuación se muestran los códigos que se ejecutará en respuesta a cada evento.

**Ingreso de datos para simulación:** Estas líneas de código pertenecen al módulo que permiten ingresar datos a la base para el cálculo en la matriz de Excel.

```
Private Sub Label1_Click()
```

```
Restricciones
```

```
UserForm2.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Label2_Click()
```

```
va_graficoranquin
```

```
UserForm2.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Label3_Click()
```

```
CopiarMatriztruput
```

```
Ranquea_producto
```

```
UserForm2.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TextBox1_Change()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TextBox5_Change()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Click()
```

```
End Sub
```

### 3.4 IDENTIFICACIÓN DE RESTRICCIONES Y VARIABLES QUE INCIDEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA PLANTA

Estas líneas de código pertenecen al módulo que permiten mostrar un gráfico con la restricción de los procesos y el porcentaje de saturación de los recursos, se permiten máximo 10 recursos (fases productivas) en el análisis dado que en la organización la

cadena de producción para un producto no superan las diez fases, si apareciera un producto que requiera más de 10 fases se deberán agrupar hasta el límite especificado.

```
Private Sub Label1_Click()
Restricciones
UserForm2.Hide
End Sub
Private Sub Label2_Click()
va_graficoranquin
UserForm2.Hide
End Sub
Private Sub Label3_Click()
CopiarMatriztruput
Ranquea_producto
UserForm2.Hide
End Sub
Private Sub TextBox1_Change ()
End Sub
Private Sub TextBox2_Change ()
End Sub
Private Sub TextBox5_Change()
End Sub
Private Sub UserForm_Click ()
End Sub
```

### **3.4.1 DETERMINACIÓN DE PRODUCTOS CON MAYOR CONTRIBUCIÓN DEL TRÚPUT**

Estas líneas de código pertenecen al módulo que permiten mostrar un gráfico con los productos que generan mayor contribución del Trúput ordenados de mayor a menor, esto con el propósito de obtener una priorización para la producción, se puede renquear máximo doscientos productos, dado que una cantidad mayor resultaría difícil de manejar.

```

Private Sub Label2_Click()
va_graficoranquin
UserForm2.Hide
End Sub
Private Sub Label3_Click()
CopiarMatriztruput
Ranquea_producto
UserForm2.Hide
End Sub
Private Sub TextBox1_Change()
End Sub
Private Sub TextBox2_Change()
End Sub
Private Sub TextBox5_Change()
End Sub
Private Sub UserForm_Click()
End Sub

```

En el Anexo III se observa el funcionamiento del simulador mediante un video adjunto en un CD.

### **3.4.2 EJECUCIÓN DE MACROS PARA CÁLCULO DE RESTRICCIÓN DE PLANTA**

Estas líneas de código pertenecen al módulo que permiten ejecutar las macros de Excel para calcular el Trúput de cada producto y restricciones.

```

Private Sub Label1_Click()
Restricciones
UserForm2.Hide
End Sub
Private Sub Label2_Click()
va_graficoranquin
UserForm2.Hide
End Sub
Private Sub Label3_Click()

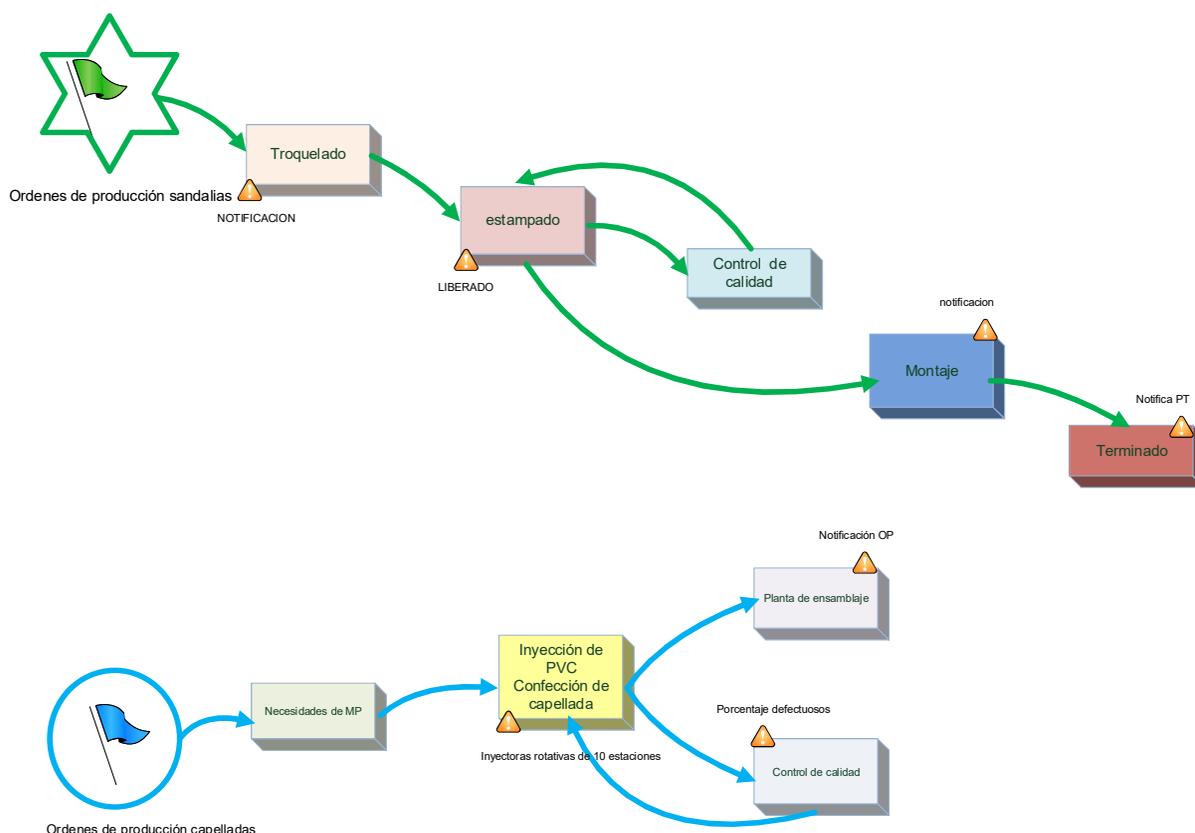
```

```
CopiarMatriztruput  
Ranquea_producto  
UserForm2.Hide  
End Sub  
Private Sub TextBox1_Change()  
End Sub  
Private Sub TextBox2_Change()  
End Sub  
Private Sub TextBox5_Change()  
End Sub  
Private Sub UserForm_Click()  
End Sub
```

### 3.5 CORRIDA EN PROYECTO PILOTO

#### 3.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

La línea de producción en la que se realiza la simulación es la planta Relax, cuyo objetivo es la producción de Sandalias con piso de material expandible troquelado e inyectado y capellada de PVC compacto y textil, esta línea de producción es nueva comparada con las otras líneas de negocio que maneja Plasticaucho, dado que tiene 3 años de funcionamiento, ha tenido inconvenientes en su estabilización dando como resultado un EVA negativo, por esta razón se ejecuta la simulación para anticipar los resultados que se darían con el ejercicio de las operaciones en cada temporada de producción; a continuación se ilustra las operaciones de producción con las cuales se realizan los productos en la planta RELAX conforme figura 3.14.



**Figura 3.14.** Flujo de operaciones planta Piloto (Relax)

En el Anexo IV se observa el proceso de la Planta Relax, es un documento declarado por el sistema de gestión de calidad que maneja la organización.

### 3.5.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS QUE OFRECE

- Sandalias con capellada de PVC:

Modelo	Características	Fases de producción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tira de pvc flexible</li> <li>✓ Piso etileno vinil acetato</li> <li>✓ Técnicas de estampado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Inyección tira</li> <li>✓ Troquelado piso</li> <li>✓ Estampado</li> <li>✓ Fresado</li> <li>✓ Montaje</li> <li>✓ Empaque</li> </ul>

- Sandalias adulto femenino con capellada de textil:

Modelo	Características	Fases de producción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tira de textil</li> <li>✓ Piso de etileno vinil acetato</li> <li>✓ Técnicas de estampado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Confección tira</li> <li>✓ Troquelado piso</li> <li>✓ Estampado</li> <li>✓ Fresado</li> <li>✓ Montaje</li> <li>✓ Empaque</li> </ul>

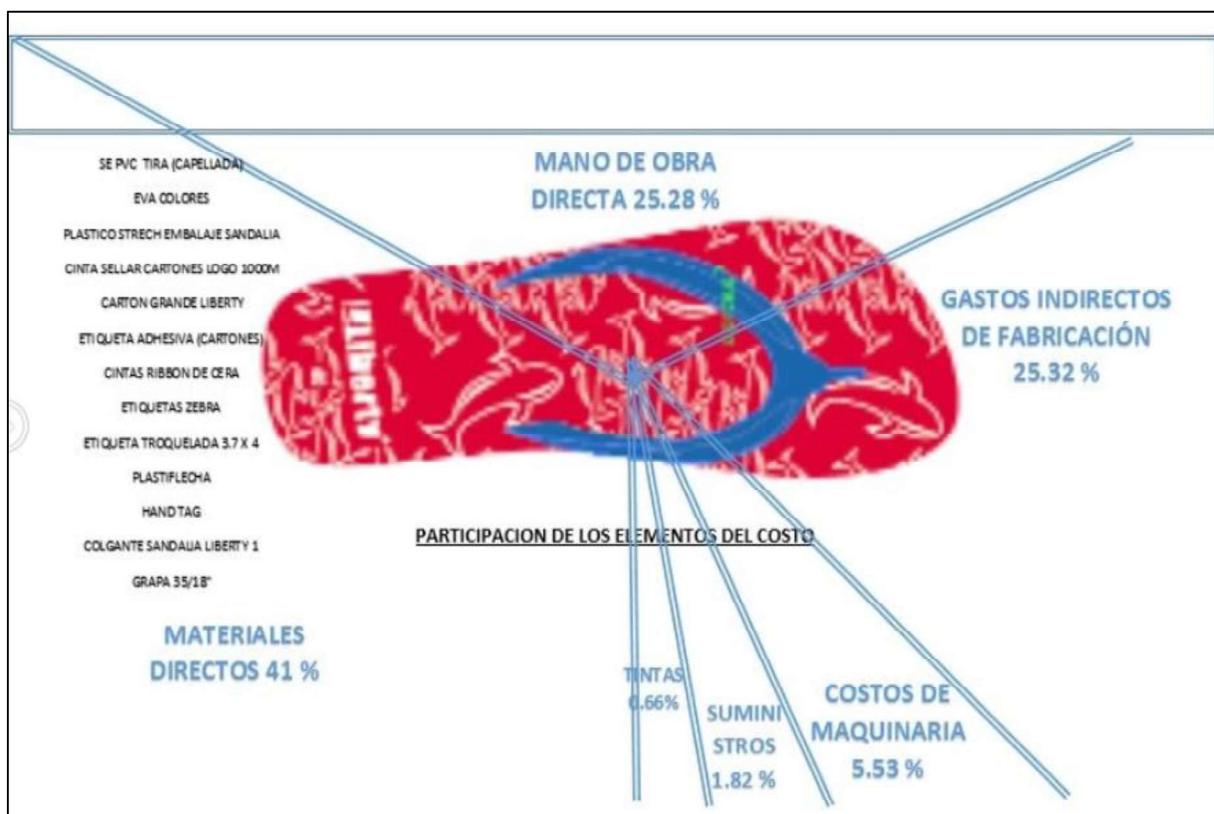
### 3.5.3 DETERMINACIÓN DE VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD

#### 3.5.3.1 Materias primas

Los tipos de materiales que se utilizan en los procesos de producción de sandalias son:

- PVC compacto
- Planchas de etileno vinil acetato prensada expandida
- Tintas para serigrafía
- Para calcular el costo de las materias primas se realiza en base al cálculo de consumo de cada componente definido ya en capítulos anteriores, que lleva cada producto.

A continuación se muestra la distribución de las cuentas del Trúput en la Sandalia en la figura 3.15



**Figura 3.15.** Componentes de la sandalia para cuentas de Trúput

### 3.5.3.2 Material de empaque

El empaque que se utiliza en los productos de la línea relax son fundas de polietileno de alta densidad para cada par; etiquetas y cartón de empaque colectivo.

Toda la información se encuentra subida en el sistema SAP que la organización mantiene, se puede observar en un ejemplo en el Anexo V.

### 3.5.3.3 Gastos de operación

Toda la información se encuentra contenida en el sistema SAP que la organización mantiene misma que es parte del sistema contable, este sistema permite sacar reportes en Excel de gastos de operación que se indica en el Anexo V en CD.

### 3.5.3.4 Ciclos de producción

A continuación se describe las operaciones para la fabricación de sandalias:

- Troquelado.- Proceso mediante el cual se extrae un par de pisos mediante corte provocado por un troquel.



**Figura 3.16.** Proceso de troquelado

**Tabla 3.1.** Capacidad de producción troquelado

PERSONAL POR TURNO				
TROQUELADO	MAÑANA	TARDE	tiempo día	tiempo mes
ATOM 1	2	2	1920	39552
ATOM 2	2	2	1920	39552
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>79104</b>

Elaboración propia

**Tabla 3.2.** Tiempo de producción troquelado

DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTANDAR
	min/par
Preparación de maquina	0.021
Troquelado de pisos para sandalia	0.229
Control de Calidad	0.029
Afilar troqueles	0.044
<b>TIEMPO TOTAL (min/par)</b>	<b>0.323</b>

- Estampado.- Proceso mediante el cual se impregna una imagen en el piso de sandalia mediante una malla y tinta por transferencia.



**Figura.3.17.** Proceso de estampado

**Tabla 3.3.** Capacidad de producción de estampado

ESTAMPADO RELAX				
LINEA 1	4	4	3840	79104
LINEA 2	4	4	3840	79104
LIDER MÁQUINA	1	1	960	19776
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>9</b>		<b>177984</b>

Elaboración propia

**Tabla 3.4.** Tiempo de producción estampado

DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTANDAR
	min/par
Colocar artepraimer	0.2150
Estampado automático primer color	0.2157
Recoger sandalia	0.0667
Estampado automático segundo color	0.2157
Almacenar sandalia	0.0667
<b>TIEMPO TOTAL (min/par)</b>	<b>0.7798</b>

Elaboración propia

- Montaje.- Proceso mediante el cual se coloca la tira en el piso de sandalia mediante maquinas fresadoras y pasado tira.



**Figura 3.18.** Proceso de montaje

**Tabla 3.5** Capacidad de producción montaje

PERSONAL POR TURNO				
MONTAJE RELAX	MAÑANA	TARDE		
LINEA 1	6		2880	59328
LINEA 2	6		2880	59328
LINEA 3	6		2880	59328
FRESADO	5	2	3360	69216
LIDER MÁQUINA	3		1440	29664
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>2</b>		<b>138432</b>

Elaboración propia

**Tabla 3.6** Tiempo de producción montaje inicial

DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTANDAR
	min/par
Preparación de maquina	0.021
Pasado tira	0.404
Fresado	0.979
<b>TIEMPO TOTAL (min/par)</b>	<b>1.404</b>

Elaboración propia

- Terminado.- Proceso mediante el cual se coloca se empaca y embala el producto para su comercialización.



**Figura. 3.19.** Proceso de empaque

**Tabla 3.7.** Capacidad de producción empaque

PERSONAL POR TURNO				
MONTAJE RELAX	MAÑANA	TARDE		
LINEA 1	6		2880	59328
LINEA 2	6		2880	59328
LINEA 3	6		2880	59328
FRESADO	5	2	3360	69216
LIDER MÁQUINA	3		1440	29664
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>2</b>		<b>138432</b>

**Tabla 3.8.** Tiempo de producción empaque

DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTANDAR
	min/par
Colocar plastiflecha	0.0961
Colocar sandía en funda	0.1725
Colocar etiqueta	0.0803
Sellar funda y colocar en cartón	0.0920
Almacenar sandalia	0.0556
<b>TIEMPO TOTAL (min/par)</b>	<b>0.4662</b>

- Inyección.- Proceso mediante el cual se cola PVC compacto en un molde para desprender un par de tiras.



**Figura 3.20.** Proceso de inyección

**Tabla 3.9.** Capacidad de producción Inyección

PERSONAL POR TURNO				
INYECCIÓN TIRAS PVC	MAÑANA	TARDE	tiempo día	tiempo mes
TK-38	2	2	1920	39552
TK-12	2	2	1920	39552
LIDER MÁQUINA	2	2	1920	39552
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>6</b>		118656

### 3.5.4 RESOLUCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Para resolver el modelo matemático con más de una variable, se utiliza **Solver en Excel** (Figura 3.21). Este complemento ayuda a analizar escenarios de negocio multivariable y de optimización, la herramienta **Solver** de Excel realiza los cálculos para la resolución de problemas de programación lineal; en el presente caso maximizar el uso de recursos, cuyas variables están sujetas a unas restricciones expresadas como inecuaciones lineales, el fin es obtener valores óptimos para cálculo del Trúput en una línea de producción.

La función objetivo [3.2] a ser optimizada es:

$$Z = \sum_{i=1}^M T_i \sum_{j=1}^N q_{ij}$$

La función a optimizar es la multiplicación de los tiempos de operación por el número de productos en cada recurso, para el simulador del Trúput esto está circunscripto en una matriz de 10 operaciones por 200 referencias.

En la Figura 3.22 se aprecia la celda objetivo, como el producto punto entre la cantidad de modelos a producir por el tiempo de operación en cada recurso, esto representa el modelo matemático, que al resolver con la ayuda de la aplicación del Excel Solver permite optimizar el mix de productos para maximizar la utilización de los recursos; también se observa las restricciones y la interfaz para ingresar las restricciones así como la celda objetivo y el rango de los resultados de la optimización de producción por modelo, las restricciones están dadas por la capacidad que posee cada proceso de las columnas D hasta la J, esta capacidad está dada por tiempo en minutos, determinados anteriormente en las variables que afectan la productividad .

El funcionamiento del simulador está en el Anexo III (video en CD)

The image shows the Excel Solver interface with several components labeled:

- Demanda:** Points to the 'Nuevo Demanda' column in the Solver Parameters dialog.
- Producción:** Points to the 'Nuevo Producción' column in the Solver Parameters dialog.
- Tiempo disponible en cada recurso:** Points to the 'Tiempo Disponible' column in the Solver Parameters dialog.
- Restricciones:** Points to the 'Cambiar a las restricciones' section in the Solver Parameters dialog.
- Solver:** Points to the Solver Parameters dialog box itself.

The Solver Parameters dialog box shows the following settings:

- Establecer objetivo:** \$D\$13:\$D\$13
- Para:**  Máx  Mín  Valor de
- Cambiando las celdas de variables:** \$D\$13:\$D\$13
- Restricciones:** \$D\$13:\$D\$13 <= \$E\$13:\$E\$13
- Convertir variables sin restricciones en no negativas
- Método de resolución:** Simplex LP
- Botones:** Añadir, Cambiar, Eliminar, Establecer toda, Cargar/Guardar, Opciones, Ayuda, Resolver, Cerrar

Figura 3.21. Interfaz del procedimiento Solver Excel

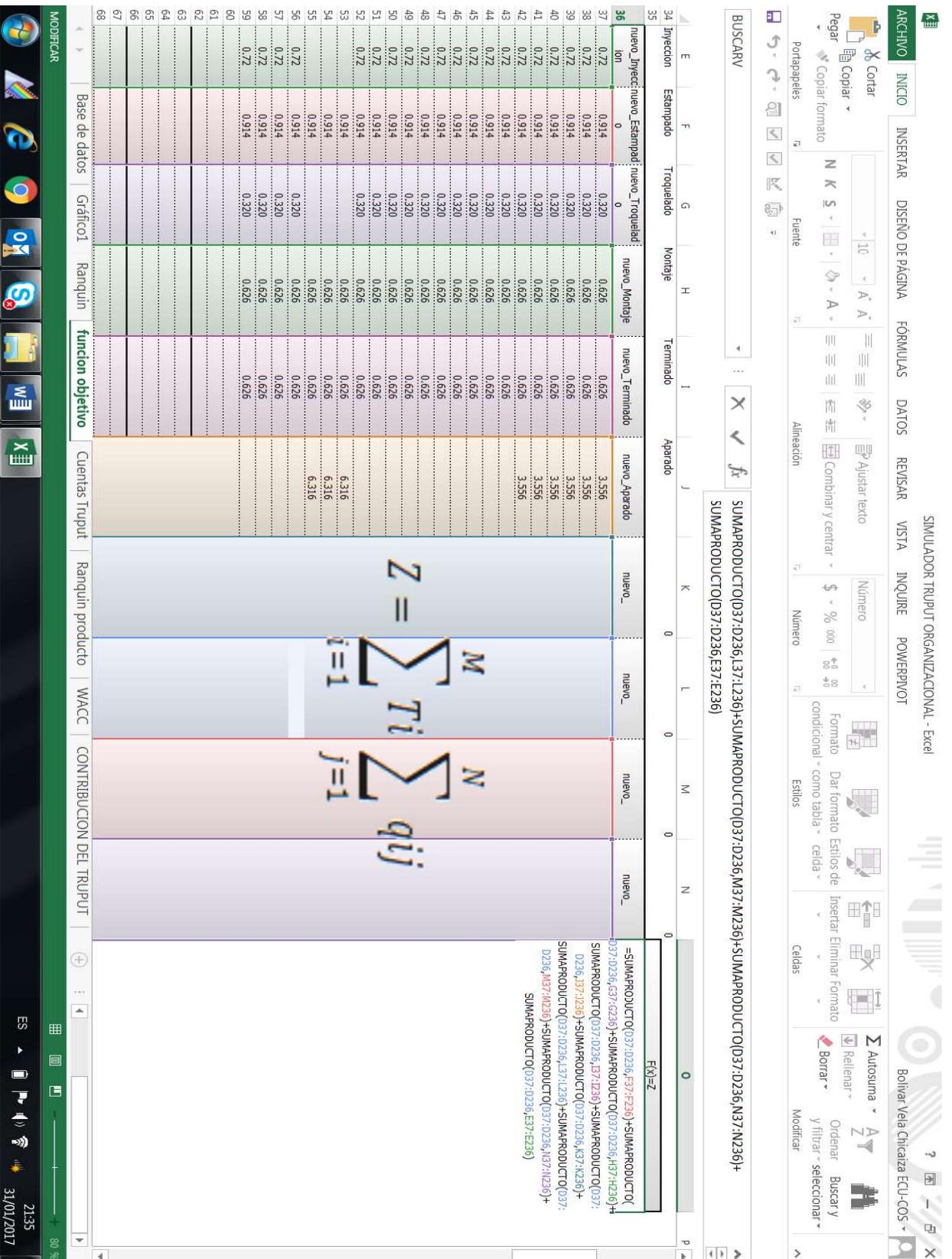


Figura 3.22. Celda objetivo

### 3.5.5 APLICACIÓN DE SIMULACIÓN EN LÍNEA RELAX

Se aplica el procedimiento de la Teoría de restricciones usando el enfoque de programación lineal, una herramienta importante para asegurar que los principios de la Teoría de restricciones son aplicados correctamente e incrementan el Trúput eficientemente; tiene tres componentes básicos: las variables de decisión, que en este caso está dado por la cantidad de productos a producir según cada modelo, y la función objetivo, es Maximizar el uso de los recursos, para asegurar una mezcla de productos adecuados, las restricciones que se deben satisfacer son el tiempo disponible de cada recurso según las operaciones y la demanda del mercado.

La inversión de la empresa, para la ejecución de la producción está dada por la materia prima que se adquiere para cada lote de producción o colección, definida según cada modelo, en tanto que los gastos de operación está dado por los costos de mano de obra (MOD), costos indirectos de fabricación (GIF) y costos indirectos de maquinaria (CIM).

Se define la matriz datos de entrada con las cuentas del Trúput; como se aprecia en el Anexo VII. La matriz cuentas del Trúput se alimenta de la matriz de función objetivo que está dada por 200 filas y 10 columnas que se optimiza con el Solver de Excel cuya función objetivo está definida en el capítulo tres, fórmula [3.2], misma función alimenta la columna de cantidad de pares a producir, con esta entrada se establecen los cálculos para definir las restricciones y el Trúput total, los Gastos de Operación es un dato de entrada proporcionado por el área de presupuestación, la matriz tiene anidado las operaciones necesarias para el cálculo del WAC y del EVA, toda esta información se recoge en la tabla de resultados de Contribución del Trúput, en donde se observa, Cuellos de botellas, Producto de mayor contribución del Trúput, Utilidad Operacional, ROI, Productividad, Rotación de Inventario, y evidentemente el EVA.

En primera instancia se han determinado las variables que inciden en el cálculo como cuentas del Trúput, que se observa en la tabla 3.10, estas variables están dadas por una base de datos, que se muestra en el Anexo VI; los datos obtenidos para ingresar en esta tabla son:

- Estándares de producción de cada proceso, Montaje, Terminado, Inyección, Estampado, Troquelado, Aparado, que resultas de los estudios de métodos y tiempos, que son subidos al SAP.

- Los costos de materia prima por producto que es extraído del sistema SAP una vez que se han subido los consumos a este sistema.
- Los costos de empaques que también son extraídos del SAP.
- Los costos de Mano de Obra Directa (MOD) datos que resultan de los centros de costos del sistema SAP.
- Los Gastos Indirectos de Fabricación que resultan de los centros de costos del sistema SAP.
- Los Costos Indirectos de Maquinaria que resultan de los centros productivos del sistema SAP. Todos estos descritos en el Anexo VII
- La demanda nacional y exportación proyectada por parte de mercadeo que se muestra en el Anexo VIII.

Se procede a ingresar los datos para construir las cuentas en la matriz de optimización del Simulador, sobre precios de los productos, los costos totalmente variables, el tiempo del ciclo del producto, y la demanda del producto por periodo; las demás columnas son el resultado de estos datos, como se muestra en la tabla 3.13.

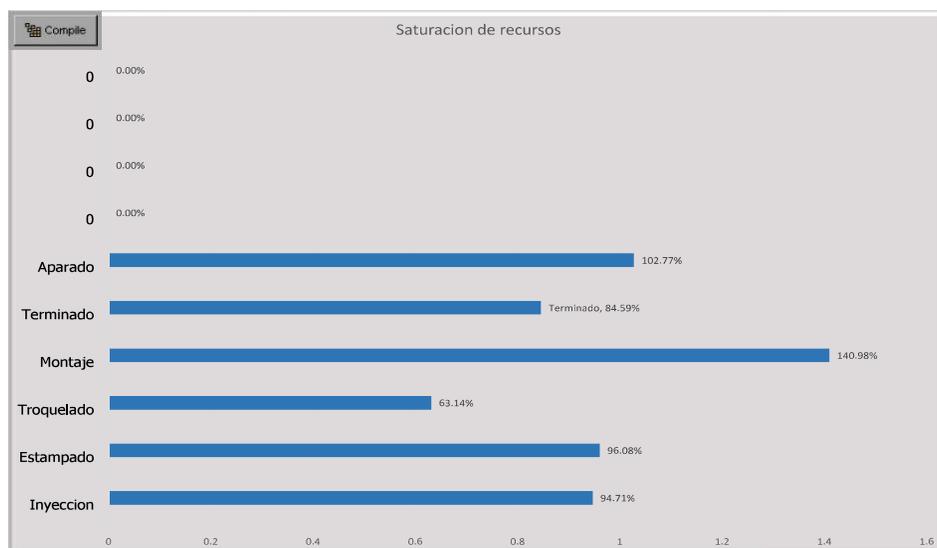
**Tabla 3.10.** Matriz de función objetivo

Productos	Demanda (pares)	Produccion	Inyeccion	Estampado	Troquelado	Montaje	Terminado	Aparado
V JOBI ALI RS 22	2640	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	3,556
V JOBI HERTS RS 22	2989	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	3,556
V JOBI FRUITILOVE CL 22	1795	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	3,556
V JOBI JACK AZ 22	2482	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	3,556
V JOBI CRUCERO AZ 22	2035	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	3,556
V JOBI CANGREJO RJ 22	1669	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	3,556
V JOBI ALI RS 30	8487	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V JOBI HERTS RS 30	9117	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V JOBI FRUITILOVE CL 30	10825	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V JOBI JACK AZ 30	5460	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V JOBI CRUCERO AZ 30	8451	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V JOBI CANGREJO RJ 30	4545	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V CAPRILA OPACITY CL 38	14590,8	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V CAPRILA FLORA BG 38	14697,6	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V CAPRILA WINTER AZ 38	7748,4	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V CAPRILA SAMY NG 38	7794	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V BALI REFRESH VL 38	8573,25	0		0,914		1,043	0,626	6,316
V BALI FRIENDSHIP NG 38	13019,15	0		0,914		1,043	0,626	6,316
V BALI FOREVER AZ 38	9362,15	0		0,914		1,043	0,626	6,316
V BALTIC FERRO AZ 40	13724,1	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V BALTIC MAIL NG 40	16541,6	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V BALTIC CERO AZ 40	9254,05	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
V BALTIC ZEUS NG 40	11232,05	0	0,72	0,914	0,320	1,043	0,626	
Tiempo total requerido por operación (min) Tit			112375,87	171000,8229	49944,832	195074,5325	117098,3896	243893,5322
Tiempo total disponible por operación (min) Ttj			118656	177984	79104	138432	138432	237312
% de Utilización Restriccion			94,71%	96,08%	63,14%	140,92%	84,59%	102,77%

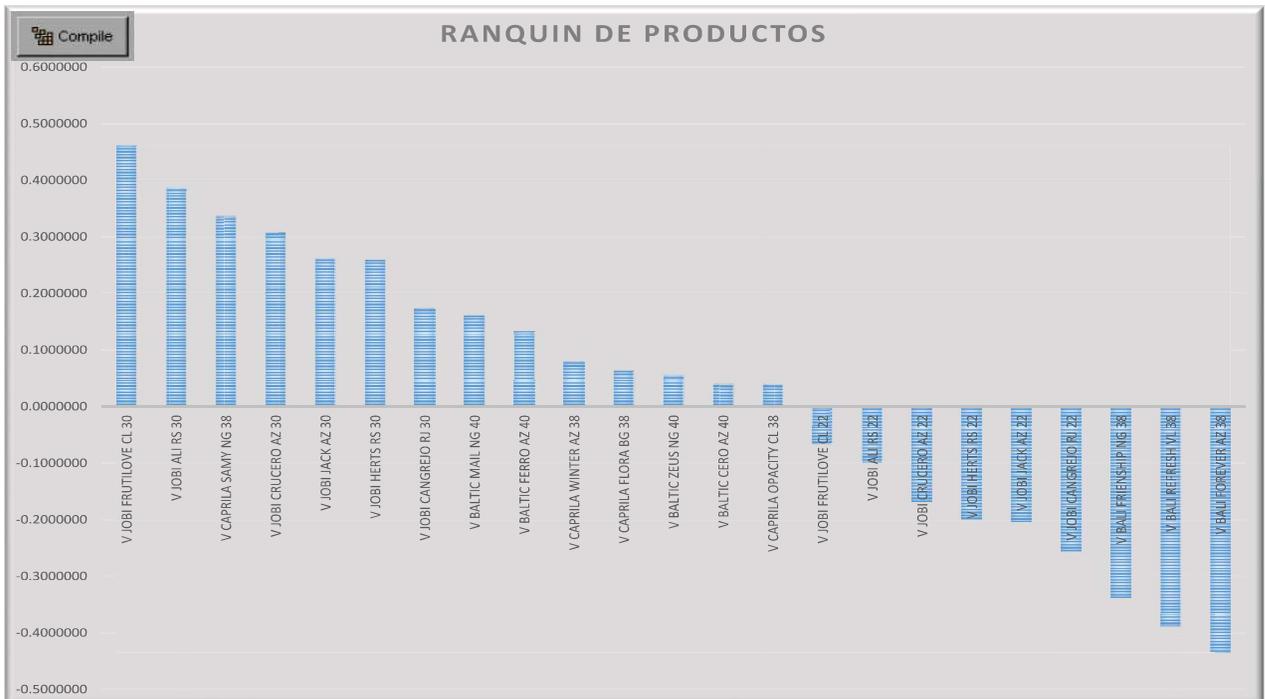
Se ejecuta la simulación como se muestra en el Anexo IX (video en CD) el resultado de esta primera simulación en la línea Relax muestra que la restricción está en el proceso de montaje dado que se requieren 195163,98min para completar el pedido pero solo tienen 138432,00min esto satura al recurso en el 140.98%.

En la figura 3.24 se presentan el ranking de productos en donde se enlistan los de mayor contribución de izquierda a derecha, la importancia de este gráfico radica en que es un dato de entrada para planificación de la producción y también es un input para Mercadeo Táctico, evidentemente esta información se debe analizar entre producción y mercadeo dado que se puede decir que productos se deben producir y cuáles no.

En la figura 3.23 se presentan las restricciones de planta debido a su saturación

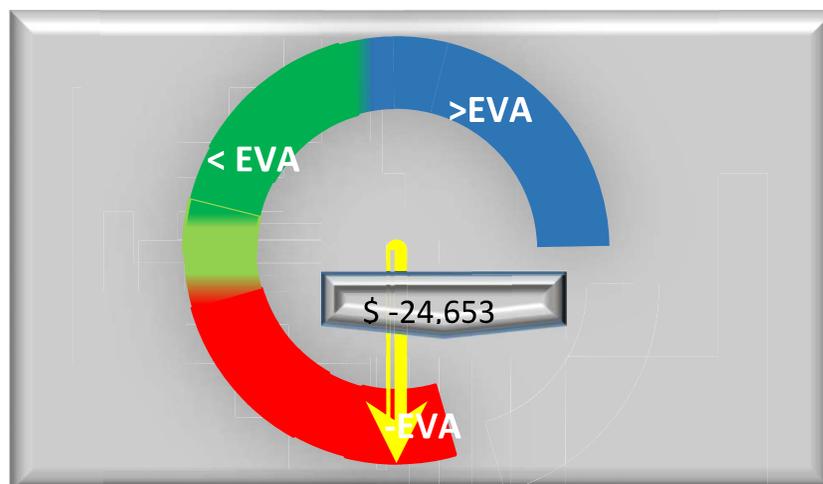


**Figura.3.23.** Saturación de recursos



**Figura 3.24.** Ranking de productos

A continuación se observa la figura 3.25, que indica claramente el indicador EVA, la sección roja es un valor negativo es decir la empresa está consumiendo valor antes de generarlo en la línea de negocios en cuestión, es un dato que se puede mirar directamente, la zona verde indica que el negocio empieza a generar valor y a la zona azul ya es un indicativo de generación de valor es decir que nos indica la velocidad con que la organización genera dinero medida con el Valor agregado que genera la producción de una colección; en esta primera simulación de la línea de negocios no genera valor; es decir la cantidad de dinero que se usa para comprar las materias primas y para que la línea funcione no es cubierta con el Trúput.



**Figura 3.25.** Medidor de valor agregado primera simulación

La tabla 3.11 es el informe de contribución del Trúput, indica el proceso cuello de botella, para el caso es el montaje con el 141.01% de saturación, es evidente también que existe un desbalance de capacidades por cuanto existen otros recursos que no superan el 80%; los gastos de operación son el resultado del sistema SAP que se ingresa en el simulador como dato de entrada, este dato no es calculado, es el resultado de todo el sistema ERP que tiene la planta en el cual se recogen en colectores todos los gastos causados para cada producto; se observa también el producto que genera mayor contribución, está dado por el Trúput por modelo Jovi tallas 30, este valor es el resultado de la división entre el Trúput individual y el tiempo en la restricción; el Trúput total es el resultado de la multiplicación de cada uno por la cantidad a producir del mix de productos según modelo matemático resuelto con aplicación Solver.

La utilidad operacional neta es baja, por lo tanto el ROI generado es negativo, la línea de negocios destruye dinero no la crea el valor EVA es negativo. El WACC está calculado a finales del 2015 y se aplicará este valor para el 2016 en esta línea de negocios, este valor es resultado del análisis financiero que mantiene Plasticaucho, para el cálculo de EVA, por lo tanto el WACC está fuera del análisis del presente proyecto, dado que es parte de la propiedad intelectual de la organización, sin embargo es importante entender qué este factor, y dentro de las simulaciones se

puede ejecutar también el cálculo según cada periodo, o dependiendo de las decisiones estratégicas

**Tabla 3.11.** Informe de contribución del Trúput primera simulación

		<b>CONTRIBUCION DEL TRUPUT</b>	
Elaborado por: Bolívar Vela		Revisado por: GF	
LÍNEA :		ESCOLAR	
FECHA EMISIÓN:		01/12/2015	
FECHA VIGENCIA:		01/02/2016	
REFERENCIA	Unidad	VALOR	
<i>Cuello de botella_Montaje</i>	%	141.0%	
<i>Gastos de Operación</i>	\$	\$ 141,121.0	
<i>Producto de mayor contribución Trúput</i>	\$ 0.46	JOBI FRUITILOVE CL 30	
<i>Trúput Total</i>	\$	\$ 160,376.2486	
<i>Utilidad Operacional</i>	\$	\$ 19,255.2486	
<i>ROI</i>	\$	-78%	
<i>Productividad</i>	\$	\$ 0.1364	
<i>Delta Productividad</i>	\$	\$ -	
<i>Rotación de la Inversión</i>	UND	1.83	
<i>WAC</i>	%	12%	
<i>EVA</i>	\$	\$ -24,653	

### 3.6 EXPLOTACIÓN DE RESTRICCIONES Y MEDICIÓN DEL IMPACTO SOBRE EL VALOR AGREGADO DE LA PLANTA

Toda vez que se han definido las variables que afectan la productividad a través de estas, se determina las restricciones de planta mismas que son el resultado de la simulación, ahora se puede establecer que pasa con el Valor Agregado de la línea de negocios, si se influyen en estas restricciones, es menester entonces calcular el EVA de la línea de negocios para establecer una situación inicial conforme a la realidad actual de las líneas de producción, para esto en la tabla 3.12 se muestra el WACC calculado para cada línea, donde se observa para Relax el valor correspondiente es de 12.48%, este es un dato para el cálculo del EVA conforme a la ecuación [2.12]. A través del simulador se tendrán escenarios que permitan tomar decisiones oportunas, en términos de incrementar personal, comprar máquinas, mejorar procesos, antes de

realizar inversiones; en la tabla 3.13 se observa el cálculo del EVA realizado por departamento financiero de cada planta productiva.

**Tabla 3.12.** Líneas de producción WACC

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	WACC
RELAX	12.48%
LONA	10.82%
ESCOLAR	8.58%
PVC	16.12%
INDUSTRIAS DIVERSAS	11.38%

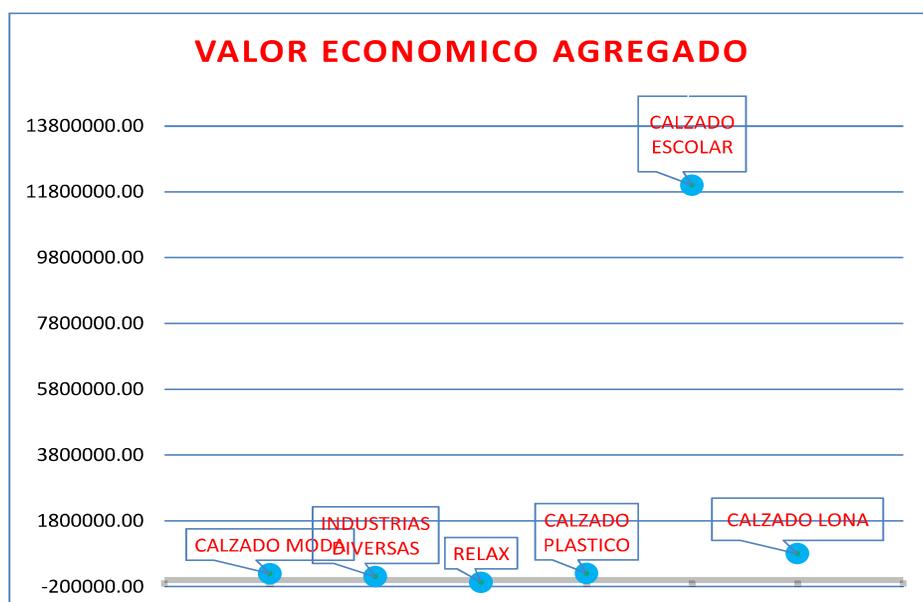
El cálculo del EVA está calculado con la siguiente ecuación:

$$EVA = EBIT(1 - t) - [NOF + \text{ACTIVOS FIJOS}] * WACC \quad [3.3]$$

En donde se observa que la planta productiva de calzado escolar genera el mayor valor agregado, en contraposición la de Relax consume valor no lo genera (tabla 3.16), esta la razón para aplicar las simulaciones en esta línea de negocios.

**Tabla 3.13.** Eva calculado de cada línea de negocios

línea de negocio	EVA
CALZADO MODA	191000
INDUSTRIAS DIVERSAS	100000
RELAX	-70000
CALZADO PLASTICO	199000
CALZADO ESCOLAR	1200000
CALZADO LONA	800000



**Figura 3.26.** Análisis de valor agregado líneas de producción Plasticaucho

Una vez determinado el EVA que se muestra en la Figura 3.26 de cada línea de producción se observa que la línea de producción con EVA negativo es RELAX, además existen otras líneas de producción con un Valor Agregado bajo.

- **Explotar la restricción**

En el capítulo anterior del presente trabajo, se pudieron establecer las restricciones en el proceso productivo de fabricación Sandalias, a través de la corrida del simulador se mostró los recursos saturados como se muestra en la Tabla 3.14

**Tabla 3.14.** Saturación de recursos

PROCESO	SATURACIÓN
Inyeccion	94.7%
Estampado	84.56%
Troquelado	64.14%
Montaje	<b>140.98%</b>
Terminado	84.59%
Aparado	102.7%

La restricción del sistema entonces es el proceso de montaje, dado que está al 140.98% para cumplir con la demanda establecida, este proceso es previo al

terminado y se encuentra al inicio de la línea de terminados, en el Anexo X se puede observar la gráfica de recorrido inicial.

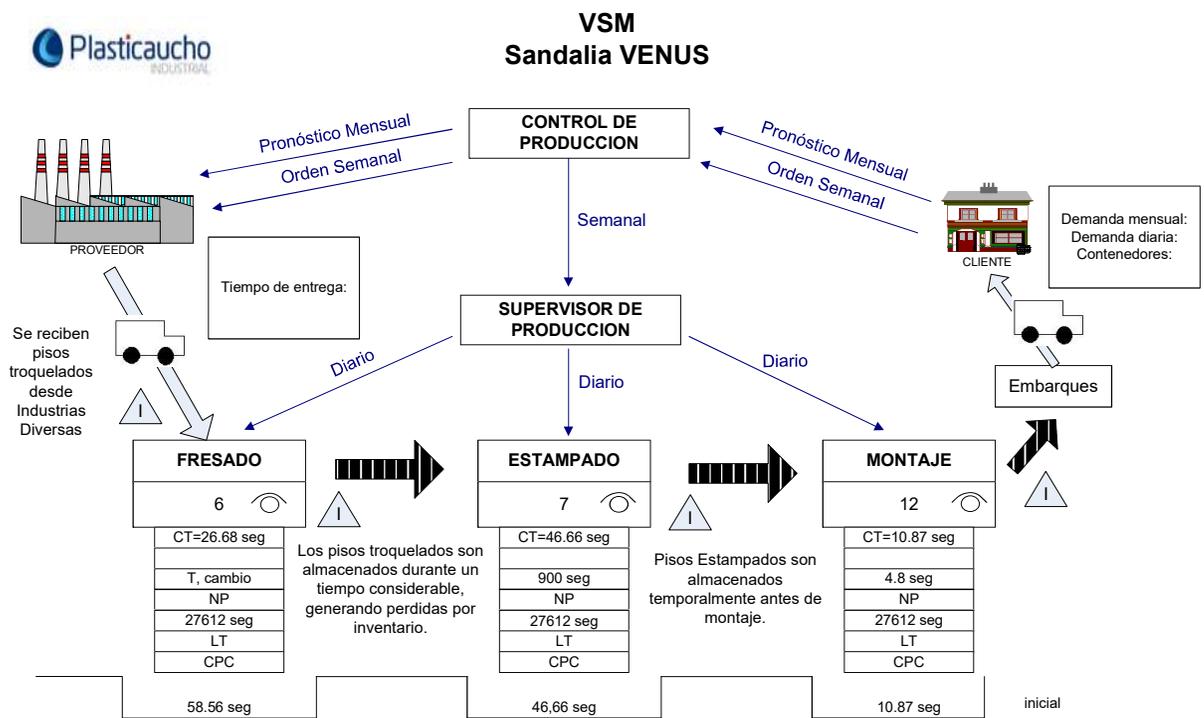
Dentro del flujo del proceso se observa que las operaciones de fresado y pasado tira, que corresponden al proceso de montaje, al ser sus tiempos altos representan restricción del sistema, se plantea entonces tres alternativas:

- Cambiar las máquinas fresadoras a sistemas automáticos cuya inversión se estima en 30.000 dólares.
- Incrementar número de turnos lo que incluye trabajo fines de semana, esto implica un incremento de personal por lo que se sumarían 4 personas, más lo que representa 2800 dólares mensuales adicionales.
- Dividir las operaciones de montaje, esto implica cambio de la disposición de máquinas sin inversión dado que se usarían todos los recursos existentes.

En esta fase de piloto del proyecto no se recomienda aun realizar inversiones; por lo tanto se utiliza la opción de mover las máquinas de planta, conforme se indica en el Anexo XII.

El nuevo flujo de recorrido plantea que a la línea de calzado Relax ingresan los pisos troquelados y las operaciones de fresado se cambian para que se ejecuten antes del estampado, de tal manera que el montaje sea únicamente la operación de colocado tira, esto permite flujo a la línea de terminado que está a continuación de la línea de montaje, el nuevo proceso se implementa para realizar las mediciones y constatar que los tiempos de fresado disminuyen, esto porque la variabilidad del proceso provoca interrupciones en el flujo generando pérdidas de tiempo, por cuanto los tiempos de preparación de máquina son distintos en cada proceso no se puede tener una línea balanceada; se explota la restricción para incrementar la productividad en la línea de montaje.

En la figura 3.27 se observa el proceso optimizado en un flujo en el cual se tiene primero el fresado, como se indicaba anteriormente el fresado era parte del montaje con un tiempo de 1.043 min/par (62.58 seg/par.), esto significa 34.5 min para un lote de 25 pares conforme se indica en el diagrama de recorrido Anexo XIII (suma pasado tira y fresado), en el proceso optimizado el montaje se reduce a 0.626 min/par (37.59seg/par.), es el resultado de la suma entre CT fresado 26.68 min más CT montaje 10.87 min dan 37.59 seg. Lo cual incrementa la capacidad productiva del centro, quedando demostrado que se elevó la restricción.

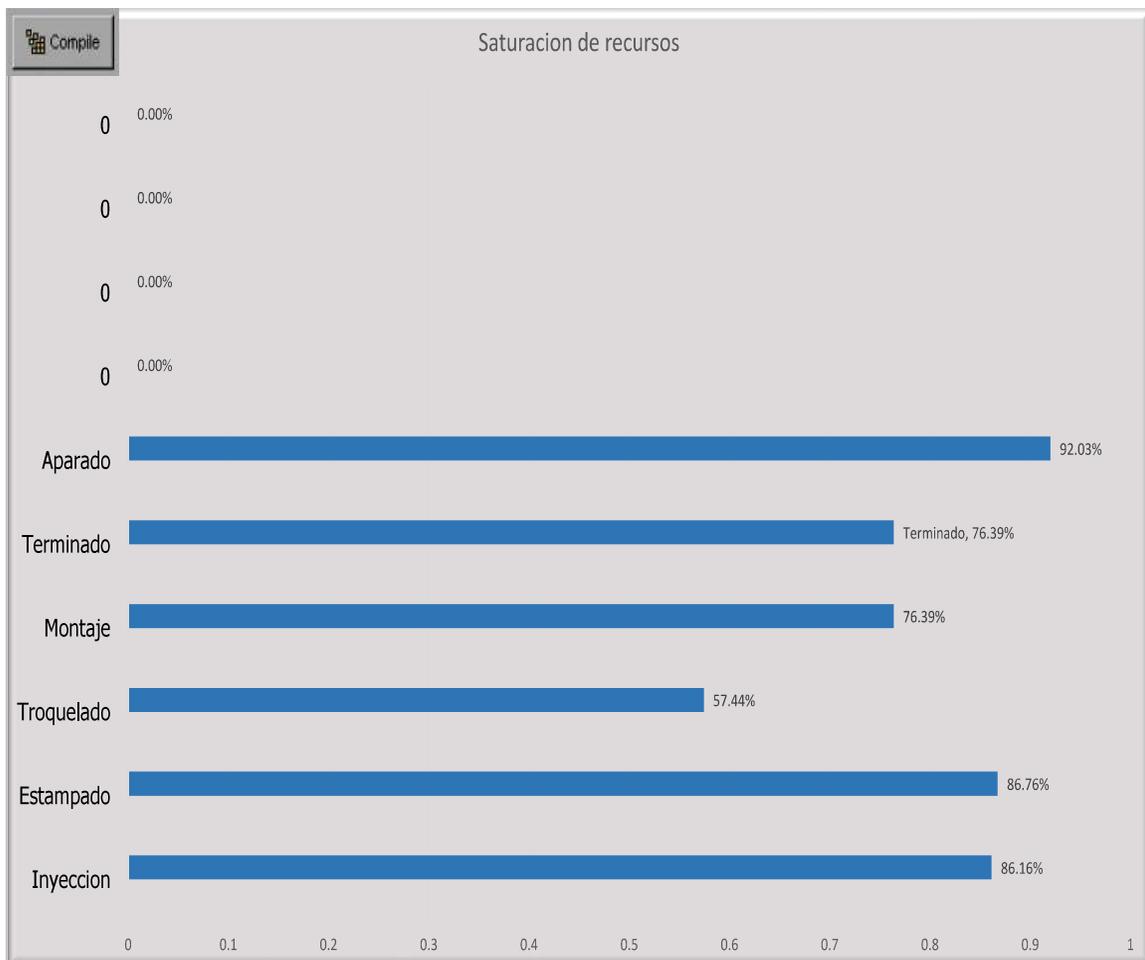


**Figura3.27.** Mapeo del flujo de proceso optimizado

Al realizar los cambios mencionados, se simula el impacto de estos cambios en el valor agregado de la organización.

Se disminuye el tiempo de operación del montaje a través de un cambio de Layout de la línea el método de fresado, esto disminuye el tiempo de montaje al 60%, sin que involucre mayores gastos de operación ni inversión.

Los resultados de esta simulación se muestran en la figura 3.28 se observa que el recurso saturado es Montaje disminuye al 76 %, sin embargo como es de esperarse aparece otra restricción que es ahora el proceso de Aparado se satura al 92% aprox., la explotación de la nueva restricción será motivo de análisis ulterior.



**Figura 3.28.** Saturación de recursos

En tanto que la figura 3.29 indica los productos que generan menor contribución del Trúput y son aquellos que usan la restricción, pero ahora son en un menor número y son aquellos que deben pasar por el proceso de aparado.



Figura 3.29. Ranking de productos

La figura 3.30 muestra el Valor Agregado de la línea de negocios pasa de la zona roja a la verde, significa que al elevar la restricción del proceso de montaje ya existe una mejora en el Valor agregado que tiene esta línea de negocios pero se podría decir que aún no es satisfactorio con un valor de 1.012,00 \$.

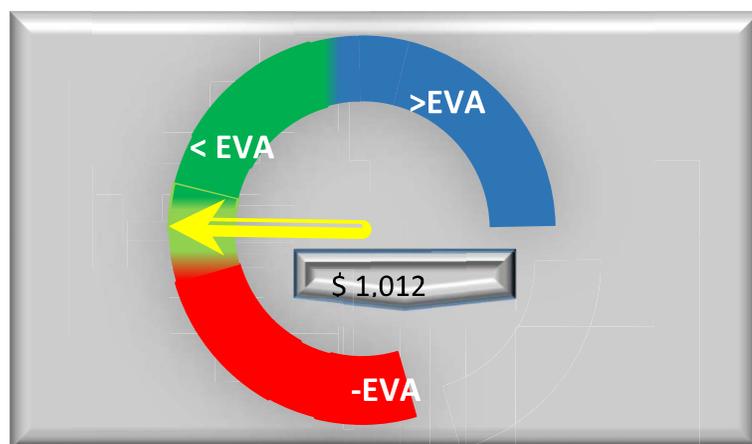


Figura 3.30. Medidor de valor agregado segunda simulación

La tabla 3.15 muestra el informe de contribución del Trúput de la segunda simulación, aquí ya se observa que la restricción cambió al proceso de Aparado, los gastos de operación se mantienen dado que no hubo gastos extras, ni inversiones; el Trúput total se incrementa de 160,376.2486 \$ a 202,284.960 \$ es decir un 26 % esto impacta en el Valor Agregado de una pérdida de -24,653.00 \$ a 1,012.00 \$. Se observa también el producto que genera mayor contribución, está dado por el Trúput por modelo dividido para el tiempo que usa en la restricción; el Trúput total es el resultado de la multiplicación de cada uno por la cantidad a producir del mix de productos según modelo matemático resuelto con aplicación Solver en la segunda corrida. Las simulaciones ejecutadas están contenidas en el Anexo X y XI(video en CD).

**Tabla 3.15.**Informe de contribución del Trúput segunda simulación

		<b>CONTRIBUCION DEL TRUPUT</b>	
<b>Elaborado por:</b> Bolívar Vela		<b>Revisado por:</b> GF	
<b>LÍNEA :</b>		ESCOLAR	
<b>FECHA EMISIÓN:</b>		01/12/2015	
<b>FECHA VIGENCIA:</b>		01/02/2016	
REFERENCIA	Unidad	VALOR	
<i>Cuello de botella_Aparado</i>	%	92.0%	
<i>Gastos de Operación</i>	\$	\$ 141,121.0	
<i>Producto de mayor contribución Trúp</i>	\$ -	V JOBI ALI RS 30	
<i>Trúput Total</i>	\$	\$ 202,284.9602	
<i>Utilidad Operacional</i>	\$	\$ 61,163.9602	
<i>ROI</i>	\$	-42%	
<i>Productividad</i>	\$	\$ 0.4334	
<i>Delta Productividad</i>	\$	\$ -	
<i>Rotación de la Inversión</i>	UND	1.93	
<i>WAC</i>	%	12%	
<i>EVA</i>	\$	\$ <b>1,012</b>	

Se decide generar una tercera simulación considerando un incremento de ventas en el 15% de los productos adulto masculino y 20% de los productos femeninos adulto, esto se muestra en la tabla 3.16, antes de elevar la restricción de Aparado, esto con

el propósito de simular un incremento de ventas, de tal manera que Mercadeo táctico pueda tomar acciones sobre la penetración en el mercado de estos productos, dado que en la realidad actual del país la restricción pasa a ser el mercado, de nada sirve elevar aún más las capacidades productivas de la planta si no se vende.

**Tabla 3.16.** Incremento de demanda

	Demanda (pares)	incremento de VENTA	Valor throughput
V JOBI ALI RS 22	2640		1,197
V JOBI HERTS RS 22	2989		0,000
V JOBI FRUITILOVE CL 22	1795		1,217
V JOBI JACK AZ 22	2482		1,145
V JOBI CRUCERO AZ 22	2035		1,162
V JOBI CANGREJO RJ 22	1669		1,118
V JOBI ALI RS 30	8487		1,208
V JOBI HERTS RS 30	9117		0,000
V JOBI FRUITILOVE CL 30	10825		1,251
V JOBI JACK AZ 30	5460		1,147
V JOBI CRUCERO AZ 30	8451		1,167
V JOBI CANGREJO RJ 30	4545		1,101
V CAPRILA OPACITY CL 38	12159	14590,8	1,116
V CAPRILA FLORA BG 38	12248	14697,6	1,128
V CAPRILA WINTER AZ 38	6457	7748,4	1,137
V CAPRILA SAMY NG 38	6495	7794	1,420
V BALI REFRESH VL 38	7455	8573,25	1,071
V BALI FRIENDSHIP NG 38	11321	13019,15	1,101
V BALI FOREVER AZ 38	8141	9362,15	1,047
V BALTIC FERRO AZ 40	11934	13724,1	1,354
V BALTIC MAIL NG 40	14384	16541,6	1,316
V BALTIC CERO AZ 40	8047	9254,05	1,303
V BALTIC ZEUS NG 40	9767	11232,05	1,287

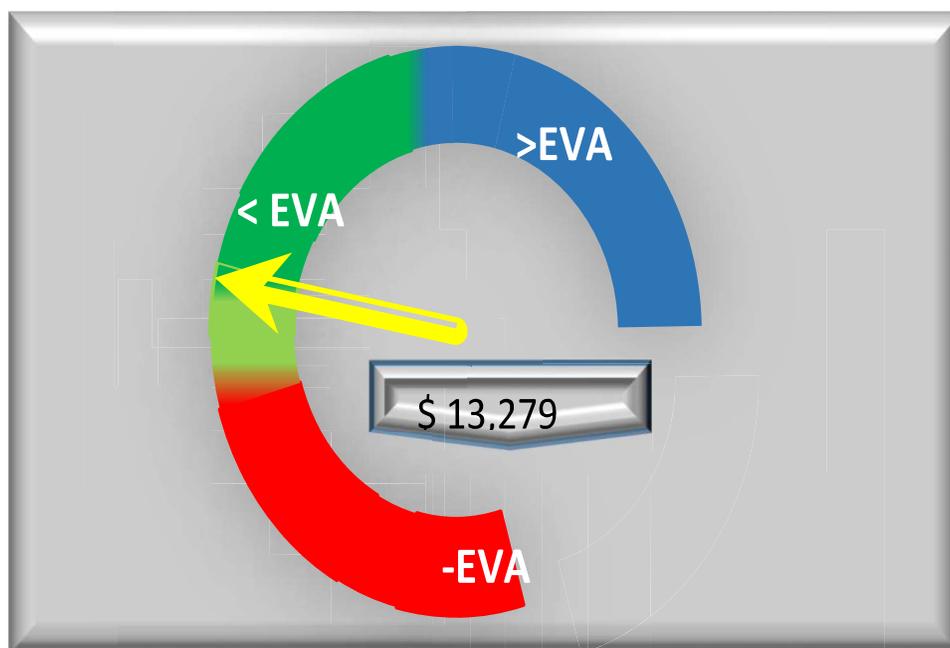
La tabla 3.17 es la matriz de optimización con los nuevos datos de demanda en el simulador, los tiempos de proceso no cambian respecto a los de la segunda simulación, esto evidentemente no afecta los gastos operativos ni de los procesos, dado que las estrategias de mercado ya estaban considerados dentro de los gastos operativos desde el inicio, lo que correspondería es determinar la mejor estrategia.

**Tabla 3.17.**Matriz de función objetivo tercera simulación

Productos	Demanda (pares)	Produccion	Inyeccion	Estampado	Troquelado	Montaje	Terminado	Aparado
V JOBI ALI RS 22	2640	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	3,556
V JOBI HERTS RS 22	2989	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	3,556
V JOBI FRUITILOVE CL 22	1795	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	3,556
V JOBI JACK AZ 22	2482	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	3,556
V JOBI CRUCERO AZ 22	2035	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	3,556
V JOBI CANGREJO RJ 22	1669	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	3,556
V JOBI ALI RS 30	8487	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V JOBI HERTS RS 30	9117	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V JOBI FRUITILOVE CL 30	10825	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V JOBI JACK AZ 30	5460	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V JOBI CRUCERO AZ 30	8451	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V JOBI CANGREJO RJ 30	4545	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V CAPRILA OPACITY CL 38	14590	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V CAPRILA FLORA BG 38	14697	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V CAPRILA WINTER AZ 38	7748	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V CAPRILA SAMY NG 38	7794	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V BALI REFRESH VL 38	8573	0		0,914		0,626	0,626	6,316
V BALI FRIENDSHIP NG 38	13019	0		0,914		0,626	0,626	6,316
V BALI FOREVER AZ 38	9362	0		0,914		0,626	0,626	6,316
V BALTIC FERRO AZ 40	13724	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V BALTIC MAIL NG 40	16541	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V BALTIC CERO AZ 40	9254	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
V BALTIC ZEUS NG 40	11232	0	0,72	0,914	0,320	0,626	0,626	
	Tiempo total requerido por operación (min)		112374	170997,9429	49944	117042,7482	117096,4174	243890,0585
	Tiempo total disponible por operación (min)		118656	177984	79104	138432	138432	237312
	% de Utilización Restriccion		94,71%	96,07%	63,14%	84,55%	84,59%	102,77%

Se ejecuta la simulación y se obtienen los siguientes resultados:

La figura 3.31 muestra el resultado de la tercera simulación, al correr el Solver sobre la matriz de optimización con los nuevos datos de demanda, se incrementa el indicador del Valor Agregado, pasando a una zona verde más segura, existe un incremento de 1,012 \$ a 13,279, claro está que esto es una simulación y por lo tanto indica que el incremento en las ventas en los productos que generan mayor Trúput es lo que permitirá generar un Valor Agregado esperado, recordando que si no hay Ventas no hay Trúput.



**Figura 3.31.** Medidor de valor agregado tercera simulación

La tabla 3.18 indica el proceso cuello de botella, para el caso es el Aparado con el 102% de saturación, sin embargo se lo puede resolver con horas extras que deben los operadores de ese recurso por permisos, los gastos de operación son el resultado del sistema SAP que se ingresa en el simulador y estos no cambian en la tercera simulación, se observar también el producto que genera mayor contribución, está dado por el Trúput por modelo dividido para el tiempo que usa en la restricción; el Trúput total es el resultado de la multiplicación de cada uno por la cantidad a producir del mix de productos según modelo matemático resuelto con aplicación Solver en la segunda corrida.

La ejecución de esta tercera simulación está contenida en el Anexo XI (video CD)

**Tabla 3.18.**Informe de contribución del Trúput tercera simulación

		CONTRIBUCION DEL TRUPUT	
Elaborado por: Bolívar Vela		Revisado por: GF	
LÍNEA :		ESCOLAR	
FECHA EMISIÓN:		01/12/2015	
FECHA VIGENCIA:		01/02/2016	
REFERENCIA	Unidad	VALOR	
<i>Cuello de botella_Aparado</i>	%	102.8%	
<i>Gastos de Operación</i>	\$	\$ 141,121.0	
<i>Producto de mayor contribución Trúp</i>	\$ -	V JOBI ALI RS 30	
<i>Trúput Total</i>	\$	\$ 222,995.9647	
<i>Utilidad Operacional</i>	\$	\$ 81,874.9647	
<i>ROI</i>	\$	-30%	
<i>Productividad</i>	\$	\$ 0.5802	
<i>Delta Productividad</i>	\$	\$ -	
<i>Rotación de la Inversión</i>	UND	1.92	
<i>WAC</i>	%	12%	
<i>EVA</i>	\$	\$ <b>13,279</b>	

Una vez iniciada la medición del Trúput en la planta de Calzado Moda a través de modelos matemáticos y simuladores se tendrán resultados para evaluar cuanto se está mejorando realmente, para esto es de gran ayuda indicadores como:

- Valor agregado (EVA)
- Utilidad Operacional
- Trúput
- ROI
- Mejora de productividad

Es con estas métricas que se puede cuantificar cuanto se está mejorando en la planta de Calzado Moda, línea Relax. Se podrá evaluar la criticidad de las restricciones y

tomar decisiones antes de producir simulando corridas de producción en las líneas de calzado.

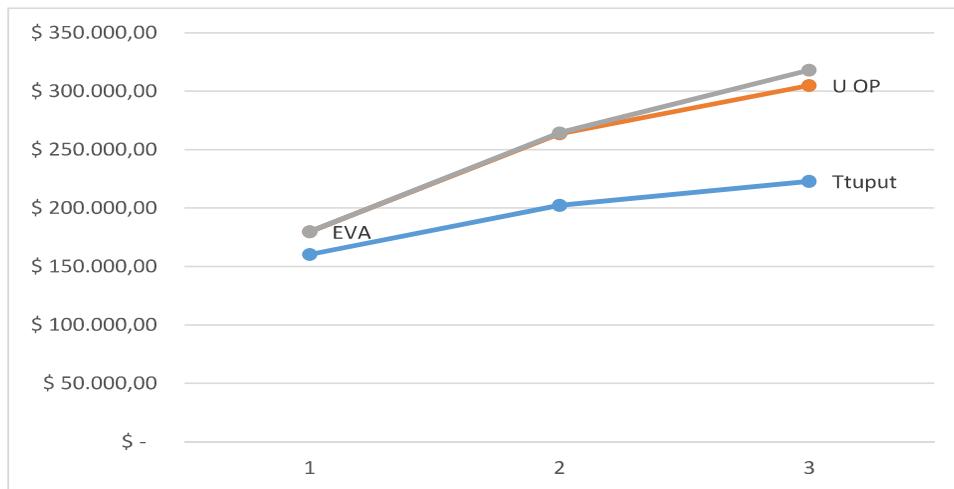
### 3.7 EVALUACIÓN DE CORRIDA EN PROYECTO PILOTO

La tabla 3.19 muestra la evolución del EVA con la ejecución de las tres simulaciones, se observa la saturación del cuello de botella, como varia al incidir sobre las restricciones, los gastos de operación se mantienen, sin embargo está claro que también este dato puede cambiar, para las simulaciones en función de los cambios que se estén considerando, es decir si se plantea la compra de una máquina, este valor debe incidir en los gastos de operación, de la misma manera el incremento de personal, o la compra de sub partes y servicios en caso de darse.

**Tabla 3.19.** Evolución de EVA

REFERENCIA	Unidad	VALOR ACTUAL	SIMULACION 2	SIMULACION 3
<i>Cuello de botella</i>	%	141,0%	92,0%	102,0%
<i>Gastos de Operación</i>	\$	\$ 141.121,0	\$ 141.122,0	\$ 141.123,0
<i>Producto de mayor contribución Trúput</i>	\$ -	V JOBI FRUITLOVE	V JOBI HERTS RS 23	V JOBI HERTS RS 24
<i>Trúput Total</i>	\$	\$ 160.376,24	\$ 202.284,870	\$ 222.995,97
<i>Utilidad Operacional Neta</i>	\$	\$ 19.255,2400	\$ 61.163,9670	\$ 81.874,9670
<i>ROI</i>	\$	-78%	-42%	-30%
<i>Productividad</i>	\$	0.14	\$ 0,4330	\$ 0,5800
<i>Delta Productividad</i>	\$	\$ -	\$ -	34%
<i>Rotación de la Inversión</i>	UND	1.83	1,93	1.92
<i>WAC</i>	%	12%	12%	12%
<i>EVA</i>	\$	\$ -24,64	\$ 1.012,000	\$ 13.279

Las figuras 3.32 muestran cómo se van incrementando los valores de Trúput y utilidad operacional neta, esto evidentemente repercute en el valor agregado que genera la línea de negocios RELAX. La utilidad operacional se incrementa de \$ 4323 a \$ 68058, por lo tanto el ROI generado también sube, la línea de negocios obtiene EVA positivo, y existe un delta productividad del 40% es decir la utilidad operacional cubre con los gastos de operación.



**Figura3.32.** Evolución EVA

La figura 3.33 muestra la comparación del EVA con la ejecución de las terceras simulaciones, respecto a las otras líneas de negocio si bien está lejos de las otras líneas se observa una evolución que demuestra la importancia de atacar las restricciones para mejorar la productividad.



**Figura 3.33.** Análisis de valor agregado líneas de producción Relax

En los anexos 9, 10 y 11 se puede observar la ejecución de las simulaciones a través de tutoriales (video en CD).

Ahora se analiza la ecuación [3.3]:

$$EVA = EBIT(1 - t) - [NOF + \text{ACTIVOS FIJOS}] * WACC$$

La coherencia de la fórmula utilizada para el cálculo.

$$EVA = UNDI - \text{COSTOS DE CAPITAL INVERTIDO} [3.4]$$

En donde UNDI es Utilidad Neta Después de Impuestos y se representa con la siguiente ecuación:

$$UNDI = \text{INGRESO GRAVABLE} - \text{IMPUESTOS} [3.5]$$

El Ingreso gravable se define como = Ingreso bruto – gastos – depreciación

El EBIT se define como = Ingreso bruto – gastos administrativos – gastos ventas se reemplaza en la función.

Para el presente estudio el cálculo del EBIT es el que se ve incidido por el Trúput, dado que afecta directamente en el ingreso bruto, esto vincula con la generación de valor de la organización, para nuestro caso el EBIT también estarían restado los costos totalmente variables.

El cálculo del WACC es dada por una consultora contratada por la organización:

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Los mapeos de proceso y sub procesos, permitieron visualizar la forma más objetiva de gestionar un sistema de medición de Trúput, para que los datos obtenidos estén acorde a los objetivos planteados y sean consistentes en el tiempo, de tal manera que sirvan como herramienta gerencial para toma de decisiones.
- Al realizar la primera simulación se puede observar la situación actual de las restricciones y el valor agregado, lo que permite visualizar las mejoras con los cambios en la línea de producción en el recurso montaje su impacto en el EVA
- La primera simulación permite encontrar las variables que afectan la productividad, en el caso de la línea de producción de sandalias es el tiempo disponible o la capacidad del proceso de montaje, que es restricción conforme la demanda planteada para ese tipo de productos.
- Una vez encontrada la restricción se pudo explotarla con cambios en la distribución de planta, al cambiar el flujo de proceso dado que se cambia la operación de fresado sale de la línea de montaje y pasa como abastecedor esto disminuye el tiempo de montaje.
- Previo los cambios en planta se ejecutó la segunda simulación para observar el impacto en el indicador de EVA, de esta manera la Gerencia de Planta pudo tomar una decisión basada en la meta de la empresa que es ganar dinero, al aprobar los cambios en el flujo de proceso.
- La tercera simulación permite incidir en la restricción que ahora está en el mercado, se visualiza el impacto que tendría un incremento de las ventas, al ser este un sistema de medición necesariamente involucra a departamentos de mercadeo y ventas, en el simulador se puede apreciar que productos generan mayor contribución.
- La medición del Trúput resulta incompleta pues se puede observar que aunque la empresa lo genere significa que está generando valor, por lo tanto la medida última para tomar decisiones debe ser el EVA, en este caso de la línea de negocios RELAX.

## **4.2. RECOMENDACIONES.**

En toda la cadena de producción existen procesos que no son restricción, por lo tanto existe mano de obra con tiempo disponible, es menester del jefe de planta generar personal capaz de ejecutar actividades que estén fuera de la línea de producción sandalias, de tal manera que se puedan equilibrar capacidades con otros procesos por ejemplo de aparado calzado escolar o deportivo, por lo tanto se recomienda un ciclo de capacitación en los tiempos disponibles del personal.

Se debe incrementar la cuota de ventas por parte de los vendedores y buscar nuevos nichos de mercado, dado que al final la restricción es el mercado, y solo se logra tener un EVA positivo con incremento de ventas, para esto se diseñara un sistema para establecer lotes mínimos de pedidos, que permitan obtener las ventas mínimas requeridas para generación de valor en la línea de negocios RELAX.

Además de cuantificar las mejoras obtenidas se debe evaluar el cambio en el esquema administrativo del departamento de costeo dado que es en donde se llevarán a cabo los análisis, debe existir una evolución en cuanto al cálculo del costo unitario que se viene llevando actualmente, por cuanto la implementación conlleva una mejora de los sistemas de costeo para la organización.

## BIBLIOGRAFIA

1. Apostol, T. (1989). *Calculus* (2da.ed.). United States of America:xerox Corporation.
2. Corbett, T. (2005). *La contabilidad del Trúput* (4ta. ed.).Bogotá: Piénsala.
3. Courant, R. & JOHN, F. (1999). *Introducción al cálculo y análisis matemático* (9na. ed.)Balderas, México:Limusa.
4. Cornejo, Diaz. (2006). *Medidas de ganancia. Recuperado de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/127394>*
5. Goldratt, E. (1995). *La Meta* (5ta.ed.). Monterrey: Editorial Castillo.
6. Goldratt, E & Fox, R. (1997). *La carrera* (2da ed.). Monterrey: Editorial Castillo.
7. Gomez, E & Ignacio, R. (1997). *Toma de decisiones en La contabilidad del Trúput* (4ta.ed.). Bogotá: ediciones Piénsala.
8. Hirano, H. (1991). *Manual para implementación JIT* (2da. Ed.). Madrid: Tecnologías De gerencia y producción.
9. Herrera, M. (2012). *Programación de la producción: una perspectiva de Productividad y competitividad*, Revista Virtual Pro [en línea], 2011, vol. 42, no. 11, [consulta: 22-06-2012], ISSN 1900-6241.
10. Lara, J & Arroba, R. (1989). *Análisis matemático* (4ta.ed.). Quito: Universidad Central Del Ecuador.
11. Krajewski, L. (2008). *Administración de operaciones: Procesos y cadena de valor.* (8va. ed.). México DF, México: Prentice Hall

12. Kaplan, R & Cooper, R. (1998). *Cost and Effec* (4ta.ed.). EEUU Harvard Business Press
13. Leland, B. (2003). *Ingeniería Económica (5ta.ed.)*, México: Ediciones Maya.
14. Lapore, D & Cohen, O. (2002). *Toma de decisiones en La contabilidad del Trúput* (4ta.ed.). Bogotá: ediciones Piénsala.
15. Marchena & Ornales. (2007). *Optimización y la Programación lineal: Un introducción*, Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida,2007-07.
16. Merino, M. (2015) *Técnicas clásicas de optimización*. Recuperado [http://www.ehu.eus/mae/html/prof/Maria\\_archivos/plnlapuntes.pdf](http://www.ehu.eus/mae/html/prof/Maria_archivos/plnlapuntes.pdf)
17. Monden & Sakura. (1989). *Métodos japoneses de contabilidad: Madrid*, C.R.N.
- 18.Naranjo, M & Burgos, S. (2010). *Boletín mensual de análisis sectorial Calzado*, Flacso Ecuador, Ministerio de Industrias y Productividad
- 19.Noori, H.& Radford, R. (1997). *Administración de Operaciones y Producción (5ta.ed.)*. Bogotá: Editorial Mc Graw Hill.
- 20.Pulido, H. y Salazar, R. (2005). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma (5ta.ed.)*. Guadalajara: Editorial Mc Graw Hill.
21. Robayo, G. (2010) *Finanzas para Directivos (1ra. Ed.)*. Guayaquil, Ecuador: Ediciones Codege.
22. Ramos, Sánchez y Linares. (2010). *Modelos Matemáticos de optimización*. Recuperado de [http://www.doi.icae.upcomillas.es/intro\\_simio.htm](http://www.doi.icae.upcomillas.es/intro_simio.htm)

23. Scheinkopf, LC. (1998). *Thinking for a Change: Putting TOC into through process (5ta.ed.)*. Mexico: Lucie Press.
24. Sullivan, W. y Wicks, E. (2004). *Ingeniería Económica*. (12va. ed.). México
25. Trujillo, J. (1992). *Elementos de ingeniería industrial*. México DF, México DF, México: Limusa.
26. Velásquez, M. (1998). Administración de los sistemas de producción.  
Recuperado de: <http://www.academia.edu> (Enero, 2017).
27. Woeppel, M. (2001). *Guía del fabricante para implementar la teoría de Restricciones (5ta.ed.)*. Medellín: Isot Consulting.

## **ANEXOS**

# ANEXO I

## ORGANIGRAMA DEPARTAMENTO FINANCIERO

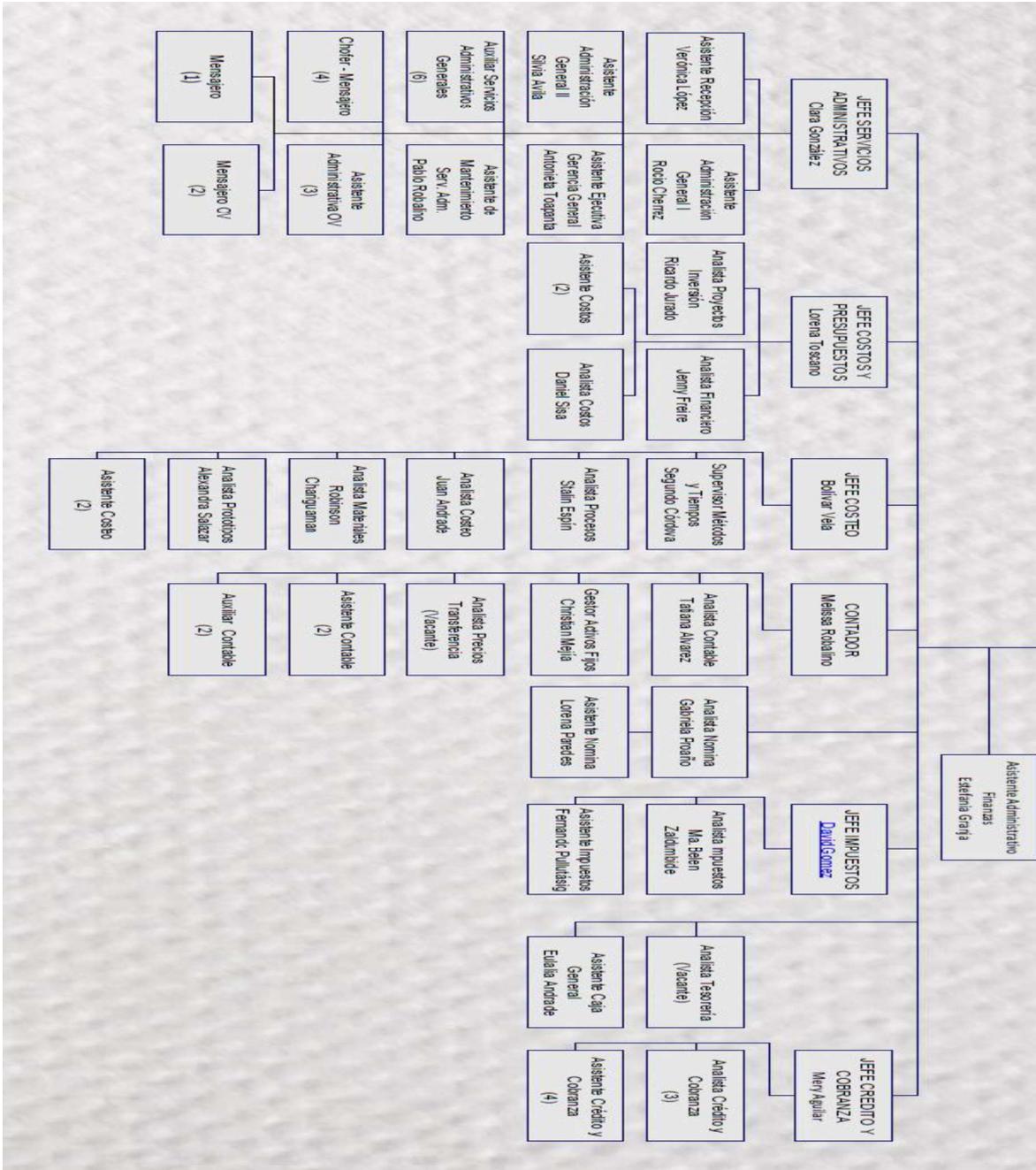


Figura AI.1. Organigrama departamento Financiero administrativo de Plasticaucho s.a

## **ANEXO II**

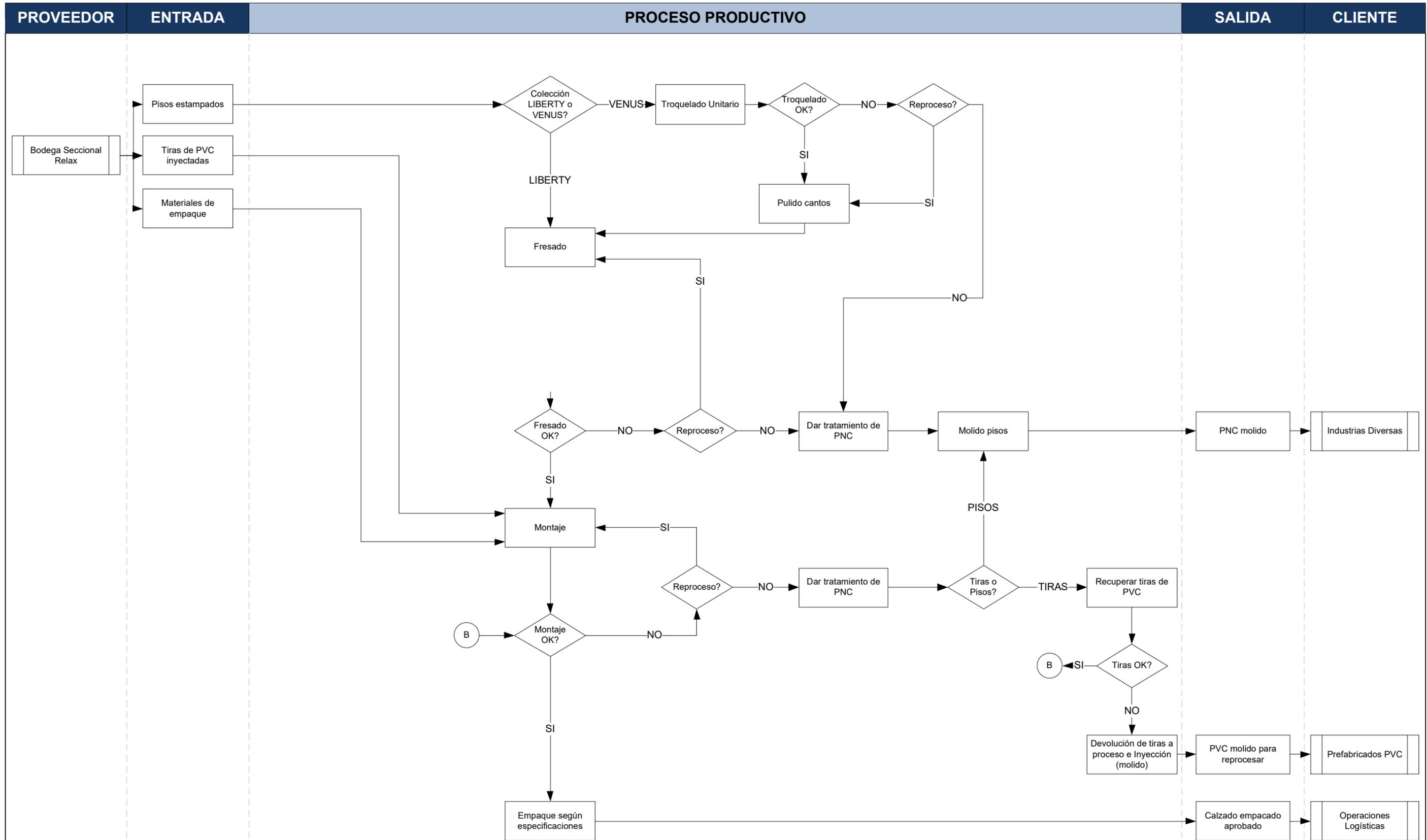
### **APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO MATEMÁTICO**

Tabla de Excel en CD adjunto

## **ANEXO III**

### **FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR GENERADO EN EXCEL**

Simulador de Excel en CD adjunto



## ANEXO V

**Sistema SAP en el que se encuentra toda la información por producto**

The screenshot displays the SAP interface for creating a cost center (CC) for a material structure. The main window is titled "Crear CC material c/estructura cuantitativa".

**Material Structure (Estructura CC):**

- V JOBI APPLES AM 31
  - CP PISO EDDY JOBI APPLES AM 109 31
  - TRIA EDDY PVC AM 107 FS 212 31-32
  - ETIQUETA TROQUELADA 3.7 X 4
  - PLASTIFLECHA 90MM
  - FUNDA PLASTICA SANDALIAS VENUS 7X14
  - CINTA SELLADO DE FUNDAS
  - CARTON SANDALIAS VENUS GRANDE
  - ETIQUETA ADHESIVA (CARTONES)
  - CINTA SELLAR CARTONES LOGO 1000M
  - GRAPA 35/18

**Cost Breakdown Table (Costes basados en):**

Elementos	Denominación elem.	Total	Fiado
1	Cons. Materia Prima	51.46	
2	Cons. Semiterminados		
3	Cons. Servicios		
4	Cons. Envase-Empaque	3.18	
5	Cons. Mano de Hobra	40.14	
6	Cons. Hora Maquina	10.18	
7	Cons. CF	25.18	
8	Entr.Producto-Liquid	130.14	
	<b>Total</b>	<b>130.14</b>	

**Additional Data:**

- Material: 28164
- Centro: P110
- Material: V JOBI APPLES AM 31
- Costes basados en: 1 Tamaño de lote CC
- Valorac.: 100

**Figura AV.1.** Interfaz del sistema SAP de listas de materiales para estructura de costos del producto

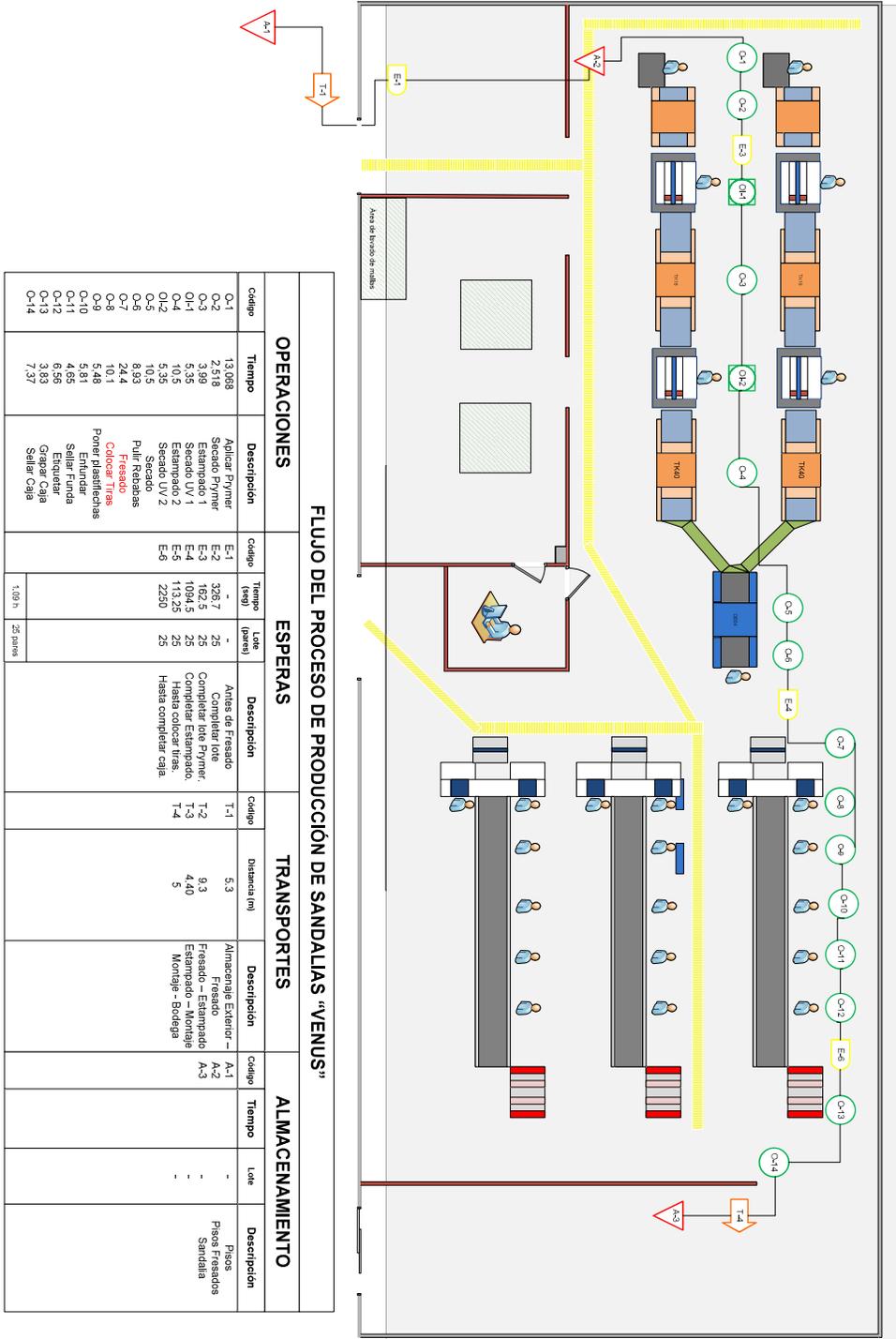
## **ANEXO XI**

### **TERCERA SIMULACIÓN DE TRUPUT PARA MEDIR RESTRICCIONES Y VALOR AGREGADO**

Simulador desarrollado en Excel CD adjunto

# ANEXO XII

## DIAGRAMA DE RECORRIDO INICIAL



FiguraAXII.1. Diagrama de recorrido inicial para la fabricación de sandalias En la planta de Relax

## **ANEXO VIII**

### **DEMANDA DE PRODUCTO**

Excel en CD adjunto

## **ANEXO IX**

### **PRIMERA SIMULACION DE TRUPUT PARA MEDIR RESTRICCIONES**

Simulador desarrollado en Excel CD adjunto

## **ANEXO X**

### **SEGUNDA SIMULACIÓN DE TRUPUT PARA MEDIR RESTRICCIONES Y VALOR AGREGADO**

Simulador desarrollado en Excel CD adjunto

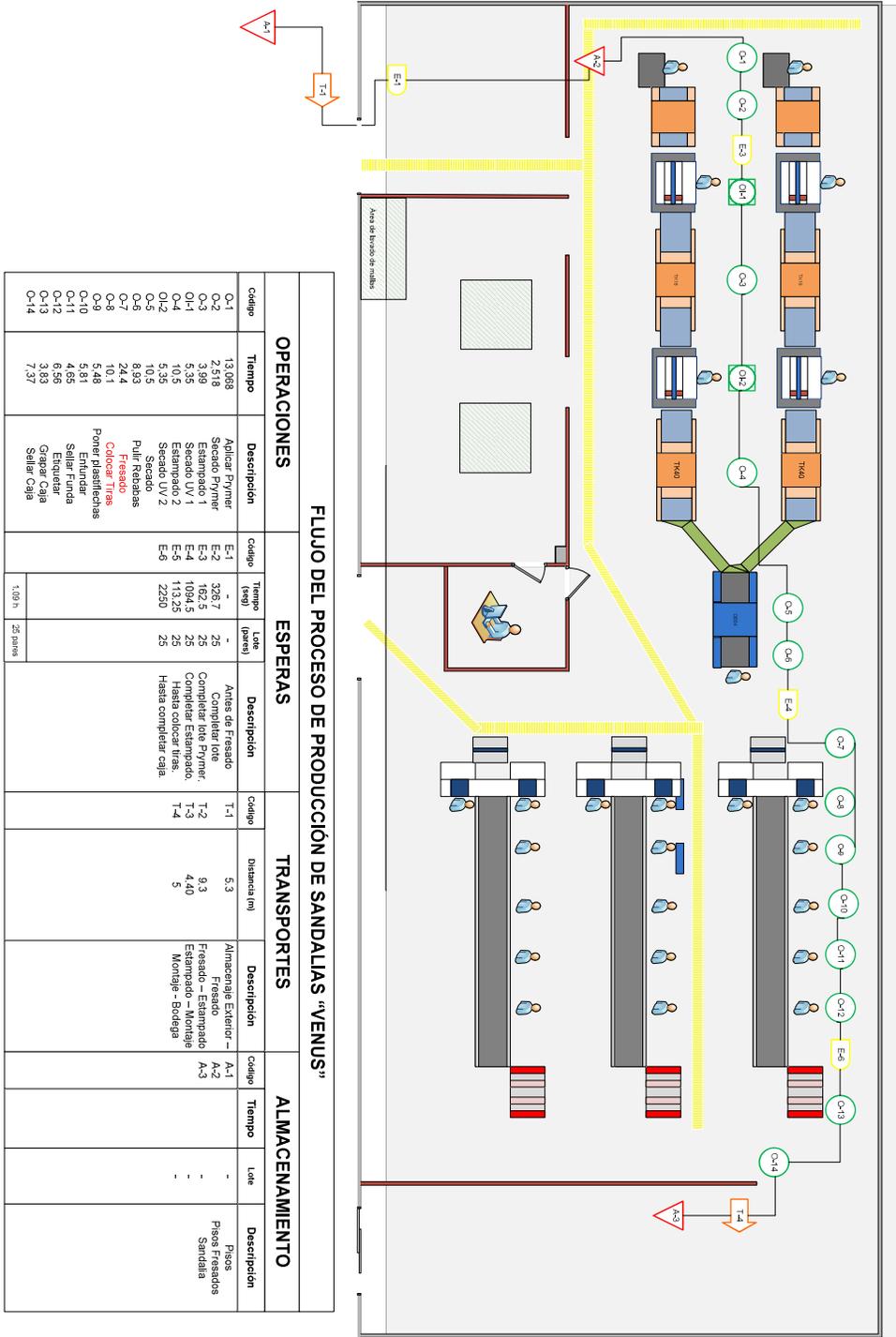
## **ANEXO XI**

### **TERCERA SIMULACIÓN DE TRUPUT PARA MEDIR RESTRICCIONES Y VALOR AGREGADO**

Simulador desarrollado en Excel CD adjunto

# ANEXO XII

## DIAGRAMA DE RECORRIDO INICIAL



FiguraAXII.1. Diagrama de recorrido inicial para la fabricación de sandalias "VENUS" En la planta de Relax

