

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA  
DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA EMPRESA IMEC S.A. PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO Y FLUJO DE MATERIALES**

**ÁNGELA PATRICIA ANGULO BRU  
MARÍA ALEJANDRA SÁNCHEZ AVENDAÑO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
MINOR EN LOGÍSTICA Y PRODUCTIVIDAD  
CARTAGENA BOLÍVAR D., T. y C.**

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA  
DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA EMPRESA IMEC S.A. PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO Y FLUJO DE MATERIALES**

**ÁNGELA PATRICIA ANGULO BRU T00017159  
MARÍA ALEJANDRA SÁNCHEZ AVENDAÑO T00017195**

**DIRECTOR**

**LUIS IGNACIO MORALES ECKARDT  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
MINOR EN LOGÍSTICA Y PRODUCTIVIDAD  
CARTAGENA BOLÍVAR D., T. y C.**

Cartagena de Indias D.TyC.8 de Septiembre de 2011

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR**

**Programa de Ingeniería Industrial**

**La ciudad**

Respetados Señores:

Por medio de la presente me permito someterá su consideración la propuesta demonografía titulada “**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA DISTRIBUCION FISICA DE LA EMPRESA IMEC S.A. PARA EL MEJORAMORAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO Y FLUJO DE MATERIALES**”, desarrollado por los estudiantes Ángela Patricia Angulo Bru y María Alejandra Sánchez Avendaño, en el marco del ***Minor en Logística y Productividad***, como requisito para optar al título de Ingenieros Industriales, en la que me desempeñare cumpliendo la función de director.

Atentamente,

---

Luis Ignacio Morales Eckardt.

Cartagena de Indias D.TyC.8DeSeptiembrede 2011

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR**

**Programa de Ingeniería Industrial**

**La ciudad**

Respetados Señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter a su consideración la propuesta demonografía titulada **“ANALISIS Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA DISTRIBUCION FISICA DE LA EMPRESA IMEC S.A. PARA EL MEJORAMORAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO Y FLUJO DE MATERIALES”**, realizada en el marco del *Minor en Logística y Productividad*, para optar al título de Ingenieros Industriales.

Atentamente,

---

Ángela Patricia Angulo B.

---

María Alejandra Sánchez A.

Cartagena de Indias D.TyC.8deseptiembre de 2011

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR**

**Programa de Ingeniería Industrial**

**La ciudad**

Respetados Señores:

Por medio de la presente manifestamos el interés y apoyo incondicional en el suministro de la información necesaria para el desarrollo de la monografía **“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA DISTRIBUCION FISICA DE LA EMPRESA IMEC S.A. PARA EL MEJORAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO Y FLUJO DE MATERIALES.”**, a desarrollar por los estudiantes, en el marco del *Minor en Logística y Productividad*, para optar a su título de Ingenieros Industriales.

Atentamente,

---

Marian C. Palacio Avendaño

## **ARTICULO 105**

La Universidad Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

JURADO

---

JURADO

Cartagena D, T y C, Abril de 2012

## *AGRADECIMIENTOS*

*A Dios por brindarme discernimiento, sabiduría y fortaleza en cada instante de mi vida.*

*A mis padres Israel Sánchez y Ana Avendaño por la confianza depositada y apoyo incondicional durante mi crecimiento personal y profesional.*

*A mis amigos Virginia Surmay y Dairo Serje y a mi compañera de monografía Ángela Angulo por su apoyo durante mi paso por la universidad y compartir momentos inolvidables desde el día que iniciamos este ciclo que hoy termina con un logro alcanzado por todos.*

*A todas las docentes que me impartieron conocimiento en mi formación como profesional.*

*MUCHAS GRACIAS*

*María Alejandra Sánchez Avendaño*

*En primera instancia agradecerle a Dios que permitió que mis anhelos De estudiar Ingeniería Industrial se materializaran, colocando en mí la Sabiduría, Gracia y la fortaleza en todo momento.*

*Agradecerles a mis padres por su apoyo incondicional en todos los aspectos De mi vida, a los cuales le debo la gran persona, profesional, buena hija, buena Hermana Y buena amiga. A mis hermanos Leito y Poche quienes también estuvieron ahí. En aquellos momentos que necesite de un consejo, palabras de aliento o Simplemente Un abrazo, beso o derramar lágrimas junto a mí.*

*A mis familiares, mi tío Gabriel Angulo Sánchez y a mi abuela Ángela De Angulo Los cuales depositaron Confianza y fueron junto con mis padres y hermanos Quienes colocaron un granito de arena para ser quien soy y materializar mis anhelos.*

*A todos mis compañeros que estuvieron conmigo en las buenas y En los momentos difíciles, Especialmente a mis amigos Virginia Surmay, Dairo Serje y Mi compañera de monografía María Alejandra Sánchez, con los cuales Compartí desde el inicio de mi carrera y siempre fueron incondicionales en todo momento. A todos mis profesores y personas que tal vez se me escapen que hicieron parte de este gran proceso.*

***MUCHAS GRACIAS!!!***

*Ángela Patricia Angulo Bru*

## CONTENIDO

	Pàg
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1. PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL	3
1.1. MISIÓN	3
1.2. VISIÓN	3
1.3. POLÍTICA INTEGRAL	4
1.4. SERVICIOS PRESTADOS	4
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL Y CONCEPTUAL	5
2.1. MARCO TEÓRICO	5
2.1.1 LOGÍSTICA	5
2.1.2 SIMULACIÓN	8
2.2. MARCO REFERENCIAL	21
2.3. MARCO CONCEPTUAL	23
3. ESTUDIO DE SIMULACIÓN	34
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	34
3.1.1. Planta de Producción IMEC SA	34
3.1.2. Conformación de la Planta de Producción	36
3.1.3. Flujo y Recorrido de Materiales	43
3.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	46
3.2.1. Pre-Análisis de Problemas del Sistema	46
3.2.2. Problema de Simulación y Alcance del Estudio	47
3.2.3. Proceso de fabricación y Flujo de materiales	49
3.2.4. Elementos del Modelo	51
3.3. FORMULACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL	52
3.4. RECOLECCIÓN DE DATOS Y PARAMETRIZACION DE LAS VARIABLES	55
3.4.1. Metodología de recolección	56
3.4.2. Parametrización de las Variables	57
3.5. SELECCIÓN DEL LENGUAJE	58
3.6. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	59
3.6.1. Determinación del tiempo de simulación	60
3.6.2. Determinación del Número de simulaciones	60
3.7. VERIFICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	62
3.8. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	62
3.9. MEDICIÓN DE INDICADORES Y DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL	65
3.10. PROPUESTAS DE MEJORA	70

3.10.1.	Diseño de un Manual de Indicadores Críticos	70
3.10.2.	Agregando Capacidad	71
3.10.3.	Agregando un puente de grúa	74
3.10.4.	Uso de metodologías de diseño de plantas	77
4.	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES	87
5.	BIBLIOGRAFIA	90
6.	ANEXOS	92
6.1.	Anexo 1. Datos obtenidos premuestreo	92
6.2.	Anexo 2. Pruebas de independencia y normalidad de los datos	98
6.3.	Anexo 3. Elaboración de Modelo de simulación	102
6.4.	Anexo 4. Resultados simulación inicial	110
6.5.	Anexo 5. Manual de indicadores	116
6.6.	Anexo 6. Resultado de Craft para mejora	122

## ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pàg
Imagen 1. Acero al carbono en láminas	24
Imagen 2. Acero Inoxidable	25
Imagen 3. Acero antidesgaste	25
Imagen 4. Acero A-36	26
Imagen 5. Cizallado de Láminas	27
Imagen 6. Troquelado de láminas	27
Imagen 7. Maquina troqueladora	28
Imagen 8. Doblado de formas	28
Imagen 9. Doblado deslizante	29
Imagen 10. Dados de doblado	29
Imagen 11. Punzones de doblado	29
Imagen 12. Dobladora de láminas.	30
Imagen 13. Soldadura SMAW	32
Imagen 14. Equipo básico de soldadura SMAW.	32
Imagen 15. Equipo soldadura GMAW.	33
Imagen 16. Fachada IMEC SA.	34
Imagen 17. Plano planta de producción IMEC SA	35
Imagen 18. Puerta de acceso de materiales	36
Imagen 19. Zona de almacenamiento 1	37
Imagen 20. Maquina de rolado	37
Imagen 21. Zona de almacenamiento 2	38
Imagen 22. Corte 1	39
Imagen 23. Corte 2	39
Imagen 24. Plegado	40
Imagen 25. Transporte interno, rieles	41
Imagen 26. Transporte interno, rieles	42
Imagen 26. Grafico general sistema de producción IMEC SA	42
Imagen 27. Delimitación de áreas del sistema de producción IMEC SA	43
Imagen 28. Posibles movimientos de material	44
Imagen 29. Desorden en el almacenamiento de materiales	46
Imagen 30. Tanque metálico	48
Imagen 31. Cursograma sinóptico fabricación de tanque metálico	49
Imagen 32. Diagrama de flujo y materiales del proceso productivo	50
Imagen 33. Modelo Conceptual modelo sistema de producción IMEC SA	52
Imagen 34. Aspecto Modelo de Simulación	59
Imagen 35. Análisis estado de estaciones, diagnostico	66
Imagen 35. Análisis movimientos, diagnostico	67
Imagen 36. Modelo de simulación agregando capacidad	70
Imagen 37. Análisis de estados de estaciones, agregando capacidad	72
Imagen 38. Análisis movimientos, agregando capacidad	73

Imagen 39. Modelo de simulación con puente grúa	74
Imagen 40. Dimensiones aproximadas de los puntos de procesamiento	77
Imagen 41. Dimensiones aproximadas de los puntos de procesamiento aplicando Craft	81

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. SIPOC Zona de Almacenamiento 1	36
Tabla 2. SIPOC rolado	37
Tabla 3. SIPOC Zona de almacenamiento 2	38
Tabla 4. SIPOC corte 1	38
Tabla 5. SIPOC corte 2	39
Tabla 6. SIPOC plegado	40
Tabla 7. SIPOC armado	40
Tabla 8. SIPOC transporte interno de materiales	41
Tabla 9. Identificacion de Variables	55
Tabla 10. Calculo de tamaños muestrales	57
Tabla 11. Parametrizacion de las variables	58
Tabla 12. Entradas y salidas, diagnostico	65
Tabla 13. Análisis de las estaciones por Estado, diagnostico	66
Tabla 14. Análisis de los Medios de transporte, diagnostico	67
Tabla 15. Análisis de los Medios de transporte, diagnostico	68
Tabla 16. Entradas y salidas, agregando capacidad	70
Tabla 17. Análisis de las estaciones por Estado, Agregando capacidad	71
Tabla 18. Análisis de los Medios de transporte, Agregando capacidad	72
Tabla 19. Entradas y salidas, Agregando puente de grua	74
Tabla 20. Análisis de las estaciones por Estado, Agregando puente de grua	75
Tabla 21. Análisis de medios de transporte Agregando puente de grua	75
	78
Tabla 22. Calculo de centroide de los puntos de procesamiento	78
Tabla 23. Calulo de distancia entre estaciones	79
Tabla 24. Resumen general de viajes por unidad	79

Tabla 25. Distancias por número de viajes	81
Tabla 26. Análisis de entrada y salida aplicando Craft	81
Tabla 27. Análisis de estaciones por estado	81
Tabla 28. Analisis medio de transporte	82



## INTRODUCCIÓN

La intencionalidad de esta monografía, está orientada a mejorar la eficiencia de la distribución física de la planta de la empresa IMEC S.A., haciendo énfasis en sus procesos de almacenamiento y flujo de materiales.

Para el desarrollo la misma es fundamental analizar los costos que genera el proceso logístico con base a las movilizaciones que se presentan en los procesos de producción y almacenaje, e implementar herramientas idóneas para el análisis del desempeño del sistema.

El eje principal de este análisis, es proponer alternativas de mejora acorde a la eficiencia de los procesos logísticos que de una u otra forma intervienen en la producción de la empresa, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento de espacio y recursos en la distribución física de la planta.

Con base a lo planteado anteriormente, el análisis se apoyará sobre un estudio de simulación el cual tiene como propósito general, determinar el rendimiento actual del sistema, desarrollar un diagnóstico e identificar problemas. De igual forma, se cuenta con las entrevistas realizadas al gerente de producción donde enmarca las dificultades que presentan en la empresa a nivel logístico y estructural de la planta y como estos llegan a causar reprocesos internos dado que no agrega valor al producto.

Cabe anotar, que los procesos de transporte, almacenamiento y manejo de los materiales tienen lugar primordial en los puntos nodales de la red de la cadena de suministros. Con base a la situación anterior, se propone realizar una redistribución física con el objeto de lograr mejoras significativas en sus procesos logísticos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar propuestas para el rediseño de la distribución física del almacén y el flujo de materiales de la empresa IMEC S.A Con el fin de mejorar la eficiencia en el proceso de almacenamiento y manejo de materiales.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una descripción de los procesos de almacenamiento y manejo de materiales actuales de la empresa IMEC SA.
- Realizar un diagnóstico de la distribución física actual con el fin de detectar falencias en los procesos de almacenamiento y manejo de materiales a través de la elaboración de un modelo de simulación y un análisis integral del sistema.
- Elaborar propuestas de mejora para la distribución física que permitan hacer más eficiente los procesos de almacenamiento y flujo de materiales, las cuales se puedan implementar al interior de la planta para la integración y coordinación de los procesos logísticos.
- Realizar una propuesta de equipos para el almacenamiento y manejo de materiales mediante la realización de una evaluación y selección técnico-económica de equipos y proveedores los cuales respalden las propuestas de mejora planteadas.

## **1. PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL**

IMEC S.A. es una empresa metalmecánica con 30 años de experiencia en la fabricación y montaje de productos y soluciones metalmecánicas principalmente para la industria del petróleo, petroquímicas, térmicas y cementeras.

La organización ha recibido la certificación para el estampe “U” de ASME (American Society of MechanicalEngineers), para la fabricación de recipientes a presión e intercambiadores de calor. También ha recibido la certificación para el estampe “R” de (TheNationalBoard of Boiler and PressureVessellInspectors) para reparaciones de equipos fabricados bajo la norma ASME.

En la actualidad, es de las pocas empresas en la costa atlántica de nuestro país, en obtener esta distinción. Su planta de producción y oficinas principales se encuentran estratégicamente ubicadas en Cartagena de Indias, a solo 5 minutos del Complejo Industrial de Mamonal y de los puertos más importantes de la ciudad. Su infraestructura, equipos y la experiencia de su personal le han permitido consolidar un liderazgo en el sector con criterios de calidad y en tiempo oportuno.

### **1.1 MISIÓN**

Desarrollamos productos y soluciones metalmecánica con criterios de calidad y responsabilidad, apoyados en un equipo humano comprometido con la satisfacción de nuestros clientes, socios y proveedores, contribuyendo al crecimiento de nuestra región. Todos nuestros esfuerzos están enmarcados en los principios de integridad, perseverancia y conservación del medio ambiente.

## **1.2 VISIÓN**

Ser identificados en el año 2008 como una empresa de avanzada en fabricación de productos metalmecánicos con criterios de calidad, según normas y estándares internacionales, participando en proyectos de la industria petrolera, petroquímica, térmica y cementera.

## **1.3 POLÍTICA DE CALIDAD**

IMEC S.A. ofrece productos metalmecánicos competitivos de alta calidad, que satisfagan o excedan las expectativas del cliente. Nos esmeramos en entregar productos y servicios libres de errores y con prontitud. Proporcionamos un crecimiento integral a nuestro personal e impulsamos las mejoras continuas de los procesos. Promovemos la cultura ambiental para tener un desarrollo sostenible.

## **1.4 SERVICIOS PRESTADOS**

Los productos de IMEC S.A. están dirigidos al mercado nacional e internacional, particularmente al área del Caribe y Centroamérica, aprovechando para ello la ubicación geográfica y facilidades portuarias del entorno.

Se destacan los siguientes productos:

- Recipientes a presión bajo norma ASME
- Equipos para la industria petrolera
- Tanques Atmosféricos
- Tuberías
- Silos
- Tolvas
- Ductos
- Calderería
- Estructuras metálicas

## 2. MARCO TEÓRICO, REFERENCIAL Y CONCEPTUAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 Logística

Es el proceso de planificar, implementar y controlar, en forma eficiente y eficaz, el flujo y almacenamiento de bienes y servicios, y la información relacionada con éstos, desde el punto de origen al de consumo de modo de satisfacer los requerimientos de los clientes<sup>1</sup>. El concepto de logística es aplicable tanto a nivel interno como a nivel externo dentro de una cadena de suministro. A nivel interno de las empresas cobran gran importancia las decisiones de almacenamiento, transporte interno, flujo, distribución física entre otros.

La logística toma en cuenta toda instalación que tenga impacto en los costos o que juegue un rol en la satisfacción de los requerimientos de los clientes. Su objetivo es hacer eficiente el sistema completo, es decir, minimizar los costos totales (transporte, distribución, inventarios, productos en proceso, productos terminados, etc.).

#### Objetivos de la logística

La logística como proceso empresarial a nivel interno, debe estar encausada a alcanzar los siguientes objetivos:

- Reducir costos y mejorar el nivel de servicio considerando las interacciones entre los distintos procesos de la organización.
- Reducir tiempos de ciclo, considerado como la diferencia del tiempo en que se realiza la orden de pedido y esta es entregada al cliente.
- Mejor uso de capacidad instalada, mejorando la productividad sobre la inversión de los activos fijos.

---

<sup>1</sup>Council of Logistic Management, Disponible en <http://www.cscmp.org>, 1993.

- Predecir la respuesta del sistema ante condiciones futuras, estableciendo protocolos que permitan replantear las operaciones en caso de que sea necesario.
- Mejorar las estrategias de planificación interna, estableciendo esquemas y políticas de mejora continua.

### **Decisiones logísticas**

El proceso de gestión de la logística interna abarca abordar una serie de decisiones que deben ser tomadas de manera efectiva para poder alcanzar los objetivos establecidos. Estas decisiones son: decisiones de Localización, decisiones de Producción, decisiones de Inventario, decisiones de Transporte.

Las decisiones de localización están enfocadas a determinar la ubicación óptima de una las instalaciones y todos los elementos que intervienen en el proceso productivo<sup>2</sup>. Es una decisión rígida que afecta a la capacidad competitiva de la empresa. Implica analizar costos de oportunidad.

Las decisiones de producción implican analizar diversos factores como las características del mercado, proveedores, materias primas, clientes entre otros, a fin de establecer planes de producción a corto y mediano plazo que permiten ofrecer un nivel de servicio óptimo y la productividad del sistema.

Inventarios son bienes tangibles que se tienen para la venta en el curso ordinario del negocio o para ser consumidos en la producción de bienes o servicios para su posterior comercialización. Los inventarios comprenden, además de las materias primas, productos en proceso y productos terminados o mercancías para la venta, los materiales, repuestos y accesorios para ser consumidos en la producción de bienes fabricados para la venta o en la prestación de servicios; empaques y envases y los inventarios en tránsito. Las decisiones de inventario implican determinar una política de almacenamiento estableciendo aquellos lugares donde se van a guardar los diferentes tipos de mercancía.

---

<sup>2</sup>Ángel Cervera, Decisiones de localización, 2007.

La operación del transporte determina la eficiencia de los productos en movimiento. El progreso en técnicas y principios de gestión mejora puede optimizar el flujo de materiales. El transporte y los movimientos internos juegan un papel crucial en el nivel de productividad de la empresa.

El tráfico dinámico y la información del transporte es una entrada importante para la toma de decisiones relacionada con la selección de rutas y la estimación de tiempos de viaje. Por lo cual las decisiones a tomar son las siguientes:

- Selección del modo y medio de transporte
- Consolidación de los flujos
- Establecimiento de rutas internas de transporte
- Gestión de los elementos o vehículos de transporte

### **Herramientas para Diagnóstico y Solución de Problemas**

Un problema logístico puede abordarse de diversas maneras, quien esté a cargo del diseño de un sistema logístico de una empresa debe tener en cuenta todos los aspectos antes mencionados y debe usar herramientas que le permitan tener en cuenta la mayoría de las variables implicadas en el estudio. La simulación es una de las herramientas mayormente usadas para estos estudios, las técnicas de simulación permiten ofrecer a las empresas una “visión” futura, altamente precisa y cuantificada relativa a qué conceptos y técnicas de organización industrial son económicamente más efectivas, así como proporcionar un diseño optimizado del sistema (actual o futuro) objeto de estudio previamente a la inversión de capital o implantación real de la técnica en cuestión. Este hecho redundante notablemente en una mejora fundamental del sistema actual con el objetivo fundamental de incrementar la competitividad y productividad de las empresas<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup>Jorge Pampín Bueno, Simulación & collaborative engineering, s.l. 2011.

### 2.1.2 Simulación

Es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo<sup>4</sup>. Sea realizado a mano o en una computadora, la simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema; la observación de esta historia mediante la manipulación experimental, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema.

Dicho en otras palabras, las técnicas de simulación permiten crear representaciones sumamente precisas de sistemas actuales o previstos de la empresa (por ejemplo: sistemas de almacenaje y manipulación de materiales, sistemas de producción o trabajo en grupos de máquinas, mantenimiento de equipos, productividad de sistemas, distribución en planta, etc...) con el objetivo de analizar, comprender y mejorar su operatividad.

Además de éstas características fundamentales, y debido al espectacular avance en la tecnología informática, las técnicas de simulación soportadas en programas informáticos de alto nivel permiten generar representaciones en 3 dimensiones y realidad virtual en donde el empresario puede visualizar a priori su sistema o fábrica de futuro, así como experimentar o “simular” diversas situaciones (escenarios) obteniendo datos cuantificados (productividades, asignación de recursos, reducción de costes, etc...) acerca de la nueva situación propuesta.

La simulación no se usa normalmente para encontrar solución óptima del problema, sino que permite analizar el nivel de desempeño de un sistema a fin de proponer mejoras en el mismo. En contraste con la simulación, una técnica de programación matemática, como la programación lineal, si proporciona una solución óptima. La desventaja de tal técnica, sin embargo, es que permanece estática para cada conjunto de datos. Puede parecer que la simulación es menos poderosa que la

---

<sup>4</sup>Jerry Banks, Discrete-event system simulation, Prentice Hall, 2010.

programación matemática u otro método matemático, sin embargo, la simulación es una excelente técnica cuando otros métodos fallan.

### **Modelo de Simulación**

Un modelo de simulación es una representación de un objeto, sistema o idea, de forma diferente al de la entidad misma. El propósito de los modelos es ayudarnos a explicar, entender o mejorar un sistema. Un modelo de un objeto puede ser una réplica exacta de éste o una abstracción de las propiedades dominantes del objeto.

### **Estructura de los Modelos de Simulación**

Todo modelo de simulación está estructurado por los siguientes elementos:

Los componentes son las partes constituyentes del sistema de estudio. También se les denomina elementos o subsistemas.

Las variables son aquellos valores que cambian dentro de la simulación y forman parte de funciones del modelo o de una función objetivo.

Los parámetros son cantidades a las cuales se les asignan valores, una vez establecidos los parámetros, son constantes y no varían dentro de la simulación.

Las relaciones funcionales que muestran el comportamiento de las variables y parámetros dentro de un componente o entre componentes de un sistema. Estas características operativas pueden ser de naturaleza determinística o estocástica. Las restricciones son limitaciones impuestas a los valores de las variables o la manera en la cual los recursos pueden asignarse o consumirse.

En las funciones de objetivos se definen explícitamente los objetivos del sistema y cómo se evaluarán, es una medida de la eficiencia del sistema.

## **Características deseables de un Modelo de Simulación**

Un modelo de simulación debe ser completo, es decir abarcar todos los aspectos que se quieren analizar, adaptable, creíble, simple, factible tanto en la información como en recursos, económico.

## **Ventajas y Desventajas de usar Simulación**

La simulación como cualquier herramienta de decisión tiene ventajas y desventajas que deben sopesarse a la hora de tenerla en cuenta como alternativa para la solución de un problema. Podemos enunciar como ventajas las siguientes:

- Una vez construido, el modelo puede ser modificado de manera rápida con el fin de analizar diferentes políticas o escenarios.
- Generalmente es más barato mejorar el sistema vía simulación, que hacerlo directamente en el sistema real.
- Es mucho más sencillo comprender y visualizar los métodos de simulación que los métodos puramente analíticos.
- Los métodos analíticos se desarrollan casi siempre, para sistemas relativamente sencillos donde suele hacerse un gran número de suposiciones o simplificaciones, mientras que con los modelos de simulación es posible analizar sistemas de mayor complejidad o con mayor detalle.
- En algunos casos, la simulación es el único medio para lograr una solución.

Entre las principales desventajas se encuentran las siguientes:

- Los modelos de simulación en una computadora son costosos y requieren mucho tiempo para desarrollarse y validarse.
- Se requiere gran cantidad de corridas computacionales para encontrar "soluciones óptimas", lo cual repercute en altos costos.
- Es difícil aceptar los modelos de simulación.
- Los modelos de simulación no dan soluciones óptimas.

- La solución de un modelo de simulación puede dar al analista un falso sentido de seguridad.

Además de esto, la simulación no es una herramienta utilizable para todos los casos de toma de decisiones, es una herramienta útil siempre y cuando el problema cumpla una serie de condiciones. Jerry Banks (2010) afirma que no debe usarse simulación cuando;

- El problema puede resolverse usando “análisis de sentido común”.
- El problema puede resolverse analíticamente (usando una forma cerrada).
- Es más fácil cambiar o ejecutar experimentos directamente en el sistema real.
- El costo de la simulación excede el posible ahorro.
- No hay recursos disponibles para el proyecto.
- No hay tiempo suficiente para los resultados del modelo para usarse.
- No hay información o ni siquiera datos estimados.
- El modelo no puede ser verificado o validado
- Las expectativas del modelo no pueden ser alcanzadas.
- El comportamiento del sistema es demasiado complejo o no puede ser definido.

### **Áreas de aplicación de Simulación**

La simulación es una técnica que puede ser aplicada a una gran cantidad de áreas, debido a que los avances tecnológicos y la disponibilidad de software que existen actualmente, hacen de ella una herramienta muy útil. Los siguientes son algunos ejemplos de las aplicaciones de la simulación en algunas áreas de estudio: Sistema de colas, sistema de inventarios, proyectos de inversión, sistemas económicos, estados financieros, problemas industriales, problemas económicos, problemas conductuales y sociales, sistemas biomédicos, sistemas justo a tiempo y sistemas de logística.

## **Tipos de Simulación**

De acuerdo a las características del modelo que se está estudiando, así serán las características del modelo simulación que se está desarrollando, lo que da lugar a la aparición de varios tipos de simulación. A continuación se enuncian los tipos de simulación más conocidos:

Simulación discreta es aquella donde los valores de las variables toman valores discretos. Un ejemplo podría ser simular la sala de cirugía de un hospital, en este modelo podríamos tener una cama, dos enfermeras, un médico, un equipo de reanimación etc. Podemos ver que todos estos valores son discretos. Una simulación continua es aquella donde los valores de las variables asumen valores continuos, un ejemplo de ello sería simular la velocidad de un avión, este valor puede tomar valores continuos.

Una simulación puede ser deterministica si tenemos la salida del proceso de estudio es singularmente determinada por una entrada dada. En una simulación estocástica es aquella en la que el proceso tiene, de manera característica, una salida indefinida para una entrada determinada.

Una simulación es estática si el sistema de estudio no cambia sus características durante la simulación, es decir que se quiere estudiar el modelo bajo condiciones fijas; si se quiere hacer un estudio donde las condiciones del modelo varíen en el tiempo se está haciendo una simulación dinámica.

Si la simulación tiene un inicio y un fin determinado estamos hablando de una simulación terminal en caso de que tengamos un inicio pero no se tenga certeza de cuándo va a finalizar la simulación, se está en frente de una simulación no terminal.

## **Metodología General para el Desarrollo de un Estudio de Simulación**

La metodología para la creación y desarrollo se puede resumir en los siguientes pasos:

**1. Definición del Problema:** Cada estudio debe comenzar con una descripción del problema o del sistema. Si la descripción es dada por los tomadores de decisiones, el analista debe asegurarse que se encuentre completa.

**2. Análisis del Problema:** Deben describirse las interacciones lógicas entre las variables de decisión, de tal suerte que se optimice la medida de efectividad en función de las variables no controlables, sin olvidar las restricciones del sistema. Con el fin de analizar un sistema, es indispensable definir algunos términos. El estado de un sistema es el conjunto de variables que definen al sistema en cualquier instante. Un evento representa un acontecimiento instantáneo que modifica el estado del sistema. Una actividad representa el tiempo requerido para llevar a cabo una operación. Una entidad es cualquier objeto dentro del sistema, esta entidad puede ser estática o dinámica, en este último caso se denota como una transacción y su principal característica es su movimiento a través de las entidades estáticas del sistema. Las entidades contienen propiedades llamadas atributos que permiten crear diferencias entre ellas. Por ejemplo, si definimos al sistema como una celda flexible de manufactura, las transacciones son los pallets que se mueven a través del sistema transportando el material dentro de la celda; los atributos pueden ser el tipo de pieza en el pallet, el peso de los pallets, etcétera; las actividades son las operaciones de procesamiento y transporte; las entidades estáticas son las máquinas de control numérico o los robots; los eventos son la llegada o salida de un pallet de cada estación en la celda y, finalmente, las variables de estado son el número de pallets esperando en cada estación o el número de estaciones ocupadas.

**3. Formulación del modelo conceptual:** Consiste en generar un esquema lógico-matemático que defina en forma exacta las interacciones entre las variables; debe ser una definición sencilla pero completa del sistema. Al generar las interacciones es importante tener en cuenta que se va a llevar a cabo a través del tiempo y que el uso

de listas o cadenas de eventos darán la pauta en el manejo de las variables. Una lista es un arreglo en el que se van ordenando las transacciones de acuerdo con la secuenciación de eventos en el tiempo. Existen dos tipos de listas, las llamadas de eventos futuros donde la secuencia depende del tiempo de ocurrencia del evento, y las de eventos actuales cuya secuenciación depende de la ocurrencia de otro evento. Por ejemplo, el evento fin de proceso de la pieza  $i$  depende de la duración del proceso de esa pieza, por lo que debe acomodarse en la lista de eventos futuros; el evento inicio de proceso de la pieza  $i$ , depende del evento máquina disponible, por lo que debe acomodarse en la lista de eventos actuales.

**4. Recolección de los datos y parametrización de las variables:** proceso donde se determinan la cantidad de datos a tomar y se determinan las estrategias para tomar los mismos. Al final se obtienen los datos del comportamiento normal del sistema.

**5. Selección del lenguaje:** De la selección del lenguaje dependerá el tiempo de desarrollo del modelo de simulación, es importante utilizar el lenguaje que mejor se adecúe a las necesidades de simulación que se requieran. La selección puede ser desde usar un lenguaje general como lo es BASIC, PASCAL o FORTRAN hasta hacer uso de un paquete específicamente desarrollado para simular sistemas de manufactura como Arena o Promodel.

**6. Construcción del modelo:** Consiste en generar las instrucciones o código computacional necesario para lograr que el modelo pueda ser ejecutado en algún tipo de computadora. La duración de este proceso está directamente relacionada con la selección del lenguaje.

**7. Verificación del modelo:** El proceso de comparar el código del programa con el modelo para garantizar que el código es una implementación correcta del modelo. En general, la verificación enfoca el tema de la consistencia interna de un modelo, mientras que la validación está relacionada con la correspondencia entre el modelo y la realidad.

**8. Validación del modelo:** Es el proceso que tiene como objetivo determinar la habilidad que tiene un modelo para representar la realidad. La validación se lleva a cabo mediante la comparación estadística entre los resultados del modelo y los resultados reales.

**9. Simular, determinación y medición de indicadores y elaboración de un diagnóstico:** proceso mediante el cual después de haber simulado, se analizan los resultados de las variables de desempeño del sistema, esto permite establecer indicadores que permiten evaluar el rendimiento del mismo y esquemas de mejora posibles. Antes de esto deben determinarse el número de réplicas que se deben hacer de la simulación.

Las herramientas de diagnóstico y mejora logística, se apoyan en la determinación de nivel de desempeño del sistema a través de la evaluación de unos indicadores logísticos. Los indicadores logísticos son relaciones de datos numéricos y cuantitativos aplicados a la gestión logística que permiten evaluar el desempeño y el resultado en cada uno de los procesos implicados en la logística como recepción, almacenamiento, inventarios, producción, despachos, facturación y flujos de información. Es indispensable que toda la empresa desarrolle habilidades alrededor del manejo de indicadores de gestión logística, con el fin de poder utilizar las informaciones resultantes de manera oportuna.

### **Objetivos de los indicadores de Gestión**

- Identificar y tomar acciones sobre los problemas operativos.
- Medir el grado de competitividad de la empresa frente a sus competidores nacionales e internacionales.
- Mejorar el uso de los recursos y activos asignados, para aumentar la productividad y efectividad en las diferentes actividades hacia el cliente final.
- Reducir gastos y aumentar la eficiencia operativa.
- Compararse con las empresas del sector en el ámbito local y mundial (Benchmarking).

## **Utilidad de los indicadores de Gestión**

- Parametrizador de la planeación de actividades logísticas.
- Medición de resultados.
- Proyección de logros.
- Identificación de mejoras internas.
- Dinamizador de los procesos logísticos de mercancías mediante la interrelación de todas las actividades internas.
- Potencializador de la actividad comercial.
- Multiplicador de la realidad empresarial.
- Capacidad real.
- Capacidad instalada.

## **Características de los Indicadores de Gestión**

Cuantificables; deben ser expresados en números o porcentajes y sus resultados obedecen a la utilización de cifras concretas.

Consistentes; un indicador siempre debe generarse utilizando la misma fórmula y la misma información para que puede ser comparable en el tiempo.

Agregables; un indicador debe generar acciones y decisiones que redunden en el mejoramiento de la calidad de los servicios prestados.

Comparables; deben estar diseñados tomando datos iguales con el ánimo de poder compararse con similares indicadores de similares industrias.

## **Patrones para Especificación de Indicadores**

Los indicadores de gestión deben tener:

Nombre; la identificación y la diferenciación de indicador es vital, y su nombre, además de concreto debe definir claramente su objetivo y utilidad.

Forma de cálculo: se debe tener muy claro la fórmula matemática para el cálculo de su valor, lo cual indica la identificación exacta de los factores y la manera como ellos se relacionan.

Unidades; el valor de un determinado indicador está dado por las unidades las cuales varían de acuerdo con los factores que se relacionan.

Especificaciones; es fundamental que el indicador se encuentre documentado en términos de especificar de manera precisa los factores que se relacionan en su cálculo, es decir se debe generar una cartilla o manual de indicadores, en el cual se especifiquen todos los aspectos atinentes a los indicadores que maneje la organización.

### **Esquema de Implantación**

Para establecer indicadores de gestión a cualquier nivel, es vital tener claro que es lo correcto y cómo hacerlo correctamente, al tener presente siempre hacer lo correcto correctamente estaremos en la senda de la efectividad y la productividad.

Para el caso de la logística solo se deben desarrollar indicadores para aquellas actividades o procesos relevantes al objetivo logístico de la empresa, para lo anterior, se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- Identificar el proceso logístico a medir.
- Conceptualizar cada paso del proceso.
- Definir el objetivo del indicador y cada variable.
- Recolectar información inherente al proceso.
- Cuantificar y medir las variables.
- Establecer el indicador a controlar.
- Comparar con el indicador global y el de la competencia interna (si hay).
- Seguir y retroalimentar las mediciones periódicamente.
- Mejorar continuamente el indicador
- Proyección y benchmarking.

**10. Propuestas de Mejora:** En este paso se determinan las diversas alternativas de mejora que pueden ser evaluadas, seleccionando las variables de entrada y sus diferentes niveles con la finalidad de optimizar las variables de respuesta del sistema real. Se evalúa la cantidad de mejoras que el equipo de trabajo considere, a fin de considerar finalmente las que mayor impacto tengan sobre el rendimiento del sistema.

**11. Implantación:** Una vez seleccionada(s) la(s) mejor(es) alternativa(s), es importante llevarla a la práctica; en muchas ocasiones este último paso es el más difícil ya que se tiene que convencer a la alta dirección y al personal de las ventajas de esta puesta en marcha. Para esto se recomienda llevar a cabo un proceso de animación que permita visualizar el comportamiento de las variables en el sistema. Existen en el mercado paquetes computacionales que permiten hacerlo en poco tiempo y van desde los más específicos como es el STARCELL que se aplica a celdas de manufactura, hasta los muy generales como el PROOF Animation que permite animar sistemas sin importar la fuente de donde provenga el código de simulador ya que maneja las comunicaciones con base en archivos tipo texto. Al implantar hay que tener cuidado con las diferencias que pueda haber con respecto a los resultados simulados, ya que estos últimos se obtienen, si bien de un modelo representativo, a partir de algunas suposiciones.

### **Fundamentos de la Mejora Continua**

Una de las metodologías para alcanzar mejoras en un sistema logístico, es la implementación de esquemas de mejora continua.

¿Es imprescindible realizar fuertes inversiones para reducir los costos, mejorar la calidad y el servicio de las operaciones? En muchos casos no. Existe un capital intelectual infravalorado en forma de experiencia acumulada a los largo de los años de los empleados que realizar las operaciones día tras día en una compañía. Las empresas que quieran mantener competitividad, deben aprovechar, además de las posibilidades técnicas, el potencial de sus trabajadores. La filosofía Kaizen ofrece una posibilidad para conseguirlo. La implantación de pequeñas mejoras, por muy

simples que parezcan, mejoran la eficiencia de las operaciones, y lo más importante, crean la cultura necesaria para garantizar la continuidad de las mejoras y la participación del personal en la búsqueda de mejoras adicionales.

Los cuatro fundamentos de un proceso de mejora continua son:

- Optimización de recursos actuales: existe una fuerte tendencia a dotarse de nuevos recursos, en lugar de analizar profundamente el nivel de utilización de los actuales.
- Rapidez en implantar soluciones a los problemas identificados: la tendencia habitual es la de fijar largos plazos de ejecución, buscando la solución óptima a cualquier problema y, creando procedimiento excesivamente burocráticos para analizarla y autorizarla.
- Criterio de bajo o nulo coste: una forma incorrecta de mejorar un parámetro de gestión es hacerlo únicamente mediante la inversión, sin tener en cuenta la importancia que tiene la mejora continua.
- Participación activa del operario en todas las etapas: es fundamental la participación del operario en todas las etapas de mejora, en la planificación, el análisis, la ejecución y la comprobación.

### **El Proceso de Mejora Continua en la Logística**

El Kaizen aplicado a la logística en un concepto innovador que comprende métodos básicamente ya conocidos pero que los aplica específicamente al ámbito de la logística. Si se quiere implantar un proceso de mejora continua en la logística, se deben conocer los principales problemas logísticos, tecnológicos, de sistemas y estratégicos. También se deben conocer las mejores prácticas, para centrarse en las tareas más importantes y con mayor impacto en los costos.

## Metodología del Proceso de Mejora Continua

El punto de partida para la mejora es reconocer la necesidad. Esto viene del reconocimiento del problema. Existen diversas herramientas para tal fin, una de las más populares es el ciclo de Deming o PDCA (siglas en ingles Plan, Do, Check, Action). El ciclo de Deming consiste en un procedimiento sistemático para alcanzar un objetivo, solucionando los problemas que presenten.

- Planificar: la primera fase consiste en seleccionar el objeto a mejorar explicando las razones de dicha elección y definir unos objetivos claros a alcanzar, incluye los siguientes paso:
  - Situación actual
  - Análisis de datos
  - Objetivo
- Hacer: Una vez definidos os objetivos, se debe realizar el trabajo de campo definiendo propuestas de solución para los distintos problemas identificados e implantando aquellas mejoras que se consideren prioritarias y que por tiempo pueden ser implantadas durante la actividad.
- Verificar: Cuando las mejoras han sido implantadas se debe verificar que se han conseguido los objetivos inicialmente establecidos, en caso contrario se debería volver a la situación inicial, incluye los siguientes pasos:
  - Monitorización
  - Verificación
- Actuar: cuando se comprueba que las mejoras implantadas tienen el éxito esperado se deben oficializar estas medidas correctoras (estandarización) y plantearse como se puede seguir mejorando:
  - Estandarización
  - Optimización

**12. Monitoreo y control:** No hay que olvidar que los sistemas son dinámicos y con el transcurso del tiempo es necesario modificar el modelo de simulación, ante los nuevos cambios del sistema real, con el fin de llevar a cabo actualizaciones periódicas que permitan que el modelo siga siendo una representación del sistema.

## **2.2 MARCO REFERENCIAL**

El uso de la simulación como herramienta para diagnosticar problemas y determinar mejoras en un sistema logístico es una de las alternativas más viables, teniendo en cuenta los factores analizados anteriormente como las ventajas. Muchas investigaciones se han enfocado en desarrollo de aplicaciones para determinados esquemas logísticos.

Zúñiga, R. y Araya, O. (2001) desarrollaron un trabajo que tuvo como objetivo desarrollar un modelo de simulación mediante el uso del software Awesim para optimizar el sistema de producción y transporte de sal de una empresa minera del norte de Chile, con la finalidad de incrementar la productividad mediante la reducción de los tiempos de detención de la planta de producción, compatibilizando los ciclos de llenado de las tolvas de almacenamiento con los ciclos de transporte de los camiones.

Hernández, J. et al. (2007) desarrollaron un esquema de toma de decisiones logísticas, para una empresa del sector automovilístico, en este plantea un modelo del sistema de decisión aplicando el método GRAI que, a nivel agregado, considera la rejilla GRAI y, a nivel desagregado, considera las redes GRAI. Así, el modelo considera un estudio estático que facilita el análisis a nivel de rejilla, y un estudio dinámico que, con la ayuda de la herramienta de simulación DGRAI 3.0, apoya el estudio cualitativo en función de los resultados obtenidos a partir de la ejecución del modelo de simulación decisional, esto con el objetivo de identificar áreas de mejora relacionadas con las disfunciones del sistema decisional, entendido éste como dinámico.

Chen, E. et al. (2002) diseñaron una aplicación de simulación de eventos discretos para estudiar las actividades de logística en una planta química. La mayoría de la producción química implica un flujo continuo de materiales, tales como líquidos, gases o sólidos a través de procesos de fabricación y logística. Algunos aspectos de la simulación en esta área son la conceptualización de las operaciones de producción para la simulación, la discretización de procesos continuos y la construcción de un nivel adecuado de detalle en los modelos. El propósito de este estudio es determinar la capacidad requerida de las operaciones logísticas para permitir la continuidad de las operaciones de una planta de fabricación de productos químicos. La aplicación ha sido utilizada para proporcionar apoyo a las decisiones críticas. El valor del estudio de simulación no es sólo el modelo de simulación en sí, sino también el proceso de construcción.

Kara, S. et al. (2007) presentan un modelo de simulación de una red de logística inversa para la recogida de aparatos EOL en el área metropolitana de Sydney. Los resultados de la simulación muestran que el modelo presentado en este trabajo calcula el coste de recogida de una manera predecible. Por otra parte, proporciona una herramienta para entender cómo se comporta el sistema mediante la realización de "what-if" y las evaluaciones para identificar qué factores son más importantes para su posterior análisis más detallado.

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

La industria metalmeccánica, es un sector económico que comprende las maquinarias industriales y las herramientas proveedoras de partes a las demás industrias metálicas, siendo su insumo básico el metal y las aleaciones de hierro, para su utilización en bienes de capital productivo, relacionados con el ramo.

La metalmeccánica, estudia todo lo relacionado con la industria metálica, desde la obtención de la materia prima, hasta su proceso de conversión en acero y después el proceso de transformación industrial para la obtención de láminas, alambre, placas, etc. las cuales puedan ser procesadas, para finalmente obtener un producto de uso cotidiano.

Un profesional de la industria metalmeccánica, es aquel que es capaz de ejecutar tareas productivas de instalación y mantenimiento de estructuras y artefactos metálicos, gracias a procesos que se llevan a cabo de acuerdo a normas técnicas de calidad.

### **Terminología de la Materia Prima Usada en la Industria Metalmeccánica**

La materia prima de las industrial metalmeccánica son principalmente los metales, cada uno de los cuales tienen características determinadas. A continuación se describen algunos tipos de aceros usados como materia prima en la industria metalmeccánica.

**Aceros al carbono:** Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.

El acero de construcción, constituye una proporción importante de los aceros producidos en las plantas siderúrgicas. Con esa denominación se incluye a aquellos

aceros en los que su propiedad fundamental es la resistencia a distintas solicitaciones (fuerzas tanto estáticas como dinámicas). De esta forma se los separa respecto a los aceros inoxidable, a los aceros para herramientas, a los aceros para usos eléctricos o a los aceros para electrodomésticos o partes no estructurales de vehículos de transporte. Cabe aclarar que en este concepto de Acero de construcción se pueden englobar tanto los aceros para construcción civil como para construcción mecánica. Históricamente un 90% de la producción total producida mundialmente corresponde a aceros al carbono y el 10% restante son aceros aleados. Sin embargo, la tendencia es hacia un crecimiento de la proporción de los aceros aleados en desmedro de los aceros al carbono. En esta tendencia tiene importancia la necesidad de aligerar pesos tanto para el caso de las estructuras (con el consiguiente ahorro en las fundaciones) como los requerimientos de menor consumo por peso en los automóviles, unido en este caso a la necesidad de reforzar la seguridad ante impactos sin incrementar el peso de los vehículos.

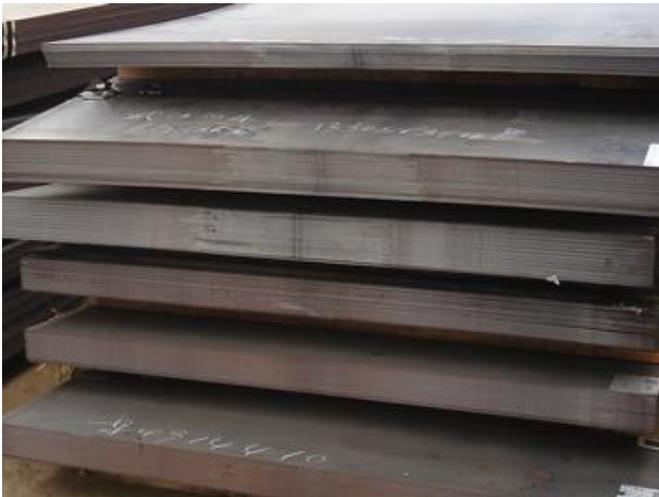


Imagen 1. Acero al carbono en láminas.

**Acero Inoxidable:** Los aceros inoxidable contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidable son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines

decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

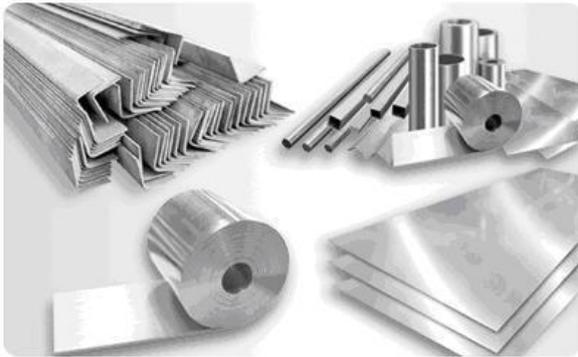


Imagen 2. Acero Inoxidable.

**Acero Antidesgaste:** Es un tipo de acero cuyas características principales son su elevada templabilidad, su alta resistencia al desgaste, buenas características mecánicas (resistencia y tenacidad) a elevadas temperaturas. Este tipo de acero tiene aplicabilidad en las uñas de las palas excavadoras, en componentes de sistemas de tracción de vehículos de carga y en piezas de automóvil de alta resistencia con exigencias de reducción de peso y de alta tenacidad.



Imagen 3. Acero antidesgaste.

**Acero A-36:** Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

**Acero A-53 y A-106:** Son dos tipos de aceros al carbono, usados principalmente en la elaboración de tuberías.

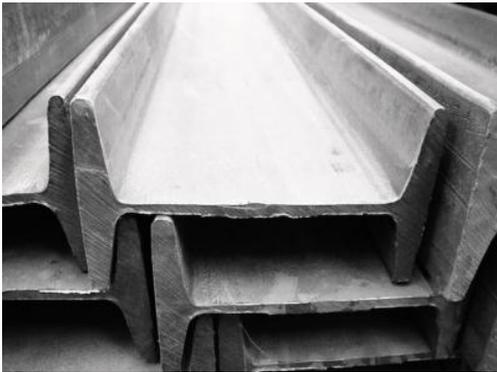


Imagen 4. Acero A-36.

## **Terminología de los Procesos y Maquinas Usados en la Industria Metalmeccánica**

Diversos procesos y maquinas intervienen en la elaboración de los productos de una empresa metalmeccánica, a continuación se describen algunos de ellos:

### **Operaciones de Corte de Láminas**

#### **Cizallado**

Operación de corte de láminas que consiste en disminuir la lámina a un menor tamaño. Para hacerlo el metal es sometido a dos bordes cortantes, como se muestra en la Imagen 5.

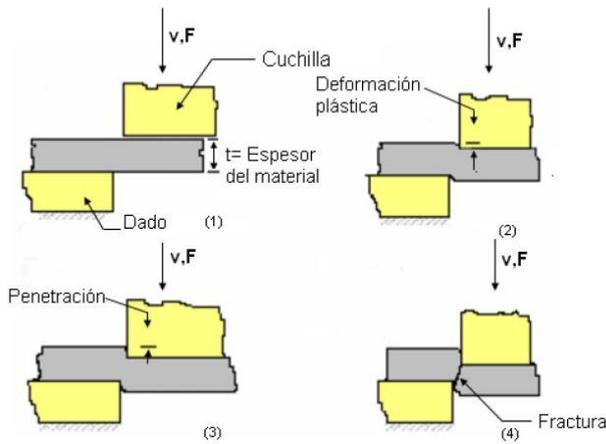


Imagen 5. Cizallado de Láminas.

### Troquelado

En el troquelado se cortan láminas someténdolas a esfuerzos cortantes, desarrollados entre un punzón y una matriz, se diferencia del cizallado ya que este último solo disminuye el tamaño de láminas sin darle forma alguna. El producto terminado del troquelado puede ser la lámina perforada o las piezas recortadas (Imagen 6).

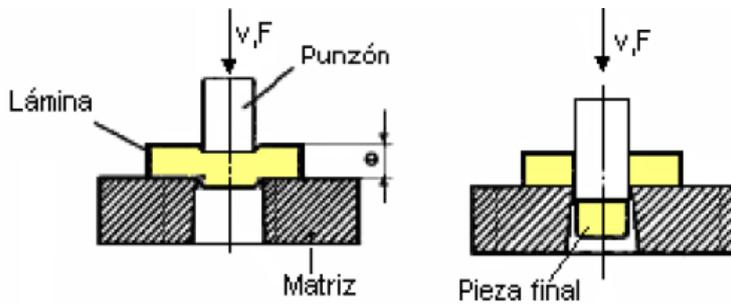


Imagen 6. Troquelado de láminas.



Imagen 7. Maquina troqueladora

## Doblado

El doblado de metales es la deformación de láminas alrededor de un determinado ángulo. Los ángulos pueden ser clasificados como abiertos (si son mayores a 90 grados), cerrados (menores a 90°) o rectos. Durante la operación, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las interiores están en compresión. El doblado no produce cambios significativos en el espesor de la lámina metálica. Existen diferentes formas de doblado, las más comunes son: doblado entre dos formas y doblado deslizante.

**Doblado entre formas:** En este tipo de doblado, la lámina metálica es deformada entre un punzón en forma de V u otra forma y un dado. Se pueden doblar con este punzón desde ángulos muy obtusos hasta ángulos muy agudos. Esta operación se utiliza generalmente para operaciones de bajo volumen de producción.

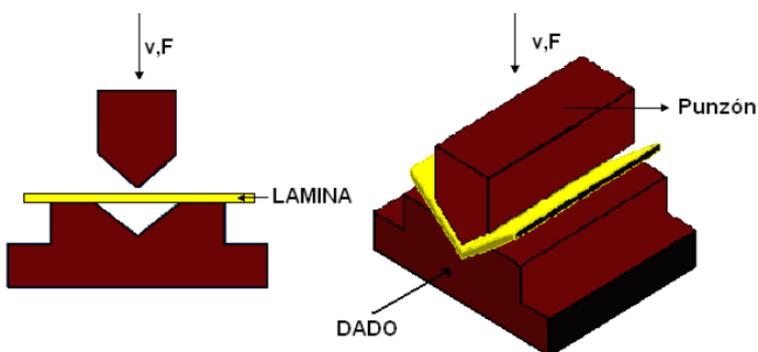


Imagen 8. Doblado de formas.

**Doblado deslizante:** En el doblado deslizante, una placa presiona la lámina metálica a la matriz o dado mientras el punzón le ejerce una fuerza que la dobla

alrededor del borde del dado. Este tipo de doblado está limitado para ángulos de 90°. (Ver Imagen 9).

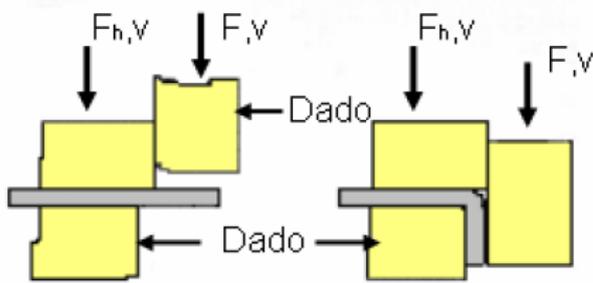


Imagen 9. Doblado deslizante.

Cuando se remueve la fuerza de doblado, la lámina intenta regenerarse gracias a una propiedad elástica de los metales conocida como memoria, restitución o recuperación. Esta propiedad no sólo se observa en láminas y placas planas, sino también en varillas, alambres y barras con cualquier perfil transversal.

Los punzones se diferencian por las siguientes características: radio y ángulo de doblado. El ángulo de doblado es medido entre las dos caras que forman la arista del punzón alrededor de la cual se doblan las láminas y el radio de doblado determina el chaflán de dichas aristas.



Imagen 10. Dados de doblado.



Imagen 11. Punzones de doblado.



Imagen 12. Dobladora de láminas.

## Operaciones de Soldadura

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y pudiendo agregar un material de relleno fundido (metal o plástico), para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fija<sup>5</sup>. A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (en inglés soldering) y la soldadura fuerte (en inglés brazing), que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente.

**Soldadura de Arco Eléctrico:** Uno de los tipos de soldadura más utilizados es la de arco eléctrico que son procesos que usan una fuente de alimentación para soldadura para crear y mantener un arco eléctrico entre un electrodo y el material base para

---

<sup>5</sup>ASM International. Trends in Welding Research. Materials Park, Ohio: ASM International. (2003).

derretir los metales en el punto de la soldadura. Pueden usar tanto corriente continua (DC) como alterna (AC), y electrodos consumibles o no consumibles. A veces, la región de la soldadura es protegida por un cierto tipo de gas inerte o semi inerte, conocido como gas de protección, y el material de relleno a veces es usado también.

Oscar Kjellberg<sup>6</sup> desarrolla el método de soldadura con electrodo recubierto, también conocido como método SMAW (Shielded Metal ArcWelding). Fue el primer método aplicado con grandes resultados, no solo de orden técnico, sino también de orden económico, ya que este proceso permitió el desarrollo de procesos de fabricación mucho más eficaces, y que hasta hoy en día solamente han sido superados por modernas aplicaciones, pero que siguen basándose en el concepto básico de la soldadura al arco con electrodo auto protegido.

Consiste en la utilización de un electrodo con un determinado recubrimiento, según sea las características específicas, y que describiremos brevemente en seguida. A través del mismo se hace circular un determinado tipo de corriente eléctrica, ya sea esta de tipo alterna o directa. Se establece un corto circuito entre el electrodo y el material base que se desea soldar o unir, este arco eléctrico puede alcanzar temperaturas del orden de los 5500 °C, depositándose el núcleo del electrodo fundido al material que se está soldando, de paso se genera mediante la combustión del recubrimiento, una atmósfera que permite la protección del proceso, esta protección se circunscribe a evitar la penetración de humedad y posibles elementos contaminantes. También se produce una escoria que recubre el cordón de soldadura generado.

---

<sup>6</sup>Oscar Kjellberg fue el inventor del electrodo cubierto, y con este la invención de la soldadura de arco, cuando en 1904 entregó en la oficina de patentes de Suecia una nota escrita a mano que describía su invención única. Consultado en: <http://www.drweld.com/skaw.html>.



Imagen 13. Soldadura SMAW.

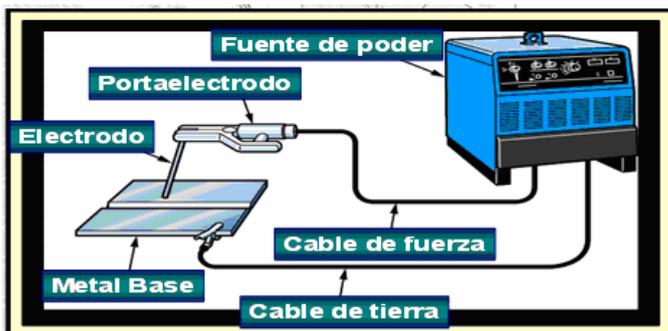


Imagen 14. Equipo básico de soldadura SMAW.

SMAW.

En la imagen 14 se muestra el equipo básico de soldadura, que es relativamente sencillo. Este tipo de soldadura también se conoce como soldadura GMAW en donde MIG significa Metal-Inert-Gas.

Otro tipo de La soldadura GMAW (Gas Metal ArcWelding), es un proceso sumamente sencillo, aunque requiere de habilidadestécnicas muy específicas, tiene el inconveniente de que es un proceso con pocaproductividad, debido fundamentalmente a que no es un proceso continuo, dada estalimitación se desarrolló el proceso de soldadura MIG, Que va a permitir al operador unamayor continuidad en la operación, y también tendrá una mejor utilización del material deaporte.

Este equipo fundamentalmente opera bajo el mismo principio de la soldadura con electro,con una diferencia significativa, ya que el material de aporte viene en rollos y en forma dealambre continuo, lo que permite una mayor movilidad en la ejecución, y con el beneficio,de que requiere un poco menos de destrezas técnicas de parte del operario.

El equipo de una soldadura MIG. Varía significativamente, ya que además de la fuente de poder necesitamos de un equipo adicional, que permita mantener de forma continua la alimentación del alambre para soldar, además de eso la antorcha varía significativamente ya que debe de facilitar también la inyección del gas de protección.



Imagen 15. Equipo soldadura GMAW.

### 3. ESTUDIO DE SIMULACIÓN

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se requiere adelantar un estudio de simulación que permita obtener un diagnóstico del desempeño del sistema logístico, específicamente de los procesos de almacenamiento y transporte de la empresa IMEC SA. Se adelantara un trabajo que finalice en la construcción de un modelo de simulación, siguiendo la metodológica enunciada en el marco teórico.

##### 3.1.1 Planta de Producción IMEC SA

IMEC SA cuenta con una planta ubicada en Cartagena en el sector del Bosque, a continuación se muestran imágenes de la fachada y de la zona operativa.



Imagen 16. Fachada IMEC SA.

La planta de procesamiento, está constituida por varios sectores;



### 3.1.2. Conformación de la Planta de Producción

A continuación se describen las áreas y procesos que conforman el sistema de producción de IMEC SA:

**Puerta de Acceso de Materiales:** Es el área por donde arriban los vehículos que contienen las materias primas y por donde salen los productos terminados. El acceso está limitado a un vehículo de carga a la vez.



Imagen 18. Puerta de acceso de materiales.

**Zona de Almacenamiento 1:** Es la zona donde se realiza el descargue de la materia prima, y el cargue de producto terminado. No se consideran limitaciones a la cantidad de materia prima que esta zona puede contener.

<b>Proveedor</b>	<b>Entradas</b>	<b>Proceso</b>	<b>Salidas</b>	<b>Cliente</b>
Vehículos de proveedores. Armado.	Materias primas, láminas de metal.  Productos terminados.	Almacenamiento	Materias primas, Laminas de metal.  Productos terminados.	Rolado.  Zona de almacenamiento 2.  Vehículos clientes.

Tabla 1. SIPOC Zona de Almacenamiento 1.



Imagen 19. Zona de almacenamiento 1.

**Rolado:** es la zona destinada al proceso de rolado también conocido como doblado, está compuesta por una maquina especializada en este proceso y un operario, con capacidad de una lamina de metal a la vez. Está ubicada seguida de la zona de llegada de materia prima.

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Zona de almacenamiento 1.	Materias primas, laminas de metal.	Rolado, doblado de láminas.	Producto en proceso o producto terminado. Laminas dobladas	Armado.

Tabla 2. SIPOC rolado



Imagen 20. Maquina de rolado.

**Zona de almacenamiento 2:** Es la zona destinada al acopio de materia prima en inventario en proceso, ubicada posterior a la zona de rolado y entre corte 2 y plegado, se considera también que es una zona sin limitaciones importantes en cuanto a su capacidad acoger determinada cantidad de laminas de metal.

También puede servir de zona de descargue de materia prima del proceso de corte 1.

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Zona de almacenamiento 1. Corte 2.	Materias primas, láminas de metal. Producto en proceso laminas cortadas.	Almacenamiento	Materias primas, láminas de metal. Producto en proceso laminas cortadas.	Corte 1. Plegado

Tabla 3. SIPOC Zona de almacenamiento 2



Imagen 21. Zona de almacenamiento 2.

**Corte 1:** es una zona conformada por una maquina cortadora y un operario, tiene como funciones específicas realizar modificaciones a las láminas o materias primas y posteriormente enviarlas a la zona que las requiera.

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Zona de almacenamiento 2.	Materia prima, láminas de metal.	Corte de laminas	Producto en proceso, Laminas cortadas.	Armado.

Tabla 4. SIPOC corte 1



Imagen 22. Corte 1.

**Corte 2:** es una zona constituida por la segunda máquina de corte y un operario. Cuenta con capacidad para atender un proceso a la vez.

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Zona de almacenamiento 1.	Materia prima, láminas de metal.	Corte de laminas	Producto en proceso, Laminas cortadas.	Armado. Plegadora.

Tabla 5. SIPOC corte 2



Imagen 23. Corte 2.

**Plegado:** el proceso de plegado es similar al del doblado, se realiza cuando se quieren elaborar doblados más pequeños. Recibe productos en proceso de las zonas de corte. Está constituida por la máquina de plegado y un operario.

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Zona de almacenamiento 1. Corte 2.	Productos en proceso, láminas cortadas.	Plegado.	Producto en proceso, Láminas plegadas.	Armado.

Tabla 6. SIPOC plegado



Imagen 24. Plegado.

**Armado:** es una zona destinada a la configuración final de la pieza o producto que se esté trabajando, allí se lleva a cabo la soldadura de las piezas que han sido previamente cortadas, plegadas y roladas. Este proceso es el único que recibe productos de todos los demás procesos. Se considera que todo el área puede usarse para el armado sin embargo se consideran dos puestos principales, la estación cuenta con capacidad suficiente para atender de a dos armados a la vez y cuenta con cuatro empleados.

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Corte 1. Corte 2. Plegado.	Productos en proceso, láminas cortadas.  Laminas plegadas.	Armado, soldadura.	Productos terminados.	Zona de almacenamiento 1.

Tabla 7. SIPOC armado

**Transporte interno de materiales:** el medio por el cual se realizan los flujos de materiales son 5 rieles colocados de manera transversal con respecto a la planta encima de cada una de las zonas de proceso. Los rieles intervienen en el proceso de transporte de acuerdo donde están ubicados, tienen capacidad para transportar de a un elemento por viaje, tienen una velocidad promedio de 1 mt cada 3 segundos y funcionan por medio de energía eléctrica. Los rieles requieren ser manipulados por un operario dependiendo de la estación a la que vaya el respectivo operario de dicha estación toma el riel, el material y lo lleva hasta su estación de trabajo. Previo al transporte se requiere un tiempo de alistamiento donde el operario sujeta el material a transportar al riel y prueba que es suficiente.

<b>Proveedor</b>	<b>Entradas</b>	<b>Proceso</b>	<b>Salidas</b>	<b>Cliente</b>
Todas la áreas	Materias primas, productos en proceso, productos terminados	Transporte	Materias primas, productos en proceso, productos terminados	Todas la áreas

Tabla 8. SIPOC transporte interno de materiales

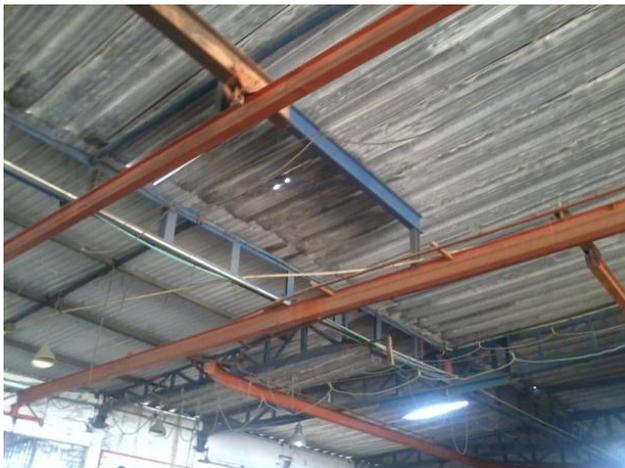


Imagen 25. Transporte interno, rieles.



Imagen 26. Transporte interno, rieles.

Así pues a continuación se muestra un gráfico general de la planta de producción de IMEC SA generada por el equipo de trabajo:

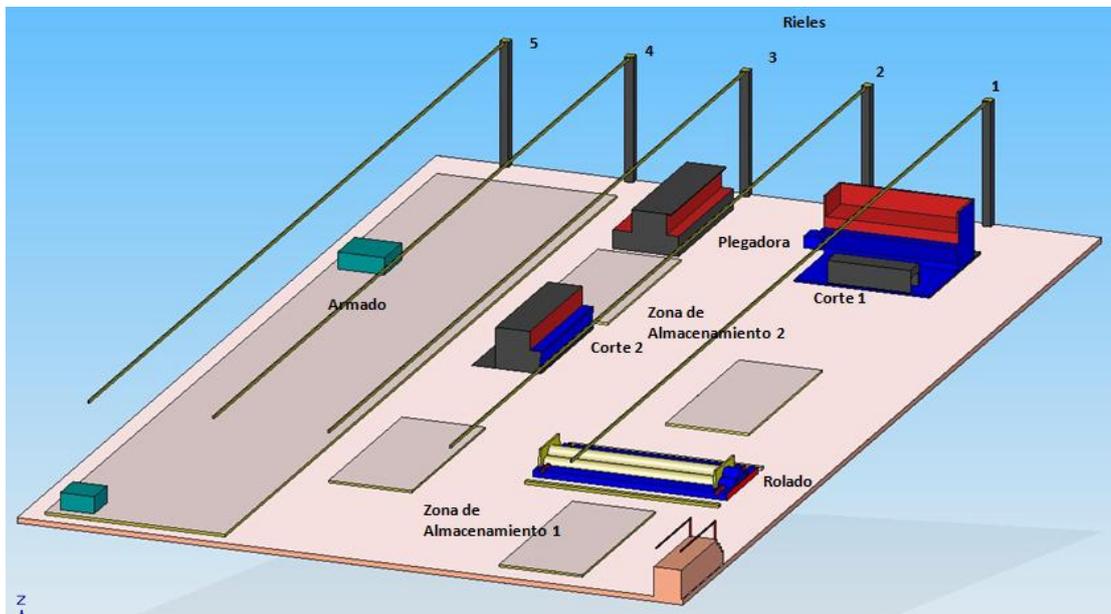


Imagen 26. Grafico general sistema de producción IMEC SA

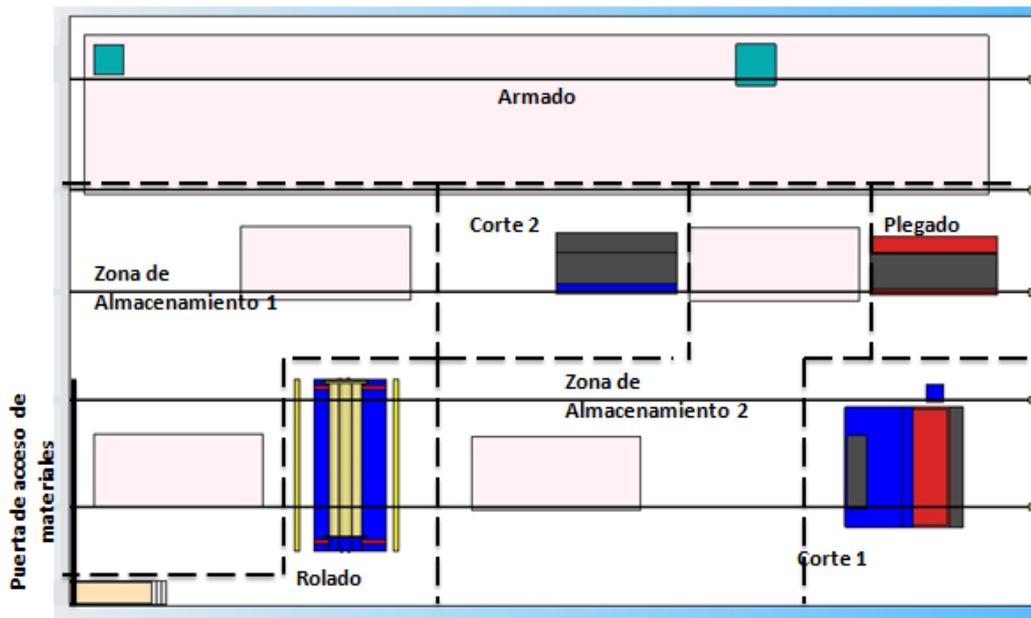


Imagen 27. Delimitación de áreas del sistema de producción IMEC SA.

### 3.1.3 Flujo y Recorrido de Materiales

La lógica del flujo y de los recorridos que realizan los materiales, está dada por el producto que se está realizando. Un producto cualquiera podría requerir solo un corte y armado, lo que lógicamente haría que los materiales de ese producto pasaran solo por una de las dos estaciones de corte y luego directamente a la zona de armado, bajo ese esquema la zona de plegado y rolado permanecería ociosa durante la elaboración de dicho producto. La zona de almacenamiento inicial es zona obligada para todos los materiales y es la única con esa característica.

Evidentemente la configuración de los rieles hace que los movimientos longitudinales largos sean imposibles, por ejemplo el riel 1 no puede transportar materiales de zona de almacenamiento 1 a armado, ya que su radio de acción no llega hasta ese punto. Un ejemplo de movimiento corto sería: el riel 2 puede tomar algo de corte 1 y llevarlo a plegadora, de hecho es una de las dos formas de realizar movimientos entre esas dos estaciones, ya que también podría hacerse con el riel 3.

A continuación se enumeran y describen los rieles de derecha a izquierda:

Riel 1: transporte entre los siguientes puntos: zona de almacenamiento 1, rolado, zona de almacenamiento 2 y corte 1.

Riel 2: Transporte entre los siguientes puntos: zona de almacenamiento 1, rolado, corte 1, corte 2, plegadora.

Riel 3: Zona de almacenamiento 1, corte 2, plegadora, armado.

Riel 4: Zona de almacenamiento 1, armado.

Riel 5: Armado.

A continuación se enuncian los posibles movimientos que se podría realizar en la planta de producción:

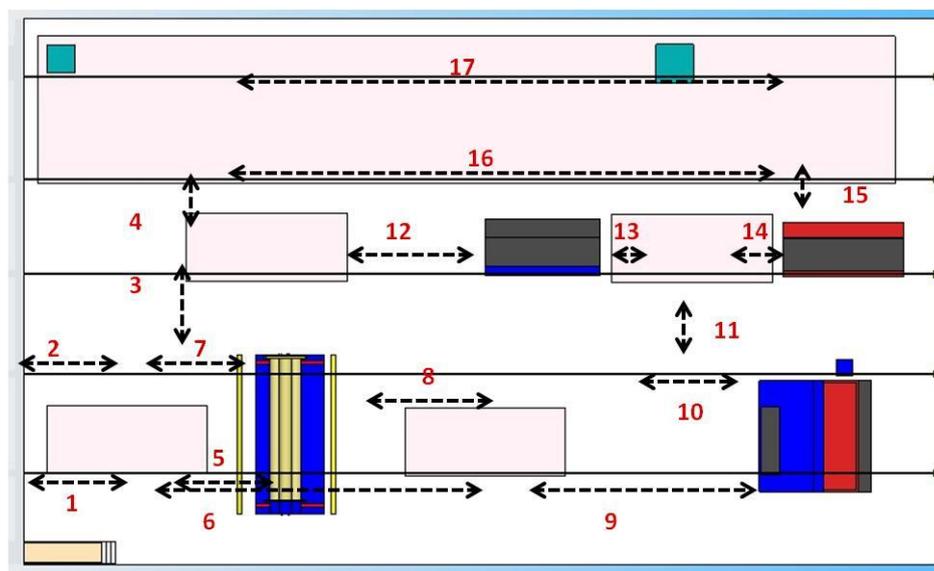


Imagen 28.

Posibles movimientos de material.

1. Movimiento de ingreso de materias primas y salida de productos terminados, del exterior y hacia la zona de almacenamiento 1 y viceversa, realizado por el riel 1.
2. Movimiento de ingreso de materias primas y salida de productos terminados, del exterior y hacia la zona de almacenamiento 1 y viceversa, realizado por el riel 2.
3. Movimiento de materiales donde el riel 3 mueve los materiales dentro de la zona de almacenamiento para ponerlos al alcance del riel 2 o para ponerlos a disposición de corte 2 y viceversa.

4. Movimiento de materiales donde el riel 4 mueve los materiales de armado hasta ponerlos al alcance del riel 3 y viceversa.
5. Movimiento de materias primas de la zona de almacenamiento 1 hacia rolado, y viceversa se realiza con el riel 1.
6. Movimiento de materias primas de la zona de almacenamiento 1 hacia zona de almacenamiento 2 y viceversa, se realiza con el riel 1.
7. Movimiento de materias primas de la zona de almacenamiento 1 hacia rolado y viceversa, se realiza con el riel 2.
8. Movimiento de materias primas de la zona de almacenamiento 1 hacia zona de almacenamiento 2 y viceversa, se realiza con el riel 1.
9. Movimiento de zona de almacenamiento 2 hacia corte 1 y viceversa, se realiza con el riel 1.
10. Movimiento de zona de almacenamiento 2 hacia corte 1 y viceversa, se realiza con el riel 2.
11. Movimiento dentro de la zona de almacenamiento para colocar el material al alcance del riel 3, y viceversa se realiza con el riel 2.
12. Movimiento de zona de almacenamiento 1 a corte 2 y viceversa, se realiza con el riel 3.
13. Movimiento de corte 2 a zona de almacenamiento 2 y viceversa, se realiza con el riel 3.
14. Movimiento de zona de almacenamiento 2 a plegado viceversa, se realiza con el riel 3.
15. Movimiento de plegado de zona de almacenamiento 2 a armado, colocando el material a disposición del riel 4, usando el riel 3 y viceversa.
16. Movimiento dentro de la zona de armado (esta estación tiene dos puestos de trabajo) se realiza con el riel 4.
17. Movimiento dentro de la zona de armado (esta estación tiene dos puestos de trabajo) se realiza con el riel 4.

## 3.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

### 3.2.1. Pre-Análisis de Problemas del Sistema

El grupo de trabajo realiza un análisis inicial de los problemas logísticos que se pueden estar presentando dentro de la empresa IMEC SA, el grupo se basa en sus observaciones y en las entrevistas hechas al Jefe de Producción para realizar un Brainstorming, cuyos resultados se muestra a continuación:

**Desorden Generalizado:** el grupo de trabajo considera que las condiciones de desorden en las que se almacenan los materiales, no son las más seguras y eficientes, hacen al sistema propenso a accidentes. Las láminas de metal, tanto materias primas como producto en proceso están regados en las zonas de almacenamiento. Tenemos pues un problema de método (usando el esquema de análisis Ishikawa) de almacenamiento, que disminuye de alguna manera el nivel de seguridad del sistema.



Imagen 29. Desorden en el almacenamiento de materiales.

**Imposibilidad de Movimientos Longitudinales:** es un problema evidente, los rieles están ubicados de manera transversal, las maquinas están ubicadas debajo de estos, es decir el medio de transporte circunscribe la disposición de las maquinas, a tal punto que el sistema debe adaptarse a éste colocándose de tal manera que pueda aprovecharlo lo más que pueda. Por otra parte sin los rieles sería imposible movilizar las láminas de acero, sin embargo no deja de ser un limitante, ya que por ejemplo para hacer un movimiento de zona de almacenamiento 1 a corte 2, el riel 2 debe moverlo dentro de zona de

almacenamiento 1 hasta la zona de alcance del riel 3, luego este último lo toma y lo lleva a su sitio, o bien puede tomar el riel 2 llevarlo hasta zona de almacenamiento 2, ponerlo en la zona de alcance del riel 3 y este moverlo hasta corte 2. Es un problema que también inquieta al jefe de producción sobre el mismo afirma que: “La linealidad de las grúas impide movimientos longitudinales continuos, lo que se vuelve un problema cuando el volumen de producción es alto”.

**Tendencia a acumulación de material en proceso:** desde el punto de vista de análisis de capacidad, resalta a la vista el hecho de que la capacidad de la operación de corte es mayor que la capacidad de operación de las estaciones de plegado y armado, esto genera, sobre todo en la estación de armado, represamientos de material, problema cuya solución a corto plazo parece no existir ya que no se contempla la compra de máquinas de soldadura que permitan suplir la capacidad faltante o bien minimizar la cantidad de material en espera.

### **3.2.2. Problema de Simulación y Alcance del Estudio**

Mediante el uso de herramientas de simulación se tienen como objetivos primordiales: realizar un diagnóstico de la distribución física actual de la empresa IMEC SA con el fin de detectar falencias en los procesos de almacenamiento y manejo de materiales a través de la elaboración de un modelo de simulación y un análisis integral del sistema y elaborar propuestas de mejora para la distribución física que permitan hacer más eficiente los procesos de almacenamiento y flujo de materiales, las cuales se puedan implementar al interior de la planta para la integración y coordinación de los procesos logísticos.

La empresa IMEC SA, maneja un sistema de producción por pedidos, de productos no estandarizados, lo que dificulta el análisis ya que no todos los productos que ofrece pasan por los mismos procesos de maquinado. El grupo de trabajo decide entonces limitar el análisis a la producción de un producto que sea representativo, es decir que para su elaboración involucre la mayor

parte de los procesos de la empresa y del que se puedan tomar datos como tiempo de proceso entre otros. Partiendo de ello y después de concertaciones con el Jefe de Producción de IMEC SAs se escoge un producto que llamaremos tanque metálico, a continuación se muestra una imagen del mismo:



Imagen 30. Tanque metálico.

Dentro de las razones que se postularon por el grupo de trabajo y el Jefe de producción y por las que se toma como un producto representativo tenemos:

- La empresa desarrolla procesos de rolado -una estación-, corte -dos estaciones-, plegado -una estación- y amado -dos estaciones-, la fabricación de un tanque metálico implica corte, plegado y amado y pasa por cinco estaciones.
- El jefe de producción anota que es un producto de una buena rotación requerido en grandes cantidades y hace parte del portafolio de productos desde la constitución de la empresa.
- Existe información sobre los procesos de fabricación, tiempos de proceso y demás elementos relacionados con la fabricación del tanque metálico.

La empresa maneja pedidos de lotes de al menos 5 tanques metálicos, este producto es de los más representativos de la empresa, en su producción intervienen los procesos de corte, plegado y armado. A continuación se presenta un análisis del proceso de fabricación y el flujo que hacen los materiales dentro de la planta.

### 3.2.3. Proceso de fabricación y Flujo de materiales

Las materias primas ingresan al sistema y se almacenan en zona de almacenamiento 1, de allí pasan directamente a corte donde se obtienen los trozos del tanque. Una parte de las piezas de corte van hacia la zona de plegado, donde se obtienen las parte de refuerzo de la estructura, luego pasan a zona de armado, allí sufren los procesos de soldadura donde se obtiene finalmente el producto final.

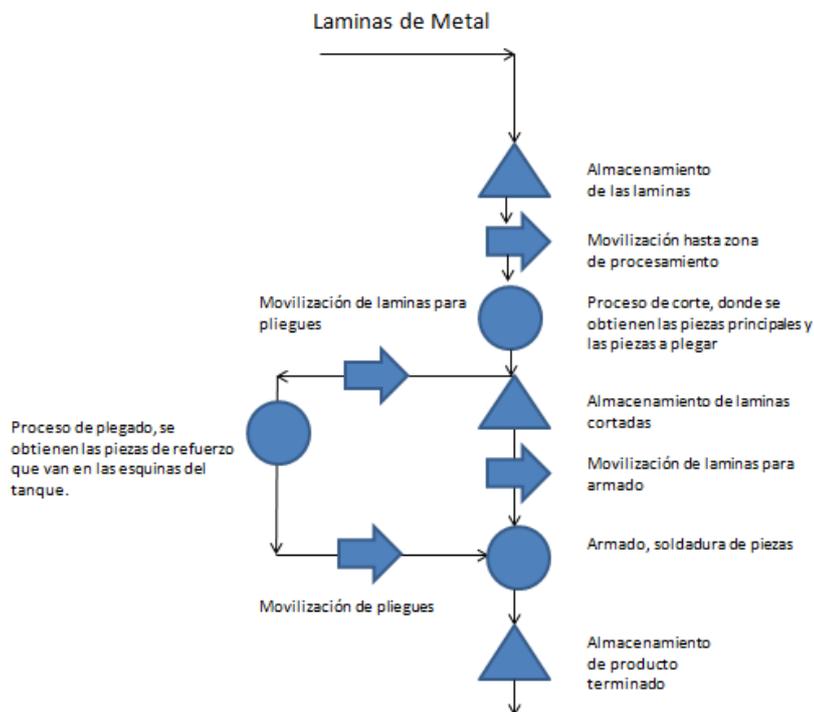


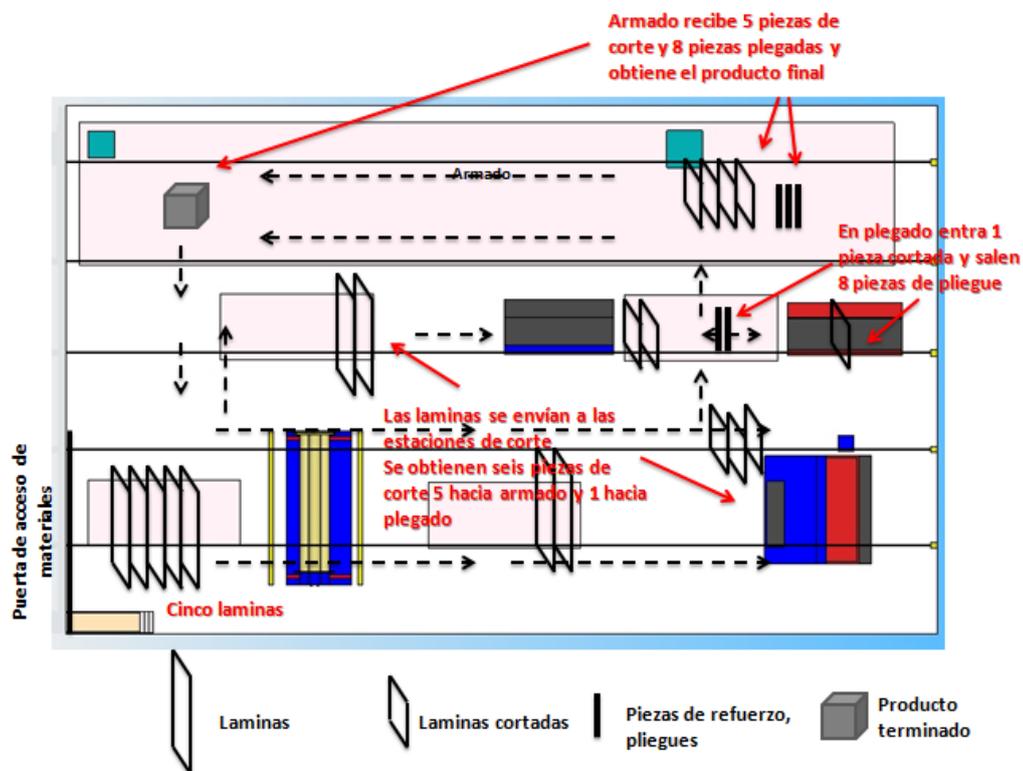
Imagen 31. Cursograma

sinóptico fabricación de tanque metálico.

En la fabricación de un tanque metálico se necesitan 5 láminas de acero de 3 mm de espesor y 1.2 m por 2.4 m, los tanques son fabricados en lotes de 5 todo el material necesario para cada lote llega al mismo tiempo siendo almacenado en las respectivas zonas de almacenamiento. Las láminas son movilizadas con los rieles hasta los puntos de fabricación. Para ensamblar un tanque metálico es necesario realizar los respectivos procesos de corte para obtener las 5 piezas principales, (recuérdese se está fabricando un trapecoide hueco) y 8 piezas de refuerzo para las líneas de las esquinas. Los procesos de corte son realizados indistintamente en las dos máquinas disponibles para esta

labor, cuando una de las dos máquinas están ocupadas el proceso es asignado a la siguiente máquina.

Los materiales fluyen en el sistema usando los rieles, los cuales como ya se dijo pueden transportar una pieza a la vez y mantienen una velocidad constante de 1 mt cada 3 segundos aproximadamente. A continuación se observa un diagrama de flujo que especifica las cantidades de material necesarias para obtener un tanque metálico.



Imagen

32. Diagrama de flujo y materiales del proceso productivo.

Se concluye que el proceso de elaboración de un tanque metálico, implica seis procesos de corte, ocho plegues, que se obtienen de dos procesos de plegado y un proceso de armado, es importante aclarar que la estación de armado solo empieza a operar cuando tiene la cantidad suficiente de material para un tanque, lo que no implica que deba esperar que llegue todo el material para fabricar el lote de 5 tanques.

### 3.2.4. Elementos del Modelo

Para realizar un estudio de simulación se deben definir cuáles son las variables que van a permitir desarrollar el modelo de simulación, a continuación se enuncian y explican:

Variables de tiempos de Proceso: corresponden a los tiempos de operación que conlleva la consecución de los productos en proceso y los productos terminados. Dentro de este grupo tenemos: tiempo de proceso corte 1, tiempo de proceso corte 2, tiempo de proceso plegado y tiempo de proceso armado. El estudio especificara esta variable en Hr.

Velocidad de las grúas: para el estudio es importante especificar a qué velocidad se mueven los medios de transporte de tal manera que para el modelo sea posible determinar también el tiempo estimado de transporte. Está claro que para ello es necesario introducir las distancias aproximadas entre los puntos en mts y especificar dicha velocidad en mts/s. se debe recordar que las grúas se mueven a una velocidad constante que ya ha sido especificada con anterioridad correspondiente a 1 mt cada 3 segundos.

Tiempo de alistamiento: se considera un tiempo de alistamiento correspondiente a tiempo consumido en sujetar el gancho de la grúa a la lámina. Esta variable se medirá en Min y no puede ser obviado dado que el modelo carecería entonces de veracidad.

Se consideran cuatro estaciones de trabajo, que son corte 1, corte 2, plegado y armado. Corte 1 y Corte 2 cada una con un operario y capacidad de una lámina a la vez. Plegado con un operario y capacidad para un proceso de plegado a la vez. Armado con cuatro operarios y capacidad para realizar dos armados a la vez. Se consideran también dos zonas de almacenamiento plenamente delimitadas.

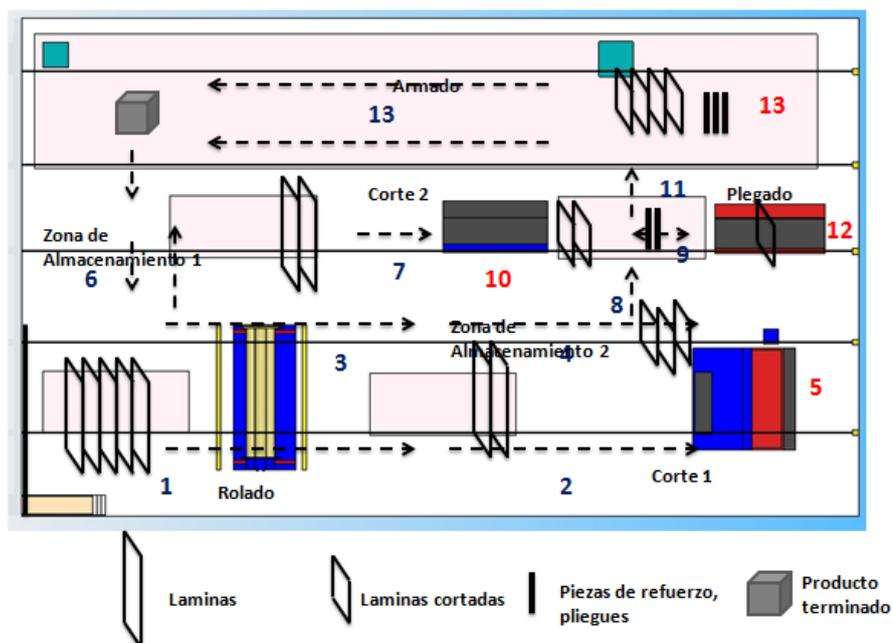
Como recursos de transporte están los rieles asignados a cada ruta. Sin embargo en la fabricación del tanque metálico entra un detalle que antes no se había contemplado. Los pliegues metálicos obtenidos en la plegadora se pueden transportar manualmente por el empleado obviando la necesidad de la

grúa para ese transporte en particular, estos pequeños trozos se pueden transportar hasta armado uno a uno es decir el que va saliendo se va transportando directamente.

Como entidades del modelo se manejan en total cuatro entidades, que son láminas en bruto o materia prima, laminas cortadas, láminas plegadas y producto final. Se deben considerar de gran importancia el evento de arribo, es decir la manera en cómo están llegando las materias primas al sistema. Se acordara un modelo que elabore 4 lotes de 5 unidades cada uno, para un total de 20 tanques metálicos. Las materias primas llegan en fracciones suficientes para fabricar 5 unidades, es decir en cada arribo llegan 5 láminas y al terminar el lote de 5 llega el siguiente lote de materias primas y de esta manera transcurre hasta terminar las 20 unidades.

### 3.3 FORMULACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

Se concibe el modelo conceptual como un gráfico donde se identifican los elementos constituyentes del modelo y las interacciones entre los mismos, por ello a continuación enunciamos un gráfico con el que se pretende mostrar todos los elementos que se incluirán en el modelo de simulación:



Imagen

33.

Modelo Conceptual modelo sistema de producción IMEC SA.

A continuación se describen las interacciones que se presentan en el modelo para la consecución de una unidad del producto, las anotaciones azules denotan flujos y las rojas denotan procesos:

1. Entrada de materias primas. A zona de almacenamiento 1 llegan 25 láminas por arriba, ya que recordemos que se pretende elaborar un lote de 5 unidades, cada una de las cuales requiere 5 láminas. Las láminas se transportan una por una con el riel 1 hasta la zona de almacenamiento 2.
2. las láminas que se envían a Corte 1, deben esperar en zona de almacenamiento 2 para ser atendidas, en este caso usando el riel 1.
3. Flujo similar a 1, pero con el riel 2.
4. Flujo similar a 2, pero con el riel 2.
5. y 10. Consideraciones sobre el proceso de corte: en la fabricación de un tanque metálico se hacen necesarias 5 piezas de corte que se envían a armado y una adicional que se envía a plegado (para que pueda fabricar los pliegues) se considera que cada una de las 6 piezas consume un proceso de corte individual, por tanto son necesarios 6 procesos de corte, es decir que al proceso de corte entran 5 unidades de materia prima y salen 6 unidades de producto en proceso. El encargado de proveer de la pieza de corte para pliegue es la estación Corte 2. Es decir que siendo equitativos en un proceso se podría dar que cada estación realice 3 cortes obteniendo en total las 6 piezas necesarias.
6. Las materias primas se mueven dentro de zona de almacenamiento 1 para encarrillarlas en el riel 3 y puedan acceder a corte 2.
7. Movimiento de materia prima a la estación Corte 2, usando el riel 3.
8. Describe la manera en cómo se envían los productos en procesos de corte 1, hasta zona de almacenamiento 2. El movimiento lo realiza el riel 2.
9. La pieza de corte necesaria para realizar los pliegues se envía a la estación de Pliegue, usando el riel 3, en caso de que la estación esté ocupada deben esperar en Almacenamiento 2.

11. Se considera que al finalizar el proceso de plegado las 8 piezas resultantes son transportadas, hasta la estación de armado.
12. En el proceso de plegado entra 1 producto en proceso (pieza de corte) y salen 4 piezas de pliegue, es decir que son necesarios dos procesos de pliegues para obtener los 8 necesarios.
13. La estación de armado recibe productos de todas las estaciones anteriores, para armar el tanque metálico requiere 5 piezas de corte y los 8 pliegues, y solo empieza a trabajar cuando tiene todas las materias primas necesarias para armar una unidad. Esta estación tiene capacidad para dos armados a la vez, el riel 4 toma los productos en proceso de la zona de almacenamiento 2 y los coloca en alguno de los dos puestos, teniendo como prioridad el primero ubicado justo al lado de la zona de almacenamiento 2. Los productos terminados son transportados a zona de almacenamiento 1 usando el riel 4 y 3.

### 3.4 RECOLECCIÓN DE DATOS Y PARAMETERIZACION DE LAS VARIABLES

Para desarrollar un modelo que represente fielmente el mismo debe apoyarse sobre datos que provenga del desempeño normal del sistema a modelar, las variables a recolectar se conocen pues como variables independientes, ya se han enunciado en la formulación del problema sin embargo aquí se enuncian nuevamente.

Variables a recolectar:

<b>Nombre, Descripción</b>	<b>Dimensión</b>
Tiempo de proceso Corte 1, tiempo que consume en realizar un proceso de corte, donde se obtiene una pieza cortada.	Min
Tiempo de proceso Corte 2, tiempo que consume en realizar un proceso de corte, donde se obtiene una pieza cortada.	Min
Tiempo de proceso de plegado, tiempo que consume en realizar un proceso de pliegue, donde se obtienen 8 piezas de pliegue.	Min
Tiempo de proceso de armado, tiempo consumido en armar el tanque metálico	Min
Velocidad de los rieles, que como ya hemos visto sería más bien una constante.	Mts/s
Tiempo de alistamiento, tiempo consumido en sujetar una pieza sea materia prima, producto en proceso o producto terminado al gancho de la grúa.	Min

Tabla 9. Identificación de Variables

### 3.4.1 Metodología de recolección

El proceso a realizar consiste en tomar datos representativos del proceso, estamos entonces realizando un muestreo de tipo aleatorio. Es el procedimiento probabilístico de selección de muestras más sencillo y conocido, no obstante, en la práctica es difícil de realizar debido a que requiere de un marco maestro y en muchos casos no es posible obtenerlo. Puede ser útil cuando las poblaciones son pequeñas y por lo tanto, se cuenta con listados. Se utiliza ampliamente en los estudios experimentales, además, de ser un procedimiento básico como componente de métodos más complejos (muestreo estratificado y en etapas).

El procedimiento de muestreo se realizara apoyándose en herramientas como cronómetros, listas de recolección y lápices. La primera fase es determinar el tamaño muestral a estudiar, esto lo conseguiremos tomando muestras piloto de tamaño 30, anotando las varianzas muestrales.

Cuando se pretende determinar una media de una variable cuantitativa, es necesario considerar una estimación de la desviación estándar o la varianza de dicha variable y la máxima diferencia que admitiríamos con relación a la media real de la población. Por medio de este procedimiento podemos encontrar el tamaño muestral.

La precisión exigida o error esperado. La precisión es la cuantificación de cuanto “más o menos” podremos conocer la variable en la población.

El nivel de confianza es la probabilidad de que el valor de la variable esté comprendido dentro del intervalo obtenido es el nivel de confianza, que normalmente se establece en el 95%.

Tomando como consideraciones que todo fenómeno puede interpretarse bajo una distribución normal y usando un nivel de confianza de 95% y un error esperado del 5%.

### 3.4.2 Parametrización de las Variables

En el Anexo 1, se muestran los datos obtenidos en el pre-muestreo, a continuación las varianzas y tamaños de muestra correspondiente, este tamaño muestral se obtuvo aplicando la fórmula:

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

Calculo de Tamaños Muestrales					
<b>Nivel de confianza</b>	95%	<b>Valor estandarizado</b>	1,96		
<b>Error</b>	5%				
<b>Variable</b>	<b>Tiempo de proceso Corte 1</b>	<b>Tiempo de proceso Corte 2</b>	<b>Tiempo de proceso Plegado</b>	<b>Tiempo de proceso Armado</b>	<b>Tiempo de Alistamiento</b>
<b>Varianza</b>	6,54	21,33	12,16	3047,53	0,281
<b>Tamaño de muestra</b>	10053,49615	32776,1981	18690,3917	4682960,14	432,206494

Tabla 10. Calculo de tamaños muestrales

Estos son las cantidades de datos que se deben tomar y medir para tener una idea concreta de cómo se comportan/distribuyen las variables, considerando una producción máxima de 20 unidades mensuales, esto implicaría hasta 200 unidades producidas, lo cual indica que ni con un año de medición sería posible obtener la cantidad de datos que requieren cada variable. Se hace necesario entonces considerar otro método para determinar cómo se comportan los datos de la variable.

Se sabe que la obtención de muestras grandes es indicativo de que la variable tiende a comportarse bajo una distribución normal con los parámetros estimados a partir de la muestra, para ello se debe probar que los datos son independientes y realizar varias pruebas de normalidad, el grupo de trabajo considerara curvas de normalidad, pruebas de independencia como las de puntos arriba y debajo de la media, prueba de puntos de inflexión y se realizaran tres pruebas de bondad para el ajuste a una distribución normal que

son: Prueba Chi-cuadrada, prueba Kolmogorov-Smirnov y prueba Anderson-Darling. Si y solo si los datos pasan las 6 pruebas se podrá considerar que se comportan bajo una distribución normal, por otro lado para la realización de las pruebas se hará uso de herramientas informáticas como StatGraphics y StatFit.

En el Anexo 2 se muestran los resultados numéricos de las pruebas realizadas, se confirmó que todas las variables de estudio pueden considerarse bajo una distribución normal, a continuación la parametrización final de las variables:

Variable	Tiempo de proceso Corte 1	Tiempo de proceso Corte 2	Tiempo de proceso Plegado	Tiempo de proceso Armado	Tiempo de Alistamiento
<b>Parametrización</b>	N(42.157,6.54)	N(56.053,21.33)	N(29.468,12.16)	N(323.521,3047,53)	N(1.93,0.281)

Tabla 11. Parametrización de las variables

Saber cómo se comportan los datos nos permite construir un modelo fiel a las características propias del sistema a modelar.

### 3.5 SELECCIÓN DEL LENGUAJE

Hoy en día los procesos de simulación están estrechamente relacionados con los computadores. Y la selección del software utilizado en los proyectos de simulación es crítica en los resultados obtenidos. Si este software no es lo suficientemente flexible o es demasiado complicado de utilizar la simulación puede no llevarse a cabo o producir resultados erróneos.

Las características deseables en un software de simulación definidas por el grupo de trabajo para el sistema en cuestión son las siguientes: facilidad de uso, flexibilidad definida como el hecho de que el software escogido debe ser capaz de modelar el sistema en cuestión, capacidad para utilizar estructuras if-then-else o similares, posibilidad de importar datos en diferentes formatos y de exportar datos a otras aplicaciones, bajo coste y requerimientos hardware asequibles, alta velocidad de ejecución, incorporación de animación y gráficos dinámicos, capacidades estadísticas, presentación de resultados amigable, soporte y documentación disponible.

El grupo de trabajo se decanta por el software Promodel, capaz de ofrecer flexibilidad y el rendimiento requerido. ProModel es un simulador con animación para computadoras personales. Permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, manejo de materiales, etc. Puedes simular bandas de transporte, grúas viajeras, ensamble, corte, talleres, logística, etc.

ProModel es un paquete de simulación que no requiere programación, aunque sí lo permite. Corre en equipos 486 en adelante y utiliza la plataforma Windows®. Tiene la combinación perfecta entre facilidad de uso y flexibilidad para aplicaciones complejas.

### 3.6 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

El modelo de simulación construido tiene el siguiente aspecto:

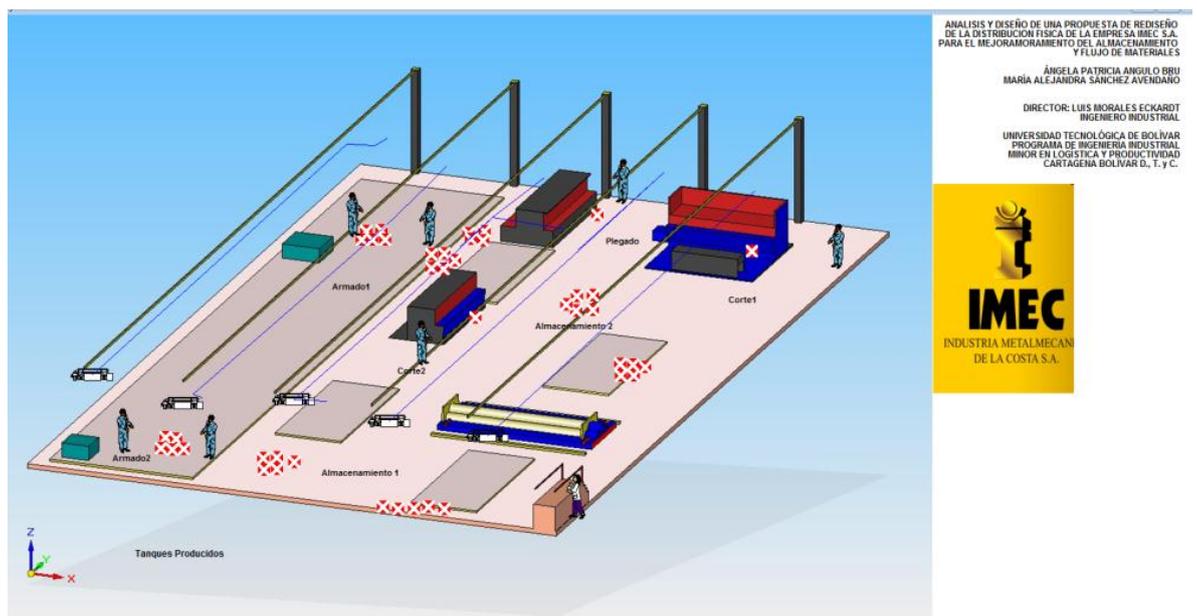


Imagen 34. Aspecto Modelo de Simulación.

Los pasos seguidos en la modelación y las consideraciones tenidas en cuenta para con la simulación se muestran en el Anexo 3. Para el grupo de trabajo el modelo construido responde a los criterios de validez establecidos, sin embargo es necesario que el mismo pase por pruebas de validez y verificación específicas que permitan otorgarle mayor validez. Las materias primas llegan

en promedio cada semana, tomamos una semana de 36 horas de trabajo (6 días / 6hr de trabajo) y cantidad de láminas por arribo de 25.

### **3.6.1. Determinación del tiempo de simulación**

Tenemos una simulación de tipo terminal, por tanto debemos establecer el tiempo de simulación que se va a tener en cuenta, para ello se tuvo en cuenta que según el Jefe de producción se estima que el tiempo de producción de un tanque metálico no debe pasar de los 3 días, tenemos entonces que para fabricar 20 tanques metálicos necesitamos 60 días, que pasados a horas de trabajo (6 por día) tenemos un tiempo estimado de 360 hr para terminar el lote de 20 tanques. Por tanto se simulara para 360 hr de simulación continuada tiempo en el que se espera que el sistema haya desalojado al menos 20 tanques metálicos.

### **3.6.2. Determinación del Número de simulaciones**

Debido a la naturaleza probabilística de los sistemas donde se utiliza la simulación, se hace imprescindible crear modelos cuyos resultados sean estadísticamente iguales a los sistemas reales. Uno de los factores que afectan en forma directa esos resultados es el tamaño de la corrida de simulación o bien el número de corridas de simulación realizadas para encontrar resultados confiables. Al realizar una corrida de simulación, el resultado promedio de las variables del sistema tienen un periodo de inestabilidad y, conforme transcurre el tiempo, esas variables tienden a un estado estable y es entonces cuando los valores de las variables de respuesta son confiables.

Existen, en general, varias formas para lograr la estabilización de un modelo de simulación, la primera consiste en utilizar corridas lo suficientemente largas para que los datos del periodo de transición resulten insignificantes, este planteamiento puede ser adecuado si la ejecución del modelo es rápida.

En forma general, para calcular el número de simulaciones óptimo se tiene la expresión:

$$n = \frac{\sigma^2 Z_{\alpha/2}^2}{k^2}$$

Donde:

$Z$  = estadístico normal estándar para determinado nivel de confianza.

$k$  = desviación absoluta máxima permitida sobre la media de la distribución a simular.

$\sigma^2$  = variancia de la distribución representativa del evento a simular.

Dado que hay varias fuentes de variabilidad, tomamos una de las variables como piloto y calculamos el número de simulaciones en base a la variancia de dicha variable.

Para nuestra medición se tomara un nivel de confianza de 95% ( $Z=1.96$ ) diferencia Max con la media de 1 y la tomando la variabilidad del tiempo de Corte 2 (21.33), el número de simulaciones seria  $n = \frac{21.33 \times 1.96^2}{1^2} = 81.94 \approx 82$  simulaciones.

En nuestro calculo no hay mucha seguridad en cuanto a la pertinencia de un  $k=1$ , debemos considerar que este valor representa la diferencia máxima que el procedimiento espera asumir entre la media real/poblacional del proceso y la media maestra que ha sido obtenida con la medición. Si quisiéramos saber si este valor es idóneo debemos estimar el valor de la media real, asumiendo una normalidad de proceso es posible construir un intervalo de confianza para el valor de la media del tiempo de proceso en la máquina de corte 2 usando la fórmula:

$$\bar{X} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Tenemos como datos necesarios para el cálculo:

<b>Media Muestral</b>	56,063
<b>Desviación Estándar</b>	4,617894841

Usando el esquema anterior y un nivel de confianza del 95% -valor estándar de 1.96- obtenemos un intervalo de confianza de:

$$54,41 \leq \mu \leq 57,71$$

Es decir que la media muestral tiene una diferencia máxima de 1,65 lo que confirma que haber tomado una diferencia máxima de 1 unidades es suficiente para mantener la viabilidad del estudio.

### **3.7 VERIFICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Existen diferentes formas de verificar un modelo de simulación, Pérez (2004) establece un práctico método consistente en que el grupo de trabajo debe aplicar un test al modelo y responderlo, si todas las respuestas son satisfactorias se puede afirmar que el modelo es verificable. A continuación se muestran las preguntas aplicadas y las respuestas que se obtuvieron:

¿Contiene el código todos los aspectos del modelo lógico?

Sí, todo lo concerniente al sistema de producción del tanque metálico fue tenido en cuenta para el desarrollo del modelo de simulación.

¿Están las estadísticas y las fórmulas calculadas correctamente?

Si, el procedimiento de parametrización corresponde a los métodos utilizados de manera estándar en estudios estadísticos similares.

¿Contiene el modelo errores de codificación?

No, el modelo no presenta errores en las corridas.

### **3.8 VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

La validación es un proceso más complejo que la verificación, los resultados del modelo deben reflejar lo que se esperaría de la realidad. Para ello el modelo debe responder satisfactoriamente estas preguntas:

¿Es el modelo una representación válida del sistema real?

¿Puede el modelo duplicar el comportamiento del sistema real?

¿Es creíble el modelo para los expertos del sistema?

A fin de responder estas preguntas realizamos el siguiente razonamiento: sabemos que el tiempo de simulación introducido es el necesario para producir

las 20 unidades del producto, es decir que si realizamos la simulación, con el número de réplicas el número de tanques producidos que refleja la simulación en promedio debe ser cercano a 20. El resultado de la simulación es el siguiente:

Scenario : Normal Run

Replication : Average

Period : Final Report (0 sec to 360 hr Elapsed: 360 hr)

SimulationTime : 360 hr

<b>ENTITY ACTIVITY</b>		
	<b>Average</b>	
	<b>Current</b>	
<b>Entity</b>	<b>Total</b>	
<b>Name</b>	<b>Exits</b>	
<b>Tanque</b>	22.98	<b>Average</b>
<b>Tanque</b>	2.70	<b>StdDesviation</b>

En promedio se obtienen 22.9 tanques metálicos, con una desviación estándar medible de 2.7, para el grupo de trabajo este es un valor aceptable que permite darle validez al modelo creado.

A continuación se muestra la carta donde la empresa IMEC SA valida el modelo de simulación planteado:

Cartagena de Indias D.TyC. 30 d marzo de 2012

**Señore:**

**COMITÉCURRICULAR**

**Programa de Ingeniería Industrial**

**La ciudad**

Respetados Señores:

La empresa IMEC S.A. a través de su gerente, manifiesta que el modelo de simulación propuesto en la monografía titulada **“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA DISTRIBUCION FISICA DE LA EMPRESA IMEC S.A. PARA EL MEJORAMORAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO Y FLUJO DE MATERIALES”**, representa la realidad del sistema de producción de la empresa, por tanto es válido para su análisis y diagnostico.

Atentamente,

---

MarianC.PalacioAvendaño

### 3.9 MEDICIÓN DE INDICADORES Y DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL

En el Anexo 4 se encuentran los resultados arrojados por la simulación, el grupo de trabajo toma los resultados fundamentales y prepara el siguiente diagnóstico:

#### Entradas y Salidas

	Total entradas	Minutos por entrada promedio	
Almacenamiento 1	100	43,42	Media
Almacenamiento 1	0	2,15	DesvEst

	Total salidas	
Tanque	22,98	Media
Tanque	2,70	DesvEst

Tabla 12. Entradas y salidas, diagnostico

En una simulación de 360 horas entran 100 láminas de metal y salen al menos 22 tanques metálicos. El sistema real se espera que produzca 20 tanques en ese tiempo.

#### Análisis de las estaciones por Estado

	En Operación	Ociosa	En Espera	Bloqueada	
corte1	12,15	33,99	0,1	53,76	Media
corte1	0,13	0,07	0	0,13	DesvEst
corte2	7,15	92,79	0,07	0	Media
corte2	0,16	0,16	0	0	DesvEst
Plegado	3,87	96,07	0,06	0	Media
Plegado	0,11	0,11	0	0	DesvEst
armado1	20,07	11,17	68,76	0	Media
armado1	1,3	0,03	1,3	0	DesvEst
armado2	19,87	11,18	68,95	0	Media
armado2	1,13	0,03	1,13	0	DesvEst

Tabla 13. Análisis de las estaciones por Estado, diagnostico

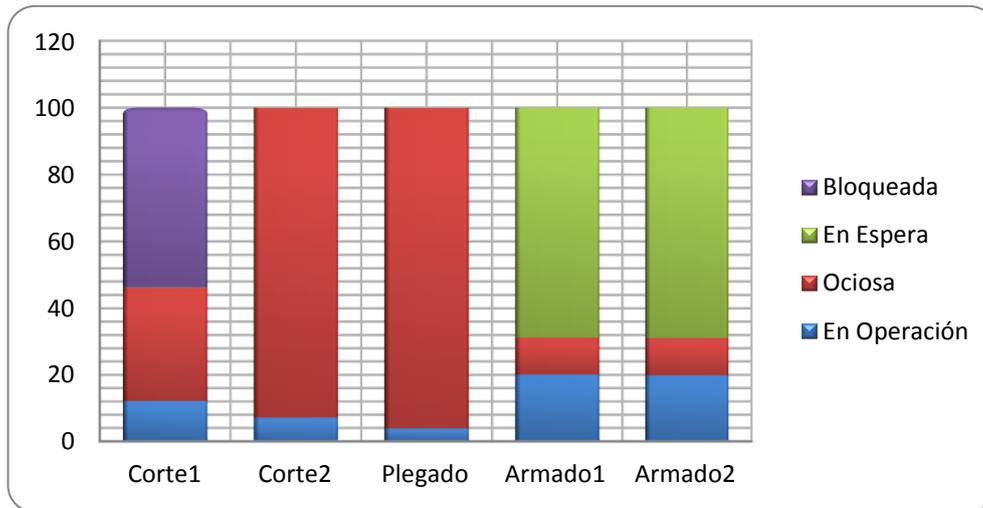


Imagen 35.

Análisis estado de estaciones, diagnostico.

Se identifica que las cinco estaciones de trabajo pueden estar en 4 estados, que son en operación (prestando el servicio, agregando valor), en espera (esperando por una entidad para desarrollar el proceso), Ociosa (sin hacer nada), Bloqueada (ha terminado su proceso pero no puede enviar la entidad hacia adelante porque las estaciones de adelante están llenas de material o no tienen capacidad en el momento para atender la orden). Observamos en general bajo nivel de tiempo en operación, es indicativo de la mayor parte del tiempo de proceso es tiempo improductivo, además altos niveles de ocio en las estaciones corte 1, corte 2 y plegado. En las estaciones de armado predomina el tiempo de espera, esto presumiblemente debido al hecho de que cada una de estas estaciones deben esperar tener todos los productos en procesos necesarios para iniciar el armado del producto, como todos no llegan al mismo tiempo estas estaciones deben esperar hasta que lleguen todos los materiales lo que hace que la mayor cantidad de tiempo se destine a esperar.

Durante el estudio de tiempo se evidencio como las estaciones de armado tenían los mayores tiempos de operación, en ocasiones doblaban y triplicaban los tiempos de corte y plegado respectivamente, esto convierte a estas estaciones en cuellos de botella, lo que se puede evidenciar en mayor medida en los resultados de la simulación, estas estaciones tienen los mayores tiempos de operación de todo el sistema y el ocio más bajo, sabemos que las

estaciones que están detrás de un cuello de botella por lo general tienen problemas de ocio o bloqueo, debido a la imposibilidad de este sector del sistema de adaptarse al ritmo del cuello de botella.

### Análisis de los Medios de transporte

	Número de veces usado	
riel1	93,58	<b>Media</b>
riel1	0,49	<b>DesvEst</b>
riel2	88,01	<b>Media</b>
riel2	0,11	<b>DesvEst</b>
riel3	128,39	<b>Media</b>
riel3	1,97	<b>DesvEst</b>
riel4	53,2	<b>Media</b>
riel4	1,24	<b>DesvEst</b>
riel5	28,58	<b>Media</b>
riel5	1,14	<b>DesvEst</b>

Tabla 14. Análisis de los Medios de transporte, diagnóstico

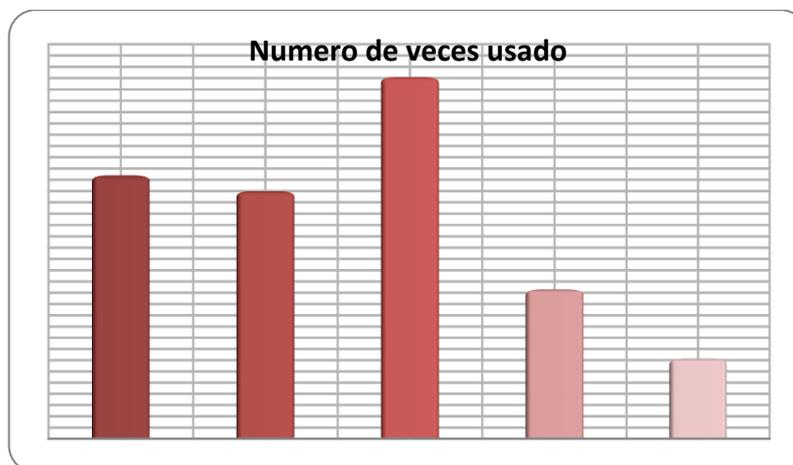


Imagen 35. Analisis

movimientos, diagnóstico.

El riel que presenta mayor número de movimientos, es decir el más usado es el riel 3, con hasta 128 movimientos realizados, esto presumiblemente causado por el hecho de que es el riel que tiene mayor número de puestos que atender

	<b>% En uso</b>	<b>% Moviéndose a ser usado</b>	<b>% En Ocio</b>	
<b>riel1</b>	0,23	0,22	99,55	Media
<b>riel1</b>	0	0	0	DesvEst
<b>riel2</b>	0,17	0,2	99,63	Media
<b>riel2</b>	0	0	0,01	DesvEst
<b>riel3</b>	0,21	0,33	99,46	Media
<b>riel3</b>	0	0,01	0,01	DesvEst
<b>riel4</b>	0,12	0,18	99,7	Media
<b>riel4</b>	0	0,01	0,01	DesvEst
<b>riel5</b>	0,08	0,08	99,85	Media
<b>riel5</b>	0	0	0,01	DesvEst

Tabla 15. Análisis de los Medios de transporte, diagnostico

Una revisión de los estados de los rieles nos revela que en relación al tiempo total de simulación, los rieles permanecen la mayor parte del tiempo en ocio, sin embargo no debe verse esto objetivamente ya que se está comparando con los tiempos totales de la simulación que incluyen los tiempos de proceso de las estaciones.

A nivel de flujo se producen 22 unidades de tanques metálicos, correspondiendo a los valores normales de fabricación de sistema.

A nivel de almacenamiento es posible desarrollar una evaluación del desempeño de este aspecto resaltando los siguientes aspectos positivos y negativos:

- El Espacio es suficiente: las áreas destinadas a almacenamiento son zonas abiertas, las láminas quedan ubicadas una encima de otra dando ofreciendo así una capacidad de almacenamiento considerable.
- El Almacén está bien localizado respecto a las demás estaciones de trabajo, destacando la centralidad y disposición estratégica respecto a las mismas.
- Equipo de almacenamiento eficiente: las maquinas utilizadas para acomodar y tomar las láminas almacenadas son las grúas y rieles; este equipo permite desarrollar movimientos óptimos aun considerando que son

materiales de peso muy considerable -las láminas de metal tienen peso cercano a 1 ton-.

- El desorden encontrado y referenciado en el pre-análisis del sistema puede considerarse como un aspecto a mejorar, aunque se debe acuñar que debido a la dificultad que representa acomodar de manera ordenada las láminas de este tamaño y peso.

La simulación en general refleja problemas de altos niveles de ocio en las estaciones iniciales (cortes y plegado), debido a la imposibilidad de adaptarse al ritmo de la estación cuello de boleta (armados), además se puede afirmar que las restricciones de linealidad de los rieles no tienen un impacto notable en el rendimiento del sistema ya que comparado con los tiempos de proceso los tiempos de transporte no representan un gran porcentaje. También es posible afirmar que los esquemas de almacenamiento responden eficientemente a los requerimientos que se presentan en el sistema modelado.

### 3.10 PROPUESTAS DE MEJORA

La simulación ha sido de gran provecho para cuantificar los problemas operativos que presenta el sistema productivo de IMEC SA. El Jefe de Producción de la empresa IMEC SA plantea que la empresa no planea agregar capacidad al sistema en el corto plazo, el grupo de trabajo entonces plantea el uso de metodologías de Mejora continua, de esta manera apoyados en los resultados de la simulación podemos determinar los indicadores críticos del sistema, esquematizarlos y en base a ello la empresa puede medir el desempeño al corto y mediano plazo.

#### 3.10.1 Diseño de un Manual de Indicadores Críticos

Uno de requerimientos para la implementación de un esquema de mejora continua es la elaboración de un manual de indicadores operativos, a continuación se describen los indicadores contenidos en el manual, y el Anexo 5 muestra el documento Manual de Indicadores Operativos.

**Tiempo de Flujo General:** se sabe que las materias primas llegan en grupos de 25 láminas, y salen lotes de 5 tanques. Este indicador debe medir el tiempo en minutos que pasa entre la llegada del lote de materia prima y la salida del lote de producto terminado. Esto es fácilmente medible, y permitiría evaluar el rendimiento del sistema a corto plazo.

**Tiempo espera de las estaciones de Armado:** Cuanto tiempo pasa entre la llegada del primer producto en proceso y la llegada del resto de materiales para poder empezar a armar el tanque. En el análisis de los resultados se encontró que el tiempo de espera de estas estaciones era bastante alto, la medición de este indicador crítico permitirá determinar que tanto se está logrando en la disminución de esta espera.

**Tiempo ocioso de las estaciones:** Buscamos medir que tanto ocio se está presentando en las estaciones, no es necesario exactitud extrema, sin embargo la medición de este indicador permitirá establecer el impacto de mejoras que prioricen la disminución del ocio.

### 3.10.2. Agregando Capacidad

La empresa ha expresado que no sopesa añadir capacidad al sistema a corto plazo, sin embargo para efectos del estudio resulta interesante analizar cuanto mejoraría el desempeño del sistema si se pudiera incrementar la capacidad de las estaciones cuello de botella. El equipo de trabajo sopesa la posibilidad de agregar un tercer puesto de armado en el modelo de simulación, con la misma capacidad de los dos anteriores y a continuación analiza el rendimiento obtenido, el modelo resultante tendría el siguiente aspecto:

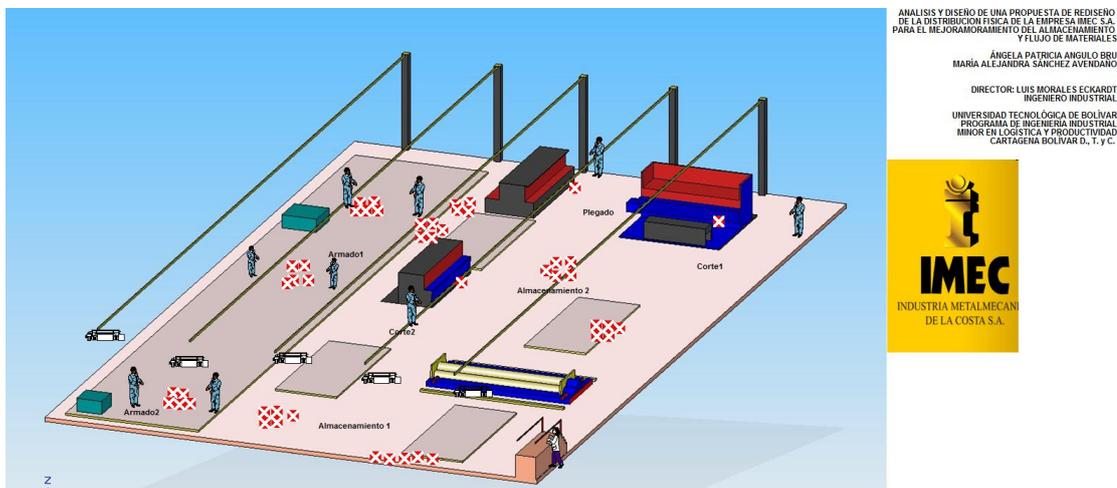


Imagen 36. Modelo de simulación agregando capacidad.

	Total entradas	Minutos por entrada promedio	
<b>Almacenamiento 1</b>	100	37,3	<b>Media</b>
<b>Almacenamiento 1</b>	0	0,66	<b>DesvEst</b>

	Total salidas	
<b>Tanque</b>	25	<b>Media</b>
<b>Tanque</b>	0	<b>DesvEst</b>

Tabla 16. Análisis de los Medios de transporte, agregando capacidad

La producción aumenta con respecto al análisis inicial en 5 unidades, pasando de un flujo de 22 unidades a 25 unidades, además el tiempo promedio de las láminas en almacenamiento pasa de 43,4 min a 37,3 min.

### Análisis de las estaciones por Estado

	En Operación	Ociosa	En Espera	Bloqueada
<b>corte1</b>	12,24	33,99	0,1	53,67
<b>corte1</b>	0,09	0,06	0,01	0,07
<b>corte2</b>	6,96	92,97	0,07	0
<b>corte2</b>	0,11	0,11	0	0
<b>Plegado</b>	3,78	96,17	0,06	0
<b>Plegado</b>	0,09	0,09	0	0
<b>armado1</b>	13,45	11,13	75,41	0
<b>armado1</b>	0,89	0,03	0,9	0
<b>armado2</b>	12,67	11,16	76,17	0
<b>armado2</b>	0,75	0,03	0,75	0
<b>armado3</b>	13,06	11,14	75,79	0
<b>armado3</b>	0,84	0,03	0,84	0

Tabla 17. Análisis de las estaciones por Estado, Agregando capacidad

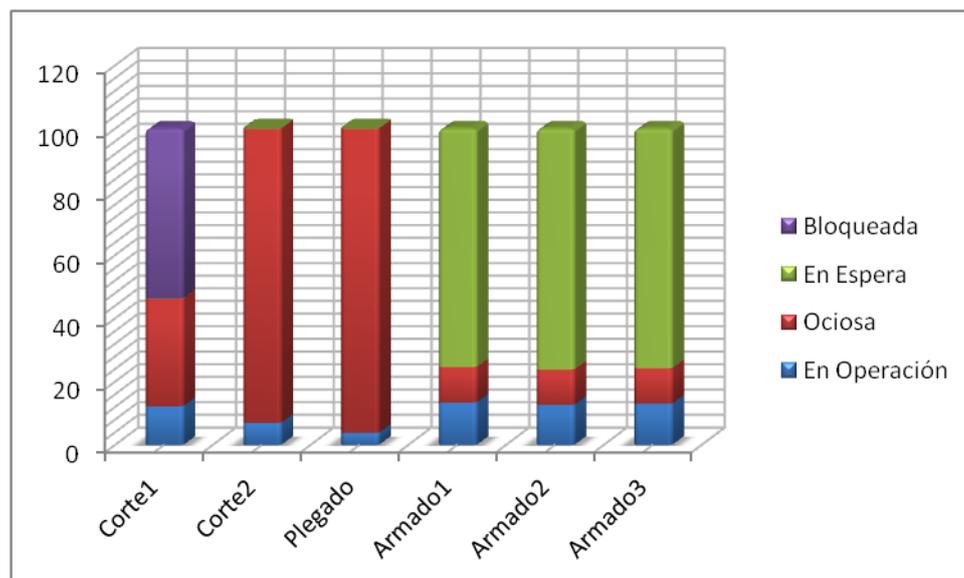


Imagen 37.

Análisis de estados de estaciones, agregando capacidad.

Se observa que los porcentajes de tiempo en proceso aumentan con respecto a la simulación inicial pero muy levemente en corte 1 pasa de 12,15% a 12,24% y desciende levemente en corte 2 (de 7,15% a 6,96%), en plegado (de 3,87% a 3,78%), en armado 1 (20,07% a 13,45%) y en armado 2 (19,87% a 13,06%). En cuanto ha aumentado la capacidad, aumento el número de unidades producidas pero los niveles de ocio y espera respectivamente no presentaron descensos dramáticos. El grupo de trabajo concluye que un necesariamente aumentando capacidad en el cuello de botella aumentara la productividad ostensiblemente, esta mejora alcanzo el objetivo de aumentar la cantidad de unidades producidas, pero su implementación no representa aumentos dramáticos en la productividad del sistema.

### **Análisis de los Medios de Transporte**

	<b>Número de veces usado</b>
<b>riel1</b>	92,41
<b>riel2</b>	90,57
<b>riel3</b>	126,95
<b>riel4</b>	50,35
<b>riel5</b>	30,6

Tabla 18. Análisis de los Medios de transporte, Agregando capacidad.

El desempeño de los medios de transporte no se ve impactado por los cambios en la capacidad de las estaciones de armado.

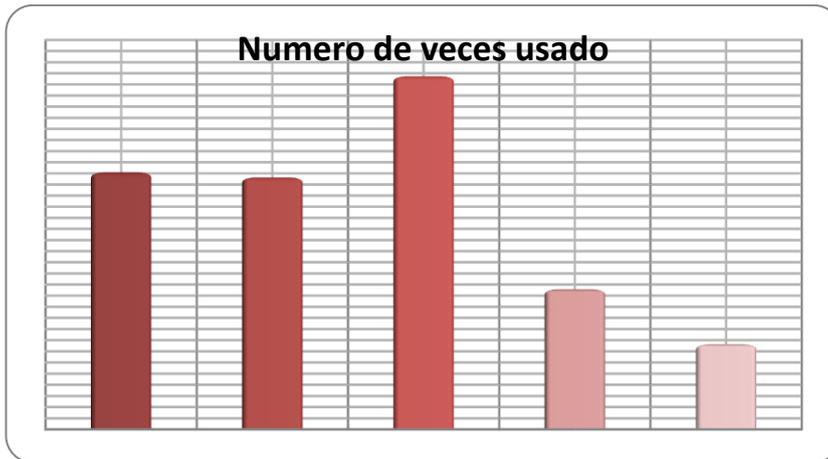


Imagen 38. Análisis

movimientos, agregando capacidad

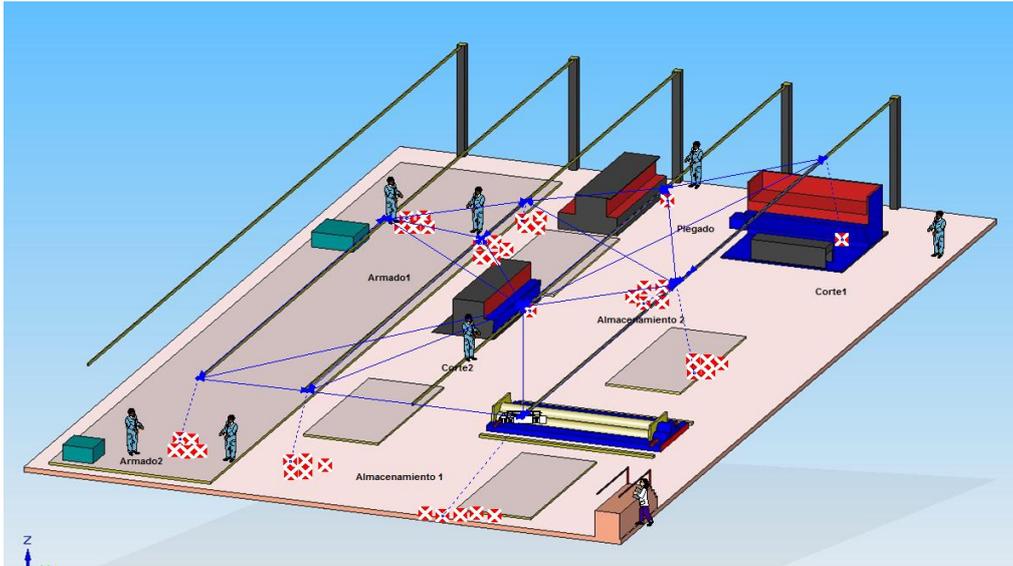
### 3.10.3 Agregando un Puente de Grúa

La organización sopesa implementar un sistema de Puente de grúa para reemplazar el sistema de monorrieles, bajo la hipótesis de que al hacerlo podrá incrementar el rendimiento general del sistema.

Los puente grúas son aparatos destinados al transporte de materiales y cargas en desplazamientos verticales y horizontales en el interior y exterior de industrias o depósitos.

Generalmente consta de una o dos vigas móviles sobre carriles, apoyadas en columnas, consolas, a lo largo de dos paredes opuestas de un edificio rectangular.

El bastidor del puente grúa consta de dos vigas transversales en dirección a la luz de la nave (vigas principales) y de uno o dos pares de vigas laterales (testeros), longitudinales en dirección a la nave y que sirven de sujeción a las primeras y en donde van las ruedas.



Imagen

39. Modelo de simulación con puente de grúa.

Se analiza la implementación de un puente de grúa con dos ganchos, se obtienen los siguientes resultados:

### Entradas y Salidas

	Total entradas	Minutos por entrada promedio	
Almacenamiento 1	100	43,90	Media
Almacenamiento 1	0	1,51	DesvEst
	Total salidas		
Tanque		25	Media
Tanque		0	DesvEst

Tabla 19. Entradas y salidas, Agregando puente de grua.

Con el esquema planteado estaríamos pasando de un flujo de 22 unidades a 25 unidades en el tiempo de producción acordado.

## Análisis de estaciones por estado

	En Operación	Ociosa	En Espera	Bloqueada	
<b>corte1</b>	12,20	33,98	0,32	53,51	<b>Media</b>
<b>corte1</b>	0,11	0,06	0,01	0,09	<b>DesvEst</b>
<b>corte2</b>	7,2	92,47	0,06		<b>Media</b>
<b>corte2</b>	0,16	0,16	0,01		<b>DesvEst</b>
<b>Plegado</b>	3,89	96,10	0,01		<b>Media</b>
<b>Plegado</b>	0,1	0,1	0,01		<b>DesvEst</b>
<b>armado1</b>	20,33	11,19	68,48		<b>Media</b>
<b>armado1</b>	1,16	0,03	1,16		<b>DesvEst</b>
<b>armado2</b>	20,01	11,23	68,76		<b>Media</b>
<b>armado2</b>	1,05	0,03	1,06		<b>DesvEst</b>

Tabla 20. Análisis de las estaciones por Estado, Agregando puente de grua.

## Medios de transporte

	Número de veces usado	
<b>riel1</b>	236.93	<b>Media</b>
<b>riel1</b>	2.11	<b>DesvEst</b>
<b>riel2</b>	156.59	<b>Media</b>
<b>riel2</b>	1.85	<b>DesvEst</b>

Tabla 21. Análisis de medios de transporte Agregando puente de grua.

El rendimiento resultante no refleja grandes diferencias respecto al inicial, lo que lleva al grupo a concluir que esta opción bajo las condiciones actuales no incrementaría dramáticamente el rendimiento y la productividad del sistema. Se propone a la empresa reconsiderar este aspecto, si las condiciones no tienden a cambiar en el futuro inmediato.

## Implicaciones Económicas

Diferentes fuentes analizadas por el grupo de trabajo ofrecen diversas referencias de puentes de grúa, los precios encontrados se encuentran entre

U\$20.000 hasta U\$ 500.000, adicionalmente estos costos habría que agregar el costo de instalación del nuevo medio de transporte.



De acuerdo al portal especializado <http://spanish.alibaba.com/products/double-girder-overhead-crane-price-578158243.html> dedicado a la comercialización de productos de ferretería y estructuras metálicas, un puente de grúa con un alcance del área requerida y con dos ganchos rondaría un precio neto entre U\$30.000 y U\$100.000.

Al no tener información financiera de la empresa y la cantidad de dinero que piensa invertir en maquinaria y equipo en los próximos años, no es posible analizar la viabilidad económica desde el punto de vista de la solvencia y sostenibilidad financiera de la inversión. Está por demás afirmar que desde el punto de vista del análisis realizado la cantidad de unidades adicionales producidas con la inclusión del nuevo sistema no representa un incremento dramático, aunque este análisis como se ve está enfocado a un solo producto y no refleja integralmente el desempeño de sistema.

#### **3.10.4 Uso de Metodologías de Diseño de plantas**

El diseño de plantas puede ser utilizado para encontrar una configuración ideal de las estaciones, con la cual se busca optimizar algunos parámetros como costos o distancia recorrida por los materiales. La distribución de planta en una empresa influye de manera significativa en el desarrollo de sus procesos internos. La planeación de las instalaciones es importante porque las decisiones sobre este tema tienen impacto a largo plazo e influyen en tanto en la estrategia de la empresa, como en la calidad, el aprovechamiento de espacio

y la buena comunicación entre áreas; una buena distribución en planta (layout, en inglés) permite además una buena coordinación entre los distintos departamentos funcionales de la organización. En la presente nota técnica se hará una breve introducción a la distribución en planta y se profundizará en un tipo particular que es la distribución por procesos.

Ha de anotarse que el esquema de diseño de plantas a usar debe tener en cuenta que se cuenta con un solo producto.

### Cálculo de los requerimientos de espacio paramáquinas y departamentos

Contamos con seis estaciones de trabajo (incluidas las zonas de almacenamiento), el método para el cálculo de la distancia aproximada ocupada por cada estación es usar el documento de Autocad entregado por la empresa, el cual está elaborado bajo distancias reales, con lo cual se llega a los siguientes datos:

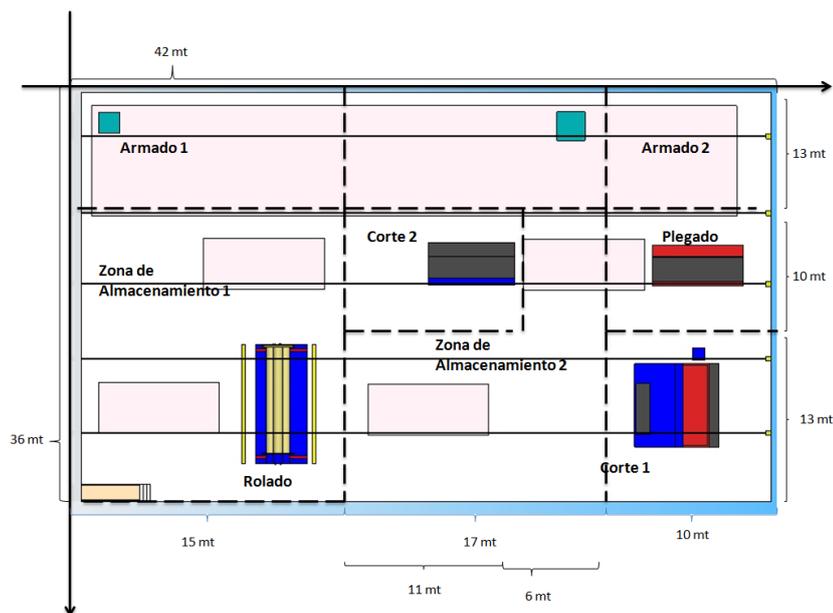


Imagen 40. Dimensiones aproximadas de los puntos de procesamiento.

El problema de distribución de planta es de alta complejidad matemática. Esto es, si existen departamentos y lugares, por lo que métodos exactos sólo son factibles para instancias pequeñas y por esto se utilizan en la práctica diversos métodos heurísticos con los cuales se obtienen buenas soluciones en tiempos

computacionales razonables. A continuación se hace uso de dos del método CRAFT.

### Método CRAFT

Se procede inicialmente con la determinación de los centroides de los puntos de procesamiento, de esta manera obtenemos:

Determinación de Centroides	Ancho			Alto		
	Inicial	Final		Inicial	Final	
1. Almacenamiento 1	0	15	7,5	13	36	24,5
2. Almacenamiento 2	15	32	23,5	13	36	24,5
3. Corte 1	32	42	37	23	36	29,5
4. Corte 2	15	26	20,5	13	23	18
5. Plegado	32	42	37	13	23	18
6. Armado 1	0	15	7,5	0	13	6,5
7. Armado 2	32	42	37	0	13	6,5

Tabla 22. Calculo de centroides de los puntos de procesamiento.

Con esto podemos determinar las distancias entre nodos, por ejemplo si quisiera saber la distancia entre almacenamiento 1 y almacenamiento 2 hacemos  $\text{abs}(7.5-23.5)+\text{abs}(24.5-24.5)= 16$ , procedemos de esta manera con todos los nodos:

Distancias entre Estaciones							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	34,5	19,5	36	18	47,5
2	16	0	18,5	9,5	20	34	31,5
3	34,5	18,5	0	28	11,5	52,5	23
4	19,5	9,5	28	0	16,5	24,5	28
5	36	20	11,5	16,5	0	41	11,5
6	18	34	52,5	24,5	41	0	29,5
7	47,5	31,5	23	28	11,5	29,5	0

Tabla 23. Calculo de distancia entre estaciones.

Debemos determinar cuáles son las rutas que siguen los materiales que conforman el producto, sabemos que son dos, la mismas que van hacia corte 1 y las que van a corte 2, las cuales a su vez también deben pasar por plegado;

Ruta de materiales 1: 1-2, 2-3, 3-2, 2-6 o 2-7, 6-1 o 7-1

Ruta de materiales 2: 1-4, 4-2, 2-6 o 2-7, 4-5, 5-6 o 5-7, 6-1 o 7-1

Dado que existen dos estaciones de armado, existe una probabilidad de que el material sea enviado a alguna de las dos, para aligerar la complejidad del cálculo se tomara esa probabilidad del 0.5 y se tomara este valor en el cuadro de número de viajes de una unidad, A continuación se consigna la cantidad de veces que el producto o parte de él pasa por cada una de las estaciones:

Resumen General de viajes por unidad							
	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1			
2			1			0,5	0,5
3		1					
4		1			1		
5						0,5	0,5
6	0,5						
7	0,5						

Tabla 24. Resumen General de viajes por unidad.

Multiplicando las distancias entre nodos y el número de viajes, obtenemos el número de metros que han recorrido los materiales para obtener una unidad de producto, bajo esta configuración:

Distancias por Número de viajes							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	0	19,5	0	0	0
2	0	0	18,5	0	0	17	15,75
3	0	18,5	0	0	0	0	0
4	0	9,5	0	0	16,5	0	0
5	0	0	0	0	0	20,5	5,75
6	9	0	0	0	0	0	0
7	23,75	0	0	0	0	0	0

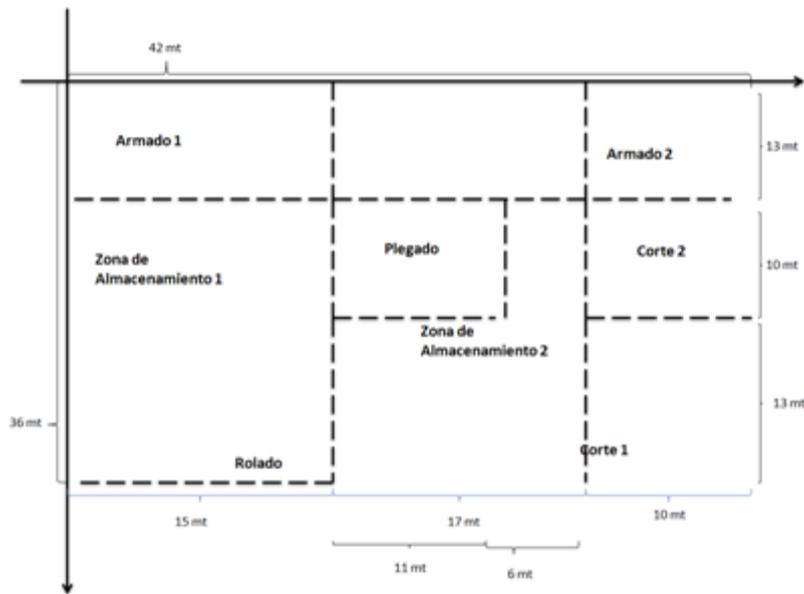
<b>Mts recorridos</b>	190,25
-----------------------	--------

Tabla 25. Distancias por numero de viajes.

Con el método CRAFT es sencillo encontrar una configuración ideal según un objetivo dado, ya que a partir de las distancias entre los nodos y el ruteo dado puede cuantificar lo que se consume en distancia recorrida o en costos usando una configuración dada. El grupo de trabajo evalúa el método CRAFT y encuentra una opción que podría reducir la distancia recorrida por los materiales y posiblemente aumentar la productividad del sistema; ha de

aclararse que como método heurístico no permitirá o al menos no es el objetivo encontrar el óptimo, pero sí lo es encontrar una configuración cerca al óptimo.

Mejora obtenida:



<b>Mts recorridos</b>	157,5
-----------------------	-------

Se intercambian las posiciones de las estaciones de corte 2 y plegado. A nivel de simulación los puntos de almacenamiento no varían, y los recursos con los que entran en contacto tampoco.

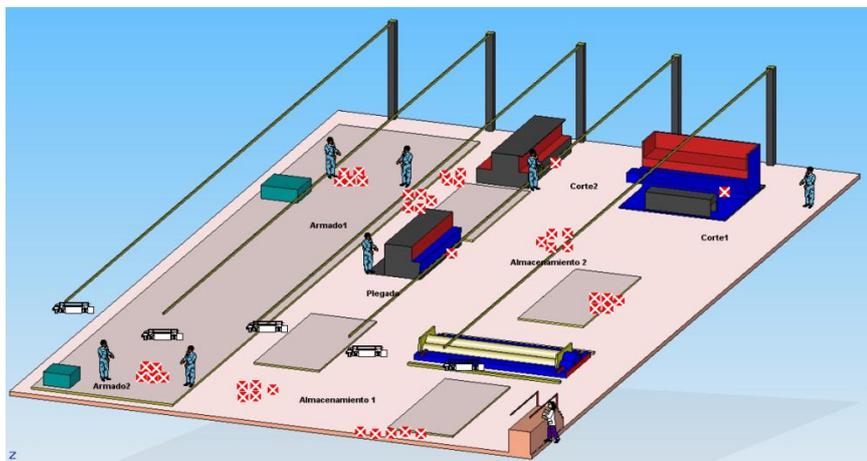


Imagen 40. Dimensiones aproximadas de los puntos de procesamiento aplicando CRAFT.

## Entradas y salidas

	Total entradas	Minutos por entrada promedio	
Almacenamiento 1	100	43,2	Media
Almacenamiento 1	0	2,15	DesvEst
	Total salidas		
Tanque		25	Media
Tanque		0	DesvEst

Tabla 26. Analisis de entradas y salidas aplicando CRAFT.

## Análisis de estaciones por estado

	En Operación	Ociosa	En Espera	Bloqueada	
corte1	12,15	33,99	0,1	53,76	Media
corte1	0,13	0,07	0,01	0,13	DesvEst
corte2	7,15	92,79	0,07	0	Media
corte2	0,16	0,16	0,00		DesvEst
Plegado	3,87	96,07	0,06	0	Media
Plegado	0,11	0,11	0,00		DesvEst
armado1	20,07	11,17	68,76		Media
armado1	1,30	0,03	1,30		DesvEst
armado2	19,87	11,18	68,95		Media
armado2	1,13	0,03	1,13		DesvEst

Tabla 27. Analisis de estaciones por estado.

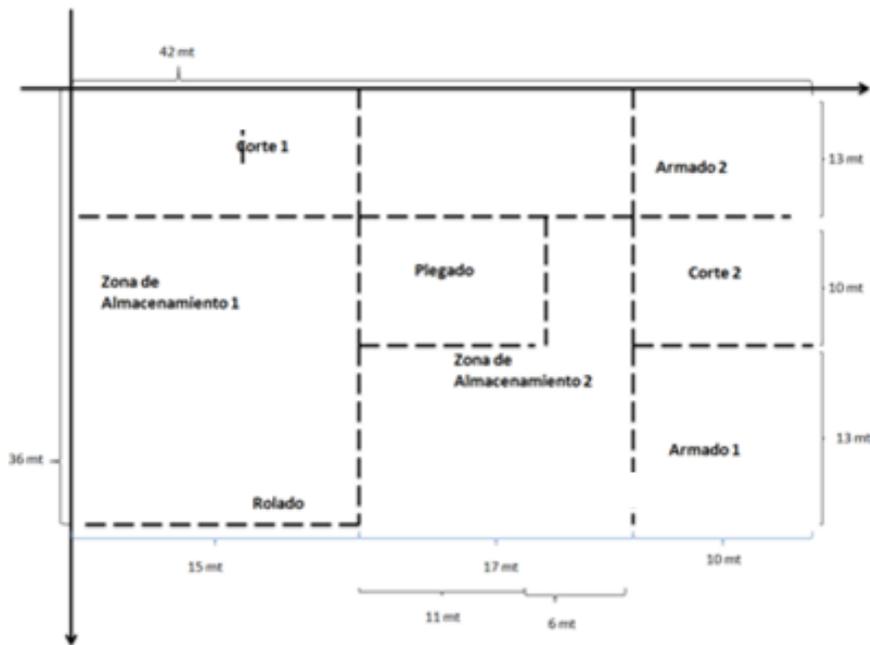
## Medios de transporte

	Número de veces usado
riel1	93,58
riel2	88,01
riel3	128,39
riel4	53,20
riel5	28,58

Tabla 28. Analisis medio de transporte.

El rendimiento del sistema con respecto al resultado inicial genera un mayor número de unidades, pasando de un flujo de 22 unidades a 25 unidades, aunque los niveles de ocio y espera de las estaciones se mantienen estables. El uso de los rieles también se mantiene estable, por lo que esta opción puede ser tenida en cuenta si se quiere explotar en mayor medida la capacidad de producción del sistema, sin realizar inversiones de capacidad, ya que solo radica en el reordenamiento o reubicación de dos estaciones.

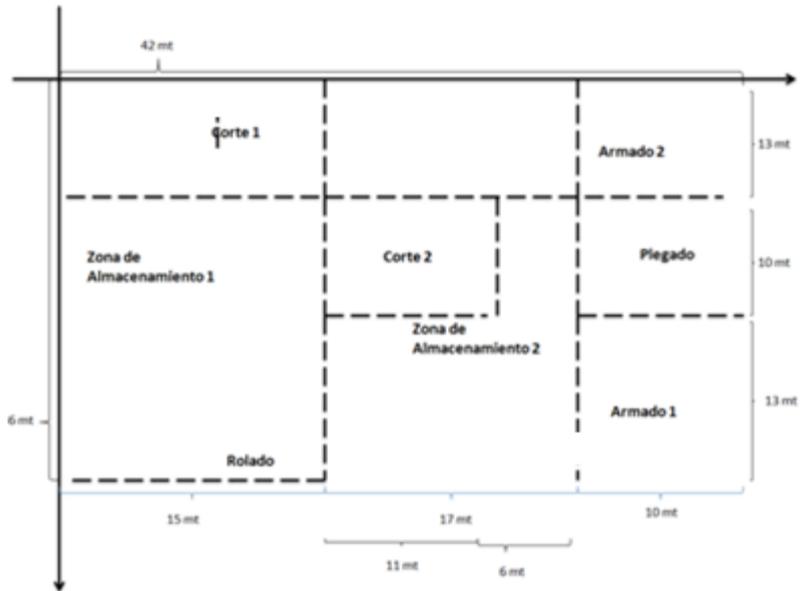
Otros cambios analizados fueron:



- En la que plegado intercambia ubicación con corte 2 y armado 1 intercambia con corte 1, obtenemos los siguientes datos:

Determinación de Centroides	Ancho			Alto		
	Inicial	Final		Inicial	Final	
1. Almacenamiento 1	0	15	7,5	13	36	24,5
2. Almacenamiento 2	15	32	23,5	13	36	24,5
3. Corte 1	0	15	7,5	0	13	6,5
4. Corte 2	32	42	37	13	23	18
5. Plegado	0	15	7,5	13	23	18
6. Armado 1	32	42	37	23	36	29,5
7. Armado 2	32	42	37	0	13	6,5
<b>Distancias entre Estaciones</b>						

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	18	36	6,5	34,5	47,5
2	16	0	34	20	22,5	18,5	31,5
3	18	34	0	41	11,5	52,5	29,5
4	36	20	41	0	29,5	11,5	11,5
5	6,5	22,5	11,5	29,5	0	41	41
6	34,5	18,5	52,5	11,5	41	0	23
7	47,5	31,5	29,5	11,5	41	23	0
<b>Resumen General de viajes por unidad</b>							
	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1			
2			1			0,5	0,5
3		1					
4		1			1		
5						0,5	0,5
6	0,5						
7	0,5						
<b>Distancias por Número de viajes</b>							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	0	36	0	0	0
2	0	0	34	0	0	9,25	15,75
3	0	34	0	0	0	0	0
4	0	20	0	0	29,5	0	0
5	0	0	0	0	0	20,5	20,5
6	17,25	0	0	0	0	0	0
7	23,75	0	0	0	0	0	0
	<b>Metros recorridos</b>	276,5					



- En esta opción corte 2 y plegado vuelven a sus posiciones iniciales y corte 1 y armado 1 intercambian posiciones.

Determinación de Centroides	Ancho			Alto		
	Inicial	Final		Inicial	Final	
1. Almacenamiento 1	0	15	7,5	13	36	24,5
2. Almacenamiento 2	15	32	23,5	13	36	24,5
3. Corte 1	0	15	7,5	0	13	6,5
4. Corte 2	15	26	20,5	13	23	18
5. Plegado	32	42	37	13	23	18
6. Armado 1	32	42	37	23	36	29,5
7. Armado 2	32	42	37	0	13	6,5

Distancias entre Estaciones							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	18	19,5	36	34,5	47,5
2	16	0	34	9,5	20	18,5	31,5
3	18	34	0	24,5	41	52,5	29,5
4	19,5	9,5	24,5	0	16,5	28	28
5	36	20	41	16,5	0	11,5	11,5
6	34,5	18,5	52,5	28	11,5	0	23
7	47,5	31,5	29,5	28	11,5	23	0

Resumen General de viajes por unidad							
	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1			
2			1			0,5	0,5
3		1					

4		1			1		
5						0,5	0,5
6	0,5						
7	0,5						
Distancias por Número de viajes							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	0	19,5	0	0	0
2	0	0	34	0	0	9,25	15,75
3	0	34	0	0	0	0	0
4	0	9,5	0	0	16,5	0	0
5	0	0	0	0	0	5,75	5,75
6	17,25	0	0	0	0	0	0
7	23,75	0	0	0	0	0	0
	Metros recorridos	207					

Con las opciones evaluadas se obtienen como metros recorridos 275.5 y 270, cantidad superior a la inicial y la obtenida en el primer cambio posicional. En conclusión la opción de reubicación más viable desde el punto de vista del algoritmo es la obtenida inicialmente.

#### 4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

La empresa IMEC SA se dedica a la elaboración de productos relacionados con la industria metalmecánica, es líder en la costa y ha recibido varios certificados y reconocimientos que lo ubican como tal. Su sistema productivo está constituido por 5 estaciones de trabajo, específicamente dos estaciones de corte, una estación de plegado y dos estaciones de armado.

Múltiples problemas logísticos se presentan en el interior del sistema productivo, por ello esta monografía va enfocada a utilizar herramientas que permitan identificar los problemas y cuantificar el impacto de dichos problemas en el rendimiento global del sistema, para ello se hace uso de la herramienta simulación, capaz de representar sistemas reales en modelo a fin de estudiar y mejorar el sistema real.

El proceso inicio con la definición del problema y alcance, delimitando el análisis al estudio de la producción de uno de los productos que fabrica la empresa, se trata de un tanque metálico, cuyas especificaciones y esquema de fabricación fue tenido en cuenta, para elaborar luego todo un esquema de procesos, flujos y almacenamientos donde intervenían las máquinas y los medios de transportes consistentes en cinco monorrieles industriales utilizados para la movilización de las materias primas, productos en proceso y productos terminados. En base a lo anterior se construyó un modelo conceptual que representara fielmente lo que se reflejaba en la realidad.

Se realizó una recolección de los datos de las variables previamente definidas en el estudio, estos datos recibieron todo un tratamiento estadístico a fin de parametrizarla, es decir expresarlas como una distribución de probabilidad, para así poder ingresarlas en el modelo informático de simulación. El programa sobre el cual se trabajo fue el software Promodel, amigable, fácil de usar y lo suficientemente robusto para el sistema a modelar. Al construir el modelo se tomaron las consideraciones necesarias en cuanto al código y en cuanto a la realidad, al construirlo se determinaron esquemas de verificación y validación que fueron aplicados obteniendo resultados satisfactorios.

Se corrió el modelo de simulación y se analizaron los resultados observamos en general bajo nivel de tiempo en operación, es indicativo de la mayor parte del tiempo de proceso es tiempo improductivo, además altos niveles de ocio en las estaciones corte 1, corte 2 y plegado. En las estaciones de armado predomina el tiempo de espera, esto presumiblemente debido al hecho de que cada una de estas estaciones deben esperar tener todos los productos en procesos necesarios para iniciar el armado del producto, como todos no llegan al mismo tiempo estas estaciones deben esperar hasta que lleguen todos los materiales lo que hace que la mayor cantidad de tiempo se destine a esperar.

Durante el estudio de tiempo se evidencio como las estaciones de armado tenían los mayores tiempos de operación, en ocasiones doblaban y triplicaban los tiempos de corte y plegado respectivamente, esto convierte a estas estaciones en cuellos de botella, lo que se puede evidenciar en mayor medida en los resultados de la simulación, estas estaciones tienen los mayores tiempos de operación de todo el sistema y el ocio más bajo, sabemos que las estaciones que están detrás de un cuello de botella por lo general tienen problemas de ocio o bloqueo, debido a la imposibilidad de este sector del sistema de adaptarse al ritmo del cuello de botella.

La simulación ha sido de gran provecho para cuantificar los problemas operativos que presenta el sistema productivo de IMEC SA. El Jefe de Producción de la empresa IMEC SA plantea que la empresa no planea agregar capacidad al sistema en el corto plazo, el grupo de trabajo entonces plantea el uso de metodologías de Mejora continua, de esta manera apoyados en los resultados de la simulación podemos determinar los indicadores críticos del sistema, esquematizarlos y en base a ello la empresa puede medir el desempeño al corto y mediano plazo. El grupo de trabajo determina los indicadores críticos y elabora un manual de indicadores, enfocado a evaluar el desempeño en relaciona los aspectos críticos encontrados en la simulación.

Se analizaron varias posibles mejoras, inicialmente una relacionada con agregar capacidad y la otra la implementación de un puente de grúa para reemplazar el sistema de monorrieles. La estrategia de incremento de la

capacidad, aumento el número de unidades producidas pero los niveles de ocio y espera respectivamente no presentaron descensos dramáticos. El grupo de trabajo concluye que un necesariamente aumentando capacidad en el cuello de botella aumentara la productividad ostensiblemente, esta mejora alcanzo el objetivo de aumentar la cantidad de unidades producidas, pero su implementación no representa aumentos dramáticos en la productividad del sistema. El rendimiento resultante con el uso de un puente de grúa no refleja grandes diferencias respecto al inicial, lo que lleva al grupo a concluir que esta opción bajo las condiciones actuales no incrementaría dramáticamente el rendimiento y la productividad del sistema. Se propone a la empresa reconsiderar este aspecto, si las condiciones no tienden a cambiar en el futuro inmediato. Finalmente se plantearon dos opciones relacionadas con la redistribución de la planta obteniéndose resultados donde las unidades producidas aumentaban, aunque los niveles de ocio y espera no presentan cambios dramáticos. El grupo de trabajo concluye que un necesariamente aumentando capacidad en el cuello de botella aumentara la productividad ostensiblemente, esta mejora alcanzo el objetivo de aumentar la cantidad de unidades producidas, pero su implementación no representa aumentos dramáticos en la productividad del sistema. El rendimiento resultante con el uso de un puente de grúa no refleja grandes diferencias respecto al inicial, lo que lleva al grupo a concluir que esta opción bajo las condiciones actuales no incrementaría dramáticamente el rendimiento y la productividad del sistema. Se propone a la empresa reconsiderar este aspecto, si las condiciones no tienden a cambiar en el futuro inmediato. También se utilizaron metodologías de diseño de plantas para obtener una configuración que disminuyera el numero de metros recorridos por los materiales, se logro implementar en la simulación obteniéndose incremento en la producción, mas no en los niveles de ocio y espera iniciales, que se mantuvieron estables.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

ASM International Trends in Welding Research. Materials Park, Ohio: ASM International. (2003).

Azarang M., Garcia E. (2006). Simulación y análisis de modelos estocásticos Mc. Graw Hill. México.

Cervera, Ángel (2007). Decisiones de Localización.

Chen, E. Jack., Lee, Young M., Paul, L. Selikson (2002). SimulationModellingPractice and TheoryVolume 10, Issues 3–4, 15 November 2002, Pages 235–245

Diseño Mecánico y Técnicas de Representación (2010). Procesos de fabricación.

Domínguez, Carlos., López, Marco (2008). Monografía: Simulación digital. Facultad de ingeniería de sistemas, tecnológico de estudios superiores Jocotitlan, Mexico.

Dpto. Ingeniería Industrial, Universidad de Chile (2000). Introducción a la Logística y la Cadena de Suministro.

Flores, Carlos Eliseo (2008). Soldadura al arco eléctrico SMAW. Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar.

Garavito, Julio (2008). Conformado de metales, protocolo curso de metales, Escuela Colombiana de ingeniería, edición 2008-1. Facultad ingeniería industrial, laboratorio de producción.

Hernández, Jorge E., Poler Escoto, Raul., Mula Bru, Josefa. 2007. Modelado del sistema decisional de la función logística. Aplicación a una empresa del sector del automóvil. XI Congreso de Ingeniería de Organización ,pag. 0809-0819. Madrid.

Jerry Banks, John S. Carson, Barry L. Nelson (1996) .Discrete-Event System Simulation. Prentice-Hall.

Mondurrey (2003). Aplicación del Kaizen a la logística. Miebach logística, Consultores e ingenieros.

Mora, Luis Aníbal (2011). Los indicadores claves del desempeño logístico, Indicadores de la gestión logística.

Perez, L. (2004). Verificación y validación.

Zuñiga, Raul., Arayam, Oscar (2010). Optimización de la logística de operaciones de una planta de molienda de sal. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile.

## 6. ANEXOS

### Anexo 1. Datos obtenidos premuestreo:

Tiempo de proceso Corte 1		
Minutos	Segundos	Tiempo en Minutos
45	12	45,20
38	19	38,32
40	57	40,95
39	40	39,67
42	46	42,77
41	28	41,47
39	7	39,12
45	50	45,83
45	49	45,82
42	58	42,97
40	46	40,77
42	21	42,35
38	19	38,32
40	4	40,07
42	48	42,80
44	17	44,28
44	8	44,13
43	9	43,15
39	50	39,83
39	42	39,70
41	23	41,38
44	58	44,97
45	37	45,62
39	49	39,82
44	7	44,12
45	47	45,78
38	13	38,22
39	38	39,63

45	47	45,78
41	52	41,87
	<b>Varianzas</b>	6,54
	<b>Promedio</b>	42,16

<b>Tiempo de proceso Corte 2</b>		
<b>Minutos</b>	<b>Segundos</b>	<b>Tiempo en Minutos</b>
51	10	51,17
60	46	60,77
62	29	62,48
53	4	53,07
55	1	55,02
61	59	61,98
62	4	62,07
54	53	54,88
54	29	54,48
57	46	57,77
53	53	53,88
49	27	49,45
50	28	50,47
60	8	60,13
55	14	55,23
58	13	58,22
54	49	54,82
61	26	61,43
54	43	54,72
51	13	51,22
62	36	62,60
61	43	61,72
53	44	53,73
56	10	56,17
62	8	62,13

53	58	53,97
50	14	50,23
49	19	49,32
48	5	48,08
60	41	60,68
	<b>Varianzas</b>	21,33
	<b>Promedio</b>	56,06

<b>Tiempo de proceso Plegado</b>		
<b>Minutos</b>	<b>Segundos</b>	<b>Tiempo en Minutos</b>
30	15	30,25
34	36	34,60
29	49	29,82
31	41	31,68
30	57	30,95
29	41	29,68
25	38	25,63
26	31	26,52
34	25	34,42
26	24	26,40
35	0	35,00
35	11	35,18
33	18	33,30
25	31	25,52
25	28	25,47
27	54	27,90
25	58	25,97
26	23	26,38
26	37	26,62
27	0	27,00
30	42	30,70
30	16	30,27

31	25	31,42
26	27	26,45
25	52	25,87
35	42	35,70
34	17	34,28
25	32	25,53
32	17	32,28
28	39	28,65
	<b>Varianzas</b>	12,16
	<b>Promedio</b>	29,65

<b>Tiempo de proceso Armado</b>			
<b>Horas</b>	<b>Minutos</b>	<b>Segundos</b>	<b>Tiempo en Minutos</b>
6	11	49	371,82
4	57	34	297,57
4	23	8	263,13
6	47	4	407,07
5	28	12	328,20
6	10	24	370,40
5	37	50	337,83
6	8	30	368,50
5	44	0	344,00
5	23	43	323,72
6	54	13	414,22
5	53	37	353,62
4	19	6	259,10
5	23	43	323,72
5	15	22	315,37
4	50	2	290,03

4	15	35	255,58
4	41	14	281,23
4	7	46	247,77
4	41	0	281,00
6	7	20	367,33
4	22	5	262,08
6	57	6	417,10
6	54	4	414,07
4	4	49	244,82
6	27	24	387,40
4	11	36	251,60
5	29	0	329,00
4	26	25	266,42
5	31	56	331,93
		<b>Varianzas</b>	3047,53
		<b>Promedio</b>	323,52

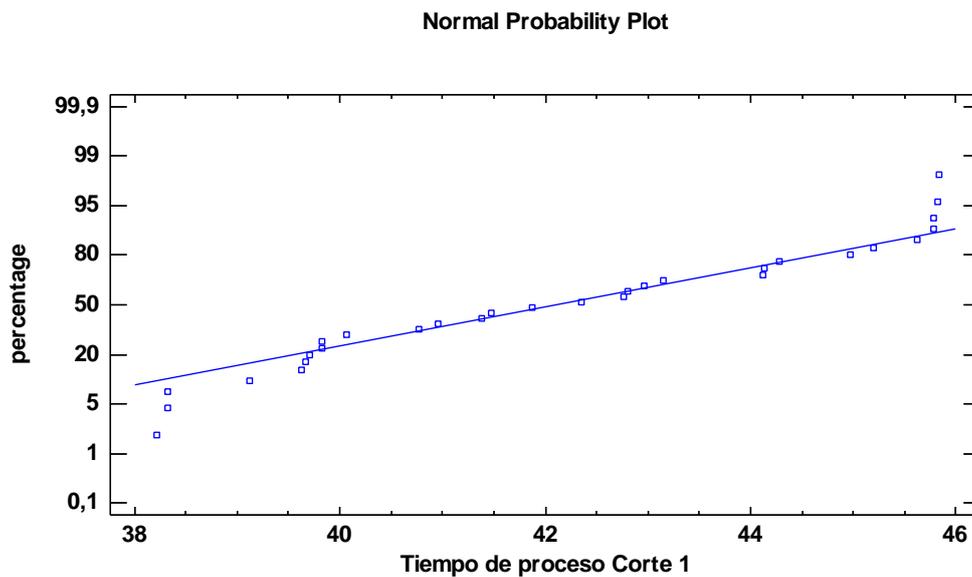
<b>Tiempo de Alistamiento</b>		
<b>Minutos</b>	<b>Segundos</b>	<b>Tiempo en Minutos</b>
1	59	1,98
1	15	1,25
1	41	1,68
1	17	1,28
1	56	1,93
1	21	1,35
1	40	1,67
2	14	2,23
2	32	2,53
1	42	1,70
2	4	2,07
2	32	2,53
1	48	1,80

2	21	2,35
2	3	2,05
2	19	2,32
1	48	1,80
1	48	1,80
2	7	2,12
2	59	2,98
1	7	1,12
1	50	1,83
1	24	1,40
1	17	1,28
1	24	1,40
2	29	2,48
2	51	2,85
1	15	1,25
2	58	2,97
2	8	2,13
	<b>Varianzas</b>	0,28
	<b>Promedio</b>	1,94

## Anexo 2. Pruebas de independencia y normalidad de los datos.

Variable de análisis: Tiempo de corte 1.

Curva de normalidad:



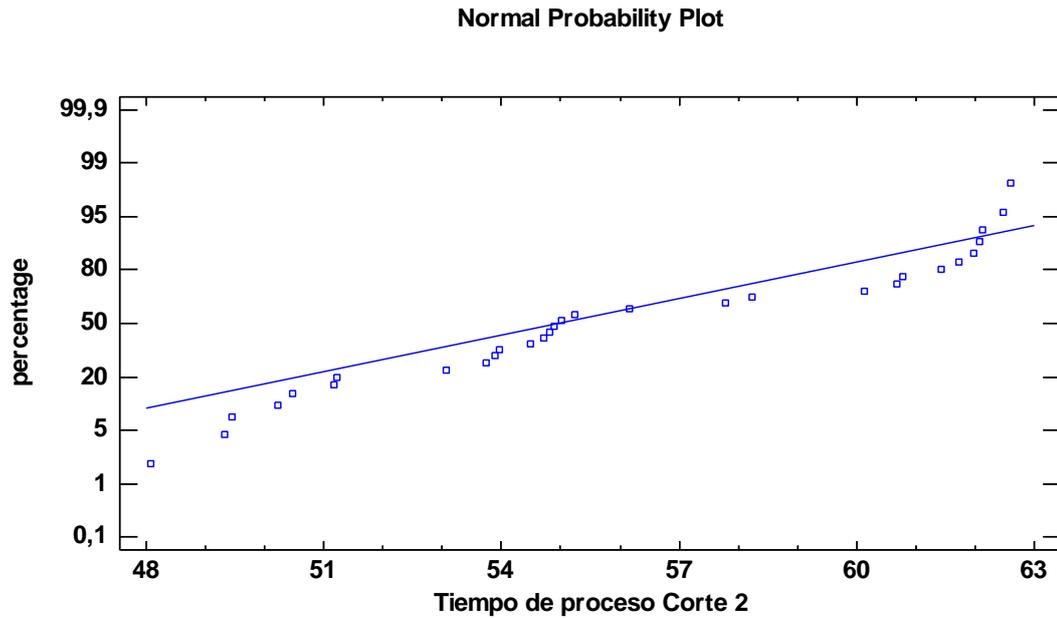
Pruebas de independencia y bondad del ajuste a distribución normal:

runs tests on input		Normal	
runs test (above/below median)		mean	= 42.157
		sigma	= 2.51396
data points	30	Chi Squared	
points above median	15	total classes	4
points below median	15	interval type	equal probable
total runs	16	net bins	4
mean runs	16	chi**2	3.33
standard deviation runs	2.69098	degrees of freedom	3
runs statistic	0	alpha	0.05
level of significance	0.05	chi**2(3,0.05)	7.81
runs statistic(0.025)	1.95996	p-value	0.343
p-value	1	result	DO NOT REJECT
result	DO NOT REJECT	Kolmogorov-Smirnov	
runs test (turning points)		data points	30
data points	30	ks stat	0.13
turning points	16	alpha	0.05
mean turnings	19.6667	ks stat(30,0.05)	0.242
standard deviation turnings	2.23855	p-value	0.643
turnings statistic	1.63796	result	DO NOT REJECT
level of significance	0.05	Anderson-Darling	
turnings statistic(0.025)	1.95996	data points	30
p-value	0.101429	ad stat	0.685
result	DO NOT REJECT	alpha	0.05
		ad stat(0.05)	2.49
		p-value	0.572
		result	DO NOT REJECT

No se rechazan las afirmaciones de que los datos son independientes y no se rechaza la posibilidad de que puedan expresarse bajo una distribución normal con media 42,15 y varianza 6,54.

Variable de análisis: Tiempo de proceso corte 2.

Curva de normalidad:

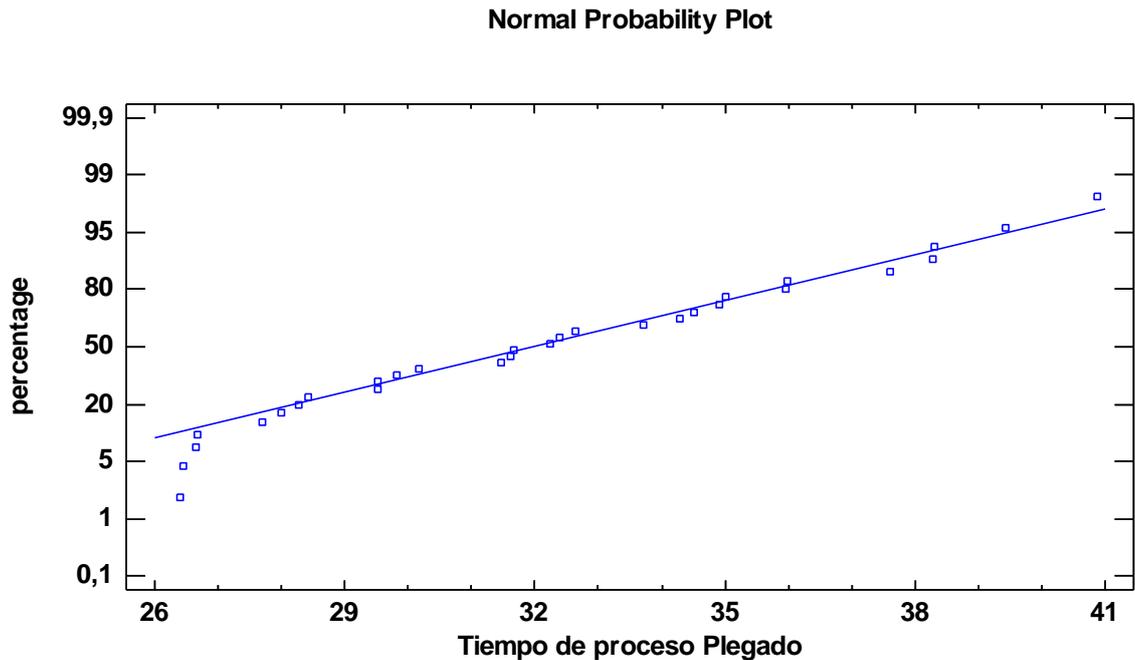


runs tests on input		Normal	
runs test (above/below median)		mean	= 56.063
data points	30	sigma	= 4.54028
points above median	15	Chi Squared	
points below median	15	total classes	4
total runs	16	interval type	equal probable
mean runs	16	net bins	4
standard deviation runs	2.69098	chi**2	4.4
runs statistic	0	degrees of freedom	3
level of significance	0.05	alpha	0.05
runs statistic(0.025)	1.95996	chi**2(3,0.05)	7.81
p-value	1	p-value	0.221
result	DO NOT REJECT	result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)		Kolmogorov-Smirnov	
data points	30	data points	30
turning points	16	ks stat	0.148
mean turnings	19.6667	alpha	0.05
standard deviation turnings	2.23855	ks stat(30,0.05)	0.242
turnings statistic	1.63796	p-value	0.481
level of significance	0.05	result	DO NOT REJECT
turnings statistic(0.025)	1.95996	Anderson-Darling	
p-value	0.101429	data points	30
result	DO NOT REJECT	ad stat	0.844
		alpha	0.05
		ad stat(0.05)	2.49
		p-value	0.45
		result	DO NOT REJECT

No se rechazan las afirmaciones de que los datos son independientes y no se rechaza la posibilidad de que puedan expresarse bajo una distribución normal con media 56,06 y varianza 21,33.

Variable de análisis: Tiempo de proceso Plegado.

Curva de normalidad:

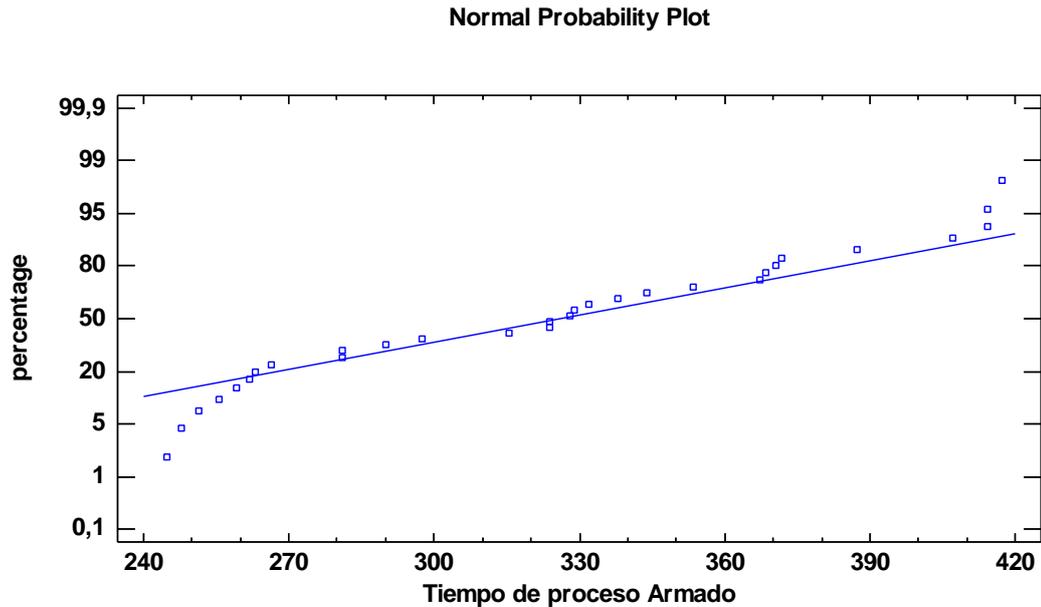


runs tests on input		Normal	
runs test (above/below median)		mean = 29.648	
data points	30	sigma = 3.42837	
points above median	15	Chi Squared	
points below median	15	total classes	4
total runs	12	interval type	equal probable
mean runs	16	net bins	4
standard deviation runs	2.69098	chi**2	6.8
runs statistic	1.48645	degrees of freedom	3
level of significance	0.05	alpha	0.05
runs statistic[0.025]	1.95996	chi**2(3,0.05)	7.81
p-value	0.137161	p-value	0.0786
result	DO NOT REJECT	result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)		Kolmogorov-Smirnov	
data points	30	data points	30
turning points	17	ks stat	0.18
mean turnings	19.6667	alpha	0.05
standard deviation turnings	2.23855	ks stat(30,0.05)	0.242
turnings statistic	1.19125	p-value	0.253
level of significance	0.05	result	DO NOT REJECT
turnings statistic[0.025]	1.95996	Anderson-Darling	
p-value	0.233557	data points	30
result	DO NOT REJECT	ad stat	1.06
		alpha	0.05
		ad stat(0.05)	2.49
		p-value	0.325
		result	DO NOT REJECT

No se rechazan las afirmaciones de que los datos son independientes y no se rechaza la posibilidad de que puedan expresarse bajo una distribución normal con media 29,46 y varianza 12,16.

Variable de análisis: Tiempo de proceso Armado.

Curva de normalidad:



runs tests on input

runs test (above/below median)

data points	30
points above median	15
points below median	15
total runs	15
mean runs	16
standard deviation runs	2.69098
runs statistic	0.371612
level of significance	0.05
runs statistic(0.025)	1.95996
p-value	0.710182
result	DO NOT REJECT

runs test (turning points)

data points	30
turning points	21
mean turnings	19.6667
standard deviation turnings	2.23855
turnings statistic	0.595623
level of significance	0.05
turnings statistic(0.025)	1.95996
p-value	0.551427
result	DO NOT REJECT

Normal

mean	=	323.521
sigma	=	54.2772

Chi Squared

total classes	4
interval type	equal probable
net bins	4
chi**2	3.87
degrees of freedom	3
alpha	0.05
chi**2(3,0.05)	7.81
p-value	0.276
result	DO NOT REJECT

Kolmogorov-Smirnov

data points	30
ks stat	0.12
alpha	0.05
ks stat(30,0.05)	0.242
p-value	0.734
result	DO NOT REJECT

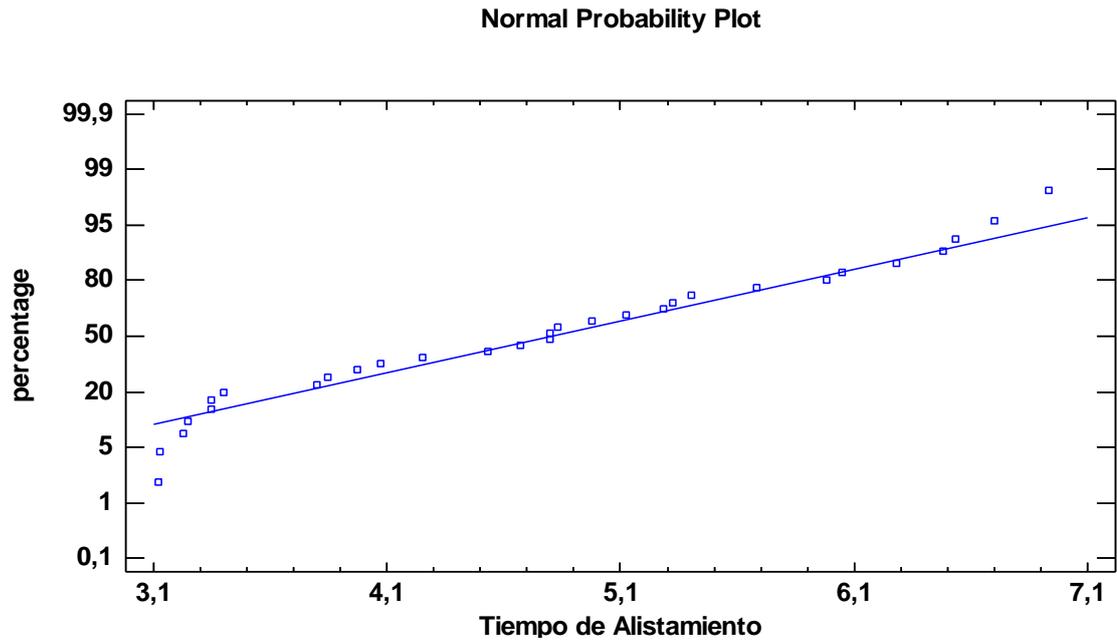
Anderson-Darling

data points	30
ad stat	0.567
alpha	0.05
ad stat(0.05)	2.49
p-value	0.68
result	DO NOT REJECT

No se rechazan las afirmaciones de que los datos son independientes y no se rechaza la posibilidad de que puedan expresarse bajo una distribución normal con media 323,52 y varianza 3047,53.

Variable de análisis: Tiempo de proceso Armado.

Curva de normalidad:



runs tests on input

runs test (above/below median)	
data points	30
points above median	15
points below median	15
total runs	15
mean runs	16
standard deviation runs	2.69098
runs statistic	0.371612
level of significance	0.05
runs statistic(0.025)	1.95996
p-value	0.710182
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	29
turning points	20
mean turnings	19
standard deviation turnings	2.19848
turnings statistic	0.454859
level of significance	0.05
turnings statistic(0.025)	1.95996
p-value	0.649211
result	DO NOT REJECT

Normal	
mean	= 1.93767
sigma	= 0.521221
Chi Squared	
total classes	4
interval type	equal probable
net bins	4
chi**2	0.4
degrees of freedom	3
alpha	0.05
chi**2(3,0.05)	7.81
p-value	0.94
result	DO NOT REJECT
Kolmogorov-Smirnov	
data points	30
ks stat	0.116
alpha	0.05
ks stat(30,0.05)	0.242
p-value	0.776
result	DO NOT REJECT
Anderson-Darling	
data points	30
ad stat	0.371
alpha	0.05
ad stat(0.05)	2.49
p-value	0.876
result	DO NOT REJECT

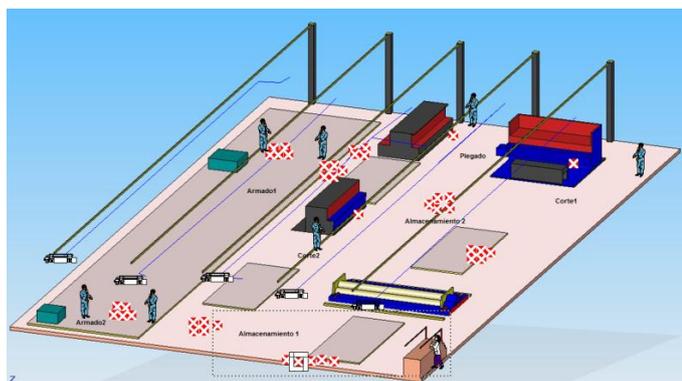
No se rechazan las afirmaciones de que los datos son independientes y no se rechaza la posibilidad de que puedan expresarse bajo una distribución normal con media 1,93 y varianza 0,281.

### Anexo 3. Elaboración de Modelo de simulación.

En la elaboración del modelo se siguieron varios pasos, todos ellos se describen a continuación:

#### Diseño de las locaciones

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats...
	almacenamiento_1	10	1	None	Time Series Oldest
	almacen_2.1	10	1	None	Time Series Oldest
	almacen_2.2	10	1	None	Time Series Oldest
	almacen_plegues	10	1	None	Time Series Oldest
	corte1	1	1	None	Time Series Oldest
	corte2	1	1	None	Time Series Oldest
	Plegado	1	1	None	Time Series Oldest
	armado1	1	1	None	Time Series Oldest
	armado2	1	1	None	Time Series Oldest
	entrega_1	20	1	None	Time Series Oldest
	entrega_2	20	1	None	Time Series Oldest



A las estaciones de trabajo corte 1, corte 2, plegado y armado se les asignó una locación individual. En cuanto a las zonas de almacenamiento se tomaron varias consideraciones en relación que se trataban de zonas delimitadas pero que recibían material en distintos puntos, por ejemplo la zona de almacenamiento 1 (sombreada), recibe materiales en la cabecera (cerca a rolado) y también al lado cerca de armado 2. Es obvio que debido a la

existencia de varios puntos de recibo dentro de una misma zona hubo necesidad de crear varias locaciones dentro de la misma zona, que actuaban grupalmente como una sola locación de almacenamiento. Así almacenamiento 1 y el punto entrega 2 se refieren a la zona de almacenamiento 1 y almacén 2.1, almacén 2.2, almacén pliegues y entrega 1 se refieren a la zona de almacenamiento 2. La capacidad de los puntos de almacenamiento en la realidad tiende a ser muy grande, ya que son zonas al aire libre, sin embargo para efectos de la simulación debe tomarse un numero, dichos numero arbitrariamente se tomaron como 10 y 20 para los puntos de almacenamiento más concurridos.

## Entidades

Las cuatro entidades, lamina, lamina plegar, tanque y lamina corte, representan lamina de materia prima, pliegue, tanque metálico (producto final) y lamina cortada respectivamente.

Icon	Name	Speed (fpm)	Stats...
	Lamina	150	Time Series
	laminaaplegar	150	Time Series
	tanque	150	Time Series
	lamina_corte	150	Time Series

## Arribos

Entity...	Location...	Qty each...	First Time	Occurrences	Frequency
Lamina	almacenamiento_1	25		inf	36 hr

Se definió que los arribos de materia prima se generaban cada semana, se tomo una semana de 6 días con 6 horas cada día, resultan un total de 36 horas, y sabiendo que las materias primas llegan en lotes de 25.

## Redes

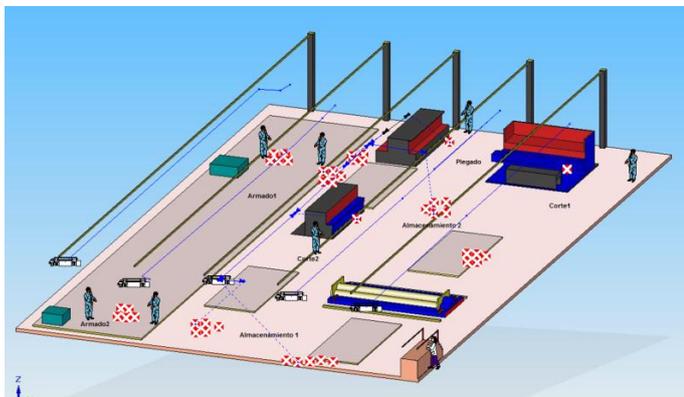
Las redes son las rutas que van a seguir los medios de transporte, dados que son 5 rieles, se necesitan 5 rutas, con nodos en los puntos donde recogen y dejan materiales, estos puntos están analizados en la descripción del problema.

Graphic	Name	Type	T/S	Paths...	Interfaces...
	red1	Passing	Speed & Distance	2	3
	red2	Passing	Speed & Distance	3	4
	red3	Passing	Speed & Distance	7	7
	red4	Passing	Speed & Distance	4	5
	red5	Passing	Speed & Distance	3	4

## Recursos

Los recursos son los cinco rieles, cada uno asignado a una de las redes.

Icon	Name	Units	Dis...	Stats...	Specs...
	riel1	1	None	By Unit	red1, N1
	riel2	1	None	By Unit	red2, N1
	riel3	1	None	By Unit	red3, N1
	riel4	1	None	By Unit	red4, N1
	riel5	1	None	By Unit	red5, N1



## Variables

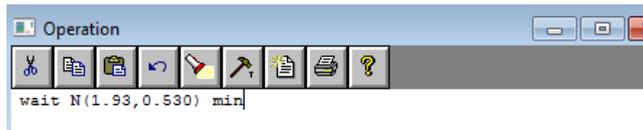
Se crean seis variables tanques producidos calcula cuantos tanques metálicos se han producidos en un instante determinado

Variables (global)					
Icon	ID	Type...	Initial value	Stats...	
	tanques_producidos	Integer	0	Time Series, Time	
	cortes1	Integer	0	Time Series, Time	
	cortes2	Integer	0	Time Series, Time	
	plegados	Integer	0	Time Series, Time	
	armados1	Integer	0	Time Series, Time	
	armados2	Integer	0	Time Series, Time	

## Proceso

El proceso ha sido codificado tal y como se muestra a continuación:

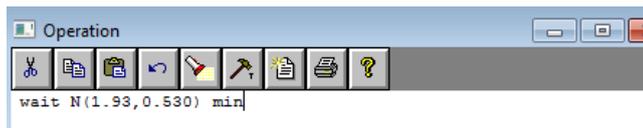
Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	cortes1 = cortes1+1
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	cortes2 = cortes2 + 1
lamina_corte	Plegado	plegados = plegados+1



Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
Lamina		almacen_2.1	FIRST 1	MOVE WITH riel1 OR riel2 THEN FREE
Lamina		corte2	FIRST	MOVE WITH riel3 THEN FREE

Las laminas entran a almacenamiento 1, y son enviadas a almacén 2.1 (movimiento es realizado por el riel 1 o 2) o corte 2 (movimiento es realizado por el riel 3), cada movimiento implica un alistamiento por tanto se causa una espera correspondiente al tiempo de alistamiento ya parametrizado.

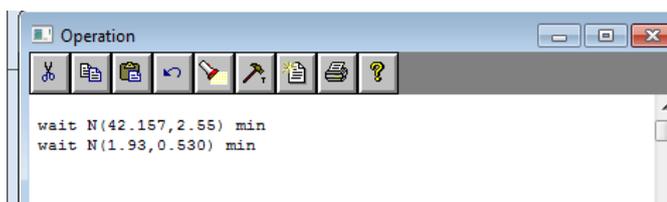
Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	cortes1 = cortes1+1
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	cortes2 = cortes2 + 1



Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
Lamina		corte1	FIRST 1	MOVE WITH riel1 OR riel2 THEN FREE

Las láminas enviadas a almacén 2.1 se envía a corte 1, con el riel 1 o 2.

Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	.157,2.55) minwait N(1.93,0.530) min
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	
lamina_corte	Plegado	
lamina_corte	entrega_1	ACCUM 5

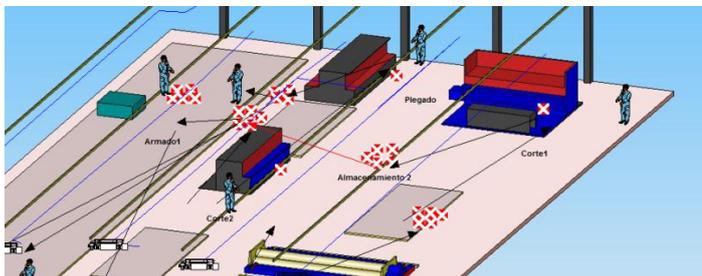


Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
lamina_corte		almacen_2.2	FIRST 1	MOVE WITH riel1 THEN FREE

En corte 1 se produce la transformación y se obtienen laminas cortadas, que consume un tiempo ya estipulado y se envía a almacén 2.2.

Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	
lamina_corte	Plegado	

Slk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	lamina_corte	entrega_1	FIRST 1	MOVE WITH riel3 THEN FREE



Las láminascortadas son enviadas a entrega 1, por medio del riel 3.

Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	.053,4.61) minwait N(1.93,0.530) min
lamina_corte	Plegado	
lamina_corte	entrega_1	ACCUM 5

Operation	
wait N(56.053,4.61) min	
wait N(1.93,0.530) min	

Slk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	lamina_corte	Plegado	FIRST 1	MOVE WITH riel3 THEN FREE
2	lamina_corte	entrega_1	FIRST	MOVE WITH riel3 THEN FREE

De una lámina sale el trozo de corte hacia entrega 1 y un trozo hacia plegado. Debido a que los pliegues son estructuras pequeñas, de ese pequeño retazo

resultante se pueden obtener las 8 piezas de pliegue, por tanto con una pieza de corte enviada es suficiente. Estos envíos los realiza el riel 3.

Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	
lamina_corte	Plegado	.468,3.48) minwait N(1.93,0.530) min
lamina_corte	entrega_1	ACCUM 5
laminaaplegar	almacen_plegues	wait N(1.93,0.530) min

wait N(29.468,3.48) min  
wait N(1.93,0.530) min

Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	laminaaplegar	almacen_plegues	FIRST 1	MOVE WITH riel3 THEN FREE

En plegado se realiza el correspondiente proceso que a su vez consume un tiempo parametrizado, los pliegues se toman como un solo grupo de entidades ya que para transportarlos es necesario solo un viaje y se envían a un punto llamado almacenamiento de pliegues, perteneciente a la zona de almacenamiento 2. El envío de los pliegues se puede hacer manual o por medio del riel, el modelo realizara estos transportes por medio del riel 3.

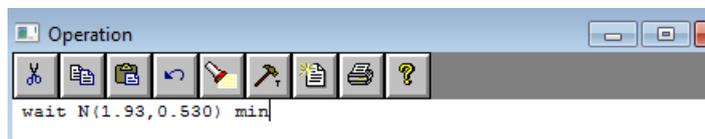
Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	
lamina_corte	Plegado	
lamina_corte	entrega_1	ACCUM 5wait N(1.93,0.530) min
laminaaplegar	almacen_plegues	wait N(1.93,0.530) min
tanque	armado1	JOIN 1 laminaaplegar
tanque	armado2	JOIN 1 laminaaplegar

ACCUM 5  
wait N(1.93,0.530) min

Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	tanque	armado1	FIRST 1	MOVE WITH riel4 or riel5 THEN FREE
2	tanque	armado2	FIRST	MOVE WITH riel4 or riel5 THEN FREE

Las unidades de láminas cortadas enviadas a entrega 1 se acumulan en grupos de 5 (necesarias para armar el tanque) y se envían a las dos estaciones de armado por medio de los rieles 4 y 5. Función accum tiene la función de retener las entidades hasta que se tengan las 5 necesarias.

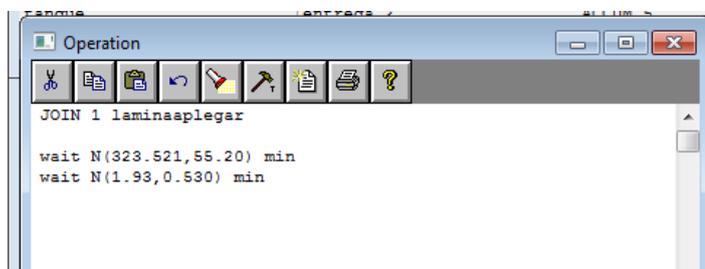
Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	
lamina_corte	Plegado	
lamina_corte	entrega_1	ACCUM 5
laminaaplegar	almacen_pliegues	wait N(1.93,0.530) min
tanque	armado1	JOIN 1 laminaaplegar
tanque	armado2	JOIN 1 laminaaplegar



Slk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	laminaaplegar	armado1	JOIN 1	MOVE WITH riel4 or riel5 THEN FRE...
2	laminaaplegar	armado2	JOIN	MOVE WITH riel4 or riel5 THEN FRE...

Los pliegues se envían también a las estaciones de armado por medio de los rieles 4 y 5.

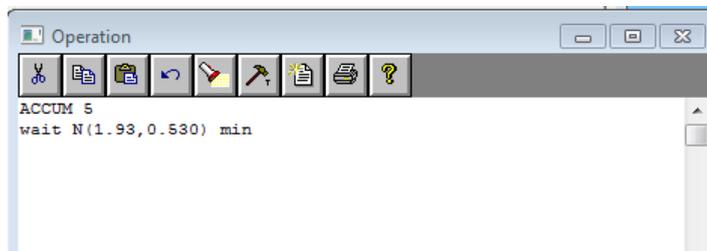
Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	
lamina_corte	Plegado	
lamina_corte	entrega_1	ACCUM 5
laminaaplegar	almacen_pliegues	wait N(1.93,0.530) min
tanque	armado1	JOIN 1 laminaaplegarwait N(323.521,5
tanque	armado2	JOIN 1 laminaaplegar
tanque	entrega_2	ACCUM 5



Slk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	tanque	entrega_2	FIRST 1	MOVE WITH riel4 THEN FRE...

La función Join se usa para unir las piezas de corte con las piezas de pliegue para obtener el tanque metálico. El riel 4 se encarga de enviar el producto hacia el punto entrega 2 correspondiente a la zona de almacenamiento 1. El código es igual para la zona de armado 2.

Entity...	Location...	Operation...
Lamina	almacenamiento_1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	almacen_2.1	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte1	
lamina_corte	almacen_2.2	wait N(1.93,0.530) min
Lamina	corte2	
lamina_corte	Plegado	
lamina_corte	entrega_1	ACCUM 5
laminaaplegar	almacen_plegues	wait N(1.93,0.530) min
tanque	armado1	JOIN 1 laminaaplegar
tanque	armado2	JOIN 1 laminaaplegar
tanque	entrega_2	ACCUM 5wait N(1.93,0.530) min

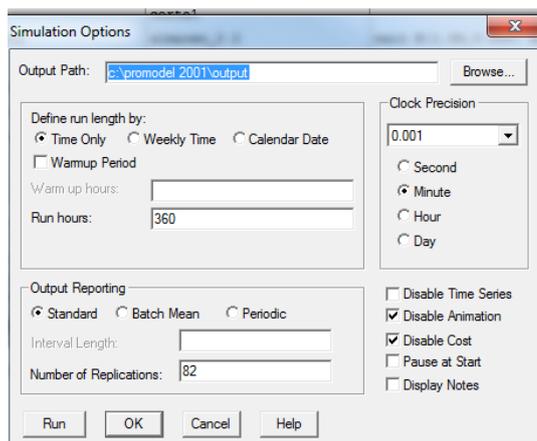


Bix	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
	tanque	EXIT	FIRST 1	

En el punto entrega 2 se acumulan los tanques en grupos de 5 que son enviados al exterior.

## Opciones de simulación

Se acordó un tiempo de simulación de 360 horas, con 82 replicas.



## Anexo 4. Resultados simulación inicial.

### General Report

Output from C:\Users\LOGISTICA\Desktop\Mono\Proyecto\prototipo.mod

Date: Apr/10/2012 Time: 05:16:13 PM

Scenario : Normal Run

Replication : Average

Period : Final Report (0 sec to 360 hr Elapsed: 360 hr)

Simulation Time : 360 hr

### LOCATIONS

#### Average

Location Name	Scheduled Hours	Total Capacity	Minutes Entries	Average Per Entry	Maximum Contents	Average Contents	Current Contents	% Util
almacenamiento 1	360	10	100	43.42	0.20	10	10	2.01 (Average)
almacenamiento 1	0	0	0	2.15	0.00	0	0	0.10 (Std. Dev.)
almacen 2.1	360	10	63.40	1470.82	4.31	10	3.80	43.17 (Average)
almacen 2.1	0	0	0.49	10.91	0.04	0	0.98	0.44 (Std. Dev.)
almacen 2.2	360	10	58.59	2462.29	6.67	10	10	66.79 (Average)
almacen 2.2	0	0	0.49	20.84	0.00	0	0	0.03 (Std. Dev.)
almacen pliegues	360	10	26.59	205.02	0.25	4.03	0	2.53 (Average)

almacen pliegues	0	0	0.49	28.90	0.03	0.74	0	0.39	(Std. Dev.)
corte1	360	1	59.59	239.24	0.66	1	1	66.01	(Average)
corte1	0	0	0.49	2.07	0.00	0	0	0.07	(Std. Dev.)
corte2	360	1	26.59	58.58	0.07	1	0	7.21	(Average)
corte2	0	0	0.49	0.90	0.00	0	0	0.16	(Std. Dev.)
Plegado	360	1	26.59	31.88	0.03	1	0	3.93	(Average)
Plegado	0	0	0.49	0.68	0.00	0	0	0.11	(Std. Dev.)
armado1	360	1	14.43	1332.61	0.88	1	1	88.83	(Average)
armado1	0	0	0.77	70.88	0.00	0	0	0.03	(Std. Dev.)
armado2	360	1	14.15	1358.75	0.88	1	1	88.82	(Average)
armado2	0	0	0.74	73.09	0.00	0	0	0.03	(Std. Dev.)
entrega 1	360	20	48.59	7278.29	16.37	20	20	81.87	(Average)
entrega 1	0	0	0.49	73.87	0.00	0	0	0.02	(Std. Dev.)
entrega 2	360	20	26.59	540.69	0.66	5	1.59	3.33	(Average)
entrega 2	0	0	0.49	19.94	0.02	0	0.49	0.15	(Std. Dev.)

#### LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

	%				
Location	Scheduled	% Partially	%	%	
Name	Hours Empty	Occupied	Full	Down	
-----	-----	-----	-----	-----	----
almacenamiento 1	360	93.69	6.22	0.09	0.00 (Average)
almacenamiento 1	0	0.11	0.11	0.00	0.00 (Std. Dev.)
almacen 2.1	360	34.27	56.00	9.73	0.00 (Average)
almacen 2.1	0	0.07	0.48	0.47	0.00 (Std. Dev.)
almacen 2.2	360	30.43	10.46	59.11	0.00 (Average)
almacen 2.2	0	0.03	0.22	0.22	0.00 (Std. Dev.)
almacenpliegues	360	86.81	13.19	0.00	0.00 (Average)
almacenpliegues	0	0.94	0.94	0.00	0.00 (Std. Dev.)
entrega 1	360	10.25	20.30	69.45	0.00 (Average)
entrega 1	0	0.01	0.02	0.02	0.00 (Std. Dev.)

entrega 2            360 66.46    33.54 0.00 | 0.00 (Average)  
entrega 2            0 6.01      6.01 0.00 | 0.00 (Std. Dev.)

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location	Scheduled	%	%	%	%	%	%
Name	Hours	Operation	Setup	Idle	Waiting	Blocked	Down
corte1	360	12.15	0.00	33.99	0.10	53.76	0.00 (Average)
corte1	0	0.13	0.00	0.07	0.00	0.13	0.00 (Std. Dev.)
corte2	360	7.15	0.00	92.79	0.07	0.00	0.00 (Average)
corte2	0	0.16	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00 (Std. Dev.)
Plegado	360	3.87	0.00	96.07	0.06	0.00	0.00 (Average)
Plegado	0	0.11	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00 (Std. Dev.)
armado1	360	20.07	0.00	11.17	68.76	0.00	0.00 (Average)
armado1	0	1.30	0.00	0.03	1.30	0.00	0.00 (Std. Dev.)
armado2	360	19.87	0.00	11.18	68.95	0.00	0.00 (Average)
armado2	0	1.13	0.00	0.03	1.13	0.00	0.00 (Std. Dev.)

RESOURCES

Average	Average	Average	Average	Average	Average	Average	Average
Number	Minutes	Minutes	Minutes	Minutes	Minutes	Minutes	Minutes
Resource	Scheduled	Of Times	Per	Travel	Travel	% Blocked	
Name	Units	Hours	Used	Usage	To Use	To Park	In Travel % Util
riel1	1	360	93.58	0.52	0.51	0.00	0.00 0.45 (Average)
riel1	0	0	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00 (Std. Dev.)
riel2	1	360	88.01	0.41	0.49	0.00	0.00 0.37 (Average)
riel2	0	0	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00 0.01 (Std. Dev.)
riel3	1	360	128.39	0.35	0.55	0.00	0.00 0.54 (Average)
riel3	0	0	1.97	0.00	0.00	0.00	0.00 0.01 (Std. Dev.)
riel4	1	360	53.20	0.50	0.73	0.00	0.00 0.30 (Average)
riel4	0	0	1.24	0.00	0.03	0.00	0.00 0.01 (Std. Dev.)

riel5	1	360	28.58	0.57	0.59	0.00	0.00	0.15	(Average)
riel5	0	0	1.14	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01	(Std. Dev.)

RESOURCE STATES BY PERCENTAGE

		%	%			%	%		
Resource	Scheduled	% Travel	Travel	%	Idle	Down			
Name	Hours	In Use	To Use	To Park	Idle	Down			
riel1	360	0.23	0.22	0.00	99.55	0.00			(Average)
riel1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			(Std. Dev.)
riel2	360	0.17	0.20	0.00	99.63	0.00			(Average)
riel2	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00			(Std. Dev.)
riel3	360	0.21	0.33	0.00	99.46	0.00			(Average)
riel3	0	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00			(Std. Dev.)
riel4	360	0.12	0.18	0.00	99.70	0.00			(Average)
riel4	0	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00			(Std. Dev.)
riel5	360	0.08	0.08	0.00	99.85	0.00			(Average)
riel5	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00			(Std. Dev.)

FAILED ARRIVALS

Entity	Location	Total	
Name	Name	Failed	
Lamina	almacenamiento 1	0	(Average)
Lamina	almacenamiento 1	0	(Std. Dev.)

ENTITY ACTIVITY

	Average	Average	Average	Average	Average	Average	Average	Average
Entity	Total	Quantity	In	In Move	Wait For	In		
Name	Exits	In System	System	Logic	Res, etc.	Operation	Blocked	
Lamina	0	14.80	-	-	-	-	-	(Average)
Lamina	0	0.98	-	-	-	-	-	(Std. Dev.)

laminaaplegar	26.59	0	445.72	4.98	0.00	93.59	347.14 (Average)
laminaaplegar	0.49	0	38.48	0.04	0.00	1.13	38.61 (Std. Dev.)
tanque	22.8	3.59	1214.70	7.43	210.30	377.07	96.88 (Average)
tanque	2.7	0.49	45.31	0.14	43.98	11.93	46.67 (Std. Dev.)
laminacorte	0	30	-	-	-	-	- (Average)
laminacorte	0	0	-	-	-	-	- (Std. Dev.)

ENTITY STATES BY PERCENTAGE

	%	%		%	%
Entity	In Move	Wait For		%	%
Name	Logic	Res, etc.	In Operation	Blocked	
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Lamina	-	-	-	-	(Average)
Lamina	-	-	-	-	(Std. Dev.)
laminaaplegar	1.13	0.00	21.16	77.71	(Average)
laminaaplegar	0.10	0.00	1.96	2.05	(Std. Dev.)
tanque	0.06	17.36	3.10	79.47	(Average)
tanque	0.00	0.35	0.09	0.35	(Std. Dev.)
laminacorte	-	-	-	-	(Average)
laminacorte	-	-	-	-	(Std. Dev.)

## **Anexo 5.MANUAL DE INDICADORES**

### **JUSTIFICACIÓN**

La empresa IMEC SA ha sido objeto de un análisis de desempeño apoyado en herramientas de simulación. Los directivos de la empresa han apoyado y han mostrado interés en verificar y cuantificar el impacto de los problemas que se están presentando a nivel operativo en la empresa.

A nivel operativo se identificó la presencia de un cuello de botella correspondiente a las estaciones de armado, que como consecuencia generaba altos niveles de ocio en las estaciones anteriores. A fin de medir el impacto de las mejoras que la empresa pretenda implementar a largo plazo y apoyándose en los resultados de la simulación se formularon tres indicadores críticos que deben medirse para evaluar la mejoría de los problemas frente a futuras soluciones.

El manual de indicadores se pone a disposición de la empresa IMEC SA a fin de que apoye en los procesos de mejora y permita el alcance de niveles superiores de productividad, el manual de Indicadores debe ser manipulado y puesto en práctica por el Jefe de Producción de la empresa IMEC SA.

### **INDICADORES**

#### **Tiempo de Flujo General**

Se sabe que las materias primas llegan en grupos de 25 láminas, y salen lotes de 5 tanques. Este indicador debe medir el tiempo en minutos que pasa entre la llegada del lote de materia prima y la salida del lote de producto terminado. Esto es fácilmente medible, y permitiría evaluar el rendimiento del sistema a corto plazo.

Este indicador responde a los criterios de consistencia, agregabilidad y trazabilidad (es comparable en el tiempo).

**Forma de Calculo:** Se debe anotar en el formato Medición del Tiempo de Flujo (se muestra a continuación), la hora y fecha a la que ingresa la materia prima y




**Tiempo espera de las estaciones de Armado**

Cuanto tiempo pasa entre la llegada del primer producto en proceso y la llegada del resto de materiales para poder empezar a armar el tanque. En el análisis de los resultados se encontró que el tiempo de espera de estas estaciones era bastante alto, la medición de este indicador crítico permitirá determinar que tanto se está logrando en la disminución de esta espera.

Este indicador responde a los criterios de consistencia, agregabilidad y trazabilidad (es comparable en el tiempo).

**Forma de Calculo:** Se debe anotar en el formato Tiempo de espera estaciones de armado, la fecha y hora en la que llega la primera de las cinco piezas de corte y la fecha y hora en la que llega la última, se hace una resta se anota el resultado en la casilla correspondiente. Debe marcarse con una X si se está analizando armado 1 o armado 2.

**Unidades:** Se debe medir en Hr.




**Tiempo ocioso de las estaciones:** Buscamos medir que tanto ocio se está presentando en las estaciones, no es necesario exactitud extrema, sin embargo la medición de este indicador permitirá establecer el impacto de mejoras que prioricen la disminución del ocio.

Este indicador responde a los criterios de consistencia, agregabilidad y trazabilidad (es comparable en el tiempo).

**Forma de Calculo:** Se debe anotar en el formato Tiempo de Ocio por estaciones, la idea en este indicador es llevar un control diario, el formato permitirá anotar el tiempo ocio estimado por el Jefe de producción o quien delegue. Adicionalmente se podrá anotar si es posible saber las razones del ocio, que podrían ser ausencia de trabajo, ausentismo laboral etc.

**Unidades:** Se debe medir en Hr.




### Anexo 6. Resultados CRAFT para mejora

Determinación de Centroides	Ancho			Alto		
	Inicial	Final		Inicial	Final	
1. Almacenamiento 1	0	15	7,5	13	36	24,5
2. Almacenamiento 2	15	32	23,5	13	36	24,5
3. Corte 1	32	42	37	23	36	29,5
4. Corte 2	32	42	37	13	23	18
5. Plegado	15	26	20,5	13	23	18
6. Armado 1	0	15	7,5	0	13	6,5
7. Armado 2	15	42	28,5	0	13	6,5

Distancias entre Estaciones							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	34,5	36	19,5	18	39
2	16	0	18,5	20	9,5	34	23
3	34,5	18,5	0	11,5	28	52,5	31,5
4	36	20	11,5	0	16,5	41	20
5	19,5	9,5	28	16,5	0	24,5	19,5
6	18	34	52,5	41	24,5	0	21
7	39	23	31,5	20	19,5	21	0

Resumen General de viajes por unidad							
	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1			
2			1			0,5	0,5
3		1					
4		1			1		
5						0,5	0,5
6	0,5						
7	0,5						

Distancias por Numero de viajes							
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	16	0	36	0	0	0
2	0	0	18,5	0	0	17	11,5
3	0	18,5	0	0	0	0	0
4	0	20	0	0	16,5	0	0
5	0	0	0	0	0	12,25	9,75
6	9	0	0	0	0	0	0
7	19,5	0	0	0	0	0	0

<b>Mts recorridos</b>	157,5
-----------------------	-------