

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Departamento de Ingeniería Industrial



Diseño de proceso de producción de ollas de hierro fundido con diferentes escenarios en realidad virtual, para análisis de procesos y gestión logística.

Trabajo de graduación presentado por Marco Antonio Curley Calderón para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial.

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Departamento de Ingeniería Industrial



Diseño de proceso de producción de ollas de hierro fundido con diferentes escenarios en realidad virtual, para análisis de procesos y gestión logística.

Trabajo de graduación presentado por Marco Antonio Curley Calderón para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial.

Guatemala,

2023

Vo.Bo. Asesor

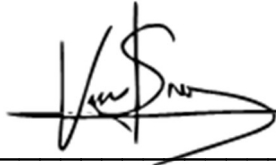


Ing. Mardoqueo Velásquez Gómez

Vo.Bo. Terna Examinadora



Ing. Mardoqueo Velásquez Gómez



Inga. Vivian Judith Sigüenza Tobías



Inga. Ingrid Lorena de León Vilaseca

Fecha de Aprobación: 22 de junio 2023

Contenido

Lista de diagramas	i
Lista de tablas	i
Lista de figuras	i
Lista de anexos	i
Resumen	ii
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	4
A. General	4
B. Específicos	4
IV. Marco teórico	5
A. Definición de realidad virtual	5
B. Casos de éxito en capacitación y formación	5
1. Capacitación en mantenimiento de motores de inducción	6
2. Realidad virtual aplicada a construcción	6
3. Aplicación en conceptos tridimensionales	7
4. Aplicación en ambientes multidisciplinares	7
5. Formación en Industria 4.0	8
C. Realidad virtual en la optimización de procesos industriales	8
D. Teoría de restricciones	10
E. Identificar la restricción	10
F. Logística	12
1. Efecto látigo (Bullwhip effect)	12
2. Incoterms	13
V. Establecimiento de proceso de producción	14
A. Descripción general	14
1. Producto	14
2. Proceso de producción	15

B.	Diagramas de proceso de producción	17
1.	Lista de materiales	17
2.	Diagrama de operaciones del proceso	18
3.	Descripción de operaciones del sistema	21
C.	Definición de maquinaria	22
1.	Descripción de maquinaria necesaria	23
2.	Distribución de planta de producción	26
3.	Diagrama de recorrido	28
4.	Definición de estaciones de trabajo	28
5.	Servicios complementarios	29
VI.	Simulación del proceso en SIMIO Simulation	30
A.	Escenario 1 Tiempo en cola	32
1.	Guía para catedráticos	32
2.	Guía para estudiantes	33
B.	Escenario 2 Tiempos activos e inactivos	37
1.	Guía para catedráticos	37
2.	Guía para estudiantes	39
C.	Escenario 3 Logística	43
1.	Guía para catedráticos	43
2.	Guía para estudiantes	44
D.	Validación de prototipo	50
VII.	Conclusiones	53
VIII.	Recomendaciones	55
IX.	Bibliografía	56
X.	Anexos	58

Lista de diagramas

Diagrama 1 – Bill of materials	17
Diagrama 2 – Diagrama de operaciones de proceso	20
Diagrama 3 - Diagrama de recorrido.....	28

Lista de tablas

Tabla 1 – Operaciones del proceso	22
Tabla 2 - Modelos de moldeadora	24
Tabla 3 - Estaciones de trabajo	29
Tabla 4 - Montacargas.....	29
Tabla 5 - Ejercicio Incoterms	44

Lista de figuras

Figura 1 - Olla de hierro fundido	15
Figura 2 – Fundidora por convección.....	23
Figura 3 - Moldeadora con arena	24
Figura 4 - banda transportadora vibradora	25
Figura 5 - Shotblaster	25
Figura 6 - Horno industrial continuo	26
Figura 7 - Distribución de planta de producción.....	27
Figura 8 - Simulación de proceso	31
Figura 9 - HoldingTime de InputBuffer.....	32
Figura 10 - TimeProcessing servidor solidificación	38
Figura 11 - TimeStarved servidor solidificación	39
Figura 12 - Entidades modelo en cola	51
Figura 13 – Visualización de servidor activo.....	51
Figura 14 - Cantidad de ollas producidas en simulación base	52
Figura 15 - Cantidad de ollas producidas en el escenario 3	52

Lista de anexos

Anexo 1 - Bodegas de materia prima, moldeadora y fundidoras	58
Anexo 2 - Área de pulidoras, lijadoras, banda transportadora vibradora y Shotblaster.	58
Anexo 3 - Área de horno, secado de esmalte y enfriado.....	59
Anexo 4- Guía para estudiantes escenario 1	64
Anexo 5 - Guía para estudiantes escenario 2	69
Anexo 6 - Guía para estudiantes escenario 3	75

Resumen

El objetivo principal de este trabajo de graduación es crear complementos didácticos para la carrera de ingeniería industrial, utilizando tecnología de simulación y realidad virtual actualmente disponible en la Universidad del Valle de Guatemala.

Para alcanzar este objetivo el primer paso fue determinar qué concepto importante dentro de la ingeniería industrial se quería demostrar. Se seleccionó la teoría de restricciones, específicamente se buscaba demostrar ejemplos de métodos para detectar cuellos de botella. Este concepto fue seleccionado debido a su relevancia dentro de la carrera de ingeniería industrial y por el impacto que puede tener la realidad virtual en la asimilación del concepto.

Se investigó sobre procesos productivos que pudieran ser utilizados para demostrar este concepto, el proceso escogido debía tener suficientes pasos para poder hacer una demostración efectiva de un cuello de botella, pero debía permanecer relativamente simple y fácil de entender ya que esto se utilizaría como herramienta de visualización para estudiantes sin experiencia en el tema.

Para este efecto se escogió el proceso de fabricación de ollas de hierro fundido debido a las siguientes ventajas que presenta: es un proceso en su mayor parte lineal, pero incluye procesos con transformación de materia prima, combinación de materiales, operaciones cortas y operaciones con tiempos largos de espera. Esto presenta un panorama diverso de operaciones de producción que contribuye al enriquecimiento del aprendizaje.

Teniendo el proceso a modelar, se procedió a investigar cada uno de los aspectos relevantes del proceso para poder crear una simulación apropiada. Se crearon los diagramas y la documentación necesaria para establecer el proceso. Esto incluyó carta de ensamble, lista de materiales, diagrama de operaciones del proceso, descripción de procesos productivos, entre otros. Se investigaron los requerimientos de maquinaria y se creó una distribución de la planta de producción tomando en cuenta las necesidades de espacio. Posteriormente, se desarrolló un diagrama de flujo de maquinaria.

A partir de esta información se modeló el proceso en SIMIO simulation, utilizando métodos simples de modelado se comprobó que el proceso obtuviera resultados relevantes. Debido a que los resultados de la simulación fueron positivos se agregaron símbolos y decoraciones que crearan la inmersión en realidad virtual que es una de las principales ventajas de esta tecnología. Se corrió el proceso visualizándolo a través de realidad virtual utilizando Oculus Quest para encontrar puntos de mejora.

A partir del modelo base, aplicando modificaciones marginales del proceso, se crearon tres escenarios distintos:

En los primeros dos se muestra cómo identificar cuellos de botella utilizando los indicadores en tiempo de cola y tiempos activos/inactivos de la maquinaria, respectivamente.

El tercer escenario demuestra restricciones de almacenamiento y variaciones en la disponibilidad de materia prima y cómo esto puede alterar los planes de producción, ventas y el plan maestro de requerimiento de material (MRP).

Se preparó una guía para estudiantes y una guía para catedráticos para cada uno de los tres escenarios. Las primeras dos guías presentan métodos para la localización de cuellos de botella en un proceso de producción. La primer guía se basa en el método de los tiempos en cola de los materiales en proceso mientras la segunda se basa en el método de medición de tiempos activos e inactivos. La tercer guía combina la simulación con herramientas cotidianas de enseñanza para demostrar conceptos de logística y toma de decisiones. Se validó que cada uno de los escenarios sean compatibles con la tecnología de realidad virtual y que representen de manera certera los conceptos.

I. Introducción

La realidad virtual es una de las tecnologías emergentes con algunos de los campos de aplicación más amplios. Comenzando con su uso como herramienta de inmersión en videojuegos, aplicaciones terapéuticas para condiciones tanto psicológicas como físicas y específicamente relevante a esta investigación, su aplicación en la educación, capacitación y entrenamiento.

En el ámbito industrial proyecta grandes avances para metodologías como Industria 4.0 debido a las capacidades de simulación de la realidad virtual, lo cual forma uno de los pilares de este nuevo capítulo en la industria. Se ha comprobado que al realizar simulaciones utilizando la tecnología de realidad virtual se puede llegar a encontrar puntos de mejora dentro de la misma puesto que permite interactividad y flexibilidad que muchas veces no son asequibles en el mundo real.

Otro de los principales campos en los que la realidad virtual está comenzando a crecer es en el de la educación. En el ámbito profesional esto se refiere a que las empresas pueden hacer uso de esta tecnología, haciendo la capacitación de sus empleados más efectiva y económica. La capacitación es más efectiva debido a la inmersión que permite esta tecnología. De esta manera las personas involucradas pueden experimentar las situaciones para las cuales se les está capacitando, sin incurrir en gastos exorbitantes o en riesgos a la seguridad del personal.

Combinando estas dos aplicaciones la realidad virtual evidentemente es una herramienta excelente para la educación superior, especialmente en el área de procesos que es uno de los principales enfoques de la ingeniería industrial. La capacidad de simulación y su uso dentro de la industria actual indica que al utilizarlo en la educación superior se generan experiencias y conocimientos relevantes para los estudiantes que podrán utilizar en la actualidad y sentarán bases para metodologías del futuro. Por otro lado, la capacidad de la tecnología de crear ambientes y permitir a las personas sentirse completamente inmersas en la experiencia es una ventaja con la cual no habían contado los educadores en el pasado y puede significar un punto de inflexión en las metodologías de enseñanza.

Al tomar en cuenta los beneficios potenciales de la realidad virtual, así como su continua actualización y utilización generalizada, se considera que es el momento adecuado para la evaluación de esta tecnología como una herramienta de beneficio para la universidad, los docentes, los estudiantes y el campo de ingeniería industrial en general.

II. Justificación

La realidad virtual es una tecnología, que, a pesar de no ser completamente nueva, está alcanzando niveles en su desarrollo en el que puede ser de gran utilidad si se aplica correctamente.

Este avance se evidencia en primer lugar por la capacidad de tener un sistema completamente integrado dentro del visor. Como se puede ver en ejemplos como el Oculus Quest y VIVE Focus la capacidad de los procesadores, sensores y tarjetas de gráficos han avanzado al punto donde estos se pueden ubicar dentro del sistema haciendo posible que el rango de movimiento no sea restringido por conexiones físicas a una computadora.

El siguiente factor importante es la reducción de los precios. Por ejemplo, en su primera iteración Oculus Rift tenía un precio de quinientos noventa y nueve dólares americanos con componentes cuasi esenciales con un costo de doscientos dólares además de requerir una computadora con procesador y gráficos de gran capacidad lo cual podría tener un costo de mil dólares en promedio. Hoy en día el Oculus Quest 2 tiene un precio de doscientos noventa y nueve dólares y esto incluye memoria, procesador y tarjeta de gráficos interna, controles y completa libertad de movimiento debido a la ausencia de cables y faroles para monitorear el movimiento del visor y controles. Esto quiere decir que el costo del sistema en la actualidad es solamente 22% del costo original para poder utilizarlo en su completa capacidad.

La educación virtual ha tomado un papel importante recientemente, a través de este avance en tecnología. Actualmente la realidad virtual se utiliza en entrenamiento militar, diseño de vehículos y entrenamiento médico. Esta tecnología tiene un gran atractivo por sus aplicaciones en educación en general. Uno de los principales campos donde se especula que la realidad virtual tendrá un impacto importante es en la ingeniería. Tanto en temas de diseño como la visualización de conceptos abstractos en espacios virtuales, tienen ventajas en aspectos financieros y pedagógicos.

Universidades alrededor del mundo han comenzado a ver la realidad virtual como una herramienta de enseñanza e investigación por lo que han creado programas de desarrollo de ambientes virtuales al igual que investigación en distintos campos de la ciencia, tecnología, ingeniería y medicina.

Esta es una herramienta de enseñanza que tiene aplicaciones directas e indirectas. Por ejemplo, uno de los programas exitosos utilizando realidad virtual para la educación ha sido la creación de un proyecto de grupo donde los alumnos deben aprender a crear espacios virtuales y aprender dentro de estos espacios que ellos crearon. Este tipo de programas enseña habilidades importantes como: liderazgo, trabajo en equipo, organización y economía de tiempos y recursos además de poner en práctica conocimientos técnicos y teóricos que estudiantes de distintas ramas de la ingeniería pueden haber aprendido en cursos anteriores.

La realidad virtual presenta un área de aplicación en el futuro que abarca el espacio profesional, investigación científica y educación superior lo que la hace una de las tecnologías emergentes más prometedoras.

III. Objetivos

A. General

Diseño de proceso de producción de ollas de hierro fundido con diferentes escenarios en realidad virtual, para análisis de procesos y gestión logística.

B. Específicos

- Diseñar el proceso de producción a través de diagramas de procesos, diagramas de recorridos, diagramas de flujo, requerimientos de materiales reales del proceso, diseño de planta, requerimiento de maquinaria y requerimiento de estaciones de trabajo.
- Desarrollar la simulación del proceso actual, analizando los resultados.
- Establecer tres escenarios, en los cuales se presentan conceptos de teoría de restricciones y gestión logística.
- Desarrollar una guía para catedráticos y estudiantes que permita utilizar de manera eficiente simulaciones como herramientas de aprendizaje.

IV. Marco teórico

A. Definición de realidad virtual

Realidad virtual es un nombre popular para una experiencia mediada por computadora que es absorbente e interactiva, durante esta experiencia el individuo percibe un ambiente simulado (sintético) a través de un equipo específico de interacción humano-computadora. Este término se utiliza para describir un ambiente completamente generado por computadora que se puede mover y ser manipulado por el usuario en tiempo real. Se puede presentar un ambiente de realidad virtual utilizando un HMD (visor que se utiliza montado en la cabeza), monitor o una pantalla de proyección amplia. Actualmente el método más popular y práctico es el de la utilización de visores sobre la cabeza del usuario. Generalmente los visores se acompañan con sistemas de tracking tanto sobre la cabeza como sobre las manos que permiten al usuario interactuar y manipular el escenario virtual. La realidad virtual se basa principalmente en la inmersión del usuario dentro del ambiente digital utilizando la principal distinción que tiene con otros medios: tridimensionalidad de las estructuras virtuales. (Mandal, 2013)

La realidad virtual es una combinación de una plataforma de computadora, aparatos de input y output de información y el software adecuado para manejar los dos factores anteriores. Esta es una tecnología prometedora para resolver problemas como la dificultad de la capacitación de operadores en procesos complejos, la cual actualmente se realiza a través de instructivos escritos los cuales pueden ser difíciles de entender en un contexto real y no pueden proporcionar la práctica a través de repeticiones que muchas veces es esencial. (Shroeder, Friedewald, Kahlefendt, & Lodding, 2017)

Los cuatro objetivos claves de una herramienta de realidad virtual son: interacción con el ambiente virtual, inmersión, mantener al usuario involucrado en el programa y foto realismo. (Roussos, y otros, 1999)

B. Casos de éxito en capacitación y formación

La realidad virtual se ha aplicado igualmente en el área de capacitación y entrenamiento de operarios en áreas relacionadas a la industria 4.0. Principalmente se ha presentado en las áreas de medicina, industria y comercio, colaboración, juegos y rehabilitación. (Shroeder, Friedewald, Kahlefendt, & Lodding, 2017)

Las principales ventajas que presenta este tipo de entrenamiento dentro de la industria son: reducción de costos, se evita la exposición de personal no capacitado

ambientes dinámicos y preserva la integridad de la cadena de producción. El uso de arquitecturas avanzadas de realidad virtual en conjunto con otras tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, también promete alternativas de capacitación que permitirá la reducción de tiempos, simplificación de los procesos de capacitación y reducción de riesgos en procesos industriales. (Naranjo, y otros, 2020)

1. Capacitación en mantenimiento de motores de inducción

Un ejemplo claro de los usos de la capacitación utilizando la realidad virtual se dio en el desarrollo de una herramienta para la capacitación de técnicos en motores de inducción conducido en España. Los investigadores decidieron utilizar esta tecnología para desarrollar su programa de entrenamiento debido a dos principales ventajas:

- a. La posibilidad que tiene la tecnología para complementar el entrenamiento tradicional que se conduce debido a las ventajas de los avances en la tecnología de realidad virtual. Este avance ha hecho que la capacitación a través de realidad virtual sea costo efectivo, reduzca tiempos de aprendizaje, mejora la visualización, crea un ambiente donde se pueden entender y desarrollar habilidades en un ambiente libre de riesgos y le permite al usuario interactuar con el ambiente virtual de una manera natural.
- b. Establece un vínculo fuerte entre la base teórica y las habilidades que dependen de práctica y condiciones específicas en el mantenimiento de motores de inducción.

Los resultados fueron muy alentadores ya que los técnicos completaron su entrenamiento teórico y pudieron aplicar esos conocimientos en un ambiente práctico dentro de la realidad virtual. En el desarrollo de este proyecto el 75% de los participantes se sintieron altamente satisfechos con el programa de realidad virtual y 73% afirmó que la simulación aportó significativamente a su entrenamiento en el manejo de motores de inducción. (Checa, Saucedo-Dorantes, Osornio-Rios, Antonino-Daviu, & Bustillo, 2022)

2. Realidad virtual aplicada a construcción

La realidad virtual ha sido considerada una de las fronteras más prometedoras en el campo de la educación en ingeniería debido a sus posibles aplicaciones en la mayoría de las ramas de la ingeniería. Esto se debe a la versatilidad que le presta la inmersión en ambientes 100% virtuales. En una recopilación de los documentos relacionados a la educación de construcción ingenieril utilizando realidad virtual realizada en China se encontraron resultados favorables. Se comprobó que las herramientas de realidad virtual inmersivas tienen la capacidad de incrementar la

participación, motivación e interacción en los estudiantes (Wang, Wu, Wang, Chi, & Wang, 2018)

3. Aplicación en conceptos tridimensionales

El artículo anterior se concentraba principalmente en los aspectos de construcción, por otro lado, en Japón la universidad de Toyota desarrolló un programa de realidad virtual para ayudar a sus estudiantes a aprender sobre vectores en un espacio tridimensional. Esto se realizó creando un juego en realidad virtual y una plataforma web en la cual los estudiantes podían competir y profundizar su conocimiento y su comprensión del tema de vectores tridimensionales. Se demostró que esta modalidad incrementaba el interés de los estudiantes en todas las áreas de ingeniería. A través de este proceso se compararon las mediciones de términos de estudio anteriores y el actual y se pudo ver claramente la diferencia que este juego basado en la realidad virtual había contribuido a que los estudiantes obtuvieran mejores resultados en el tema. (Nishizawa, Shimada, Ohno, & Yoshioka, 2013)

4. Aplicación en ambientes multidisciplinares

El Instituto de Tecnología de Karlsruhe, Alemania decidió poner a prueba la efectividad de la realidad virtual como herramienta educativa en dos dimensiones. Utilizaron la realidad virtual para incrementar el interés de los estudiantes en el curso y al mismo tiempo lo utilizaron como una herramienta para un ejercicio de desarrollo de un proyecto con un equipo multidisciplinario. En este proyecto estudiantes de diferentes ramas de la ingeniería debían trabajar juntos para desarrollar una aplicación de realidad virtual con aplicaciones en la industria. El programa fue dividido en etapas en las cuales los estudiantes primero aprenden sobre la tecnología de realidad virtual y reciben demostraciones para mantener su interés en el tema. Una vez finalizadas las demostraciones comenzaron las clases de habilidades concretas donde los estudiantes aprenden sobre modelamiento 3D y software de realidad virtual. Una vez se completan estas clases los estudiantes se dividen en grupos y escogen un proyecto a desarrollar. Los resultados que se han obtenido con los estudiantes se consideran importantes ya que llegan a conocer y aprenden sobre una tecnología emergente, aprenden como trabajar en equipos multidisciplinarios y se adaptan a ambientes virtuales los cuales están surgiendo con más frecuencia y se vuelven más importantes en la industria. (Hafner, Hafner, & Ovtcharova, 2013)

5. Formación en Industria 4.0.

La efectividad de estos métodos para demostrar conceptos complicados de ingeniería se puso a prueba en un estudio realizado en King Saud University en Arabia Saudita. En este estudio decidieron educar a los estudiantes en conceptos de industria 4.0 y los dividieron en un grupo control y un grupo que aprendió a través de realidad virtual. Al finalizar el curso se tomaron las calificaciones de ambos grupos y se pudo demostrar estadísticamente, con un 95% de confianza, que la realidad virtual tenía un efecto significativo sobre la comprensión de conceptos complicados de ingeniería. (Bashir , y otros, 2019)

C. Realidad virtual en la optimización de procesos industriales

La realidad virtual se ha convertido en una de las fronteras más prometedoras para áreas como la educación, investigación y la industria en general. Actualmente el mundo se encuentra en un proceso de evolución de sus procesos, en el cual se está aplicando la industria 4.0. Uno de los principales pilares de esta nueva metodología de manufactura es la digitalización de los procesos. Las herramientas que soportan los procesos de producción, a través de su digitalización, registran datos que luego funcionan como la base de procesos de análisis y control. (Lasi, Kemper, Fettke, Feld, & Hoffman, 2014).

Uno de los pilares de la industria 4.0 es la utilización de la simulación, ya que esto promueve ambientes de manufactura sustentables. En ambientes de negocios de alta competitividad la simulación permite realizar ajustes a sistemas complejos al planear las operaciones utilizando información y estimaciones confiables sobre la capacidad industrial de los sistemas actuales. Esto permite una investigación activa y dinámica de los sistemas de producción con el apoyo de datos tomados en tiempo real. Combinando estos factores se puede llegar a la optimización en tiempo real de los procesos de producción utilizando herramientas de realidad virtual. (Erboz, 2017)

Entre las diferentes aplicaciones de la realidad virtual en la industria 4.0, tienden a resaltar las siguientes:

- Simplificar la comunicación de diseñadores, ingenieros y operarios en plantas de producción a través de construcciones virtuales.
- Crear prototipos virtuales que permitan a los ingenieros evaluar los diseños y optimizar el proceso de ingeniería de productos.
- Generar ahorros tangibles a través de la validación de procesos de producción en etapas tempranas de su desarrollo.

- Crear presentaciones y capacitaciones virtuales que puedan ilustrar y demostrar los productos y sus usos de una manera más efectiva a clientes e inversionistas.

Estas son razones por las que las industrias han comenzado a desarrollar métodos y divisiones dedicadas específicamente a ambientes virtuales dadas las ventajas que puede tener en el corto plazo. (Wolfartsberger, Zenisek, & Sievi, 2018)

Se han realizado diferentes estudios en los que se busca probar como el uso de realidad virtual puede habilitar espacios de negocio. De manera más específica se ha considerado relevante en el desarrollo y mejoramiento de procesos de producción. Por ejemplo, un equipo de investigadores de la universidad de Maribor en Eslovenia que utilizó la tecnología de modelamiento de procesos y la realidad virtual para dar los primeros pasos hacia la optimización en tiempo real de sus procesos de producción. El procedimiento consistió en cuatro pasos:

- En primer lugar, se conceptualizó el diseño de la línea de producción tomando en cuenta que la pregunta principal era cómo se puede utilizar la realidad virtual para encontrar puntos de mejora en el proceso.
- Se obtuvo la data relevante de los procesos reales, distribuciones, tiempos de proceso etc. Esto para que los datos obtenidos a través de la simulación fueran relevantes al proceso actual.
- Simulación del modelo creando documentación y guías que permitiría realizar los cambios necesarios.
- Correr el modelo y con los datos de salida de la simulación hacer comparaciones y posibles modificaciones al modelo basado en datos reales del proceso y posibles áreas de mejora para hacer la simulación lo más exacta posible.

Al tener el proceso simulado con las características específicas de cada proceso correctamente aplicadas se aplicaron 4 diferentes escenarios en los que diferentes maquinas tenían que tomarse tiempo para conllevar su debido mantenimiento. Al terminar los 4 escenarios se pudo determinar la combinación de maquinarias debería ir a mantenimiento para mantener la utilización y la producción en rangos apropiados. (Ojstersek, Palcic, & Buchmeister, 2019)

A través de este estudio se demostró que la realidad virtual y la simulación de procesos tienen la capacidad de impulsar la optimización de procesos de producción. También se demuestra que la utilización de diferentes escenarios en los contextos de simulación de procesos es exitosa en ilustrar cómo funciona el proceso y permitir su optimización.

D. Teoría de restricciones

La teoría de restricciones fue introducida por Eliyahu M. Goldratt en 1984 a través de su libro *La Meta*, Dentro de esta teoría el autor argumenta que un proceso productivo solo es tan eficiente como su parte más débil. Hay procesos que afectan más a la producción que otros procesos esto puede ser maquinaria, transporte o una operación complicada. Para poder optimizar todo el proceso de producción se debe identificar y mejorar estos puntos débiles primero. (Łopatowska, 2008)

Para llegar a esto el autor recomienda 5 pasos:

- Identificar la restricción
- Utilizar la restricción al máximo
- Subordinar los demás procesos a la restricción
- Incrementar la productividad de la restricción
- Repetir el proceso

Como el objetivo general de este trabajo es crear material didáctico complementario para la carrera de ingeniería industrial el enfoque es principalmente en la identificación de los cuellos de botella dentro de un proceso productivo.

E. Identificar la restricción

Determinar cuál es la restricción del proceso productivo evaluado es lo primero que se debe hacer para poder comenzar a optimizarlo. La principal restricción de un proceso productivo se conoce como “Cuello de botella”. Los cuellos de botella se han clasificado principalmente de la siguiente manera:

- Cuello de botella simple: Solo existe un cuello de botella en todo el proceso productivo en el periodo de tiempo evaluado.
- Cuellos de botella múltiples: Hay dos o más cuellos de botella en el proceso productivo, pero estos son consistentes y no cambian.
- Cuello de botella variable: Hace la distinción entre procesos que son cuello de botella durante un período de tiempo específico dentro del proceso de producción y el cuello de botella promedio a través de todo el proceso. (Thour, 2014)

El primer paso para la detección de los cuellos de botella debe ser siempre un análisis del flujo de trabajo y la división en procesos. Cuando se tiene el proceso dividido en sus procesos principales se puede analizar cada uno de ellos para encontrar la restricción del sistema. Es importante tomar en cuenta que los cuellos de

botella no siempre están dentro de la línea de producción en sí, puede estar en la cadena de suministros, el almacenamiento de la materia prima y repuestos y el flujo de la información. (Urban & Rogowska, 2020)

El siguiente paso es el de la visualización de los procesos y los stocks. Como anteriormente la línea de producción había sido dividida en procesos ahora se debe organizar de una manera sencilla de visualizar cada paso de la producción y de esta manera llevar un control de los lotes que entran y salen de cada proceso. (Roser, Lorentzen, & Deuse, 2014)

Utilizando esta información el siguiente paso es evaluar los inventarios de materia prima, de ser necesario se debe hacer conteos constantes durante el proceso de producción, de esta manera se mantiene control de la cantidad de unidades en determinados momentos de la producción. Acumulación de lotes y materia prima generalmente indica que el cuello de botella se encuentra más adelante en el proceso de producción. (Urban & Rogowska, 2020)

Para identificar los cuellos de botella se utilizan principalmente dos métodos, estos se basan en la utilización total de la maquinaria y la longitud de la cola de producto en proceso, respectivamente. El primer método utiliza los porcentajes de utilización de las estaciones o maquinarias durante un periodo de tiempo establecido y se basa en la suposición que los porcentajes de utilización más altos indican el cuello de botella. Este método presenta algunas desventajas: las utilidades de dos distintas maquinarias pueden ser muy similares lo cual no permite identificar específicamente el cuello de botella. La siguiente desventaja de este método es que el método se ve limitado a evaluar el proceso productivo únicamente en un estado estable, lo cual no se da siempre en los procesos productivos reales. La última desventaja de este método es que solamente permite ver el cuello de botella promedio durante todo el periodo de tiempo a considerar esto significa que si existen cuellos de botella variables no podrán ser identificados.

El siguiente método para la detección de cuellos de botella usado muy frecuentemente es el del análisis de la longitud de colas. Este método se basa principalmente en el tiempo de espera del producto antes de ser procesado ya sea por maquinaria o por la estación de trabajo. Se considera el cuello de botella la estación que tenga la cola más larga en espera o que tenga los tiempos de espera de procesos más largos. Este método puede ser muy efectivo, pero también tiene sus desventajas. Muchas veces los procesos productivos no tienen colas o tiempos de espera, esto no significa que el proceso no se puede optimizar, pero hace complicado el uso de este método para la detección del cuello de botella. La siguiente desventaja es la capacidad de la maquinaria, muchas veces los lotes de las diferentes estaciones de producción no coinciden, esto resulta en tiempos de espera y colas que no son representativos de un cuello de botella. Los tiempos de espera dependen de varios factores, de los cuales uno de los más críticos es el cuello de botella, pero los demás factores pueden hacer difícil la identificación de la restricción del proceso.

Un método más moderno se desarrolló principalmente para detectar cuellos de botella variables. Este método consiste en medir el tiempo activo continuo de la maquinaria y usar esto como el indicador principal del cuello de botella. Como se trata de un cuello de botella variable significa que los tiempos de cada maquinaria se promedian y se comparan, esto determina qué estación o maquinaria es el cuello de botella en momentos específicos del proceso de producción. (Thour, 2014)

Otros métodos involucran el uso del tiempo de proceso del producto a través del flujo del proceso, medición del tiempo inactivo de la maquinaria indicando si el recurso anterior es la restricción o que la maquinaria con menor tiempo inactivo es el cuello de botella, análisis de tiempo de ciclo y utilización de los recursos, la cantidad de producto WIP (trabajo en proceso por sus siglas en inglés), entre otros. (Urban & Rogowska, 2020)

F. Logística

1. Efecto látigo (Bullwhip effect)

La cadena de suministros se define como un sistema de proveedores, productores, distribuidores, minoristas y clientes en el cual materiales, dinero e información fluyen en ambas direcciones. (Fiala, 2005)

El efecto látigo o bullwhip effect es uno de los fenómenos más estudiados dentro de las cadenas de suministros. Se define como la amplificación de la variación de la demanda mientras la información pasa de consumidor final a planta de producción a través de la cadena de suministros. (Chatfield, Kim, Harrison, & Hayya, 2004)

Las principales causas de este efecto son: predicción y proyección de la demanda equivocados, agrupación de las órdenes, fluctuación de los puntos de los precios y políticas respecto a escasez. (Lee, Padmanabhan., & Whang., 1997)

Mientras las cadenas de suministros se vuelven más complejas con el uso de sistemas de computación y modernización, los efectos de la distorsión de la información se concentran lo cual afecta severamente los planes de producción. (Wu, Gan, & Wei, 2011)

El fenómeno no es en sí problemático, las consecuencias del efecto son las que las cadenas de suministros deben evitar, por ejemplo:

- Inversiones excesivas en inventarios: como este efecto hace que la demanda sea menos predecible las empresas tienen que aumentar el inventario de seguridad para evitar escasez.
- Niveles de servicio bajos: a pesar del aumento de inventarios de seguridad la volatilidad de la predicción de la demanda puede causar escasez de algunos productos.

- Perdida de ventas: cuando hay escasez de productos las ventas se ven inmediatamente afectadas.
- Reducción de productividad: debido al descenso en ventas las operaciones son menos eficientes.
- Transporte inapropiado: las fluctuaciones en la demanda afectan los planes de transporte.
- Reducción en la producción: la planificación y las fechas de producción se ven afectadas por la volatilidad de la demanda.

(Buchmeister, Pavlinjek, Palcic, & Polajnar, 2008)

2. Incoterms

Los Incoterms son normas reconocidas internacionalmente que establecen las responsabilidades del vendedor y el comprador en una transacción internacional. El nombre Incoterms es una abreviación de “International Commercial Terms” y son establecidos por la Cámara de Comercio Internacional (CCI). Tienen el objetivo de hacer las transacciones internacionales eficientes al clarificar las responsabilidades y obligaciones de ambas partes de la transacción. (International Trade Administration, 2020)

Los incoterms vigentes son los siguientes:

- ExWorks – El vendedor es solamente responsable por entregar el producto en sus instalaciones, el comprador carga con la responsabilidad de transporte, internación seguros, etc.
- FCA – Consiste en utilizar un mediador, generalmente el ente responsable del transporte de los productos, y el vendedor es responsable de entregar la mercadería al portador en un sitio acordado.
- CFR – El vendedor asume el costo y la responsabilidad del transporte de la mercancía hasta el puerto acordado.
- CIF – El vendedor asume el costo del transporte, pero traslada el riesgo al comprador una vez entregado al transportista.
- CPT- El vendedor asume el costo del transporte hasta cierto punto de entrega acordado, generalmente diferente a las instalaciones del comprador.
- CIP – El vendedor asume el costo, pero traslada el riesgo al comprador del transporte además del seguro, esto entregado a un punto previamente acordado.
- DAP – El vendedor pone a disposición la mercadería en un lugar acordado, el vendedor asume todo el riesgo de llevar el producto al lugar acordado.
- FOB – El vendedor entrega la mercadería a bordo del buque donde se transfiere todo el riesgo al comprador.

(DSV S.A., 2020)

V. Establecimiento de proceso de producción

El modelo se basa en el proceso de producción de ollas de hierro fundido. Se escogió este producto debido a que cumplía con las características que se consideran adecuadas para simular un proceso que posteriormente será utilizado como herramienta educativa. Estas características se detallan más adelante en la descripción del producto.

Una vez seleccionado el producto, se procede con una investigación documental de cada uno de los procesos involucrados en la fabricación del producto. Ya que se tiene información concreta de cada paso de producción se establece la maquinaria necesaria y los tiempos estándar de cada etapa del proceso de producción. Con esta información completa se procede a determinar la cantidad de operarios y estaciones de trabajo necesarios para que la planta de producción funcione adecuadamente. Los pasos para el establecimiento del proceso de producción se detallan a continuación a través de diagramas, planos y tablas.

A. Descripción general

1. Producto

El producto del cual se estará modelando el proceso de producción son ollas de acero fundido conocido por algunos como “horno holandés”. Este producto es una herramienta en la cocina la cual se puede utilizar para la elaboración de alimentos ya sea sobre llama abierta o dentro de un horno. Este producto tiene un proceso de fabricación en su mayor parte lineal con dos ingresos de materia prima.

Se escogió este producto debido a las características de su proceso de producción. Como se evidencia más adelante en el diagrama de operaciones del proceso este producto en particular tiene operaciones de transformación de materia prima, combinación de dos materias primas, operaciones con tiempos de espera largos, inspecciones y operaciones cortas. Esto permite presentar una diversa gama de operaciones dentro de la misma línea de producción por lo que aporta una ventaja para el aspecto educativo de este trabajo.



FIGURA 1 - OLLA DE HIERRO FUNDIDO

2. Proceso de producción

El proceso comienza con la fundición de la materia prima la cual es una mezcla de diferentes tipos de hierro. En este caso se utiliza principalmente hierro crudo, arrabio y hierro reciclado de fundiciones previas, se crean mezclas que dan la dureza y durabilidad necesarios utilizando proporciones de los materiales previamente determinadas.

El proceso de fundición dentro de un horno de inducción para metales se da de la siguiente manera: se procede a insertar dentro del horno bloques de inicio, aros de inicio o pedazos pequeños de chatarra. Estos pedazos se calientan a punto de fundición y se continúa agregando material hasta llegar al punto donde se puede tomar una muestra. Una vez tomada la muestra se procede a agregar los componentes que hagan falta para la aleación y a permitir que todos los materiales se integren a través de la fundición. Una vez todos los materiales se encuentran en estado líquido, se limpia la mezcla de contaminaciones que flotan a la superficie. Ahora se puede transferir la aleación líquida a una caldera de vertido. (Netzel, 2004)

La caldera de vertido puede funcionar utilizando ruedas o a través de poleas que permiten su movimiento en ciertas áreas de la planta. La caldera conteniendo la fundición se traslada al área donde se encuentran los moldes de arena compactada previamente preparados. Se llenan los moldes a través de las aberturas preparadas. Se da tiempo suficiente para que el metal líquido se solidifique y se extrae la pieza del molde. Este proceso para el producto en cuestión toma aproximadamente 90 minutos.

Las piezas extraídas del molde generalmente aún contienen rastros de arena por lo que las piezas se colocan sobre una banda transportadora que produce vibraciones además de tener espacios por los que puede salir la arena. Esto permite que las piezas al llegar al área de lijado ya no tengan cantidades de arena significativas.

En el área de lijado se eliminan partes metálicas de las piezas que no corresponden al diseño final, principalmente los canales por los cuales se inyectó el metal al molde. A continuación, las piezas se dirigen a una estación de pulido donde las piezas pierden cualquier superficie cortante y se afinan los detalles de la superficie según las especificaciones del producto.

Antes de pasar al área de primera inspección, las piezas atraviesan un proceso conocido como "Shot blasting" en el cual se utilizan pequeñas esferas de acero las cuales se disparan a alta velocidad sobre la superficie de las piezas. Esto crea en las piezas una superficie rugosa y porosa que permite una adecuada adhesión de los esmaltes. (CYM, 2011)

Las piezas pasan por una inspección donde se verifican las dimensiones, el peso y que la superficie tenga la textura adecuada para proceder a la aplicación de los esmaltes. Si las piezas no cumplen con los requerimientos de control de calidad, se regresan a la bodega de materia prima donde podrán ser utilizadas de nuevo en la fundición.

Las piezas que cumplen los estándares de control de calidad proceden a recibir una capa base de esmalte, esta es uniforme para toda la superficie de las piezas. A continuación, se procede al área de esmalte interior y luego se aplica el esmalte exterior. Las piezas se dejan secar al aire libre y como paso final de producción pasan por un horno para generar la vitrificación de los esmaltes y crear una capa protectora sobre las piezas.

Como paso final, se procede a dar una inspección de calidad y las piezas que cumplen los estándares se transportan a la bodega de producto terminado.

B. Diagramas de proceso de producción

1. Lista de materiales

Bill of Materials	
Fabricación de olla de hierro fundido	
Elaborado por: Marco Antonio Curley	
Julio 2022	

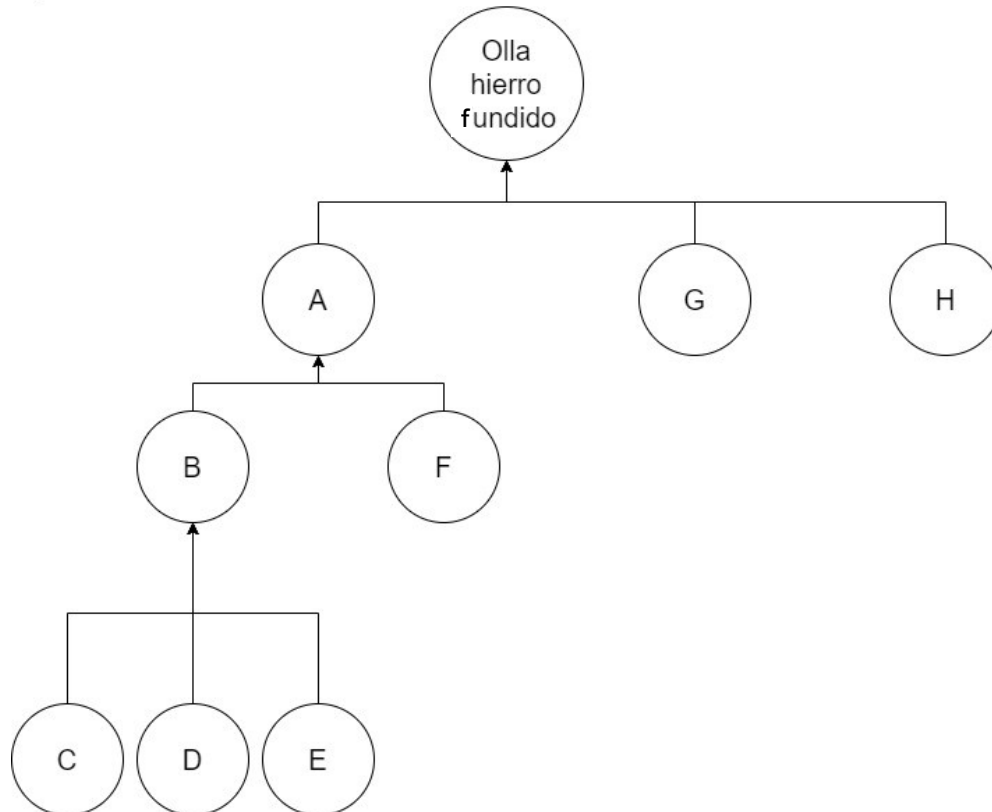
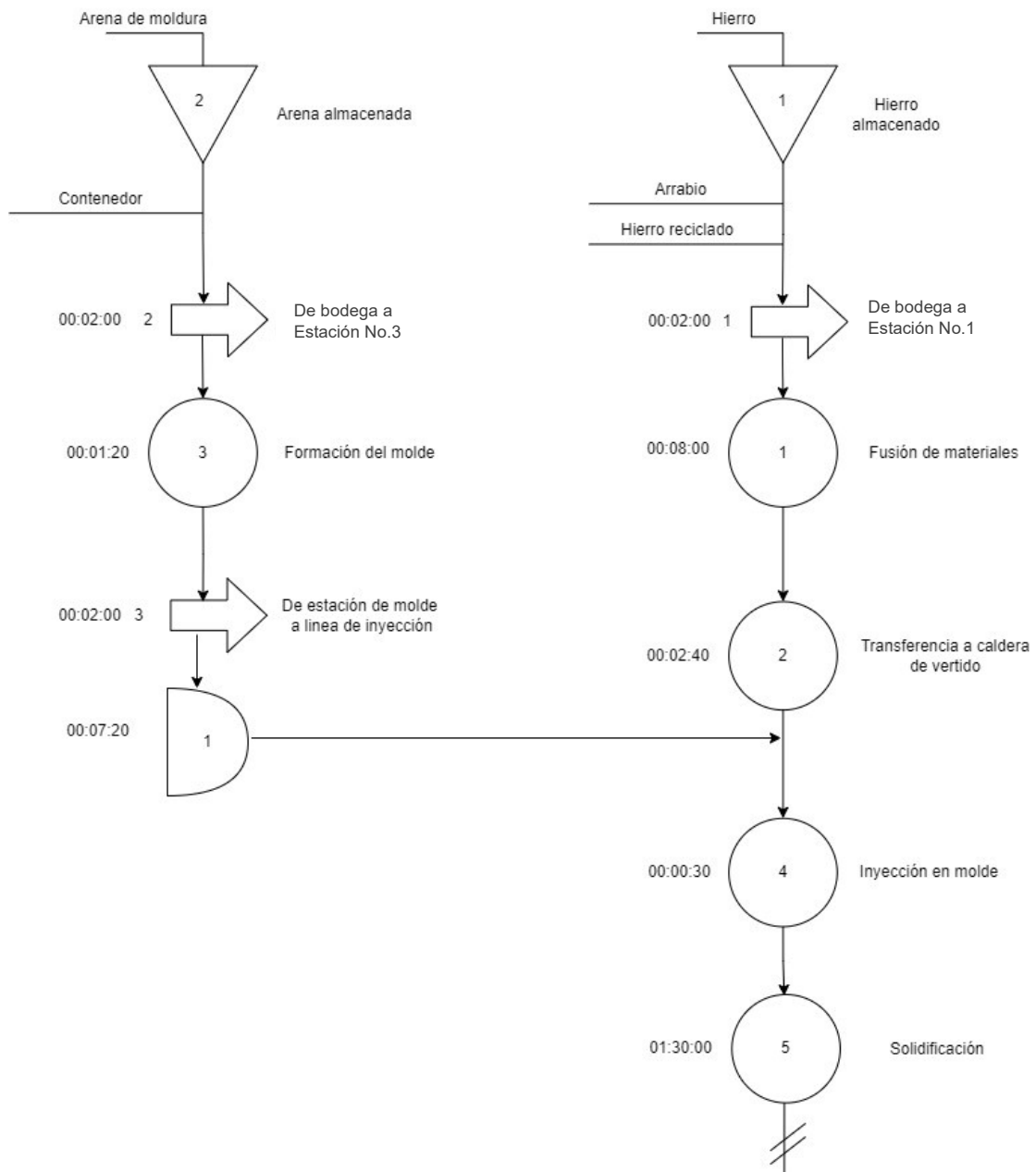
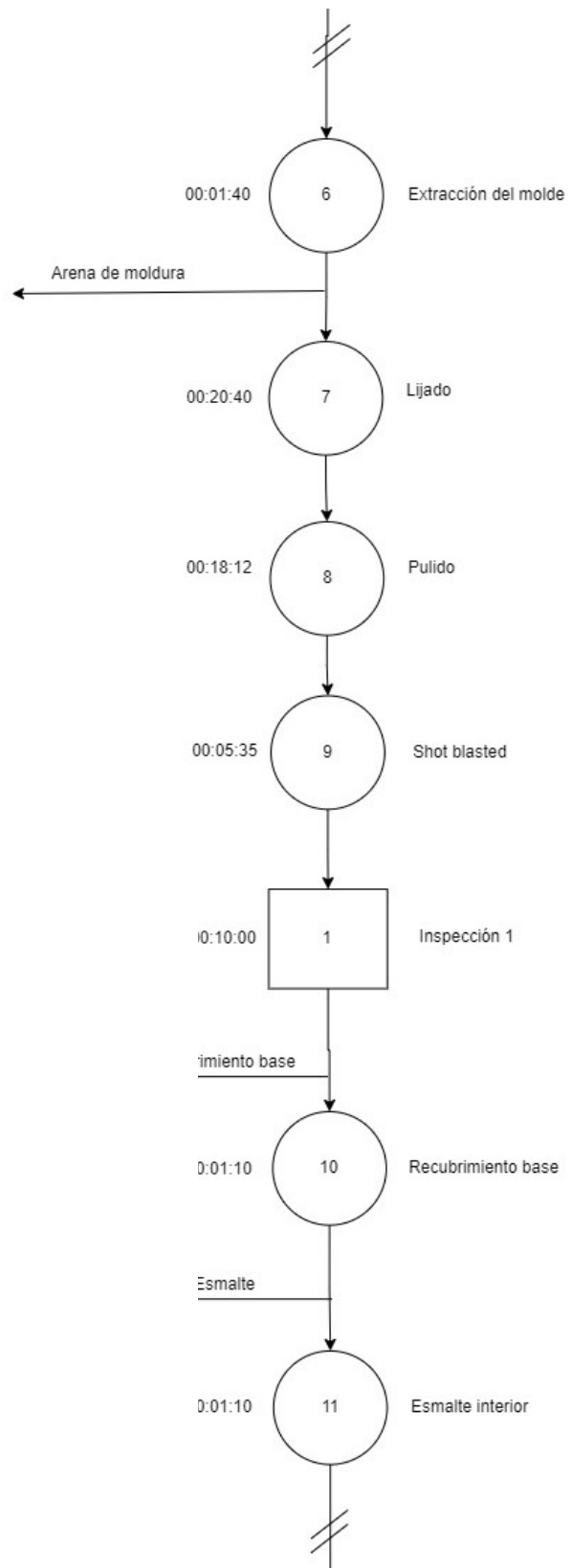


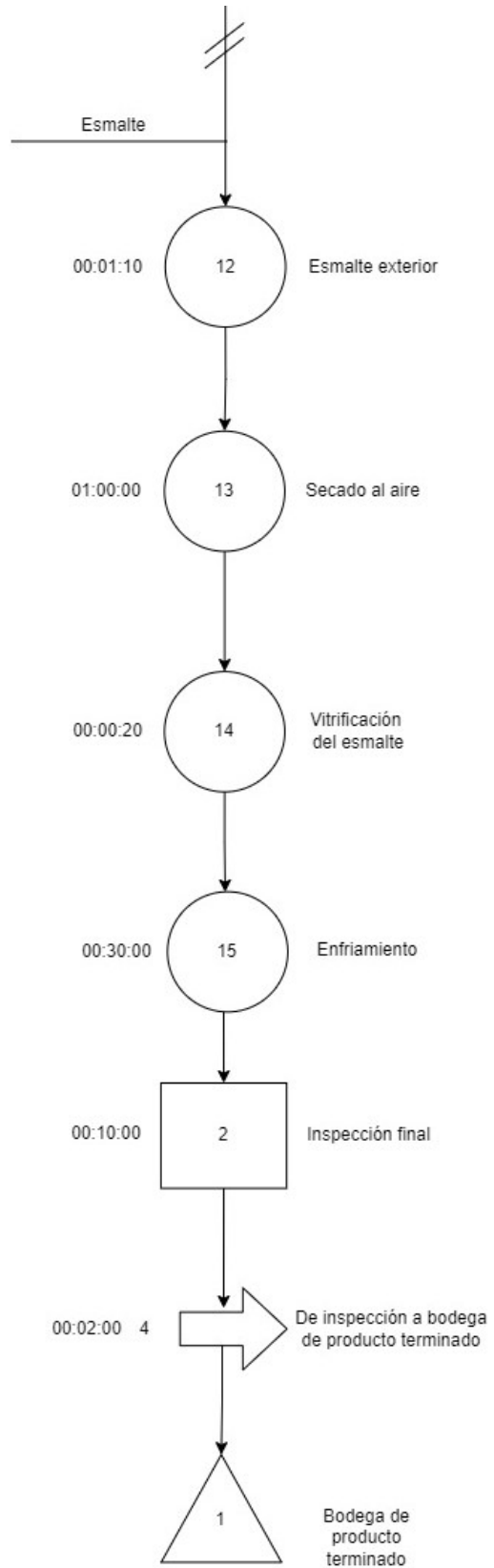
DIAGRAMA 1 – BILL OF MATERIALS

Material	Código
Olla recubierta con esmalte base	A
Mezcla fundida	B
Hierro	C
Arrabio	D
Hierro reciclado	E
Esmalte base	F
Esmalte exterior	G
Esmalte interior	H

2. Diagrama de operaciones del proceso







15

DIAGRAMA 2 – DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PROCESO

3. Descripción de operaciones del sistema

No	Estación	Máquina	Piezas / segundo	Descripción	Operarios	Tiempo (s)	Tiempo (min)
①	Fundidora	Fundidora por inducción	0.04	Se coloca el hierro y otros complementos dentro de la fundidora y se permite llegar a estado líquido.	1	480.00	8.00
②	Crucible	Crucible	0.039	El material fundido se coloca en un recipiente portable para estar listo para la inyección en molde.	1	30.00	0.50
③	Moldes	Banda transportadora Moldeadora	0.033	La máquina moldeadora toma arena y produce moldes para inyección con el material fundido.	1	80.00	1.33
④	Inyección	Crucible	0.0333	Se inyecta el material fundido dentro del molde de arena.	1	190.00	3.17
⑤	Solidificación	NA		Se permite que los materiales fundidos se solidifiquen adecuadamente dentro del molde de arena.	0	5400.00	90.00
⑥	Limpieza	Banda transportadora vibradora	0.0278	Se colocan solo los moldes con piezas que ya llevaron el proceso de solidificación.	2	99.60	3.32
⑦	Lijado	Lijadora	0.048	Se remueven excesos de material de las piezas extraídas de los moldes.	2	1200.00	40.00
⑧	Pulido	Pulidora	0.055	Se remueven orillas filosas, deficiencias en acabados, exceso de material y se deja una superficie más uniforme.	2	1092.00	36.40

No	Estación	Máquina	Piezas / segundo	Descripción	Operarios	Tiempo (s)	Tiempo (min)
9	Shotblasting	Shotblaster	0.18	El producto pasa por el proceso de shotblasting que crea una superficie adecuada para el esmalte.	1	330.00	5.50
1	Inspección 1	NA	0.048 * tasa de rechazo de 3%.	Un operario calificado revisa las dimensiones y condiciones del producto para asegurar la calidad.	1	600.00	10.00
10	Rociador 1	Rociador	0.14	Se coloca un esmalte base sobre toda la pieza.	1	99.60	1.66
11	Rociador 2	Rociador	0.14	Se coloca la pintura interior del producto.	1	99.60	1.66
12	Rociador 2	Rociador	0.14	Se coloca la pintura exterior de producto.	1	99.60	1.66
13	Secado	Estantería	0.0003	Se deja secar el producto por 60 minutos.	1	3600.00	60.00
14	Horneado	Horno	0.05	El producto recibe tratamiento térmico para vitrificar el esmalte y las pinturas.	1	1200.00	20.00
15	Enfriado	Estantería		Se deja enfriar para completar el tratamiento térmico de las piezas.	1	1800.00	30.00
2	Inspección Final	NA	0.05 * tasa de rechazo de 3%.	Inspección final para aseguramiento de calidad.	1	600.00	10.00

TABLA 1 – OPERACIONES DEL PROCESO

C. Definición de maquinaria

Durante el establecimiento del proceso de producción y a través de investigación sobre las características del producto se establecieron los tiempos normales de cada una de las estaciones de trabajo. Las principales piezas de maquinaria que se determinaron como la base del procedimiento fueron la fundidora, donde ocurre el

proceso de fundición del metal, y lo que se conoce como una moldeadora, donde se producen los moldes para la inyección del metal que darán la forma al producto.

1. Descripción de maquinaria necesaria

a. Fundidora por convección

La fundidora por convección, como indica su nombre, calienta internamente materiales conductivos utilizando inducción electromagnética. Este es un proceso que se utiliza comúnmente para fusionar metales como lo son el hierro, acero, cobre, oro, entre otros. Específicamente para el modelado de este proceso se eligió un modelo con una capacidad de fundición de 7 toneladas por hora y que ocupa un espacio físico de 3 m X 1.5 m X 2m pesando 3.5 toneladas métricas. La fundidora es la pieza de maquinaria esencial en la fabricación del producto escogido por lo que el modelo de fundidora seleccionado funciona como la base para la selección del resto de la maquinaria necesaria. Para el proceso establecido se requieren dos unidades de esta maquinaria en la estación de fundidora.(Netzel, 2004)

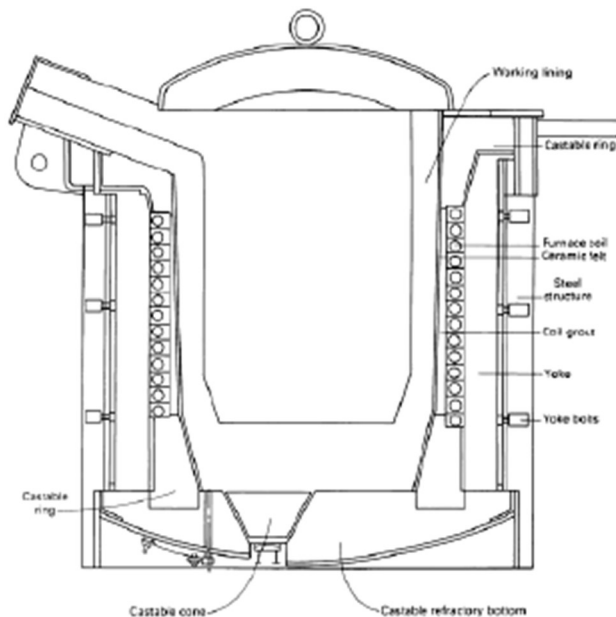


FIGURA 2 – FUNDIDORA POR CONVECCIÓN

b. Moldeadora

Una moldeadora es una máquina altamente especializada. Esta máquina requiere piezas molde del producto final de la inyección de metal y arena especializada premezclada con los complementos necesarios para un moldeo correcto. Se utiliza en la estación de moldeadora. Esta maquinaria debe tener una capacidad de 120 moldes por hora. Las opciones disponibles son las siguientes:

Nombre	<i>Dismatic C3-150</i>	<i>Dismatic C3-250</i>	<i>Dismatic C3-350</i>
Capacidad	150 moldes/hora	250 moldes/hora	350 moldes/hora
Exactitud	0.25 mm	0.25 mm	0.25 mm
Consumo de arena	20-23 t/hora	31-37 t/hora	44-53 t/hora
Consumo de energía	75kW	81kW	77kW

TABLA 2 - MODELOS DE MOLDEADORA

Por las necesidades del proceso establecido se selecciona el modelo “Dismatic C3-150” que se ve ilustrado en la Figura 3. Solamente se requiere una moldeadora para el proceso establecido para la simulación.

(DISA, s.f.).



FIGURA 3 - MOLDEADORA CON ARENA

c. Banda transportadora vibradora

Esta banda transportadora tiene longitud de 6 a 7 metros, es una máquina especializada para la fabricación de piezas a través de la inyección. En el proceso de producción modelado se utiliza en la estación de limpieza. Esta banda transportadora ayuda a remover los restos de la arena de moldeo que se pueden quedar adheridos a la pieza que se desea trabajar. También permite una fácil recolección de la arena para que esta pueda ser reutilizada. Por su capacidad, en el proceso simulado solamente requiere una pieza de esta maquinaria. (JML, s.f.)



FIGURA 4 - BANDA TRANSPORTADORA VIBRADORA

d. Shotblaster

Shotblasting es el proceso a través del cual se le da la superficie adecuada a piezas metálicas para poder aplicar pinturas, tratamientos químicos o simplemente para limpieza de las piezas. Este proceso se realiza dentro de maquinaria especializada la cual gira las piezas que se depositan dentro de la misma, al mismo tiempo que dispara esferas metálicas pequeñas. La estación de Shotblasting solamente requiere un Shotblaster. (Kaltenbach, s.f.)



FIGURA 5 - SHOTBLASTER

e. Horno industrial

Un horno industrial calienta los productos a temperaturas controladas para generar cambios físicos o químicos en el producto a través de un tratamiento térmico. En este caso la temperatura máxima del horno debía poder sobrepasar los 700 grados Celsius para llegar a la vitrificación detallada en la descripción del proceso. Se utiliza en

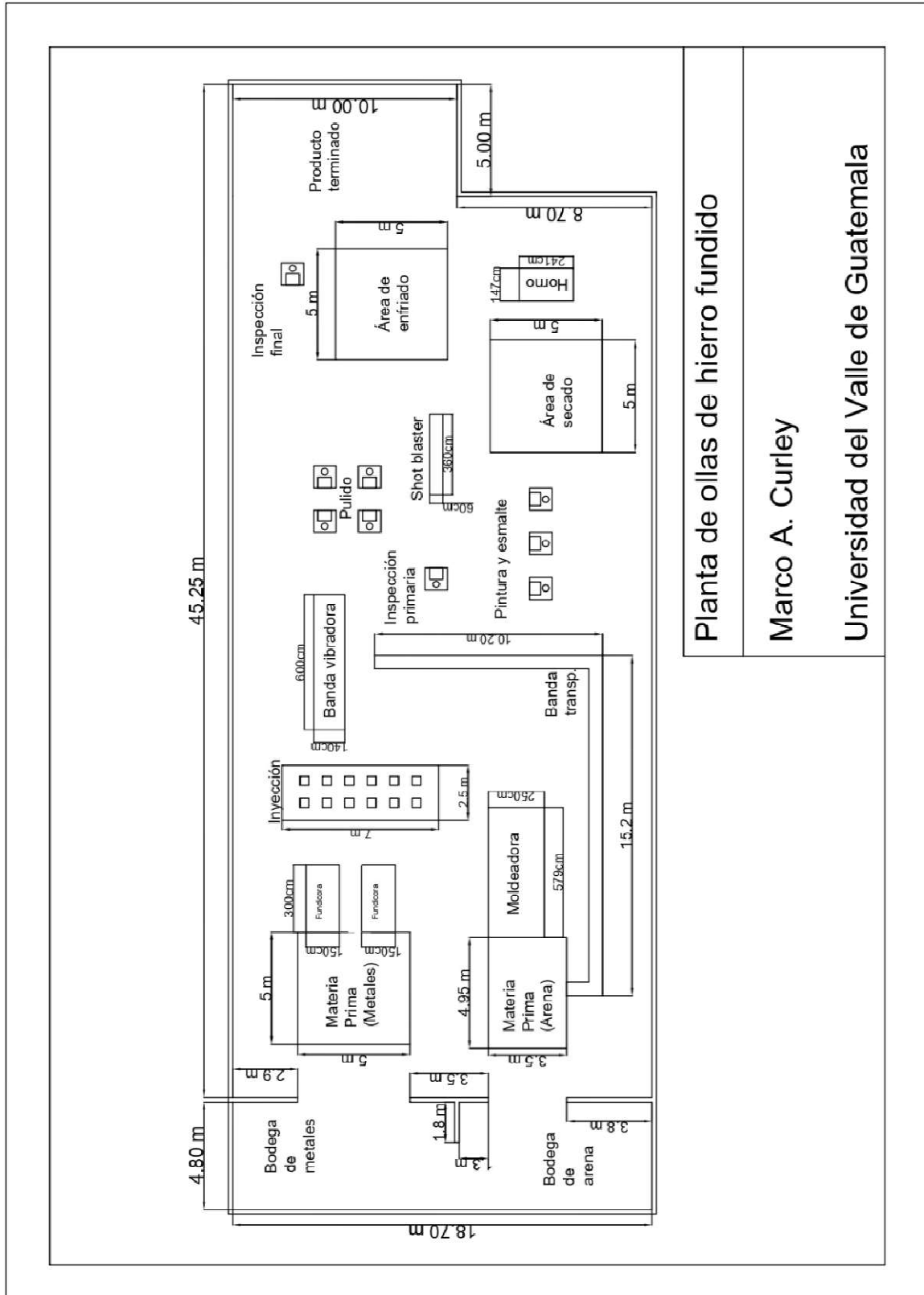
la estación de Horneado y al ser un horno de paso solamente se requiere un horno para el proceso simulado. (Nabertherm, s.f.)



FIGURA 6 - HORNO INDUSTRIAL CONTINUO

2. Distribución de planta de producción

La distribución de la planta de producción se planteó con dos objetivos en mente: que el proceso fuera lineal e intuitivo y que fuera un espacio factible en una planta de producción real. Para cumplir el primer objetivo se utilizó la forma de rectángulo donde el producto se mueve de izquierda a derecha, en pocas ocasiones se mueve en sentido contrario, al igual las operaciones similares fueron agrupadas para mantener el orden y mantener el flujo. En relación con el segundo objetivo se utilizaron las medidas reales de la maquinaria seleccionada al igual que las medidas apropiadas para permitir el movimiento de personas y maquinaria, tomando en cuenta principios de ergonomía y seguridad industrial.



Planta de ollas de hierro fundido

Marco A. Curley

Universidad del Valle de Guatemala

FIGURA 7 - DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DE PRODUCCIÓN

No.	Nombre	No. Operarios	Operarios
13	Horno	1	OpHorno
14	Inspección final	1	InspectorF

TABLA 3 - ESTACIONES DE TRABAJO

5. Servicios complementarios

a. Montacargas

El montacargas se utiliza en este proceso de producción principalmente para el transporte de materia prima hacia el primer proceso en la línea de producción. Este debe movilizar desde las bodegas de materia prima los metales necesarios para la aleación, hierro, arrabio y material reciclado, y la arena que se utiliza para la fabricación de los moldes. Los metales son transportados al área de “prefundición” desde la cual el operario de la fundidora comienza su operación. La arena se transporta hacia el área de “premoldeo” de donde el operario de la moldeadora puede llenar dicha máquina para producir los moldes necesarios para la inyección. En este caso es necesario movilizar 60 toneladas de material cada hora, incluyendo arena y metales para la fundición. Para esto se consideró la capacidad del montacargas que en este caso es capaz de movilizar 6,000 libras por lo que sería necesario hacer 10 viajes por hora para abastecer las estaciones de trabajo. La distancia que debe recorrer el montacargas es de aproximadamente 10 metros por viaje lo cual comparándolo con las capacidades del modelo que se presenta a continuación es completamente asequible. (Toyota Material Handling, 2022).

Nombre	Capacidad de peso	Velocidad
Core Electric Forklift 8FBCU30	6,000 lb.	9-11.5 mph

TABLA 4 - MONTACARGAS

b. Banda transportadora

En este proceso se considera la banda transportadora promedio como un servicio complementario ya que su principal función es la de transportar arena de los moldes que la banda transportadora vibradora recopila. (ContiTech AG, 2010)

VI. Simulación del proceso en SIMIO Simulation

Se creó una simulación del proceso original en SIMIO simulation, siguiendo la documentación creada, se tomó en cuenta los tiempos de proceso esperados, las dimensiones de la maquinaria y el espacio necesario para su correcto funcionamiento. Todo esto con el objetivo de crear una simulación que se apegue lo más posible a un proceso productivo real. El proceso establecido tiene una capacidad de producir 118 unidades en 24 horas. A partir de este modelo se pueden comenzar a ver ejemplos de identificación de cuellos de botella, esto puede ser a través del porcentaje de utilización de los servidores, los tiempos de espera, el largo de la cola de cada servidor, el tiempo muerto, entre otros. La simulación base no presenta un proceso completamente optimizado ya que busca apegarse a las capacidades reales de un proceso productivo establecido.

Esta simulación se observó utilizando la tecnología de realidad virtual a través de Oculus Quest. Gracias a esta tecnología se pudo observar el proceso en tiempo real. Los resultados finales de la simulación siguen siendo esenciales para la identificación de los cuellos de botella, pero a través de la inmersión que permite la realidad virtual se pueden hacer observaciones que permiten tener perspectiva de las posibles restricciones del proceso. Utilizando estas observaciones y los datos finales de la simulación el proceso de identificación de cuellos de botella se vuelve más sencillo.

La simulación base muestra un proceso de producción funcional, este tiene una capacidad productiva de aproximadamente 118 ollas en 24 horas incluyendo 3 que no fueron aprobados por los procesos de control de calidad, por lo que regresan a la bodega de materia prima donde se podrán reutilizar al principio del proceso.

El proceso pudo haber sido modelado a mayor escala, fabricando una cantidad mucho más alta de ollas. Se mantuvo la simulación en esta escala debido a dos factores. El primer factor corresponde al nicho reducido del producto ya que es un producto de especialidad y con un costo de adquisición alto, la cantidad de ollas producidas en el proceso actual es viable para hacer eficiente a una planta de estas dimensiones. El segundo factor es el uso educativo de esta simulación, manteniendo el proceso en una escala menor le permite ser más sencillo de comprender y utilizarse como base para crear nuevos escenarios.

Se pueden observar más ángulos de la simulación en los anexos 1,2 y 3.

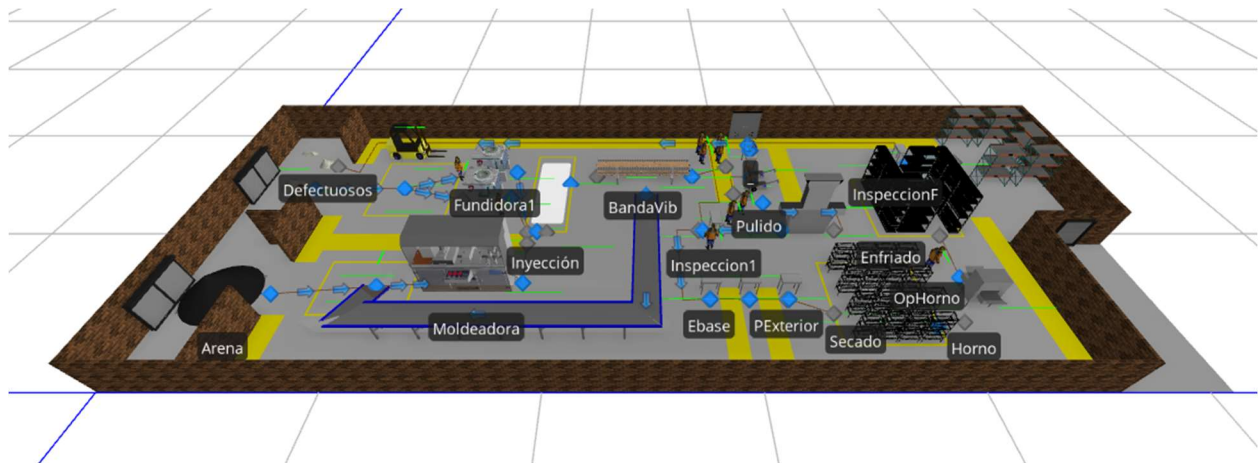


FIGURA 8 - SIMULACIÓN DE PROCESO

A partir de esta simulación se crearon 3 escenarios distintos para ser utilizados como herramientas de docencia.

En el Escenario 1 se hacen modificaciones en la cantidad de operarios y cómo se distribuyen en las estaciones de trabajo. Esto con el objetivo de variar la ubicación del cuello de botella en el proceso. Este escenario busca demostrar el método de detección de cuellos de botella utilizando los tiempos en cola de los productos por estación de trabajo.

El siguiente escenario, Escenario 2, tiene modificaciones en los tiempos en ambas estaciones de inspección lo cual modifica nuevamente la localización del cuello de botella. De igual manera se colocaron programaciones adicionales a los objetos que representan las estaciones de trabajo para hacer más accesible la aplicación de la competencia de este escenario. El escenario se enfoca en la detección de cuellos de botella utilizando los tiempos activos e inactivos de cada estación dentro del proceso de producción.

En el Escenario 3 se modificaron las fuentes de entidades, simulando escasez de materias primas. Este escenario se utiliza para demostrar conceptos de planificación y logística pero debido a las restricciones de la simulación se utilizan herramientas externas a SIMIO simulation, como se puede observar en las guías más adelante.

Las guías destinadas para el uso de los estudiantes se pueden encontrar en los anexos 4, 5 y 6.

A. Escenario 1 Tiempo en cola

1. Guía para catedráticos

El escenario 1 que se presenta en el modelo 1 está ligeramente alterado con respecto al original, esto con el objetivo de hacer el cuello de botella menos aparente. En la guía para estudiantes se menciona que con las modificaciones aplicadas en el modelo de este escenario se dieron mejoras marginales en la producción. En comparación con el modelo base, este escenario produce dos unidades adicionales, 120 ollas, y solamente 2 unidades defectuosas. Debido a estos cambios se hace necesario localizar el nuevo cuello de botella. En esta guía de trabajo se demuestra el uso de la metodología de tiempos en cola.

Para identificar el cuello de botella en la sección de resultados recurrimos al tiempo de HoldingTime, que representa el tiempo que la entidad pasa en una estación, en InputBuffer, el cual es el nombre que se asigna en SIMIO a la cola de las estaciones, y se encuentra el tiempo promedio más alto.

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Shotblaster	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hou...	0.0082
					Maximum (Ho...	0.0690
					Minimum (Hou...	0.0000
	Moldeadora	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hou...	0.0060
					Maximum (Ho...	0.0468
					Minimum (Hou...	0.0000
	Lijado	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hou...	4.1896
					Maximum (Ho...	8.3828
					Minimum (Hou...	0.0000
	InspeccionF	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hou...	0.0021
					Maximum (Ho...	0.0022
					Minimum (Hou...	0.0000
	Inspeccion1	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hou...	3.3381
					Maximum (Ho...	6.6668
					Minimum (Hou...	0.0000
	Fundidora2	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hou...	2.4037
					Maximum (Ho...	2.6667
					Minimum (Hou...	0.0000
	Fundidora1	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hou...	0.6840
					Maximum (Ho...	2.3170
					Minimum (Hou...	0.0000

FIGURA 9 - HOLDINGTIME DE INPUTBUFFER

Como se puede ver en la Figura 9 el servidor con el tiempo promedio más alto es la estación de lijado haciendo a la inspección 1 el recurso restringido por la capacidad.

2. Guía para estudiantes

Guía de trabajo

Identificación de cuellos de botella: Tiempo en cola.

Instrucciones generales

Para poder llevar a cabo esta guía de trabajo se debe tener acceso a los archivos “Modelo Base.SPF” y “Escenario 1 (Tiempo en cola)”. El primer archivo presenta el proceso de producción con sus características generales, el segundo archivo es el que será utilizado para el desarrollo del concepto de identificación de cuellos de botella con el método de tiempos en cola. Ambos son archivos que se deben abrir en el software SIMIO simulation.

ADVERTENCIA GENERAL: Si en algún momento el estudiante que esté utilizando el visor de realidad siente mareos o confusión se debe detener la simulación, se debe remover el visor y el estudiante se debe trasladar a un área ventilada donde pueda tomar asiento.

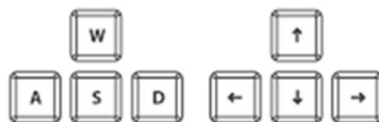
El primer paso para poder llevar a cabo la realización de la guía de trabajo es familiarizarse con la planta de producción y el proceso original.

1- Abrir el archivo “Modelo Base.SPF”.

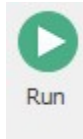
2- Una vez abierta la simulación se debe comprobar que el equipo de realidad virtual esté conectado se envía al visor utilizado el siguiente botón:



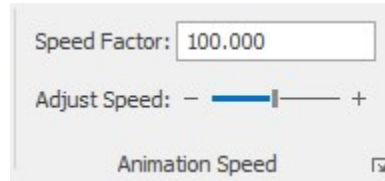
3- Ya que se puede visualizar el proceso en realidad virtual, utilizando las flechas del teclado el usuario puede movilizarse dentro de la simulación.



4- Utilizando el botón de “Run” se activa la simulación del proceso.



- 5- Se puede controlar la velocidad del proceso utilizando los controles en la sección de "Animation speed".



- 6- Una vez ajustada la velocidad y el modelo esté funcionando se puede observar el flujo de los materiales y cómo funciona cada uno de los procesos.

- 7- Para visualizar los resultados generales de la simulación se debe proceder a la sección de resultados:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	19.6932
					Maximum	30.0000
				UnitsScheduled	Average	100.0000
					Maximum	100.0000
				UnitsAllocated	Total	131.0000
				ScheduledUtilization	Percent	19.6932

- 8- En esta sección se pueden observar los detalles de cada una de las estaciones de trabajo (Servers), los productos en proceso (Model Entities), los trabajadores (Workers), entre otros.

Por ejemplo:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	12.6774
					Maximum (Ho...	21.8050
					Minimum (Hou...	3.8326
					Observations	118.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	118.0000	
			NumberExited	Total	118.0000	
	Defectuosos	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	10.0789
					Maximum (Ho...	18.0914
					Minimum (Hou...	3.1054
					Observations	3.0000
InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	3.0000		
		NumberExited	Total	3.0000		

- 8.1- La primera columna (Object Type) permite filtrar por Tipo de objeto, este puede ser un “Model Entity” un producto en proceso, “Server” una Estación de trabajo, etc.
 - 8.2- La siguiente columna (Object Name) permite filtrar por el nombre de cada objeto por ejemplo “Fundidora1” una estación de trabajo, “Productoterminado” un sumidero, etc.
 - 8.3- La tercera columna (Data Source) permite seleccionar la fuente de información, [Resource] un servidor, InputBuffer la cola de un objeto, etc.
 - 8.4- La columna (Category) separa los tipos de información, ya sea tiempos como lo es “FlowTime” o “HoldingTime” o cantidades como es “Throughput” o “Capacity”.
 - 8.5- La columna (Data Item) permite seleccionar qué información específica de cada objeto se quiere ver como “TimeInSystem” en el caso de una entidad modelo presenta el tiempo que pasa la entidad desde que ingresa al proceso hasta que llega al sumidero.
 - 8.6- Por último, la columna (Statistic) indica si se trata del promedio, un máximo, un mínimo o un total, entre otros.
- 9- Una vez se está suficientemente familiarizado con la simulación base se podrá proceder al “Escenario 1 (Tiempo en cola)”.

Utilizando el modelo original como base se modeló la situación en la que uno de los operarios de la estación de pulido no se presentó. Para cubrir la vacante se asigna al Inspector 1 por lo que el Inspector final debe cubrir ambos puestos de inspección.

Estos cambios presentan mejoras marginales en la producción y en la cantidad de productos defectuosos. Esto se da ya que ambos inspectores tenían cantidades considerables de tiempo muerto. Esto demuestra que las soluciones a los cuellos de botella van más allá que agregar maquinaria u operarios. De igual manera, en este modelo se pueden utilizar los métodos de identificación de cuellos de botella para mantener un proceso de mejora continua.

Al tener estos cambios en el proceso, se debe medir de nuevo el proceso para entender de qué manera estos cambios han afectado al proceso en general.

En este escenario se utilizará el método de los tiempos de cola en cada estación de trabajo. Para esto seguimos los siguientes pasos:

- 1- Proceder a abrir el archivo “Escenario 1 (Tiempos en cola).SPF”.
- 2- Seguir el procedimiento utilizado en el archivo “Modelo Base.SPF” para poder observar la simulación utilizando el visor de realidad virtual.

- 3- Lo primero que se debe identificar son las estaciones dentro del proceso de producción, en el caso de SIMIO estos se clasifican como “Servers” o servidores.

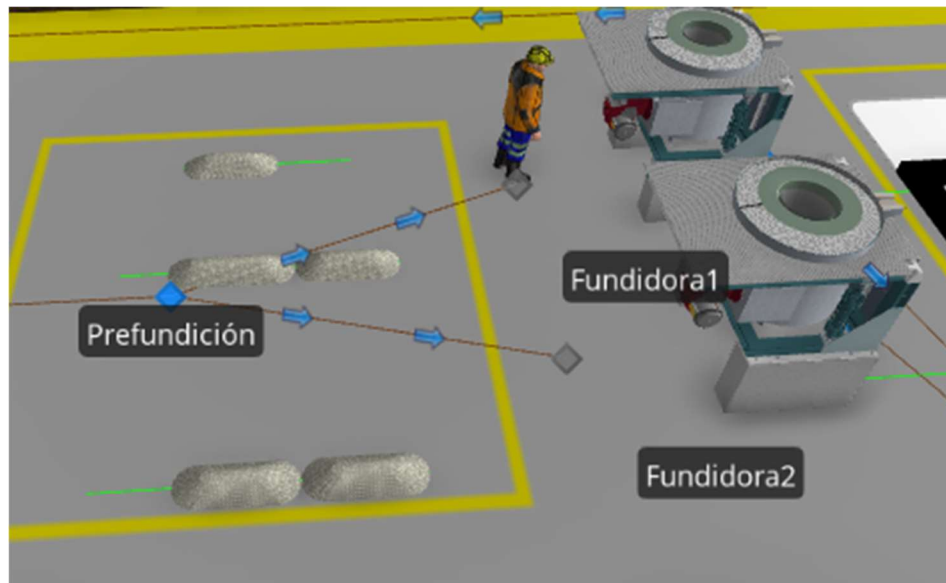
Por ejemplo: En este caso los servidores que se pueden ver en la imagen son las fundidoras, estas realizan el proceso de fundido de metal, recibe metal sólido y entrega hierro fundido.



Ejemplo 1: Fundidoras (Servidores)

- 4- Al correr la simulación se puede observar que antes de cada uno de los pasos dentro del proceso productivo o servidor se acumulan materias primas, esta es la cola del servidor.

Por ejemplo: en la imagen se puede ver las acumulaciones de metal que están en cola para ingresar a la fundidora.



Ejemplo 2: Colas de ambas fundidoras.

- 5- Se debe medir el tiempo que pasa en la cola cada una de las entidades o materiales.

6- Para cada servidor se debe tomar suficientes tiempos para que el cálculo de la media del tiempo en cola de cada servidor sea representativo del mismo.

NOTA: La cantidad de unidades en cola no es equivalente al tiempo en cola. No se debe confundir el hecho que existan muchas entidades en cola con el dato importante el cual es cuánto tiempo pasa cada entidad en cola para entrar en proceso.

7- Durante la corrida del proceso se debe identificar cuál de los procesos tiene el tiempo en cola más alto.

8- Al identificar el servidor que presenta el promedio de tiempo en cola más alto hemos encontrado el cuello de botella en el proceso.

9- ¿Cuál fue el cuello de botella dentro de este escenario?

10- Esto se puede corroborar en la sección de resultados.

- a. En la selección de los objetos que se quieren revisar se seleccionan los servidores.
- b. En la selección de fuente de datos se debe filtrar el dato de "InputBuffer" ya que este es el nombre que recibe la cola de materiales que se forma antes de un servidor.
- c. En la selección de Categoría se selecciona "HoldingTime" ya que este representa el tiempo que el material se retuvo dentro de la cola del servidor.

B. Escenario 2 Tiempos activos e inactivos

1. Guía para catedráticos

El escenario 2 está especializado para el método de identificación de cuellos de botella a través de los tiempos activos e inactivos. Para esto cada uno de los servidores dentro del proceso tiene un indicador de cuando está activo, el símbolo es verde. De esta manera los estudiantes pueden medir el tiempo activo de cada proceso y proceder con la identificación del cuello de botella.

Los dos métodos que se le mencionan al estudiante son: utilizar el tiempo activo de la maquinaria o utilizar el tiempo inactivo. Ambos métodos tienen el mismo resultado

y siguen la misma lógica lo cual les permitirá a los estudiantes ver que los datos son consistentes y los diferentes métodos de identificación de cuellos de botella tienen el mismo resultado si se utilizan correctamente.

En esta variación del proceso la cantidad de entidades que llegan al sumidero se ve afectada fuertemente por los cambios realizados al proceso. En este caso las inspecciones toman 5 minutos más de lo que deberían. Este escenario presenta las reacciones en cadena que tiene el cuello de botella sobre toda la producción.

En este escenario utilizando el método de tiempos activos se puede observar en la pestaña de resultados, filtrando “TimeProcessing” de los servidores, que el cuello de botella es el proceso de Solidificación ya que tiene un porcentaje de utilización de casi 100% y el tiempo promedio de utilización más alto, como se puede ver en la siguiente imagen.

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Total (Hours)	23.8383
					Percent	99.3265
					Occurrences	1.0000
					Average (Hou...	23.8383
	Shotblaster	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Total (Hours)	17.5875
					Percent	73.2812
					Occurrences	126.0000
					Average (Hou...	0.1396
	Secado	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Total (Hours)	21.2680
					Percent	88.6165
					Occurrences	2.0000
					Average (Hou...	10.6340

FIGURA 10 - TIMEPROCESSING SERVIDOR SOLIDIFICACIÓN

Se puede ver el mismo resultado haciendo énfasis en los tiempos inactivos, filtrando “TimeStarved” de los servidores, se observa que el porcentaje más bajo de tiempo esperando material para procesar lo tiene el proceso de Solidificación, como se puede ver en la siguiente imagen.

Object Type ▼	Object Name ▼	Data Source ▲	Category ▲	Data Item ▲	Statistic ▼	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Total (Hours)	0.1617
					Percent	0.6735
					Occurrences	1.0000
					Average (Hou...	0.1617
	Shotblaster	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Total (Hours)	6.4125
					Percent	26.7188
					Occurrences	126.0000
					Average (Hou...	0.0509
	Secado	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Total (Hours)	2.7320
					Percent	11.3835
					Occurrences	2.0000
					Average (Hou...	1.3660

FIGURA 11 - TIMESTARVED SERVIDOR SOLIDIFICACIÓN

2. Guía para estudiantes

Guía de trabajo

Identificación de cuellos de botella: Tiempos activos.

Instrucciones generales

Para poder llevar a cabo esta guía de trabajo se debe tener acceso a los archivos “Modelo Base.SPF” y “Escenario 2 (Tiempos activos/inactivos)”. El primer archivo presenta el proceso de producción con sus características generales, el segundo archivo es el que será utilizado para el desarrollo del concepto de identificación de cuellos de botella con el método de tiempos activos/inactivos. Ambos son archivos que se deben abrir en el software SIMIO simulation.

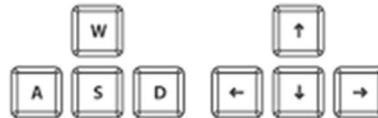
ADVERTENCIA GENERAL: Si en algún momento el estudiante que esté utilizando el visor de realidad siente mareos o confusión se debe detener la simulación, se debe remover el visor y el estudiante se debe trasladar a un área ventilada donde pueda tomar asiento.

El primer paso para poder llevar a cabo la realización de la guía de trabajo es familiarizarse con la planta de producción y el proceso original.

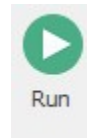
- 1- Abrir el archivo “Modelo Base.SPF”.
- 2- Una vez abierta la simulación se debe comprobar que el equipo de realidad virtual esté conectado se envía al visor utilizado el siguiente botón:



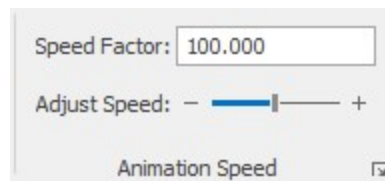
- 3- Ya que se puede visualizar el proceso en realidad virtual, utilizando las flechas del teclado el usuario puede movilizarse dentro de la simulación.



- 4- Utilizando el botón de "Run" se activa la simulación del proceso.



- 5- Se puede controlar la velocidad del proceso utilizando los controles en la sección de "Animation speed".



- 6- Una vez ajustada la velocidad y el modelo esté funcionando se puede observar el flujo de los materiales y cómo funciona cada uno de los procesos.

- 7- Para visualizar los resultados generales de la simulación se debe proceder a la sección de resultados:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	19.6932
					Maximum	30.0000
				UnitsScheduled	Average	100.0000
					Maximum	100.0000
				UnitsAllocated	Total	131.0000
				ScheduledUtilization	Percent	19.6932

- 8- En esta sección se pueden observar los detalles de cada una de las estaciones de trabajo (Servers), los productos en proceso (Model Entities), los trabajadores (Workers), entre otros.

Por ejemplo:

Object Type ▲ ▾	Object Name ▼	Data Source ▲	Category ▲	Data Item ▲	Statistic ▲ ▾	Average Total
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	12.6774
					Maximum (Ho...	21.8050
					Minimum (Hou...	3.8326
					Observations	118.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	118.0000	
			NumberExited	Total	118.0000	
	Defectuosos	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	10.0789
					Maximum (Ho...	18.0914
					Minimum (Hou...	3.1054
					Observations	3.0000
InputBuffer		Throughput	NumberEntered	Total	3.0000	
			NumberExited	Total	3.0000	

- 8.1- La primera columna (Object Type) permite filtrar por Tipo de objeto, este puede ser un “Model Entity” un producto en proceso, “Server” una Estación de trabajo, etc.
 - 8.2- La siguiente columna (Object Name) permite filtrar por el nombre de cada objeto por ejemplo “Fundidora1” una estación de trabajo, “Productoterminado” un sumidero, etc.
 - 8.3- La tercera columna (Data Source) permite seleccionar la fuente de información, [Resource] un servidor, InputBuffer la cola de un objeto, etc.
 - 8.4- La columna (Category) separa los tipos de información, ya sea tiempos como lo es “FlowTime” o “HoldingTime” o cantidades como es “Throughput” o “Capacity”.
 - 8.5- La columna (Data Item) permite seleccionar qué información específica de cada objeto se quiere ver como “TimeInSystem” en el caso de una entidad modelo presenta el tiempo que pasa la entidad desde que ingresa al proceso hasta que llega al sumidero.
 - 8.6- Por último, la columna (Statistic) indica si se trata del promedio, un máximo, un mínimo o un total, entre otros.
- 9- Una vez se está suficientemente familiarizado con la simulación base se podrá proceder al “Escenario 1 (Tiempo en cola)”.

En este caso se utiliza el método de tiempos activos e inactivos de las estaciones de trabajo. El tiempo activo se define como el tiempo en el que la estación está transformando, combinando o inspeccionando materias primas, producto semiterminado o producto terminado. Para realizar este estudio seguimos los siguientes pasos:

- 1- Proceder a abrir el archivo “Escenario 1 (Tiempos activos/inactivos).SPF”.
- 2- Seguir el procedimiento utilizado en el archivo “Modelo Base.SPF” para poder observar la simulación utilizando el visor de realidad virtual.
- 3- Al correr la simulación una de las características importantes a notar es que cada estación dentro del proceso se resalta en verde cuando está activa.



Ejemplo 1: Fundidora activa.

- 4- Utilizando este recurso durante la corrida del proceso se debe medir el tiempo que cada estación está activa e inactiva.
- 5- A partir de estos datos se pueden seguir dos métodos de identificación de cuellos de botella.
 - a. Adicionar los tiempos activos de cada servidor y dividir el dato en el tiempo total de la corrida obteniendo el porcentaje de utilización de cada proceso.
 - b. Adicionar los tiempos inactivos de cada servidor y dividir este dato en el tiempo total de la corrida del proceso obteniendo el porcentaje de tiempo inactivo del proceso.
- 6- Si se procede utilizando el tiempo activo, el cuello de botella podrá ser identificado como el que tiene el porcentaje más alto de utilización. Esto debido a que es lo que restringe el proceso por lo que siempre debe estar ocupado.
- 7- Para obtener este dato se debe dividir el tiempo activo de cada servidor en el tiempo total durante el cual se tomó el tiempo.

$$\frac{\textit{T tiempo activo de servidor}}{\textit{T tiempo total de medición de tiempos activos}}$$

- 8- Si se utilizan los tiempos inactivos el cuello de botella será el que tiene el menor tiempo esperando materiales para trabajar. Esto ya que para no restringir el proceso los servidores deben estar procesando la mayor cantidad de tiempo posible.
- 9- Ambos resultados se pueden comprobar en la pestaña de resultados de la corrida.
 - 9.1- Utilizando el método de tiempos activos: se filtran en “Object Type” a los servidores y en “Data Item” “TimeProcessing”. Esto presentará resultados del tiempo total activo, el porcentaje de tiempo activo, el promedio de tiempo activo y la cantidad de veces que se activó el proceso.
 - 9.2- Utilizando el método de tiempos inactivos: filtramos de nuevo los servidores, en “Data Item” se filtra “TimeStarved”. Esto presenta resultados de tiempo total inactivo, porcentaje de tiempo inactivo, promedio de tiempo inactivo y el número de veces que el servidor quedó en modo inactivo.

10. ¿Cuál es el cuello de botella en este escenario?

Este escenario prueba uno de los conceptos más importantes de la teoría de restricciones, se debe identificar claramente el cuello de botella y este se debe explotar a su máxima capacidad posible. A partir de este punto se debe incrementar la capacidad del cuello de botella para optimizar el proceso, ya sea a través de la compra de maquinaria, ajustando los requerimientos de la inspección y reducir su tiempo de proceso o incrementar la cantidad de inspectores.

C. Escenario 3 Logística

1. Guía para catedráticos

En este escenario se modificó la cantidad de entidades que la fuente “Metales” produce, lo cual crea un déficit de materia prima en el proceso, esto causa que la cantidad de ollas producidas en el ciclo de 24 horas se reduzca.

Al tener la cantidad nueva de producto terminado producido se creó un MRP en el cual se indica la demanda estimada para cada mes, la cantidad de materia prima requerida y cómo las cantidades se compensan.

En la siguiente sección los estudiantes deben investigar sobre tres incoterms: CIF, FCA y EX WORKS. A partir de esta investigación se presenta a los estudiantes las diferentes necesidades de cada uno de los incoterms y el efecto que estas tendrán sobre el margen final del producto. Utilizando el conocimiento recopilado en la investigación y los datos provistos, los estudiantes deben tomar la decisión sobre los incoterms más convenientes a la empresa. A continuación, se presentan los resultados de este ejercicio:

	CIF	FCA	EXWORKS
Pago de transporte	-5%	-2.5%	0%
Pago de internación y desaduanaje	-3%	0%	0%
Alquiler de bodega externa	0%	0%	-10%
Seguro de transporte	-1%	-1%	0%
Margen negociado con cliente	20%	15%	12%
TOTAL	11%	12%	2%

TABLA 5 - EJERCICIO INCOTERMS

Como se puede ver en la Tabla 5 en este caso el incoterm más conveniente para la empresa es FCA.

2. Guía para estudiantes

Guía de trabajo Logística.

Instrucciones generales

Para poder llevar a cabo esta guía de trabajo se debe tener acceso a los archivos “Modelo Base.SPF” y “Escenario 3 (Efecto Látigo)”. El primer archivo presenta el proceso de producción con sus características generales, el segundo archivo es el que será utilizado para el desarrollo de conceptos de logística. Ambos son archivos que se deben abrir en el software SIMIO simulation.

ADVERTENCIA GENERAL: Si en algún momento el estudiante que esté utilizando el visor de realidad siente mareos o confusión se debe detener la simulación, se debe remover el visor y el estudiante se debe trasladar a un área ventilada donde pueda tomar asiento.

El primer paso para poder llevar a cabo la realización de la guía de trabajo es familiarizarse con la planta de producción y el proceso original.

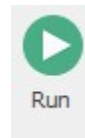
- 1- Abrir el archivo "Modelo Base.SPF".
- 2- Una vez abierta la simulación se debe comprobar que el equipo de realidad virtual esté conectado se envía al visor utilizado el siguiente botón:



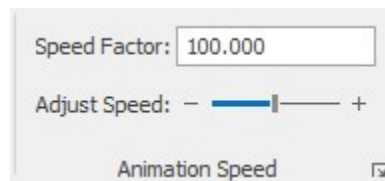
- 3- Ya que se puede visualizar el proceso en realidad virtual, utilizando las flechas del teclado el usuario puede movilizarse dentro de la simulación.



- 4- Utilizando el botón de "Run" se activa la simulación del proceso.



- 5- Se puede controlar la velocidad del proceso utilizando los controles en la sección de "Animation speed".



- 6- Una vez ajustada la velocidad y el modelo esté funcionando se puede observar el flujo de los materiales y cómo funciona cada uno de los procesos.
- 7- Para visualizar los resultados generales de la simulación se debe proceder a la sección de resultados:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	19.6932
					Maximum	30.0000
				UnitsScheduled	Average	100.0000
					Maximum	100.0000
				UnitsAllocated	Total	131.0000
				ScheduledUtilization	Percent	19.6932

- 8- En esta sección se pueden observar los detalles de cada una de las estaciones de trabajo (Servers), los productos en proceso (Model Entities), los trabajadores (Workers), entre otros.
Por ejemplo:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total		
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	12.6774		
					Maximum (Ho...	21.8050		
					Minimum (Hou...	3.8326		
					Observations	118.0000		
	Defectuosos	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	NumberEntered	Total	118.0000	
						NumberExited	Total	118.0000
						Average (Hou...	10.0789	
						Maximum (Ho...	18.0914	
					Minimum (Hou...	3.1054		
					Observations	3.0000		
InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	3.0000				
			NumberExited	Total	3.0000			

- 8.1- La primera columna (Object Type) permite filtrar por Tipo de objeto, este puede ser un "Model Entity" un producto en proceso, "Server" una Estación de trabajo, etc.
- 8.2- La siguiente columna (Object Name) permite filtrar por el nombre de cada objeto por ejemplo "Fundidora1" una estación de trabajo, "Productoterminado" un sumidero, etc.
- 8.3- La tercera columna (Data Source) permite seleccionar la fuente de información, [Resource] un servidor, InputBuffer la cola de un objeto, etc.
- 8.4- La columna (Category) separa los tipos de información, ya sea tiempos como lo es "FlowTime" o "HoldingTime" o cantidades como es "Throughput" o "Capacity".
- 8.5- La columna (Data Item) permite seleccionar qué información específica de cada objeto se quiere ver como "TimeInSystem" en el caso de una entidad modelo presenta el tiempo que pasa la entidad desde que ingresa al proceso hasta que llega al sumidero.
- 8.6- Por último, la columna (Statistic) indica si se trata del promedio, un máximo, un mínimo o un total, entre otros.

- 9- Una vez se está suficientemente familiarizado con la simulación base se podrá proceder al “Escenario 1 (Tiempo en cola)”.

Este escenario es diferente al original debido a un aspecto fundamental, la materia prima. En esta variación del proceso se limita la cantidad de materia prima que ingresa al proceso lo que significa que el proceso no será capaz de llegar a sus números de producción máximos y no se cumplirá con la producción estimada. Esto se puede comprobar de la siguiente manera:

- 1- En la pestaña de resultados se filtra “Sink” que es el último paso del proceso.
- 2- Al observar la cantidad de entidades ingresadas al sumidero “ProductoTerminado” en “NumberExited” y compararlas con la cantidad producidas en el modelo base.
- 3- El MRP (Material requirements planning) que la empresa estaba aplicando para la materia prima de hierro era el siguiente:

Material	Hierro
Unidad	KG

Mes	0	1	2	3	4	5	6
Demanda	0	10000	11000	12100	12300	12400	12400
Inventario	0	12500	2500	4000	4400	4100	4200
Orden recibida	12500	0	12500	12500	12000	12500	10000
Orden realizada	12500	12500	12000	12500	10000	0	0
Inventario de seguridad	0	2500	4000	4400	4100	4200	1800

Durante el sexto mes hubo problemas en la cadena de suministros por lo que la cantidad de materia prima que se entregó durante el mes 6 fue de solamente 100 kg diarios en lugar de los 500 kg requeridos. ¿Como se verá el nuevo MRP?

Material	Hierro
Unidad	KG

Mes	0	1	2	3	4	5	6
Demanda							
Inventario							
Orden recibida							
Orden realizada							
Inventario de seguridad							

¿Cuánta será la demanda sin cumplir?

- 4- Debido a que la cantidad ya había sido comprometida con un cliente la demanda sin cumplir se convirtió en back order por lo que la planta debe compensar la cantidad de unidades de back order el siguiente mes por lo que se ordena más materia prima:

Material	Hierro
Unidad	KG

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda	0	10000	11000	12100	12300	12300	12400	12000	12000
Inventario	0	12500	2500	4000	4400	4100	4300	-6100	-8100
Orden recibida	12500	0	12500	12500	12000	12500	2000	10000	12500
Orden realizada	12500	12500	12000	12500	10000	10000	12500	12500	0
Inventario de seguridad	0	2500	4000	4400	4100	4300	-6100	-8100	-7600

Se ordena suficiente materia prima para compensar por el back order y cumplir con la demanda proyectada conforme a la capacidad máxima de producción.

- 5- Los problemas en la cadena de suministros afectaron también a los distribuidores por lo que no se tuvieron las ventas esperadas, lo que hace al distribuidor modificar su orden en el mes 8 restando el equivalente de 10,000 kg. ¿Cuál será el inventario de seguridad restante?
- 6- Como se puede ver en el último MRP el departamento de planificación ordeno 12500 kg en el mes 7 para asegurarse que la producción estuviera abastecida. ¿Si la demanda del mes 8 se repite en el mes 9? ¿Cuánto será el inventario de seguridad del mes 9?

El inventario de seguridad excede la capacidad de la bodega de producto terminado y compensa completamente la producción posible para el próximo mes lo que forzaría a la planta a detener operaciones por un mes.

Este es un ejemplo de un Bullwhip en efecto, debido a interrupciones en la cadena de suministros y por falta de comunicación activa entre las partes de la cadena la producción excedió a la demanda. Esto puede tener consecuencias graves para la cadena, la planta se puede ver forzada a cerrar debido a altos costos de almacenamiento y bajas ventas, los distribuidores pueden quedar sin proveedor, los minoristas sin producto etc.

7- La planta debe hacer nuevas negociaciones con clientes. Se deben definir los detalles logísticos. En primer lugar, debido al carácter internacional de la cadena de suministro para este producto se deben definir los incoterms a utilizarse. Los incoterms disponibles son los siguientes:

1. CIF
2. FCA
3. EX WORKS

8- Realizar una investigación corta sobre los diferentes términos que implica cada uno de los incoterms anteriormente enlistados.

9- La empresa quiere mantener el margen de venta de los productos terminados para lo cual se debe escoger los incoterms que sean más favorables. Para esto tomar en cuenta que:

- a. El espacio en bodega es limitado dentro de la planta por lo que si se utiliza un incoterm donde el cliente recoge el producto se tendrá que alquilar una bodega externa, esto disminuirá el margen en 10%.
- b. Los pagos de los trámites de internación y desaduanaje disminuyen el margen en 3%
- c. El pago de transporte hasta aduana tiene disminuye el margen en 5%
- d. El pago de transporte sin llegar a aduana disminuye el margen en 2.5%.
- e. El costo del seguro de transporte disminuye el margen en 1%.

- f. A través de las negociaciones con los clientes se determinaron los precios en cada uno de los incoterms disponibles lo cual resulta en los siguientes márgenes:

CIF	FCA	EX WORKS
20%	15%	12%

Utilizando estos datos, ¿cuál incoterm le genera mejor rentabilidad a la empresa?

D. Validación de prototipo

Se realizó una verificación de cada uno de los escenarios desarrollados. Se comprobó que los escenarios fueran compatibles con la tecnología de realidad virtual, en este caso se utilizó uno de los visores Oculus Quest de la Universidad del Valle de Guatemala. Se comprobó que los tres escenarios son compatibles y se pueden visualizar cada uno de los pasos del proceso de producción. Para esto se corrió cada uno de los escenarios por un tiempo de 24 horas, tiempo de la simulación, para verificar que el proceso corriera de manera continua y el programa no se detuviera por errores o saturación de entidades modelo.

Dentro de cada uno de los escenarios se verificó el funcionamiento correcto de aspectos específicos, los cuales permiten demostrar diferentes conceptos utilizando el mismo proceso productivo.

En el Escenario 1, donde se explora el concepto de la utilización del tiempo en cola para la identificación del cuello de botella en el proceso, se verificó que cada elemento en la cola fuera visible. Esto permite que se tome el tiempo de manera empírica en un principio antes de consultar los resultados de la simulación.

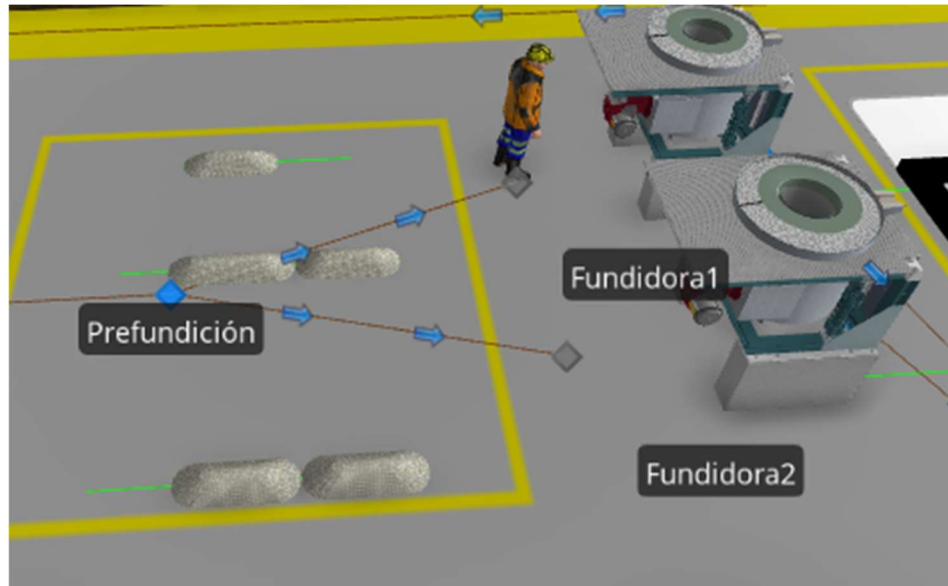


FIGURA 12 - ENTIDADES MODELO EN COLA

En el Escenario 2 se diseñó con el objetivo de utilizar los tiempos activos e inactivos de las estaciones de trabajo para identificar el cuello de botella. Para que esto fuera evidente se programó que cada servidor al estar activo cambie su color a verde, esto de nuevo permite medir los tiempos de actividad de manera empírica antes de proceder a verificar los resultados generados por el sistema.



FIGURA 13 – VISUALIZACIÓN DE SERVIDOR ACTIVO

En el Escenario 3 se validó que la simulación demuestra las características que se detallan en la guía para estudiantes. En primer lugar, se comparó que la cantidad de entidades producidas por la simulación sea diferente a las producidas por la simulación base.

Object Type ▲	Object Name ▼	Data Source ▲	Category ▲	Data Item ▲	Statistic ▲	Average Total
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	12.6774
					Maximum (Ho...	21.8050
					Minimum (Hou...	3.8326
					Observations	118.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	118.0000	
			NumberExited	Total	118.0000	
	Defectuosos	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	10.0789
					Maximum (Ho...	18.0914
					Minimum (Hou...	3.1054
					Observations	3.0000
InputBuffer		Throughput	NumberEntered	Total	3.0000	
			NumberExited	Total	3.0000	

FIGURA 14 - CANTIDAD DE OLLAS PRODUCIDAS EN SIMULACIÓN BASE

Object Type ▲	Object Name ▼	Data Source ▲	Category ▲	Data Item ▲	Statistic ▲	Average Total
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	6.6800
					Maximum (Ho...	9.7859
					Minimum (Hou...	3.8326
					Observations	40.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	40.0000	
			NumberExited	Total	40.0000	
	Defectuosos	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	6.5398
					Maximum (Ho...	6.9731
					Minimum (Hou...	6.1064
					Observations	2.0000
InputBuffer		Throughput	NumberEntered	Total	2.0000	
			NumberExited	Total	2.0000	

FIGURA 15 - CANTIDAD DE OLLAS PRODUCIDAS EN EL ESCENARIO 3

Adicional se verificó que las modificaciones de la fuente no causaron errores en la simulación que no fueran parte del escenario.

VII. Conclusiones

- El proceso de producción diseñado corre por un total de 24 horas. Tiene operaciones de fundición, solidificación, moldeo, inyección, limpieza, pulido, lijado, Shotblasting, inspección, pintura, secado al aire, horneado y enfriado para un total de 15 operaciones, detalladas en un diagrama de operaciones de proceso. Las estaciones de trabajo fueron diseñadas con información puntual de la maquinaria requerida y la cantidad de operadores necesarios para llevar a cabo dichas operaciones.
- Se diseñó una simulación en base al proceso anteriormente establecido. A través de los resultados obtenidos de la simulación, se concluyó que el cuello de botella se encuentra en el proceso de solidificación con un porcentaje de utilización de 99.32% y el recurso restringido por la capacidad se atribuye a una de las fundidoras con una utilización de 99.30%. Se obtiene una producción total de 118 entidades en un ciclo de 24 horas con 3 unidades reprocesadas.
- Los primeros dos escenarios establecidos presentan conceptos de teoría de restricciones. El primer escenario presenta alteraciones en la cantidad de operarios dentro de la planta, en comparación con el modelo base. En este escenario se simula una falta dentro del personal operativo lo cual modifica los resultados finales de la simulación. Estos cambios tienen como resultado un traslado del cuello de botella a la operación de lijado. En el segundo escenario fueron modificados los tiempos de inspección, ambos aumentados en 5 minutos, lo cual convierte a la operación de solidificación en el cuello de botella y a una de las estaciones de fundición en un recurso restringido por la capacidad. Este escenario se modificó especialmente para la visualización de los tiempos activos de las estaciones haciendo el uso de cambios de color de la maquinaria cada vez que esta se encuentra activa. En el tercer escenario se presentan conceptos de logística. Para esto se modificó la cantidad y la frecuencia de entrada de entidades modelo al proceso de producción, esto para simular una escasez de materia prima debido a problemas en la cadena de suministro y poder aplicar conceptos como MRP e Incoterms.
- Las guías de utilización desarrolladas para catedráticos describen brevemente el escenario, su variación en relación con el modelo base y cuál es el concepto que se busca reforzar con el escenario correspondiente. Finalmente presentan las respuestas puntuales de las guías de trabajo para estudiantes y cómo encontrar dichas respuestas utilizando los resultados de las simulaciones en SIMIO Simulation.

- Las guías desarrolladas para estudiantes comienzan con instrucciones generales de cómo utilizar el software de SIMIO Simulation, cómo hacer uso de la realidad virtual para la visualización de los modelos y una advertencia del uso de los visores de realidad virtual. Una vez concluidas las instrucciones generales, cada una de las guías presenta instrucciones específicas de cómo navegar y utilizar el escenario correspondiente. Cada una de las guías presenta un concepto diferente relacionado con la ingeniería industrial.

VIII. Recomendaciones

- Los estudiantes deben visualizar los procesos de producción en realidad virtual antes de ver los datos finales que presenta la simulación, esto permite a los estudiantes experimentar el proceso de optimización de procesos en una planta de producción real. En una planta de producción el primer paso será observar un proceso cotidiano y comenzar a separar los procesos y a partir de esto comenzar a medir características como el tiempo en cola de los lotes, tiempo ocioso, entre otros.
- El método es reproducible con otros procesos de producción por lo que se puede crear más de un ejemplo para demostrar conceptos importantes. Un aspecto muy importante de las simulaciones en la educación que surgió durante la elaboración de este trabajo es que el hecho de crear una simulación y observarla correr tanto en 2D como en realidad virtual puede aportar de manera significativa a la formación de estudiantes en la carrera de ingeniería industrial.
- El siguiente paso lógico en el estudio del uso de la tecnología de realidad virtual en la educación será comprobar el efecto de esta tecnología sobre el aprendizaje. Para esto es posible utilizar los escenarios desarrollados en este trabajo para hacer un estudio controlado, donde un grupo de estudiantes utiliza las herramientas de realidad virtual mientras un grupo de estudiantes control aprende de la manera acostumbrada. Al finalizar el curso se pueden comprobar diferentes aspectos del aprendizaje como la cantidad de conocimiento adquirido, el interés de los estudiantes y la satisfacción con el curso y las herramientas profesionales adquiridas.
- A partir del modelo base presentado en este trabajo se pueden crear nuevos escenarios que permitan presentar otros conceptos los cuales no están limitados a la teoría de restricciones o logística. El campo de aplicación de la realidad virtual y la simulación de procesos de producción tiene el potencial de ser utilizado en diferentes facetas de la ingeniería industrial.

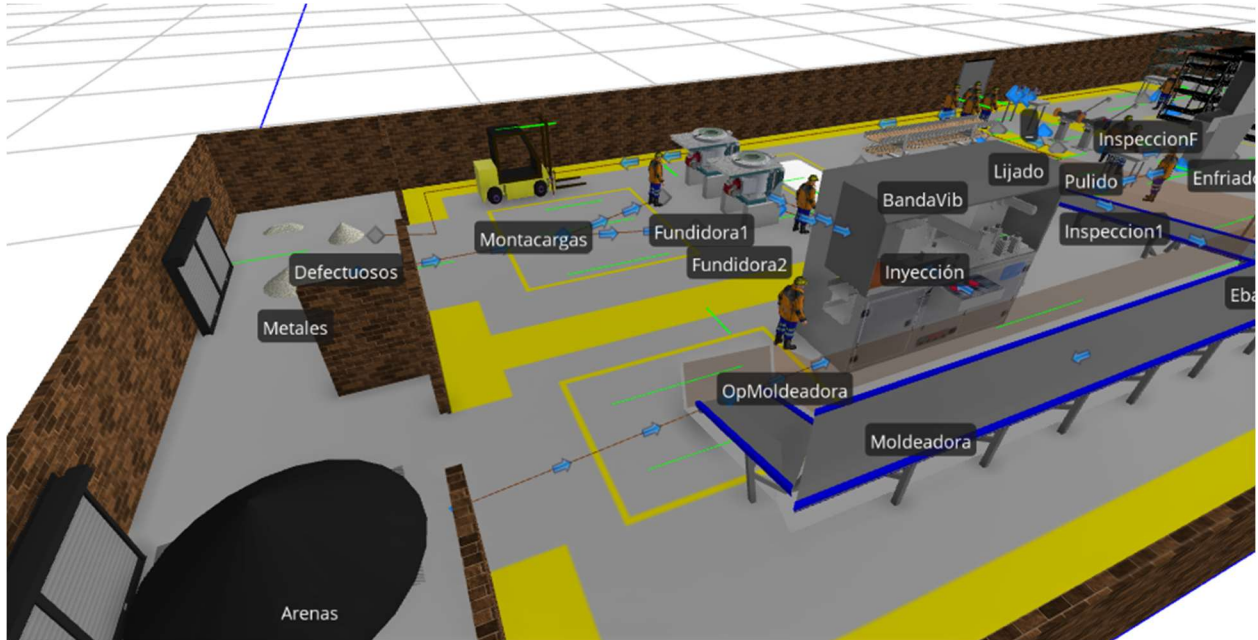
IX. Bibliografía

- Bashir , S., Mustufa , H., Syed, H., Krid, M., Hisham, A., & Abdo, A. (2019). Virtual Reality-Based Engineering Education to. *MDPI*, 11-30.
- Buchmeister, B., Pavlinjek, J., Palcic, I., & Polajnar, A. (2008). Bullwhip effect problem in supply chains. *University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering*.
- Chatfield, D., Kim, J., Harrison, T., & Hayya, J. (2004). *The bullwhip effect- impact of stochastic lead time, information quality and information sharing: A simulation study*. Production and Operation Management.
- Checa, D., Saucedo-Dorantes, J., Osornio-Rios, R., Antonino-Daviu, J., & Bustillo, A. (2022). Virtual Reality Training Application for the Condition-Based. *Applied Sciences* 12, 414-436.
- ContiTech AG. (2010). *Belts for plant automation*. Obtenido de Continental: <https://www.tyma.cz/pdf/contitech-conti-conveyor-belts-automotive.pdf>
- CYM. (2011). *General Introduction to Shot Blasting*. Santa Fe: CYM.
- DISA. (s.f.). *DISAMATIC C3-150*. Obtenido de DISA: <https://www.disagroup.com/en-us/foundry-products/moulding-solutions/disamatic/disamatic-c-lines/disamatic-c3-150>
- Erboz, G. (2017). How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0. *Managerial trends in the development of enterprises in globalization era*, , 761-767.
- Fiala, P. (2005). *Information shering in supply chains*. Omega.
- Hafner, P., Hafner, V., & Ovtcharova, J. (2013). Teaching Methodology for Virtual Reality Practical Course in. *Procedia Computer Science*, 251-260.
- JML. (s.f.). *Shake out unit*. Obtenido de jml-industrie: <https://www.jml-industrie.com/vibrating-machines-foundry/shake-out-machines/shake-out-unit/>
- Kaltenbach. (s.f.). *GIETART ECO Blaster 1504*. Obtenido de kaltenbach: <https://www.kaltenbach.com/en/shot-blasting/gietart-eco-blaster-1504/>
- Lasi, H., Kemper, H.-G., Fettke, P., Feld, T., & Hoffman, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 239-242.
- Lee, H., Padmanabhan., V., & Whang., S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. *Management Review*.
- Łopatowska, J. (2008). Aplication of TOC □inking pro-cess in change of production planning and control process. *Logistyka*, 86-94.
- Mandal, S. (2013). Brief introduction of virtual reality & its challenges. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4 (4), 304-309.
- Nabertherm. (s.f.). Obtenido de Nabertherm: <https://nabertherm.com/en>

- Naranjo, J., Sanchez, D., Robalino-Lopez, A., Robalino-Lopez, P., Alarcon-Ortiz, A., & Garcia, M. (2020). A Scoping Review on Virtual Reality-Based. *applied sciences* 10.
- Netzel, H. (2004). *Induction – Furnace - Handbook*. Harkortring: Induktion Experience Service.
- Nishizawa, H., Shimada, K., Ohno, W., & Yoshioka, T. (2013). Increasing Reality and Educational Merits of a Virtual Game. *Procedia Computer Scienc*, 32-40.
- Ojstersek, R., Palcic, I., & Buchmeister, B. (2019). Real-Time manufacturing optimization with a simulation model and. *Procedia Manufacturing* 38, 1103-1110.
- Roser, C., Lorentzen, K., & Deuse, J. (2014). Reliable Shop Floor Bottleneck Detection for Flow Lines through Process. *Robust Manufacturing Conference*, 63-68.
- Roussos, M., Johnson, A., Moher, T., Leigh, J., Vasilakis, C., & Barnes, C. (1999). Learning and Building Together in an Immersive Virtual World. *Presence Teleoperators Virtual Environ*, 247-263.
- Shroeder, H., Friedewald, A., Kahlefeldt, C., & Lodding, H. (2017). Virtual Reality for the Training of Operators in Industry 4.0. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 330-337.
- Thour, M. (2014). *Bottleneck analysis and throughput improvement through simulation-based multi objective optimization*. Skovde: Universiti of Skovde.
- Toyota Material Handling. (2022). *CORE ELECTRIC FORKLIFT*. Obtenido de <https://www.toyotaforklift.com/lifts/electric-motor-rider-forklifts/core-electric-forklift>
- Urban, W., & Rogowska, P. (2020). Methodology for bottleneck identification in a production system when implementing TOC. *Engineering Management in Production and Services*, 74-82.
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.-L., & Wang, X. (2018). A Critical Review of the Use of Virtual Reality in. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15-33.
- Wolfartsberger, J., Zenisek, J., & Sievi, C. (2018). Chances and limitations of a Virtual Reality-supported Tool for Decision making in industrial engineering. *IFAC*, 637-642.
- Wu, S., Gan, W., & Wei, F. (2011). available online at www.sciencedirect.com *Procedia Engineering* 00 (2011) 000–000
ProcediaEngineeringwww.elsevier.com/locate/procediaAdvanced in Control Engineering and Information Science Analysis of Bullwhip Effect Based on ABMS . *Procedia Engineering*.

X. Anexos

Capturas de pantalla de la simulación del proceso:



ANEXO 1 - BODEGAS DE MATERIA PRIMA, MOLDEADORA Y FUNDIDORAS



ANEXO 2 - ÁREA DE PULIDORAS, LIJADORAS, BANDA TRANSPORTADORA VIBRADORA Y SHOTBLASTER.



ANEXO 3 - ÁREA DE HORNO, SECADO DE ESMALTE Y ENFRIADO.

Guía de trabajo

Identificación de cuellos de botella: Tiempo en cola.

Instrucciones generales

Para poder llevar a cabo esta guía de trabajo se debe tener acceso a los archivos “Modelo Base.SPF” y “Escenario 1 (Tiempo en cola)”.

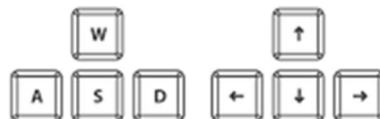
ADVERTENCIA GENERAL: Si en algún momento el estudiante que esté utilizando el visor de realidad siente mareos o confusión se debe detener la simulación, se debe remover el visor y el estudiante se debe trasladar a un área ventilada donde pueda tomar asiento.

El primer paso para poder llevar a cabo la realización de la guía de trabajo es familiarizarse con la planta de producción y el proceso original.

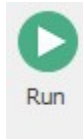
- 1- Abrir el archivo “Modelo Base.SPF”.
- 2- Una vez abierta la simulación se debe comprobar que el equipo de realidad virtual esté conectado se envía al visor utilizado el siguiente botón:



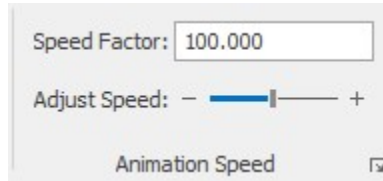
- 3- Ya que se puede visualizar el proceso en realidad virtual, utilizando las flechas del teclado el usuario puede movilizarse dentro de la simulación.



- 4- Utilizando el botón de “Run” se activa la simulación del proceso.



- 5- Se puede controlar la velocidad del proceso utilizando los controles en la sección de “Animation speed”.



- 6- Una vez ajustada la velocidad y el modelo esté funcionando se puede observar el flujo de los materiales y cómo funciona cada uno de los procesos.

- 7- Para visualizar los resultados generales de la simulación se debe proceder a la sección de resultados:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	19.6932
					Maximum	30.0000
				UnitsScheduled	Average	100.0000
					Maximum	100.0000
				UnitsAllocated	Total	131.0000
				ScheduledUtilization	Percent	19.6932

- 8- En esta sección se pueden observar los detalles de cada una de las estaciones de trabajo (Servers), los productos en proceso (Model Entities), los trabajadores (Workers), entre otros.

Por ejemplo:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total	
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	12.6774	
					Maximum (Ho...	21.8050	
					Minimum (Hou...	3.8326	
					Observations	118.0000	
	Defectuosos	InputBuffer	Throughput		NumberEntered	Total	118.0000
					NumberExited	Total	118.0000
		[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem		Average (Hou...	10.0789
						Maximum (Ho...	18.0914
						Minimum (Hou...	3.1054
						Observations	3.0000
InputBuffer	Throughput			NumberEntered	Total	3.0000	
				NumberExited	Total	3.0000	

- 8.1- La primera columna (Object Type) permite filtrar por Tipo de objeto, este puede ser un “Model Entity” un producto en proceso, “Server” una Estación de trabajo, etc.

- 8.2- La siguiente columna (Object Name) permite filtrar por el nombre de cada objeto por ejemplo “Fundidora1” una estación de trabajo, “Productoterminado” un sumidero, etc.
- 8.3- La tercera columna (Data Source) permite seleccionar la fuente de información, [Resource] un servidor, InputBuffer la cola de un objeto, etc.
- 8.4- La columna (Category) separa los tipos de información, ya sea tiempos como lo es “FlowTime” o “HoldingTime” o cantidades como es “Throughput” o “Capacity”.
- 8.5- La columna (Data Item) permite seleccionar qué información específica de cada objeto se quiere ver como “TimeInSystem” en el caso de una entidad modelo presenta el tiempo que pasa la entidad desde que ingresa al proceso hasta que llega al sumidero.
- 8.6- Por último, la columna (Statistic) indica si se trata del promedio, un máximo, un mínimo o un total, entre otros.

9- Una vez se está suficientemente familiarizado con la simulación base se podrá proceder al “Escenario 1 (Tiempo en cola)”.

Utilizando el modelo original como base se modeló la situación en la que uno de los operarios de la estación de pulido no se presentó. Para cubrir la vacante se asigna al Inspector 1 por lo que el Inspector final debe cubrir ambos puestos de inspección.

Estos cambios presentan mejoras marginales en la producción y en la cantidad de productos defectuosos. Esto se da ya que ambos inspectores tenían cantidades considerables de tiempo muerto. Esto demuestra que las soluciones a los cuellos de botella van más allá que agregar maquinaria u operarios. De igual manera, en este modelo se pueden utilizar los métodos de identificación de cuellos de botella para mantener un proceso de mejora continua.

Al tener estos cambios en el proceso, se debe medir de nuevo el proceso para entender de qué manera estos cambios han afectado al proceso en general.

En este escenario se utilizará el método de los tiempos de cola en cada estación de trabajo. Para esto seguimos los siguientes pasos:

- 1- Proceder a abrir el archivo “Escenario 1 (Tiempos en cola).SPF”.
- 2- Seguir el procedimiento utilizado en el archivo “Modelo Base.SPF” para poder observar la simulación utilizando el visor de realidad virtual.
- 3- Lo primero que se debe identificar son las estaciones dentro del proceso de producción, en el caso de SIMIO estos se clasifican como “Servers” o servidores.

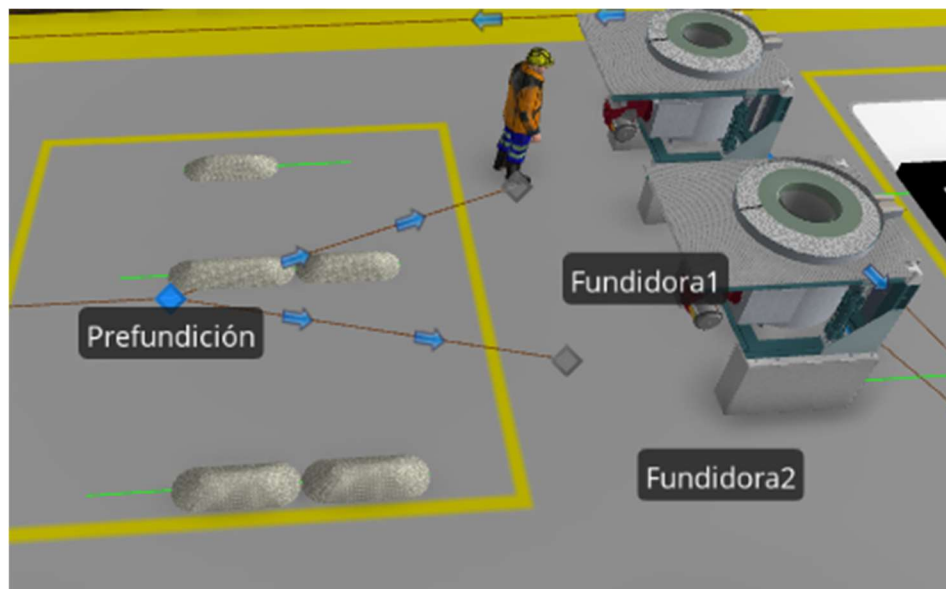
Por ejemplo: En este caso los servidores que se pueden ver en la imagen son las fundidoras, estas realizan el proceso de fundido de metal, recibe metal sólido y entrega hierro fundido.



Ejemplo 1: Fundidoras (Servidores)

- 4- Al correr la simulación se puede observar que antes de cada uno de los pasos dentro del proceso productivo o servidor se acumulan materias primas, esta es la cola del servidor.

Por ejemplo: en la imagen se puede ver las acumulaciones de metal que están en cola para ingresar a la fundidora.



Ejemplo 2: Colas de ambas fundidoras.

- 5- Se debe medir el tiempo que pasa en la cola cada una de las entidades o materiales.
- 6- Para cada servidor se debe tomar suficientes tiempos para que el cálculo de la media del tiempo en cola de cada servidor sea representativo del mismo.

NOTA: La cantidad de unidades en cola no es equivalente al tiempo en cola. No se debe confundir el hecho que existan muchas entidades en cola con el dato importante el cual es cuánto tiempo pasa cada entidad en cola para entrar en proceso.

7- Durante la corrida del proceso se debe identificar cuál de los procesos tiene el tiempo en cola más alto.

8- Al identificar el servidor que presenta el promedio de tiempo en cola más alto hemos encontrado el cuello de botella en el proceso.

9- ¿Cuál fue el cuello de botella dentro de este escenario?

10- Esto se puede corroborar en la sección de resultados.

- a. En la selección de los objetos que se quieren revisar se seleccionan los servidores.
- b. En la selección de fuente de datos se debe filtrar el dato de "InputBuffer" ya que este es el nombre que recibe la cola de materiales que se forma antes de un servidor.
- c. En la selección de Categoría se selecciona "HoldingTime" ya que este representa el tiempo que el material se retuvo dentro de la cola del servidor.

Guía de trabajo Identificación de cuellos de botella: Tiempos activos.

Instrucciones generales

Para poder llevar a cabo esta guía de trabajo se debe tener acceso a los archivos “Modelo Base.SPF” y “Escenario 2 (Tiempos activos/inactivos)”. El primer archivo presenta el proceso de producción con sus características generales, el segundo archivo es el que será utilizado para el desarrollo del concepto de identificación de cuellos de botella con el método de tiempos activos/inactivos. Ambos son archivos que se deben abrir en el software SIMIO simulation.

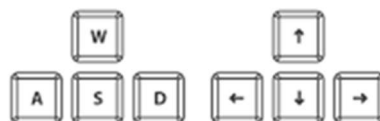
ADVERTENCIA GENERAL: Si en algún momento el estudiante que esté utilizando el visor de realidad siente mareos o confusión se debe detener la simulación, se debe remover el visor y el estudiante se debe trasladar a un área ventilada donde pueda tomar asiento.

El primer paso para poder llevar a cabo la realización de la guía de trabajo es familiarizarse con la planta de producción y el proceso original.

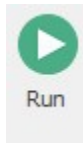
- 1- Abrir el archivo “Modelo Base.SPF”.
- 2- Una vez abierta la simulación se debe comprobar que el equipo de realidad virtual esté conectado se envía al visor utilizado el siguiente botón:



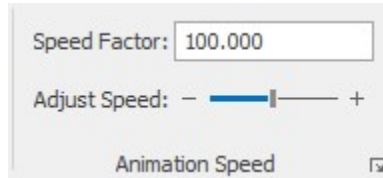
- 3- Ya que se puede visualizar el proceso en realidad virtual, utilizando las flechas del teclado el usuario puede movilizarse dentro de la simulación.



4- Utilizando el botón de “Run” se activa la simulación del proceso.



5- Se puede controlar la velocidad del proceso utilizando los controles en la sección de “Animation speed”.



6- Una vez ajustada la velocidad y el modelo esté funcionando se puede observar el flujo de los materiales y cómo funciona cada uno de los procesos.

7- Para visualizar los resultados generales de la simulación se debe proceder a la sección de resultados:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	19.6932
					Maximum	30.0000
				UnitsScheduled	Average	100.0000
					Maximum	100.0000
				UnitsAllocated	Total	131.0000
				ScheduledUtilization	Percent	19.6932

8- En esta sección se pueden observar los detalles de cada una de las estaciones de trabajo (Servers), los productos en proceso (Model Entities), los trabajadores (Workers), entre otros. Por ejemplo:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total	
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	12.6774	
					Maximum (Ho...	21.8050	
					Minimum (Hou...	3.8326	
					Observations	118.0000	
	Defectuosos	InputBuffer	Throughput		NumberEntered	Total	118.0000
					NumberExited	Total	118.0000
		[DestroyedEntities]	FlowTime		TimeInSystem	Average (Hou...	10.0789
						Maximum (Ho...	18.0914
						Minimum (Hou...	3.1054
						Observations	3.0000
InputBuffer	Throughput			NumberEntered	Total	3.0000	
				NumberExited	Total	3.0000	

- 8.1- La primera columna (Object Type) permite filtrar por Tipo de objeto, este puede ser un “Model Entity” un producto en proceso, “Server” una Estación de trabajo, etc.
 - 8.2- La siguiente columna (Object Name) permite filtrar por el nombre de cada objeto por ejemplo “Fundidora1” una estación de trabajo, “Productoterminado” un sumidero, etc.
 - 8.3- La tercera columna (Data Source) permite seleccionar la fuente de información, [Resource] un servidor, InputBuffer la cola de un objeto, etc.
 - 8.4- La columna (Category) separa los tipos de información, ya sea tiempos como lo es “FlowTime” o “HoldingTime” o cantidades como es “Throughput” o “Capacity”.
 - 8.5- La columna (Data Item) permite seleccionar qué información específica de cada objeto se quiere ver como “TimeInSystem” en el caso de una entidad modelo presenta el tiempo que pasa la entidad desde que ingresa al proceso hasta que llega al sumidero.
 - 8.6- Por último, la columna (Statistic) indica si se trata del promedio, un máximo, un mínimo o un total, entre otros.
- 9- Una vez se está suficientemente familiarizado con la simulación base se podrá proceder al “Escenario 2 (Tiempos activos/inactivos)”.

En este caso se utiliza el método de tiempos activos e inactivos de las estaciones de trabajo. El tiempo activo se define como el tiempo en el que la estación está transformando, combinando o inspeccionando materias primas, producto semiterminado o producto terminado. Para realizar este estudio seguimos los siguientes pasos:

- 1- Proceder a abrir el archivo “Escenario 2 (Tiempos activos/inactivos).SPF”.
- 2- Seguir el procedimiento utilizado en el archivo “Modelo Base.SPF” para poder observar la simulación utilizando el visor de realidad virtual.
- 3- Al correr la simulación una de las características importantes a notar es que cada estación dentro del proceso se resalta en verde cuando está activa.



Ejemplo 1: Fundidora activa.

- 4- Utilizando este recurso durante la corrida del proceso se debe medir el tiempo que cada estación está activa e inactiva.
- 5- A partir de estos datos se pueden seguir dos métodos de identificación de cuellos de botella.
 - a. Adicionar los tiempos activos de cada servidor y dividir el dato en el tiempo total de la corrida obteniendo el porcentaje de utilización de cada proceso.
 - b. Adicionar los tiempos inactivos de cada servidor y dividir este dato en el tiempo total de la corrida del proceso obteniendo el porcentaje de tiempo inactivo del proceso.
- 6- Si se procede utilizando el tiempo activo, el cuello de botella podrá ser identificado como el que tiene el porcentaje más alto de utilización. Esto debido a que es lo que restringe el proceso por lo que siempre debe estar ocupado.
- 7- Para obtener este dato se debe dividir el tiempo activo de cada servidor en el tiempo total durante el cual se tomó el tiempo.

$$\frac{\textit{Tiempo activo de servidor}}{\textit{Tiempo total de medición de tiempos activos}}$$

- 8- Si se utilizan los tiempos inactivos el cuello de botella será el que tiene el menor tiempo esperando materiales para trabajar. Esto ya que para no restringir el proceso los servidores deben estar procesando la mayor cantidad de tiempo posible.
- 9- Ambos resultados se pueden comprobar en la pestaña de resultados de la corrida.

- 9.1- Utilizando el método de tiempos activos: se filtran en “Object Type” a los servidores y en “Data Item” “TimeProcessing”. Esto presentará resultados del tiempo total activo, el porcentaje de tiempo activo, el promedio de tiempo activo y la cantidad de veces que se activó el proceso.
- 9.2- Utilizando el método de tiempos inactivos: filtramos de nuevo los servidores, en “Data Item” se filtra “TimeStarved”. Esto presenta resultados de tiempo total inactivo, porcentaje de tiempo inactivo, promedio de tiempo inactivo y el número de veces que el servidor quedó en modo inactivo.

10. ¿Cuál es el cuello de botella en este escenario?

Este escenario prueba uno de los conceptos más importantes de la teoría de restricciones, se debe identificar claramente el cuello de botella y este se debe explotar a su máxima capacidad posible. A partir de este punto se debe incrementar la capacidad del cuello de botella para optimizar el proceso, ya sea a través de la compra de maquinaria, ajustando los requerimientos de la inspección y reducir su tiempo de proceso o incrementar la cantidad de inspectores.

Guía de trabajo Logística.

Instrucciones generales

Para poder llevar a cabo esta guía de trabajo se debe tener acceso a los archivos “Modelo Base.SPF” y “Escenario 3 (Efecto Látigo)”. El primer archivo presenta el proceso de producción con sus características generales, el segundo archivo es el que será utilizado para el desarrollo de conceptos de logística. Ambos son archivos que se deben abrir en el software SIMIO simulation.

ADVERTENCIA GENERAL: Si en algún momento el estudiante que esté utilizando el visor de realidad siente mareos o confusión se debe detener la simulación, se debe remover el visor y el estudiante se debe trasladar a un área ventilada donde pueda tomar asiento.

El primer paso para poder llevar a cabo la realización de la guía de trabajo es familiarizarse con la planta de producción y el proceso original.

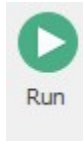
- 1- Abrir el archivo “Modelo Base.SPF”.
- 2- Una vez abierta la simulación se debe comprobar que el equipo de realidad virtual esté conectado se envía al visor utilizado el siguiente botón:



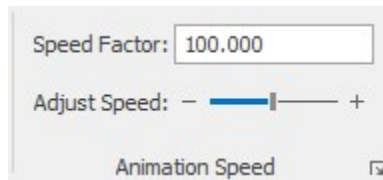
- 3- Ya que se puede visualizar el proceso en realidad virtual, utilizando las flechas del teclado el usuario puede movilizarse dentro de la simulación.



4- Utilizando el botón de “Run” se activa la simulación del proceso.



5- Se puede controlar la velocidad del proceso utilizando los controles en la sección de “Animation speed”.



6- Una vez ajustada la velocidad y el modelo esté funcionando se puede observar el flujo de los materiales y cómo funciona cada uno de los procesos.

7- Para visualizar los resultados generales de la simulación se debe proceder a la sección de resultados:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Solidificación	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	19.6932
					Maximum	30.0000
				UnitsScheduled	Average	100.0000
					Maximum	100.0000
				UnitsAllocated	Total	131.0000
				ScheduledUtilization	Percent	19.6932

8- En esta sección se pueden observar los detalles de cada una de las estaciones de trabajo (Servers), los productos en proceso (Model Entities), los trabajadores (Workers), entre otros. Por ejemplo:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Sink	ProductoTerminado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	12.6774
					Maximum (Ho...	21.8050
					Minimum (Hou...	3.8326
					Observations	118.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	118.0000	
			NumberExited	Total	118.0000	
	Defectuosos	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	10.0789
					Maximum (Ho...	18.0914
					Minimum (Hou...	3.1054
					Observations	3.0000
InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	3.0000		
		NumberExited	Total	3.0000		

- 8.1- La primera columna (Object Type) permite filtrar por Tipo de objeto, este puede ser un “Model Entity” un producto en proceso, “Server” una Estación de trabajo, etc.
 - 8.2- La siguiente columna (Object Name) permite filtrar por el nombre de cada objeto por ejemplo “Fundidora1” una estación de trabajo, “Productoterminado” un sumidero, etc.
 - 8.3- La tercera columna (Data Source) permite seleccionar la fuente de información, [Resource] un servidor, InputBuffer la cola de un objeto, etc.
 - 8.4- La columna (Category) separa los tipos de información, ya sea tiempos como lo es “FlowTime” o “HoldingTime” o cantidades como es “Throughput” o “Capacity”.
 - 8.5- La columna (Data Item) permite seleccionar qué información específica de cada objeto se quiere ver como “TimeInSystem” en el caso de una entidad modelo presenta el tiempo que pasa la entidad desde que ingresa al proceso hasta que llega al sumidero.
 - 8.6- Por último, la columna (Statistic) indica si se trata del promedio, un máximo, un mínimo o un total, entre otros.
- 9- Una vez se está suficientemente familiarizado con la simulación base se podrá proceder al “Escenario 3 (Efecto látigo)”.

Este escenario es diferente al original debido a un aspecto fundamental, la materia prima. En esta variación del proceso se limita la cantidad de materia prima que ingresa al proceso lo que significa que el proceso no será capaz de llegar a sus números de producción máximos y no se cumplirá con la producción estimada. Esto se puede comprobar de la siguiente manera:

- 1- En la pestaña de resultados se filtra “Sink” que es el último paso del proceso.
- 2- Al observar la cantidad de entidades ingresadas al sumidero “ProductoTerminado” en “NumberExited” y compararlas con la cantidad producidas en el modelo base.
- 3- El MRP (Material requirements planning) que la empresa estaba aplicando para la materia prima de hierro era el siguiente:

Material	Hierro
Unidad	KG

Mes	0	1	2	3	4	5	6
Demanda	0	10000	11000	12100	12300	12400	12400
Inventario	0	12500	2500	4000	4400	4100	4200
Orden recibida	12500	0	12500	12500	12000	12500	10000
Orden realizada	12500	12500	12000	12500	10000	0	0
Inventario de Seguridad	0	2500	4000	4400	4100	4200	1800

Durante el sexto mes hubo problemas en la cadena de suministros por lo que la cantidad de materia prima que se entregó durante el mes 6 fue de solamente 100 kg diarios en lugar de los 500 kg requeridos. ¿Como se verá el nuevo MRP?

Material	Hierro
Unidad	KG

Mes	0	1	2	3	4	5	6
Demanda							
Inventario							
Orden recibida							
Orden realizada							
Inventario de Seguridad							

¿Cuánta será la demanda sin cumplir?

- 4- Debido a que la cantidad ya había sido comprometida con un cliente la demanda sin cumplir se convirtió en back order por lo que la planta debe compensar la cantidad de unidades de back order el siguiente mes por lo que se ordena más materia prima:

Material	Hierro
Unidad	KG

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda	0	10000	11000	12100	12300	12300	12400	12000	12000
Inventario	0	12500	2500	4000	4400	4100	4300	-6100	-8100
Orden recibida	12500	0	12500	12500	12000	12500	2000	10000	12500
Orden realizada	12500	12500	12000	12500	10000	10000	12500	12500	0
Inventario de Seguridad	0	2500	4000	4400	4100	4300	-6100	-8100	-7600

Se ordena suficiente materia prima para compensar por el back order y cumplir con la demanda proyectada conforme a la capacidad máxima de producción.

- 5- Los problemas en la cadena de suministros afectaron también a los distribuidores por lo que no se tuvieron las ventas esperadas, lo que hace al distribuidor modificar su orden en el mes 8 restando el equivalente de 10,000 kg. ¿Cuál será el inventario de seguridad restante?
- 6- Como se puede ver en el último MRP el departamento de planificación ordeno 12500 kg en el mes 7 para asegurarse que la producción estuviera abastecida. Si la demanda del mes 8 se repite en el mes 9 ¿cuánto será el inventario de seguridad del mes 9?

El inventario de seguridad excede la capacidad de la bodega de producto terminado y compensa completamente la producción posible para el próximo mes lo que forzará a la planta a detener operaciones por un mes.

Este es un ejemplo de un Bullwhip en efecto, debido a disrupciones en la cadena de suministros y por falta de comunicación activa entre las partes de la cadena la producción excedió a la demanda. Esto puede tener consecuencias graves para la cadena, la planta se puede ver forzada a cerrar debido a altos costos de almacenamiento y bajas ventas, los distribuidores pueden quedar sin proveedor, los minoristas sin producto etc.

- 7- La planta debe hacer nuevas negociaciones con clientes. Se deben definir los detalles logísticos. En primer lugar, debido al carácter internacional de la cadena de suministro para este producto se deben definir los incoterms a utilizarse. Los incoterms disponibles son los siguientes:

1. CIF
2. FCA
3. EX WORKS

- 8- Realizar una investigación corta sobre los diferentes términos que implica cada uno de los incoterms anteriormente enlistados.
- 9- La empresa quiere mantener el margen de venta de los productos terminados para lo cual se debe escoger los incoterms que sean más favorables. Para esto tomar en cuenta que:

- a. El espacio en bodega es limitado dentro de la planta por lo que si se utiliza un incoterm donde el cliente recoge el producto se tendrá que alquilar una bodega externa, esto disminuirá el margen en 10%.
- b. Los pagos de los trámites de internación y desaduanaje disminuyen el margen en 3%
- c. El pago de transporte hasta aduana tiene disminuye el margen en 5%
- d. El pago de transporte sin llegar a aduana disminuye el margen en 2.5%.
- e. El costo del seguro de transporte disminuye el margen en 1%.
- f. A través de las negociaciones con los clientes se determinaron los precios en cada uno de los incoterms disponibles lo cual resulta en los siguientes márgenes:

CIF	FCA	EX WORKS
20%	15%	12%

Utilizando estos datos, ¿cuál incoterm le genera mejor rentabilidad a la empresa?