

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de prototipo de célula de manufactura basado en sistemas híbridos

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros Industriales**

Presentado por:

Jorge Esteban Ibáñez Robles

Carlos Hernán Suárez Barragán

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2020

# DEDICATORIA

Para Héctor y Dalile por haber compartido el estilo de vida que a partir de ahora quiero volver a vivir.

Para mi padre y sus palabras durante mi etapa de formación, ahora es cuando puedo decir que he podido llegar más allá que cualquiera.

Carlos Suárez

## DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a Fernando Ibáñez, Esteban Ibáñez, Ángel Robles, que desde el cielo me están cuidando.

A mi familia, a mi enamorada y a todos mis compañeros con los que pude compartir en todo este maravilloso tiempo.

Jorge Ibáñez

# AGRADECIMIENTOS

A Carlos y Victoria por la formación recibida, por siempre querer mi superación y ser capaces de enorgullecerse más que nadie.

A mi madre por haberme dado la oportunidad de vivir y aprender por mí mismo de ella.

Gracias Totales

Carlos Suárez

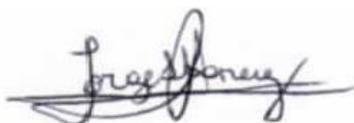
## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la vida y la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa institución. A mis padres por todo su apoyo y por ser incondicionales en toda esta etapa. A mi hermano Tyrone por siempre ser un mentor para mí y apoyarme en todo momento. A Doménica Perasso, por su apoyo incondicional y amor que hicieron que nunca me rindiera.

Jorge Ibáñez

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jorge Esteban Ibáñez Robles y Carlos Hernán Suárez Barragán damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

**Jorge Ibáñez R.**

AUTOR 1



---

**Carlos Suárez B.**

AUTOR 2

# EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:  
**SOFIA ANABEL  
LOPEZ  
IGLESIAS**

---

**Sofía López I. M.Sc.**  
PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:  
**MARCOS NICOLA JEEP  
BUESTAN BENAVIDES**

---

**Marcos Buestán B. Ph.D**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La Ingeniería Industrial es una carrera con un amplio campo de desarrollo y crecimiento, se pueden aplicar sus aprendizajes en todo tipo de ambiente de trabajo. En cuanto al ambiente educativo una de sus debilidades es la falta de oportunidades de poder aplicar conceptos aprendidos en las aulas de clases en simulaciones de entornos reales, para obtener una mayor experiencia al momento de entrar al campo laboral. El presente trabajo brinda una propuesta para poder cubrir la necesidad de implementar conceptos en un prototipo de línea de producción. La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo fue el de Design for Six Sigma (DFSS) dividida en etapas, en las cuales permiten conocer las necesidades del cliente mediante herramientas como Voice of Customer (VOC) y transformarlas en especificaciones de diseño mediante el Quality Function Deployment. Se utilizó Pugh Matrix para poder evaluar la implementación de elementos para el prototipo y se pudo diseñar una célula de manufactura el cual consta con un sistema de producción que busca mejorar indicadores de rendimiento para ambientes de producción con High Mix Low Volume, que permite un control sobre la carga de trabajo. El sistema de producción lleva el nombre de Cobacabana, un sistema de producción basado en tarjetas, que permite reducir tiempos de espera en cola, y tener un mayor control sobre las fechas de entrega del producto terminado. Los resultados de la implementación fue una reducción considerable del Lead Time total y el incremento del nivel de servicio. Todo lo mencionado se implementó en un prototipo de célula de manufactura que tiene un costo aproximado de \$226 y que a largo plazo no presenta señales de cambio en el mismo, lo cual lo hace un proyecto rentable para implementar en instituciones educativas de tercer nivel o en proyectos de implementación en PYMES.

**Palabras Clave:** DMADV, FlexSim, Cobacabana, Design for Six Sigma, DFSS, Voice of Customer, High Mix Low Volume, Pugh Matrix, PYMES, Lead Time.

## **ABSTRACT**

*Industrial Engineering is a career with a wide-open field of development, all the techniques learned in lectures or books are useful and can be applied in all types of work environment. In educational purposes, one of its weaknesses is the lack of opportunities to apply concepts learned in classrooms in real environment simulations, to obtain greater experience when entering the labor field. This work provides a proposal to cover the need to implement concepts in a production line prototype. The methodology used for the development of this work was Design for Six Sigma (DFSS) divided into stages, in which they allow to know the client's needs through some tools such as Voice of Customer (VOC) and transform them into design specifications through Quality Function Deployment. Pugh Matrix was used to evaluate the implementation of elements for the prototype and it was possible to design a manufacturing cell which consists of a production system that seeks to improve performance indicators for production environments with High Mix Low Volume, which allows to get a work load control. The production system bears the name of Cobacabana, a card-based production system, which allows to reduce waiting times in queues, and having greater control over due dates. The results of the implementation were a considerable reduction in the total lead time and the increase of service level. All the aforementioned was implemented in a manufacturing cell prototype that has an approximate cost of \$ 226 and that in the long term does not show signs of variability, which makes it a profitable project to implement in third-level educational institutions or in implementation projects in SMEs.*

**Keywords:** *Design for Six Sigma, Voice of Customer, Quality Function Deployment, Pugh Matrix, Cobacabana.*

# ÍNDICE GENERAL

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| RESUMEN .....                        | I    |
| ABSTRACT .....                       | II   |
| ÍNDICE GENERAL .....                 | III  |
| ABREVIATURAS .....                   | VI   |
| SIMBOLOGÍA.....                      | VII  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....              | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS .....               | X    |
| ÍNDICE DE ECUACIONES.....            | XI   |
| CAPÍTULO 1 .....                     | 1    |
| 1. Introducción.....                 | 1    |
| 1.1 Descripción del problema .....   | 2    |
| 1.2 Definir.....                     | 2    |
| 1.2.1 5W + 1H .....                  | 2    |
| 1.2.2 Equipo de trabajo.....         | 4    |
| 1.2.3 VOC.....                       | 5    |
| 1.2.4 Alcance.....                   | 6    |
| 1.2.5 Restricciones .....            | 6    |
| 1.3 Justificación del problema ..... | 7    |
| 1.4 Objetivos .....                  | 7    |
| 1.4.1 Objetivo General.....          | 7    |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....     | 7    |
| 1.5 Marco Teórico .....              | 8    |
| 1.5.1 Seis Sigma .....               | 8    |
| 1.5.2 DMADV.....                     | 8    |
| 1.5.3 Definir .....                  | 8    |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| 1.5.4           | Medir .....   | 8  |
| 1.5.5           | Analizar.....   | 8  |
| 1.5.6           | Diseñar .....   | 9  |
| 1.5.7           | Verificar .....   | 9  |
| 1.5.8           | VOC.....  | 9  |
| 1.5.9           | QFD.....  | 9  |
| 1.5.10          | SIPOC .....   | 9  |
| 1.5.11          | 5W+2H .....   | 10 |
| 1.5.12          | Diagrama de Afinidad .....  | 10 |
| 1.5.13          | Diagrama de Pareto.....   | 10 |
| 1.5.14          | Manufactura Celular.....  | 10 |
| 1.5.15          | General Flow Shop .....   | 11 |
| 1.5.16          | Mapeo de la Cadena de Valor (VSM) .....                             | 11 |
| 1.5.17          | Rough Cut Capacity Planning .....                                   | 11 |
| 1.5.18          | Matriz de Pugh.....   | 11 |
| 1.5.19          | Matriz de Decisión .....  | 11 |
| 1.5.20          | Cobacabana .....  | 12 |
| CAPÍTULO 2..... |   | 14 |
| 2.              | Metodología.....  | 14 |
| 2.1             | Medición.....   | 17 |
| 2.1.1           | Plan de Recolección de datos.....                                   | 17 |
| 2.1.2           | Recolección de tiempos por producto .....                           | 18 |
| 2.1.3           | Recolección de tiempos de arribos entre órdenes .....               | 20 |
| 2.1.4           | Recolección de datos de utilizaciones de las máquinas.....          | 20 |
| 2.1.5           | Recolección de datos del contenido máximo en colas .....            | 26 |
| 2.1.6           | Recolección de datos del tiempo de estadías promedio en colas ..... | 27 |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| 2.1.7           | Recolección de Dimensiones del Laboratorio de Ingeniería Industrial ..... | 33 |
| 2.1.8           | Recolección de Costos de Material.....                                    | 34 |
| 2.1.9           | Recolección de Velocidad promedio de una persona al caminar .....         | 36 |
| 2.2             | Análisis.....   | 37 |
| 2.2.1           | Especificaciones de Diseño .....  | 37 |
| 2.2.2           | Selección de materiales de trabajo para prototipo de CM. ....             | 40 |
| 2.2.3           | Cálculo de costos de implementación .....                                 | 44 |
| 2.2.4           | Características del Prototipo .....                                       | 44 |
| 2.2.5           | Matriz de Decisión .....  | 45 |
| CAPÍTULO 3..... |   | 47 |
| 3.              | Resultados y análisis.....  | 47 |
| 3.1             | Diseño.....   | 47 |
| 3.1.1           | Layout Práctica de Laboratorio de ambos escenarios.....                   | 47 |
| 3.1.2           | Rutas de productos.....   | 48 |
| 3.1.3           | Segundo Escenario .....   | 50 |
| 3.1.4           | Personal requerido .....  | 53 |
| 3.1.5           | Asignación de Fecha de Entrega .....                                      | 53 |
| 3.1.6           | Resultados.....   | 56 |
| 3.1.7           | Análisis Económico.....   | 58 |
| CAPÍTULO 4..... |   | 63 |
| 4.              | Conclusiones Y Recomendaciones .....                                      | 63 |
| 4.1             | Conclusiones.....   | 63 |
| 4.2             | Recomendaciones.....  | 63 |
| BIBLIOGRAFÍA    |   |    |
| APÉNDICES       |   |    |

## **ABREVIATURAS**

|       |   |
|-------|---|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral          |
| DFSS  | Design for Six Sigma                              |
| DMADV | Define, Measure, Analyze, Design and Validate     |
| CTQ   | Critical to Quality                               |
| VOC   | Voice of Customers                                |
| SIPOC | Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers |
| DCP   | Data Collection Plan                              |
| PYMES | Pequeñas y Medianas Empresas                      |
| RCCP  | Rough Cut Capacity Planning                       |
| MP    | Materia Prima                                     |
| CM    | Célula de Manufactura                             |
| DD    | Fecha de Entrega                                  |
| LT    | Tiempo de estadía                                 |
| SF    | Tiempo en Shop Floor                              |

## SIMBOLOGÍA

|            |            |
|------------|------------|
| <i>min</i> | Minutos    |
| %          | Porcentaje |
| \$         | Dólar      |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 5W + 1H .....  | 3  |
| Figura 1.2 SIPOC .....  | 4  |
| Figura 1.3 Equipo de trabajo .....                                    | 4  |
| Figura 1.4 Ejemplo Esquema Cobacabana .....                           | 13 |
| Figura 2.1 Layout primer escenario .....                              | 16 |
| Figura 2.2 Simulación en Software Flexsim.....                        | 17 |
| Figura 2.3 Utilización de la estación 1 .....                         | 21 |
| Figura 2.4 Utilización de la estación 2 .....                         | 22 |
| Figura 2.5 Utilización de la estación 3 .....                         | 23 |
| Figura 2.6 Utilización de la estación 4 .....                         | 24 |
| Figura 2.7 Utilización de la estación 5 .....                         | 25 |
| Figura 2.8 Utilización de la estación 6 .....                         | 26 |
| Figura 2.9 Tiempo de estadía de la cola 1 en segundos .....           | 28 |
| Figura 2.10 Tiempo de estadía de la cola 2 en segundos .....          | 29 |
| Figura 2.11 Tiempo de estadía de la cola 3 en segundos .....          | 30 |
| Figura 2.12 Tiempo de estadía de la cola 4 en segundos .....          | 31 |
| Figura 2.13 Tiempo de estadía de la cola 5 en segundos .....          | 32 |
| Figura 2.14 Tiempo de estadía de la cola 6 en segundos .....          | 33 |
| Figura 2.15 Laboratorio de Ingeniería Industrial .....                | 34 |
| Figura 2.16 Práctica estandarizada .....                              | 36 |
| Figura 2.17 Diagrama Pareto .....                                     | 38 |
| Figura 2.18 Plan de verificación de especificaciones de diseño .....  | 40 |
| Figura 2.19 Matriz de Pugh Material para producto.....                | 41 |
| Figura 2.20 Matriz de Pugh para tablero de tarjetas.....              | 41 |
| Figura 2.21 Matriz de Pugh para tarjetas.....                         | 42 |
| Figura 2.22 Descripción para compra de tarjetas .....                 | 42 |
| Figura 2.23 Matriz de Pugh para mesas de trabajo .....                | 43 |
| Figura 2.24 Matriz de Pugh para cajas organizadoras.....              | 43 |
| Figura 2.25 Matriz de pugh para número de grupos de estudiantes ..... | 44 |
| Figura 2.26 Matriz de Decisión .....                                  | 45 |
| Figura 3.1 Layout del laboratorio de Ing Industrial.....              | 48 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.2 Ruta de MP para Auto .....  | 48 |
| Figura 3.3 Ruta de MP para F1 .....  | 49 |
| Figura 3.4 Ruta de MP para Moto .....  | 49 |
| Figura 3.5 Ruta de MP para Camioneta .....   | 49 |
| Figura 3.6 Ruta de MP para Helicóptero .....   | 49 |
| Figura 3.7 Ruta de MP para Avión .....   | 50 |
| Figura 3.8 Ruta de MP para Tren .....  | 50 |
| Figura 3.9 Ruta de MP para Barco .....   | 50 |
| Figura 3.10 Simulación Segundo Escenario .....   | 52 |
| Figura 3.11 Proceso de determinación de fecha de entrega.....  | 54 |
| Figura 3.12 Componentes del establecimiento de fecha de entrega .....  | 55 |
| Figura 3.13 Comparación de Tiempos de producción por escenario (Primer escenario celeste, segundo escenario morado)..... | 58 |
| Figura 3.14 Distribución presupuesto .....   | 59 |
| Figura 3.15 Distribución de costo de Legos.....  | 59 |
| Figura 3.16 Distribución de costos de tarjetas magnéticas .....  | 60 |
| Figura 3.17 Distribución de costos cajas de plástico .....   | 60 |
| Figura 3.18 Distribución de costos de Pizarra magnética .....  | 61 |
| Figura 3.19 Valor Actual Neto .....  | 61 |
| Figura 3.20 Análisis de sensibilidad .....   | 62 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabla 1.1  | Árbol de la calidad .....                                     | 5  |
| Tabla 1.2  | Valores de Pugh Matrix .....                                  | 11 |
| Tabla 1.3  | Valores para matriz de decisión.....                          | 11 |
| Tabla 2.1  | Listado de Productos.....                                     | 14 |
| Tabla 2.2  | Familias de Productos .....                                   | 16 |
| Tabla 2.3  | Reporte de Bondad de ajuste .....                             | 18 |
| Tabla 2.4  | Contenido Máximo de Colas.....                                | 27 |
| Tabla 2.5  | Dimensiones del laboratorio de Ing. Industrial .....          | 34 |
| Tabla 2.6  | Tabla de costos para material del producto .....              | 35 |
| Tabla 2.7  | Tabla de costos para tablero de tarjetas .....                | 35 |
| Tabla 2.8  | Costos de mesas de trabajo .....                              | 36 |
| Tabla 2.9  | Especificaciones de Diseño .....                              | 38 |
| Tabla 2.10 | Tabla de costos .....   | 44 |
| Tabla 3.1  | Norma para colas de maquinaria.....                           | 51 |
| Tabla 3.2  | Valores de cada carta según su tamaño.....                    | 51 |
| Tabla 3.3  | División de las tarjetas según su tamaño.....                 | 52 |
| Tabla 3.4  | Distribución de Personal Primer escenario .....               | 53 |
| Tabla 3.5  | Distribución del personal segundo escenario.....              | 53 |
| Tabla 3.6  | Tiempos en Shop Floor por modelo.....                         | 54 |
| Tabla 3.7  | Tiempos promedios de producción por estación de trabajo ..... | 56 |
| Tabla 3.8  | Retrasos en el Primer Escenario .....                         | 56 |
| Tabla 3.9  | Retrasos en el Segundo Escenario .....                        | 57 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1.1 Cálculo de la norma .....                            | 13 |
| Ecuación 3.1 Ecuación de DD cuando no hay capacidad en cola ..... | 55 |

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje activo se ha convertido en una tendencia en un gran número de centros educativos alrededor del mundo. El estudiante que toma un curso para recibir conocimientos de un instructor, no se satisface únicamente con la exposición del tema a tratar en cada clase, sino que busca algo más, una experiencia de aprendizaje independientemente del tipo de maestro de turno. Freeman (2005) describió como el aprendizaje de un estudiante tiene varias etapas, siendo parte importantes de ellas tanto el sentimiento de una experiencia concreta y el realizar un experimento adecuado (Johnson, Johnson & Smith, 1998). En distintos tipos de carreras es sencillo poder incursionar en este tipo de aprendizaje, ya que existen muchas investigaciones y años de experiencia que respaldan la implementación de prácticas de laboratorio en su pensum académico, y que aproximan aquellas experiencias a entornos reales en los que los estudiantes se desarrollarán como profesionales. Existen, sin embargo, otro sector de carreras en las cuales se le ha dado una gran importancia al estudio teórico de las temáticas que influyen en el desarrollo de la misma, pero se incursiona poco o nada en un aprendizaje activo que aproxime dichas enseñanzas a entornos reales, generando un problema para el estudiante al momento de aplicarlas en un entorno real en su vida profesional.

La Ingeniería Industrial, es una carrera que ha ido evolucionando junto con los avances tecnológicos y el desarrollo industrial global y su participación dentro de las empresas es cada vez más determinante. Existen muchas técnicas que se estudian en cada etapa de dicha carrera, pero que, para el correcto aprendizaje de implementación, es necesario aplicarlas en un entorno real, o en una aproximación del mismo con el fin de poder verificar su utilidad y eficiencia en la industria. Una de esas técnicas es la implementación de células de manufactura en ambientes de producción que tienen problemas como: largos tiempos de espera de producto en proceso, atrasos en entregas de producto final, re trabajo, entre otros.

En este proyecto se procederá a diseñar un prototipo de célula de manufactura partiendo de una línea de producción que contiene uno de los problemas previamente mencionados, con un ambiente de producción tipo Job Shop, que pueda ser aplicada en

una práctica de laboratorio para estudiantes de Ingeniería Industrial de una institución educativa.

## **1.1 Descripción del problema**

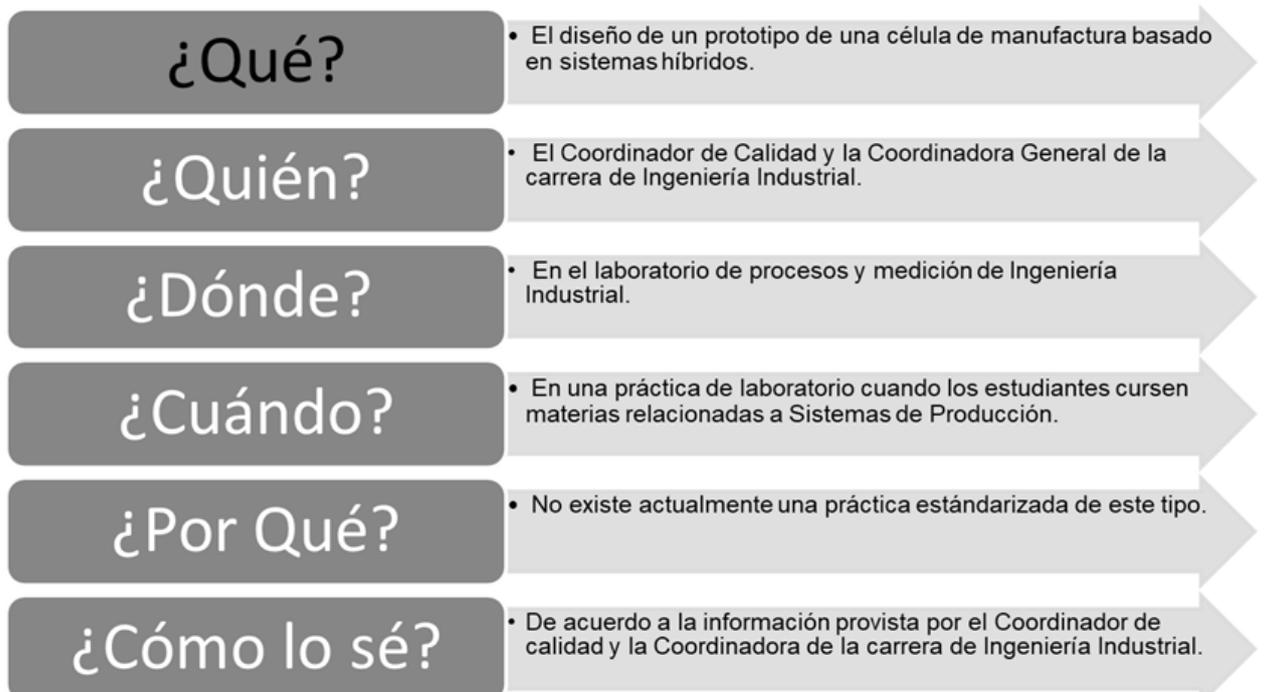
Actualmente, la carrera de Ingeniería Industrial cuenta con muy pocas prácticas de laboratorio estandarizadas con procedimientos a seguir, una estructura de laboratorio y posteriores reportes de resultados, asociadas a ambientes de producción con alta personalización de productos, gran cantidad de materia prima procesa en cola y constantes atrasos en entregas de producto final al cliente, donde se pueda evidenciar una aplicación de células de manufactura y otras herramientas de Manufactura Esbelta. Esto se puede evidenciar en las dificultades que una gran cantidad de estudiantes tienen al momento de realizar sus prácticas pre profesionales, o incluso en el inicio de su vida laboral.

Para poder afrontar este problema se requiere un diseño desde cero, para lo cual se implementará la metodología DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar) (Bellar & O'Neil, 2006). Se procederá a iniciar con la etapa de Definición en la cual se buscará identificar los clientes interesados en el desarrollo del proyecto y recolectar sus necesidades.

## **1.2 Definir**

### **1.2.1 5W + 1H**

La elaboración de la oportunidad del proyecto se llevará a cabo con la implementación de la herramienta 5W + 1H como se muestra en la Figura 1.1.



**Figura 1.1 5W + 1H**  
(Elaboración conjunta)

Se procede a identificar la oportunidad como:

***“ De acuerdo a lo solicitado por el Coordinador de Calidad y la Coordinadora de la carrera de Ingeniería Industrial, se requiere el diseño de un prototipo de una célula de manufactura basada en sistemas híbridos que pueda ser implementada en una práctica de laboratorio para los estudiantes que estén cursando asignaturas relacionadas a Sistemas de Producción, utilizando el espacio destinado al laboratorio de procesos y medición de la carrera”***

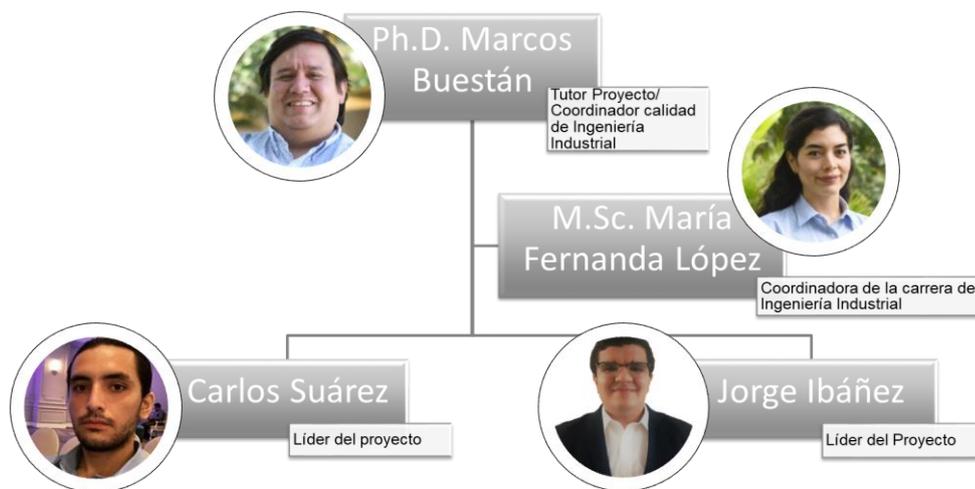
Para definir el alcance del proyecto y los elementos que van a componerlo se procede a realizar el SIPOC general del mismo tal como se muestra en la Figura 1.2.

| Proveedor  | Entrada   | Proceso  | Salida  | Cliente   |
|--|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Centro de Información Bibliotecario</li> <li>• Tutor del Proyecto</li> <li>• Coordinador de la carrera de Ingeniería Industrial.</li> <li>• Coordinador de la Materia Integradora de Ingeniería Industrial</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Referencias Bibliográficas.</li> <li>• Restricciones de elección de material.</li> <li>• Plano del laboratorio de Ingeniería Industrial.</li> <li>• Requerimientos del Producto.</li> <li>• Especificaciones de Diseño.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolección de datos.</li> <li>• Revisión de Literatura.</li> <li>• Diseño de prototipos.</li> <li>• Desarrollo de Simulación.</li> <li>• Experimentos de prueba y ajustes.</li> <li>• Realizar Guías de Operación y Reportes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipo de Célula de Manufactura.</li> <li>• Modelos de Simulación.</li> <li>• Métricas de desempeño destinadas a análisis.</li> <li>• Manuales de Práctica de Laboratorio.</li> <li>• Reportes de Práctica de Laboratorio.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudiantes de Ingeniería Industrial.</li> <li>• Coordinador de Calidad de la carrera.</li> <li>• Coordinador General de la Carrera.</li> <li>• Profesores de asignaturas asociadas a Sistemas de producción.</li> </ul> |

**Figura 1.2 SIPOC**  
(Elaboración conjunta)

### 1.2.2 Equipo de trabajo

Para la correcta de elaboración del proyecto, se requiere tener el equipo de trabajo adecuado y preciso que pueda aportar en todas las etapas del mismo. En la figura 1.3, se muestra el personal que conforma el equipo de trabajo.



**Figura 1.3 Equipo de trabajo**  
(Elaboración conjunta)

### 1.2.3 VOC

El VOC es una herramienta muy útil para identificar los requerimientos del cliente.

Se realizaron diferentes encuestas considerando a los siguientes clientes:

- Coordinador de calidad de la carrera de Ingeniería Industrial.
- Coordinador de la carrera de Ingeniería Industrial.
- Estudiantes

Adicionalmente se solicitó sugerencias de una experta en aplicación de prácticas de laboratorio de Ingeniería Industrial que actualmente consta como profesora de una asignatura de la carrera.

La tabla 1.1 muestra los hallazgos del VOC transformados en características críticas para el diseño del producto. Se realizaron encuestas y reuniones, así como un Diagrama de Afinidad para poder juntar lograr agrupar las necesidades y sintetizarlas en declaraciones concisas los cuales se encontrarán en los **Apéndices A y B**.

Los requerimientos del cliente fueron transformados en características críticas para la calidad del producto final el cual se puede observar en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Árbol de la calidad**  
(Elaboración conjunta)

| <b>Necesidad</b>   | <b>Aspectos a trabajar</b>                 | <b>Características críticas para la calidad</b>            |
|--|--|--|
| Un prototipo de célula de manufactura basada en sistemas híbridos, para fines didácticos en la carrera de Ingeniería Industrial. | Emulación de una línea de producción Real. | Características de un General Flow Shop.                   |
|  |  | Indicadores de Desempeño Medibles.                         |
|  | Selección de Recursos a utilizar.          | Material de fabricación de productos adecuado.             |
|  |  | Material de Infraestructura adicional adecuado.            |
|  |  | Uso de Software de Simulación.                             |
|  | Aplicación Didáctica                       | Flexibilidad en número de estudiantes requerido por grupo. |

|  |                                   |   |
|--|-----------------------------------|---|
|  |                                   | Guías de Operación Específicas.   |
|  |                                   | Distribución adecuada del espacio del Laboratorio de Ingeniería Industrial. |
|  | Aplicación de manufactura esbelta | Contraste Evidente en indicadores.  |
|  |                                   | Verificar beneficios de herramientas utilizadas.                            |

(Elaboración conjunta)

El objetivo del proyecto es el diseño de una célula de manufactura por lo que la variable principal a medir serán los indicadores de desempeño de la línea de producción prototipada.

$$Y = \text{Indicadores de desempeño de línea de producción.}$$

#### 1.2.4 Alcance

El prototipo de la célula de manufactura aplicado en una práctica de laboratorio, tendrá un gran impacto en el aprendizaje del estudiante que podrá estar un poco más familiarizado con la implementación de la misma en un entorno real. El impacto en el desarrollo de los estudiantes como profesionales será realmente positivo.

Adicionalmente, el prototipo de la célula podría utilizarse para poder instruir a gerentes de pequeñas y medianas empresas sobre la aplicación de la Manufactura Esbelta en sus líneas de producción sin importar a que tipo pertenezca la misma.

#### 1.2.5 Restricciones

- Los costos totales de material para la elaboración del producto y de compra o modificación de infraestructura no puede superar los \$300.
- Para poder simular el prototipo de la célula de manufactura deberá usarse únicamente el Software FlexSim en la versión más reciente que se posea.

- La práctica de laboratorio no debe durar más de 80 minutos, si es necesario una sesión extra, el número de sesiones disponibles para la práctica será de máximo 2.
- Considerar el número de estudiantes promedio que se inscriben por paralelo en las asignaturas relacionadas a Sistemas de producción, con un máximo de 30 y un posible mínimo de 20 estudiantes.
- Considerar que los recursos a utilizar puedan conseguirse fácilmente y en lugares con acceso para todo público.

### **1.3 Justificación del problema**

Los estudiantes de Ingeniería Industrial constantemente expresan la necesidad de prácticas de laboratorio que simulen entornos reales para poder visualizar y aprender haciendo, aquella teoría que aprenden de las exposiciones de sus profesores. Actualmente, el laboratorio de Ingeniería Industrial tiene pocos recursos para el desarrollo de este tipo de prácticas. La creación de prototipos de líneas de producción en el mencionado espacio, marcará un nuevo horizonte para los resultados de aprendizaje de las futuras generaciones de estudiantes de Ingeniería Industrial.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Realizar el desarrollo del diseño del prototipo de célula de manufactura que permita la realización de prácticas educativas de laboratorio especialmente diseñadas para estudiantes de Ingeniería Industrial.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos de este proyecto están basados en los 3 pilares de la sostenibilidad y se proceden a enlistar a continuación:

##### Aspecto Social

Desarrollar el prototipo de célula de manufactura que incluso pueda ser utilizado en PYMES que deseen afianzar conocimientos acerca de sistemas de producción híbridos en procesos de educación continua.

##### Aspecto Económico

Utilizar materiales de fácil adquisición y de bajo costo para así mantenerse por debajo del presupuesto asignado.

#### Aspecto Ambiental

Evitar que durante o después de la realización de la práctica se generen desperdicios.

## **1.5 Marco Teórico**

### **1.5.1 Seis Sigma**

La metodología Seis Sigma posee una estructura sistemática y bastante rígida al momento de utilizar la información, sea que provenga de fuentes directas o análisis estadístico, destinada a la medición y mejora del rendimiento de una organización mediante la identificación y prevención de errores. (Voehl, 2014)

### **1.5.2 DMADV**

Corresponde a Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar.

Es un enfoque de la metodología Six Sigma en donde la información se recolecta con el fin de diseñar procesos y productos que sean capaces de estar en niveles adecuados. (Voehl, 2014)

### **1.5.3 Definir**

Es la primera etapa de la metodología DMADV, tiene como fin identificar el problema empresarial, objetivos, potenciales recursos, el alcance del proyecto y una línea de tiempo base, debiendo estos elementos estar alineados con las expectativas, sean estas tanto internas como externas. (Deshpande, 2016)

### **1.5.4 Medir**

Corresponde a la segunda etapa de la metodología, habiéndose completado la etapa de definición y haber recolectado requerimientos y expectativas del o los clientes, se procede a hacer las mediciones apropiadas que se hallan definido previamente en el plan de recolección de datos. (Deshpande, 2016)

### **1.5.5 Analizar**

La tercera etapa consiste en generar conceptos de diseño alternativos para cada requerimiento y así poder evaluarlo utilizando una Matriz Pugh, tratando combinar

los conceptos de diseño de tal manera que se potencien sus ventajas o se mitiguen sus desventajas, con el fin de conseguir el diseño más adecuado. (Deshpande, 2016)

#### **1.5.6 Diseñar**

La cuarta etapa de la metodología DMADV tiene como propósito la creación de un prototipo del modelo de diseño, que ya fue desarrollado conceptualmente en la fase de análisis y a su vez será estudiado en la fase de verificación. (Deshpande, 2016)

#### **1.5.7 Verificar**

En la última etapa de la metodología, el prototipo diseñado es inspeccionado utilizando métodos de prueba según la ASTM y es en ese momento en el que puede decidirse si se amplía aún más el diseño o ya es factible el cierre del proyecto. (Deshpande, 2016)

#### **1.5.8 VOC**

La Voz del Cliente en español, refleja las expresiones del cliente en sus propios términos, debe de enfocarse en las necesidades y requerimientos y así poder describir tanto lo declarado como lo no expresado por el cliente externo.

No debe confundirse con VOO (Voz de la Organización).

#### **1.5.9 QFD**

El despliegue de funciones de calidad en español, es un proceso estructurado que sirve para tomar la voz del cliente traducirla en recursos medibles y a su vez desplegar esos requisitos a todos los niveles de diseño sea de procesos, productos incluyendo también el servicio al cliente. (Harrington, 2007)

#### **1.5.10 SIPOC**

Proveedores Entradas Procesos Salidas y Clientes en español, es una técnica utilizada con el fin de asegurarse de haber identificado todos los factores necesarios para el mapeo del proceso, siendo esta una actividad que debe de realizarse antes de comenzar el trabajo. (Voehl, 2014)

### **1.5.11 5W+2H**

Es un enfoque estructurado de investigación con el fin de definir un problema, haciendo uso de un conjunto específico de preguntas relacionadas con una oportunidad previamente definida o una declaración de problema ya establecida.

Las 5W corresponden a:

W1: ¿Qué?

W2: ¿Por qué?

W3: ¿Dónde?

W4: ¿Quién?

W5: ¿Cuándo?

Las 2H corresponden a:

H1: ¿Cómo sucedió?

H2: ¿Cuánto costó? (Harrington, 2007)

### **1.5.12 Diagrama de Afinidad**

Es una técnica que sirve para organizar una cantidad considerable de datos subjetivos, categorizadas en base a relaciones intuitivas existentes entre piezas individuales de información; normalmente se utiliza para encontrar puntos en común entre ideas independientes.

### **1.5.13 Diagrama de Pareto**

Es una herramienta gráfica en el que las barras están organizadas en orden descendente de izquierda a derecha, al tener alturas considerablemente diferentes es posible identificar ciertos elementos críticos entre muchos elementos triviales. (Voehl, 2014)

### **1.5.14 Manufactura Celular**

Es un proceso de manufactura esbelta que implica el uso de múltiples células acopladas en una sola línea de montaje en la cual el producto se desplaza de una célula a otra, completando en cada estación una parte de su proceso de fabricación. Normalmente, las células están organizadas en forma de U ya que esto permite al o los operadores moverse menos y tener la capacidad de observar más fácilmente el proceso en su totalidad.

### 1.5.15 General Flow Shop

Ambiente de Producción que posee las características de A Mezcla de rutas de productos y poco volumen.

### 1.5.16 Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)

Es una herramienta útil que permite conocer el porcentaje de tiempo que ocupa una línea de producción en actividades que agregan valor y actividades que no agregan valor al producto (Rother, M. 1999).

### 1.5.17 Rough Cut Capacity Planning

Es una herramienta que se utiliza para balancear líneas de producción de acuerdo a la demanda existente de acuerdo a la capacidad de la maquinaria y carga de trabajo.

### 1.5.18 Matriz de Pugh

Es una herramienta que permite tomar decisiones de acuerdo a un criterio al cual se le debe asignar un puntaje de importancia, entre varias opciones para implementación de un proyecto. Se califica influencia de cada opción sobre el criterio de la siguiente forma.

**Tabla 1.2 Valores de Pugh Matrix**

| Valor | Significado         |
|-------|---------------------|
| -1    | Influencia negativa |
| 0     | Indiferente         |
| 1     | Alta influencia     |

(Elaboración conjunta)

### 1.5.19 Matriz de Decisión

La matriz es una herramienta de Seis Sigma que permite tomar decisiones entre varias opciones de implementación de un proyecto, asignándole un valor e importancia a cada relación entre criterio y opción de acuerdo a la siguiente tabla 1.3.

**Tabla 1.3 Valores para matriz de decisión**

| Valor | Significado |
|-------|-------------|
|-------|-------------|

|   |               |
|---|---------------|
| 0 | Sin impacto   |
| 1 | Poco Impacto  |
| 3 | Medio Impacto |
| 9 | Alto impacto  |

(Elaboración conjunta)

### 1.5.20 Cobacabana

Desarrollado por Land (2009), Cobacana es un sistema de producción que utiliza tarjetas para desarrollar un control de carga de trabajo sobre una línea de producción. Su objetivo es el de reducir producto en proceso, mejorar el nivel de servicio de una empresa y relajar la dinámica de producción en ambientes de producción con varias mezclas de rutas de productos y poco volumen.

Cobacabana tiene como principal característica establecer límites de carga de trabajo para cada máquina, este límite es conocido como norma y su unidad común de medida es el tiempo. El funcionamiento del sistema de producción consiste en tener un tablero como comando de control central, donde se visualiza con tarjetas el tamaño de la norma de cada máquina. En la Figura 1.4 se puede visualizar un ejemplo de lo mencionado. En este ejemplo se trata de una línea de producción de 6 máquinas con un tamaño de norma N, y se pueden observar tarjetas que al ubicarlas en la cola de cada máquina. Al llegar una orden al sistema, se seleccionan tarjetas por cada máquina simulando así la carga de trabajo que significa cada operación por estación de trabajo, para cada máquina. Al existir una norma en cada cola, llegará un punto donde una orden no pueda ingresar a la línea de producción porque una de las máquinas puede tener su cola en su máxima capacidad N. Adicionalmente a la norma, en Cobacabana existe una cola que se la determina "Pool" donde, las nuevas órdenes que ingresan al sistema y no pueden entrar al sistema, esperan hasta que exista disponibilidad. Cada máquina puede tener un tamaño de norma diferente o similar dependiendo de las características de las rutas de la materia prima en la línea de producción. El tamaño de N se determina calculando la carga máxima de trabajo de la línea de producción en su estado natural y multiplicándolo por el porcentaje de carga al cual se lo desea disminuir (Thurer, Stevenson, Protzman; 2016). El valor de N se calcularía según la siguiente ecuación.

$$N = \text{Carga máxima} * \% \text{ deseado}$$

Ecuación 1.1 Cálculo de la norma

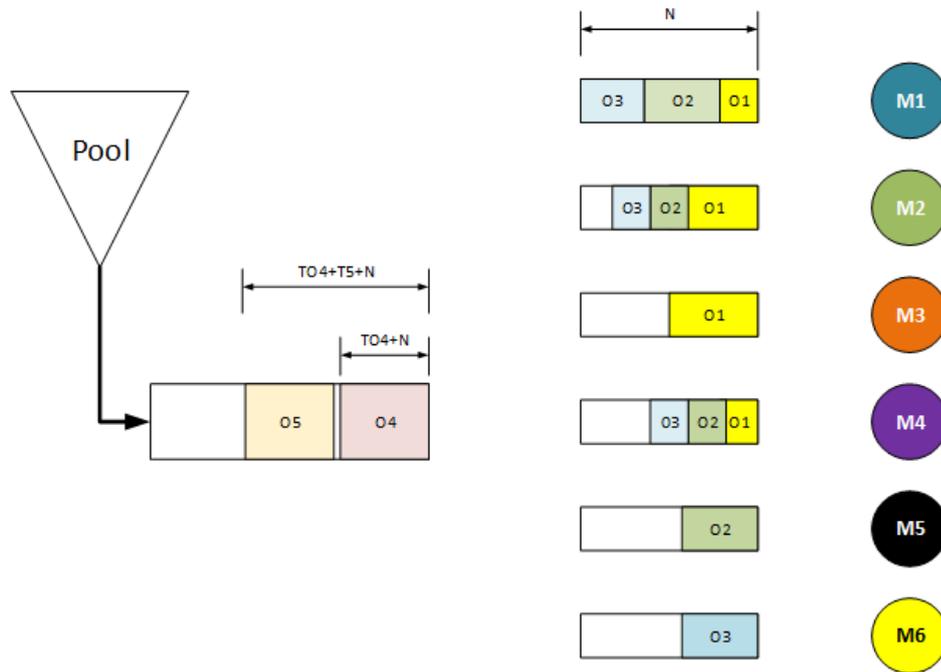


Figura 1.4 Ejemplo Esquema Cobacabana

(Elaboración conjunta)

Para una eficiente aplicación de Cobacabana, se asigna diferentes tamaños a las tarjetas que representarán diferentes cargas de trabajo. Los tamaños de las tarjetas pueden ser: pequeño, mediano, grande. El objetivo de asignar tamaños a las tarjetas es de poder aproximar lo mejor posible la carga de trabajo que representan las tarjetas. También se puede mantener un tamaño de tarjeta para todo el sistema.

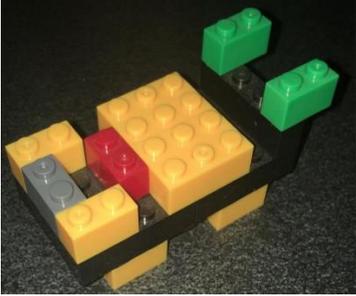
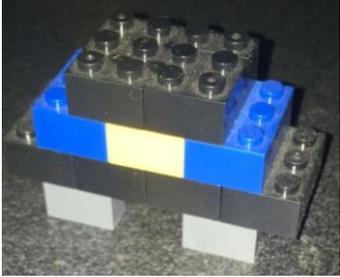
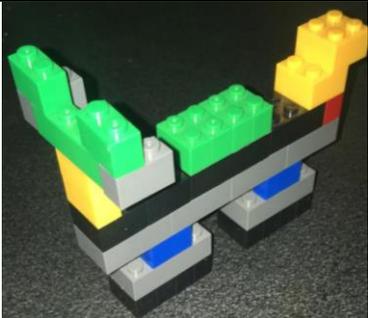
# CAPÍTULO 2

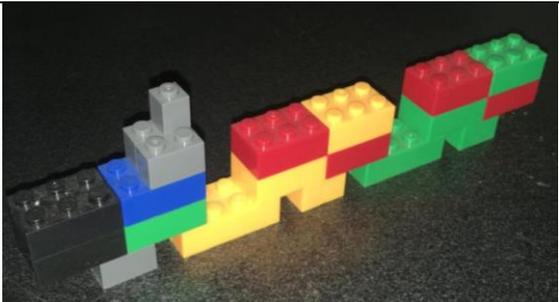
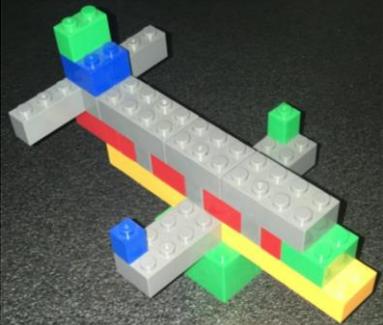
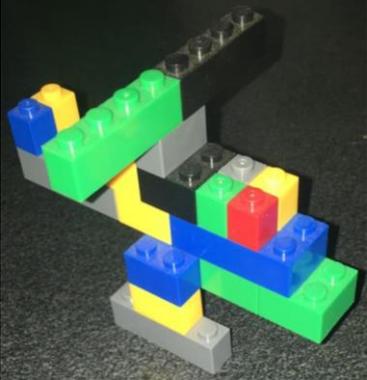
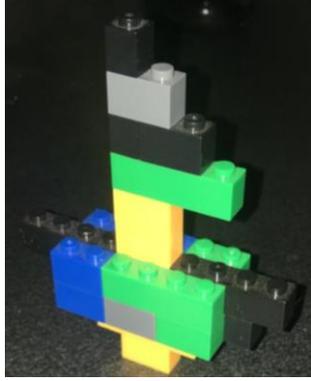
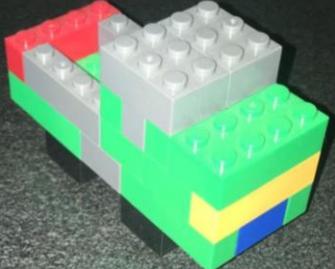
## 2. METODOLOGÍA

Para la etapa de medición se desarrolló un primer escenario siguiendo las características de un General Flow Shop. Los tipos de productos y las familias de los mismos se pueden observar en la Tabla 2.2 y Tabla 2.3 respectivamente. Para los productos se utilizará como material piezas de legos, cuyo ensamblaje, permita obtener variedad de productos.

**Tabla 2.1 Listado de Productos**

(Elaboración Conjunta)

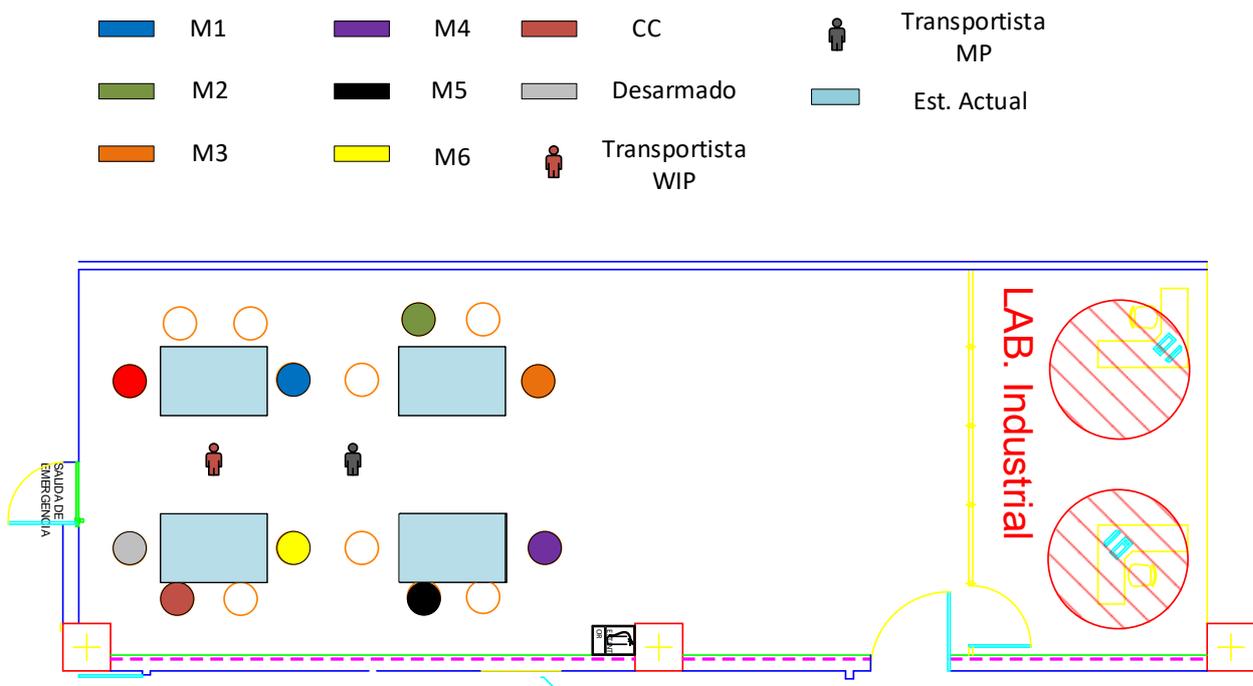
| Producto  | Imagen del Producto  |
|-----------|--|
| Carro F1  |   |
| Automóvil |  |
| Moto      |  |

|                    |  |
|--------------------|--|
| <p>Tren</p>        |    |
| <p>Avión</p>       |    |
| <p>Helicóptero</p> |   |
| <p>Barco</p>       |  |
| <p>Camión</p>      |  |

**Tabla 2.2 Familias de Productos**

| Productos/Máquinas | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|
| Avión              | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| Helicóptero        | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| Barco              | X  | X  | X  |    | X  |    |
| Tren               |    | X  | X  | X  |    | X  |
| Moto               | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| Automóvil          | X  | X  |    | X  | X  |    |
| Camión             | X  | X  | X  | X  |    | X  |
| Carro F1           | X  | X  |    |    | X  | X  |

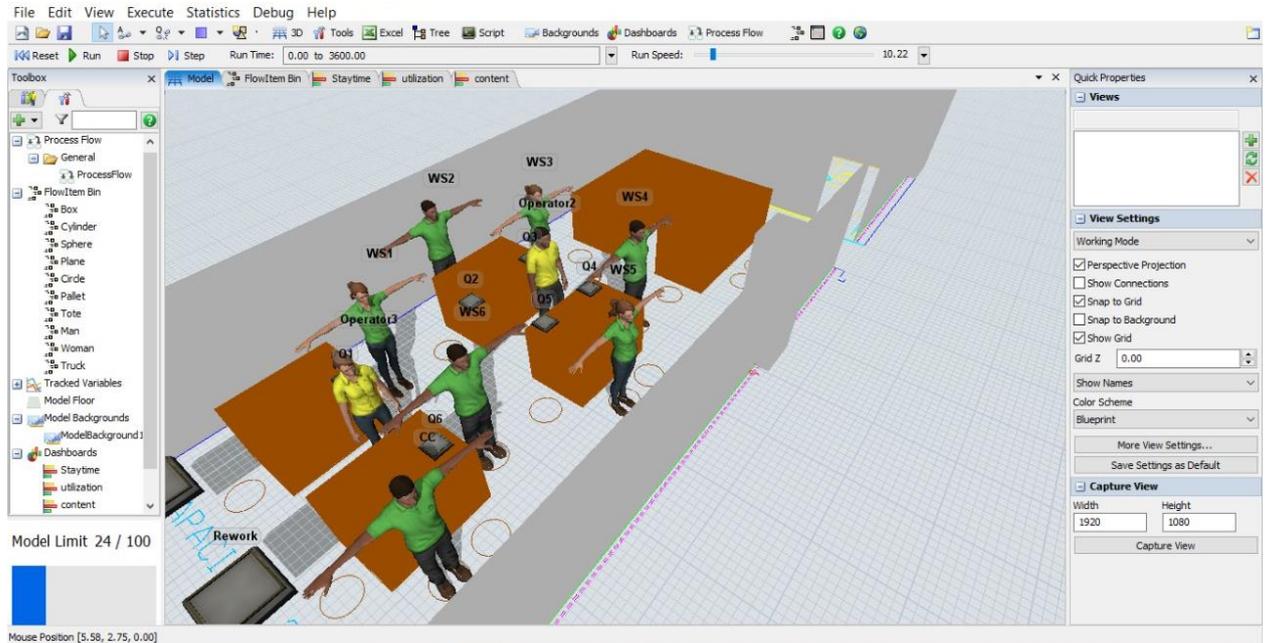
El layout de la línea de producción en su estado natural se puede observar en la Figura 2.1. La configuración observada fue utilizada para el desarrollo de una simulación que permitirá obtener datos necesarios para la etapa actual.



**Figura 2.1 Layout primer escenario**

Para poder recolectar indicadores iniciales de proceso correspondientes a un primer escenario, el cual consiste en simular una línea de producción con las características previamente mencionadas pero sin ningún control de la carga de trabajo sobre cada

estación de trabajo, se procede a diseñar una simulación utilizando el software Flexsim. Una muestra general de lo mencionado se puede observar en la Figura 2.2.



**Figura 2.2 Simulación en Software Flexsim**  
(Elaboración conjunta)

El proceso y sus indicadores iniciales se pueden observar de manera general en el Mapa de la Cadena de Valor o VSM que se puede observar en el **Apéndice D**.

## 2.1 Medición

En esta etapa del proyecto se procederá a recopilar datos que serán de vital importancia para el diseño de la célula de manufactura y así poder contar con toda la información que nos permita realizar análisis con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente.

### 2.1.1 Plan de Recolección de datos

El plan de recolección de datos nos permite identificar qué variables vamos a medir y la utilidad de las mismas en el diseño del producto final. El esquema del mismo se puede encontrar en el **Apéndice C**.

Los datos a recolectar se consideran como variables críticas para el desarrollo del proyecto. Las variables que se recolectarán de acuerdo al Plan de Colección de Datos son las siguientes:

- Tiempos de proceso por producto.
- Tiempos entre arribos de órdenes.
- Utilización de cada máquina.
- Máximo contenido de producto proceso por cola.
- Tiempo de estadía promedio de un producto en cola.
- Dimensiones de Laboratorio de Ingeniería Industrial.
- Costo de materiales para infraestructura.
- Costo de materiales para procesamiento.
- Velocidad de una persona promedio al caminar.

### 2.1.2 Recolección de tiempos por producto

Los tiempos de procesos de cada modelo se tomaron con el objetivo de poder determinar si los mismos podían seguir una distribución estadística, lo que facilitaría el análisis y posterior diseño del prototipo.

Para determinar a qué distribución pertenece conjunto de datos de los procesadores, se procedió a realizar una prueba de bondad de ajuste, para lo cual se tomaron 30 datos de la duración del ensamble de cada producto por máquina. La tabla de tiempos recolectados se podrá observar en el **Apéndice E**. Los tiempos fueron recolectados manualmente, ensamblando los productos el número de veces necesario según el Plan de Recolección de Datos. A continuación en la tabla 2.3 se puede observar el reporte del análisis mencionado.

**Tabla 2.3 Reporte de Bondad de ajuste**

| Producto | Máquina | Distribución | Valor P | Media | Dev. Std | Shape | Scale  | Treshold |
|----------|---------|--------------|---------|-------|----------|-------|--------|----------|
| 1) Auto  | M1      | Gamma        | 0,057   | 17,82 | 4,22     | 18    | 0,9895 | -        |
|          | M2      | Gamma        | 0,135   | 13,04 | 3,61     | 15,58 | 0,837  | -        |
|          | M4      | Gamma        | 0,093   | 9,06  | 2,4008   | 15,56 | 0,582  | -        |
|          | M5      | Normal       | 0,497   | 14,26 | 3,73     | -     | -      | -        |
| 2) F1    | M1      | Normal       | 0,369   | 19,65 | 3,54     | -     | -      | -        |
|          | M2      | Normal       | 0,505   | 14,05 | 3,14     | -     | -      | -        |

|                   |    |                  |         |         |        |        |        |       |
|-------------------|----|------------------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|
|                   | M5 | Weibull          | 0,25    | 11,88   | 3,19   | 4,49   | 13,066 | -     |
|                   | M6 | Normal           | 0,27    | 16,22   | 3,78   | -      | -      | -     |
| 3) Moto           | M1 | Normal           | 0,179   | 13,063  | 1,82   | -      | -      | -     |
|                   | M2 | Normal           | 0,219   | 24,434  | 7,02   | -      | -      | -     |
|                   | M3 | Normal           | 0,152   | 13,722  | 2,364  | -      | -      | -     |
|                   | M4 | Normal           | 0,314   | 33,902  | 5,603  | -      | -      | -     |
|                   | M5 | Normal           | 0,305   | 14,24   | 2,323  | -      | -      | -     |
|                   | M6 | Normal           | 0,871   | 58,24   | 5,048  | -      | -      | -     |
| 4) Tren           | M2 | Normal           | 0,966   | 25,76   | 4,435  | -      | -      | -     |
|                   | M3 | Normal           | 0,302   | 16,66   | 4,64   | -      | -      | -     |
|                   | M4 | Gamma            | 0,25    | 16,645  | 2,835  | 35,497 | 0,4689 | -     |
|                   | M6 | Gamma            | 0,193   | 25,74   | 5,825  | 21,739 | 1,184  | -     |
| 5) Avión          | M1 | Normal           | 0,978   | 12,07   | 1,724  | -      | -      | -     |
|                   | M2 | Empírica         | 100,014 | 27,53   |        | -      | -      | -     |
|                   | M3 | Normal           | 0,51    | 26,121  | 5,47   | -      | -      | -     |
|                   | M4 | Normal           | 0,32    | 35,93   | 11,53  | -      | -      | -     |
|                   | M5 | Normal           | 0,102   | 13,47   | 3,136  | -      | -      | -     |
|                   | M6 | Normal           | 0,729   | 18,99   | 3,53   | -      | -      | -     |
| 6)<br>Helicóptero | M1 | Normal           | 0,558   | 15,08   | 2,39   | -      | -      | -     |
|                   | M2 | Normal           | 0,371   | 27,1447 | 8,8509 | -      | -      | -     |
|                   | M3 | Normal           | 0,496   | 5,102   | 1,6388 | -      | -      | -     |
|                   | M4 | Normal           | 0,715   | 16,07   | 4,97   | -      | -      | -     |
|                   | M5 | Gamma            | 0,25    | 11,687  | 4,066  | 10,292 | 1,135  | -     |
|                   | M6 | Normal           | 0,674   | 11,3857 | 3,355  |        |        | -     |
| 7) Barco          | M1 | Normal           | 0,991   | 42,905  | 5,87   | -      | -      | -     |
|                   | M2 | Normal           | 0,939   | 9,415   | 1,331  | -      | -      | -     |
|                   | M3 | Normal           | 0,129   | 12,867  | 3,03   | -      | -      | -     |
|                   | M5 | Normal           | 0,262   | 20,72   | 3,308  | -      | -      | -     |
| 8) Camión         | M1 | Normal           | 0,569   | 19,7553 | 3,544  | -      | -      | -     |
|                   | M2 | Gamma            | 0,201   | 27,681  | 6,279  | 21,67  | 1,277  | -     |
|                   | M3 | 2 Par. Exp.      | 0,1     | 20,889  | 10,41  | -      | 11,24  | 9,64  |
|                   | M4 | Normal           | 0,1     | 19,256  | 6,05   | -      | -      | -     |
|                   | M6 | 3 Par<br>Weibull | 0,068   | 19,421  | 5,562  | 1,928  | 11,383 | 9,325 |

### **2.1.3 Recolección de tiempos de arribos entre órdenes**

El tiempo de arribos entre órdenes se recolecta con el objetivo de conocer la tasa de arribo de órdenes y así, poder determinar una demanda fija para el prototipo a desarrollar. Los datos mencionados también permitirán simular el proceso y obtener la utilización de la maquinaria, que será un indicador clave para el proceso final. Los tiempos de arribos de arribos entre órdenes se obtuvieron al desarrollar un RCCP (Rough Cut Capacity Planning, por sus siglas en inglés), permitiendo obtener una tasa de arribos que permitan aprovechar la utilización de maquinaria buscada para el desarrollo del prototipo. La tabla de tiempos arribos se obtuvo considerando 60 minutos como un día de trabajo, la misma se puede observar en el **Apéndice F**. El RCCP se puede observar en el **Apéndice G**.

Como resultado se obtuvo que el tiempo de arribos entre órdenes que permitirá aprovechar la máxima utilización de las estaciones de trabajo es de 40 segundos, es decir, cada 40 segundos una orden arribará a la línea de producción.

### **2.1.4 Recolección de datos de utilizaciones de las máquinas**

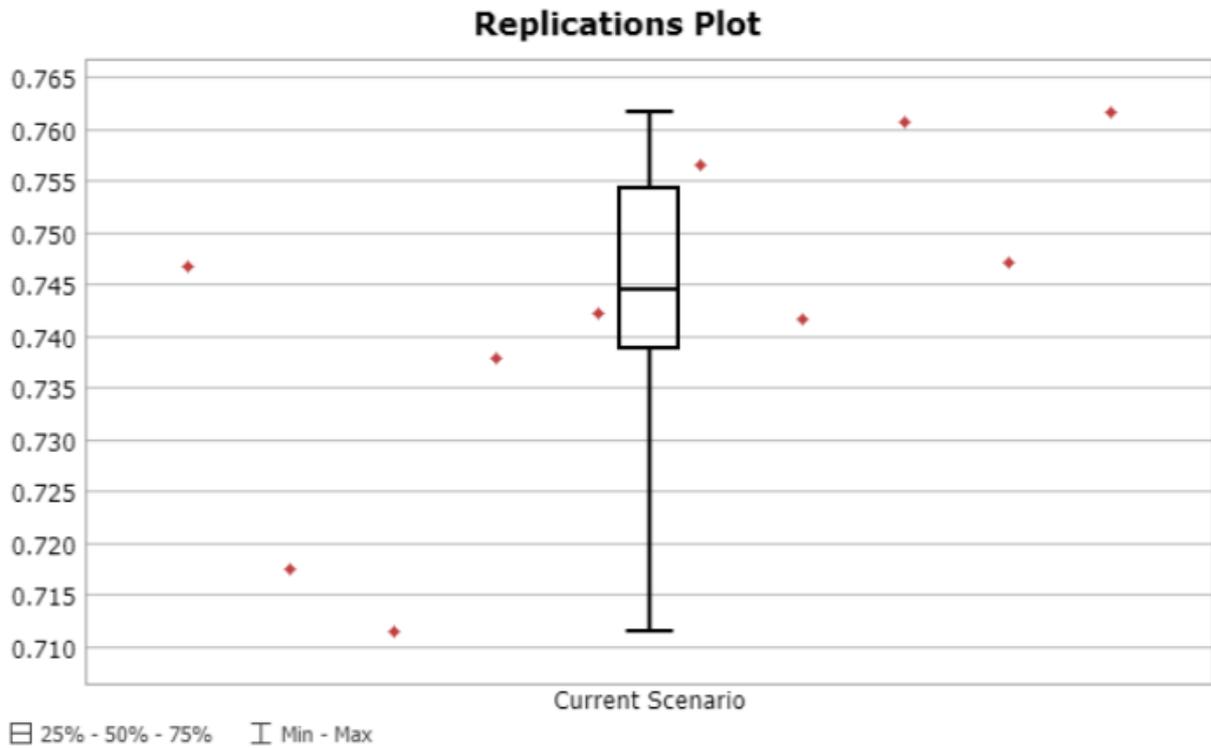
La utilización de las máquinas se recolecta con el objetivo de identificar el cuello de botella de la línea de producción. Esta información será útil para el desarrollo del prototipo de la célula de manufactura.

Las utilizaciones de las seis estaciones de trabajo serán obtenidas a través de la herramienta Experimenter del software de simulación Flexsim en su versión 20.1 habiendo definido el dashboard apropiado que en este caso sería el de estado de las entidades definidas como procesadores.

La herramienta antes mencionada pide especificar el número de réplicas por escenario, el cual para nuestro caso sería diez, número suficiente para realizar una prueba piloto. Las réplicas fueron obtenidas del desarrollo de una corrida de la simulación del primer escenario.

Obteniendo para la primera estación lo siguiente:

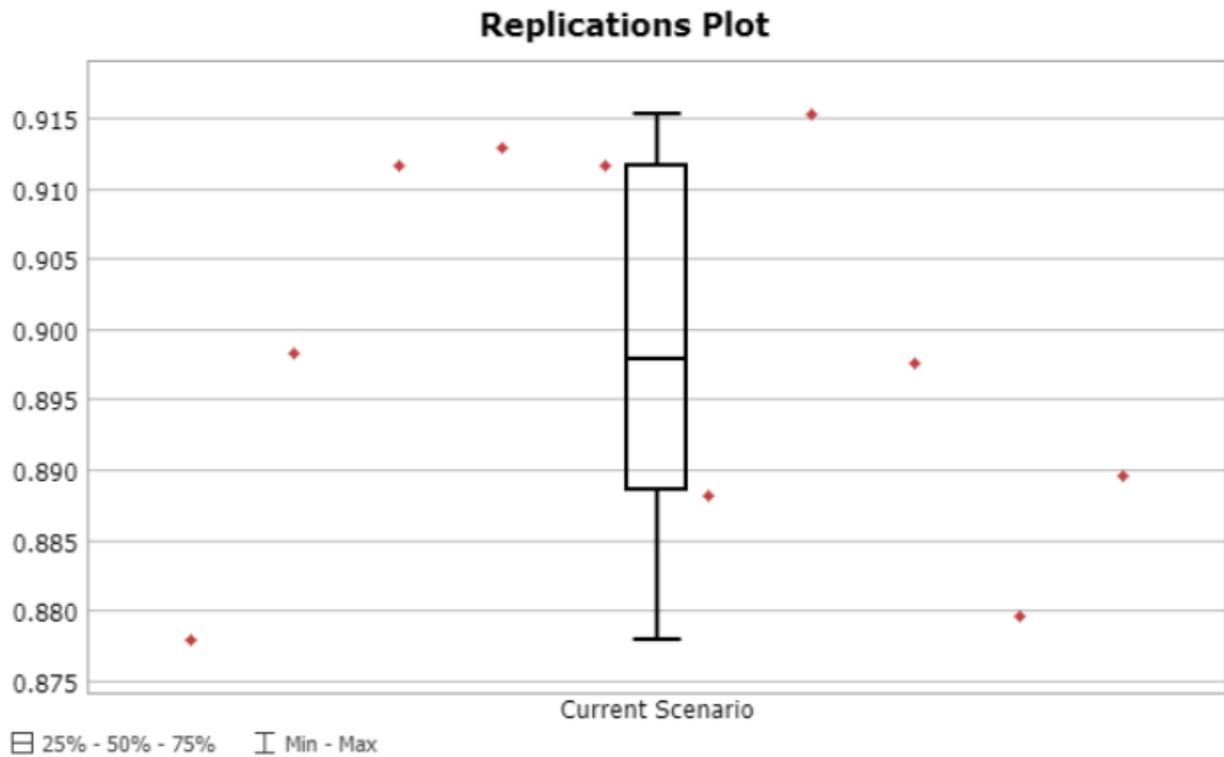
| Summary                 |                       |   |        |                |        |        |        |        |
|-------------------------|-----------------------|---|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|
|                         | Mean (90% Confidence) |   |        | Sample Std Dev | Min    | Max    |        |        |
| <b>Current Scenario</b> | 0.7326                | < | 0.7424 | <              | 0.7521 | 0.0168 | 0.7114 | 0.7617 |



**Figura 2.3 Utilización de la estación 1**  
(Elaboración conjunta)

En la segunda estación es posible notar valores en un umbral alrededor del 90% logrando así uno de los requerimientos establecidos en la etapa anterior de definición.

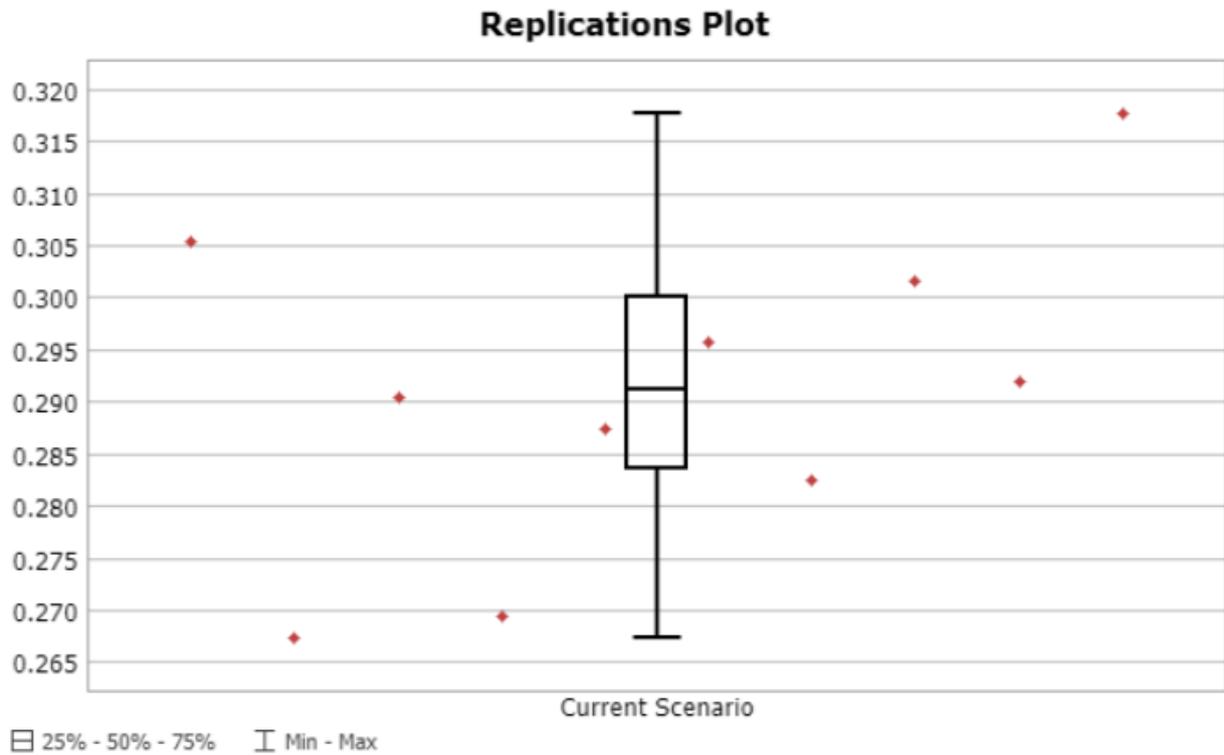
| Summary                 |                       |   |        |                |        |        |
|-------------------------|-----------------------|---|--------|----------------|--------|--------|
|                         | Mean (90% Confidence) |   |        | Sample Std Dev | Min    | Max    |
| <b>Current Scenario</b> | 0.8901                | < | 0.8983 | <              | 0.9065 | 0.0142 |
|                         |                       |   |        |                | 0.8779 | 0.9153 |



**Figura 2.4 Utilización de la estación 2**  
(Elaboración conjunta)

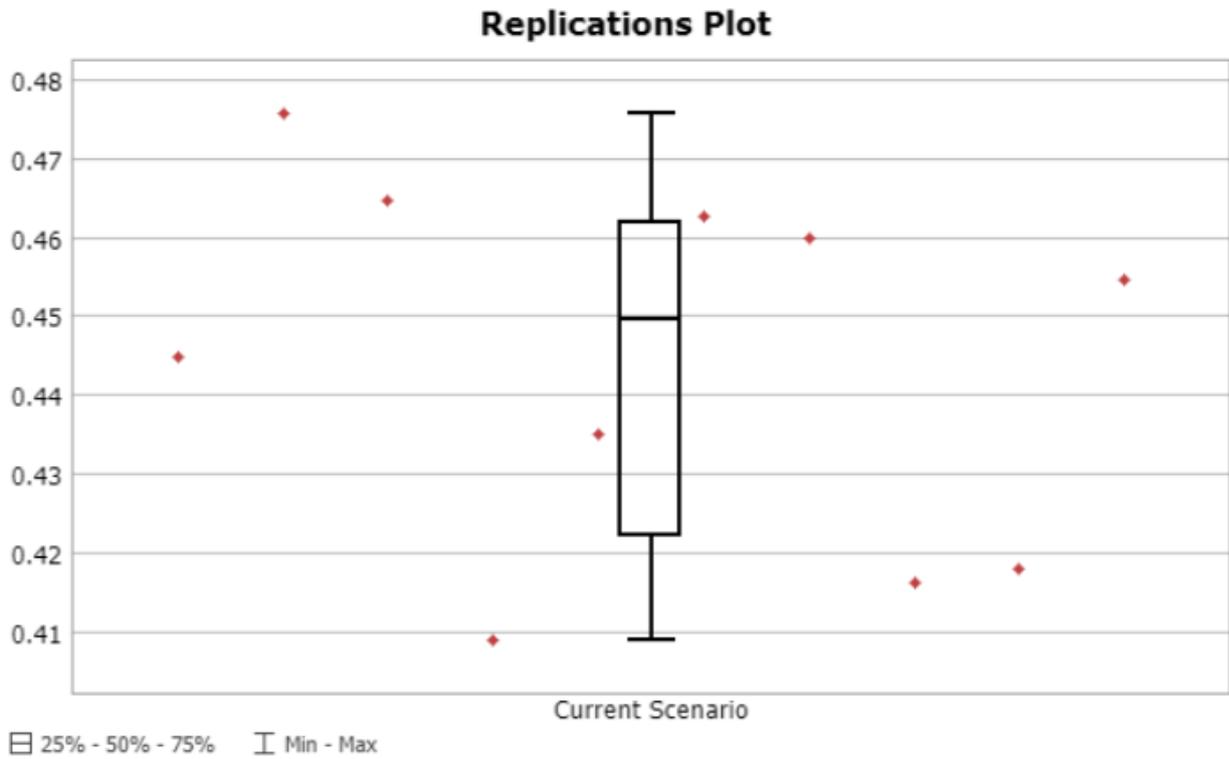
De manera análoga se realiza para las demás estaciones, como se muestra en las figuras 2.5, 2.6, 2.7, 2.8:

| Summary          |                       |   |        |                |        |        |        |        |
|------------------|-----------------------|---|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |        | Sample Std Dev | Min    | Max    |        |        |
| Current Scenario | 0.2819                | < | 0.2910 | <              | 0.3000 | 0.0156 | 0.2673 | 0.3178 |



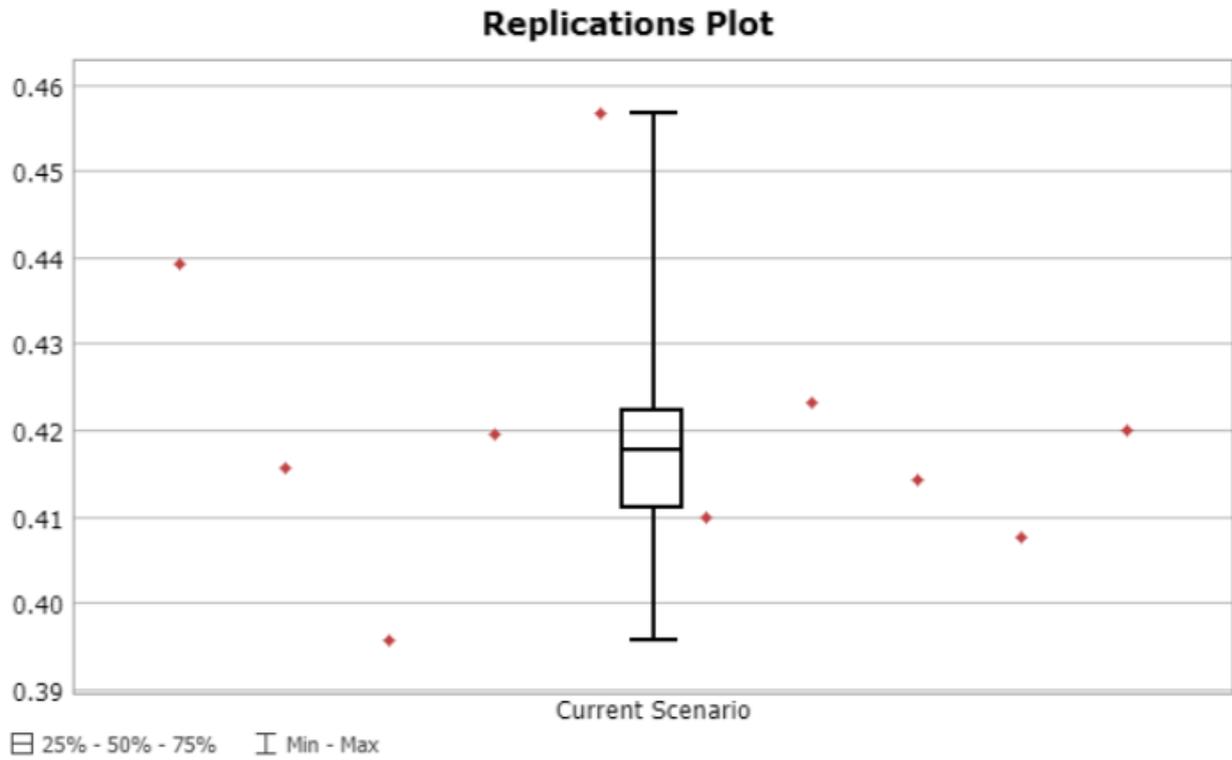
**Figura 2.5 Utilización de la estación 3**  
(Elaboración conjunta)

| Summary          |                       |   |       |                |       |       |       |       |
|------------------|-----------------------|---|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |       | Sample Std Dev | Min   | Max   |       |       |
| Current Scenario | 0.431                 | < | 0.444 | <              | 0.458 | 0.023 | 0.409 | 0.476 |



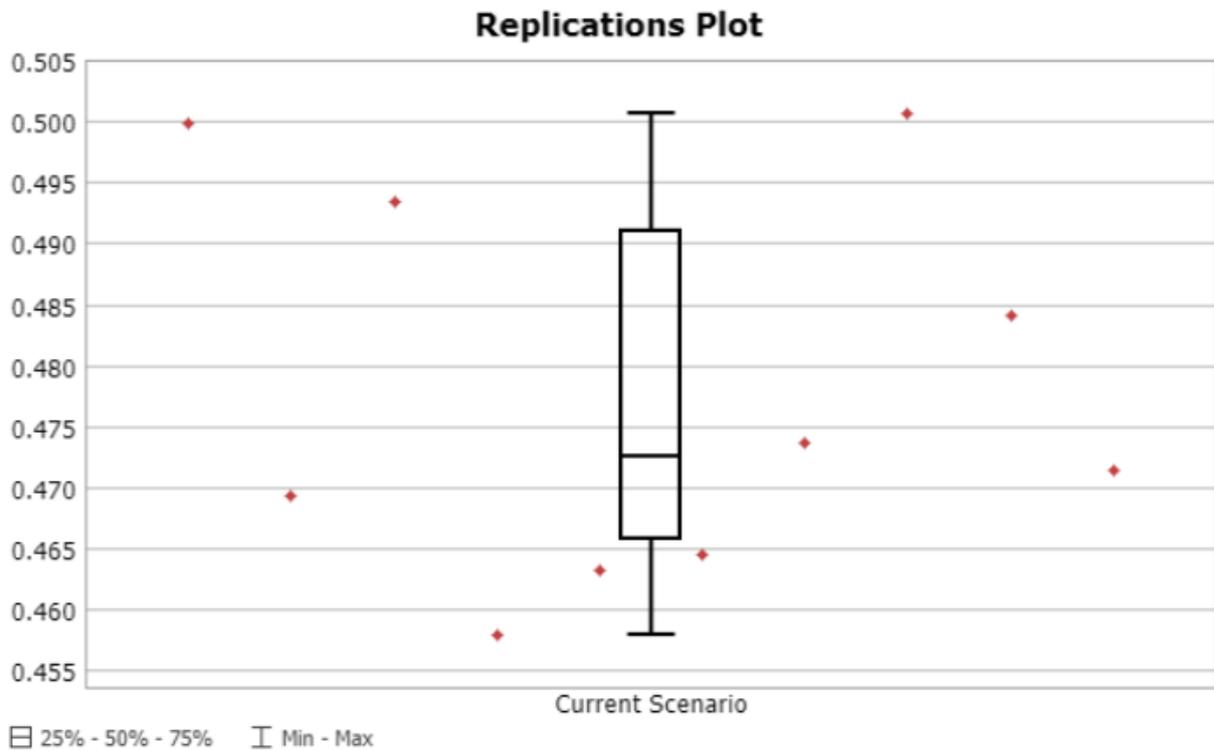
**Figura 2.6 Utilización de la estación 4**  
(Elaboración conjunta)

| Summary                 |                       |   |        |                |        |        |
|-------------------------|-----------------------|---|--------|----------------|--------|--------|
|                         | Mean (90% Confidence) |   |        | Sample Std Dev | Min    | Max    |
| <b>Current Scenario</b> | 0.4103                | < | 0.4202 | <              | 0.4301 | 0.0171 |
|                         |                       |   |        |                | 0.3956 | 0.4568 |



**Figura 2.7 Utilización de la estación 5**  
(Elaboración conjunta)

| Summary          |                       |   |        |                |        |        |        |        |
|------------------|-----------------------|---|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |        | Sample Std Dev | Min    | Max    |        |        |
| Current Scenario | 0.4687                | < | 0.4778 | <              | 0.4869 | 0.0157 | 0.4578 | 0.5008 |



**Figura 2.8 Utilización de la estación 6**  
(Elaboración conjunta)

### 2.1.5 Recolección de datos del contenido máximo en colas

La información mencionada se recolecta con el objetivo de determinar la carga de trabajo actual de cada maquinaria, esta información será de vital importancia para poder determinar límites de carga de trabajo en cada maquinaria, siendo esto lo que se busca como resultado del prototipo de la célula de manufactura

Las mediciones del contenido máximo en colas nunca cambiaron durante diferentes corridas de simulación y los tiempos máximos tuvieron una ínfima variación, por lo tanto se procede a enlistar los valores obtenidos en la siguiente tabla:

**Tabla 2.4 Contenido Máximo de Colas**

| <b>Entidad</b> | <b>Contenido Máximo</b> | <b>Tiempo de carga máxima</b> |
|----------------|-------------------------|-------------------------------|
| Cola 1         | 4                       | 123 segundos                  |
| Cola 2         | 11                      | 330 segundos                  |
| Cola 3         | 1                       | 20 segundos                   |
| Cola 4         | 2                       | 54 segundos                   |
| Cola 5         | 4                       | 58 segundos                   |
| Cola 6         | 4                       | 69 segundos                   |

(Elaboración conjunta)

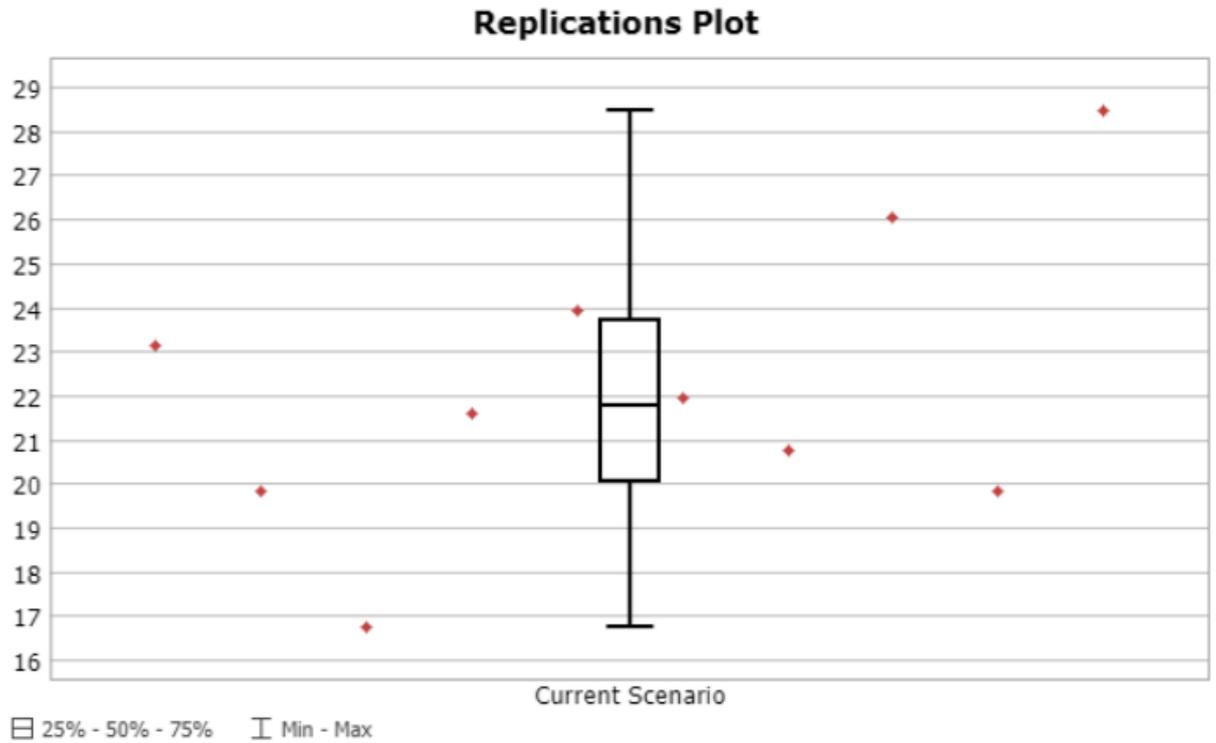
### **2.1.6 Recolección de datos del tiempo de estadías promedio en colas**

El objetivo de recolectar los tiempos de estadías de promedio en colas, es similar al de recolectar el contenido máximo de cada cola, con la diferencia que ahora se podrá conocer la carga de trabajo actual en unidades de tiempo. Con estos datos se podrá establecer la carga de trabajo actual del sistema en unidades de tiempo, la cual se busca reducir.

Para la determinación de estos valores también se utilizó la herramienta Experimenter habiendo definido el dashboard apropiado que en este caso sería el de tiempo de estadía promedio en las entidades asociadas a colas.

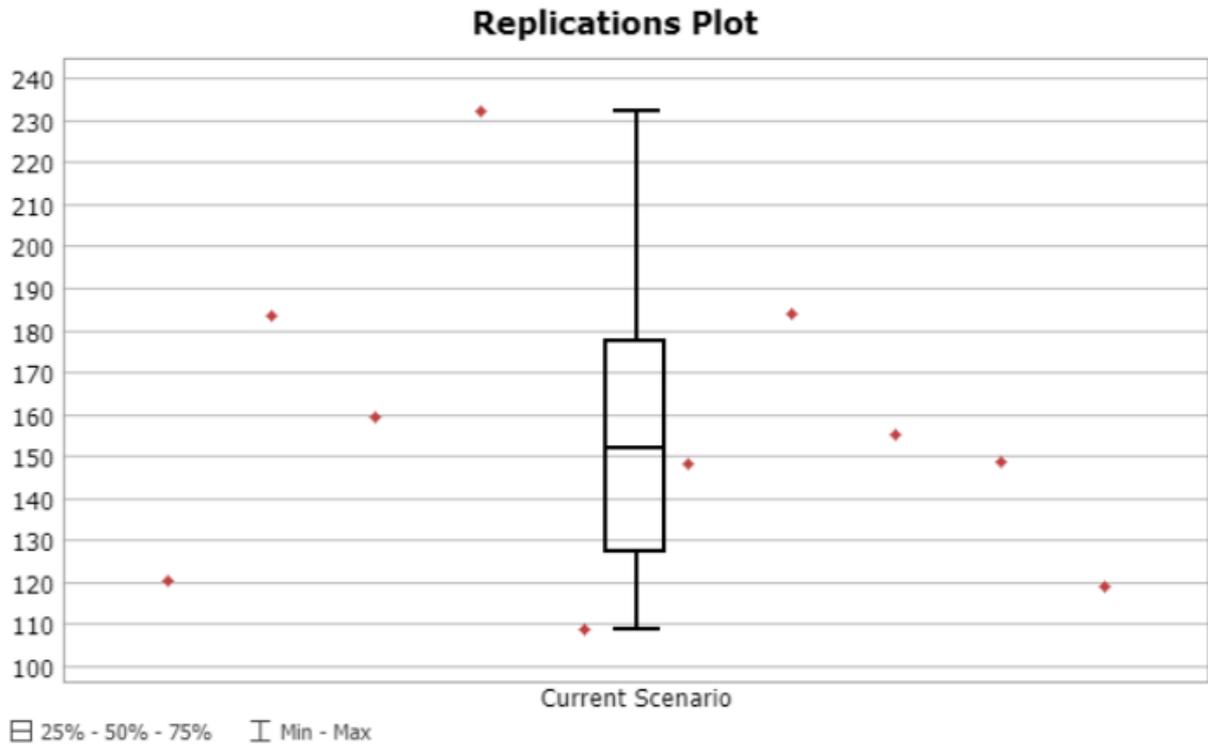
Obteniéndose lo siguiente en las figuras 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14:

| Summary                 |                       |   |      |                |      |     |      |      |
|-------------------------|-----------------------|---|------|----------------|------|-----|------|------|
|                         | Mean (90% Confidence) |   |      | Sample Std Dev | Min  | Max |      |      |
| <b>Current Scenario</b> | 20.3                  | < | 22.2 | <              | 24.2 | 3.4 | 16.7 | 28.5 |



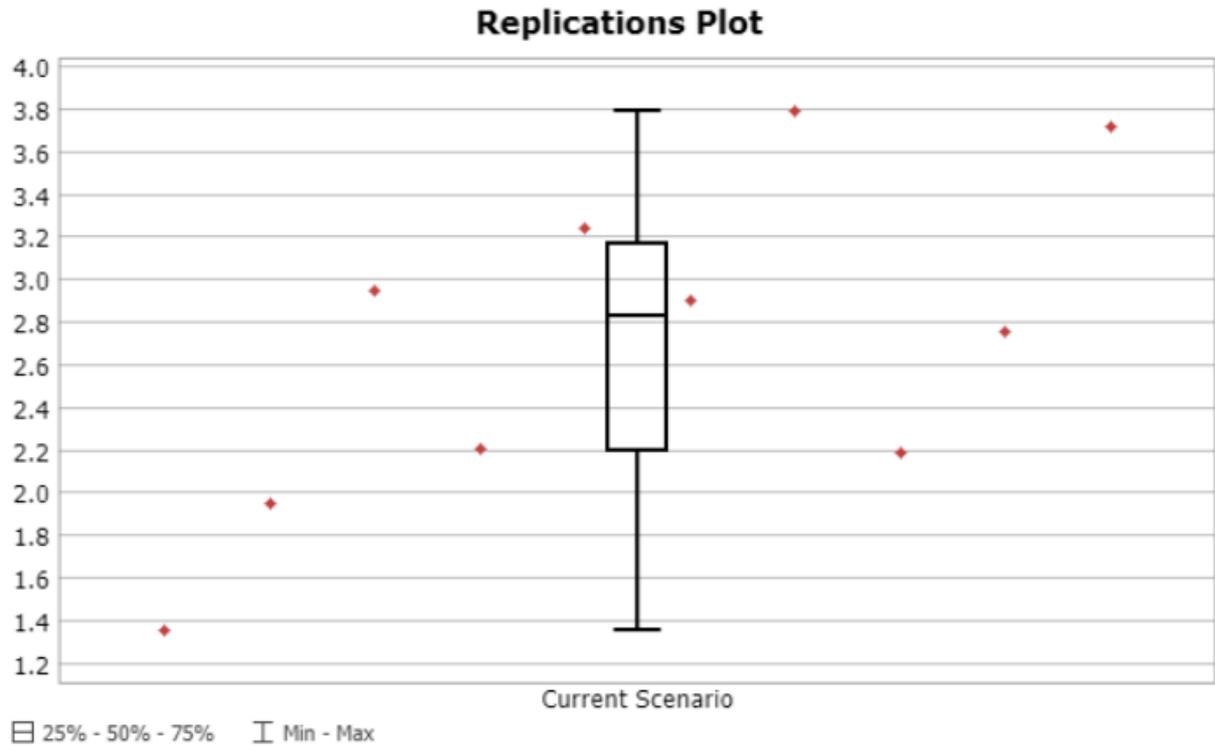
**Figura 2.9 Tiempo de estadía de la cola 1 en segundos**  
(Elaboración conjunta)

| Summary          |                       |   |     |                |     |     |         |
|------------------|-----------------------|---|-----|----------------|-----|-----|---------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |     | Sample Std Dev | Min | Max |         |
| Current Scenario | 134                   | < | 156 | <              | 177 | 37  | 109 232 |



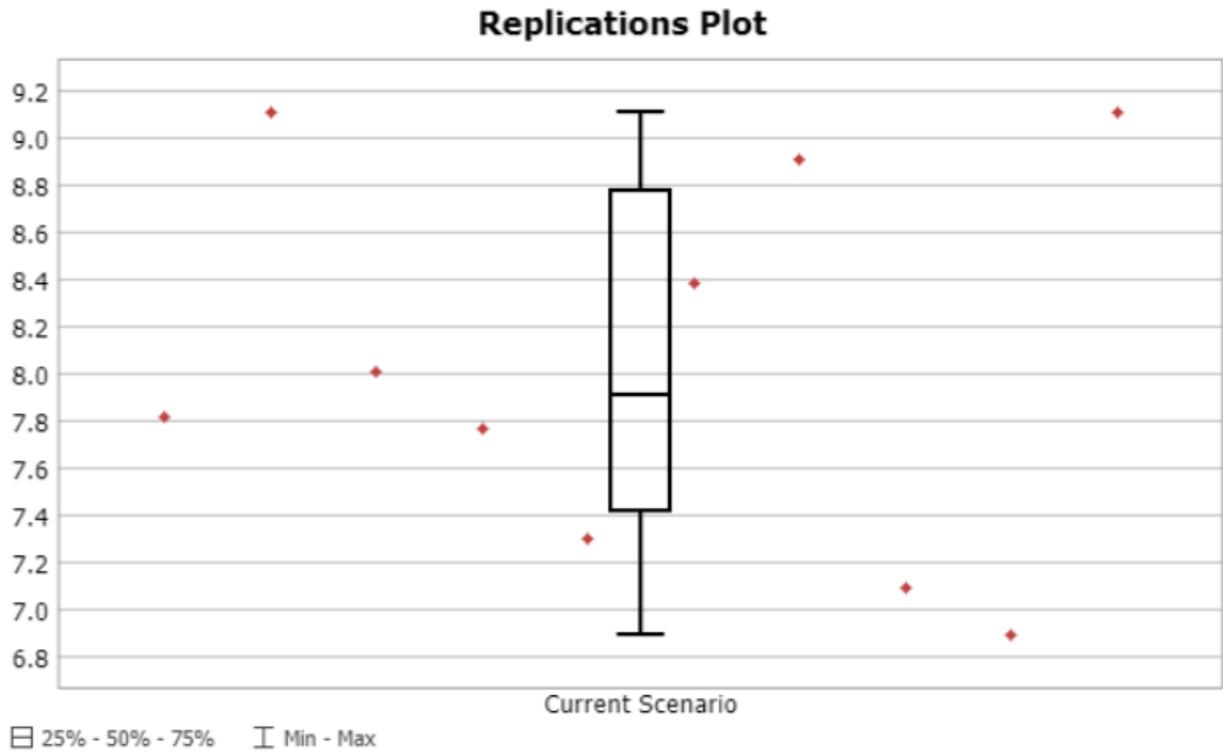
**Figura 2.10 Tiempo de estadía de la cola 2 en segundos**  
(Elaboración conjunta)

| Summary          |                       |   |      |                |      |      |      |      |
|------------------|-----------------------|---|------|----------------|------|------|------|------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |      | Sample Std Dev | Min  | Max  |      |      |
| Current Scenario | 2.25                  | < | 2.70 | <              | 3.16 | 0.78 | 1.35 | 3.79 |



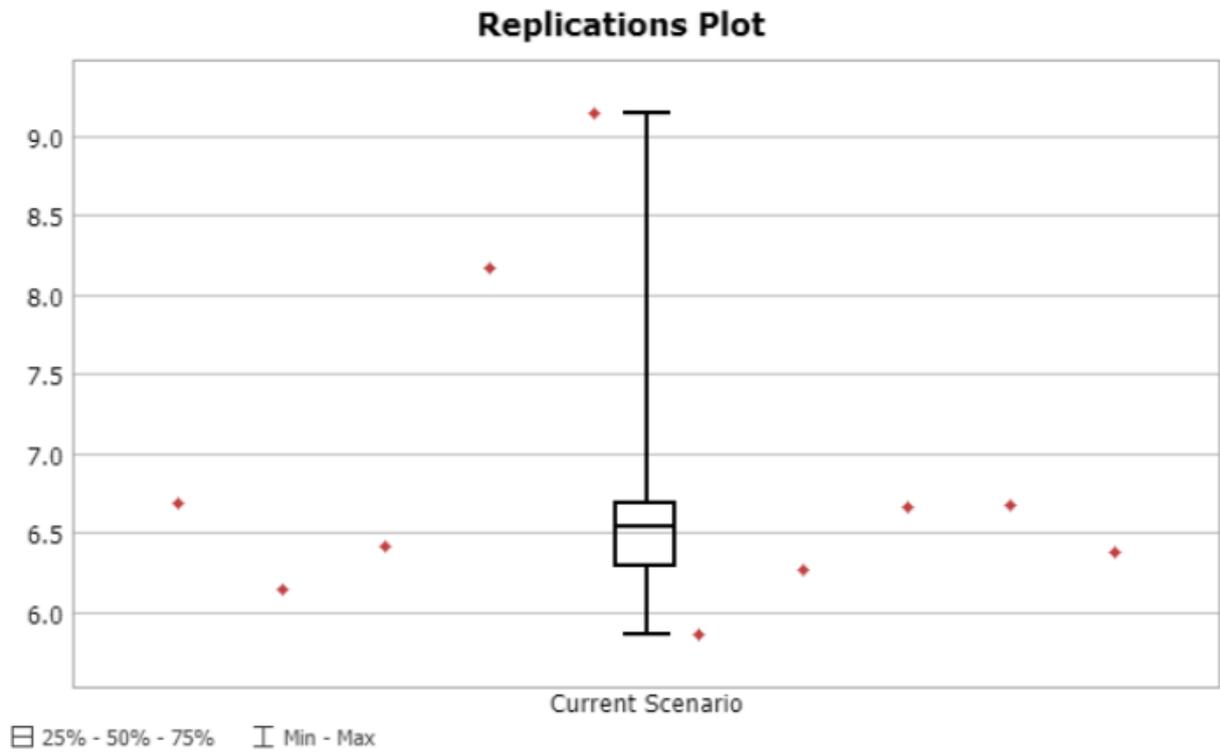
**Figura 2.11 Tiempo de estadía de la cola 3 en segundos**  
(Elaboración conjunta)

| Summary          |                       |   |      |                |      |      |      |      |
|------------------|-----------------------|---|------|----------------|------|------|------|------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |      | Sample Std Dev | Min  | Max  |      |      |
| Current Scenario | 7.57                  | < | 8.04 | <              | 8.52 | 0.82 | 6.89 | 9.11 |



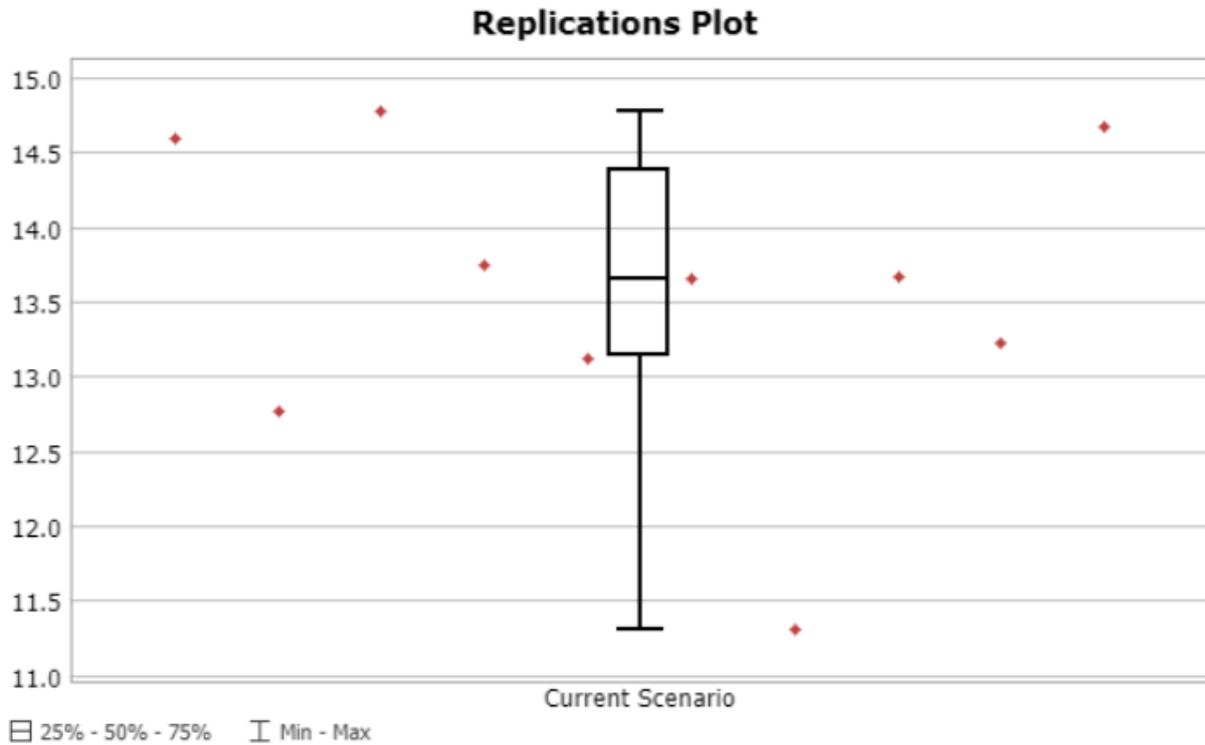
**Figura 2.12 Tiempo de estadía de la cola 4 en segundos**  
(Elaboración conjunta)

| Summary          |                       |   |      |                |      |      |      |      |
|------------------|-----------------------|---|------|----------------|------|------|------|------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |      | Sample Std Dev | Min  | Max  |      |      |
| Current Scenario | 6.25                  | < | 6.84 | <              | 7.43 | 1.02 | 5.86 | 9.15 |



**Figura 2.13** Tiempo de estadía de la cola 5 en segundos  
(Elaboración conjunta)

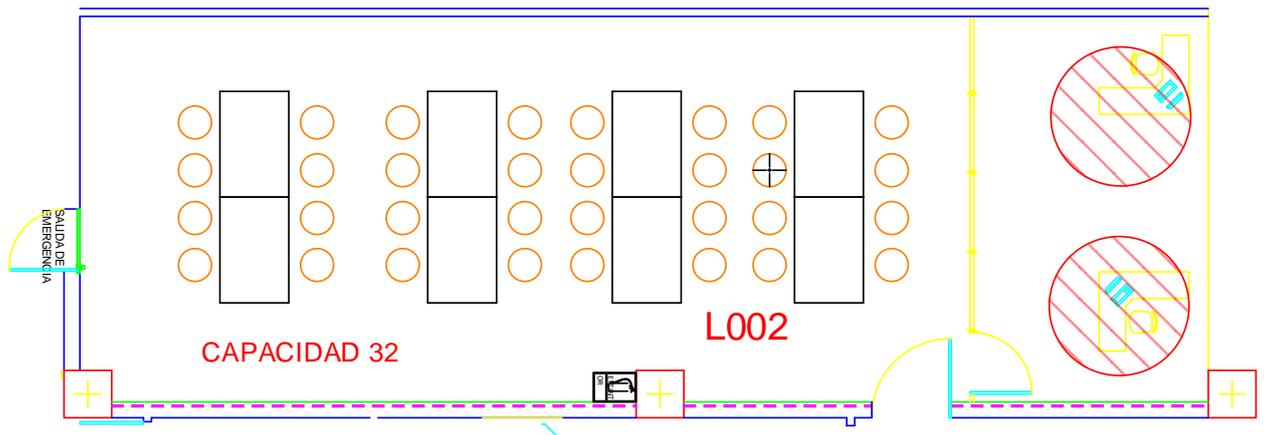
| Summary          |                       |   |       |                |       |      |       |       |
|------------------|-----------------------|---|-------|----------------|-------|------|-------|-------|
|                  | Mean (90% Confidence) |   |       | Sample Std Dev | Min   | Max  |       |       |
| Current Scenario | 12.95                 | < | 13.55 | <              | 14.16 | 1.05 | 11.30 | 14.78 |



**Figura 2.14 Tiempo de estadía de la cola 6 en segundos**  
(Elaboración conjunta)

### 2.1.7 Recolección de Dimensiones del Laboratorio de Ingeniería Industrial

Con el objetivo de determinar el espacio de trabajo para cada escenario, se procede a tomar las dimensiones de un Laboratorio de Ingeniería Industrial el cual se puede observar en la Figura 2.15.



**Figura 2.15 Laboratorio de Ingeniería Industrial  
(Provisto por Institución educativa)**

Las dimensiones recolectadas necesarias para el correcto desarrollo del prototipo se pueden observar en la siguiente tabla.

**Tabla 2.5 Dimensiones del laboratorio de Ing. Industrial**

| Nombre                        | Dimensiones en metros          |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Largo del laboratorio (eje x) | 11.19 metros                   |
| Ancho del laboratorio (eje y) | 5.13 metros                    |
| Dimensiones mesas de trabajo  | (1.34 x 0.87) metros cuadrados |

(Elaboración conjunta)

### 2.1.8 Recolección de Costos de Material

Los costos de material permitirán obtener decisiones correctas sobre qué tipo de material utilizar, con el objetivo que el prototipo resulte lo más económico posible para su correcta implementación. Los costos a recolectar serán de los siguientes elementos de la práctica:

- Material para elaboración del producto.
- Material para Elaboración de Sistema de tarjetas a implementar.
- Prácticas estandarizadas que se aproximen a lo requerido.
- Mesas de trabajo nuevas.
- Caja para almacenamiento de piezas de trabajo.

Junto con el cliente se llegó a la conclusión de utilizar un material que sea de fácil manejo, duradero, que sea amigable para realizar diferentes tipos de ensamblajes

y que su disponibilidad sea alta, es decir, que pueda ser conseguido sin ningún problema. El material escogido, con la aprobación del cliente, fue piezas de legos. Para el material mencionado se encontraron los siguientes costos mostrados en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Tabla de costos para material del producto**

| <b>Elemento</b>     | <b>Costo</b> |
|---------------------|--------------|
| Caja de 450 piezas  | \$10         |
| Caja de 1000 piezas | \$20         |

(Elaboración conjunta)

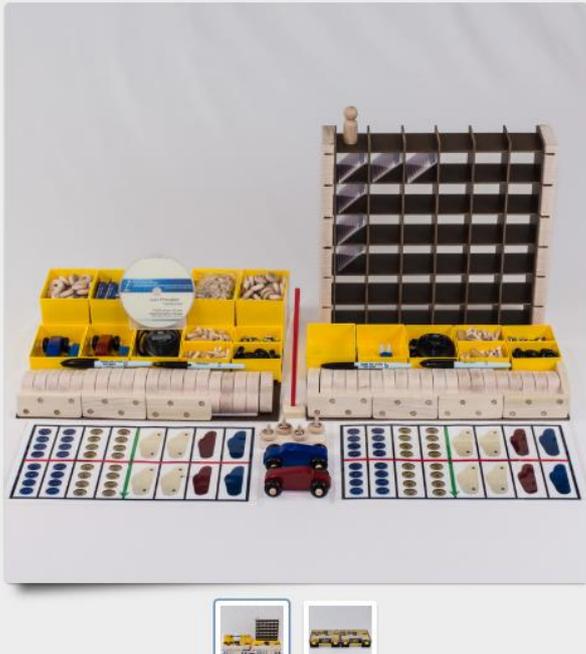
Para el material del sistema de tarjetas a implementar se debe considerar los siguientes elementos: tablero de ubicación de tarjetas, material que simule tarjetas con información de producción. Los costos para tablero de ubicación de tarjetas se pueden observar en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Tabla de costos para tablero de tarjetas**

| <b>Elemento</b>           | <b>Costo</b> |
|---------------------------|--------------|
| Pizarra acrílica estándar | \$30         |
| Pizarra magnética         | \$50         |
| Tablero elaborado         | Mayor a \$50 |

(Elaboración conjunta)

Se procedió a buscar en línea formatos de prácticas que se puedan aproximar a lo requerido por el cliente, que incluya todos los elementos necesarios para su desarrollo y la opción más cercana con su costo correspondiente se puede observar en la Figura 2.16.



**LeanMan Grand Simulation Package**  
**\$1,888.95**

The LeanMan Grand Simulation Package is a reduced cost bundle of the Deluxe Car Factory Simulation, the VSM, the Kanban and the Heijunka events packaged into two double-deep containers. This bundled package saves \$740 over items purchased separately.

**Package Contents:**

Two Car Factory Kits, the VSM Upgrade, the Kanban Upgrade and the Heijunka Upgrade materials, all packaged into two double-deep containers. Includes two Stopwatches, two wet-erase markers, Laminated Kanban material control cards, Laminated Participant placemats, and all simulation materials and forms.

*Included in 2020* are the the ToyotaWay Game files, the VSMgt Service Files, the Large Group Simulation Package presentations and the Developing Lean Eyes Package presentations and printable file materials on the USB drive (files only version- no pre-printed materials are included in the carton.) *Lean Eyes is a great team development tool!*

All files are provided on a USB Drive. [DVD available upon request. DVD Backup Disk is Included with international sales]

- 1 + [ADD TO CART](#)

**Figura 2.16 Práctica estandarizada  
(Obtenida de LeanMan LLC)**

Una mesa de trabajo nueva se puede comprar en un centro especializado y de diferente material. De la misma forma se puede contratar a un fabricante especializado para que construya la misma con las dimensiones requeridas. Los costos recolectados para cada opción se observar en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8 Costos de mesas de trabajo**

| Elemento                        | Costo                |
|---------------------------------|----------------------|
| Mesas en centros especializados | Mayor a \$30/ unidad |
| Mesas fabricadas                | Mayor a \$50/ unidad |

Para la caja de almacenamiento de trabajo se encontraron diferentes opciones con un costo aproximado por unidad de \$6 por unidad.

### 2.1.9 Recolección de Velocidad promedio de una persona al caminar

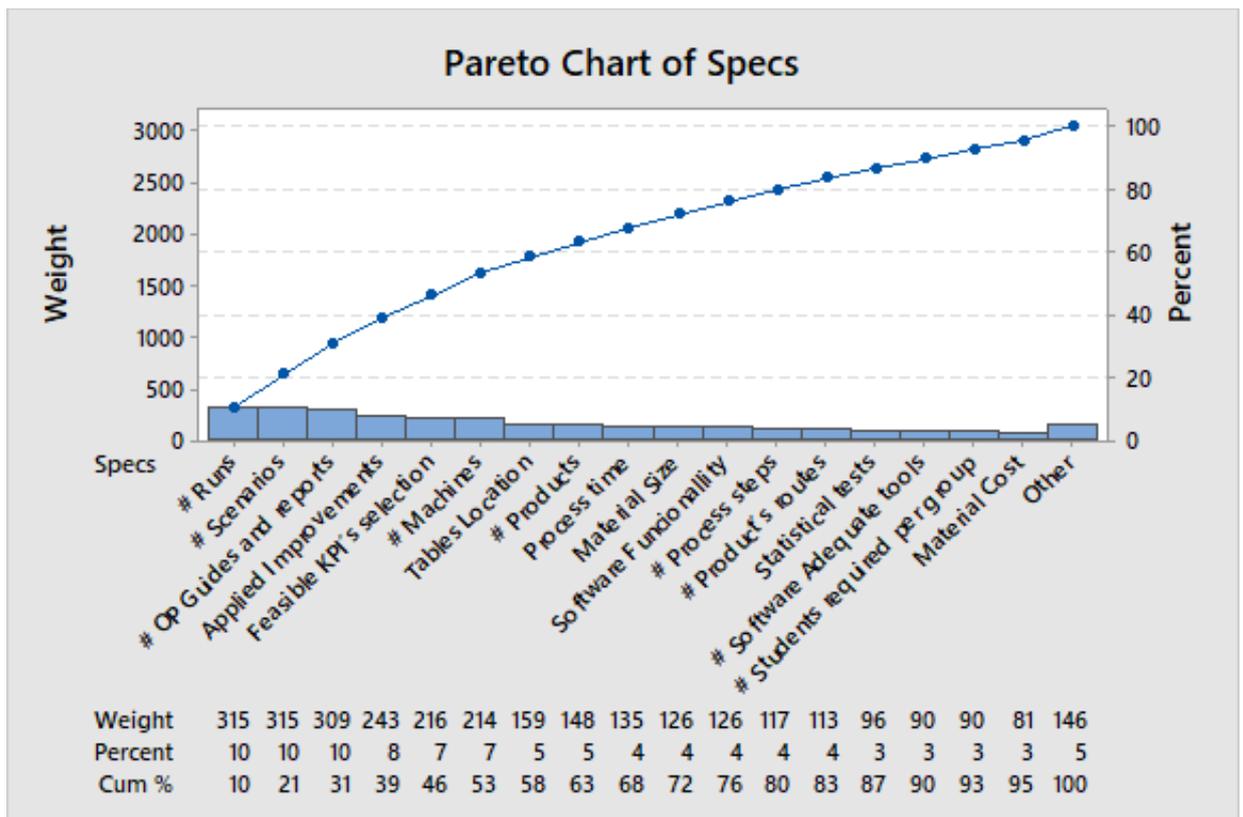
Según un estudio biomecánico realizado por la Asociación Española de Ingeniería Mecánica, la velocidad normal de caminata de una persona es de 5 km/h y en términos de pasos, la tasa de pasos por segundo es de 0.75.

## 2.2 Análisis

En la etapa de análisis se profundizará en las especificaciones de diseño, así como el análisis de las decisiones a tomar en lo que respecta a la implementación del prototipo en lo que respecta a materiales a utilizar, distribución física del espacio de trabajo y tipo de práctica a implementar.

### 2.2.1 Especificaciones de Diseño

Previamente se recolectaron las necesidades del cliente y se describió los elementos críticos para la calidad desde el punto de vista del mismo. Con el objetivo de poder relacionar los elementos mencionados con la forma como se espera alcanzar los requerimientos del cliente se procede a realizar un Desarrollo de la función de la calidad, utilizando el elemento de la Casa de la Calidad la cual se puede observar en el **Apéndice H**. Una vez encontrados los pesos de las relaciones entre los requerimientos para la calidad y la forma de alcanzarlos, se procede a realizar un diagrama de Pareto para poder priorizar aquellas que tienen mayor peso y que se esperan que se puedan cumplir en el desarrollo del prototipo.



**Figura 2.17 Diagrama Pareto**  
(Elaboración conjunta)

Según la Figura 2.17 se debería solo buscar cumplir 13 especificaciones de las obtenidas del Análisis de la Calidad, pero según el criterio del cliente se debe buscar cumplir con todas las especificaciones. Las mismas se pueden observar en la Tabla 2.9 junto con su distribución en las 3 Criterios de Sostenibilidad.

**Tabla 2.9 Especificaciones de Diseño**

| CTQ                                 | Criterio de Sostenibilidad | Requerimiento     |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Material de trabajo funcional.      | Social                     | Fácil de manejar  |
| Tiempo de reutilización de material | Ambiental                  | Mayor a 5 años    |
| Indicadores de rendimiento          | Social                     | Más de 3          |
| Escenarios                          | Social                     | Mayor o igual a 2 |
| Corridas                            | Social                     | Mayor o igual a 2 |
| Número de Rutas de Productos        | Social                     | Mayor o igual a 5 |
| Tiempo de Proceso por máquina       | Social                     | Menor a 2 minutos |

|  |           |                    |
|--|-----------|--------------------|
| Número de etapas del Proceso de manufactura          | Social    | Menor de 10        |
| Número de mejoras aplicadas                          | Social    | Mayor a 1          |
| Número de Estudiantes por grupo de trabajo           | Social    | Mayor o igual a 10 |
| Número de Cuellos de Botella                         | Social    | Mayor o igual a 1  |
| Número de Productos                                  | Social    | Mayor o igual a 8  |
| Número de Máquinas                                   | Social    | Mayor o igual a 6  |
| Guías de Operación y Reportes                        | Social    | Necesarias         |
| Funcionabilidad del Software a utilizar para simular | Social    | Necesarias         |
| Distribución correcta de espacio de trabajo          | Ambiental | Necesarias         |
| Costo total de implementación                        | Económico | Menor a \$300      |

(Elaboración conjunta)

El objetivo es cumplir con todas las especificaciones de diseño al menos en sus valores mínimos. Existen verificaciones que deben ser cumplidas como prioridad, para las cuales se desarrolló un plan de verificación de especificaciones de diseño el cual se puede observar en la Figura 2.18.

| <b>Especificación de Diseño</b>                   | <b>Impacto</b>  | <b>Método de Verificación</b>  | <b>Verificado?</b> |
|---|---|--|--------------------|
| <b>Estudiantes por grupo mayor o igual a 10</b>   | Permite desarrollar una correcta célula de manufactura                    | Revisar Disponibilidad de espacio en Laboratorio                           | Pendiente          |
| <b>Funcionalidad de Software de Simulación</b>    | Estudiantes podrán realizar cambios y realizar varias corridas            | Use Flexsim Software   | Sí                 |
| <b>Material de trabajo sencillo de manejar</b>    | Impacto alto en el diseño del proceso y tiempos de producción             | Prototipo de productos   | Sí                 |
| <b>Número de escenarios mayor o igual a 2</b>     | Estudiantes necesitan verificar el contraste de las mejoras implementadas | Revisar espacio de trabajo, tiempo de trabajo y disponibilidad de material | Sí                 |
| <b>Número de corridas mayores a 2</b>             | Estudiantes necesitan verificar el contraste de las mejoras implementadas | Revisar Funcionabilidad del Software                                       | Sí                 |
| <b>Tiempo de vida del material mayor a 5 años</b> | No existirá desperdicio de material                                       | Información del material   | Sí                 |

**Figura 2.18 Plan de verificación de especificaciones de diseño  
(Elaboración conjunta)**

En la siguiente sección se procederá a verificar las especificaciones que faltan de verificar.

### **2.2.2 Selección de materiales de trabajo para prototipo de CM.**

Con el objetivo de poder tomar decisiones sobre material a utilizar y distribución de espacio, se utilizará la matriz de Pugh permitiendo así obtener la mejor opción según criterios que se asignarán a cada uno de los elementos a analizar.

Los elementos por analizar son:

- Material para elaboración del producto.
- Material para Elaboración de Sistema de tarjetas a implementar.
- Mesas de trabajo.

- Caja para almacenamiento de piezas de trabajo.
- Número de grupos de trabajo de estudiantes.

Es importante mencionar que para todos los elementos una de las opciones será no comprar o hacer nada, siendo necesaria también para el correcto análisis.

Para el material de elaboración de producto se tomó la decisión de implementar legos como se pudo observar en secciones anteriores. La decisión se tomó utilizando la matriz de Pugh con los criterios necesarios como se puede observar la Figura 2.19.

| Criterio           | Importancia | No comprar nada | Partes de madera | Legos     | Componentes electrónicos |
|--------------------|-------------|-----------------|------------------|-----------|--------------------------|
| Costo              | 3           | 1               | -1               | -1        | -1                       |
| Resistencia        | 5           | 0               | 1                | 1         | 0                        |
| Fácil Manejo       | 4           | 0               | 1                | 1         | -1                       |
| Disponibilidad     | 4           | 0               | 0                | 1         | 0                        |
| Duración           | 2           | 0               | 1                | 1         | -1                       |
| <b>Total</b>       |             | <b>3</b>        | <b>8</b>         | <b>12</b> | <b>-9</b>                |
| <b>Ventajas</b>    |             | <b>1</b>        | <b>3</b>         | <b>4</b>  | <b>0</b>                 |
| <b>Desventajas</b> |             | <b>0</b>        | <b>1</b>         | <b>1</b>  | <b>3</b>                 |

**Figura 2.19 Matriz de Pugh Material para producto**  
(Elaboración conjunta)

Para el material del sistema de tarjetas existen dos elementos, el tablero a utilizar para ubicar las tarjetas y el material de las tarjetas. Las opciones a considerar y los criterios para cada elemento se pueden observar en las Figuras 2.20 y 2.21 respectivamente.

| Criterio           | Importancia | No comprar nada | Pizarra acrílica | Tablero fabricado por tercero | Pizarra Magnética |
|--------------------|-------------|-----------------|------------------|-------------------------------|-------------------|
| Costo              | 5           | 1               | -1               | -1                            | -1                |
| Funcionalidad      | 4           | -1              | 1                | 1                             | 1                 |
| Reutilizable       | 3           | 0               | 0                | 0                             | 1                 |
| Ajustes necesarios | 2           | 0               | 1                | 0                             | 1                 |
| <b>Total</b>       |             | <b>1</b>        | <b>1</b>         | <b>-1</b>                     | <b>4</b>          |
| <b>Ventajas</b>    |             | <b>1</b>        | <b>2</b>         | <b>1</b>                      | <b>3</b>          |
| <b>Desventajas</b> |             | <b>1</b>        | <b>0</b>         | <b>1</b>                      | <b>0</b>          |

**Figura 2.20 Matriz de Pugh para tablero de tarjetas.**  
(Elaboración conjunta)

| Criteria           | Improtancia | No hacer nada | Post its  | Cartas magnéticas |
|--------------------|-------------|---------------|-----------|-------------------|
| Costo              | 5           | 1             | 1         | -1                |
| Resistencia        | 3           | -1            | -1        | 1                 |
| Fácil manejo       | 3           | 0             | 1         | 1                 |
| Disponibilidad     | 4           | 0             | 1         | -1                |
| Duración           | 4           | 0             | -1        | 1                 |
| <b>Total</b>       |             | <b>-5</b>     | <b>-3</b> | <b>9</b>          |
| <b>Ventajas</b>    |             | <b>1</b>      | <b>3</b>  | <b>3</b>          |
| <b>Desventajas</b> |             | <b>1</b>      | <b>2</b>  | <b>2</b>          |

**Figura 2.21 Matriz de Pugh para tarjetas.**  
(Elaboración conjunta)

Las opciones elegidas son pizarras magnéticas y tarjetas magnéticas. Las pizarras magnéticas se pueden comprar dentro del país en una tienda que disponga de las mismas. Las tarjetas magnéticas deben ser importadas del exterior, ya que se deben comprar en una plataforma de compras por internet llamada Amazon. El costo y las especificaciones de las tarjetas se pueden observar en la Figura 2.22.



Tarjetas de borrado en seco para pizarra ágil – Tarjetas magnéticas de usuario para Scrum Board y productividad de oficina – Juego de 25 tarjetas Kanban en 5 colores y 2 marcadores de borrado en seco – Tamaño: 4.0 x 6.0 in

Marca: Agile Inspirations  
★★★★★ 1 calificación

Precio: US\$ 28.00

- El juego incluye: 25 tarjetas de índice magnéticas de 3.9 x 5.9 in en variedad de 5 colores vibrantes: naranja, amarillo, verde, azul, morado; 2 marcadores de borrado en seco en azul y negro.
- Duradero y reutilizable: estas tarjetas mini de pizarra blanca de 4 x 6 son totalmente borrrables y reutilizables; gran área de escritura permite notas extendidas, mientras que los bordes redondeados de cada uno de los imanes borrrables para una recogida suave y segura.
- 5 colores vibrantes: diseñado específicamente en una variedad de colores para un fácil reconocimiento, organización y control de tareas, estas tarjetas de 4 x 6 harán que cualquier planificación o estructuración sea una alegría visual.
- Beneficios: etiquetas magnéticas ideales para planificar visualmente, gestionar tareas ágiles y proyectos o capturar ideas; las notas magnéticas son un gran reemplazo para etiquetas de papel de un solo uso.
- Múltiples usos: nuestras tarjetas de índice de borrado en seco son útiles con pizarras blancas magnéticas para el aula y la oficina; imanes perfectos para planear tarjetas para pizarras Kanban o Scrum, refrigeradores y cualquier superficie de metal.

**Figura 2.22 Descripción para compra de tarjetas**  
(Elaboración conjunta)

Para las mesas de trabajo, las opciones más importantes son: contratar a terceros para fabricación de nuevas mesas, comprar mesas prefabricadas o mantener las actuales. Se eligió mantener las mesas actuales y poder dar una distribución diferente a la actual. El proceso de decisión se observa en la Figura 2.23.

| <b>Criterio</b>      | <b>Importancia</b> | <b>No hacer nada</b> | <b>Comprar nuevas</b> | <b>Mesas actuales</b> |
|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Costo                | <b>3</b>           | 0                    | -1                    | 0                     |
| Transporte           | <b>4</b>           | -1                   | 0                     | 1                     |
| Uso del espacio      | <b>4</b>           | 0                    | 1                     | 1                     |
| Comodidad            | <b>2</b>           | 0                    | 1                     | 0                     |
| <b>Total</b>         |                    | -4                   | 3                     | 8                     |
| <b>Advantages</b>    |                    | <b>0</b>             | <b>2</b>              | <b>2</b>              |
| <b>Disadvantages</b> |                    | <b>1</b>             | <b>1</b>              | <b>0</b>              |

**Figura 2.23 Matriz de Pugh para mesas de trabajo**  
(Elaboración conjunta)

Se debe elegir ahora si es necesario tener cajas de almacenamiento de las piezas de trabajo o no. Se eligió que la mejor opción es comprar cajas organizadoras con el objetivo de que el material este bien organizado y almacenado. También se debe elegir entre si comprar una caja organizadora por mesa o una por máquina. La Figura 2.24 muestra el proceso de decisión. La opción escogida es la de comprar una caja por máquina, con el fin de que exista la mayor organización posible en cada estación de trabajo.

| <b>Criterio</b>          | <b>Importancia</b> | <b>No comprar nada</b> | <b>Una por mesa</b> | <b>Una por máquina</b> |
|--------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Costo                    | <b>5</b>           | 1                      | -1                  | -1                     |
| Comodidad                | <b>3</b>           | -1                     | 0                   | 1                      |
| Factibilidad de uso      | <b>3</b>           | -1                     | 1                   | 1                      |
| Prevención de accidentes | <b>4</b>           | -1                     | 1                   | 1                      |
| <b>Total</b>             |                    | -5                     | 2                   | 5                      |
| <b>Ventajas</b>          |                    | <b>1</b>               | <b>2</b>            | <b>3</b>               |
| <b>Desventajas</b>       |                    | <b>3</b>               | <b>1</b>            | <b>1</b>               |

**Figura 2.24 Matriz de Pugh para cajas organizadoras**  
(Elaboración conjunta)

El número de estudiantes por clase varía entre 22 y 30 estudiantes, por lo que la correcta distribución del número de estudiantes por grupo es determinante. Se

eligió dividir la clase en dos grupos de trabajo, con el fin de aprovechar al máximo la capacidad de cada estudiante y las oportunidades que brinda la práctica. En la Figura 2.25 se observa el proceso de elección.

| <b>Criterio</b>    | <b>Importancia</b> | <b>1 grupo</b> | <b>2 grupos</b> | <b>3 grupos o más</b> |
|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Comodidad          | 5                  | 1              | 0               | -1                    |
| Uso del espacio    | 4                  | 1              | 1               | -1                    |
| Didáctico          | 4                  | -1             | 1               | 1                     |
| Costo              | 5                  | 1              | 1               | -1                    |
| Trabajo en equipo  | 3                  | 0              | 0               | 1                     |
| <b>Total</b>       |                    | <b>10</b>      | <b>13</b>       | <b>-7</b>             |
| <b>Ventajas</b>    |                    | <b>3</b>       | <b>3</b>        | <b>2</b>              |
| <b>Desventajas</b> |                    | <b>1</b>       | <b>0</b>        | <b>3</b>              |

**Figura 2.25 Matriz de pugh para número de grupos de estudiantes**  
(Elaboración conjunta)

### 2.2.3 Cálculo de costos de implementación

Existe una especificación de costo que se debe cumplir, por lo que se procede a calcular los costos totales de implementación con las decisiones tomadas en la sección anterior mostrándose en la tabla 2.10.

**Tabla 2.10 Tabla de costos**

| <b>Elemento</b>                                 | <b>Unidades</b> | <b>Costo</b>                   |
|---|-----------------|--------------------------------|
| Cajas de legos de 100 piezas                    | 3               | \$60                           |
| Pizarra magnética                               | 1               | \$50                           |
| Paquete de Tarjetas magnéticas<br>+ costo envío | 2 paquetes      | \$60 (tarjetas)<br>\$20(envío) |
| Cajas organizadoras                             | 6               | \$36                           |

(Elaboración conjunta)

El total de los costos da un total de \$226.

### 2.2.4 Características del Prototipo

Con el análisis realizado en secciones previas, se completan los componentes del prototipo de la célula de manufactura, los cuáles se listan a continuación:

- Uso de tarjetas magnéticas y pizarra magnética como tablero de trabajo.

- Uso de cajas organizadoras.
- Uso del Software FlexSim (provisto por entidad estudiantil).
- Estudiantes divididos en 2 grupos.
- Uso de legos como materia prima de producto.

Con estas características se procederá a comprar la propuesta de prototipo con otras opciones disponibles en el mercado.

### 2.2.5 Matriz de Decisión

Con el objetivo de comprobar que se está tomando la decisión correcta al buscar implementar el prototipo propuesto, se procede a realizar una matriz de decisión con las siguientes opciones:

- No hacer nada.
- Comprar práctica en línea.
- Utilizar únicamente Software para simular línea de producción.
- Propuesta de prototipo desarrollada.

Para realizar la mejor elección, se utilizará la matriz de decisión en el cual se debe dar importancia a cada criterio de elección y asignar un valor de 0, 1, 3, 9 siendo 0 ninguna influencia, 1 poca influencia, 3 mediana influencia, 9 alta influencia a cada opción propuesta. La matriz de decisión se observa en la Figura 2.26.

| Criterio                 | Importancia | No hacer nada | Solo Software | Comprar práctica | Diseño Propuesto |
|--------------------------|-------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| Económica                | 10          | 9             | 9             | 1                | 9                |
| Sostenible               | 8           | 0             | 9             | 0                | 9                |
| Didáctica                | 9           | 0             | 3             | 9                | 9                |
| Fácil Implementa         | 6           | 0             | 3             | 9                | 3                |
| Modificable              | 10          | 0             | 1             | 1                | 9                |
| Moderno                  | 7           | 0             | 3             | 3                | 9                |
| Uso adecuado del espacio | 4           | 0             | 0             | 1                | 9                |
| <b>Total</b>             |             | <b>90</b>     | <b>238</b>    | <b>180</b>       | <b>450</b>       |

**Figura 2.26 Matriz de Decisión**  
(Elaboración conjunta)

La mejor opción es implementar el prototipo de célula de manufactura propuesto, por lo que se procederá a realizar el diseño final con las características seleccionadas en esta sección.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

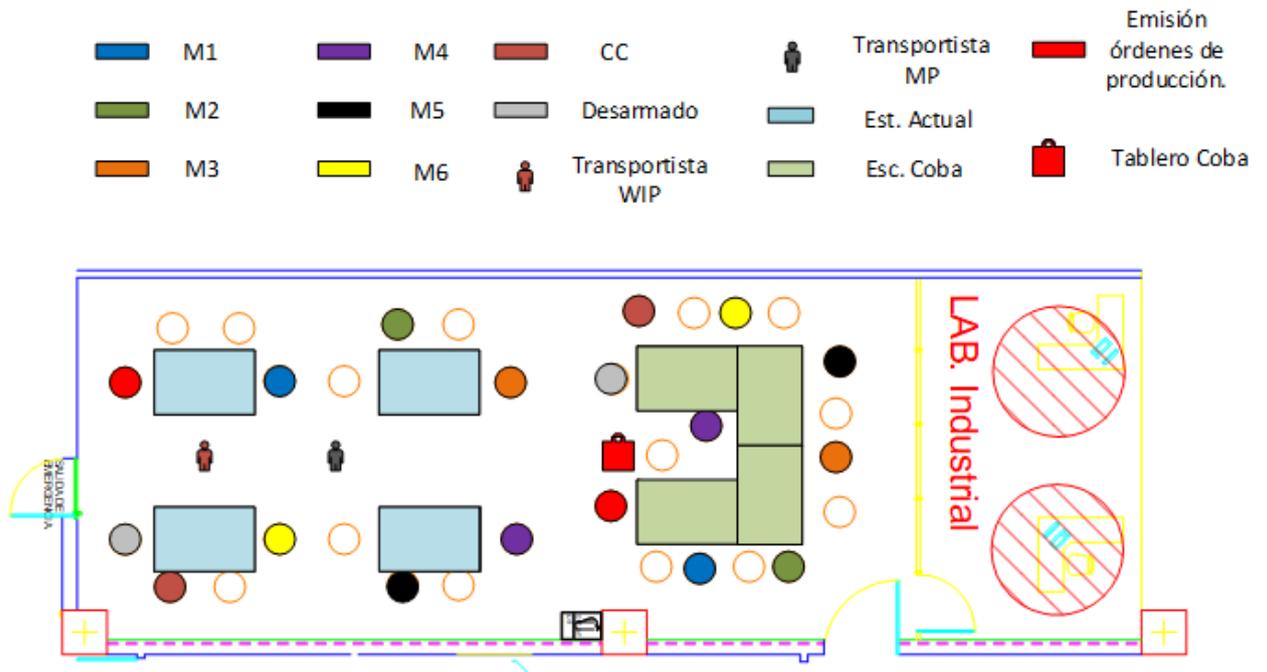
En esta etapa se procede a realizar el diseño final del prototipo de célula de manufactura y mostrar los resultados obtenidos con su respectivo análisis.

### 3.1 Diseño

Una vez desarrollado el primer escenario se procede a desarrollar el segundo escenario que corresponde a la célula de manufactura. Se procede a Desarrollar la célula de manufactura que cuenta con la aplicación del sistema de producción Cobacabana. Para mantener un orden de diseño e implementación se procede a realizar un plan de implementación el cual se puede observar en **Apéndice I**.

#### 3.1.1 Layout Práctica de Laboratorio de ambos escenarios

Para una correcta distribución del espacio físico se decidió diseñar el Layout de la práctica de laboratorio. En la Figura 3.1 se puede observar el Layout del laboratorio y la distribución del espacio de trabajo, utilizando las mesas que se encuentran en la actualidad en el espacio mencionado. El primer y segundo escenario se simularán simultáneamente, utilizando la misma tabla de arribos, pero la distribución de la posición de las máquinas de cada escenario será diferente.



**Figura 3.1 Layout del laboratorio de Ing Industrial**  
(Elaboración conjunta)

El laboratorio tiene una capacidad de 32 estudiantes por lo que no existirán inconvenientes al momento de la implementación.

### 3.1.2 Rutas de productos

A continuación se mostrarán las rutas por las cuales pasará la materia prima para cada tipo de producto.



**Figura 3.2 Ruta de MP para Auto**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.3 Ruta de MP para F1**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.4 Ruta de MP para Moto**  
(Elaboración conjunta)



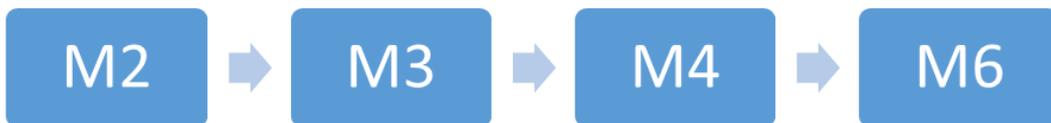
**Figura 3.5 Ruta de MP para Camioneta**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.6 Ruta de MP para Helicóptero**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.7 Ruta de MP para Avión**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.8 Ruta de MP para Tren**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.9 Ruta de MP para Barco**  
(Elaboración conjunta)

En las Figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 se pueden observar las rutas de producto de cada producto. Las rutas mencionadas se mantienen en los dos escenarios propuestos.

### 3.1.3 Segundo Escenario

El segundo escenario corresponde al prototipo de la célula de manufactura y cuenta con la implementación del sistema de control de la producción Cobacabana, la cual utilizar un tablero lleno de tarjetas en primera instancia y estas serán removidas acorde a la orden que valla llegando. Se procede a establecer la norma de cola para cada una de las estaciones de trabajo, utilizando

los valores de tiempo máximo de estadía en cola obtenidos previamente. Lo mencionado se puede observar en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Norma para colas de maquinaria**

| <b>Máquina</b> | <b>Tiempo máximo de estadía en cola</b> | <b>Norma 75% (unidades de tiempo)</b> | <b>Norma 50% (unidades de tiempo)</b> |
|----------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| M1             | 0:02:03                                 | 0:01:32                               | 0:01:01                               |
| M2             | 0:04:15                                 | 0:03:11                               | 0:02:07                               |
| M3             | 0:00:15                                 | 0:00:11                               | 0:00:08                               |
| M4             | 0:00:40                                 | 0:00:30                               | 0:00:20                               |
| M5             | 0:01:00                                 | 0:00:45                               | 0:00:30                               |
| M6             | 0:01:13                                 | 0:00:55                               | 0:00:37                               |

(Elaboración conjunta)

La norma se calcula con el objetivo de determinar el valor en tiempo de cada carta. Cada carta tendrá un valor que le asigna y un tamaño que se representará con diferentes colores. Se procede a dividir las tarjetas según su tamaño de la siguiente forma.

**Tabla 3.2 Valores de cada carta según su tamaño**

| <b>Tamaño</b> | <b>Norma 75%</b> | <b>Norma 50%</b> |
|---------------|------------------|------------------|
| Pequeño       | 10 segundos      | 5 segundos       |
| Mediano       | 20 segundos      | 10 segundos      |
| Grande        | 30 segundos      | 20 segundos      |
| Muy Grande    | 40 segundos      | 30 segundos      |

(Elaboración conjunta)

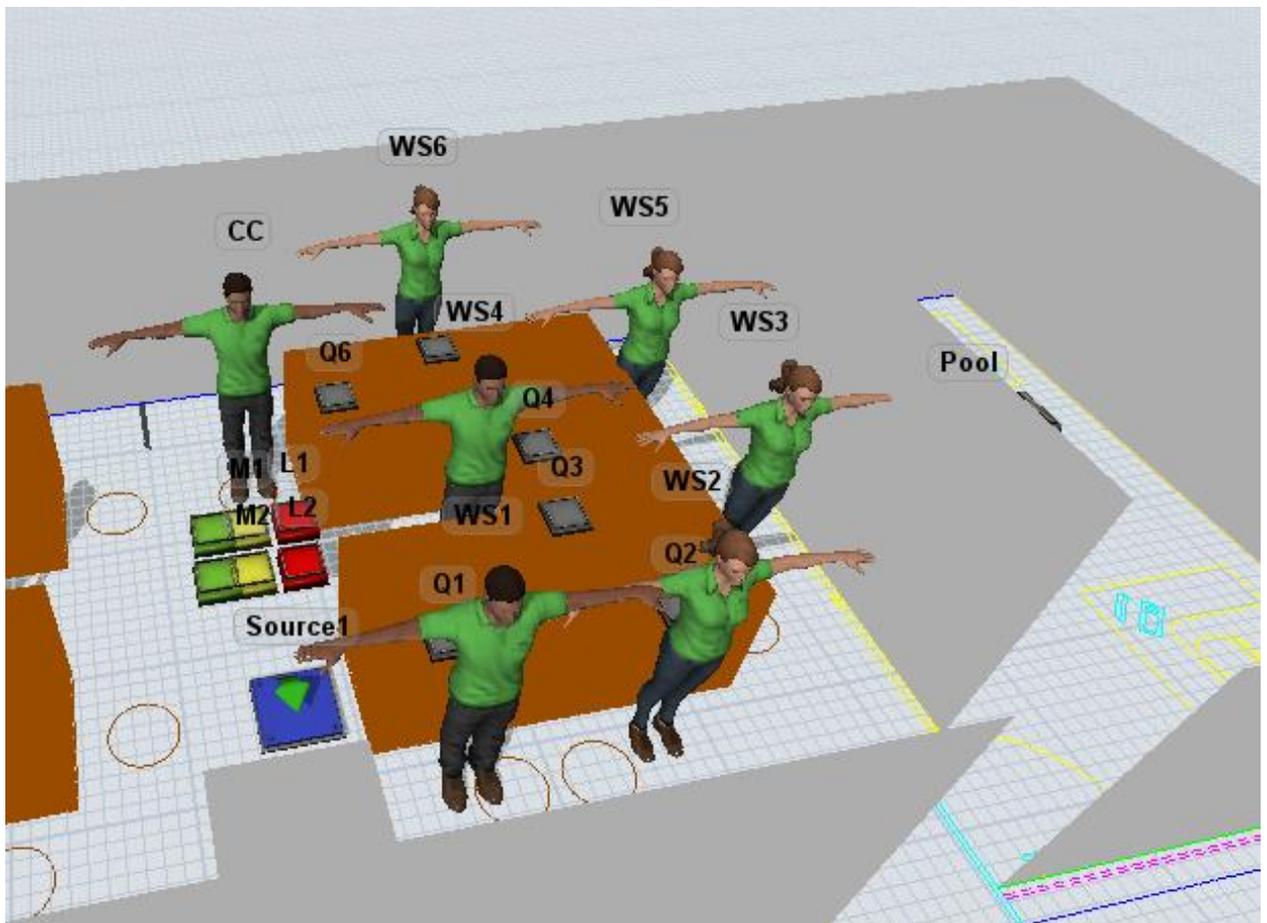
En la Tabla 3.2 se observa el valor de cada una de las tarjetas a utilizar según la norma que se utilice. Se debe recalcar que se debe elegir un valor de norma para todas las máquinas y según el tamaño de la norma, los indicadores podrían cambiar. El porcentaje de la carga de la norma es modificable y puede quedar a criterio del personal que desee implementar la práctica. Se sugiere comenzar tomar valores menores o iguales al 80%. Se debe elegir el número de tarjetas acorde al valor de cada una hasta poder llegar al valor de tiempo de la norma. Se

debe tomar en cuenta que en cada maquinaria el número de tarjetas será diferente y se sugiere equilibrar el número de tarjetas aproximadamente de la forma que se muestra en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 División de las tarjetas según su tamaño**

| Tamaño de tarjetas | Porcentaje          |
|--------------------|---------------------|
| Pequeño            | 50% de las tarjetas |
| Mediano            | 25% de las tarjetas |
| Grande             | 15% de las tarjetas |
| Muy grande         | 10% de las tarjetas |

Para poder observar diferentes escenarios con diferentes porcentajes y normas se procedió a diseñar una simulación utilizando el software FlexSim del segundo Escenario como se muestra en la Figura 3.10.



**Figura 3.10 Simulación Segundo Escenario**  
(Elaboración conjunta)

### 3.1.4 Personal requerido

A continuación se lista el personal requerido para cada escenario y para cada actividad:

**Tabla 3.4 Distribución de Personal Primer escenario**

| <b>Actividad</b>                                      | <b>Número de personas</b> |
|---|---------------------------|
| Operarios de maquinaria                               | 6                         |
| Transporte de producto y MP                           | 2                         |
| Desarmado de producto                                 | 1                         |
| Emisión de órdenes de producción con fecha de entrega | 1                         |
| Registro de fecha de entrega                          | 1                         |

(Elaboración conjunta)

**Tabla 3.5 Distribución del personal segundo escenario**

| <b>Actividad</b>                                      | <b>Número de personas</b> |
|---|---------------------------|
| Operarios de maquinaria                               | 6                         |
| Transporte de producto y MP                           | 2                         |
| Desarmado de producto                                 | 1                         |
| Emisión de órdenes de producción con fecha de entrega | 1                         |
| Registro de fecha de entrega                          | 1                         |
| Transporte y ubicación de tarjetas en tablero         | 2                         |

(Elaboración conjunta)

En las Tablas 3.4 y 3.5 se muestra el personal requerido. Las instrucciones para cada uno se encontrarán en las guías de operación.

### 3.1.5 Asignación de Fecha de Entrega

Para el primer escenario la fecha de entrega debe ser de forma constante, según un valor universal previamente establecido que tras pruebas de simulación se decide utilizar 300 segundos, la cual es un valor ligeramente superior al promedio de tiempos en Shop Floor sin restricciones de normativa, la cual fue de 289 segundos, valor obtenido del modelo de simulación.

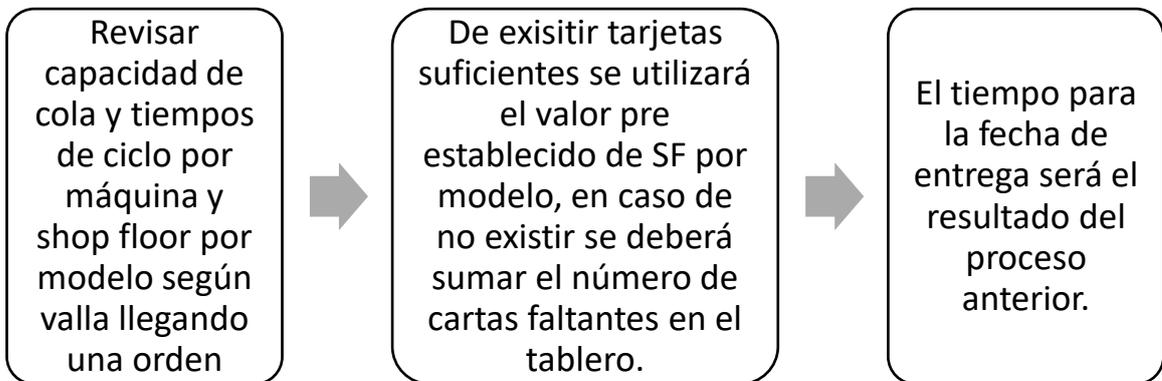
En la tabla 3.6 se puede observar los tiempos establecidos de shop floor en base a los valores promedios obtenidos del tiempo de estadía de la simulación.

**Tabla 3.6 Tiempos en Shop Floor por modelo**

| Modelo      | Tiempo en segundos |
|-------------|--------------------|
| Carro       | 240                |
| Fórmula 1   | 250                |
| Moto        | 280                |
| Tren        | 260                |
| Avión       | 330                |
| Helicóptero | 280                |
| Barco       | 260                |
| Camioneta   | 240                |

(Elaboración conjunta)

Para el segundo escenario se debe seguir un proceso que se detalla en la Figura 3.11.



**Figura 3.11 Proceso de determinación de fecha de entrega**

(Elaboración conjunta)

El proceso más detallado se podrá observar en las guías de operación.

En caso de que no haya las cartas suficientes, la orden debe esperar en una cola previa a la línea de producción denominada Pool, hasta que exista capacidad en la máquina, es decir regresen las tarjetas suficientes al tablero. Si una orden no puede entrar a la línea de producción por limitación de la capacidad, pero una nueva orden llegue y sí pueda ingresar a línea de producción según la capacidad de la normativa de cada máquina, dicha nueva orden debe entrar sin la necesidad de esperar a que ingrese la orden anterior a esta.

$$DD_k = PT_k + SF_i$$

$$DD_k = \sum_{j=1}^6 CT_j * WSC + SF_i$$

**Ecuación 3.1 Ecuación de DD cuando no hay capacidad en cola**

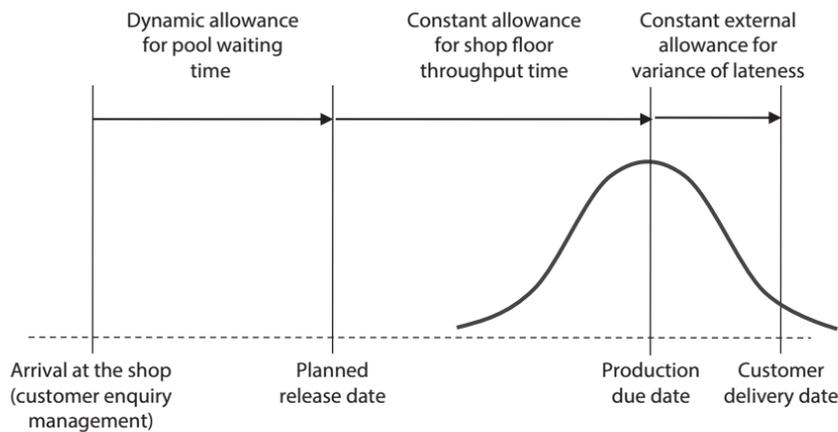
*DD: Fecha de entrega por ítem*

*SF: Tiempo en Shop Floor por modelo*

*PT: Tiempo en Pool establecido al llegar el ítem*

*CT: Tiempo de producción por estación de trabajo*

*WSC: Cartas faltantes en el Tablero COBACABANA cuando llega la orden*



**Figure 9.2 The three components of the delivery time allowance.**

**Figura 3.12 Componentes del establecimiento de fecha de entrega**

Tomado de (Thurer, Stevenson, Protzman; 2016).

La ecuación 3.1 está estrechamente relacionada a la ley de Little la cual establece que el tiempo de estadía en Pool es igual a la relación entre el trabajo en proceso y la tasa de producción, sin embargo la tasa de producción varía por cada ruta de trabajo según el modelo y la capacidad de procesamiento es unitario es decir no puede armarse más de un modelo a la vez dentro de cada estación, es por esto

que el tiempo en Pool obtenido va a ser definido según la estación de trabajo que más demande tiempo hasta que se termine de procesar los elementos en su correspondiente cola de trabajos, siempre y cuando dicha orden tenga que pasar por una de las estaciones de trabajo restringidas por su carga máxima. En la figura Figura 3.12 se pueden observar los componentes del establecimiento de la fecha de entrega y como la parte dinámica de la misma es el tiempo en Pool.

**Tabla 3.7 Tiempos promedios de producción por estación de trabajo**

| Estación de Trabajo | Tiempo en segundos |
|---------------------|--------------------|
| M1                  | 16                 |
| M2                  | 33                 |
| M3                  | 17                 |
| M4                  | 25                 |
| M5                  | 18                 |
| M6                  | 24                 |

(Elaboración conjunta)

En la tabla 3.7 se puede observar los tiempos de producción promedios en cada estación de trabajo para así poder relacionarse a que y cuantas cartas del tablero deben seleccionarse para cada orden.

### 3.1.6 Resultados

Para el primer escenario, la asignación de fechas de entrega no sigue ninguna metodología si no que se considera el valor previamente asignado de 300 segundos, donde 117 ítems que tienen que producirse durante la práctica, 43 de estos supera este valor, por lo tanto existe cerca de un 37% de retrasos, estos valores fueron obtenidos de la simulación y organizados en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Retrasos en el Primer Escenario**

| Ítem | Tiempo de Entrega | Lead Time | Ítem | Tiempo de Entrega | Lead Time |
|------|-------------------|-----------|------|-------------------|-----------|
| 5    | 0:01:40           | 0:01:41   | 85   | 0:26:00           | 0:26:45   |
| 8    | 0:02:00           | 0:02:28   | 88   | 0:26:40           | 0:28:32   |
| 14   | 0:04:30           | 0:05:31   | 89   | 0:27:50           | 0:31:33   |
| 17   | 0:04:50           | 0:05:38   | 90   | 0:30:50           | 0:32:25   |
| 23   | 0:05:10           | 0:05:37   | 91   | 0:31:40           | 0:32:26   |
| 25   | 0:06:30           | 0:07:08   | 91   | 0:31:50           | 0:32:31   |

|    |         |         |     |         |         |
|----|---------|---------|-----|---------|---------|
| 28 | 0:09:20 | 0:09:58 | 93  | 0:32:20 | 0:33:25 |
| 31 | 0:09:30 | 0:10:13 | 94  | 0:32:30 | 0:35:16 |
| 32 | 0:10:50 | 0:11:50 | 98  | 0:34:50 | 0:36:04 |
| 33 | 0:13:40 | 0:13:45 | 100 | 0:35:10 | 0:37:16 |
| 39 | 0:14:00 | 0:14:08 | 101 | 0:36:30 | 0:41:24 |
| 43 | 0:14:40 | 0:14:52 | 102 | 0:40:40 | 0:43:13 |
| 47 | 0:14:10 | 0:15:10 | 103 | 0:42:30 | 0:43:30 |
| 52 | 0:16:10 | 0:16:56 | 104 | 0:42:40 | 0:44:59 |
| 53 | 0:16:40 | 0:17:16 | 106 | 0:44:20 | 0:44:54 |
| 66 | 0:17:10 | 0:17:21 | 108 | 0:44:20 | 0:45:19 |
| 71 | 0:17:30 | 0:17:47 | 110 | 0:44:30 | 0:46:08 |
| 72 | 0:20:30 | 0:20:49 | 112 | 0:45:20 | 0:46:00 |
| 75 | 0:21:30 | 0:21:35 | 114 | 0:45:40 | 0:47:00 |
| 80 | 0:25:00 | 0:25:04 | 116 | 0:46:20 | 0:47:26 |
| 81 | 0:25:30 | 0:26:20 | 117 | 0:46:40 | 0:46:55 |
| 83 | 0:26:00 | 0:26:36 |     |         |         |

(Elaboración conjunta)

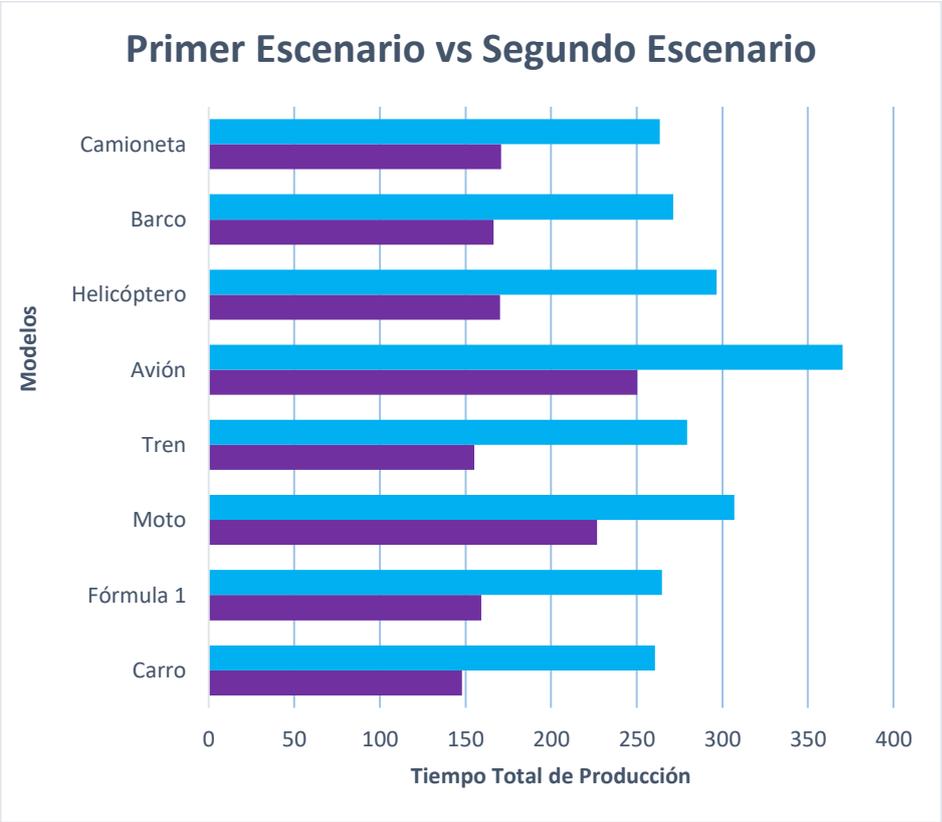
En el segundo escenario, de los 117 ítems solo 9 órdenes excedieron su fecha de entrega, es decir existe un 9% de retrasos. Una reducción casi del 30% entre el primer y el segundo escenario.

Estos 9 ítems se muestran en la tabla 3.9 a continuación:

**Tabla 3.9 Retrasos en el Segundo Escenario**

| Ítem | Tiempo de Entrega | Lead Time |
|------|-------------------|-----------|
| 19   | 0:06:50           | 0:07:38   |
| 41   | 0:13:50           | 0:14:04   |
| 42   | 0:14:30           | 0:14:04   |
| 61   | 0:16:40           | 0:17:16   |
| 65   | 0:17:10           | 0:17:21   |
| 72   | 0:20:30           | 0:20:49   |
| 81   | 0:25:30           | 0:26:17   |
| 87   | 0:26:40           | 0:27:21   |
| 116  | 0:46:20           | 0:47:13   |

Los Lead Times observados en ambos escenarios se muestran en la Figura 3.13 siendo los valores correspondientes al primer escenario de color celeste y los del segundo escenario en morado.

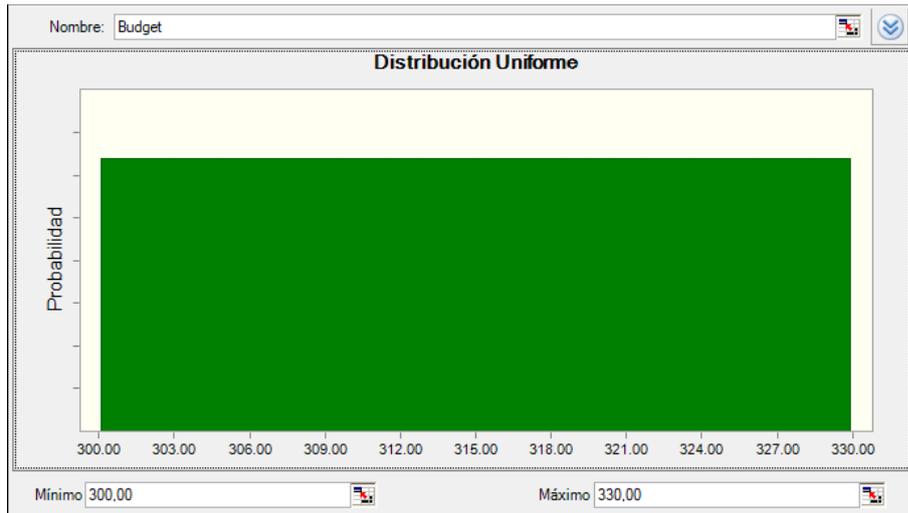


**Figura 3.13 Comparación de Tiempos de producción por escenario (Primer escenario celeste, segundo escenario morado)**  
(Elaboración conjunta)

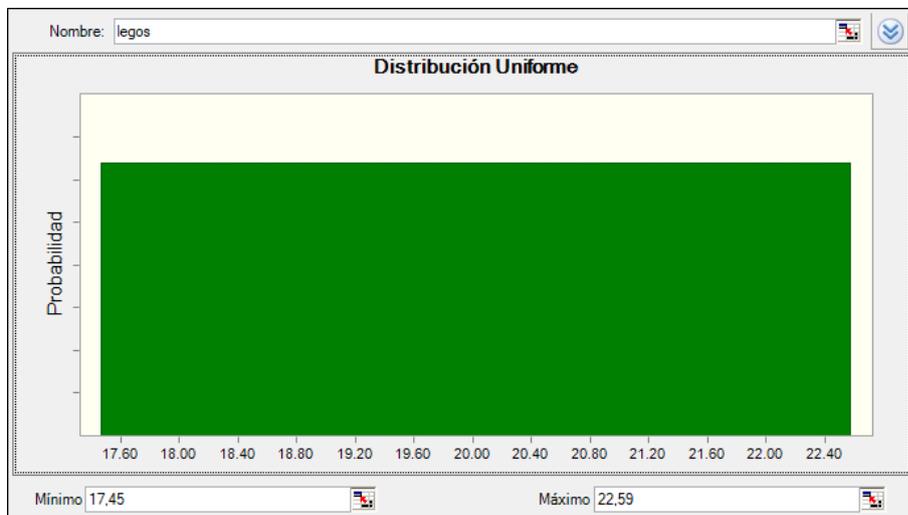
Existe una reducción del 37% en el lead time promedio de todos los modelos .

**3.1.7 Análisis Económico**

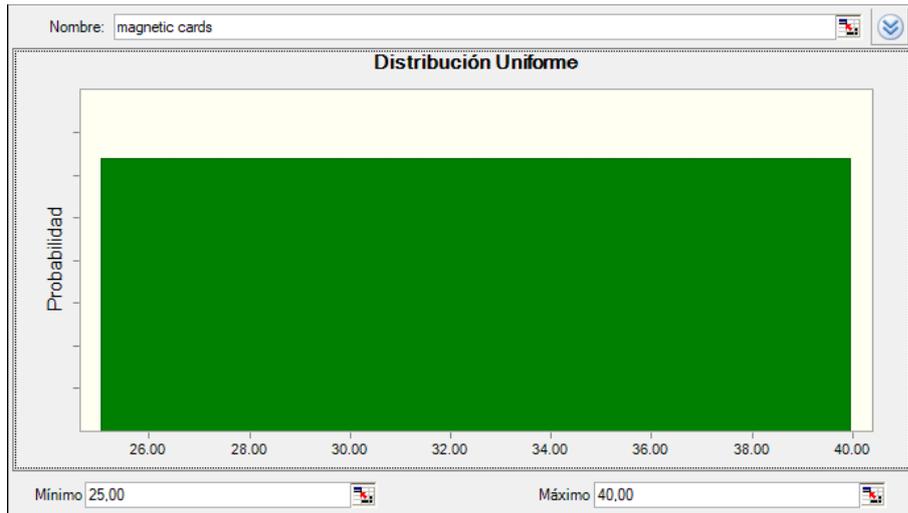
El proyecto propuesto tiene un costo de implementación y se analizará la sensibilidad económica del proyecto. Se asignó una distribución a cada costo, considerando las posibles variantes como se muestra en la Figuras 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18.



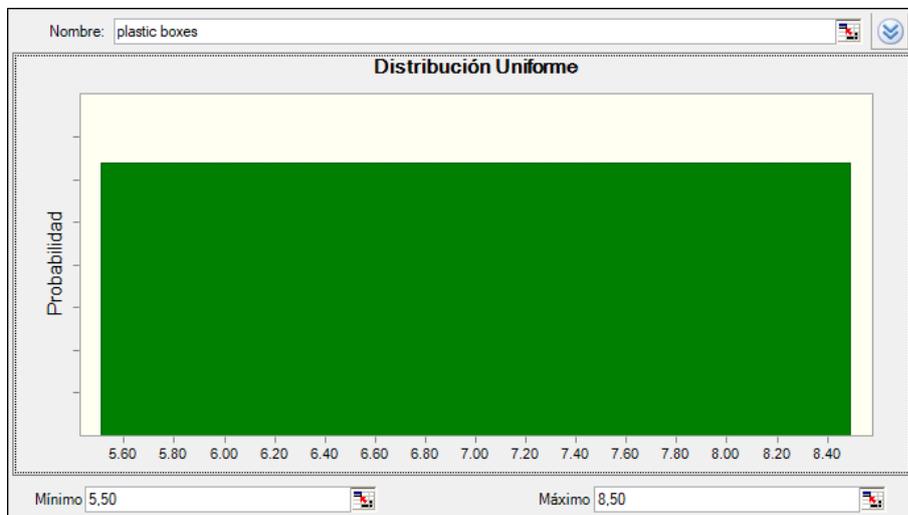
**Figura 3.14 Distribución presupuesto**  
(Elaboración conjunta)



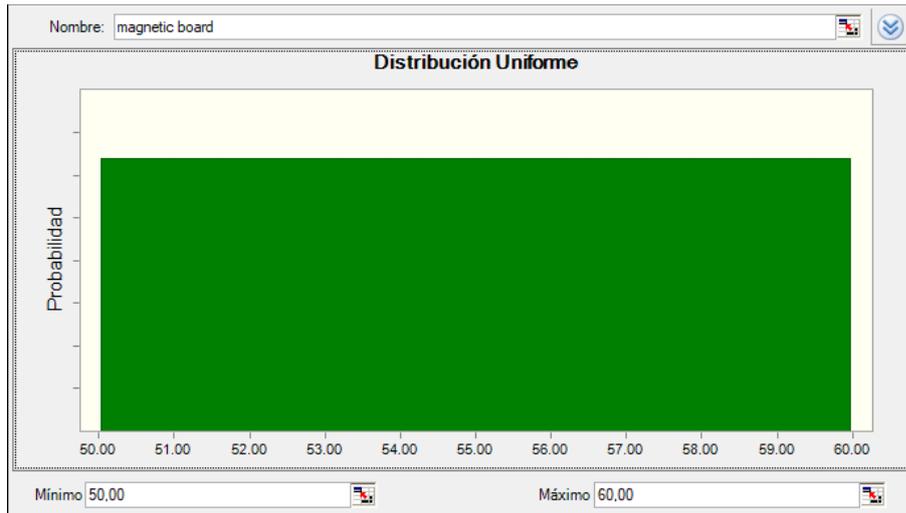
**Figura 3.15 Distribución de costo de Legos**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.16 Distribución de costos de tarjetas magnéticas**  
(Elaboración conjunta)



**Figura 3.17 Distribución de costos cajas de plástico**  
(Elaboración conjunta)



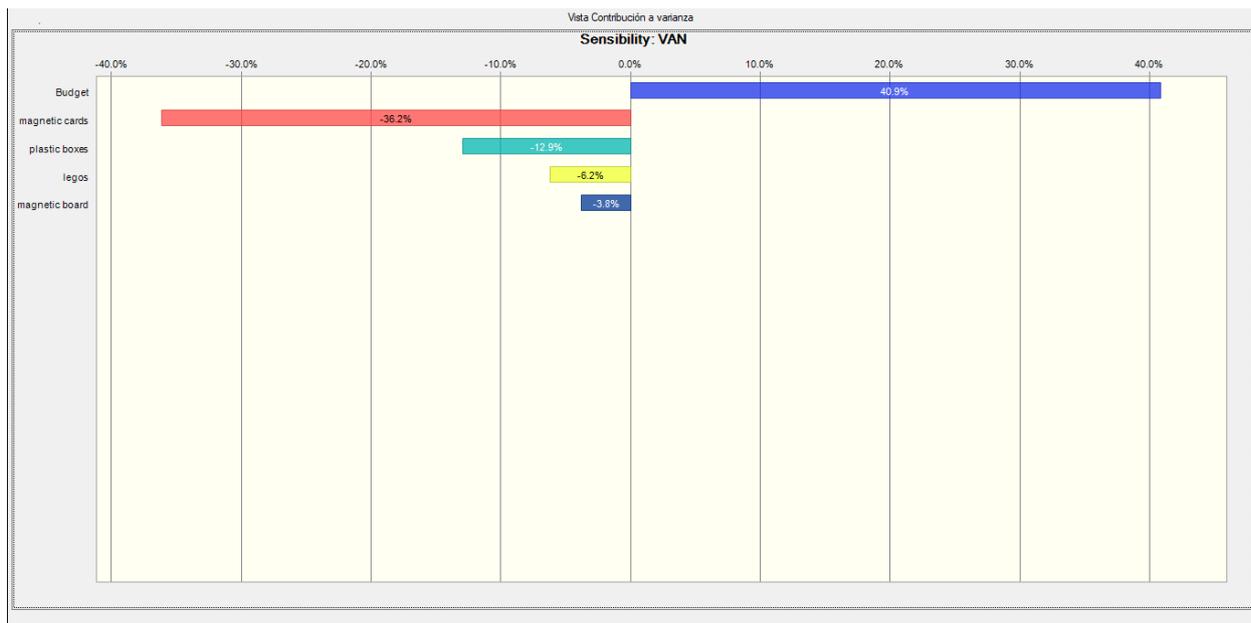
**Figura 3.18 Distribución de costos de Pizarra magnética**  
(Elaboración conjunta)

Se asignó una distribución uniforme considerando las posibles variaciones de los costos de cada elemento a través del tiempo. Se procede a calcular el Valor actual Neto del proyecto como se muestra en la Figura 3.19.

|                    | <b>Units</b> | <b>Value per Unit</b> | <b>Total Value</b> |
|--------------------|--------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Incomes</b>     |              |                       |                    |
| Assigned Budget    | 1            | 300                   | 300                |
| <b>Outcomes</b>    |              |                       |                    |
| Legos 1000 pcs     | 3            | 20                    | 60                 |
| Magnetic Cards x25 | 2            | 27                    | 54                 |
| Magnetic Board     | 1            | 60                    | 60                 |
| Organizing Boxes   | 6            | 7                     | 42                 |
| <b>VAN</b>         |              |                       | <b>84</b>          |

**Figura 3.19 Valor Actual Neto**  
(Elaboración conjunta)

Con el Valor Actual Neto se procedió a realizar un Análisis de Sensibilidad como se muestra en la Figura 3.20.



**Figura 3.20 Análisis de sensibilidad**  
(Elaboración conjunta)

El Valor Actual Neto no tendrá un impacto negativo con las posibles variaciones de los precios, por lo que es un proyecto estable y rentable.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El sistema híbrido de control de la producción implementado reduce significativamente la variabilidad en el tiempo transcurrido desde la aceptación de la orden hasta la finalización de la misma.
- Dicho sistema de control permite una mayor eficacia en la asignación de fechas límite de entrega aumentando así el nivel del servicio del cliente.
- Los estudiantes son capaces de entender las ventajas existentes en una distribución tipo célula manufactura controlada por COBACABANA.
- Existe una reducción del 30% de atrasos.
- Existe una reducción del 37% de Lead Times.

### 4.2 Recomendaciones

- Para la asignación de los puestos de trabajo se debería de hacer de acuerdo a las habilidades de los estudiantes.
- Existe un tiempo de finalización de la práctica en la que se deberían de finalizar todas los órdenes, de no ser así se recomienda extenderlo el tiempo que sea necesario.
- Se deben seguir las guías de operación al 100%.

# BIBLIOGRAFÍA

- Deshpande, S. (2016). *Introducing design for six sigma's DMADV methodology*. Rochester Institute of Technology.
- Harrington, H. (2007). *Resource management excellence*. Paton Press.
- Voehl, F. (2014). *The lean six sigma black belt handbook*. CRC Press.
- Johnson, D.W., Johnson, R.T., & Smith, K.A. (1998). *Active Learning: Cooperation in the college classroom, 2<sup>nd</sup> edition*, Interaction Book Co.
- Freeman, S. (2005, June), *Industrial Engineering Live! Classroom Lab Activities Used In An Introductory le Course And In Recruiting Freshmen* Paper presented at 2005 Annual Conference, Portland, Oregon.
- García, M. G., Sisamón, C. C., Prada, J. G., Carbone, G., & Ceccarelli, M. *Sistemas de captura de movimiento para el caminar humano. Análisis y comparativa humano. Análisis y comparativa*.
- Contreras Bravo, L.; Tristancho Ortiz, J; González Guerrero, K. (2015). "Diseño de guías de laboratorio para desarrollar habilidades profesionales en la asignatura Automatización del programa de ingeniería industrial ". *Revista Academia y Virtualidad*, 8, (2), 112-122
- Mattias Thurer, Mark Stevenson & Charles W. Protzman (2016). *Card based production control: a review of control mechanisms underpinning Kanban, ConWIP, POLCA and Cobacabana systems* *Production Planning & Control*, 27:14, 1143-1157.
- Matthias Thüerer, Martin J. Land, Mark Stevenson & Lawrence D. Fredendall (2017): *On the integration of due date setting and order release control*, *Production Planning & Control*, DOI: 10.1080/09537287.2017.1302102.
- Benjamin Dehe & David Bamford (2017) *Quality Function Deployment and operational design decisions – a healthcare infrastructure development case study*, *Production Planning & Control*, 28:14, 1177-1192, DOI: 10.1080/09537287.2017.1350767.
- Thurer, M. Stevenson, M. Protzman, C. (2016). *Card Based Control Systems for a Lean Work Design: The Fundamentals of Kanabn, ConWIP, POLCA and Cobacabana*. Boca Ratón, Fl, US.
- Niebel, B. Freivalds, B. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y Diseño del trabajo*.

J.A. Johnson, H. Gitlow, S. Widener & E. Popovich (2006) *Designing New Housing at the University of Miami: A "Six Sigma" DMADV/DFSS Case Study*, *Quality Engineering*, 18:3, 299-323, DOI: [10.1080/08982110600719399](https://doi.org/10.1080/08982110600719399)

Fernandes, M., Rosati, A., Neto, D., Goto, F. et al., "Quality Function Deployment (QFD) and Pugh Matrix on Innovative Concept Selection: an Application in Automotive Sector," *SAE Technical Paper 2008-36-0017*, 2008, <https://doi.org/10.4271/2008-36-0017>.

Rother, M. Shook, J. (1999). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*.

T. L. Smunt, "Rough cut capacity planning in a learning environment," in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 43, no. 3, pp. 334-341, Aug. 1996, doi: 10.1109/17.511843.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A: Evidencia de VOC

| ENCUESTA<br>PARA RECOLECTAR REQUERIMIENTOS CRÍTICOS DEL CLIENTE  |  |
|--|--|
| <p><b>Tema:</b> Diseño de prototipo de célula de manufactura basada en sistemas de producción híbridos (Push/Pull).</p> <p>1. ¿Qué habilidades deberían de adquirir los estudiantes tras el desarrollo de la práctica y como el profesor debería de medir dicho aprendizaje?<br/>Los estudiantes deberían fortalecer los conocimientos adquiridos teóricamente sobre los sistemas de control de producción híbridos y experimentar en un ambiente controlado. La medición se podría realizar a través del análisis de resultados en un reporte. Se podría construir un <b>reporte</b> para este reporte con los <b>datos</b> más relevantes.</p> <p>2. ¿Qué inconvenientes podrían surgir de parte de los estudiantes al momento de realizar la práctica y cómo cree que podrían mitigarse?<br/>Número de estudiantes insuficiente para la división en grupos, por lo tanto, debe darse flexibilidad para realizar la práctica con un número variable de estudiantes. Las actividades que se símlten no deben requerir habilidades especiales.</p> <p>3. ¿Qué cualidades respecto a los materiales a utilizar se prefieren para el desarrollo de la práctica?<br/>Materiales que se puedan reutilizar, con costo económico y que no requieran entrenamiento adicional para su uso. Si se compran estos materiales (ej. legos), se debe indicar donde se los almacenaría y las condiciones necesarias para su almacenaje. Si los materiales no se pueden reutilizar, que sean económicos y que se los encuentre fácilmente.</p> <p>4. ¿Cómo considera que deberían distribuirse los estudiantes entre observación y realización de la práctica de laboratorio? (Todos los estudiantes trabajan al mismo tiempo, o cuantos observan y cuantos trabajan)<br/>Si se trabajan en grupos de 10 estudiantes, 1-2 podrían desarrollar tareas de observación.</p> <p>5. ¿Cuántos escenarios cree conveniente para el desarrollo de la práctica?</p> | <p>Se podrían realizar al menos 3 escenarios.</p> <p>6. ¿Cuántas corridas considera necesarias para cada escenario?<br/>Para cada escenario podrían realizar al menos 3 corridas.</p> <p>7. ¿Qué entregables se requieren?<br/>Manuales, guías por cada operación y de ensamble, formatos a ser llenados, fórmulas a emplear, información de la demanda, hojas de ruta. Además, la simulación de todos los escenarios empleando los sistemas de producción híbridos.</p> <p>8. ¿Qué innovaciones podríamos aplicar para el desarrollo de la práctica con respecto a las actuales?<br/>Actualmente no existen prácticas de laboratorio en estos temas, así que las prácticas en sí son una innovación. Considerando que estas prácticas se realizarían en Sistemas de control de producción, se podría combinar con herramientas o software aprendidos en cursos anteriores.</p> <p>9. ¿Qué restricciones se deberían considerar al momento del desarrollo de la práctica?<br/>Número de estudiantes, <b>logos</b> del laboratorio, costo de materiales e insumos, tiempo promedio de una sesión de clases.</p> <p>10. ¿Cuál es el presupuesto a considerar para la implementación de la práctica en el laboratorio?<br/>Máximo \$300.</p> <p>11. ¿Cuánto tiempo considera que debería durar una práctica de laboratorio?<br/>Corridas de máximo 15 minutos.</p> <p>Encuestada: M<sup>a</sup>. Fernanda López</p> |

Consulta de encuesta para Mat Integradora

Ingeniera buenas tardes, espero que ud y toda su familia estén bien. Le quería hacer una consulta. Este semestre estoy cursando la materia integradora, y el proyecto que estoy desarrollando busca la creación de una práctica de laboratorio donde se pueda aprender sobre sistemas híbridos de producción. Mi consulta es sobre si podría hacerle unas preguntas sobre prácticas de laboratorio relacionadas a Ing Industrial, ya que nos refirieron a Ud como una persona con experiencia en este campo. En caso de acceder a realizar la encuesta, mi compañero y yo le quedaríamos muy agradecidos y le adjunto las preguntas de la encuesta, esperando pueda responderlas oportunamente. Muchas gracias por su atención. Saludos Cordiales.

| ENCUESTA<br>PARA RECOLECTAR REQUERIMIENTOS CRÍTICOS DEL CLIENTE  |   |
|--|---|
| <p><b>Tema:</b> Diseño de prototipo de célula de manufactura basada en sistemas de producción híbridos (Push/Pull).</p> <p>1. ¿Qué habilidades deberían de adquirir los estudiantes tras el desarrollo de la práctica y como el profesor debería de medir dicho aprendizaje?<br/><b>Identificación de restricciones, diseño del sistema, cálculo de capacidades, balanceo de líneas</b><br/><b>el profesor debería medir con una rúbrica</b></p> <p>2. ¿Qué inconvenientes podrían surgir de parte de los estudiantes al momento de realizar la práctica y cómo cree que podrían mitigarse?<br/><b>Quizás distracciones por parte de los estudiantes, se podría reducir asignando roles a cada estudiante y trabajando con un número reducido de estudiantes</b></p> <p>3. ¿Qué cualidades respecto a los materiales a utilizar se prefieren para el desarrollo de la práctica?<br/><b>De fácil manipulación, duraderos</b></p> <p>4. ¿Cómo considera que deberían distribuirse los estudiantes entre observación y realización de la práctica de laboratorio? (Todos los estudiantes trabajan al mismo tiempo, o cuantos observan y cuantos trabajan)<br/><b>Todos los estudiantes trabajan al mismo tiempo</b></p> <p>5. ¿Cuántos escenarios cree conveniente para el desarrollo de la práctica?<br/><b>2 o 3</b></p> <p>6. ¿Cuántas corridas considera necesarias para cada escenario?<br/><b>3 o 4</b></p> <p>7. ¿Qué entregables se requieren?<br/><b>productos elaborados</b><br/><b>cálculos finalizados</b></p> <p>8. ¿Qué innovaciones podríamos aplicar para el desarrollo de la práctica con respecto a las actuales?<br/><b>automatizar procesos, desarrollar una app para control de indicadores</b></p> <p>9. ¿Qué restricciones se deberían considerar al momento del desarrollo de la práctica?<br/><b>tiempo disponible, costos</b></p> <p>10. ¿Cuál es el presupuesto a considerar para la implementación de la práctica en el laboratorio?<br/><b>esto desconozco</b></p> | <p>Activar Windows<br/>Ve a Configuración para activar Windows.</p> |

Jorge Ibanez

Miguel Barrant

Carlos Suárez

## Establecimiento de arribos

| Producto             | A      | B      | A      | C      | B      | D      | C      | A      | B      | Tiempo  |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| M1                   | X      | X      | X      |        | X      |        |        | X      | X      |         |
| Tiempo<br>produccion | 7 min  | 10 min | 7 min  |        | 10 min |        |        | 7 min  | 10 min | 51 min. |
| Temp arribo          | 10 min | 90 min  |

Utilización =  $51 \text{ min.} / 90 \text{ min.} = 57\%$

# APÉNDICE B: Diagrama de afinidad

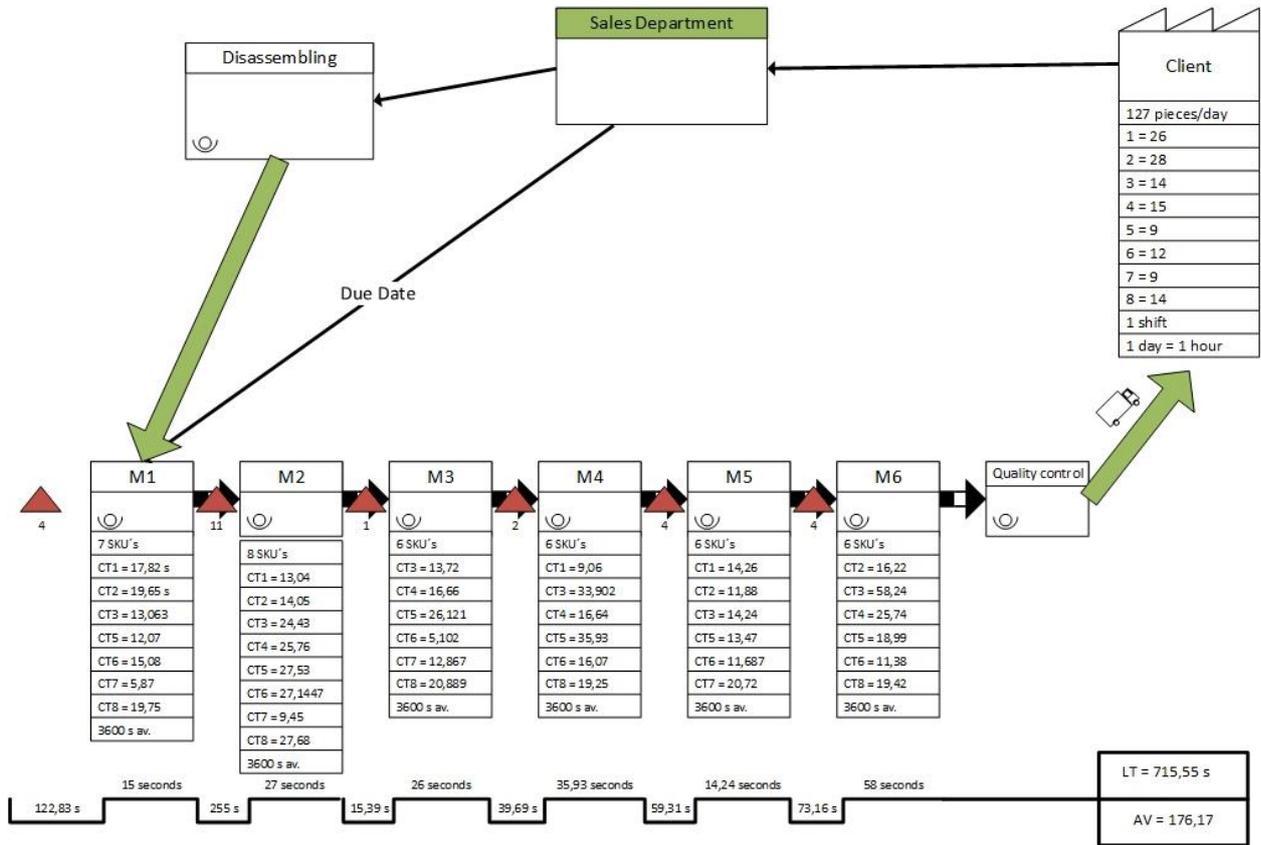
| A   | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <b>Estudiantes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Como realmente se maneja en la industria</li> <li>• Caso real donde aplicar células de manufactura</li> <li>• Diferencia entre sistema pull y push</li> <li>• Un caso real sin tener que ir a planta</li> <li>• Poder aterrizar lo teórico a la práctica y poder estar preparados para el mundo laboral.</li> <li>• Saber responder mejor y más rápido ante una situación real en el ámbito laboral.</li> <li>• aprender mas de las mismas practicamente</li> <li>• Restricciones reales, casi que simulen la realidad de las industrias, incluso añadir temas como que un operario tuvo un accidente (incluir temas de seguridad).</li> <li>• Las ventajas de los diferentes tipos de sistemas: Push o pull, verlos en acción</li> <li>• Aprender cómo diseñar los layouts de procesos de manufactura reales, no solo con números sino implementando estrategias aprendidas en otros cursos, para así tener una visión más amplia de lo aprendido</li> <li>• Como se aplican los conocimientos teóricos en un entorno real.</li> <li>• Ver el funcionamiento de Kanban triangular</li> <li>• Esperaría aprender cómo los conceptos aprendidos se manifiestan en la práctica y de manera analítica poder saber cómo tomar las mejores decisiones con el objetivo de mejorar procesos.</li> <li>• Poder relacionar la teoría con la realidad en un espacio que simule la realidad de una empresa.</li> <li>• Aprender cómo actuar ante situaciones que simulen la realidad</li> <li>• El entorno en un ambiente real con la presión que esto involucre.</li> <li>• Aprender</li> <li>• Aplicaciones a casos en servicios</li> <li>• Que sean muy aplicativas en nuestro campo en una industria ya sea de manufactura o de servicios</li> <li>• Técnicas</li> <li>• Como idear una solución creativo para un problema de producción</li> <li>• Aplicar las metodologías que nos enseñan en clases obviamente con aplicación real de industrias</li> <li>• Obtener mayor visión para que cuando me encuentre frente a una situación real pueda tener</li> <li>• Como aplicar las herramientas lean.</li> <li>• Enfrentarme a problemas reales en menor escala que representen el desafío de desempeñarme en una planta como analista o responsable de un proceso</li> <li>• Crear células de manufactura y diseñar sistemas pull con tarjetas kanban</li> <li>• Como aplicar la teoría en el ejercicio profesional</li> <li>• Los diferentes procesos osea los más comunes en manufactura</li> <li>• Las técnicas de producción que se realicen y que el por eso sea similar a casos reales</li> <li>• Todas las metodologías estudiadas simulando un ambiente laboral/manufacturero</li> <li>• Como funciona en la vida real los sistemas de producción.</li> <li>• reforzar conocimientos</li> <li>• Casos reales. Quiero saber como es la industria ecuatoriana para estar preparada para salir al mercado laboral.</li> <li>• como hacer uso de balanceo de trabajo, temas que enseñen en la materia, importancia de lo que aplicamos</li> <li>• Vida real de trabajo</li> <li>• Aplicaciones de la producción esbelta en las fabricas</li> <li>• Conocer cuando se aplican y no los diferentes conceptos teóricos.</li> <li>• Algo útil</li> <li>• Entender la lógica de la teoría</li> <li>• Funcionamiento de células de manufactura y de líneas de producción</li> <li>• La funcionalidad de las cosas</li> <li>• Afianzar conocimientos teóricos y observar cómo afectan los conceptos aprendidos en la práctica</li> </ul> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

|   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <b>María Denisse Rodríguez</b>  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Los estudiantes deberían aprender a identificar restricciones.                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Los estudiantes deberían aprender a diseñar a calcular capacidades de los sistemas. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Los estudiantes deberían aprender a balancear líneas.                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • El material a utilizar debe ser de fácil manipulación.                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • El material debe ser duradero.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Los estudiantes deben trabajar al mismo tiempo.                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • La práctica debe tener de 2 a 3 escenarios.   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Cada escenario debe ser corrido 3 o 4 veces.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Los entregables deben ser productos elaborados.                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben tomar innovaciones como automatización de procesos.                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se debe innovar realizando control de indicadores en una app.                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>María Fernanda López</b>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Las actividades a realizar no deben requerir habilidades especiales,                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • La práctica debe dar la facilidad de flexibilizar el # de estudiantes por grupo.    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • El material debe ser reutilizable.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • El material a utilizar en la práctica debe ser económico.                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se debe indicar lugar donde se debe almacenar los materiales.                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se debe indicar las condiciones donde se almacenen los materiales.                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben dividir en grupos de 10 hasta 12 estudiantes.                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben realizar al menos 3 escenarios.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben realizar por escenario al menos 3 corridas.                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben entregar manuales de operación.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben entregar guías de ensamble.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben entregar formatos a ser llenados.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se deben entregar las fórmulas que se están empleando con los resultados.           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se debe innovar utilizando software aprendido en cursos anteriores.                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| • Se debe gastar máximo \$300 en la implementación.                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| Dr Marcos Buestán   |  |  |
|---|--|--|
| Se requiere un material sencillo de utilizar                      |  |  |
| Se requiere un material duradero                                  |  |  |
| Se requiere material reutilizable y economico                     |  |  |
| Que haya variedad de productos                                    |  |  |
| Que haya variedad de máquinas                                     |  |  |
| Que simule un general flowshop                                    |  |  |
| Que se pueden medir indicadores                                   |  |  |
| Que existan instructivos de procesos                              |  |  |
| Que existan reportes de resultados                                |  |  |
| Que se midan indicadores  |  |  |
| Que exista un cuello de botella dentro de una línea desbalanceada |  |  |
| Que no exista un Gateway Station                                  |  |  |
| Que se pueda implementar un Work Load control                     |  |  |
| Que exista generador de due dates                                 |  |  |
| Equal arrival times with different batch size                     |  |  |
| Que se simule floor shop en flexsim                               |  |  |
| Que se elabore manualmente tablero CABA                           |  |  |
| Tiempos de producción por estación cortos                         |  |  |
| Que demanda este establecida                                      |  |  |
| Que exista contraste aplicando mejoras                            |  |  |
| Que hayan mínimo 3 escenarios                                     |  |  |
| Que se puedan dividir en mínimo dos grupos de trabajo             |  |  |
| Que todos los estudiantes trabajen                                |  |  |
| Que existan paros no programados                                  |  |  |

|  | Hallazgos                                      |
|--|--|
|  | Línea desbalanceada                            |
|  | Indicadores de desempeño cuantificables        |
|  | Aplicación de Lean Manufacturing               |
|  | Instructivos de desarrollo claros              |
|  | Integración total de estudiantes en el trabajo |
|  | Representación virtual                         |
|  | Características de General Flow Shop           |
|  | Materiales adecuados                           |
|  | Procesos sencillos                             |
|  | Uso adecuado del espacio                       |
|  | Evidencias de realización de práctica          |

# APÉNDICE C: VSM



# APÉNDICE D: Data Collection Plan

| Significado Operacional                                | Unidad   | Tipo de Datos |          | Tamaño de muestra                 |                                  | ¿Dónde se colecta?  | ¿Cuándo se colecta?                    | Método de recolección                 | ¿Por qué?  | Persona a cargo              |
|--|----------|---------------|----------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|--|---------------------------------------|--|------------------------------|
| Tiempos entre arribos                                  | Segundos | Cuantitativo  | Continuo | Una hora de trabajo               |                                  | RCCP                | Antes de las corridas de simulación    | Herramienta de Microsoft Office Excel | Permite completar el diseño del proceso y buscar aprovechar la mayor capacidad de las máquinas | Carlos Suárez                |
| Utilización de las máquinas                            | %        | Cuantitativo  | Continuo | n1=1<br>n3=4<br>n5=3              | n2=0<br>n4=4<br>n6=2             | Simulación          | Después de una corrida de simulación   | Simulation Dashboard                  | Identificar cuello de botella  | Carlos Suárez                |
| Máximo tamaño de cola                                  | Numérico | Cuantitativo  | Discreto | 0                                 |                                  | Simulación          | Después de una corrida de simulación   | Simulation Dashboard                  | Ayudar a determinar el límite de cola  | Carlos Suárez                |
| Tiempo promedio de estancia en cola                    | Segundos | Cuantitativo  | Continuo | n1=36<br>n3=128<br>n5=34          | n2=86<br>n4=16<br>n6=9           | Simulación          | Después de una corrida de simulación   | Simulation Dashboard                  | Ayudar a determinar el límite de cola  | Carlos Suárez                |
| Tiempo promedio de estancia en línea de producción     | Segundos | Cuantitativo  | Continuo | n1=9<br>n3=128<br>n5=343<br>n5=44 | n2=10<br>n4=47<br>n6=25<br>n8=23 | Simulación          | Después de una corrida de simulación   | Simulation Dashboard                  | Ayudar a determinar el límite de cola  | Carlos Suárez                |
| Tiempo de proceso por estación de trabajo por producto | Segundos | Cuantitativo  | Continuo | 30                                |                                  | Gemba               | Antes del prototipo de proceso         | Cronometrado                          | Ayuda a determinar la distribución de tiempo de cada proceso                                   | Carlos Suárez y Jorge Ibáñez |
| Dimensiones del laboratorio de Ingeniería Industrial   | Metros   | Cuantitativo  | Continuo | -                                 |                                  | CAD Lab Layout      | Antes del prototipo final de la célula | Herramienta de medición de Autocad    | Permite distribuir las estaciones de trabajo en el piso de trabajo                             | Carlos Suárez y Jorge Ibáñez |
| Costo del material                                     | \$       | Cuantitativo  | Continuo | -                                 |                                  | Consultas a tiendas | Antes del primer prototipo del proceso | Proforma                              | Permite ajustarse al presupuesto   | Jorge Ibáñez                 |
| Velocidad de una persona al caminar                    | Numérico | Cuantitativo  | Discreto | -                                 |                                  | Internet            | Antes del prototipo final de la célula | Revisión de Literatura o Papers       | Permite determinar el tiempo de traslado en el piso de trabajo                                 | Jorge Ibáñez                 |

# **APÉNDICE E: TIEMPOS DE PRODUCCIÓN**

| F1     |       |        |        | Automóvil |       |       |       | Tren  |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|--------|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M1     | M2    | M5     | M6     | M1        | M2    | M4    | M5    | M2    | M6    | M3    | M4    |       |       |       |
| 22,905 | 16,2  | 17,328 | 18,961 | 17,2      | 13,4  | 11,6  | 19    | 29,5  | 31,1  | 13,6  | 17,3  |       |       |       |
| 22,5   | 11,27 | 15,912 | 18,503 | 26,4      | 13,6  | 12,8  | 17,6  | 32,9  | 30,2  | 15,4  | 15,4  |       |       |       |
| 21,2   | 10,6  | 14,7   | 16,4   | 20,7      | 12,1  | 10,1  | 17,4  | 28,7  | 25,1  | 12,3  | 16,6  |       |       |       |
| 29,2   | 11,9  | 15,2   | 13,3   | 18,3      | 10,2  | 10,1  | 14,3  | 25,9  | 21,3  | 17,2  | 16,6  |       |       |       |
| 20,1   | 12,3  | 8,5    | 16     | 16,6      | 11,2  | 11,8  | 17,5  | 28,5  | 21,1  | 13,1  | 14,3  |       |       |       |
| 21,8   | 10,5  | 11,2   | 13,8   | 18,9      | 12,1  | 11,7  | 12,6  | 35,3  | 26,5  | 16,7  | 18,8  |       |       |       |
| 19,6   | 17,1  | 11,5   | 18     | 19,3      | 13,8  | 9,3   | 14,7  | 32,6  | 22,3  | 15,2  | 21    |       |       |       |
| 24,4   | 12,8  | 15,6   | 27,1   | 16,1      | 10,1  | 13,6  | 17,6  | 29,1  | 32,6  | 21,3  | 15,8  |       |       |       |
| 21,3   | 17,7  | 15,2   | 18,3   | 16,4      | 15,6  | 14,6  | 14,7  | 26,4  | 23,2  | 16,6  | 17,2  |       |       |       |
| 17,6   | 14,8  | 13     | 20,7   | 18,9      | 12,3  | 10,6  | 20,2  | 26,2  | 21,9  | 17,2  | 19,6  |       |       |       |
| 18,48  | 16,97 | 11,56  | 16,86  | 14,67     | 24,22 | 5,67  | 20,86 | 24,97 | 42,09 | 20,46 | 15,57 |       |       |       |
| 18,59  | 17,13 | 13,83  | 17,88  | 30,02     | 18,95 | 7,61  | 17,01 | 25,37 | 34,9  | 27,13 | 22,75 |       |       |       |
| 19     | 10,61 | 14,21  | 16,76  | 17,92     | 14,59 | 7,84  | 12,25 | 23,78 | 29,7  | 26,19 | 13,65 |       |       |       |
| 22,44  | 20,95 | 13,3   | 14,54  | 18,63     | 11,16 | 7,95  | 17,44 | 30,5  | 29,02 | 20,73 | 17,44 |       |       |       |
| 17,23  | 14,25 | 11,34  | 16,85  | 17,82     | 12,37 | 6,22  | 12,39 | 24,45 | 28,29 | 24,2  | 15,77 |       |       |       |
| 17,46  | 16,69 | 9,9    | 20,09  | 22,5      | 11,04 | 6,53  | 12,92 | 25,1  | 35,5  | 23,12 | 17,67 |       |       |       |
| 17,64  | 13,91 | 11,92  | 16,82  | 16,84     | 13,9  | 6,84  | 13,05 | 24,51 | 26,35 | 20,34 | 15,18 |       |       |       |
| 20,48  | 20,98 | 12,02  | 18,85  | 16,86     | 13,21 | 7,68  | 15,27 | 25,63 | 29,72 | 16,98 | 15,15 |       |       |       |
| 18,61  | 13,96 | 9,4    | 16,09  | 22,1      | 12,61 | 6,95  | 14,12 | 26,75 | 24,51 | 15,56 | 13,45 |       |       |       |
| 18,65  | 17,12 | 14,49  | 19,61  | 20,69     | 13,12 | 7,77  | 16,55 | 27,64 | 30,22 | 16,98 | 15,5  |       |       |       |
| 21,44  | 14,45 | 15,09  | 11,78  | 14,14     | 20,92 | 10,17 | 11,07 | 20,44 | 21,02 | 12,38 | 23,04 |       |       |       |
| 15,22  | 9,95  | 7,44   | 12,09  | 17,38     | 8,18  | 7,41  | 8,57  | 17,97 | 22,19 | 15,45 | 19,69 |       |       |       |
| 16,91  | 11,51 | 6,56   | 8,68   | 14,97     | 9,59  | 7,68  | 10,92 | 20,44 | 18,44 | 11,41 | 19,63 |       |       |       |
| 12,72  | 9,16  | 5,93   | 12,69  | 8,83      | 10,38 | 7,27  | 9,7   | 22,72 | 19,49 | 16,13 | 15,49 |       |       |       |
| 11,17  | 12,3  | 6,06   | 8,26   | 11,64     | 8,54  | 6,29  | 8,73  | 18,54 | 18,35 | 9,03  | 15,79 |       |       |       |
| 17,45  | 14,6  | 10,01  | 17,23  | 17,05     | 14,05 | 8,02  | 20,05 | 17,04 | 25,04 | 12,05 | 18,04 |       |       |       |
| 20,09  | 14,15 | 8,65   | 15,45  | 10,01     | 9,02  | 12,01 | 14,03 | 22,05 | 22    | 10,01 | 14,03 |       |       |       |
| 24,12  | 13,42 | 8,56   | 19,02  | 15,65     | 18,02 | 6,78  | 10,01 | 27,8  | 19,03 | 18,05 | 15,67 |       |       |       |
| 23,09  | 9,23  | 13,04  | 12,03  | 20,02     | 13,02 | 10,01 | 9,08  | 22,03 | 20,02 | 14,03 | 13,23 |       |       |       |
| 18,23  | 15,02 | 15,05  | 14,05  | 18,04     | 10,01 | 9,08  | 8,05  | 30    | 21,05 | 11,05 | 10,01 |       |       |       |
| Barco  |       |        |        | Camioneta |       |       |       |       | Moto  |       |       |       |       |       |
| M1     | M2    | M3     | M5     | M1        | M2    | M3    | M4    | M6    | M6    | M1    | M2    | M5    | M3    | M4    |
| 8,60   | 42,3  | 10,1   | 22,5   | 20,7      | 26,7  | 35,4  | 14,3  | 30,4  | 47,6  | 14,6  | 23,5  | 14,7  | 18,4  | 30,1  |
| 9,10   | 41,5  | 15,1   | 29,4   | 18,1      | 30    | 37,3  | 10,7  | 22,5  | 62,6  | 10,9  | 29,6  | 15,7  | 15,2  | 25,2  |
| 8,40   | 43,3  | 9      | 18,7   | 18,4      | 31,3  | 29,9  | 15,4  | 18,5  | 53,9  | 12,7  | 12,3  | 13,7  | 11,7  | 31,4  |
| 7,60   | 32,5  | 8,1    | 27,8   | 20,8      | 26,5  | 32,1  | 11,2  | 16    | 57,5  | 13,6  | 18,7  | 14,2  | 16,9  | 33,1  |
| 11,70  | 55,6  | 15,9   | 22,6   | 18,8      | 21,9  | 29    | 10,5  | 35,5  | 51,4  | 12,1  | 25,3  | 17,4  | 12,2  | 29    |
| 9,50   | 45,6  | 12,3   | 25,5   | 21,6      | 23,7  | 38,5  | 11,4  | 25,5  | 53,9  | 10,6  | 13,3  | 13,7  | 11,4  | 27,2  |
| 10,20  | 50,4  | 13,6   | 23,1   | 26,6      | 32,1  | 41,8  | 13,7  | 26,3  | 66,7  | 15,3  | 19,6  | 16,5  | 15,8  | 36,4  |
| 8,80   | 43,9  | 15,8   | 24,6   | 22,6      | 29,1  | 35,9  | 16,1  | 24,6  | 54,5  | 12,3  | 27,4  | 17,8  | 11,8  | 28,3  |
| 12,30  | 39,6  | 10,2   | 20,7   | 19,8      | 23,7  | 32,2  | 13,3  | 19,4  | 60,3  | 16,2  | 23,8  | 14,7  | 16,3  | 25,9  |
| 10,00  | 48,8  | 11,8   | 21,5   | 23,5      | 24,4  | 35,7  | 11,2  | 28,1  | 66,1  | 15,7  | 19,6  | 16,2  | 15,8  | 33,4  |
| 10,36  | 42,59 | 11,54  | 16,73  | 20,17     | 37,82 | 19    | 25,24 | 16,14 | 55,17 | 13,16 | 22    | 15,35 | 10,6  | 40,7  |
| 8,26   | 36,21 | 9,81   | 15     | 27,15     | 49,82 | 10,57 | 31,18 | 16,45 | 55,58 | 16,6  | 47,1  | 13,81 | 13,97 | 32,91 |
| 7,92   | 36,47 | 12,51  | 20,13  | 27,51     | 30,41 | 17,41 | 26,73 | 18,71 | 67    | 10,87 | 18,2  | 15,68 | 11,27 | 34,67 |
| 9,68   | 36,75 | 10,29  | 19,36  | 18,01     | 24,55 | 14,18 | 24,22 | 15,89 | 61    | 15,7  | 17,34 | 11,04 | 15,42 | 46,76 |
| 11,03  | 33,39 | 16,72  | 17,87  | 21,63     | 30,76 | 15,1  | 28,15 | 14,97 | 50,76 | 15,18 | 28,52 | 16,17 | 10,87 | 46,9  |
| 7,80   | 31,21 | 10,12  | 20,96  | 21,42     | 27,93 | 14,19 | 26,07 | 16,15 | 59,48 | 11,71 | 21,17 | 19,18 | 18,36 | 43,06 |
| 9,26   | 51,94 | 10,32  | 16,69  | 19,29     | 31,02 | 11,02 | 26,26 | 16,18 | 60,79 | 15,37 | 21,15 | 15,7  | 13,35 | 28,04 |
| 10,40  | 40,1  | 11     | 18     | 16,18     | 26,05 | 12,6  | 21,52 | 18    | 64    | 12,8  | 24,94 | 11,17 | 16,22 | 38,94 |
| 7,02   | 38,58 | 20,34  | 18,3   | 17,29     | 28,4  | 13,93 | 23,57 | 13,62 | 58,62 | 13,84 | 21,28 | 11,25 | 12,91 | 30,56 |
| 10,56  | 46,34 | 13,01  | 17,63  | 19,66     | 21,53 | 16,61 | 19    | 17    | 58,53 | 12,19 | 16,74 | 10,92 | 10,93 | 29,55 |
| 9,34   | 51,26 | 17,28  | 22,71  | 16,55     | 29,41 | 12,23 | 13,66 | 14,19 | 63,53 | 13,67 | 34,68 | 16,23 | 14,43 | 32,5  |
| 8,48   | 47,86 | 14,56  | 21,36  | 19,39     | 33,52 | 14,24 | 21,57 | 16,04 | 59,38 | 11,59 | 26,56 | 12,47 | 11,7  | 38,52 |
| 10,56  | 44,65 | 18,6   | 19,83  | 22,07     | 30,15 | 11,3  | 25,19 | 10,03 | 64,87 | 12,64 | 33,56 | 10,61 | 12,83 | 33,87 |
| 9,67   | 47,4  | 14,3   | 18,56  | 15,41     | 23,08 | 13,29 | 22,3  | 16,97 | 60,29 | 10,27 | 27,52 | 10,26 | 14,69 | 36,71 |
| 9,34   | 44,25 | 15,9   | 21,2   | 15,54     | 16,3  | 16,32 | 20,83 | 23,8  | 58,74 | 11,42 | 24,58 | 15,72 | 13,15 | 29,8  |
| 10,51  | 42,72 | 9,86   | 24,38  | 13,38     | 24,14 | 11,92 | 19,88 | 18,54 | 53,39 | 11,88 | 28,33 | 13,6  | 12,76 | 31,28 |
| 11,29  | 40,65 | 12,56  | 20,21  | 17,01     | 28,04 | 15,03 | 22,38 | 17,04 | 54,63 | 12,63 | 34,51 | 14,85 | 10,24 | 36,37 |
| 7,89   | 44,58 | 10,21  | 18,39  | 22,01     | 29,04 | 10,02 | 21,45 | 22,05 | 50,84 | 10,58 | 25,52 | 12,79 | 14,92 | 38,46 |
| 7,34   | 40,36 | 12,1   | 20,25  | 18,04     | 17,05 | 14,56 | 12,23 | 20,01 | 59,35 | 13,62 | 23,69 | 11,54 | 11,24 | 35,32 |
| 9,55   | 46,34 | 13,01  | 17,63  | 14,05     | 22,01 | 15,34 | 18,45 | 14,05 | 56,92 | 12,17 | 22,53 | 14,3  | 16,31 | 32,14 |

| Helicóptero |       |       |       |       |       | Avión |        |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| M1          | M2    | M3    | M4    | M5    | M6    | M1    | M2     | M3    | M4    | M5    | M6    |
| 14,1        | 34,6  | 4,5   | 24,8  | 13,7  | 16,8  | 11,4  | 142,7  | 18,6  | 46,6  | 9,6   | 23,9  |
| 12,8        | 39,3  | 6,2   | 21,1  | 13,6  | 18,3  | 10,2  | 124,3  | 21,1  | 39,8  | 10,6  | 18,7  |
| 18,1        | 35    | 3,9   | 15,7  | 11,7  | 7,2   | 13,6  | 135,2  | 22,3  | 51,2  | 8,9   | 26,7  |
| 16,6        | 41,3  | 4,8   | 19,6  | 18,1  | 11,3  | 9,3   | 118,1  | 19,5  | 43,8  | 12,7  | 15,4  |
| 13,7        | 33,5  | 5,1   | 25,3  | 14,6  | 18,1  | 11,8  | 130,5  | 21,6  | 48,3  | 11,2  | 22,4  |
| 11,4        | 43    | 5,4   | 17,7  | 12,1  | 13,2  | 12,5  | 137,1  | 24,5  | 51,2  | 10,3  | 25,6  |
| 14,5        | 23,4  | 3,8   | 16,4  | 9,8   | 9,5   | 13,3  | 114,9  | 20,1  | 47,6  | 12,1  | 19,8  |
| 16,9        | 25,5  | 4,3   | 19,6  | 12,8  | 10,7  | 15,7  | 135,2  | 25,3  | 62,6  | 9,8   | 22,6  |
| 15,4        | 36,8  | 4     | 22,6  | 11,5  | 10,3  | 8,7   | 113,4  | 17,3  | 50,1  | 10,6  | 14,3  |
| 16,6        | 31,2  | 4,8   | 20,3  | 13,7  | 15,4  | 12,9  | 133,6  | 21,4  | 44,3  | 11    | 18,5  |
| 17,37       | 30,03 | 9,43  | 20,31 | 17,96 | 15,18 | 9,49  | 58,92  | 19,61 | 19,16 | 14,69 | 15,71 |
| 18,54       | 25,44 | 7,01  | 16,56 | 8,99  | 13,14 | 12,19 | 61,85  | 19,91 | 22,23 | 16,09 | 15,71 |
| 13,35       | 23,09 | 6,54  | 12,91 | 7,94  | 12,52 | 10,33 | 67,94  | 40,63 | 22,77 | 21,97 | 16,64 |
| 14,67       | 27,87 | 4,79  | 12,43 | 12,53 | 13,82 | 11,75 | 69,55  | 26,68 | 22,75 | 16,2  | 19,37 |
| 15,24       | 32,15 | 4,89  | 11,82 | 8,78  | 9,86  | 13,98 | 62,06  | 31,18 | 27,72 | 12,78 | 18,06 |
| 18,65       | 22,66 | 4,92  | 16,31 | 11,25 | 9,78  | 12,73 | 57,51  | 24,43 | 24,81 | 12,03 | 17,59 |
| 18,59       | 21,96 | 6,33  | 13,26 | 11,4  | 14,51 | 10,44 | 67,8   | 26,49 | 28,84 | 14,76 | 12,25 |
| 13,89       | 23,58 | 4,07  | 12,85 | 10,47 | 12,3  | 10,79 | 70,85  | 32,87 | 19,23 | 12,82 | 14,63 |
| 17,02       | 24,15 | 5,944 | 13,79 | 13,35 | 10,48 | 11,86 | 74,92  | 28,4  | 33    | 11,07 | 14,29 |
| 17,54       | 28,49 | 5     | 11,99 | 11,54 | 10,39 | 10,44 | 70,85  | 26,49 | 19,23 | 12,03 | 17,59 |
| 8,96        | 17,79 | 2,08  | 7,45  | 10,98 | 4,34  | 15,26 | 117,56 | 32,56 | 42,56 | 19,64 | 21,56 |
| 12,08       | 11,9  | 2     | 7,9   | 5,75  | 8,46  | 11,84 | 102,7  | 26,61 | 36,8  | 17,3  | 18,45 |
| 13,77       | 13,86 | 4,79  | 7,03  | 10,35 | 8,02  | 13,69 | 98,64  | 24,45 | 29,53 | 14,4  | 19,6  |
| 16,24       | 19,27 | 6,3   | 8,63  | 9,78  | 5,48  | 11,7  | 125,82 | 28,71 | 42,36 | 12,67 | 20,34 |
| 16,07       | 18,28 | 6,02  | 21,69 | 26,85 | 9,41  | 14,35 | 96,51  | 32,6  | 28,87 | 17,88 | 17,64 |
| 14,55       | 47,85 | 5,24  | 20,27 | 7,72  | 8,35  | 13,28 | 113,62 | 30,51 | 36,49 | 11,6  | 16,87 |
| 13,13       | 24    | 8,07  | 14,74 | 6,48  | 12,19 | 10,93 | 97,51  | 26,4  | 27,35 | 15,64 | 18,21 |
| 13,64       | 17,28 | 2,82  | 15,93 | 7,72  | 11,28 | 11,29 | 104,31 | 29,67 | 38,4  | 16,9  | 22,63 |
| 17,04       | 19,04 | 7,01  | 14,05 | 9,18  | 10,01 | 13,56 | 100,85 | 30,21 | 30,25 | 12,64 | 23,51 |
| 12          | 22,05 | 3,02  | 19,08 | 10    | 11,25 | 12,84 | 95,64  | 33,52 | 40,12 | 14,35 | 21,37 |

# APÉNDICE F: TABLA DE ARRIBOS

| Arrival Time | Model | Quantity | M1      | M2      | M3      | M4      | M5      | M6      |
|--------------|-------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0:00:40      | 1     | 1        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:01:20      | 4     | 2        | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:02:00      | 5     | 1        | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:02:40      | 2     | 2        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:03:20      | 3     | 1        | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:04:00      | 8     | 1        | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:04:40      | 7     | 1        | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:05:20      | 1     | 3        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:06:00      | 6     | 1        | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:06:40      | 2     | 2        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:07:20      | 3     | 1        | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:08:00      | 1     | 2        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:08:40      | 2     | 1        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:09:20      | 5     | 1        | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:10:00      | 7     | 1        | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:10:40      | 2     | 1        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:11:20      | 6     | 1        | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:12:00      | 4     | 2        | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:12:40      | 3     | 1        | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:13:20      | 8     | 2        | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:14:00      | 2     | 2        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:14:40      | 8     | 1        | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:15:20      | 3     | 1        | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:16:00      | 1     | 2        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:16:40      | 5     | 1        | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:17:20      | 3     | 1        | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:18:00      | 7     | 1        | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:18:40      | 4     | 1        | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:19:20      | 1     | 3        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:20:00      | 5     | 1        | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:20:40      | 8     | 1        | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:21:20      | 2     | 2        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:22:00      | 1     | 2        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:22:40      | 7     | 1        | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:23:20      | 5     | 1        | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:24:00      | 4     | 2        | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:24:40      | 3     | 1        | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:25:20      | 2     | 1        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:26:00      | 6     | 2        | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:26:40      | 8     | 1        | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:27:20      | 3     | 1        | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:28:00      | 1     | 2        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:28:40      | 4     | 1        | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:29:20      | 2     | 2        | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:30:00      | 6     | 1        | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:30:40      | 1     | 2        | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:31:20      | 8     | 1        | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |

|         |   |   |         |         |         |         |         |         |
|---------|---|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0:32:00 | 5 | 1 | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:32:40 | 7 | 1 | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:33:20 | 3 | 1 | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:34:00 | 1 | 2 | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:34:40 | 7 | 1 | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:35:20 | 4 | 1 | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:36:00 | 6 | 1 | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:36:40 | 2 | 2 | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:37:20 | 3 | 1 | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:38:00 | 1 | 1 | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:38:40 | 2 | 3 | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:39:20 | 5 | 1 | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:40:00 | 7 | 1 | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:40:40 | 2 | 2 | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:41:20 | 6 | 2 | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:42:00 | 4 | 2 | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:42:40 | 3 | 1 | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:43:20 | 8 | 3 | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:44:00 | 2 | 2 | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:44:40 | 8 | 1 | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:45:20 | 3 | 1 | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:46:00 | 1 | 2 | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:46:40 | 5 | 1 | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:47:20 | 3 | 1 | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:48:00 | 7 | 1 | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:48:40 | 4 | 1 | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:49:20 | 8 | 2 | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:50:00 | 5 | 1 | 0:00:12 | 0:01:23 | 0:00:24 | 0:00:36 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:50:40 | 4 | 1 | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:51:20 | 1 | 3 | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |
| 0:52:00 | 2 | 2 | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:52:40 | 7 | 1 | 0:00:09 | 0:00:42 | 0:00:12 | 0:01:05 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 0:53:20 | 6 | 1 | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:54:00 | 4 | 1 | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:54:40 | 3 | 1 | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:55:20 | 2 | 2 | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:56:00 | 6 | 1 | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 0:56:40 | 8 | 1 | 0:00:21 | 0:00:29 | 0:00:25 | 0:00:19 | 0:00:00 | 0:00:20 |
| 0:57:20 | 2 | 2 | 0:00:20 | 0:00:15 | 0:00:00 | 0:00:00 | 0:00:13 | 0:00:18 |
| 0:58:00 | 3 | 1 | 0:00:14 | 0:00:23 | 0:00:19 | 0:00:14 | 0:00:34 | 0:00:58 |
| 0:58:40 | 4 | 1 | 0:00:00 | 0:00:28 | 0:00:19 | 0:00:17 | 0:00:00 | 0:00:28 |
| 0:59:20 | 6 | 2 | 0:00:16 | 0:00:30 | 0:00:05 | 0:00:17 | 0:00:12 | 0:00:13 |
| 1:00:00 | 1 | 1 | 0:00:19 | 0:00:13 | 0:00:00 | 0:00:09 | 0:00:00 | 0:00:16 |

# **APÉNDICE G: RCCP**





# **APÉNDICE I: Plan de Implementación**

| Qué                                   | Cómo   | Dónde             | Quién                         | Cuándo                  | Estado   |
|---------------------------------------|--|-------------------|-------------------------------|-------------------------|----------|
| Definir modelos                       | Experimentación según requerimientos del cliente   | Sesión de Zoom    | Cliente y Líderes de proyecto | 01/06/2020 - 05/06/2020 | Validado |
| Definir estaciones de trabajo         | Experimentación según requerimientos del cliente   | Sesión de Zoom    | Cliente y Líderes de proyecto | 08/06/2020 - 10/06/2020 | Validado |
| Definir grupos de trabajo             | Determinando actividades dentro de la práctica     | Visio             | Líderes de proyecto           | 08/06/2020 - 10/06/2020 | Validado |
| Establecer tiempos de ciclo           | Usando estudio de tiempos                          | Sesión de Zoom    | Líderes de proyecto           | 11/06/2020 - 20/06/2020 | Validado |
| Verificar tiempos de ciclo            | Mediante terceros                                  | Sesión de Zoom    | Líderes de proyecto           | 23/06/2020 - 26/06/2020 | Validado |
| RCCP                                  | Usando la metodología RCCP                         | Excel             | Líderes de proyecto           | 26/06/2020 - 03/07/2020 | Validado |
| Lay Out                               | Experimentando rutas de productos                  | Autocad and Visio | Líderes de proyecto           | 06/07/2020 - 10/07/2020 | Validado |
| Simular primer escenario              | Experimentación según requerimientos del cliente   | FlexSIM           | Líderes de proyecto           | 13/07/2020 - 24/07/2020 | Validado |
| Determinar tiempos máximos en cola    | Utilizando herramientas del programa de simulación | FlexSIM           | Líderes de proyecto           | 13/07/2020 - 24/07/2020 | Validado |
| Implementar el sistema COBACABANA     | Utilizando herramientas del programa de simulación | FlexSIM           | Líderes de proyecto           | 01/08/2020 - 30/08/2020 | Validado |
| Simular segundo escenario             | Utilizando herramientas del programa de simulación | FlexSIM           | Líderes de proyecto           | 01/08/2020 - 30/08/2021 | Validado |
| Desarrollar práctica de laboratorio   | Con ayuda del archivo de simulación                | FlexSIM           | Líderes de proyecto           | 31/08/2020 - 04/09/2020 | Validado |
| Definir Guías de Operación y Reportes | Experimentación según requerimientos del cliente   | Sesión de Zoom    | Cliente y Líderes de proyecto | 01/09/2020 - 04/09/2020 | Validado |