



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA DE BICICLETAS  
ELÉCTRICAS PLEGABLES COMO APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN FÍSICA

TESIS,  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING.PEDRO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

TUTORA  
DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, ENERO 2018

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dra. Idalia Flores De La Mota  
Secretario: M. I. Francisca Irene Soler Anguiano  
Vocal: Dra. Aida Huerta Barrientos  
1<sup>er.</sup> Suplente: M. I. Ann Godelieve Wellens Purnal  
2<sup>d o.</sup> Suplente: Dr. Miguel Antonio Mujica Mota

Ciudad Universitaria, UNAM

**TUTORA DE TESIS:**

Dra, Aida Huerta Barrientos

-----  
**FIRMA**

(Segunda hoja)

## *Agradecimientos*

*A mi tutora por su gran apoyo, disposición y paciencia a lo largo de la realización de mi trabajo de tesis:*

*Dra. Aida Huerta Barrientos*

*A los miembros de mi jurado por su gran apoyo y recomendaciones:*

*Dra. Idalia Flores De La Mota*

*M. I. Francisca Irene Soler Anguiano*

*M. I. Ann Godelieve Wellens Purnal*

*Dr. Miguel Antonio Mujica Mota*

*Por su apoyo, asesoría y confianza:*

*Tania Beranyet García Telesforo*

*Por permitirme formar parte del desarrollo de su proyecto de empresa:*

*Uriel Martínez*

*Ulises Martínez*

*Rene Rivera*

*A CONACYT por su apoyo económico a lo largo de mi formación de maestría.*

## *Dedicatoria*

*A mis padres Pedro González García y Silveria Hernández Hernández por su enorme e invaluable apoyo, paciencia, confianza y cariño a lo largo de mis estudios de maestría.*

*A mis hermanas: Yessenia y Norma Isela González Hernández por su gran apoyo y cariño.*

*A la memoria mis queridos abuelitos: Domingo Hernández Meneses y Angela Hernández Hernández por haberme dado todo su amor, cariño y sobre todo los días más felices de mi vida.*

*A todo aquel que desee emprender un negocio o empresa.*

## **Resumen**

En México la economía se mantiene a flote gracias al fuerte trabajo de las micro, pequeña y mediana empresas, ocupando más de 95% del mercado total y aportando hasta el 52% del PIB. De acuerdo con la SE toda empresa inicia desde el emprendimiento, designando a este último como el motor de la economía del país y fungiendo como la principal fuente de empleo. En este sentido de acuerdo con el FAEDPYME los emprendedores fallan durante los primeros 5 años debido a problemas como falta de conocimiento, planeación o conformismo. Por lo que es de vital importancia brindarles apoyo. En México un grupo de emprendedores pretende establecer una fábrica de BEP, aunque desafortunadamente en el momento en que ellos deciden fabricarlas se encuentran ante problemas como: carencia de conocimientos y herramientas teórico metodológicas que les apoyen en el diseño e implementación de su sistema de producción tomando en cuenta sus necesidades como emprendedores. El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de manufactura de bicicletas eléctricas plegables e implementarlo en el software de simulación Anylogic® mediante el enfoque de simulación de eventos discretos para facilitar la implementación física. Mediante este trabajo se consiguió apoyar la toma de decisiones en términos de la distribución de procesos y definición de los mejores tiempos de producción que satisfacen efectivamente la demanda indicada por los emprendedores del estudio, además de brindar la posibilidad de realizar mejoras futuras para mejorar la capacidad de la planta.

## **Abstract**

In Mexico, the economy remains afloat thanks to the strong work of micro, small and medium enterprises, occupying more than 95% of the total market and contributing up to 52% of GDP. According to the SE, all companies start from entrepreneurship, designating this last one as the engine of the economy of the country and serving as the main source of employment. In this sense, according to the FAEDPYME, entrepreneurs fail during the first 5 years due to problems such as lack of knowledge, planning or conformism. So, it is vital to provide support to them. In Mexico, a group of entrepreneurs intends to establish a BEP factory, although unfortunately, when they decide to manufacture them, they face problems such as: lack of knowledge and theoretical-methodological tools that support them in the design and implementation of their production system. Considering their needs as entrepreneurs. The objective of this work is to design a folding electric bicycle manufacturing system and implement it in the Anylogic® simulation software through discrete event simulation approach to facilitate the physical implementation. Through this work it was possible to support decision making in terms of processes distribution and best production times definition that effectively satisfy the entrepreneurs' indicated demand, as well as offering the possibility of making improvements in the future to improve the plant capacity.

# Índice

Resumen.....	iv
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas .....	x
Introducción .....	2
Capítulo 1 Planteamiento del problema y generalidades .....	6
1.1. Problemática.....	6
1.2. Problema.....	9
1.3. Objetivo general .....	9
1.4. Objetivos específicos.....	10
1.5. Justificación.....	10
1.6. Alcance.....	11
1.7. Estrategia de investigación.....	11
Capítulo 2 Marco teórico y estado del arte .....	14
2.1. Bicicletas eléctricas .....	14
2.1.1. Definición .....	14
2.1.2. Clasificación .....	14
2.1.3. Principales países productores .....	15
2.1.4. Expectativas de ventas .....	15
2.1.5. Últimos avances.....	16
2.1.6. Ejemplos de plantas .....	19
2.2. Sistemas de producción .....	22
2.2.1. Definición .....	22
2.2.2. Tipos de sistemas .....	23
2.3. Diseño de sistemas de producción.....	25
2.3.1. Desarrollo del proceso .....	32
2.3.1.1. Elementos del proceso.....	32
2.3.1.2. Representación y secuencia.....	34
2.3.1.3. Calidad en el proceso y formatos de control .....	35
2.3.2. Diseño del área de trabajo.....	35
2.3.2.1. Recursos .....	35
2.3.2.2. Distribución de las instalaciones .....	35

2.3.2.3. Diagrama de recorrido .....	37
2.3.2.4. Capacidad .....	37
2.4. Simulación de Eventos discretos .....	39
2.4.1. Definición de simulación .....	39
2.4.2. Simulación de procesos de manufactura utilizando el enfoque DES .....	39
2.4.3. Metodología DES.....	41
Capítulo 3 Metodología .....	46
3.1. Formulación del problema.....	46
3.2. Establecimiento de objetivos.....	46
3.3. Recolección de datos .....	46
3.4. Modelo conceptual .....	46
3.5. Verificación del modelo .....	47
3.6. Validación .....	48
3.7. Diseño de experimentos .....	48
3.7.1. Definición del problema .....	48
3.7.2. Selección de los factores, niveles y rangos .....	49
3.7.3. Selección de la variable de respuesta.....	49
3.7.4. Selección del tipo de diseño experimental.....	49
3.8. Corridas y análisis .....	49
3.9. Conclusiones .....	50
Capítulo 4 Implementación en software mediante el enfoque DES .....	52
4.1. Formulación del problema.....	52
4.2. Objetivo de la implementación en Anylogic®.....	52
4.3. Recolección de datos .....	52
4.3.1. Maquinaria .....	52
4.3.2. Equipo o mobiliario .....	53
4.3.3. Procesos actuales .....	53
4.3.4. Orden de los procesos .....	53
4.3.5. Tiempos de los procesos .....	53
4.3.6. Demanda esperada .....	54
4.3.7. Terreno.....	54
4.3.8. Operarios disponibles.....	54
4.3.9. Necesidades.....	54
4.4. Modelo conceptual .....	55

4.4.1. Desarrollo de los procesos .....	55
4.4.1.1. Elementos del proceso .....	55
4.4.1.2. Representación y secuencia .....	57
4.4.1.3. Calidad en el proceso y formatos de control .....	63
4.4.2. Diseño del área de trabajo .....	63
4.4.2.1. Recursos .....	63
4.4.2.2. Distribución .....	63
4.5. Modelo de simulación .....	67
4.5.1. Librerías utilizadas .....	67
4.5.2. Presentation .....	67
4.5.3. General .....	68
4.5.4. Space Markup .....	69
4.5.5. Process Modeling .....	69
4.5.6. Armado del proceso lógico en el software .....	70
4.6. Verificación del modelo de simulación .....	76
4.7. Validación del modelo de simulación .....	76
4.8. Diseño de Experimentos .....	77
4.9. Corridas y análisis .....	79
4.10. Optimización del proceso .....	84
4.11. Resultados obtenidos .....	85
Conclusiones .....	89
Bibliografía .....	90
Anexos .....	94
Acrónimos .....	100



## Índice de figuras

Figura 1. 1. Estratos que componen la actividad económica en México.....	7
Figura 2. 1. Área de ensamblaje de ruedas. ....	20
Figura 2. 2. Diagrama de flujo representando los procesos en la empresa Haibike. ....	21
Figura 2. 3. Línea de montaje de ruedas en Golden Wheel. ....	22
Figura 2. 4. Diagrama de flujo representando los procesos en la empresa Golden Wheel.....	22
Figura 2. 5. Los 7 sistemas básicos de producción de acuerdo con Miltenburg (2008). ....	23
Figura 2. 6. Clasificación alternativa de los sistemas de producción. ....	24
Figura 2. 7. Fases para el desarrollo de un sistema de producción.....	25
Figura 2. 8. Fases para el desarrollo de un sistema de producción. ....	26
Figura 2. 9. Fases para el desarrollo de un sistema de producción.....	26
Figura 2. 10. Elementos para el diseño de plantas industriales. ....	27
Figura 2. 11. Elementos que conforma un sistema productivo.....	27
Figura 2. 12. Ciclo y etapas propuestos por Gausemeier et al. (2011). ....	28
Figura 2. 13.Etapas propuestas por KwanMyung y Kun-pyo (2016).....	28
Figura 2. 14. Modelos parciales propuestos mediante la técnica CONSENS. ....	29
Figura 2. 15. Elementos de un sistema de manufactura como contenedor de recursos.....	29
Figura 2. 16. Fases de la etapa de planeación propuesta por Amaya y Bayuelo (2004).....	30
Figura 2. 17. Cuadro comparativo sobre los elementos para el diseño de sistemas de producción de acuerdo a los autores citados.....	31
Figura 2. 18. Elementos que se tomarán en cuenta para el diseño del modelo conceptual. ....	32
Figura 2. 19. Modelo de caja. ....	32
Figura 2. 20. Modelo general de los elementos de un proceso. ....	34
Figura 2. 21. Diagrama de recorrido de una empresa de pisos de madera. ....	38
Figura 2. 22. Metodología DES propuesta por Banks et al. (1996).....	42
Figura 3. 1. Diagrama para diseño de los procesos y distribución en planta.....	47
Figura 3. 2. Diagrama para diseño de los procesos y distribución en planta.....	48
Figura 4. 1.Forma de la planta y dimensiones. ....	54
Figura 4. 2. E-bike a manufacturar. ....	55
Figura 4. 3.Diagrama de flujo completo. ....	59
Figura 4. 4.Diagrama de ensamblaje de ruedas. ....	59
Figura 4. 5. Diagrama de ensamblaje eléctrico.....	60
Figura 4. 6. Diagrama de ensamblaje de cuadro.....	60
Figura 4. 7. Macro-procesos. ....	62
Figura 4. 8.Distribución en planta.....	65

Figura 4. 9. Diagrama de rutas.....	66
Figura 4. 10. Elementos de la paleta presentation. ....	68
Figura 4. 11. Elementos de la paleta general. ....	69
Figura 4. 12. Elementos de la paleta space markup.....	69
Figura 4. 13. Elementos de la paleta process modeling library. ....	70
Figura 4. 14. Modelado lógico de los procesos. ....	71
Figura 4. 15. Vistas de la planta en Anylogic®, a) área de doblado y b) área de soldadura. ....	73
Figura 4. 16. Vistas de la planta en Anylogic®, a) áreas de ensamblaje de ruedas y cuadro y b) áreas de ensamblaje eléctrico y de frenos y desviadores. ....	73
Figura 4. 17. Vistas de la planta en Anylogic®, a) área de almacenaje de productos terminados y b) área de cortes. ....	74
Figura 4. 18. Vista general de la planta en Anylogic® con los muros minimizados, así como elementos estructurales superiores ocultos. ....	75
Figura 4. 19. Verificación del modelo mediante la consola de Anylogic®.....	76
Figura 4. 20. Estudio de R1(unidades terminadas). ....	80
Figura 4. 21. Estudio de R3(masas terminadas). ....	81
Figura 4. 22. Estudio de R2(cuadros terminados).....	81
Figura 4. 23. Estudio de R1 (tubos despachados). ....	82
Figura 4. 24. Estudio de interacción. ....	82
Figura 4. 25. Análisis estadístico de los resultados. ....	83
Figura 4. 26. Análisis de frecuencias para valores que pueden o no alcanzar o incluso superar la demanda. ....	83
Figura 4. 27. Variación de parámetros.....	84
Figura 4. 28. Ventana de configuración OptQuest® de Anylogic®.....	85
Figura 4. 29. Resultados de la optimización. ....	85

## Índice de tablas

Tabla 2. 1. Clasificación general de las BE. ....	15
Tabla 2. 2. Elementos del diagrama de operaciones. ....	34
Tabla 3. 1 Interrogantes para validación del modelo. ....	48
Tabla 4. 1. Especificaciones técnicas del producto.....	55
Tabla 4. 2. Componentes generales de la BEP donde M=manufacturado, A=Adquirido y C=cantidad. ....	56
Tabla 4. 3. Elementos a manufacturar. ....	57
Tabla 4. 4. Áreas preliminares. ....	57
Tabla 4. 5. Diagrama de flujo de operaciones. ....	58
Tabla 4. 6. Recursos necesarios para el SPBEP.....	63
Tabla 4. 7. Factores seleccionados para DOE.....	77
Tabla 4. 8. Variables de salida seleccionadas para DOE.....	77
Tabla 4. 9. Tabla de combinaciones para el acomodo del diseño de experimentos. ....	78
Tabla 4. 10. Tabla de diseño de experimentos antes de experimentar.....	78
Tabla 4. 11. Tabla de diseño de experimentos con los resultados de la producción de corridas..	79

*“Dime y lo olvido, enseñame y lo recuerdo,  
involucrame y lo aprendo”*

*–Benjamín Franklin.*

## Introducción

La economía de México al igual que la de muchos países en el mundo se sustenta en las actividades de las micro, pequeña y mediana empresas las cuales representan hasta el 52% del PIB nacional abarcando hasta el 99.7% la actividad del mercado, todas las empresas inician desde el emprendimiento y van escalando de acuerdo a su capacidad de crecimiento, este último se considera como el motor de la economía nacional ya que es el sector encargado de la creación de nuevas empresas, generación de riqueza económica y por ende la generación de empleos. Para apoyar a este sector es importante ofrecerle herramientas y conocimientos que les faciliten un crecimiento más rápido.

Este trabajo se centra en un grupo de emprendedores que quiere fabricar bicicletas eléctricas plegables (BEP), sin embargo, se enfrentan al reto de la falta de conocimiento para el diseño y distribución de sus procesos y por ende se ven susceptibles a realizar una implementación improvisada la cual puede significar altos costos de operación, productos deficientes y sobre todo altos costos de implementación.

Para apoyar al diseño de procesos y su distribución en planta es necesario revisar que investigaciones y material diverso existe sobre las bicicletas eléctricas y su sistema actual de producción tanto en México como en el mundo para obtener una idea general de cómo abordar la situación de los EBEP.

Actualmente las investigaciones sobre e-bikes en caso de México consisten en artículos de internet generados por empresas distribuidoras como Electrobike, revistas electrónicas como FORBES o bien trabajos de tesis universitaria enfocados en el negocio de venta más no sobre sistemas de manufactura de estas, por otro lado, cabe resaltar que el mercado nacional está dominado por empresas distribuidoras y solamente una manufacturera que es Vetelia ubicada en Guanajuato. En países como China, Holanda, España o USA se han realizado investigaciones sobre diferentes componentes en el producto, impacto en el medio ambiente, efectos de su uso, historia de estas, infraestructura o normatividad. Lamentablemente a nivel internacional tampoco existe literatura sobre sistemas de producción de bicicletas eléctricas por lo que el presente trabajo constituye una

primera estructura que servirá como base para desarrollar más trabajos donde se apoye la mejora del emprendimiento mediante herramientas y conocimientos teórico-metodológicos.

Esta tesis tiene por objetivo diseñar un sistema de manufactura de bicicletas eléctricas plegables e implementarlo en el software de simulación Anylogic® mediante el enfoque de simulación de eventos discretos para facilitar la implementación física. Esto con base en las necesidades de los emprendedores de BEP, así como la revisión de literatura sobre: diseño de procesos, distribución de procesos en planta y simulación basada en eventos discretos. Con esto se pretende que los EBEP puedan implementar su sistema de producción con la ventaja de que mediante la simulación podrán visualizar el comportamiento de su sistema deseado permitiendo que en el momento de la implementación física se eviten gastos innecesarios. La importancia de desarrollar este trabajo de tesis radica en el apoyo al sector de emprendimiento en manufactura de bicicletas eléctricas por parte de la ingeniería industrial en el acceso a herramientas teórico-metodológicas que les permitirán desarrollar de manera oportuna sus sistemas de producción retomando las tendencias o formas de trabajo de la gran industria.

Esta tesis está conformada por 5 capítulos que se explican a continuación:

**Capítulo 1:** La primera parte se refiere al contexto del problema, que se refiere a la importancia e impacto que tiene el emprendimiento como base de constitución de las nuevas empresas, así como la necesidad de apoyar a este sector con conocimientos y herramientas para apoyar su desarrollo, asimismo se bosqueja la problemática presentada por el grupo EBEP al que se orienta este trabajo consecutivamente se definen: el problema, los objetivos, justificación del trabajo, alcance de la investigación y estrategia de investigación.

**Capítulo 2:** en su primera sección corresponde con la revisión de literatura sobre bicicletas eléctricas retomando temas como lo son: la definición, clasificación, componentes generales, los últimos avances hechos y finalmente si es que existe algún sistema de manufactura de estas que describa sus componentes o bien la forma en que se ha realizado el desarrollo proceso productivo. Por otro lado, la segunda sección concierne a la revisión sobre sistemas de producción, donde se retoman diferentes autores cuyos trabajos corresponden al diseño de sistemas de producción y sus elementos de manera que se obtenga una idea sobre los elementos generales desde diferentes perspectivas. Esto se analizará con respecto al estado actual del área usuaria (EBEP) para definir cuáles son los elementos que se tomarán en cuenta de este aspecto para el desarrollo del modelo

conceptual. Finalmente, en la tercera sección se realizó una revisión sobre simulación de eventos discretos orientada a operaciones de manufactura, así como la definición de los elementos de la metodología DES propuesta por Banks et al. (1996).

**Capítulo 3:** aquí se desarrollaron los elementos utilizados en cada uno de los pasos de la metodología de eventos discretos propuesta por Banks et al. (1996) con los que se llevó a cabo la implementación del modelo conceptual en el software de simulación Anylogic®.

**Capítulo 4:** aquí se realizó el diseño del modelo conceptual del sistema de manufactura de BEP y el modelo de simulación con respecto a los elementos definidos capítulo 2 siguiendo el orden propuesto por la metodología DES.

**Capítulo 5:** en este capítulo desarrollaron las conclusiones del presente trabajo y finalmente se muestra la bibliografía consultada.

*“Todo debe simplificarse lo más posible, pero no más”*

*–Albert Einstein.*



## Capítulo 1 Planteamiento del problema y generalidades

### 1.1. Problemática

México es un país con diversidad de ingenio que ha desarrollado de manera natural diversas unidades económicas con el fin de generar actividad productiva, aunque dicho ingenio no se ve reflejado en la actividad económica de sus empresas ya que la mayoría únicamente busca la satisfacción de sus necesidades básicas dejando de lado los avances tecnológicos (Sarmiento et al., 2015).

De acuerdo con García (2016) las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPyME) constituyen el segmento más importante para conseguir el desarrollo del país representando el 99.8 % del total de las empresas, generando 7 de cada 10 empleos formales constituyendo más de la mitad de la riqueza nacional, cerca del 52% del PIB. De manera estratificada el 95.1% corresponde con micro empresas, mientras que el 4.4% con empresas pequeñas y finalmente el 0.3% son grandes empresas.

La SE (2010) propone una clasificación para las empresas que integran la economía mexicana y corresponde con:

- **Tractoras**

Son aquellas que por su tamaño requieren apoyarse de otras más pequeñas para poder llevar a cabo sus operaciones, con lo que fomentan la creación de empresas más pequeñas de las cuales requerirán algún insumo o servicio. (García, 2016)

- **Gacelas**

Se les considera así a las pequeñas y mediana industrias que presentan un incremento más veloz del esperado o bien que su potencial de crecimiento y su capacidad de generar empleos es mayor a la prospectada. (SE, 2010)

- **PyME**

Se refiere a toda industria pequeña y mediana que muestra un potencial de crecimiento menor que la categoría anterior.

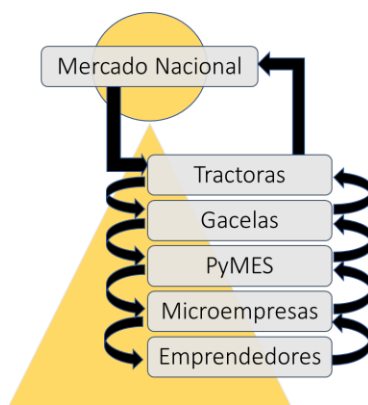
- **Microempresas**

Son todas aquellas empresas que no cuentan con una estructura muy robusta y que en general son negocios tradicionales y familiares. (SE, 2010) Este sector puede sonar inofensivo, pero de acuerdo a los resultados mostrados por el INEGI (2009) mostrados por la SE (2010) este segmento se considera el motor económico y de empleo para el país.

- **Emprendedores**

Se les considera así a todos aquellos mexicanos que deciden invertir sus recursos en el desarrollo de un nuevo derivado de una idea susceptible de negocio (SE, 2010).

En la Figura 1 se muestra la posición que ocupan los integrantes del mercado nacional en función de una estructura piramidal, donde el estrato inferior que es el emprendimiento puede ir ascendiendo a los niveles superiores adquirir las características de estos. De acuerdo con la SE el emprendimiento es la base de toda industria.



*Figura 1. 1.* Estratos que componen la actividad económica en México.

*Fuente:* Adaptado de García (2016).

El INEGI (2009) establece rangos mínimos y máximos de trabajadores para cada sector que son: micro empresas hasta 10, pequeña empresa desde 11 hasta 30 y mediana desde 11 hasta 250, además clasifica las empresas en manufactureras, de servicios. La SE (2016) establece 3 tipos de industrias principales que son de servicios, de comercio y de manufactura.

Centrándose en el sector manufacturero el INEGI (2016) refiere que está compuesto por: 92.5% de micro empresas, 5.1% de empresas pequeñas, 1.6% de empresas medianas y 0.7% de tamaño grande. Por otro lado, la actividad del sector manufacturero corresponde con: 34% de industrias

de producción de alimentos que producen artículos de consumo cuyo valor agregado no es muy alto, 14.7% a empresas que manufacturan productos metálicos, 7% corresponde con la industria textilera y 44.3% con actividades diversas. De acuerdo con López (2016) la industria manufacturera es la más fuerte en México ya que dura en promedio 9.5 años activa.

En el sector de manufactura al igual que los mencionados anteriormente de acuerdo con la SDE (2017) el emprendimiento es la base del desarrollo económico que se encarga de la puesta en marcha de nuevas empresas, generación de riqueza, así como la creación y conservación de empleos, por lo que de acuerdo con García (2016) es importante brindarles el apoyo necesario económico, científico, técnico y académico necesario en orden de favorecer su desarrollo hacia los niveles superiores. En este sentido significativo retomar algunos de los factores que favorecen el fracaso de las empresas iniciadas por emprendimiento.

Por un lado, la firma consultora e-ngenium (2017) refiere que una de las causas por las cuales fracasan las pequeñas industrias es por tener una mala planeación de la producción lo que engloba: falta de control de calidad, existencia de productos que deberían ser similares con diferentes características, falta de capacidad de producción y mala distribución del trabajo o que genera niveles deficientes de productividad y altos costos de operación. Por otro lado, de acuerdo con el informe presentado por el FAEDPYME (2015) la mayoría de estas fracasan durante los primeros 3 o 5 años de operación como resultado de falta de: estandarización de procesos, conocimientos, materiales y herramientas teóricas en este sentido cabe resaltar que de acuerdo con el Instituto del fracaso y el INEGI (2016) México tiene una tasa de cierre de empresas tras los primeros 2 años de operación ocupando el primer lugar a nivel continental.

De acuerdo con García (2016) para que una empresa pueda entregar un producto de calidad al cliente esta debe tener procesos estandarizados que contemplen aspectos de calidad global y que les permitan en todo momento fabricar un producto de calidad incluso repitiéndolo “n” veces, lo cual es algo que usualmente en el emprendimiento se ha descuidado ya que por lo general la estandarización de procesos se alcanza mediante la adquisición de experiencia y creciente demanda.

Un claro ejemplo son los pequeños negocios que han perdurado mucho tiempo en el mercado mismos que debido a la necesidad de satisfacer la demanda de su cliente adecuan sus espacios (distribución) de tal manera que se les facilite la realización de sus actividades y lo hacen sin haber

tenido recurrido a herramientas y conocimientos especializados ni mucho menos a expertos que les asesoren. Por lo que García (2016) contempla la necesidad de reforzar el emprendimiento facilitando el acceso a conocimientos y herramientas especiales con la finalidad de conseguir desde el inicio la estandarización que los dueños de pequeños negocios han obtenido en muchos años.

Dentro del sector de manufactura existe un grupo de emprendedores (EBEP) pertenecientes a la incubadora de empresas INOVAUNAM unidad ingeniería, que pretenden emprender una empresa de manufactura de bicicletas eléctricas plegables (BEP) mismos que actualmente tienen un producto ya estandarizado, pero no cuentan con diseño de procesos ni distribución en planta, ellos poseen algunas máquinas, lugar de trabajo, personal y recursos para la elaboración de algunas unidades de manera inicial.

Dado que los EBEP no cuentan con diseño de procesos ni distribución de estos requieren apoyo para realizar dichas actividades de manera que se facilite su implementación en el lugar de trabajo que poseen tomando en cuenta sus limitaciones económicas y de espacio. En concreto ellos enfrentan la falta de conocimiento, así como de acceso a herramientas teórico-metodológicas que les apoyen en su necesidad de diseñar su sistema de producción de la mejor manera posible.

## **1.2. Problema**

Los emprendedores de bicicletas eléctricas plegables se enfrentan a la falta de conocimientos sobre herramientas teórico metodológicas que les apoyen durante el diseño e implementación de su sistema de producción y que les permitan maximizar producción en términos unidades por mes para permitirles incrementar su duración en el mercado.

¿Cómo favorece el acceso a conocimientos, herramientas y temas acerca de diseño e implementación de sistemas productivos en el caso de emprendimiento de un sistema de producción de bicicletas eléctricas plegables?

## **1.3. Objetivo general**

Diseñar un sistema de manufactura de bicicletas eléctricas plegables e implementarlo en el software de simulación Anylogic® mediante el enfoque de simulación de eventos discretos para facilitar la implementación física.

#### 1.4. Objetivos específicos

- Realizar una revisión de literatura sobre: bicicletas eléctricas, diseño de procesos y simulación de eventos discretos aplicado a industrias de manufactura.
- Diseñar los procesos requeridos y su distribución en planta.
- Implementar los procesos y layout en el software de simulación Anylogic® utilizando el enfoque DES para observar el comportamiento del sistema.

#### 1.5. Justificación

El valor de esta investigación radica en los siguientes criterios:

**Conveniencia:** esta investigación sirve para apoyar a un grupo de emprendedores en el diseño e implementación física de su sistema de producción, esto mediante la simulación y optimización con enfoque en eventos discretos que permitirá la estandarización del sistema de producción.

**Relevancia social:** esta investigación surge para el apoyo de jóvenes emprendedores, quienes mediante el resultado de esta investigación conocerán el impacto que tiene el acceso a conocimientos específicos y herramientas como la simulación durante la etapa de diseño de procesos y distribución en planta, mismos que les permitirán realizar una implementación física con gastos significativamente menores con respecto a una implementación improvisada.

**Implicaciones prácticas:** con esta investigación se intenta beneficiar a los jóvenes ingenieros a promover el diseño de sistemas de manufactura haciendo uso de las herramientas y conocimientos utilizados en la presente.

**Valor teórico:** dado que no existen investigaciones sobre el diseño de sistemas de manufactura de bicicletas eléctricas para emprendimiento, el valor teórico de este trabajo radica en poder generar una estructura inicial en el campo de diseño y simulación de procesos de manufactura enfocado a emprendedores tomando en cuenta sus necesidades como tal.

**Utilidad metodológica:** esta investigación puede apoyar a la mejora de planes de negocio al hacer un poco más detallados y realistas los análisis de operación y layout. De la misma manera promueve la implementación virtual de mejoras a nivel de planta y el estudio de movimientos y tiempos disminuyendo significativamente los gastos por implementación o realización de modificaciones al sistema antes inclusive de que este exista o bien incluso existiendo.

El presente trabajo de tesis pretende apoyar la implementación física de un sistema de producción de bicicletas eléctricas plegables para un caso de emprendimiento, en el cual se carece de conocimientos técnicos y metodológicos para realizar un buen diseño que posteriormente permitirá que obtengan una ventaja competitiva y por ende un trabajo estandarizado capaz de ofrecer un producto de buena calidad. En México el emprendimiento es uno de los sectores más marginados en el ámbito de conocimiento, esto es debido a la falta de acceso a información especializada como artículos o publicaciones de propósito especial (FAEDPYME, 2016).

La ingeniería industrial es la encargada de la gestión táctica, operativa y estratégica en la gran industria, sin embargo, al enfocarse en esta, deja a un lado el campo de emprendimiento el cual es parte de las micro y pequeñas empresas, mismas que conforman hasta el 99.7% del PIB nacional mientras que la gran industria ocupa un 3%. En este sentido cabe recalcar que toda empresa inicia por emprendimiento y de ahí dicho sector toma su importancia.

Este trabajo de investigación fomenta el apoyo a un sector que actualmente se encuentra débil en términos de conocimiento y económicos, por lo que mediante la indagación en lo que se ha hecho en el mundo en el campo de manufactura de bicicletas eléctricas puede contribuir positivamente, en conjunto con la aplicación de la simulación de eventos discretos y con ello se pueden reducir significativamente los gastos por concepto de implementación física.

## **1.6. Alcance**

El alcance máximo del presente trabajo, es la implementación en software, debido a que no se dispone del tiempo suficiente para llevar a cabo la implementación física, así como de los recursos económicos necesarios o adecuados por parte del área usuaria.

## **1.7. Estrategia de investigación**

En el presente trabajo la investigación se llevó a cabo a lo largo de 5 etapas:

### **Etapas 1: revisión del estado del arte acerca de las bicicletas eléctricas.**

En esta etapa se busca obtener el conocimiento generado acerca de las e-bikes en el mundo, esto en términos de estado del mercado y actores principales, investigaciones en los ámbitos ambiental, social, mejoras de ingeniería de producto y formas de producción.

**Etapa 2: revisión de marco teórico y estado del arte sobre elementos para el diseño de sistemas de producción.**

En esta etapa se investigan cuáles son los componentes del proceso que proponen diferentes autores para compararlos e identificar los elementos convenientes para el presente estudio mediante el análisis de estos con respecto a las necesidades del grupo de emprendimiento del presente caso y con ello definir los elementos que se emplearán en el desarrollo del modelo conceptual del sistema de producción.

**Etapa 3: revisión del estado del arte sobre simulación de eventos discretos en manufactura.**

En esta etapa se busca tener un conocimiento sobre la aplicación de la simulación de eventos discretos en industrias de manufactura de productos, así como definir los componentes de la metodología de eventos discretos propuesta por Banks et al. (1996).

**Etapa 4: metodología y elementos desarrollados**

En esta etapa se explican las herramientas y métodos utilizados para el desarrollo de cada uno de los pasos de la metodología DES con los que se realizará la implementación en software.

**Etapa 5: diseño e implementación del modelo conceptual del sistema de producción en el software de simulación Anylogic® empleando la metodología DES.**

En esta etapa se diseñará el modelo conceptual del sistema de producción y se implementará en el software Anylogic® con la finalidad de dar respuesta al problema citado en el punto 1.4 así como determinar con que combinación de tiempos de producción se logra alcanzar el ideal de producción propuesto y mediante la optimización superarlo a fin de maximizar la producción de unidades mensuales y con ello conducir a la estandarización del sistema de producción.

*“El fracaso es simplemente una nueva oportunidad de empezar de nuevo”*

*–Henry Ford.*



## Capítulo 2 Marco teórico y estado del arte

### 2.1. Bicicletas eléctricas

Como se menciona en el capítulo 1 actualmente no existen investigaciones sobre sistemas de producción de bicicletas eléctricas de manera que es necesario indagar sobre las investigaciones existentes con la finalidad de tener una vista general al respecto, para lograr dicho fin a continuación se citan brevemente algunas investigaciones donde se abordan temas como: definición de e-bike, tipos y clasificación, principales productores, estado presente y futuro del mercado, investigaciones realizadas en diferentes ámbitos como lo son: ambiental, urbano, mejoras a nivel de componentes y algunos ejemplos de distribuciones de planta encontrados.

#### 2.1.1. Definición

De acuerdo con MacArthur y Kobel (2016) una bicicleta eléctrica es un vehículo con forma similar a una bicicleta convencional el cual posee un pequeño motor eléctrico que provee asistencia al pedalear permitido al usuario acelerar incluso para subir colinas o avanzar en contra del viento más fácilmente que con una Bicicleta estándar.

#### 2.1.2. Clasificación

De acuerdo con Abagnale et al. (2015) las bicicletas eléctricas se clasifican con respecto a la posición del motor, pudiendo ser: con el motor en la parte inferior trasera de los pedales con lo que el pedaleo se vuelve asistido o bien con el motor en la rueda delantera con lo que solo se puede acelerar o pedalear. Por otro lado, de acuerdo con Muetze y Tan (2007) se clasifican con respecto a los tipos de: motor, ensamblaje del motor, asistencia, aceleración, localización del motor, batería y configuración personalizada o predefinida. Mediante la Tabla 2.1 se muestra la clasificación detallada para e-bikes propuesta por Muetze y Tan (2007).

De acuerdo con Weinert, Ma y Cherry (2007) las BE se clasifican con respecto a su estilo, por lo que tenemos: estilo bicicleta convencional y estilo motocicleta, donde refieren que en el primer caso se poseen pedales que permiten movilidad convencional y en el segundo no, debido a que el pedaleo es totalmente asistido o bien libre del esfuerzo humano.

*Tabla 2. 1.* Clasificación general de las BE.

Configuración	Motor	Transmisión	Asistencia	Acelerador	Ubicación del motor	Batería
Personalizada	Con escobillas	Incorporado al rin	Completa	De palanca	Frontal	Acida
Predefinida	Sin escobillas	Con engranajes	Media	De giro	Trasera	NiMH
		De fricción		Botón pulsador		Otras

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### 2.1.3. Principales países productores

Abagnale et al. (2015) refieren que en los últimos años China ha sido el principal constructor de e-bikes el cual ha distribuido la mayor parte de estas en el mundo mismo que posee una robusta y durable demanda local. Por otro lado, menciona que aquellas unidades producidas en Japón son comúnmente conocidas como “pedelecs” esto como resultado de las nuevas regulaciones. También resaltan que estas son producidas por la industria automotriz.

Cherry et al. (2007) refieren que China es el principal productor de BE en el mundo y es el único país en el cual la cantidad de estas es mayor a la de cualquier otro vehículo y posee más de 300 manufactureros cuyo rango de producción oscila entre 12,000 hasta 150,000 BE por año siendo capaces de producir una unidad cada 5 minutos.

De acuerdo con Fishman y Cherry (2015) hasta el año 2015 China ha sido el país con más ventas en el mundo, teniendo una cantidad neta de 36, 800,000 unidades vendidas, en segundo lugar, se encuentra Europa con 2, 318,000, el siguiente es Japón con 440,000, EUA con 300,000, SE Asia con 90,000, India con 70,000 y finalmente Taiwán con 39,500.

### 2.1.4. Expectativas de ventas

En el sentido de ventas futuras Cherry et al. (2007), cita que MacArthur et al. (2014) refieren que para 2018 las ventas estimadas de BE corresponderán a 47.6 millones de unidades, de las cuales se espera que China tenga hasta el 89% del total del mercado. Por otro lado, Navigant Research (2016) realizó un estudio que indica que desde 2016 China alcanzará su máxima capacidad, viendo un decremento en sus ventas con un desempeño negativo anual correspondiente a 0.8% mientras que el resto de los países tendrá un crecimiento anual de 4%. De acuerdo con dicho estudio excluyendo a China se prevé que el mercado general crecerá de 3.3 millones de unidades en 2016

hasta 6.8 millones en 2025, donde los principales actores del mercado se esperan sean de los mercados de Asia-Pacífico tales como Japón o Vietnam.

### **2.1.5. Últimos avances**

De acuerdo con Fishman y Cherry (2014) las investigaciones sobre BE varían respecto a las diversas zonas geográficas, por ejemplo: en la zona este las investigaciones se enfocan en operaciones, seguridad y crecimiento del mercado mientras que, en la zona oeste en nuevos mercados emergentes, salud y comportamiento de los mercados emergentes. Por otro lado, en la zona Asia-Pacífico las investigaciones se centran en el apoderamiento de los vehículos de 2 ruedas, en cambio en la Unión Europea se sigue la misma línea de las bicicletas, por lo que las investigaciones van relacionadas a estas.

### **Sector ambiental**

En las investigaciones sobre el sector ambiental se remarcan los efectos del uso de BE con respecto a los vehículos de combustión interna como motocicletas o coches. En este sentido Cervero y Cherry (2007) refieren que el impacto medioambiental depende en gran medida de la forma en que el usuario reemplaza su medio de transporte haciendo hincapié en que el sustituir un vehículo no motorizado por una BE puede generar impactos negativos al medio ambiente y que lo recomendable es sustituir los primeros con lo cual se contribuye a que las emisiones de dióxido de carbono disminuyan importantemente.

Parker (2002) refiere la necesidad de impulsar el uso de las e-bike como una alternativa de emisión de libre de contaminantes, también nos habla sobre los tipos de vehículos comúnmente usados en diferentes países de Asia y Europa, mencionando diferentes configuraciones y especificaciones, tipos de usuarios, uso de las infraestructuras y remarca fuertemente que en algunos países de Asia continúan utilizando vehículos con motores de 2 pasos, además indica que debemos cambiar el paradigma de consumo energético generado por combustibles fósiles por uno sustentado por energías renovables y finalmente concluye comparando los costos de consumo para recarga de las baterías para mediante diferentes fuentes de energía renovable como lo son: la energía solar, sistemas eólicos y de producción mediante quema de biomasa. De esto menciona que producir energía mediante celdas fotovoltaicas cuesta 30 centavos por W-h que es 4 veces más caro que producirlo mediante campos eólicos y hasta 5 veces más caro que producir mediante la quema de biomasa.

Abagnale (2015) desarrollo una metodología para evaluar el impacto medioambiental de una e-bike con base en el uso diario de esta, así como la demanda energética que suministra, el estudio se realizó en Italia donde se analizó la demanda de potencia durante el arranque, carretera y pendientes, de esto se obtuvo el rango de duración de la batería cuando se tienen diferentes parámetros como el peso del usuario, la velocidad y aceleración, así como el tiempo en el que estas últimas se mantienen. Posteriormente se realizó el análisis de emisiones de las e-bikes contra motocicletas, autobuses urbanos, vehículos de carga ligera, pesada y particulares, haciendo notable la cantidad que se evita emitir al utilizar e-bikes.

### **Sector Urbano**

En este sector muchos de los artículos existentes se relacionan con la seguridad del usuario de e-bikes ante situaciones derivadas por el tráfico como los son los choques. Por ejemplo, Schepers et al. (2014) realizaron un estudio en los Países Bajos, con el cual pretendían comparar el índice de accidentes ocurridos al utilizar bicicletas eléctricamente asistidas contra las bicicletas convencionales. Dicho estudio se realizó con un público mayor a 16 años valiéndose de encuestas, de esto ellos seleccionaron los casos en los que los accidentes ocurridos requirieron atención médica especializada u hospitalización y con base en las encuestas ellos definieron diversos factores bajo los que se dieron los accidentes en ambos tipos de bicicleta como lo son: edad, genero, velocidad, vía de ocurrencia, tipo de choque, índice de usos semanal, etc.

Dozza et al. (2016) analizaron la compatibilidad de las e-bikes con las pistas de bicicletas y su impacto con otros tráficos, su trabajo consistió en el estudio de los viajes de 20 personas contratadas, los cuales poseían bicicletas instrumentadas con sensores de fuerza, cámaras, GPS, además de tener componentes generales en buen estado. Dicho estudio consistió en obtener los datos de colisión común y grave, para esto utilizaron cuestionarios, ellos analizaron los datos obtenidos y clasificaron la ocurrencia de los accidentes de acuerdo a factores como: día, noche, estado de la superficie, tipo de vehículo de colisión, etc. De ello concluyeron que normalmente ocurren más accidentes con personas debido al uso de pasillos compartidos y que tienen muchos conflictos con vehículos motorizados, además que los problemas generalmente son causados por los malos hábitos de conducción, de estacionamiento de los demás vehículos, pero sobre todo la conducción a altas velocidades. De esto se concluye que las vías no necesariamente están mal

diseñadas y en efecto las e-bikes influyen mucho en el tráfico de los vehículos motorizados y peatones más que con las bicicletas convencionales.

Xujun et al. (2013) estudiaron la tendencia anual de accidentes de tráfico en China desde 2004 hasta 2012, tomando en cuenta accidentes que resultaron con lesiones y mortalidad, esto se realizó para bicicletas, motocicletas y e-bikes tomando en cuenta muestras de 100,000 habitantes. Para analizar los datos utilizan regresiones lineales y concluyeron que la tendencia de ambos tipos de accidentes al utilizar e-bikes va en aumento, con esto ellos buscan ofrecer estrategias de control como lo son: leyes especiales, uniformes especiales, licencias, seguros, monitoreo y agencias de control de tráfico administración y accidentes. Sin embargo, ellos resaltan que tienen una falta de acceso a la información gubernamental sobre los índices de accidentes.

Wang et al. (2013) estudiaron las diferentes condiciones en las que las bicicletas eléctricas con asiento de seguridad para niños pueden mejorarse sin perder la esencia del confort. Para esto ellos analizan diferentes tipos de configuraciones para el asiento y pautas de diseño que los fabricantes no toman en cuenta, de manera que proponen una configuración que toma en cuenta incluso el comportamiento activo de los niños para brindar una mayor seguridad ante accidentes.

Papoutsis et al. (2014) trabajando dentro de un hospital en Suiza se registraban hasta 35 mil casos de accidentes al año, des los cuales notaron que algunos de ellos estaban relacionados con el manejo de e-bikes, así que realizaron un estudio durante 18 meses en los cuales obtuvieron 25 accidentes registrados de los cuales el 70% estaba ocurri6 en hombres mientras el resto en mujeres, 19 y 7 años respectivamente, de esto ellos analizaron el tipo de lesi6n, las causas, edades, periodo estacional y lugar de ocurrencia.

### **Ingeniería de producto**

Baseri (2009) desarrollo un método para acoplar un sistema de recarga de batería y suministro de energía mediante paneles fotovoltaicos para una e-bike, proponiendo un diseño que no comprometía la comodidad del usuario, en su trabajo el realizo diversos prototipos con diferentes configuraciones. También menciona el mecanismo de suministro y conversi6n de la energía obtenida mediante los paneles.

Corno et al. (2015) propusieron la implementaci6n de una pequeña batería de 30V a 160 W con un sistema de administraci6n de batería para el caso de una BE con potencia asistida, la cual estaría

equipada con un sistema eléctrico que funcionaría con un algoritmo especial para la gestión de la energía tomando en cuenta los ciclos en que el usuario puede o no pedalear.

Hwang et al. (2004) propusieron mejorar una e-bike con la implementación de una batería hecha con una celda de Hidrógeno la cual generaba energía mediante una reacción electroquímica, la finalidad era proveer la energía necesaria al motor y sistema eléctrico. Este diseño incluso contaba con sensores de presión, reguladores, enfriadores, y bombas de líquido y aire. Con el desarrollo y pruebas de la celda obtuvieron la experiencia y conocimiento necesarios para promover el uso y aceptación de las celdas de combustible con membrana de intercambio de electrones, lo que permitiría su pronta colocación en el mercado.

Masih et al. (2014) desarrollaron un medio de almacenamiento de energía óptimo para BE mediante el uso de un algoritmo genérico, en si la propuesta es la incorporación de un ultra capacitor al sistema de almacenamiento de energía o batería, con lo cual se desarrollaron un sistema de almacenamiento de energía híbrido, el cual concluyeron que es significativamente mejor que un sistema común. Uno de los puntos fuertes de este trabajo fue que el sistema de potencia fue modelado mediante simulación en Matlab.

Yao et al. (2015) desarrollaron y simularon un algoritmo de administración energética de rango extendido para BE, donde esta funcionaba como cualquier BE salvo que tenía incluido un motor de combustión interna que podía proporcionar la energía faltante al sistema suministrando esta tanto a la batería como al motor, el modelo fue simulado mediante el programa AVL CRUISE y con este se obtuvieron gráficas de potencia demandada vs potencia de la batería, así como de gasto de combustible vs distancia vs batería restante.

### **2.1.6. Ejemplos de plantas**

Brown (2015) realizó una serie de visitas a diferentes plantas de manufactura de bicicletas eléctricas en países como China o Alemania mediante las cuales comparte información documental respecto a: áreas de manufactura, espacios utilizados y distribución de los procesos en planta.

#### **Fábrica Haibike**

La planta se ubica en Schweinfurt Alemania es una fábrica enorme, cuya principal característica es contar con un almacén de partes está situado por niveles y pasillos en los que se almacenan miles de piezas, este cuenta con un sistema de surtido automático que suministra las partes

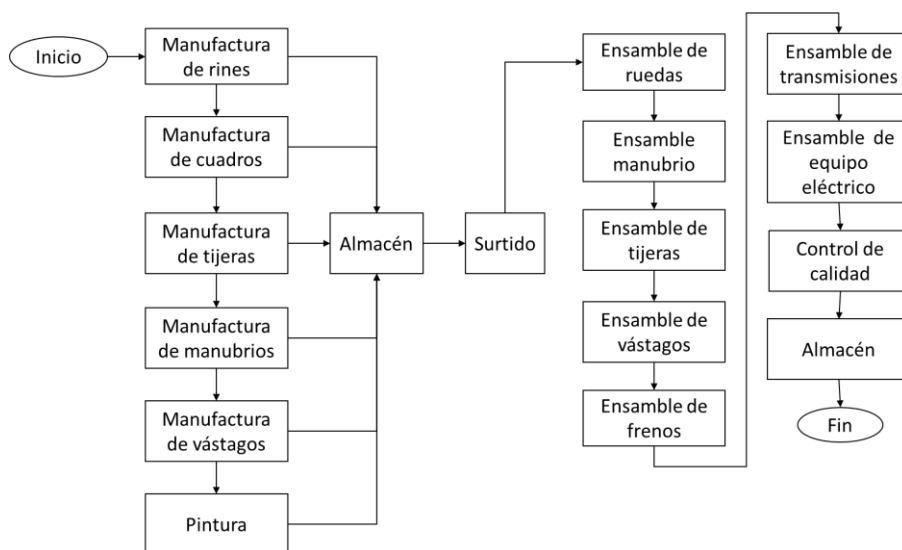
requeridas, en este la unidad mínima contenida es de 100 partes por paquete, cuenta con una zona de manufactura de ruedas (Fig.2.1) , e incorpora un sistema de revisión automática, es capaz de producir cientos de rines de diferentes medidas, está organizado como una línea de ensamblaje exclusiva de rines. También cuenta con una línea de ensamblaje organizada por módulos donde en cada uno hay un especialista en la colocación de cada parte por lo que existen áreas de ensamblaje de: audífonos, vástagos, tijeras, manubrios, frenos, transmisiones, de colocación de motor, equipo eléctrico, empaquetado y control de salidas.



*Figura 2. 1.* Área de ensamblaje de ruedas.

*Fuente:* Martin Brown (2015), <https://goo.gl/CXQb48/Haibikes/22-05/2017/3:24>.

En resumen, en esta planta predominan las líneas de ensamblaje y están organizadas por procesos múltiples interconectados por lo que existen áreas especiales para cada proceso o células de manufactura para ensamblaje de: ruedas, equipo eléctrico, vástagos, de tijeras, de manubrios, de frenos, transmisiones, de motores, de revisión de calidad global y empaquetado. Además, cuenta con sistemas de almacenamiento y surtido automatizados que facilitan la manipulación de materiales. Mediante la Figura 2.2 se muestran algunos de los procesos realizados en planta.



**Figura 2. 2.** Diagrama de flujo representando los procesos en la empresa Haibike.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

### Fábrica Golden Wheel

Esta es una de las grandes fábricas de China, cuenta con 4500 empleados y 46 líneas de ensamblaje con lo que produce anualmente 120,000 unidades. Posee áreas de corte de materiales, doblado, pintura, soldadura, estampado, ensamble de tijeras, ruedas, estrellas, frenos, motores, desviadores, soldadura, pintura, aplicación de fibra de carbono, y almacén. Cabe recalcar que el grado de organización del área de trabajo tiene una distribución en “U” que permite un buen uso del espacio cúbico.

En esta planta predominan las líneas de ensamblaje de productos individuales de manera que las operaciones se realizan secuencialmente desde la manufactura hasta el ensamblaje, también cuentan con facilitadores de movimiento de producto en proceso como grúas radiales y rieles de movimiento por otro lado, cuentan con áreas estandarizadas que le facilitan al operario la realización de su trabajo con mínimos movimientos. Mediante las Figs. 2.3 y 2.4 se muestra un ejemplo de línea de ensamblajes de ruedas y el proceso general descrito anteriormente para dicha planta.

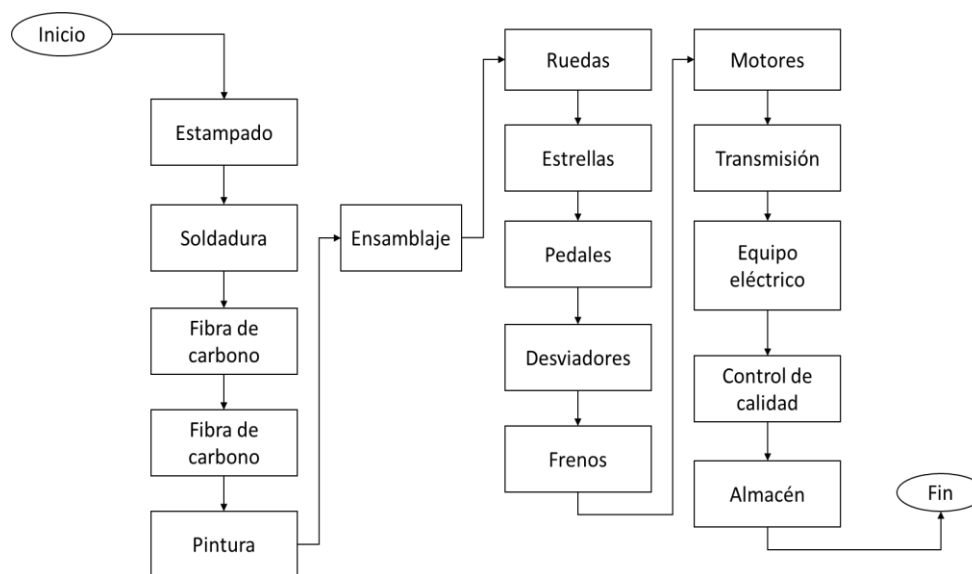
Tomando en cuenta la descripción de ambas plantas es notable que el modo de distribución más utilizado es en línea por productos y todas las operaciones se realizan en módulos particulares con al menos un operario, el área de trabajo esta estandarizada de acuerdo a lo que indican las técnicas SMED y 5 S’s, cabe resaltar que se realizan operaciones de manufactura y de montaje, aunque no se realizan en las mismas líneas sino por separado.





**Figura 2. 3.** Línea de montaje de ruedas en Golden Wheel.

**Fuente:** Martin Brown (2015), <https://goo.gl/5QoKoD/22/05/2017/3:53>.



**Figura 2. 4.** Diagrama de flujo representando los procesos en la empresa Golden Wheel.

**Fuente:** Elaboración propia (2017).

## 2.2. Sistemas de producción

### 2.2.1. Definición

Un sistema de producción es en esencia cualquier actividad que produce algo, aunque de manera formal se define como un sistema abierto el cual tiene entradas, realiza sobre estas un proceso de transformación y las convierte en salidas que pueden ser productos o servicios (Gutarra, 2013).

De acuerdo con Evans y Lindsay (2015) un sistema de producción es una secuencia de actividades vinculadas cuyo objetivo es lograr algún resultado como producir un bien o un servicio para un

cliente. Por lo general estos implican una serie de combinaciones de personas, máquinas, herramientas, técnicas, materiales y mejoras en una serie de pasos y acciones.

Groover (1997) hace hincapie en la diferencia entre producción y manufactura acentuando que técnicamente no son exactamente lo mismo pero que dependiendo de la actividad realizada estos terminos pueden aceptarse como el mismo. Por lo tanto un sistema de producción en el campo de elaboración de un bien puede ser concebido como un sistema de manufactura.

### 2.2.2. Tipos de sistemas

De acuerdo con Miltenburg (2008) existen 7 sistemas básicos de producción (ver Figura 2.5) que son: talleres, sistemas de producción por lotes, con operadores en línea, con maquinaria en línea, de flujo continuo, justo a tiempo y de manufactura flexible, a continuación, se describen brevemente los 3 más básicos y menos complejos.



**Figura 2. 5.** Los 7 sistemas básicos de producción de acuerdo con Miltenburg (2008).

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

- **Talleres**

Son conocidos así aquellos sistemas de producción que son capaces de producir desde un producto hasta una gran cantidad de estos, su tipo de distribución en planta generalmente es funcional, por lo que los equipos que son del mismo tipo se localizan en el mismo departamento, por otro lado, los operadores trabajan en un solo departamento y deben estar altamente capacitados en el manejo de los equipos. El flujo de material difiere con respecto al tipo de trabajo a realizar y normalmente el ente fabricado se mueve de un departamento a otro, por lo que se generan grandes tiempos de espera, trabajo en proceso alto y largos tiempos de entrega (Miltenburg, 2008).

- **Sistemas de producción por lotes**

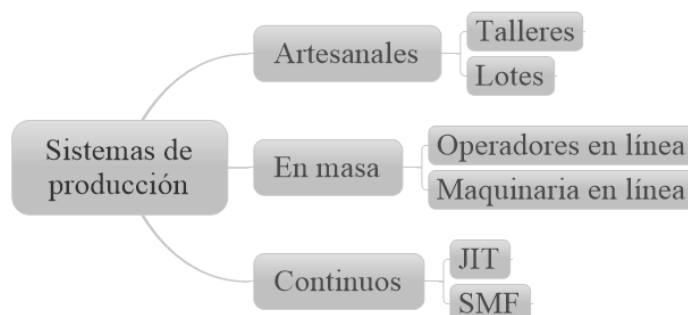
Son aquellos que producen una gran cantidad de productos en volúmenes más altos que el sistema previamente mencionado, es decir se producen lotes que representan las necesidades de consumo

de un consumidor. El tipo de Layout que utilizan es la combinación de funcional y celular, donde el equipo de trabajo es de propósito general, en este caso el flujo de trabajo se adapta con respecto a la orden de trabajo, por lo que se siguen patrones de trabajo por familias de productos y por grandes lotes. Cuando la maquinaria es poca y además pequeña se puede colocar en línea, esto se conoce como sistema de lotes enlazados (Miltenburg, 2008).

- **Sistemas de producción en línea**

Se refiere a aquellos sistemas en los cuales el operador y el equipo de trabajo se colocan siguiendo una línea de flujo, por lo que los equipos y procesos son especializados en la producción de una pequeña cantidad de productos o familias de estos. Existen 2 tipos de estos que son: sistemas con la maquinaria en línea: los cuales producen una pequeña cantidad de productos en altos volúmenes, donde los operadores realizan tareas simples con un ritmo análogo a la velocidad de la línea. También existen sistemas con equipamiento en línea en los que la cantidad de productos diferentes es muy alta y los volúmenes de producción son muy variables, por lo que resulta ser más flexible que el anterior, permitiendo trabajar con variaciones de velocidad, misma que depende del tipo de producto, el número de operadores asignados a la línea y de la capacidad de trabajo de estos en equipo (Miltenburg, 2008).

De acuerdo con Miltenburg (2008) existe una clasificación diferente para los sistemas de producción con base en su grado de complejidad, por lo que refiere 3 sub-categorías que son: artesanales, en masa y continuos, englobando talleres y lotes, operadores y maquinaria en línea y finalmente sistemas justo a tiempo y de manufactura flexible respectivamente. Estos se muestran mediante la Figura 2.6.



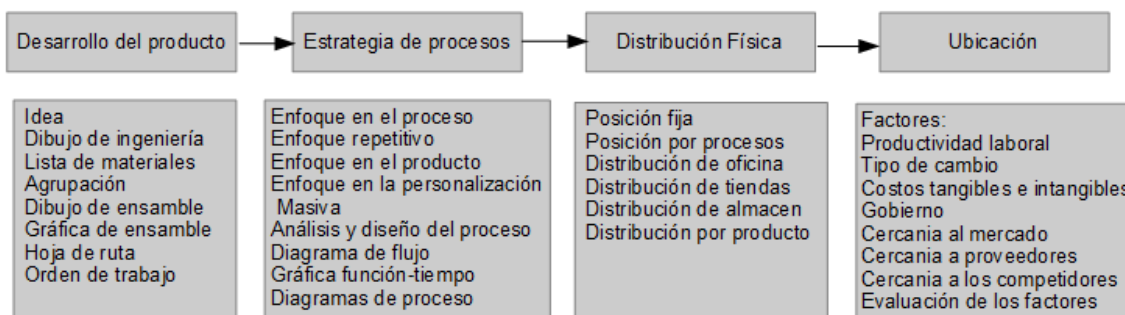
**Figura 2. 6.** Clasificación alternativa de los sistemas de producción.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

### 2.3. Diseño de sistemas de producción

En este apartado realizará la revisión de literatura de lo que proponen algunos autores y que se orienta al diseño de un sistema de producción. Posteriormente se realizará un análisis de los elementos que coinciden entre cada uno de los autores y se generará un listado final de elementos. Como acto seguido se realizará la evaluación del listado final con respecto al estado actual y necesidades del área usuaria y se creará una nueva tabla de aquellos elementos que se emplearán dentro de la etapa de desarrollo del modelo conceptual.

De acuerdo con Ortiz (2008) un sistema de producción está compuesto de: trabajo, objeto de trabajo y medios de trabajo, mientras que para Groover (1997) se componen de: mano de obra, equipos, procedimientos, instalaciones y procesos. Por otra parte, de acuerdo con la AQL (2016) mediante el diagrama SIPOC podemos mapear lo que hay en un sistema de producción y plantea que los componentes son: proveedores, entradas, procesos, salidas y consumidor.

Heizer y Render (2007) nos refieren que para diseñar un sistema de producción debemos considerar 3 etapas, que son: desarrollo del producto, desarrollo del proceso y ubicación de la planta. En la primera etapa se refiere a la conceptualización del producto del producto a desarrollar y la definición de los componentes, recursos y medios necesarios, en la segunda etapa se refiere a el diseño de los procesos y su distribución en planta y finalmente se mencionan cuáles son los factores que influyen en la localización de una planta industrial. Esto se muestra en la Figura.2.7

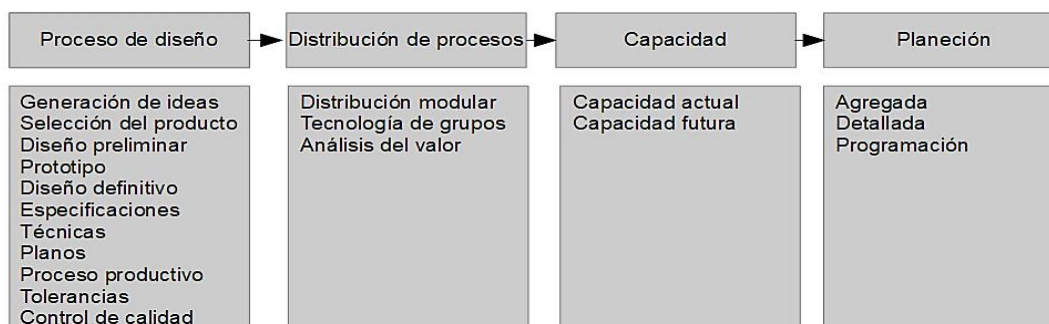


**Figura 2. 7.** Fases para el desarrollo de un sistema de producción.

**Fuente:** Elaboración propia (2017).

Fernández y Fázquez (1993) refieren que para el desarrollo de un sistema de producción es necesario considerar las etapas: el desarrollo de producto y desarrollo de los procesos, distribución en planta, capacidad de producción y planeación operativa. Los autores resaltan la necesidad de desarrollar el primeramente el producto y posteriormente los procesos, para posteriormente

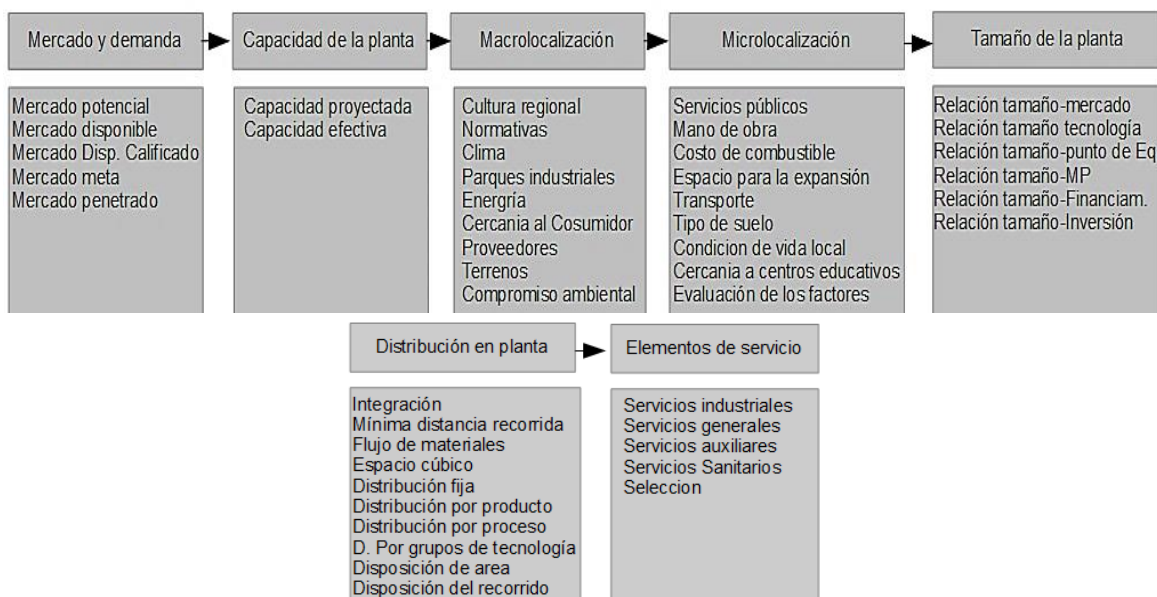
realizar su distribución en planta y planificar la capacidad y detallar el plan operativo. Esto se muestra mediante Figura 2.8.



**Figura 2. 8.** Fases para el desarrollo de un sistema de producción.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Arrollo y Torres (2011) refieren que el diseño de una planta industrial es uno de los pilares de las industrias que permiten integrar a los hombres junto a toda la maquinaria, materiales e instalaciones dentro de una unidad operativa eficiente y económica. Ellos definen los posibles principales elementos que interfieren en el diseño de una planta industrial. Dichos elementos son: estudio del mercado y demanda, macro localización, micro localización, definición el tamaño de la planta, distribución y definición de elementos de servicio. Esto se aprecia mediante la Figura 2.9.

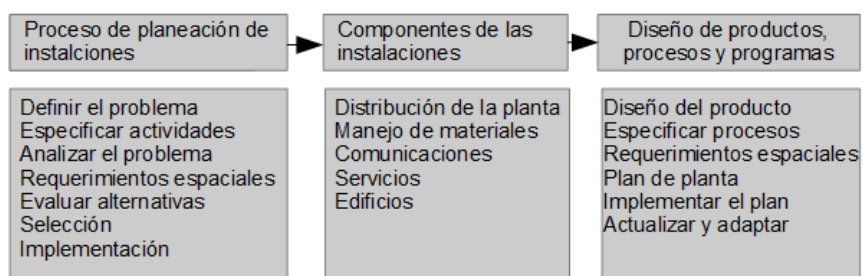


**Figura 2. 9.** Fases para el desarrollo de un sistema de producción.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

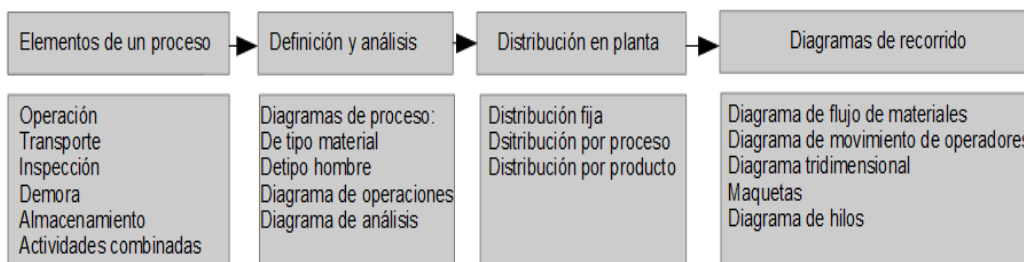
Hoyos (2013) propone una guía didáctica para el diseño de plantas industriales, en la cual propone como primer elemento el definir la idea de producto como un problema y la asocia directamente con sus requerimientos, de manera que inicia con la planeación de la planta y termina en su implementación, por otro lado, analiza la distribución de los procesos en planta, asimismo los asocia con los materiales, medios de información o comunicación y servicios necesarios. Finalmente entra en el diseño del producto, sus recursos y medios necesarios y finalmente lo orienta a la creación de una planta. Esto se aprecia mediante la Figura 2.10.

Durán (2016), propone un conjunto de elementos que son parte de un proceso productivo, algunas técnicas para su definición y análisis, varias formas de distribución de procesos en planta, así como análisis del recorrido o movimientos dentro de la planta. Esto se muestra en el diagrama que se muestra a continuación en la Figura 2.11.



**Figura 2. 10.** Elementos para el diseño de plantas industriales.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).



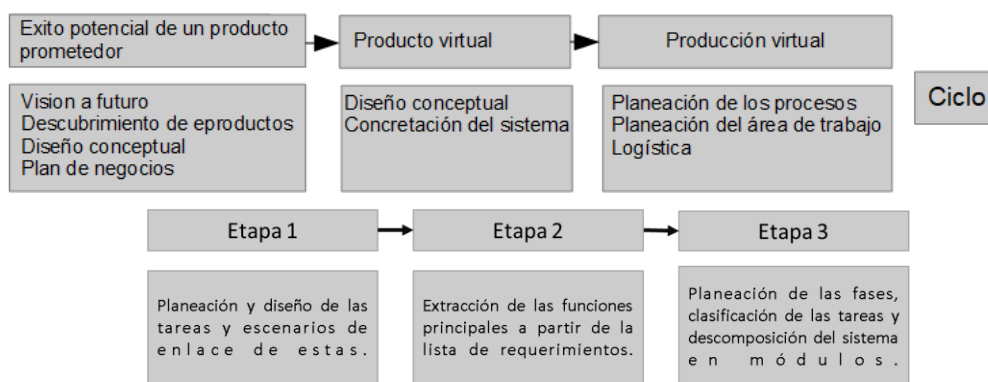
**Figura 2. 11.** Elementos que conforma un sistema productivo.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Hasta este punto se ha estado revisando teoría que se consideró útil como concepto de marco teórico, por lo que en la siguiente sección se realizará un análisis de estado del arte de algunos artículos cuyos temas están orientados al diseño de un sistema de producción donde se toman únicamente aquellos cuyo campo corresponde a la manufactura de bienes o productos mecánico eléctricos.

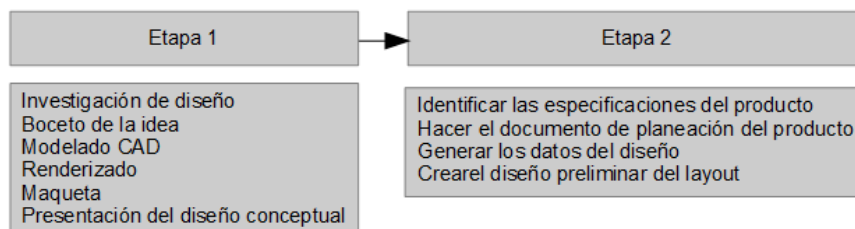
Gausemeier et al. (2011) indican 3 ciclos para el desarrollo de sistemas y son: el éxito potencial a futuro de un producto prometedor, el producto virtual y la producción virtual o fábrica digital. Posteriormente se indican otras 3 etapas que son: planeación del producto, diseño conceptual del sistema y diseño conceptual a nivel modular. Esto se muestra mediante las Figura 2.12.

Por su parte KwanMyung y Kun-pyo (2016) refieren un esquema de procesos de diseño colaborativo en el cual se marcan 2 etapas, que son: diseño del producto por parte del equipo de diseño industrial y la segunda correspondiente al diseño detallado y layout previo. A continuación, en la Fig. 2.13 se muestra las 2 etapas mencionadas.



**Figura 2. 12.** Ciclo y etapas propuestas por Gausemeier et al. (2011).

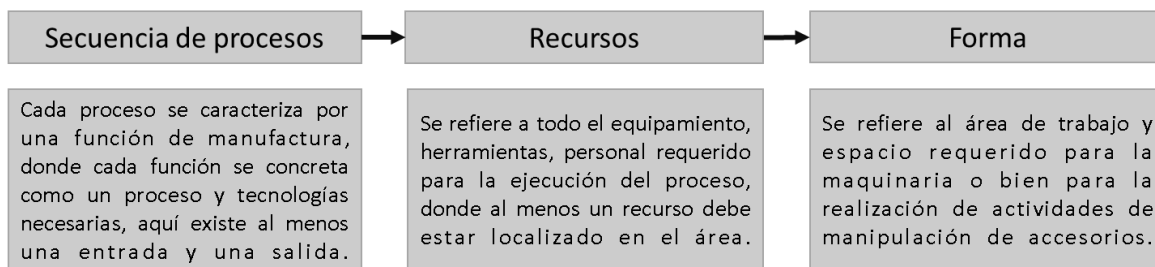
**Fuente:** Elaboración propia (2017).



**Figura 2. 13.** Etapas propuestas por KwanMyung y Kun-pyo (2016).

**Fuente:** Elaboración propia (2017).

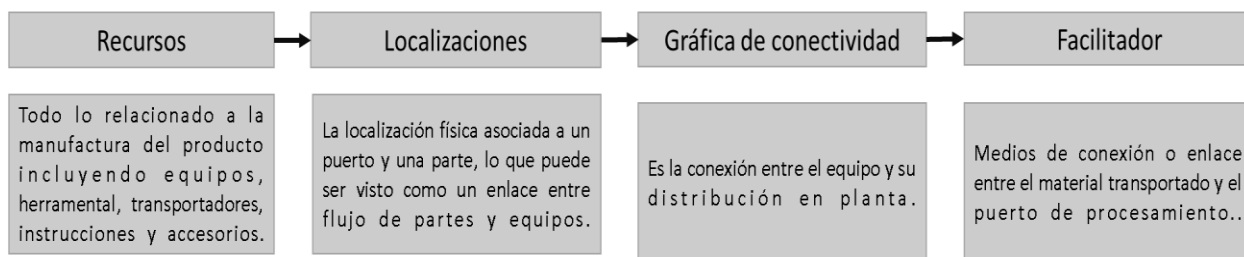
Gausemeier et al. (2013) proponen una serie de pasos para el desarrollo del producto y recursos necesarios para la producción de un bien. Esto lo hacen mediante el uso de una técnica llamada CONCENS (conceptual design specification technique for the engineering of complex systems) la cual define 2 etapas principales: concepto del producto y del sistema, además refieren que las especificaciones de un sistema de producción vienen dadas por 3 modelos parciales dentro de la técnica utilizada: procesos, recursos y forma. Esto se puede observar mediante la Figura 2.14 mostrada a continuación.



**Figura 2. 14.** Modelos parciales propuestos mediante la técnica CONSENS.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Sun y Wysk (2001) analizan un Sistema de manufactura como un contenedor de recursos y lo precisan como un conjunto de definiciones y descripciones simbólicas. El cual se representa por los siguientes componentes: recursos, localización, gráfica de conectividad y facilitador. Esto se clarifica mediante la Fig.2.15 mostrada a continuación.

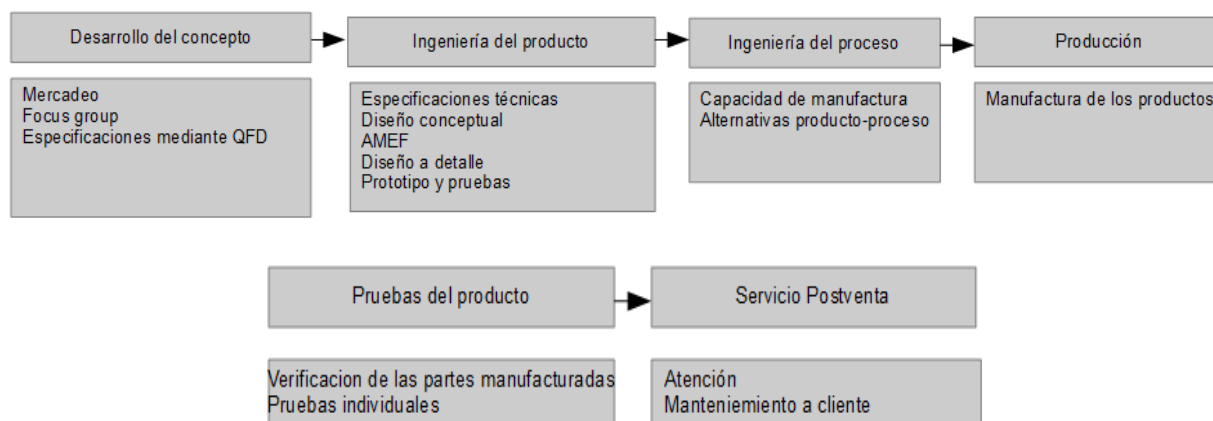


**Figura 2. 15.** Elementos de un sistema de manufactura como contendor de recursos.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Amaya y Bayuelo (2004) proponen una metodología para mejorar la ingeniería de producto/proceso basada en ingeniería concurrente la cual está orientada especialmente a la pequeña y mediana industria como una alternativa para el modelado dinámico del proceso de desarrollo del producto, la cual consta de 7 etapas que son: introducción, revisión de la dirección, diagnóstico, planeación, ejecución del proyecto, retroalimentación y mejora continua y finalmente expansión. De las etapas mencionadas; para fines de este trabajo se ha tomado la etapa de planeación; la cual consta de 6 sub etapas, que son: desarrollo del concepto, ingeniería del producto, ingeniería del proceso, producción, pruebas del producto y servicio postventa. (ver Figura 2.16.)





**Figura 2. 16.** Fases de la etapa de planeación propuesta por Amaya y Bayuelo (2004).

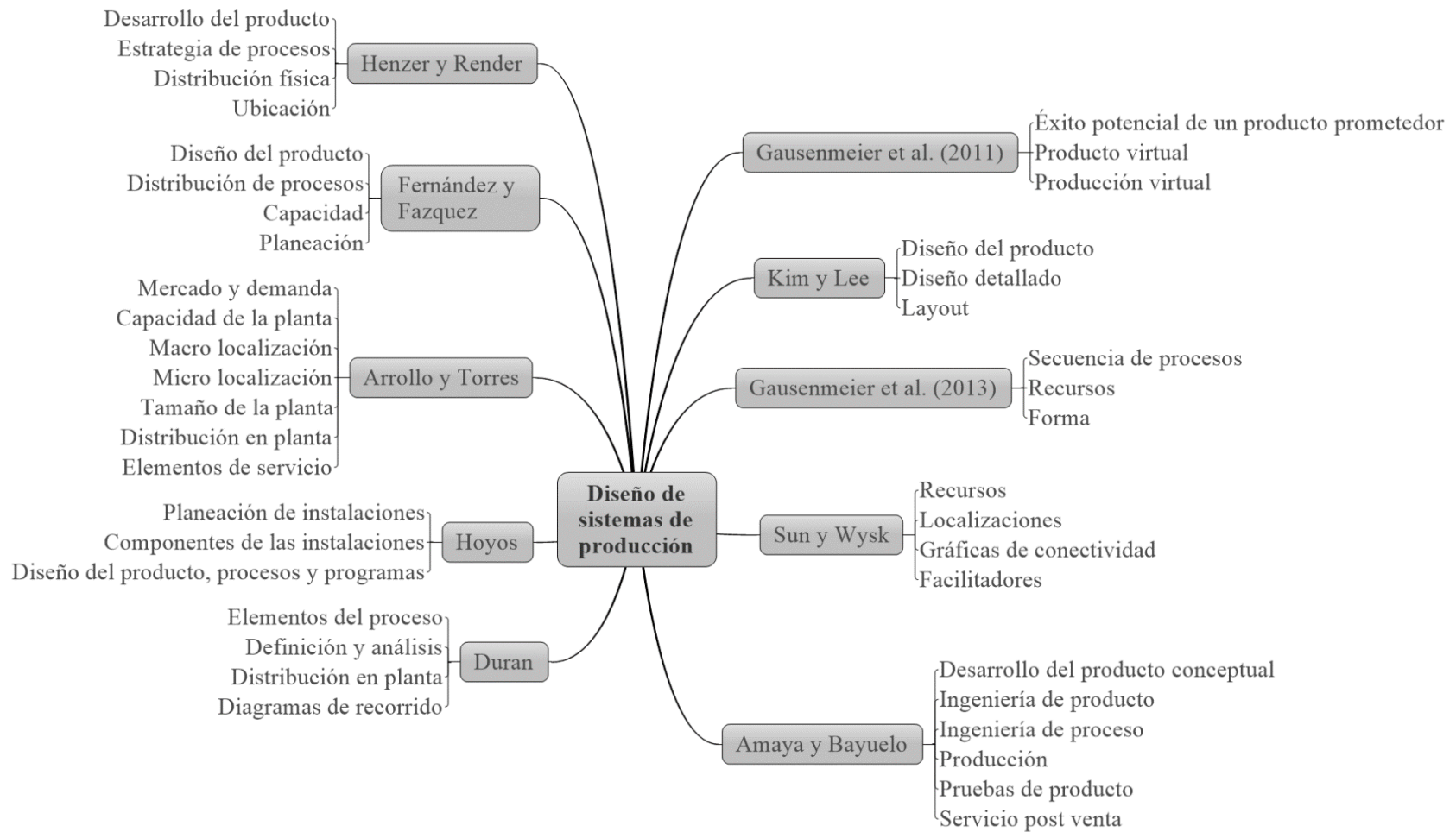
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

Hasta este punto se han revisado los elementos del diseño de sistemas de producción propuestos por algunos autores tanto en artículos como en publicaciones especiales, por lo que es conveniente realizar un análisis de los elementos generales que se proponen por los autores para obtener un panorama general de estos, para dicho fin se ha realizado un diagrama que resume los elementos generales y que se muestra mediante la Figura 2.17.

Para realizar la selección de los componentes que formarán parte del diseño conceptual del sistema se toma en cuenta lo que actualmente poseen los emprendedores de bicicletas eléctricas plegables a quienes se orienta este estudio. Quienes poseen un plan de negocios en el que se establece su demanda esperada, un área de trabajo definida, producto definitivo, planeación operativa inicial y evaluación económica. Con base en lo anterior se generaron los siguientes criterios de exclusión:

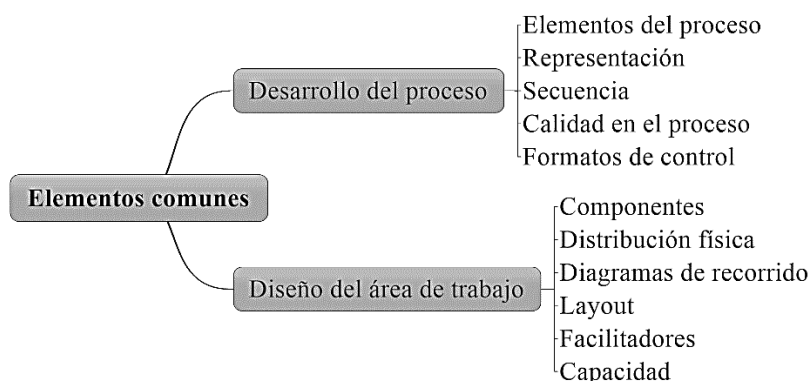
- Mercadotecnia
- Demanda esperada
- Desarrollo conceptual del producto
- Área de trabajo
- Planeación

Con base a los criterios de exclusión propuestos se seleccionan los elementos con los que se pretende desarrollar el modelo conceptual del sistema, mismos que se definirán brevemente en la sección 2.3.1 y 2.3.2. Considerando lo anterior los elementos restantes serán aquellos que correspondan con diseño de los procesos y distribución en planta tal como se muestra mediante la Figura 2.18.



**Figura 2. 17.** Cuadro comparativo sobre los elementos para el diseño de sistemas de producción de acuerdo a los autores citados.

**Fuente:** Elaboración propia (2017).



**Figura 2. 18.** Elementos que se tomarán en cuenta para el diseño del modelo conceptual.

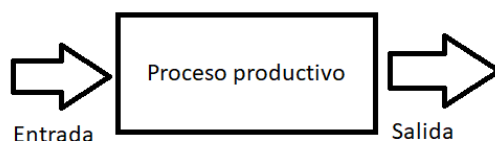
*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### 2.3.1. Desarrollo del proceso

#### 2.3.1.1. Elementos del proceso

De acuerdo con D'Alessio (2004) un proceso es un conjunto de actividades que transforman una entrada en salida (Figura 2.19), esto es transformar insumos en productos o bien recursos en resultados mediante la agregación de valor a la entrada para obtener una salida con valor agregado, lo cual consiste en la aplicación de procesos que mejoran el producto, por ejemplo, en el maquinado de un eje para bicicleta agregamos valor cuando tenemos una buena precisión en el roscado más no cuando lo transportamos de un área a otra.

Alting (1990) refiere que “un proceso se define como todo cambio en las propiedades de un objeto, incluyendo geometría, dureza, estado e información, donde para producir un cambio en sus propiedades son necesarios 3 elementos: material, energía e información”, también define que un proceso de manufactura es “una serie de procesos básicos que constituyen una estructura de flujo de material”, donde un proceso básico es toda actividad que genera cambios en la geometría o propiedades de los materiales (págs. 1-20).



**Figura 2. 19.** Modelo de caja.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Por otro lado, Alting (1990) establece la existencia de 3 tipos de procesos básicos:

- Procesos de preparación: conocidos como pre procesos.

- Procesos de formación: son procesos que permiten el cambio de propiedades.
- Procesos de post tratamiento: son sub procesos.

Asimismo, se fundamentan 3 categorías de procesos básicos:

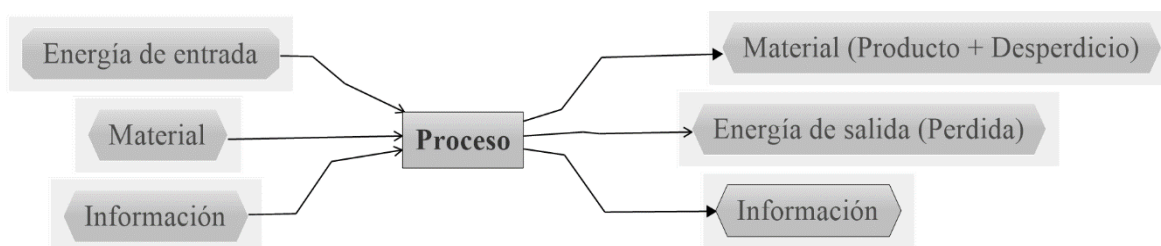
- Procesos mecánicos: procesos que permiten la deformación, fractura o flujo de material.
- Procesos térmicos: son los que permiten el cambio en las propiedades del material como cambios de estado mediante la manipulación de sus propiedades mediante variaciones de temperatura.
- Procesos químicos: son procesos que cambian la estructura interna o externa del material de trabajo como los recubrimientos, mediante la adición de sustancias diferentes.

De manera general clasifica los procesos de manufactura en 3 tipos:

- Procesos de conservación de masa: son aquellos en los que la masa a la salida es aproximadamente igual a la de entrada, lo que significa que:  $M_s \approx M_e$ .
- Procesos de reducción de masa: son aquellos en los que al realizar una actividad sobre estos generan 2 tipos de masa que son: masa final más desperdicio, esto es:  $M_e = M_F + \text{Desperdicio}$
- Procesos de unión o adición de masa: son aquellos en los que el producto final consiste en la adición de piezas o materiales, donde la masa final es la suma de las masas individuales, esto es:  $M_F = M_1 + M_2 + M_3 \dots \dots M_n$ . (Alting, 1990).

Analizando esto como un macro proceso de manufactura; tendremos un material inicial, una actividad que implica la aplicación de energía para llevar a cabo una transformación o cambio en las propiedades del material trabajado, información sobre la actividad a realizar, energía desperdiciada o utilizada, material resultante como desperdicio o cambio de forma e información sobre la forma final. De esto se deduce que los elementos del proceso son: material, información y energía. Esto se ejemplifica mediante la Fig.2.20.

**Nota:** Los términos  $M_s, M_e, M_F$ , se refieren a material a la salida, a la entrada y final o resultante, mientras que los términos  $M_1, \dots, M_n$  corresponden con componentes considerados como componentes de ensamblaje.



**Figura 2. 20.** Modelo general de los elementos de un proceso.

**Fuente:** Elaboración propia (2017).

### 2.3.1.2. Representación y secuencia

D'Alessio (2004) refiere que “los procesos y su secuencia se representan mediante diagramas de operaciones y mediante diagramas de flujo, donde el diagrama de operaciones es un conjunto de actividades que se realizan para producir el producto, en el que dichas actividades son: operaciones, transporte, inspección, retraso o espera y almacenamiento” (Ver Tabla 2.2). Los diagramas de flujo de operaciones representan la secuencia de los pasos o actividades de un proceso (Gutiérrez y De la Vara, 2009).

**Tabla 2. 2.** Elementos del diagrama de operaciones.

<b>Símbolo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
●	Operación	Indica las principales fases del proceso.
→	Transporte	Indica el movimiento de materiales.
▼	Inspección	Verifica la calidad.
■	Almacenamiento	Indica almacenamiento.
⬇	Demora	Indica espera.
◻	Actividad combinada	Indica actividades simultáneas.

**Fuente:** Elaboración propia (2017).

Los diagramas de flujo se arman mediante la interacción de un conjunto de elementos que son: óvalos: que indican el inicio y el final de un proceso, rectángulos que indican un proceso, rombos que indican una decisión, hojas, que indican documentos y cilindros que indican bases de datos. Por medio de este tipo de diagrama es posible ver en que consiste cada proceso y la forma en que se relacionan las diferentes actividades (Pulido y Salazar, 2009).

De acuerdo con Alting (1990), la secuencia se define como el tipo de flujo de material en un proceso productivo y puede haber 3 tipos que son:

- Flujo directo: correspondiente a los procesos de conservación de masa.

- Flujo divergente: correspondiente a los procesos de reducción de masa.
- Flujo convergente: correspondiente a los procesos de ensamble o unión.

### **2.3.1.3. Calidad en el proceso y formatos de control**

D'Alessio (2004) refiere que el desarrollo del sistema de producción se realiza de manera análoga al diseño del producto, en este punto es crucial contemplar la calidad del mismo (Taguchi y Pissano, 1994). La calidad en el proceso significa analizar cada una de las salidas obtenidas en busca de un factor medible, esto se obtiene mediante estadísticas, por lo que es necesario generar un documento en el que se registren ciertas incidencias que alteran el resultado final, en otras palabras, se definen criterios bajo los cuales la salida es rechazada o aceptada.

### **2.3.2. Diseño del área de trabajo**

#### **2.3.2.1. Recursos**

De acuerdo con Sun & Wysk (2001) los recursos son todo lo relacionado con la manufactura, es decir los componentes del área y los elementos facilitadores así como los servicios requeridos.

Los componentes del área de trabajo son las instalaciones, los procesos, la distribución del área cubica, esto contemplando aspectos como la mesa de trabajo, maquinaria de trabajo, distribución de herramental y componentes necesarios, iluminación, ventilación y el operador o bien la cantidad de operadores. Por facilitadores Sun y Wisk (2001) refieren que son los medios que permitirán el movimiento del producto o bien del material que se necesita para continuar a lo largo del proceso productivo, estos son: bandas transportadoras, charolas, vehículos móviles, montacargas o grúas radiales.

#### **2.3.2.2. Distribución de las instalaciones**

Uno de los aspectos principales en el diseño de un sistema de producción es la localización de los procesos productivos dentro de un área definida, así como el flujo que involucran y sus movimientos requeridos por lo que se debe ser muy cuidadoso al definir esta etapa (D' Alessio, 2002). Por otro lado, Groover (1997) refiere que la distribución en una planta implica la ordenación física de los elementos industriales, lo que incluye los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores, actividades o servicios y equipo de trabajo. La distribución en planta puede ser una instalación ya existente, un plan o bien un trabajo. Existen 3

tipos clásicos de distribución: fija, en línea y por producto, de las cuales se derivan diversas combinaciones generando 9 posibles combinaciones.

Primordialmente debemos definir el tipo de actividad que estamos realizando, por lo que cuando llevamos a cabo un cambio de forma deberemos referirlo como: elaboración (análogo de manufactura o fabricación), mientras que si hablamos de un cambio en las características lo llamaremos: tratamiento, finalmente si realizamos adición de materiales deberá nombrarse montaje (Groover, 1997).

A continuación, se describen los 3 tipos clásicos de distribución en planta propuestos por Groover (1997):

- **Distribución fija:** en este tipo de dispersión el bien producido permanece inamovible, mientras que todo el herramental, personal, maquinaria y componentes concurren a este, es decir las actividades se llevan a cabo con el componente principal estacionado.
- **Distribución por proceso:** también se conoce como distribución funcional, esta implica que todas las operaciones del mismo tipo se agrupan por su similitud dependiendo de la función o proceso que se lleva a cabo.
- **Distribución en línea:** también se conoce como cadena de montaje o línea por producto, en esta el producto se manufactura manteniéndose en movimiento dentro de un área, donde cada actividad se encuentra inmediatamente al lado de la anterior, por lo que cada equipo usado se encuentra ordenado con base en una secuencia de actividades bien definida.

Para realizar la distribución de los procesos en planta y generación de un layout D' Alessio (2002) refiere algunos criterios que son:

- **Integración total:** integrar en lo posible todos los factores que afectan la distribución, para obtener una visión del todo el conjunto y la importancia de cada factor.
- **Mínima distancia de recorrido:** visión general de todo el conjunto, se debe tratar en lo posible el manejo de materiales trazando el mejor flujo.
- **Utilización del espacio cúbico:** es muy útil cuando se tiene espacios reducidos y su utilización debe ser máxima.
- **Seguridad y bienestar para el trabajador:** objetivo principal de toda distribución.

- Flexibilidad: se debe tener una distribución fácilmente reajutable a los cambios que exija el medio.

### **2.3.2.3. Diagrama de recorrido**

Durán (2007) define el diagrama de recorrido como el estudio de trabajo necesario para conocer la trayectoria que siguen el personal y los materiales durante la jornada de labores, con la finalidad de registrar la información del movimiento. Este tipo de diagrama está totalmente ligado a la distribución en planta y a los diagramas de proceso. Para elaborarlo simplemente se debe observar el flujo lógico de operaciones y su dirección de movimiento, trazado con una línea el movimiento registrado. En la figura 2.21 se muestra un ejemplo de diagrama de recorrido de una planta de manufactura de pisos de madera.

### **2.3.2.4. Capacidad**

Arrollo & Torres (2011) refieren que una planta se diseña con el objetivo de satisfacer teóricamente una demanda de productos, por lo que el tamaño de esta se determina con base en la capacidad de producir un número determinado de unidades en un periodo de tiempo definido y que son ofrecidos al mercado. Siendo así; la capacidad se puede conceptualizar como el número de unidades que se pueden producir, almacenarse o producirse por unidad de tiempo. Donde esta establece el cumplimiento o no de la demanda dada.



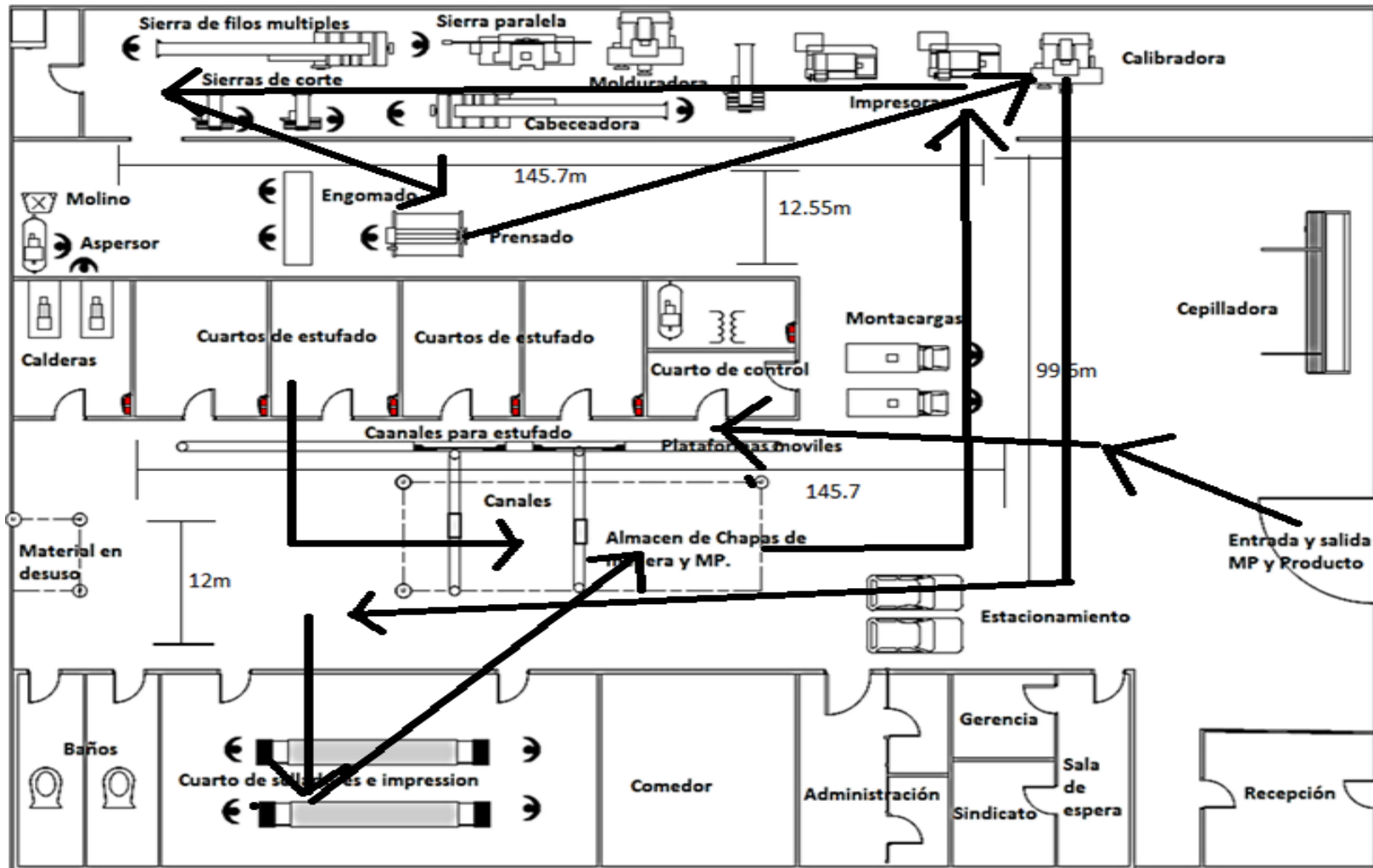


Figura 2. 21. Diagrama de recorrido de una empresa de pisos de madera. Fuente: Elaboración propia (2017).

## **2.4. Simulación de Eventos discretos**

### **2.4.1. Definición de simulación**

Tarifa (como se citó en Shannon, 1998) refiere que la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, a fin de conocer su comportamiento o bien evaluar estrategias de funcionamiento del sistema.

En enfoque DES (simulación de eventos discretos) una simulación es la imitación de un sistema o proceso del mundo real en el tiempo. Esto involucra la creación de una historia y su respectivo análisis para constatar las características operativas del sistema real (Banks et al., 1996) Esto indica que el enfoque DES se emplea para representar y estudiar eventos que ocurren en un lapso de tiempo determinado. Por otro lado, Pavan (2016) refiere que la simulación es una técnica de ingeniería y matemáticas que sirve para planear, implementar y operar sistemas técnicos complejos.

En este enfoque un modelo de simulación es desarrollado para determinar el comportamiento de un sistema en un periodo de tiempo, donde dicho modelo se construye a partir de un conjunto de suposiciones matemáticas, lógicas y de relaciones simbólicas entre entes de interés y cuando este es validado sirve para investigar una gran variedad de preguntas sobre el sistema real (Banks et al. 1996).

### **2.4.2. Simulación de procesos de manufactura utilizando el enfoque DES**

Longo et al. (2014) desarrollaron un modelo de simulación de sistemas de manufactura enfocado a la producción de mobiliario para escuelas y oficinas, esto para evaluar la rentabilidad económica que representaría la adquisición de nuevas máquinas automáticas para el departamento de pintura, así como el uso de algoritmos genéricos para investigar las órdenes de compra. El modelo contaba con una animación, secciones de entrada y salida que permiten el cambio de ciertos parámetros del sistema y un monitor de múltiples medidas de rendimiento. También estaba integrado con un optimizador que funcionaba mediante algoritmos genéticos. Finalmente se realizó un análisis económico con base en el periodo de recuperación.

Andi et al. (2016) presentaron y discutieron el desarrollo técnico de un componente de software para la simulación de entidades de manufactura. Dicho componente fue pensado para facilitar el dominio social del software de simulación existente, el cual integra la clásica perspectiva

económica y ambiental mediante el uso inherente de análisis de flujo de materiales (MFA) y la evaluación del ciclo de vida combinados en un solo enfoque de modelación.

Saad (2016) investigó los efectos de algunos aspectos relacionados con la variación de la demanda como el arribo de materiales, la variedad de productos y la variación en la mezcla de productos para identificar aquellas características que dentro de los sistemas de manufactura modular representan una ventaja ante estas perturbaciones, en este estudio la simulación basada en eventos discretos se utilizó para modelar un sistema de manufactura modular, también se utilizó un diseño estadístico de experimentos para identificar los factores que contribuyen al alto rendimiento del sistema.

Narayanan y Mathien (2016) desarrollaron un modelo de simulación de una fábrica de metales con 150 años de antigüedad y con un portafolio de producción de 1700 productos ofrecidos, el modelo se desarrolló utilizando la metodología DES y se empleó el software Anylogic®, debido a que permite un alto grado de abstracción, así como el uso de múltiples enfoques o modos de modelación, también se utilizó optimización. La finalidad de este trabajo fue optimizar las operaciones con base en el modelo, con este se pudieron obtener medias como lo son: la medición del rendimiento de cada máquina, los tiempos en el sistema, las colas de espera y su tiempo, la mezcla óptima del producto y los resultados durante diferentes periodos de tiempo, con esto se identificaron los cuellos de botella, diferentes configuraciones para mezcla del producto y tiempos requeridos y por supuesto se realizó un análisis económico en términos de presupuesto requerido con respecto a los resultados.

Diaz et al. (2013) desarrollaron un modelo de simulación para la evaluación de la implementación de estrategias de manufactura esbelta y verde mediante la simulación de eventos discretos, esto se realizó mediante 3 pasos que son: el modelado del estado actual del sistema, la optimización mediante las estrategias y finalmente su evaluación económica e implementación. Ellos tomaron un caso de estudio correspondiente a una fábrica de transmisiones de potencia con un índice de producción anual de hasta 230,000 unidades, mediante esto se realizó la selección de diversas estrategias que arrojaron un análisis de costos vs tiempos de producción para tres escenarios, que son: ideal, actual y obtenido mediante manufactura verde donde esta última indica que se puede reducir el tiempo de producción hasta en un 10.8%.

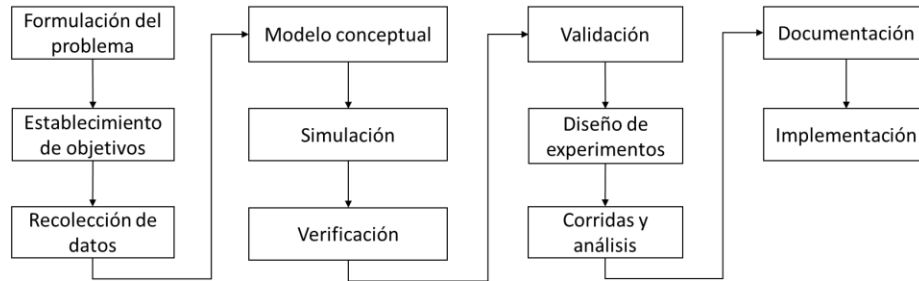
Perez et al. (2014) desarrollaron un modelo de simulación para predecir la fatiga muscular de los operadores de maquinaria mecánica con base en el ciclo biomecánico de carga y situaciones de eventos discretos mismas que se estudiarían empleando un modelado DES. Con esto pretendieron predecir y prevenir las situaciones relacionadas a la ejecución de un trabajo que podrían hacer que el operador involucrado genere resultados negativos. Para esto propusieron utilizar la simulación como una herramienta donde se pueden aplicar prácticas de ergonomía en cada etapa del diseño de un sistema incluyendo un enfoque fisiológico tomando en cuenta diversos modelos de recuperación y resistencia muscular. Aquí se tomó el caso de estudio de la planta Phillips y se realizó en las siguientes etapas: análisis del estado actual de la planta, de lo que se obtuvieron tiempos de tareas, posturas de realización, disposición de trabajo-estación, especificaciones técnicas y flujo de trabajo. Posteriormente, se realizó el estudio biomecánico para determinar el patrón de carga y los tiempos de carga pesada, seguidamente se realizó el modelo de simulación empleando el software Arena con esto se hizo un análisis de fatiga contra diversos modelos de recuperación y finalmente se obtuvieron gráficas que demuestran el índice de acumulación de fatiga.

### **2.4.3. Metodología DES**

En el presente trabajo se emplea la metodología DES propuesta por Banks et al. (1996) debido a que es de propósito general y es ampliamente reconocida además de contar con una gran cantidad de aplicaciones en la gran industria y de acuerdo con estadísticas de Scholar Google® ha sido citada hasta por 1493 personas. La razón de la selección de esta radica en que la manufactura y ensamblaje consisten en una serie de actividades realizadas en periodos de tiempo discretos o cortos.

El enfoque de eventos discretos facilita el estudio de operaciones que van desde un pequeño taller hasta una gran empresa debido a que permiten el estudio del comportamiento del sistema en función de sus componentes. De acuerdo con Affenzeller et al. (2015) la simulación de eventos discretos permite modelar escenarios de sistemas de producción y logísticos complejos e interrelacionados de una manera más sofisticada y realista.

La metodología propuesta por Banks et al. (1996) está integrada por los 12 pasos (ver Figura 2.22) que se definen a continuación:



**Figura 2. 22.** Metodología DES propuesta por Banks et al. (1996).

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### **Formulación del problema**

Se refiere al entendimiento del problema que un cliente dicta o bien al establecimiento de este mediante la simulación, donde en el primer caso se debe tener un cuidadoso entendimiento del problema que el cliente define y en el segundo se debe involucrar al cliente asegurando que este entienda dicho problema y está de acuerdo con la formulación.

### **Establecimiento de objetivos**

Esto se refiere al establecimiento de un propósito para realizar la simulación o bien las interrogantes que serán resueltas mediante esta, esto podría incluir el establecimiento de varios escenarios que se deseen estudiar.

### **Modelo conceptual**

Robinson et al (2008) refiere que un modelo conceptual el proceso de abstracción de un sistema real o uno propuesto, donde el modelador del sistema es el encargado de añadir o excluir partes dentro de este proceso. Por lo que este proceso se puede considerar un arte más que una ciencia (Banks et al., 1996).

Banks et al. (1996) refieren que un modelo conceptual es una abstracción de un sistema en estudio en el mundo real o bien una serie de relaciones lógicas o matemáticas correspondientes a los componentes y estructura del sistema. Por su parte Tarifa (2001) define el modelo conceptual como el arte de formular un modelo. De acuerdo con Pidd (2003) el principal problema en este proceso es abstraer una apropiada simplificación de la realidad.

### **Recolección de datos**

Esta etapa del proceso se refiere a la necesidad de recibir datos que permitan conocer ampliamente el comportamiento actual del sistema, normalmente son entregados por el cliente en un formato

electrónico. Cuando los datos son recolectados por el analista estos pueden ser un poco diferentes a lo esperado (Banks et al., 1966). En este sentido Tarifa (2001) nos refiere que los datos pueden ser obtenidos de registros históricos, experimentos de laboratorio bien mediante mediaciones realizadas en el sistema real. Donde los datos obtenidos deberán ser procesados adecuadamente para darles el formato conveniente para el desarrollo del modelo.

### **Simulación**

Esta etapa se refiere a la codificación del modelo en una computadora de una forma reconocible lo que menciona como un modelo operacional (Banks et al., 1996). Por su parte Tarifa (2001) concibe esta etapa como la implementación del modelo conceptual en una computadora implementación en software, mediante un lenguaje de programación específico mediante el uso de programas de cómputo especiales.

### **Verificación**

Este paso concierne al modelo operacional donde hay que responder a la pregunta: ¿Funciona correctamente?, en este caso se refiere a la tarea del analista del modelo de simulación de observar de forma continua el comportamiento de este mediante el uso de herramientas especiales con depuradores o controles de corrida (Banks et al., 1996). En esta etapa se verifica que no existan errores durante la implementación del modelo valiéndose de las herramientas de depuración provistas por el programador (Tarifa, 2001).

### **Validación**

Esto es determinar si el modelo actual es una precisa representación del sistema real, o bien el proceso de comparación del modelo y su comportamiento con el sistema real y su comportamiento en orden de hacer ajustes o bien calibrar el modelo (Banks et al., 1996). En este sentido también se cita que Naylor y Fighter (1967) proponen 3 enfoques para la validación que son:

Face Validity (Validación por el usuario o cliente): esto es cuando se construye un modelo que parezca razonable para el usuario o para las personas con conocimiento sobre el sistema real. Donde los involucrados pueden participar desde el desarrollo del modelo conceptual hasta la implementación.

Validación de suposiciones: esto es la validación de suposiciones a nivel estructural o bien a nivel de datos (Banks et al., 1996), donde en el primer caso podemos referirnos a la forma de ordenar

un proceso y en el segundo al conjunto de datos requeridos y su respectivo análisis por ejemplo pueden ser datos de tiempos de arribo o de servicio.

Validación de las transformaciones de entrada y salida: Esto se refiere a la facilidad del modelo para dar datos acertados del comportamiento futuro de este cuando lo sometemos a un cambio en algún punto. Los cambios que se pueden hacer deben ser mínimos y estar en términos de: cambio de parámetros numéricos, cambios de la distribución estadística o en la estructura lógica del sistema. Esto normalmente requiere de la comparación de 2 modelos que funcionan con las mismas condiciones de entrada donde se busca conocer la variación de las salidas de uno con respecto a otro (Banks et al., 1996).

### **Diseño experimental**

Para cada escenario simulado se necesita tomar decisiones como lo son: el tiempo de corrida la cantidad de corridas y la forma de iniciar (Banks et al., 1996). Tarifa (2001) refiere que en esta etapa no se deben incluir el conjunto de alternativas de las cuales se pretende seleccionar la mejor, ya que esto se puede obtener mediante la optimización.

### **Producción de corridas y análisis**

Es la experimentación y su análisis subsecuente para estimar las medidas de rendimiento para los escenarios que son simulados.

### **Documentación y reporte**

Esta etapa se refiere a la documentación de los resultados, así como la elaboración de un manual de usuario que permita la comprensión del funcionamiento del modelo (Banks et al., 1996).

### **Implementación**

Esta etapa se refiere a la implementación física del modelo de simulación donde el reporte mencionado en el paso anterior será una información adicional que el cliente tiene para la toma de decisiones.

*“Siempre parece imposible hasta que se realiza”*

*–Nelson Mandela.*



## Capítulo 3 Metodología

Para llevar a cabo este trabajo se empleó la metodología de simulación de eventos discretos propuesta por Banks et al. (1996) ilustrada mediante la Figura 2.22, a continuación, se describen las estrategias, técnicas y herramientas empleadas desde la recolección de datos hasta el análisis de resultados obtenidos en las corridas, los cuales involucran una serie de pasos específicos con los que se llevará a cabo la implementación del modelo conceptual en Anylogic®. Todos los elementos que se describen aquí se desarrollarán en el capítulo siguiente.

### 3.1. Formulación del problema

El problema en estudio corresponde con el indicado en la sección 1.3 del capítulo 1.

### 3.2. Establecimiento de objetivos

Se establecerá el objetivo de la simulación con la finalidad de dar solución al objetivo principal.

### 3.3. Recolección de datos

La recolección de datos se llevará a cabo mediante entrevista con los emprendedores de bicicletas eléctricas plegables, así como visita al lugar donde actualmente se labora, de lo que se obtendrá la siguiente información:

- Procesos actuales, mobiliario y maquinaria disponibles
- Condiciones del espacio, limitaciones y forma del terreno
- Posible forma de entrada y salida del material

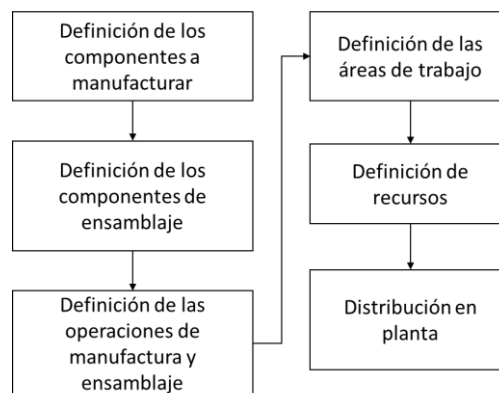
### 3.4. Modelo conceptual

Con base en la información recolectada, para el diseño de los procesos se emplearon:

- Listas de componentes totales: desarrolladas a partir la observación de los elementos que conforman el producto a manufacturar.
- Listas de componentes adquiridos y manufacturados: esta se desarrollará con respecto a la lista anterior separando los componentes que se elaborarán y aquellos que se comprarán.
- Listas de componentes manufacturados y procesos requeridos: obtenida a partir de la lista anterior, designando los procesos requeridos para la obtención de los componentes en esta.

- Diagramas de flujo de operaciones: se elaborarán mediante la definición de las operaciones de manufactura, montaje, transporte e inspección.
- Diagramas de flujo para procesos individuales y procesos generales: se elaborarán con respecto al diagrama anterior de manera general englobando todos los procesos y posteriormente de forma individual.
- Diagrama de distribución: este se realiza con base en el diagrama de dimensiones o esquema de la planta y los criterios dispuestos por D'Alessio (2002) así como los principios para selección de distribución propuestos por Groover (1997) y asimismo se toman en cuenta las investigaciones de Cherry et al. (2007) en su investigación y Brown (2016) respecto al tipo de distribución de las plantas de e-bikes.
- Diagramas de rutas: Se realizan con base en lo descrito por Duran (2007) así como el layout obtenido en la sección anterior.
- Tabla de recursos necesarios por proceso: se realiza con base en el layout, así como el diagrama de operaciones en busca de establecer cuáles serán los elementos requeridos para cada proceso.

La estructura se puede observar mediante la figura mostrada a continuación:



*Figura 3. 1.* Diagrama para diseño de los procesos y distribución en planta.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### 3.5. Verificación del modelo

Para la verificación del modelo se empleará la consola de depuración incluida en Anylogic® en busca de errores de código relacionados al proceso, de la misma manera se hará uso de la animación 3D para corroborar el flujo de las operaciones.

### 3.6. Validación

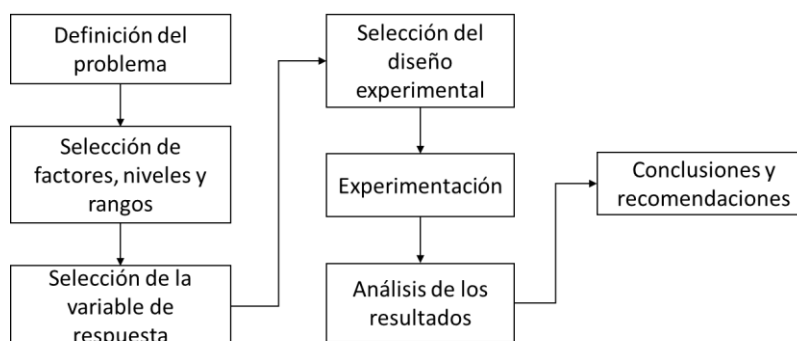
La validación del modelo se realizará mediante la técnica *face validation* en la cual mediante una entrevista con el área usuaria EBEP se verificarán los aspectos mostrados en la tabla siguiente:

<i>Tabla 3. 1</i> Interrogantes para validación del modelo.		
No.	Interrogante	Si No
1	¿El diagrama de flujo representa todas las operaciones necesarias para manufacturar una e-bike?	
2	¿El comportamiento del sistema en el software es acorde al diagrama de flujo?	
3	¿Se hace buen uso del espacio?	
4	¿Se observan facilitadores de transporte?	
5	¿El modelo muestra errores lógicos?	

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### 3.7. Diseño de experimentos

Este paso se llevará a cabo siguiendo la metodología propuesta por Montgomery (2004) tomando en cuenta los pasos desde definición del problema hasta análisis de resultados, cabe hacer hincapié que las categorías: experimentación y análisis de resultados se estudiaran como una con su categoría correspondiente en la metodología DES. (ver Figura 3.2)



*Figura 3. 2.* Diagrama para diseño de los procesos y distribución en planta.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

#### 3.7.1. Definición del problema

En esta etapa se definirán las incógnitas a resolver mediante la realización de los experimentos, con base en el objetivo de la simulación y los factores en estudio.

### **3.7.2. Selección de los factores, niveles y rangos**

En este apartado se realiza la selección de las variables que ejercen un cambio en el sistema y que se relacionan con los más grandes tiempos de procesos, así como las variables de respuesta que permitirán el análisis del uso de los recursos y producción final. Los valores de rango o altos y bajos se establecerán con respecto a la información recabada durante la recolección de datos.

### **3.7.3. Selección de la variable de respuesta**

Con base en la sección anterior se definirá cual es la variable que representa el número de bicicletas terminadas.

### **3.7.4. Selección del tipo de diseño experimental**

El diseño que se trabajará es factorial  $2^K$  debido a que los parámetros del modelo poseen valores altos y bajos, el número de factores a estudiar se representará mediante  $K$  y sustituyéndolo en la ecuación  $2^K$  se obtendrá el número de experimentos necesarios. El orden de los experimentos será aleatorio y se realizará con respecto a una tabla de combinaciones binarias la cual facilita la colocación e identificación de los valores en diferentes posiciones. De acuerdo con Montgomery (2004) un diseño factorial se usa cuando en un experimento tenemos la acción de diversos factores. En este estudiamos las combinaciones posibles entre los valores alto y bajo de los factores de interés. Por otro lado, nos menciona que un factor se define como el cambio en la respuesta final debido a un cambio de nivel en los valores.

## **3.8. Corridas y análisis**

Esta etapa se llevará a cabo realizando cambios en los valores altos y bajos de los factores seleccionados siguiendo el orden establecido mediante la tabla anterior, asignando variables cuyo valor puede ser cambiando dentro de la simulación en Anylogic®, posteriormente se los resultados se vaciarán en las variables de respuesta correspondientes dentro de la tabla anterior.

La tabla de corridas se ingresará en el software Minitab® y se llevará a cabo un análisis de efectos principales para conocer el comportamiento y afección de una variable sobre el resto a lo largo de la experimentación, lo cual permitirá conocer que variables son las que más influyen en el resultado final del sistema. Posteriormente se realizará un análisis de diseño factorial el cual permite obtener una ecuación que representa el comportamiento del sistema, misma que se empleará en la sección de optimización con la finalidad de encontrar los mejores valores. Como último paso se llevará a cabo un análisis estadístico de frecuencias sobre los valores obtenidos mediante las corridas en

términos de productos finales y se representará mediante gráficas de resultados y de frecuencia con la finalidad de dar respuesta a la pregunta problema.

### **3.9. Conclusiones**

Se establecerán los valores con los que el sistema obtiene la demanda y con los cuales la supera.

**Nota:** Las secciones 3.8 y 3.9 se llevarán a cabo como componentes equivalentes en la metodología DES.

*“No basta saber, se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer”*

*–Goethe.*

## Capítulo 4 Implementación en software mediante el enfoque DES

### 4.1. Formulación del problema

Los emprendedores de bicicletas eléctricas plegables se enfrentan a la falta de conocimientos sobre herramientas teórico metodológicas que les apoyen durante el diseño e implementación de su sistema de producción y que les permitan maximizar producción en términos unidades por mes para permitirles incrementar su duración en el mercado.

¿Cómo favorece el acceso a conocimientos, herramientas y temas acerca de diseño e implementación de sistemas productivos en el caso de emprendimiento de un sistema de producción de bicicletas eléctricas plegables?

### 4.2. Objetivo de la implementación en Anylogic®

El objetivo del modelo de simulación es representar el comportamiento de un sistema real de producción de BEP para realizar el análisis de uso de recursos y detectar cuellos de botella, con la finalidad de maximizar la producción. Con esto se solucionarán las interrogantes: ¿Cuáles son las variables con las que el modelo es más sensible?, ¿Cuáles son las variables que afectan la salida del sistema?, ¿Cuál es la máxima cantidad de BE que se pueden producir mensualmente?, ¿Cuáles son los valores con los que se satisface la demanda? Y ¿Cuáles son tiempos óptimos?

### 4.3. Recolección de datos

Durante la visita a la planta se realizó una entrevista con los emprendedores de bicicletas eléctricas donde se obtuvo información sobre:

#### 4.3.1. Maquinaria

Los procesos se llevan a cabo de manera artesanal y se cuenta con los siguientes equipos:

- 2 cortadoras una para aluminio y otra de propósito general.
- 1 planta de soldadura de aluminio para el ensamblaje del marco.
- 1 torno para generar ejes, masas principalmente, ranurados, desbaste o para hacer perforaciones de precisión.
- 1 taladro de banco para hacer perforaciones sencillas.
- 1 compresor para inflar las ruedas.

- 2 dobladoras de tubos una para aluminio y otra para acero.

#### **4.3.2. Equipo o mobiliario**

El mobiliario disponible es improvisado y corresponde con:

- 1 mesa larga para cortes.
- 1 soporte para soldadura pequeño.
- 1 bancada para taladro.
- 1 soporte para armado de rin.

#### **4.3.3. Procesos actuales**

Actualmente se tienen los siguientes procesos:

- Ensamblaje: para ruedas, cuadro y componentes generales.
- Torneado: para generar masas.
- Doblado y aplicación de fuerza: para las barras del cuadro.
- Corte: para barras del marco y materia prima general.

#### **4.3.4. Orden de los procesos**

El orden no se ha establecido ya que solo se montan los componentes y se realizan los cortes y armado del marco.

#### **4.3.5. Tiempos de los procesos**

Mediante entrevista se obtuvieron los siguientes rangos de tiempo de procesos que corresponden con valores mínimos y máximos.

- Tiempo de torneado: 0.5-1.5 h.
- Tiempo de ensamblaje de ruedas: 2 h.
- Tiempo de doblado: 0.5h.
- Tiempo de soldadura: 1-1.5h.
- Tiempo de ensamblaje mecánico: 0.5h.
- Tiempo de ensamblaje de frenos y desviadores: 0.5h.
- Tiempo de ensamblaje eléctrico: 0.5-1h.
- Tiempo de Corte de aluminio: 0.5h.
- Tiempo de Corte general: 0.5h.



#### 4.3.6. Demanda esperada

Se desea producir al menos una bicicleta diaria, esto es trabajando 5 días a la semana, 8 horas diarias, por lo tanto, tenemos una producción mensual esperada de 20 BE.

#### 4.3.7. Terreno

El terreno se encuentra en una colina, cuenta con 2 plantas, donde la primera será solamente administrativa, mientras que la segunda será la operativa y actualmente se encuentra en proceso de construcción. Los interesados han decidido designar una parte del área de la segunda planta para realizar los procesos (ver Figura 4.1) cuyas dimensiones son: 7.5 (m) X 4 (m) + 4 (m)X 3.75 (m) dando un área de 45 m<sup>2</sup>. Los EBEP optaron por que la planta citada para producción fuese tal en razón a que de momento la planta inferior también sirve como área de elaboración de otros bienes de momento. La planta cuenta con una ventana larga y dos entradas: una interna que sirve como acceso a un área de descanso y otra como entrada general.

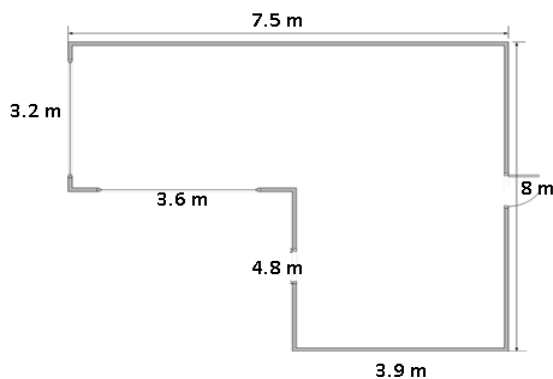
#### 4.3.8. Operarios disponibles

De momento se cuenta con 4 operarios, específicamente los dueños.

#### 4.3.9. Necesidades

De acuerdo con la entrevista llevada a cabo se obtuvieron las necesidades de los emprendedores de bicicletas eléctricas plegables y son las siguientes:

- Diseñar los procesos y ordenar la maquinaria.
- Aprovechar el espacio.
- Establecer el mobiliario y medios de transporte necesarios.



*Figura 4. 1.* Forma de la planta y dimensiones.  
*Fuente:* Elaboración propia (2017).

## 4.4. Modelo conceptual

En el presente capítulo se desarrolla el modelo conceptual del sistema de manufactura de bicicletas eléctricas con los elementos de un sistema de producción que se definieron en el capítulo 2 con respecto al análisis de las necesidades del área usuaria.

### 4.4.1. Desarrollo de los procesos

En esta primera etapa se toman en cuenta todos los componentes requeridos para la construcción del bien a manufacturar, así como las especificaciones técnicas de este proporcionadas por el área usuaria (como concepto de la definición del producto). El producto a desarrollar es una bicicleta eléctrica plegable, que se muestra en la Figura 4.2, las especificaciones del producto se muestran en la Tabla 4.1.



*Figura 4. 2.* E-bike a manufacturar.  
*Fuente:* Elaboración de Martínez y Riviera (2017).

*Tabla 4. 1.* Especificaciones técnicas del producto.

Especificaciones técnicas	Valor
Autonomía	30 km
Batería	Iones de litio
Tiempo de recarga	3 h
Máxima velocidad	25 km/h
Peso soportado	90 kg
Material del marco	Aluminio
Rodada de Rin	22"
Tipo de Frenos	Disco

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

#### 4.4.1.1. Elementos del proceso

Ya conocidas las especificaciones del producto a desarrollar se procede a realizar la lista de los componentes generales que se requieren para la construcción de este, esta lista se muestra mediante

la Tabla 4.2, cuya utilidad es la clasificación de los componentes generales con respecto a su cantidad y el medio de obtención, pudiendo ser adquiridos o bien manufacturados. A continuación, con base en la tabla mencionada se definen cuáles son los elementos que se van a manufacturar y cuales los que se van a comprar, mismos que formarán parte de la lista de inventario. Esto se muestra mediante la Tabla 4.3.

**Tabla 4. 2.** Componentes generales de la BEP donde M=manufacturado, A=Adquirido y C=cantidad.

No.	Ítem	C	M	A	No	Ítem	C	M	A
1	Marco	1	X		21	Desviador trasero	1		X
2	Manubrio	1		X	22	Desviador delantero	1		X
3	Tijera	1	X		23	Estrella delantera	1		X
4	Llantas	2		X	24	Protector de estrella delantera	1		X
5	Rines	2		X	25	Eje delantero	1		X
6	Protector de cámara	2		X	26	Eje trasero	1		X
7	Cámara	2		X	27	Eje de la estrella delantera	1		X
8	Masa delantera	1	X		28	Palancas de freno	2		X
9	Masa trasera	1	X		29	Acelerador	1		X
10	Freno de disco trasero	1		X	30	Interfaz de control	1		X
11	Freno de disco delantero	1		X	31	Engrane del motor	1		X
12	Cadena	1		X	32	Base del motor	1		X
13	Pedales	2		X	33	Motor	1		X
14	Asiento	1		X	34	Cable conductor	4		X
15	Batería	1		X	35	Chicotes	4		X
16	Base de la batería	1		X	36	Cubierta de cable tensor	4		X
17	Seguro de giro	1		X	37	Rayos	72		X
18	Piñón	1		X	38	Reflectores	2		X
19	Regulador de altura del asiento	1		X	39	Tornillos diversos	15		X
20	Amortiguador	1		X					

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Mediante la Tabla 4.3 se muestran los elementos generales que se manufacturaran y la cantidad requerida, donde se aprecia que existen primordialmente 4 elementos manufacturados que son: el cuadro, la tijera y las masas. Ahora que se conoce cuáles son los componentes que se manufacturarán es necesario definir cuáles son las operaciones de ensamblaje que se requieren recalcando que la manufactura de bicicletas eléctricas es en su mayoría un conjunto de procesos de ensamblaje (Cherry et al., 2007), así como el proceso de manufactura que requieren en su caso,

como una pauta para la definición de las operaciones que se tomarán como parte de los elementos del proceso. Esto se deduce mediante el uso de la Tabla 4.4.

*Tabla 4. 3.* Elementos a manufacturar.

No.	Ítem	Cantidad
1	Cuadro	1
2	Tijera	1
3	Masa delantera	1
4	Masa trasera	1

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

*Tabla 4. 4.* Áreas preliminares.

No.	Elemento	Ensamblaje	Proceso de manufactura
1	Cuadro	Unión mediante ensamble mecánico	Soldadura, Deformación mecánica, Corte, Barrenado.
2	Ruedas	Unión mediante ensamble mecánico	Torneado de masas
3	Sistema de potencia mecánica	Unión mediante ensamble mecánico	N/A
4	Sistema de potencia eléctrica	Unión mediante ensamble mecánico	N/A
5	Sistema de frenado	Unión mediante ensamble mecánico	N/A

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

De la tabla anterior se pueden deducir algunas zonas o unidades de ensamblaje específico que formarán parte del layout, en tanto a la distribución de los procesos en la planta. Por lo que tenemos áreas de Torneado, soldadura, deformación de material, corte de material, Perforación o barrenado, ensamblajes de: cuadro, ruedas, potencia mecánica, potencia eléctrica y frenado.

#### 4.4.1.2. Representación y secuencia

De acuerdo con Durán (2016) los procesos se representan en términos de Operaciones, transporte, almacenamiento, inspección, demora o actividades combinadas, para lo cual se utiliza una tabla de elementos (Tabla 4.5) donde las operaciones corresponden a actividades de ensamblaje, transporte se traduce en el movimiento de un elemento a otro punto, la inspección corresponde a la revisión de la calidad del producto de cada proceso individual, el almacenamiento corresponde al acomodo del producto final en un área contenedora y finalmente la demora es el equivalente al

tiempo que se retrasa un producto debido a una operación independiente, en este caso esto es el equivalente al proceso subrogado de pintura, la cual se realiza por un experto con la infraestructura adecuada. La secuencia de los procesos se representa mediante diagramas de flujo, para esto se debe mapear el proceso de fabricación o bien de ensamblaje de cada uno de los elementos de mencionados en la tabla anterior, con la finalidad de obtener el mapa de procesos a nivel micro que nos darán pauta para generar el macro proceso.

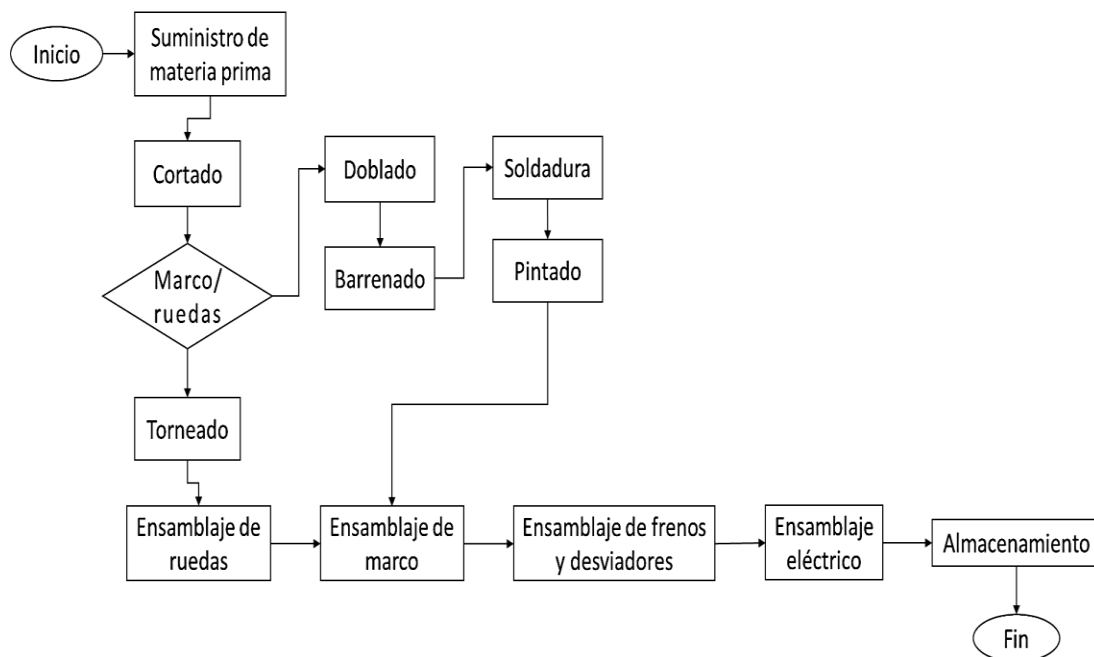
**Tabla 4. 5.** Diagrama de flujo de operaciones.

	Ensamble	Transporte	Inspección	Almacenamiento	Demora
Elemento	●	➔	■	▼	■
Cuadro	X	X	X		X
Ruedas	X	X	X	X	
S. P. Mecánica	X	X	X		
S: P. Eléctrica	X	X	X	X	
S. -Frenado	X	X	X		

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

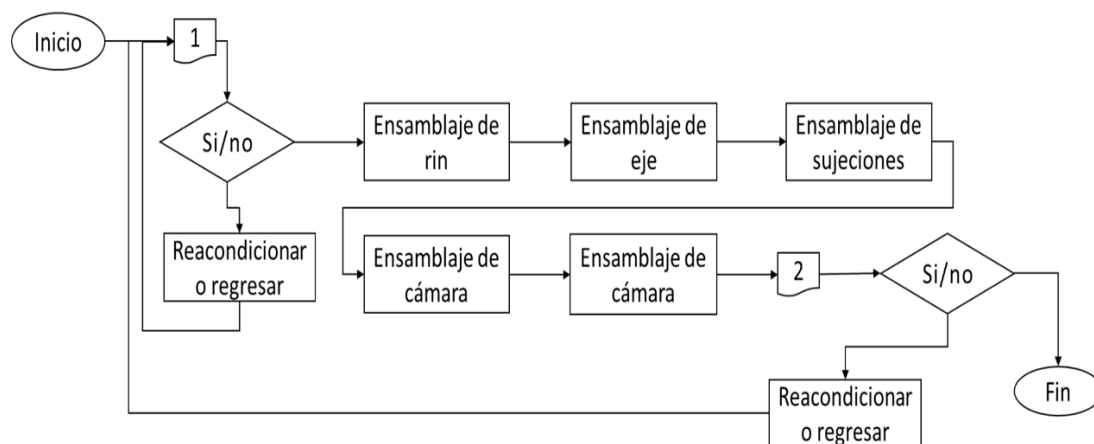
En la Fig.4.3 se muestran las operaciones de manufactura y ensamblaje llevadas a cabo para fabricar una bicicleta completa, donde proceso inicia con el despacho de materiales, seguidamente los cortes de materia prima para ensamblaje de marco y al mismo tiempo de torneado de las masas de las ruedas, posteriormente inician los procesos de ensamblaje para ruedas, armado de cuadro, frenos y desviadores y finalmente de componentes eléctricos.

En la Fig.4.4 se muestra el diagrama de ensamblaje de las ruedas, donde se puede observar que el proceso inicia con la revisión de la calidad de los componentes, donde de ser ésta aprobatoria, se inicia con el ensamblaje de rin, posteriormente se colocan el eje, las sujeciones, la cámara, y finalmente se coloca la llanta. Al finalizar el ensamblaje se verifica si este funciona adecuadamente y de no ser así se revisará desde el principio. Los números 1 y 2 significan revisión de la calidad de los componentes en el inicio y su correcto funcionamiento y montaje respectivamente.



**Figura 4. 3.**Diagrama de flujo completo.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

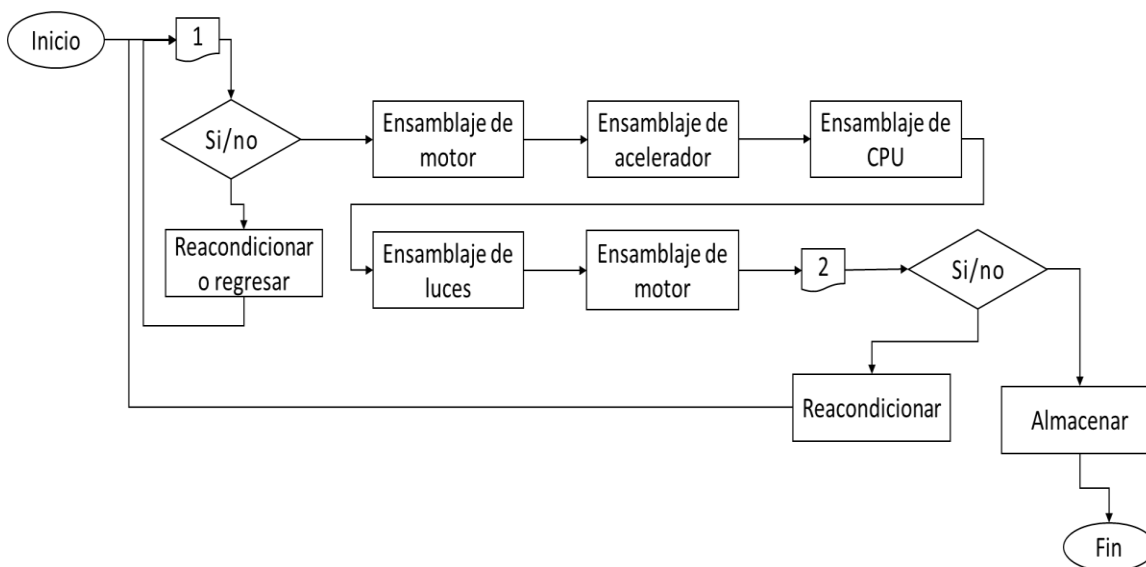


**Figura 4. 4.**Diagrama de ensamblaje de ruedas.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

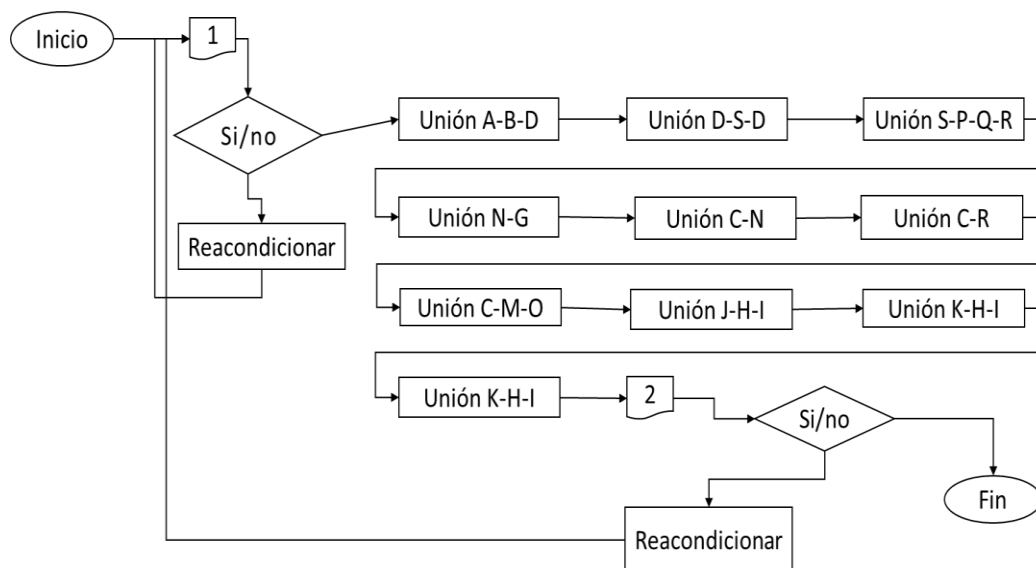
En la Figura 4.5 se muestra el diagrama de ensamblaje eléctrico mediante el cual se definen todos los elementos que forman parte de proceso de ensamble del mismo tipo, donde se inicia con la revisión de la calidad adecuada de los componentes, posteriormente se inicia con la instalación de la batería, lámpara, CPU, cables conductores, acelerador y finalmente el motor. Al término de este ensamblaje se revisa que todo funcione adecuadamente, de no ser así se corregirá revisando desde el principio dependiendo del problema encontrado. Los números 1 y 2 significan revisión de la calidad de los componentes en el inicio y su correcto funcionamiento y montaje respectivamente.

En la Figura 4.6 se muestra el diagrama de soldadura del marco de la BE, en este se especifican todas las partes que conforman el marco y sus puntos de unión, esto corresponde a la separación de los elementos en secciones a las cuales se les ha asignado una letra, donde se busca que cada letra corresponda con la que se ha indicado. Aquí al igual que en los casos anteriores se han agregado números 1 y 2 que significan puntos de revisión de calidad para tubos de soldadura de marco y marco soldado, respectivamente.



**Figura 4. 5.** Diagrama de ensamblaje eléctrico.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

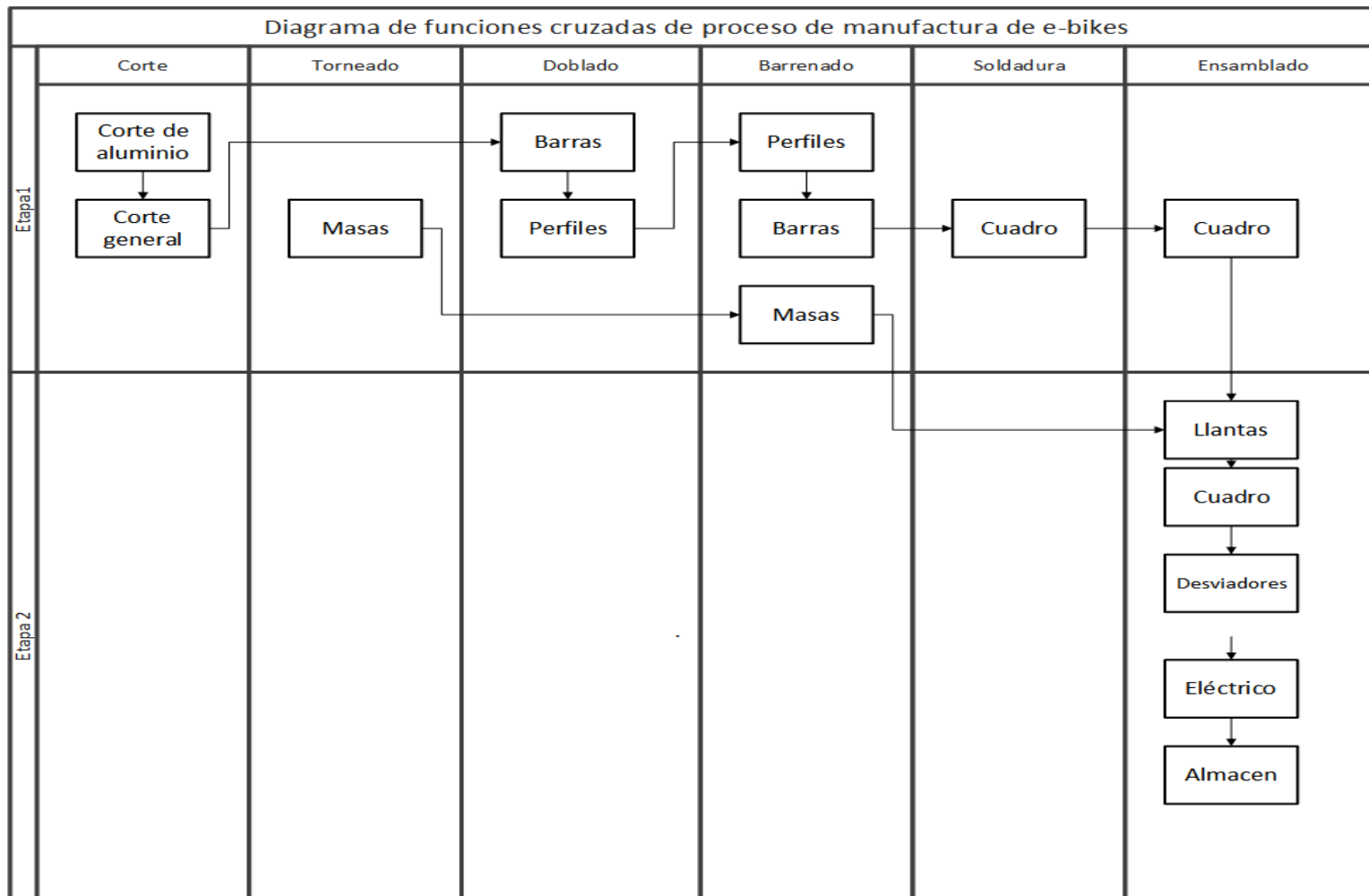


**Figura 4. 6.** Diagrama de ensamblaje de cuadro.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Mediante el diagrama de funciones cruzadas se define el orden lógico que seguirán los distintos procesos, esto dará pauta a la distribución de estos en la planta, así como los elementos involucrados en esta como lo son: mobiliario, operarios, herramientas, mesas, ventiladores, etc. Esto se muestra en la Fig. 4.7. Desde otra perspectiva este diagrama representa el conjunto de procesos productivos mediante los que se obtienen las bicicletas eléctricas, esto significa que tenemos un macro proceso. El cual involucra las áreas de corte de materiales, torneado, doblado de tubos, barrenado, soldadura y ensamblajes. Aquí cada operación inicia en un punto y termina en otro de manera ordenada, es decir, siguiendo una secuencia. Como puede observarse, con base en la figura previamente citada, el macro proceso se inicia con el corte de los tubos y con el maquinado de las masas, en el primer caso se principia con el corte de material general, posteriormente corte de aluminio, doblado de los materiales cortados, barrenado y soldadura del cuadro. En el caso de las masas, al estar listas se envían al ensamblaje de ruedas. Cuando el cuadro está listo se envía al ensamblaje de cuadros y posteriormente al área de ensamblaje de frenos y desviadores y finalmente a la de ensamblaje eléctrico como proceso final.





*Figura 4. 7.* Macro-procesos.  
*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### 4.4.1.3. Calidad en el proceso y formatos de control

El apartado de calidad en el proceso se puede observar en los diagramas anteriores, donde al inicio de cada operación se coloca un punto de inspección al igual que al final de cada una. En estos puntos se establece un formato de control, que condiciona la calidad mostrada o percibida en el insumo, donde se verifica si es útil o no, de ser útil se continúa el proceso y de no serlo se cambia de material. En los puntos finales se verifica que por ejemplo en el ensamblaje de la rueda esta muestre un movimiento correcto libre de vibraciones y de cumplir se almacena para ensamblaje o se revisa. En los Anexos A1-A9 se muestran las tablas de control de calidad para cada una de las operaciones realizadas.

### 4.4.2. Diseño del área de trabajo

#### 4.4.2.1. Recursos

Con base en el diagrama de flujo se determinan que existen 11 áreas de las cuales son 6 para manufactura mientras 4 son de montaje y una de almacenamiento, tomando esto en cuenta se revisaron de manera individual dichas áreas resultantes y sus respectivos procesos, con esto se determinan los elementos que formarán parte de la planta. Esto se observa mediante la tabla A10 mostrada en anexos.

A partir de la Tabla A10 se obtuvo el número total de recursos necesarios para todos los procesos de manufactura y montaje, a continuación, mediante la Tabla 4.6 se muestran los elementos totales:

*Tabla 4. 6.* Recursos necesarios para el SPBEP.

4 bandas	3 rieles	2 dobladoras	11 lámparas
13 letreros	4 botes de basura	1 taladro de banco	1 prensa
10 estantes	1 carro	1 planta soldadora	
7 charolas	11 mesas	1 torno	
4 bancos de montaje	2 cortadoras	2 extintores	

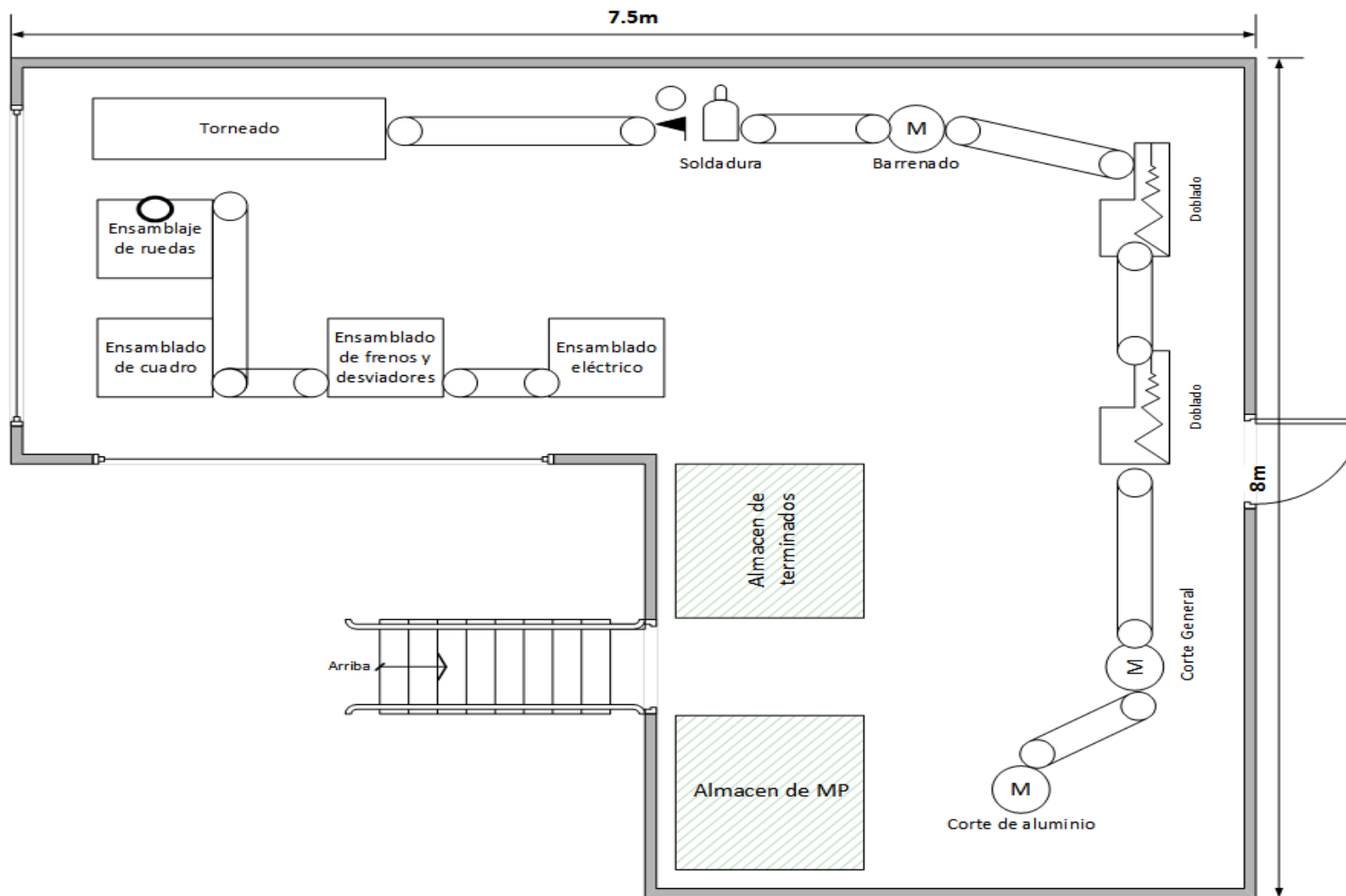
*Fuente:* Elaboración propia (2017).

#### 4.4.2.2. Distribución

La mayor parte del proceso productivo consta de ensamblajes, que se dan de manera secuencial por lo que se tendrá una línea de montaje que funciona de manera análoga a los procesos de corte y deformación, que podrá producir BE y bicicletas convencionales, debido a la similitud de los procesos y el orden establecido es decir el sistema será flexible. Para esto se tomarán en cuenta las condiciones del lugar propuesto para ser la futura planta, del cual se obtienen las medidas y la forma, así como los puntos de entrada y salida existentes.

Mediante la información y las medidas del lugar se creó una plantilla con la forma y dimensiones del lugar, donde se observa que la forma de terreno y su orientación es una L inversa con medidas de 7.5m de ancho por 8m de largo y cuenta con una entrada en la parte inferior y una ventana localizada en su parte superior media, en el lado derecho cuenta con una puerta que conecta con una sala de descanso y cocina propuesta por los usuarios de la planta. Mediante la Figura 4.8 Se muestra el layout final, en el cual se observa la mejor distribución de la maquinaria en el área, el cual contempla áreas de corte, doblado, barrenado, soldadura, ensamblajes de tipo mecánico, eléctrico, de ruedas, de frenos y desviadores, así como almacenes de materia prima y productos terminados. En este caso se puede apreciar que existe un flujo lineal desde la entrada hasta la salida y la maquinaria está colocada en lugares donde no se requiere hacer más que un movimiento para pasar de una sección a otra.

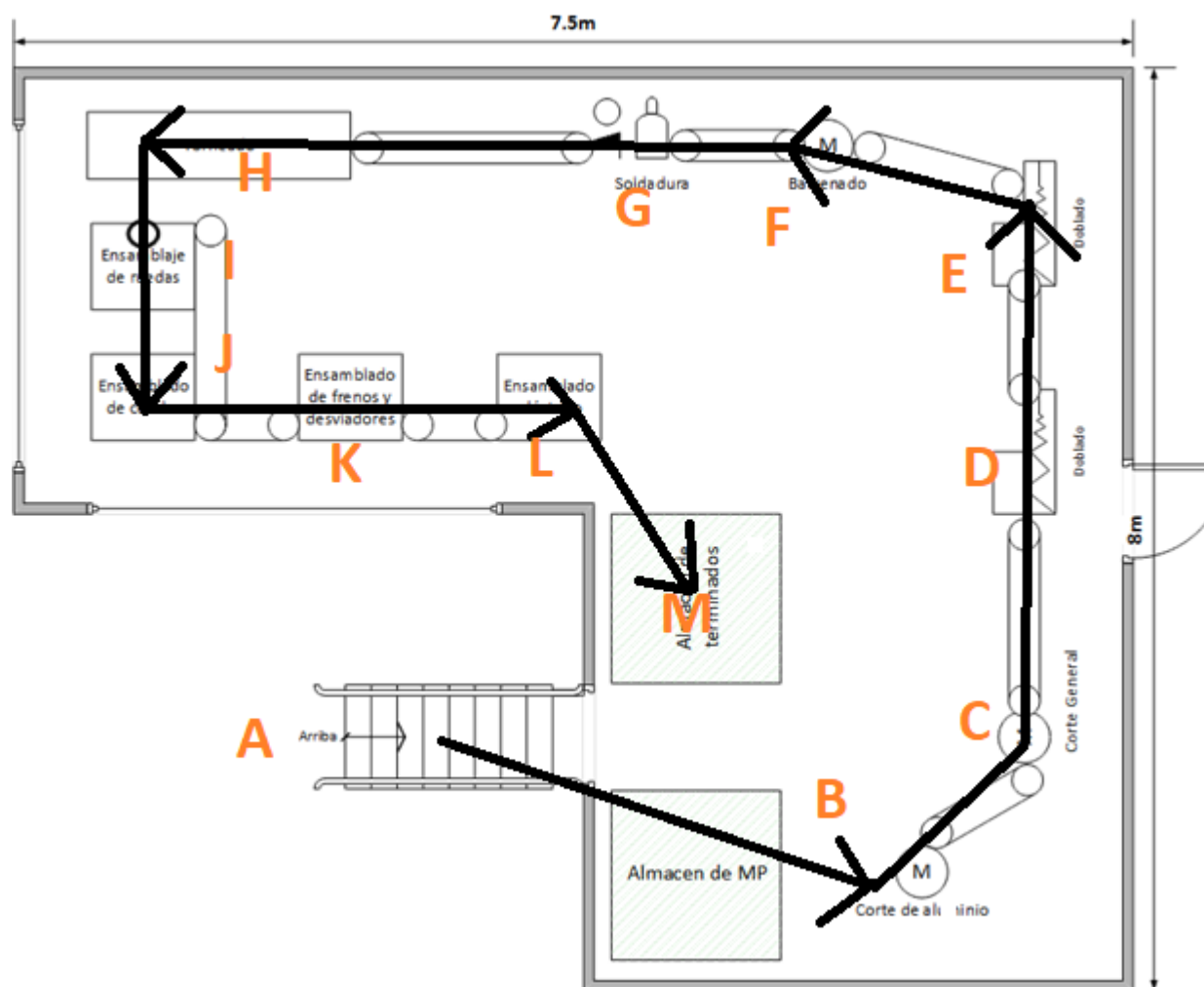
## Layout final



**Figura 4. 8.** Distribución en planta.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

## Diagrama de rutas

En la Fig. 4.9 Se muestra el diagrama de recorrido que seguirán los procesos de ensamblaje de BE, donde se puede apreciar que se sigue un flujo continuo a lo largo de la línea de ensamblaje, por lo que la cantidad de movimientos repetitivos es mínima, aquí se pueden apreciar mediante letras cada una de las células de trabajo a lo largo de la línea de ensamblaje. Como lo la letra A la dirección de entrada va hacia el frente y sigue un flujo hacia la izquierda dando vuelta por toda la planta productiva hasta su salida que es el almacén.



*Figura 4. 9.* Diagrama de rutas.  
*Fuente:* Elaboración propia (2017).

## **Capacidad de la planta**

La planta tendrá una capacidad de producir una bicicleta eléctrica diaria, de manera que se obtendrán 5 por semana, 20 por mes y hasta 240 por año, donde la capacidad de la planta permite albergar hasta 20 Bicicletas por mes. De manera que la capacidad de producción debe alcanzar estas cifras. De la misma manera la planta podrá producir la misma cantidad de bicicletas convencionales permitiendo localizar y almacenar la misma cantidad de estas.

## **4.5. Modelo de simulación**

Como un antecedente importante en el campo de la simulación basada en eventos discretos, Borshchev (2013) nos explica que en octubre de 1961 Geoffrey Gordon introdujo la primera versión de un sistema para propósitos de simulación, la cual se considera como la primera forma de implementación en software en este campo.

Actualmente existe una gran cantidad de software que permite la implementación de eventos discretos. Uno de estos es Anylogic®, el cual está basado en Java y es una herramienta de simulación de propósito general que aprovecha todo el poder de la programación en este lenguaje a lo largo de cada parte del modelo y librerías. Además, permite la simulación de varios dominios con la posibilidad de utilizar varios enfoques y también provee animación y la posibilidad de observación desde diferentes puntos. Estas características hacen de Anylogic® una excelente herramienta para la simulación de sistemas complejos como por ejemplo los sistemas de manufactura. Algunas de las implementaciones que se han hecho en Anylogic® son: gestión de contenedores, capacidad de puertos logísticos, fábricas de chocolates, concreto, metales o productos farmacéuticos entre otros.

En este apartado se realizó la implementación del modelo conceptual en el software de simulación Anylogic®, por lo que se muestra a continuación los valores de los cuales se parten para poner en marcha el sistema real, así como las librerías que fueron utilizadas para construir el modelo, las vistas del mismo en todos sus ángulos, la lógica o programación mediante la cual funciona, las gráficas y programa antes y después de correr.

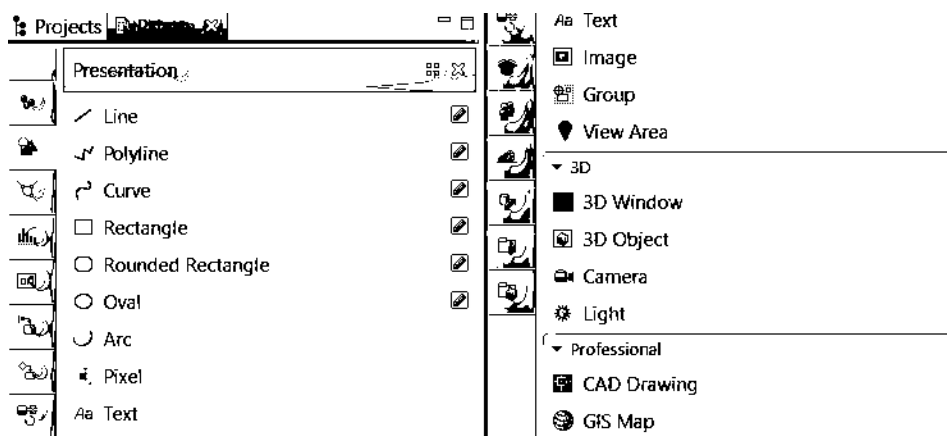
### **4.5.1. Librerías utilizadas**

### **4.5.2. Presentation**

En el caso de la librería presentación se utilizaron los elementos:

- **Line:** para la señalización de la ruta de movilidad a lo largo de la planta.
- **Text:** para la visualización del nombre de los elementos del sistema.
- **Image:** para la aplicación del layout base y la visualización del piso de la planta.
- **Viewed** área: se utilizó para definir las áreas a las que se debe tener acceso dentro de la simulación como lo son: vista general, vista de procesos, vista de gráficos, 3D window: se empleó para observar cómo se visualizarían los elementos del sistema de la manera más parecida al mundo real.
- **3D object:** se utilizó para integrar al modelo los elementos en tercera dimensión que sería útiles para observar el sistema lo más aproximado a la realidad.
- **Camera:** para la visualización de las áreas de interés en 3D durante el tiempo en que está corriendo el modelo.

En la Fig. 4.10 se muestran los elementos antes mencionados dentro de la librería citada.



**Figura 4. 10.** Elementos de la paleta presentation.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### 4.5.3. General

En esta sección se muestran los elementos que se utilizaron en la pestaña general, mismos que se muestran en la Figura 4.11, de la cual se utilizaron:

- **Parameter:** para definir el rango y valor predeterminado para las corridas del modelo correspondientes a los 4 parámetros de interés con un valor alto y bajo.
- **Conector:** este sirvió como un enlace entre los elementos de la librería de modelado de procesos.

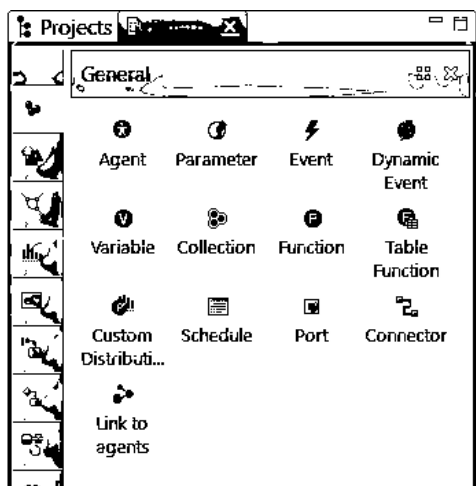


Figura 4. 11. Elementos de la paleta general.  
Fuente: Elaboración propia (2017).

#### 4.5.4. Space Markup

En esta librería mostrada en la Fig. 4.12 se utilizaron los elementos:

- Path: para definir el camino que los elementos trabajados dentro del modelo.
- Rectangular node: se empleó para definir un área en la cual los elementos trabajados pueden contenerse o hacer una cola.
- Point node: se utilizó para definir un punto que servirá de fuente o destino.
- Rectangular wall: se empleó para implementar los muros del sistema, circular wall se empleó para definir los conectores eléctricos.
- Target line: se utilizó para definir a donde debían llegar los elementos procesados.

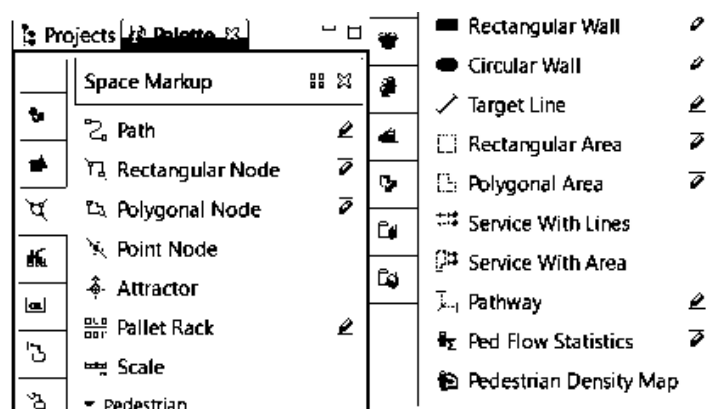


Figura 4. 12. Elementos de la paleta space markup.  
Fuente: Elaboración propia (2017).

#### 4.5.5. Process Modeling

Los elementos utilizados en esta sección se muestran a continuación, así como mediante la Figura 4.13.



- **Source:** que sirvió como fuente de material procesado.
- **Sink:** como la forma de eliminación de los elementos procesados.
- **Delay:** como una forma de inducir un retraso en el sistema.
- **Select output:** como una manera de seleccionar una salida cuando tenemos dos lugares a donde se puede realizar un proceso.
- **Assembler:** se empleó para realizar las tareas que implicar la unificación de un conjunto de elementos.
- **Move to:** se empleó para definir un punto a donde deben moverse los elementos procesados, conveyor: se usó como un medio de transporte tipo banda transportadora,
- **Time measure start y end:** se emplearon para medir el tiempo entre los procesos de interés.

#### 4.5.6. Armado del proceso lógico en el software

Para armar el proceso lógico se utilizaron los diagramas de flujo citados en la sección anterior, así como los elementos de las librerías como source, assembler, service, conveyor, time measure y sink. Donde se puede apreciar que existe una conexión que sigue el mismo flujo de procesos que se propone mediante el Layout, aunque la dirección es opuesta a este debido a la forma de trabajo propuesta por el software, el proceso general armado queda como se muestra en la Figura 4.14.

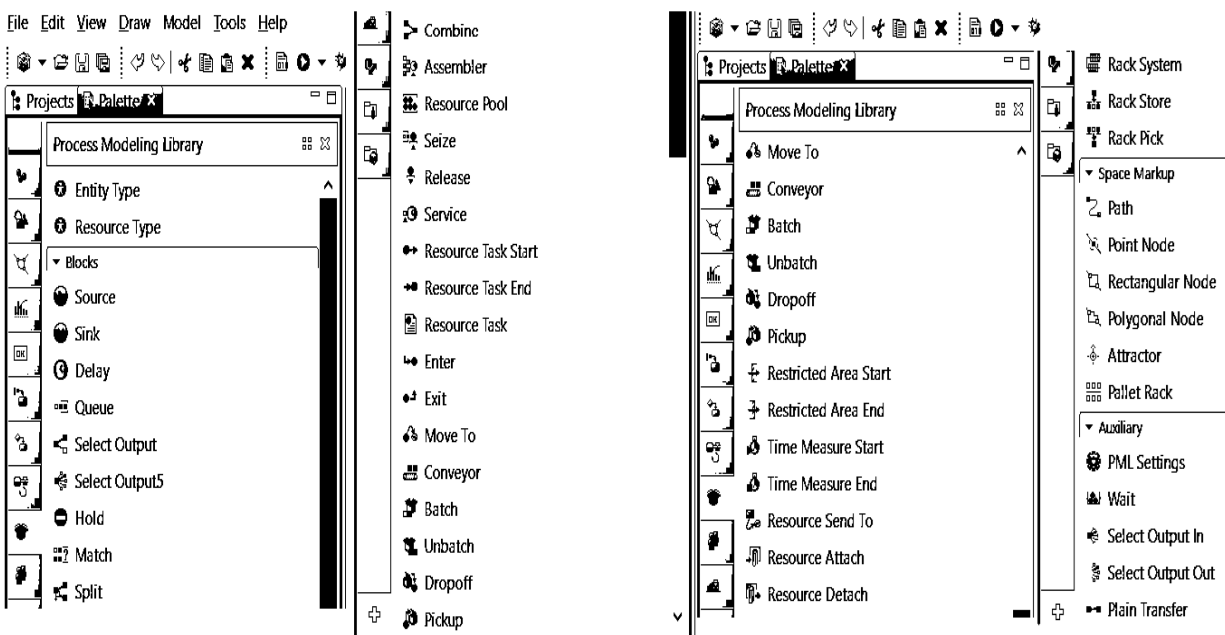
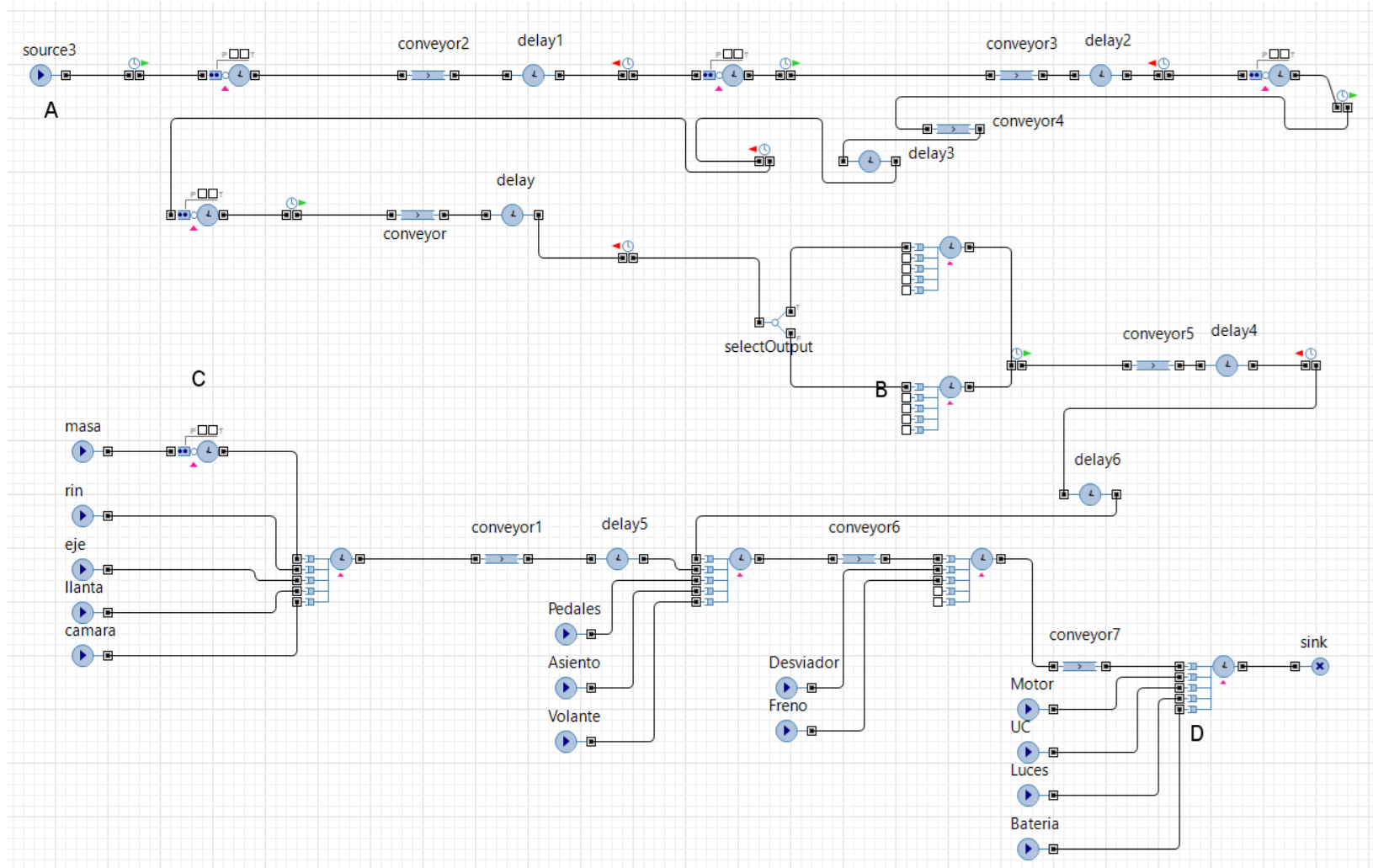


Figura 4. 13. Elementos de la paleta process modeling library.

Fuente: Elaboración propia (2017).



**Figura 4. 14.** Modelado lógico de los procesos.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

Los elementos de la simulación están configurados como:

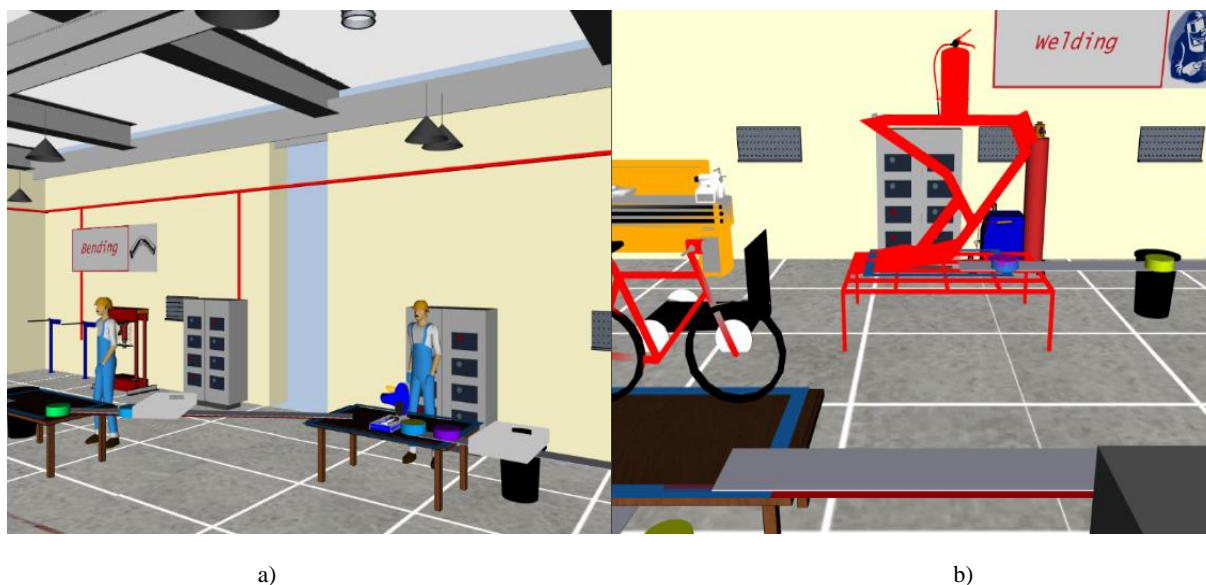
- **Sources:** el correspondiente con la entrada de material se ha configurado con un parámetro A con valores de entre 0.05 y 2.5 piezas por hora, mientras que el resto se ha configurado con 1 debido a que no afectan el rendimiento del sistema.
- **Services:** en general tienen asignados 30 minutos de tiempo de procesos a excepción del service de masas, el cual está configurado con el parámetro C y toma valores de entre 0.5 y 1 h.
- **Assemblers:** para soldadura están configurados con un parámetro B con valores de entre 1 y 1.5h, mientras que los correspondientes a ensamblaje de cuadro y desviadores y frenos tienen un tiempo de 30 minutos, por su parte el ensamblador de equipo eléctrico está configurado con el parámetro D y toma valores de entre 0.1 y 1h.
- **Time measure start y end:** están configurados como medidores de tiempo inicial y final respectivamente y su función es medir el tiempo en proceso de manera individual.
- **Delay** están configurados con 5 minutos, en orden de permitir la medida del tiempo con el elemento time measure.

### Armado de la Arquitectura 3D

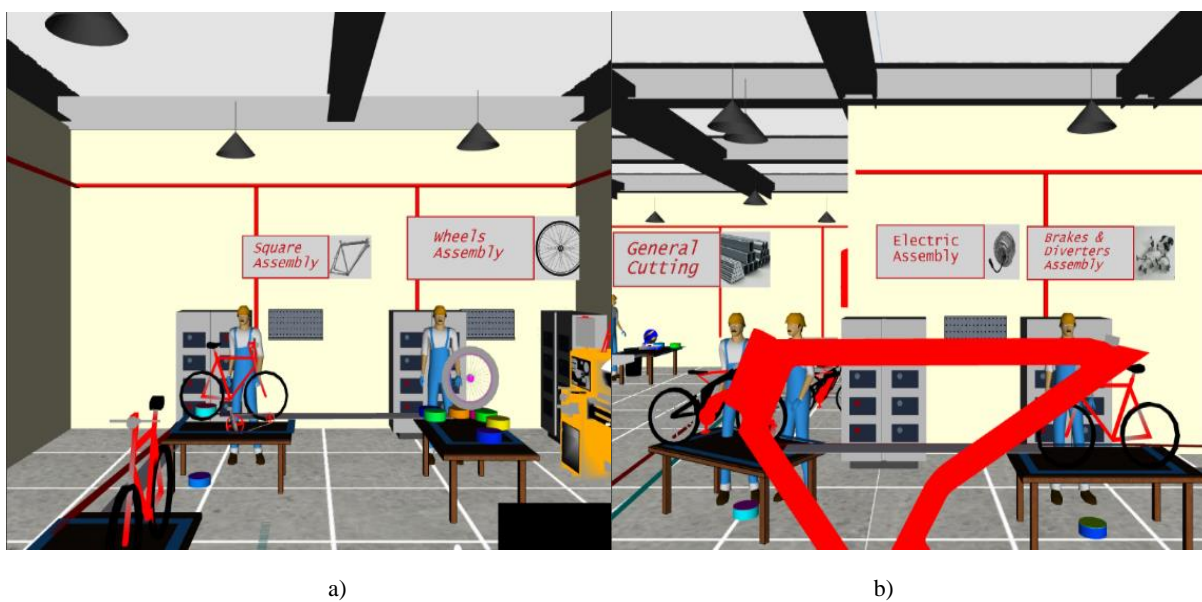
La arquitectura 3D se ha realizado con base en el diagrama de rutas y con los elementos definidos mediante la Tabla A10 como componentes de cada una de las estaciones, posteriormente se realizó una búsqueda de estos mediante 3D Warehouse Google® y se editaron con los programas SketchUp® y Meshlab (GNU) para poder ser implementados como objetos en Anylogic®. Como un primer paso se realizó el diagrama de la planta en SolidWorks ® y se introdujo como imagen en la interfaz gráfica. Los muros y elementos estructurales se realizaron mediante los elementos de la pestaña *presentation* con base en el plano del sistema y se colocaron en la zona correspondiente.

En esta sección se muestran las capturas correspondientes a las vistas isométricas del modelo desde todos los ángulos de interés, por lo que a continuación en las Figuras 4.15-4.18, se puede apreciar lo mencionado. Aquí se pueden ver todos los elementos de la planta como lo son: operarios, mobiliario y lugar estandarizado mediante 5S's donde todo debe estar en orden, debe estar señalado, cada cosa tiene su lugar y hay limpieza. Por otro lado, las células como se mencionó anteriormente se han configurado con una formación en U donde el operador solo necesitará girar

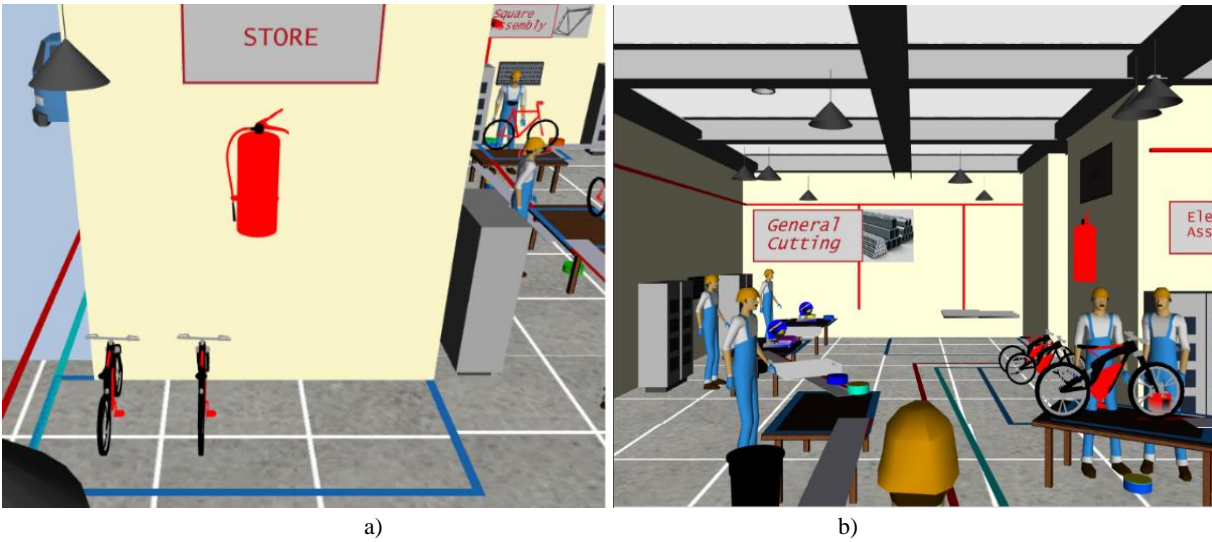
para acceder a mobiliario, herramientas, mesas, facilitadores y maquinaria. Esta sección corresponde con los elementos del área de trabajo previamente citados.



**Figura 4. 15.** Vistas de la planta en Anylogic®, a) área de doblado y b) área de soldadura.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

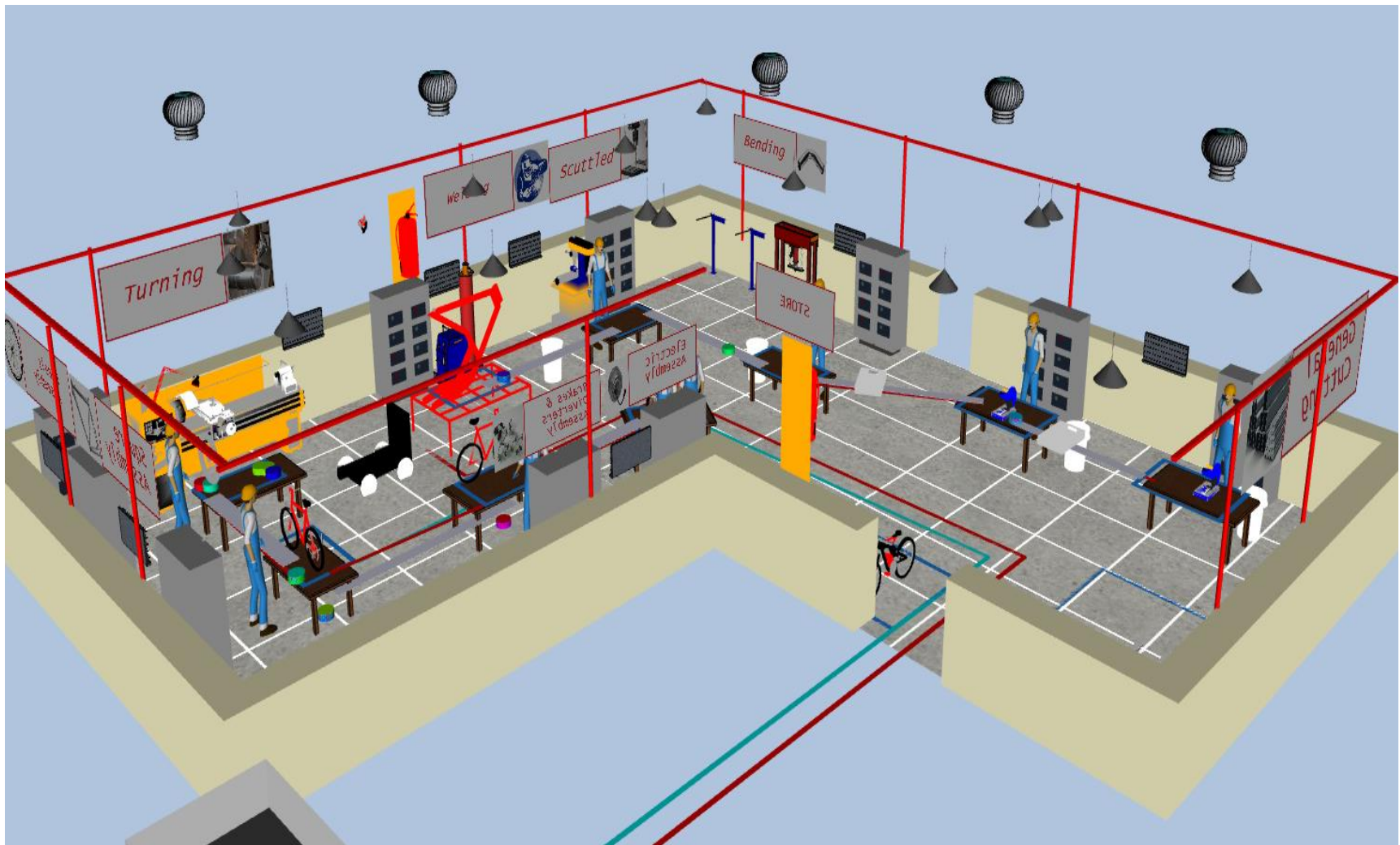


**Figura 4. 16.** Vistas de la planta en Anylogic®, a) áreas de ensamble de ruedas y cuadro y b) áreas de ensamble eléctrico y de frenos y desviadores.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).



**Figura 4. 17.** Vistas de la planta en Anylogic®, a) área de almacenaje de productos terminados y b) área de cortes.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

En la Figura 4.18 se pueden apreciar mediante una vista de pared cortada e isométrica los elementos facilitadores propuestos, así como los componentes del área de trabajo e incluso una propuesta de conexión eléctrica, además de un número inicial de trabajadores.



**Figura 4. 18.** Vista general de la planta en Anylogic® con los muros minimizados, así como elementos estructurales superiores ocultos.

**Fuente:** Elaboración propia (2017).

#### 4.6. Verificación del modelo de simulación

La verificación del modelo se llevó a cabo mediante la observación de la consola de errores incorporada en el software, la cual indica cuando hay algo incorrecto, mal conectado o cuando el programa desconoce algún elemento. En la Figura 4.19 se muestra la ventana de verificación donde se puede apreciar que no existen errores lógicos del modelo. Únicamente se observa la advertencia por el volumen de algunos de tipo gráfico el cual tiene a 0 en el eje Z, estos son debidos a que se implementaron letreros en las paredes de la planta, esto es algo que el programa en su fase actual no soporta, pero, sin embargo, se idearon como una forma de implementarlos.

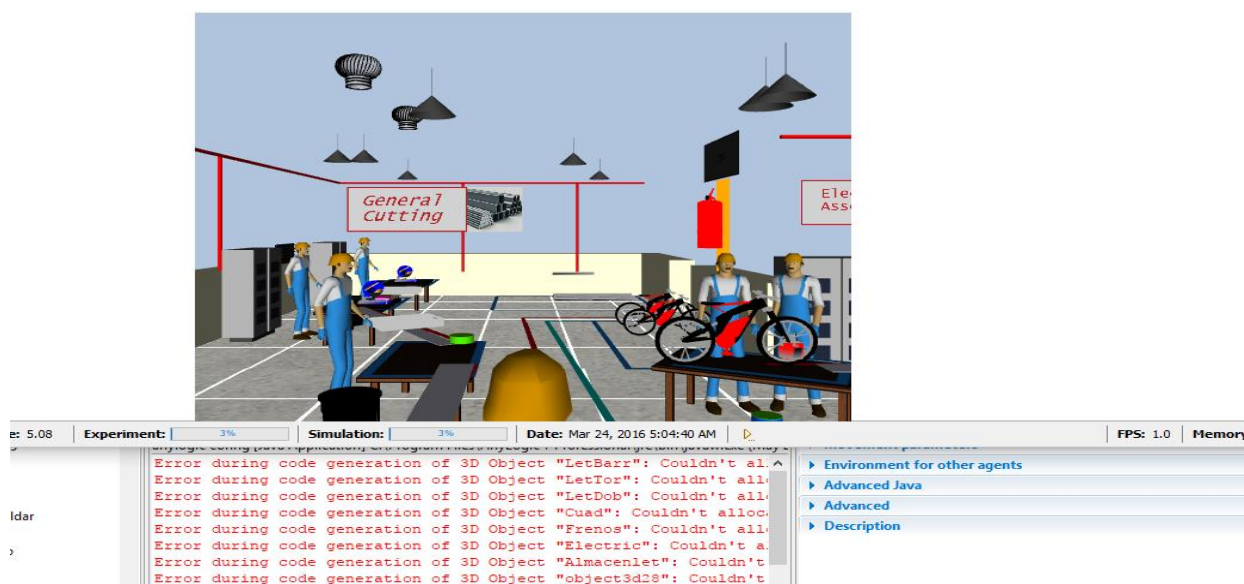


Figura 4.19. Verificación del modelo mediante la consola de Anylogic®.

Fuente: Elaboración propia (2017).

#### 4.7. Validación del modelo de simulación

El modelo de simulación del sistema se validó mediante la técnica *Face Validation* con la cual mediante una entrevista los usuarios EBEP validan el comportamiento del sistema con apoyo de la visualización 3D que proporciona Anylogic® mientras la simulación se ejecuta. Los elementos que se juzgaron fueron: el orden de los procesos, su flujo lógico, programa y elementos de arquitectura 3D. Los usuarios validaron el modelo al observar que cumplió con tener las actividades con la mejor disposición, mínimos movimientos, orden adecuado de herramental, maquinaria, mobiliario y accesorios.

## 4.8. Diseño de Experimentos

### Definición de objetivos

Determinar ¿Cuáles son las variables con las que el modelo es más sensible?, ¿Cuáles son las variables que afectan la salida del sistema?, ¿Cuál es la máxima cantidad de BE que se pueden producir semanalmente?, ¿Cuáles son los valores con los que se satisface la demanda? Y ¿Cuáles son tiempos óptimos?

### Definición de los factores, niveles y rangos.

Los factores que se van a estudiar en el diseño de experimentos son aquellos que presentan un rango de tiempo significativo y que poseen un valor inferior y superior para su realización. Esto se realiza con respecto a los datos de tiempos de fabricación obtenidos en la etapa de recolección de datos, de manera que los factores que se tomarán en cuenta se muestran mediante la Tabla 4.7 mostrada a continuación.

*Tabla 4. 7.* Factores seleccionados para DOE.

	Factor	Nombre	Valor inferior	Valor superior	Unidades
1	A	Flujo de material	2	2.5	partes/hora
2	B	Soldadura	0.5	1.5	h
3	C	Torneado	0.1	1	h
4	D	Ensamblaje eléctrico	0.5	1.5	h

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### Selección de la variable de respuesta

Las variables de respuesta en estudio son R1:R4 mostradas en la tabla 4.8, de las cuales la que tiene mayor importancia es la variable R4 debido que representa directamente el número de unidades terminadas a lo largo del tiempo de simulación establecido.

*Tabla 4. 8.* Variables de salida seleccionadas para DOE.

	Variable	Nombre	Valor inferior	Valor superior	Unidades
1	R1	Material despachado	2	2.5	partes/h
2	R2	Cuadros soldados	0.5	1.5	h
3	R3	Masas terminadas	0.1	1	h



4	R4	E-bikes terminadas	0.5	1.5	h
---	----	--------------------	-----	-----	---

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

### Selección del diseño experimental

Para el diseño de experimentos se seleccionó un diseño factorial  $2^K$ , debido a que deseamos conocer cómo se da la influencia de  $k$  factores en el proceso de manufactura de BE y al mismo tiempo conocer cuáles son las interacciones entre estos. Para obtener el número de combinaciones debemos tomar la ecuación  $2^K$  y sustituir en el valor de  $K$  el número de factores en estudio. En el caso de este trabajo  $K=4$ , por lo tanto, tenemos  $2^4=16$  combinaciones posibles y esto significa que se deben realizar 16 experimentos. Mediante la Tabla 4.9 se muestra una forma de realizar y acomodar todos los factores con base en números binarios, 0 y 1 que corresponden con un valor bajo y uno alto respectivamente. Esto facilita el ordenamiento y la lectura de los datos.

*Tabla 4.9.* Tabla de combinaciones para el acomodo del diseño de experimentos.

No.	Valor				No.	Valor				No.	Valor				No.	Valor			
<b>1</b>	0	0	0	0	<b>5</b>	0	1	0	0	<b>9</b>	1	0	0	0	<b>13</b>	1	1	0	0
<b>2</b>	0	0	0	1	<b>6</b>	0	1	1	0	<b>10</b>	1	0	0	1	<b>14</b>	1	1	1	0
<b>3</b>	0	0	1	0	<b>7</b>	0	1	0	1	<b>11</b>	1	0	1	0	<b>15</b>	1	1	0	1
<b>4</b>	0	0	1	1	<b>8</b>	0	1	1	1	<b>12</b>	1	0	1	1	<b>16</b>	1	1	1	1

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Mediante la tabla anterior se pueden acomodar las 16 combinaciones de valores alto y bajo de los 4 factores en estudio, una vez acomodados, mediante el software Minitab® podemos generar una tabla de diseño de experimentos en la que se indicará el orden aleatorio de estos, es allí donde es de utilidad la tabla de valores binarios ya que facilita la ubicación de las diferentes combinaciones de valores. La tabla de diseño de experimentos queda como se muestra en la Tabla 4.10.

*Tabla 4.10.* Tabla de diseño de experimentos antes de experimentar.

A	B	C	D	R1	R2	R3	R4	Corrida
-2	-0.5	-0.1	-0.5	0	0	0	0	1
-2	-0.5	-0.1	1.5	0	0	0	0	2
-2	-0.5	1	-0.5	0	0	0	0	3
-2	-0.5	1	1.5	0	0	0	0	4
-2	1.5	-0.1	-0.5	0	0	0	0	5
-2	1.5	1	-0.5	0	0	0	0	6
-2	1.5	-0.1	1.5	0	0	0	0	7

-2	1.5	1	1.5	0	0	0	0	8
-2	-0.5	-0.1	-0.5	0	0	0	0	9
2.5	-0.5	-0.1	1.5	0	0	0	0	10
2.5	-0.5	1	-0.5	0	0	0	0	11
2.5	-0.5	1	1.5	0	0	0	0	12
2.5	1.5	-0.1	-0.5	0	0	0	0	13
2.5	1.5	1	-0.5	0	0	0	0	14
2.5	1.5	-0.1	1.5	0	0	0	0	15
2.5	1.5	1	1.5	0	0	0	0	16

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

#### 4.9. Corridas y análisis

Las corridas se realizaron generando variables globales de entrada para los factores en estudio dentro del entorno de Anylogic® con las cuales se puede modificar manualmente el valor de los factores correspondientes y posteriormente se ejecuta la simulación hasta el final con la finalidad de obtener los valores de respuesta finales. A continuación, en la Tabla 4.11 se muestran los resultados de los 16 experimentos.

**Tabla 4. 11.** Tabla de diseño de experimentos con los resultados de la producción de corridas.

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Corrida</b>
-2	-0.5	-0.1	-0.5	305	18	102	17	1
-2	-0.5	-0.1	1.5	307	20	109	18	2
-2	-0.5	1	-0.5	305	19	115	18	3
-2	-0.5	1	1.5	324	20	107	20	4
-2	1.5	-0.1	-0.5	301	18	119	18	5
-2	1.5	1	-0.5	315	19	103	18	6
-2	1.5	-0.1	1.5	340	21	115	20	7
-2	1.5	1	1.5	290	18	110	17	8
-2	-0.5	-0.1	-0.5	323	20	94	20	9
2.5	-0.5	-0.1	1.5	421	27	109	26	10
2.5	-0.5	1	-0.5	393	25	111	25	11
2.5	-0.5	1	1.5	411	25	117	24	12
2.5	1.5	-0.1	-0.5	398	24	110	23	13
2.5	1.5	1	-0.5	388	24	108	23	14
2.5	1.5	-0.1	1.5	378	23	114	23	15
2.5	1.5	1	1.5	403	24	97	23	16

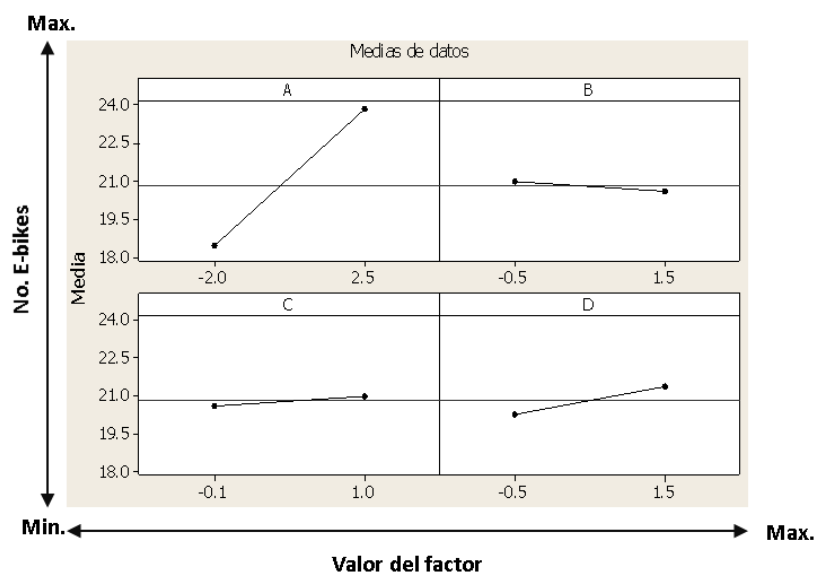
*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Con base en los resultados de las corridas registrados mediante la tabla anterior, se efectuó con ayuda de Minitab® un análisis de efectos principales, en el cual se estudia la acción del cambio combinado de cada factor sobre otro sobre las variables de respuesta.

En la Figura 4.20 se muestra el resultado del estudio de efectos principales en el caso de la variable de respuesta R4, que representa el número de e-bikes terminadas, como se observa el parámetro que más influye en la obtención de resultados es A que corresponde al flujo de material indicando que entre mayor sea este, mayor cantidad de unidades se pueden producir, mientras que en el caso de B nos indica que mientras menor sea, es más probable generar al menos una unidad más, posteriormente en el caso de C y D se muestra una tendencia a producir al menos una o 2 unidades más cuando sus valores son máximos.

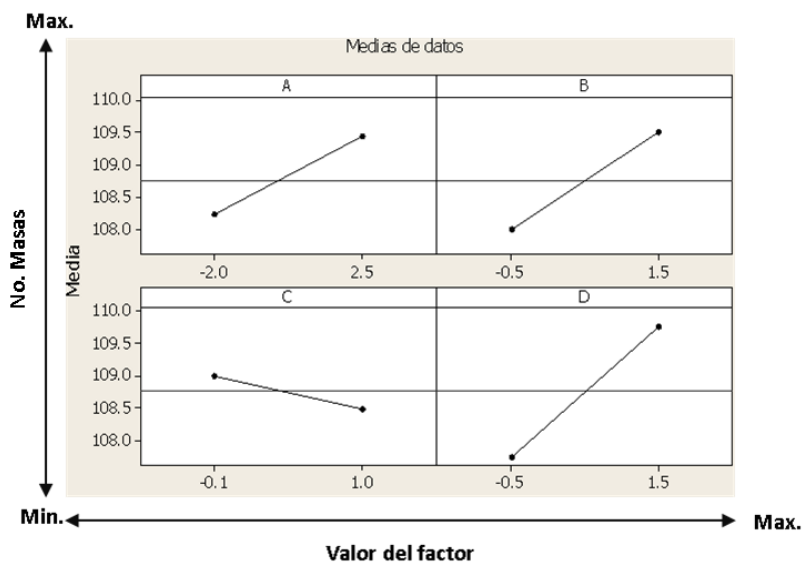
El estudio de la variable R3 correspondiente a la cantidad de masas producidas se muestra mediante la figura 4.21 donde se aprecia que el factor más influyente es D, seguido por B, A y C respectivamente.

Mediante la figura 4.22 se puede observar el estudio para la variable de respuesta R2 correspondiente al número de masas se observa que el factor A es el más influyente seguido por D, C y B respectivamente, donde se ha de notar que A, C, D permiten producir más cuando sus valores son máximos, caso contrario a B.

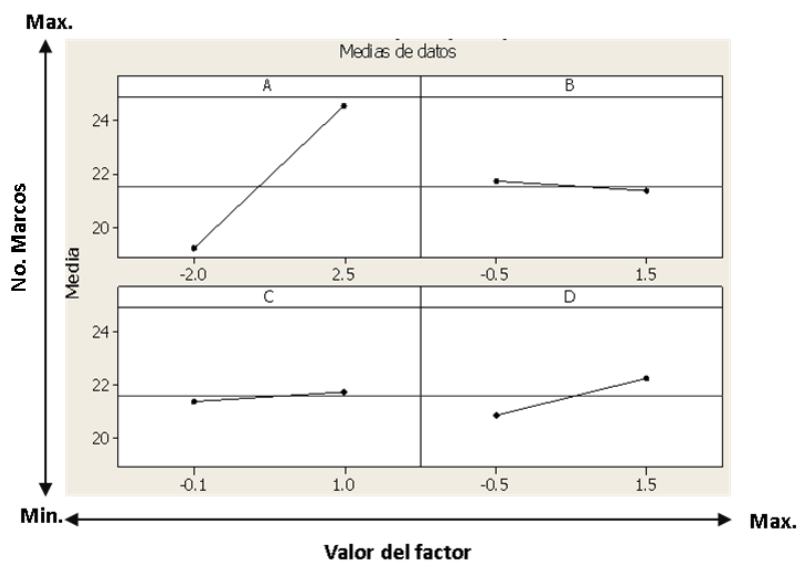


**Figura 4. 20.** Estudio de R1 (unidades terminadas).

**Fuente:** Elaboración propia (2017).



**Figura 4. 21.** Estudio de R3(masas terminadas).  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).



**Figura 4. 22.** Estudio de R2(cuadros terminados).  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

Mediante la figura 4.23 se observa el estudio de R1, donde se aprecia que el factor más influyente es A, seguido por D, C y B respectivamente. Con base en las gráficas de efectos principales se determina que el factor más influyente es A, seguido por D y C y en último lugar por B.

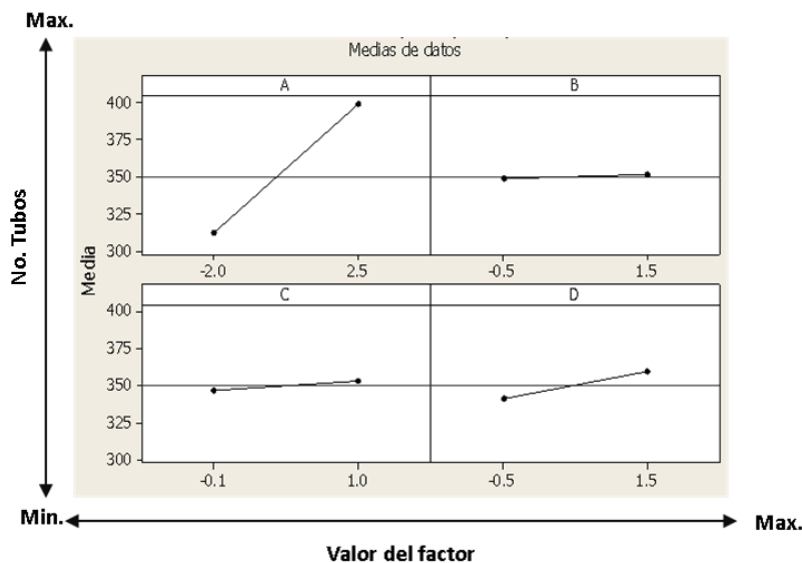


Figura 4.23. Estudio de R1 (tubos despachados).  
Fuente: Elaboración propia (2017).

Mediante la figura 4.24 se muestra un estudio de interacción entre los factores, de acuerdo a este se observa que existen únicamente interacciones entre B y C, B y D y C y D, esto cuando en los primeros dos casos el valor tiene a ser mínimo, mientras que para el último tiene a ser máximo.

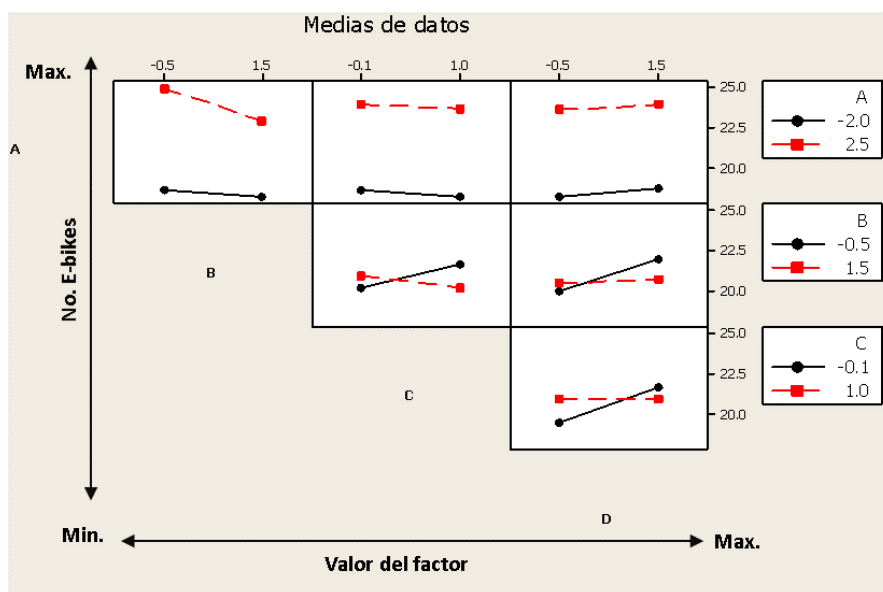


Figura 4.24. Estudio de interacción.  
Fuente: Elaboración propia (2017).

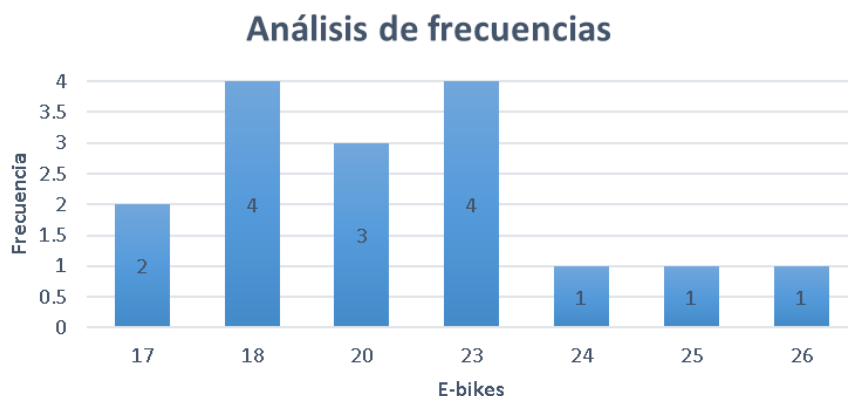
Por otro lado, mediante el análisis de diseño factorial se obtuvo incluso una ecuación (Ec.1) la cual describe el comportamiento del sistema en función de las salidas, con este se puede optimizar el proceso dentro del software Anylogic® para obtener la máxima cantidad de BE. Dicha ecuación representa la productividad de las bicicletas eléctricas considerando 4 factores con 2 valores.

$$2.24242A - 1.61364B - 1.90341C - 0.93687D - 0.818182AB - 0.90909AC - 0.525253AD + 1.01641BC - 0.94444BD + 1.11742CD - 0.707071ABC + 0.222222ABD + 0.303030ACD - 1.25BCD = -22.8826 \dots\dots\dots Ec.1$$

Finalmente se realizó un análisis estadístico de resultados y otro de frecuencias de resultados con la finalidad de terminar con que combinaciones de valores es posible alcanzar o superar la demanda y con cuáles no. En la figura 4.25 se muestra la gráfica de análisis estadístico donde es notable que el valor mínimo de producción de e-bikes es de 17 unidades, mientras que el máximo es de 26. Por otro lado, mediante la gráfica mostrada en la figura 4.26 se pueden observar las frecuencias de los valores obtenidos. Este análisis indica que hay 3 combinaciones con las cuales el ideal de producción se alcanza, mientras que con 6 no se obtiene y con 7 se logra superar.



**Figura 4. 25.** Análisis estadístico de los resultados.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).



**Figura 4. 26.** Análisis de frecuencias para valores que pueden o no alcanzar o incluso superar la demanda.  
**Fuente:** Elaboración propia (2017).

#### 4.10. Optimización del proceso

Una forma de conocer los mejores valores que deben tomar las variables dependientes de nuestro sistema es mediante la optimización. (Tarifa ,2001) Para realizar la optimización del modelo en el software Anylogic® es necesario realizar una variación de parámetros, donde se deben introducir las variables con parámetros alto y bajo con un paso de avance, mediante el cual el programa realizará iteraciones. Esto se puede observar en la Fig. 4.27.

**ParametersVariation - Parameter Variation Experiment**

Name:   Ignore

Top-level agent:  ▾

Maximum available memory:  Mb

**Parameters**

Parameters:  Varied in range  Freeform

Number of runs:

Parameter	Type	Value		
		Min	Max	Step
A	Range	2	2.5	0.01
B	Range	1	1.5	0.01
C	Range	0.1	1	0.01
D	Range	0.5	1	0.01

**Figura 4. 27.** Variación de parámetros.

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

En el estudio de optimización se empleó el algoritmo de solución proporcionado por el software Anylogic® OptQuest™ ( OptTek Systems, Inc.), para este fin se utilizó la ecuación obtenida mediante el diseño factorial y se introdujo en el apartado de ecuación objetivo con la finalidad de maximizar la producción, también se colocaron los parámetros que se van a variar y se seleccionaron los valores mínimos y máximos. La finalidad del presente estudio es conocer los mejores valores de los parámetros en estudio con los cuales se puede obtener un mayor número de bicicletas o bien para saber si la configuración actual es correcta u óptima. Esto se puede apreciar en la Figura 4.28 correspondiente a la ventana de configuración de la optimización.

Posteriormente al correr el experimento de optimización se obtienen los mejores valores con los cuales pueden trabajarse las variables de entrada, con lo que se puede obtener un número mayor de productos finales. Para este caso se consideraron las horas útiles de trabajo resultantes de

trabajar durante un mes con una jornada de 8 horas al día y 5 días a la semana, esto significa trabajar 160 horas. Los resultados muestran que para producir 25 BE necesitamos un flujo de material de 1.89, un tiempo de soldadura de 1.02h para soldadura, 0.86 h para torneado y 0.53 h para ensamblado eléctrico. Esto se observa en la Figura 4.29.

Objective:  minimize  maximize

$2.24242*A-1.61364*B-1.90341*C-0.93687*D-0.818182*A*B-0.90909*A*C-0.525253*A*D+1.0164$

Number of iterations:

Automatic stop

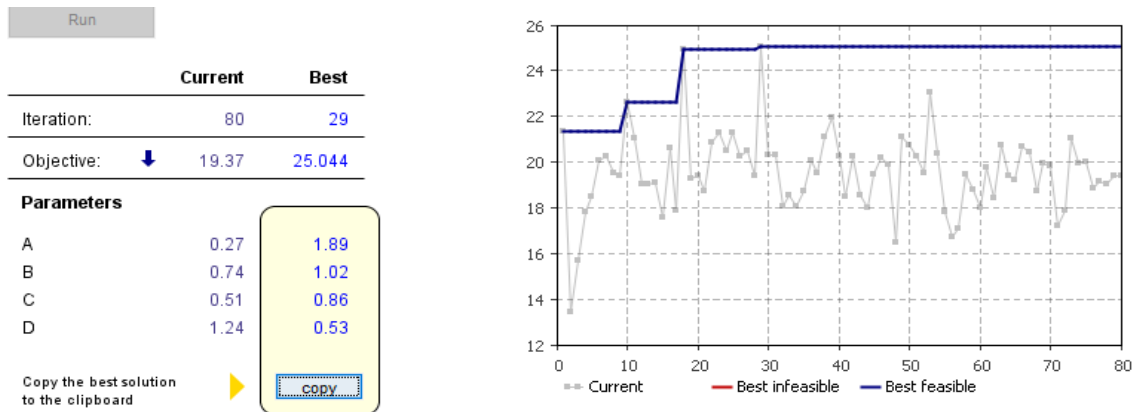
Maximum available memory:  Mb

**Parameters**

Parameters:

Parameter	Type	Value			
		Min	Max	Step	Suggested
A	discrete	0.05	2.5	0.01	
B	discrete	0.5	1.5	0.01	
C	discrete	0.1	1	0.01	
D	discrete	0.5	1.5	0.01	

**Figura 4. 28.** Ventana de configuración OptQuest® de Anylogic®.  
Fuente: Elaboración propia (2017).



**Figura 4. 29.** Resultados de la optimización.  
Fuente: Elaboración propia (2017).

#### 4.11. Resultados obtenidos

Las variables con las que el sistema se muestra más sensible fueron: A(flujo de materiales), B (ensamblaje de cuadro) y D ( ensamblaje eléctrico) sin embargo la más significativa de estas fue el flujo de materiales el cual al ser menor impide la elaboración de cuadros para ensamblaje de las unidades, por otro lado, se encontró que el tiempo de pintura al ser un proceso tercerizado (indicado por el área usuaria) retrasa significativamente los procesos de montaje, por lo que es recomendable



soldar 2 cuadros al día enviando ambos para al día siguiente continuar con los montajes de manera que se pueda alcanzar el ideal de producción. Los cuellos de botella encontrados fueron: tiempo de pintura, cantidad de cuadros soldados y armado de ruedas, que son aquellos que consumen el mayor tiempo de procesamiento, de los cuales los que pueden ser tratados económicamente son el primero y el segundo, mientras que los otros requieren maquinaria especializada y muy costosa la cual de momento los EBEP no pueden adquirir.

Sarmiento (2016) refiere que la única empresa que manufactura e-bikes en México iniciada por emprendimiento es Vetelia la cual produce entre 25 y 30 unidades por mes, aunque su capacidad instalada es de 80 unidades mensuales, esto significa que existe una relación  $\frac{80}{30}$  ellos solo tienen una eficiencia de 37% la cual es muy baja dado el espacio que poseen. Por otro lado, el sistema propuesto es capaz de producir 26 unidades mensuales con una demanda esperada de 20, se tiene una relación  $\frac{20}{26}$  la cual indica que existe una eficiencia de 130% con un espacio considerablemente más pequeño, por lo tanto, se concluye que el sistema propuesto es eficiente en términos de unidades producidas por mes con respecto a la demanda esperada en lo que compete al sector manufacturero de bicicletas eléctricas en México.

El sistema propuesto permitirá realizar mejoras futuras dentro de la simulación antes de implementarlas en la realidad permitiendo evaluar el comportamiento de este al experimentar los cambios propuestos, inclusive fue diseñado con la cantidad mínima de movimientos cruzados tanto de transporte como de procesos individuales en las estaciones. Con este sistema también se puede producir la misma cantidad de bicicletas convencionales y entrenadoras ya que la disposición de los procesos sigue el mismo orden necesario para producir una e-bike, es decir que el sistema es flexible permitiendo producir varios productos adicionales.

El sistema se puede estandarizar con los mejores tiempos obtenidos y queda de la siguiente manera:

- Tiempo de torneado: 0.86 h (51.6 min).
- Tiempo de ensamblaje de ruedas: 2 h.
- Tiempo de doblado: 0.5 h.
- Tiempo de soldadura: 1.02 h.
- Tiempo de ensamblaje mecánico: 0.5 h.
- Tiempo de ensamblaje de frenos y desviadores: 0.5 h.

- Tiempo de ensamblaje eléctrico: 0.53 h.
- Tiempo de Corte de aluminio: 0.5h.
- Tiempo de Corte general: 0.5h.

*“Aquel que no comete un error nunca hará nada interesante”*

*–Proverbio inglés.*

## Conclusiones

Mediante la implementación en software se logró observar el comportamiento del sistema bajo las condiciones reales en tanto a tiempos de procesamiento y demanda esperada, identificando cuellos de botella, los mejores tiempos de proceso y el mejor ordenamiento de los estos, que al mismo tiempo involucra la menor cantidad de movimientos en vacío.

Mediante el uso de la visualización 3D se puede observar un área de trabajo estandarizada, así como la cantidad de personal requerido para la producción de las BE. Con esto se puede obtener un plan de trabajo con base en esta visualización y los mejores tiempos de fabricación. Esto podría indudablemente dar una ventaja competitiva al área usuaria.

Mediante el modelo de simulación y su análisis se determinó que las variables más importantes son el flujo de materiales, el tiempo de soldadura y el tiempo de ensamblaje, los cuales deberán ajustarse a futuro para poder producir más. Por otro lado, mediante el modelo se permite la facilidad de realizar mejoras futuras al área de trabajo y evaluar cuál será el comportamiento del sistema real antes de implementar algún cambio en el sistema real.

La aplicación de la investigación a los sectores que emprenden manufactura de productos puede significar una gran ventaja competitiva debido que con esto se puede tener un amplio conocimiento de lo que se ha hecho en el mismo sector, tendencias y las formas en que se actúa ante un mercado y medio cambiante en diversas partes del mundo. Ahora bien, al aplicar la simulación en casos de emprendimiento se puede reforzar considerablemente la creación de un plan de negocios, la mejora de un sistema artesanal existente o la implementación de un nuevo sistema, la estandarización de procesos y del área o bien la mejora o creación de planes operativos.

Los objetivos general y específico se alcanzaron plenamente, el sistema propuesto es capaz de cumplir con la demanda esperada e inclusive puede superarla permitiendo generar un mayor margen de ingresos por unidad producida.

## Bibliografía

- Abagnale, C., Cardone, M., Iodice, P., Strano, S., Terzo, M., & Vorrano, G. (2015). Power requirements and environmental impact of a pedelec. *Environmental impact assessment review.*, 1-7.
- Adam, E., & Ebert, R. (2013). *Administración de la producción/operaciones*. México: Prentice Hall.
- Affenzeller, M., Beham, A., Vonolfen, S., Winkler, S., Hutterer, S., Kommenda, M., . . . Wagner, S. (2015). Simulation-based optimization with HeuristicLab: Practical guidelines and real world applications. En M. A. Mujica Mota, I. Flores De La Mota, & D. Guimarans Serrano, *Applied simulation and optimization* (pág. 323). Amsterdam, Sydney, México: Springer.
- Alfonso Soler, A., Camacho Román, P., Hernández Ortega, F., Hernández Villaseñor, S., Retama Hernández, A., Rodríguez Rivera, S., . . . Martínez Flores, L. (2015). *Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020*. México: Comisión Ambiental Metropolitana.
- Alting, L. (1990). *Procesos para Ingeniería de manufactura*. México: Alfaomega. Recuperado el 5 de 05 de 2017
- Arrollo, M., & Torres, J. (2011.). *Organización de plantas industriales*. Perú.: Universidad Católica de Sto. Toribio Mogrovejo.
- Banks, J. (1998.). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice*. New York.: John Wiley & Sons.
- Boullousa, N. (18. de Junio. de 2010.). *Faircompanies.com*. Obtenido de <https://faircompanies.com/articles/futuro-bicicletas-electricas-o-vehiculos-personales/>
- Cherry, C., Weinert, J., & Ma, C. (2007). The environmental impact of e-bikes in Chinese cities. *UC Berkeley: UC Berkeley Center for Future Urban Transport*, 17.
- D'Alessio, F. (2004). *Administración y dirección de la producción. Enfoque estratégico y de calidad*. (segunda ed.). México: Pearson. Recuperado el 4 de 4 de 2017
- Design and simulation of an energy management system algorithm for extended range electric bicycles. (2015). *International Conference of Electrical, Automation and Mechanical Engineering.*, 211-214.
- Dias, E., Jondral, N., Greinacher, A., Dornfeld, S., & Lanza, G. (2013.). Assessment of lean and green strategies by simulation systems in discrete production environments. *CIRP Annals-Manufacturing technology*, 475-478.

- ENGENIUM. (10 de Noviembre de 2017). *ENGENIUM*. Obtenido de <https://goo.gl/t5dMKn>
- Enisz, K., Szalay, I., Fodor, D., Nagy, K., & Jaka, R. (2013). Bicycle Anti-Lock Braking System Prototype Development. *Departmane of automotive mechatronics*, 45-57.
- Evans, J., & Lindsay, W. (2000). *Administración y control de la calidad*. México: Cengage Learning Editores.
- F., D. (2007). *Ingeniería de métodos*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- FAEDPYME, García Pérez De Lema, D., Maldonado Guzmán, G., Ortíz Medina, M., & Galvez Albarracín, E. (2016). *Estrategias para el desarrollo de la microempresa en América Latina*. México: FAEDPYME.
- Fernández, E., & Fázquez, C. (1993). *Dirección de la producción. Fundamentos estratégicos*. Civitas SA.
- Flores, J. (10 de 2 de 2016). *#Follow*. Obtenido de <http://www.revistafollow.mx/index.php/emprendedor/vetelia-ya-es-realidad>
- García Telésforo, T. B. (2016). *Metodología para el diseño de la logística de distribución física en las empresas dentro del sistema de empresas INNOVAUNAM*. México: UNAM.
- Gausenmeier, J., Dumitrascu, R., Kahl, S., & Nordsiek, D. (2011.). Integrative development of product and production system for mechatronic products. *Robotics and computer intrgrated maifacturing.*, 772-778.
- Gelhert, T., Kuhn, M., Schleinitz, K., PÉtzoldt, T., Schwanitz, S., & Gerike, R. (2012). The german pedelec naturalistic cycling study-study design and first experiences. *International safety conference.*, 7-8.
- Grigoryev, I. (2015). *Anylogic in three days. A quick course in simulation modeling*. Anylogic North América.
- Groover, M. (1997). *Sistemas de producción*. México: Pearson.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Administración de operaciones*. México: Pearson.
- Heyden, D., & Camacho, P. (2006.). *Guía metodológica para el análisis de cadenas productivas*. Quito.: Ruralter.
- INEGI, INADEM, BANCOMEXT. (2015). *Encuesta nacional sobre productividad y competitividad de las miro pequeñas y medianas empresas*. Aguascalientes: INEGI.
- J., M. (2008). Setting manufacturing strategy for a factory-within a factory. *International Journal of Production Economics.*, 304-323.
- Khuen, K. (2017). Digital factory-integration of simulation enhancing the product process towards operative control and optimisation. *International Journal of simulation and process modeling.*, 1473-8031.

- KwanMyung, K., & Kun-pyo, L. (2017). Collaborative product design procecess of industrial design and engineering in consumer product companies. *CrossMark*, 220-260.
- López, A. (2013). *Tecnología de la fabricación*. Almeria.: Universidad de Almeria.
- López, J. (10 de Noviembre de 2017). *El Financiero*. Obtenido de <https://goo.gl/qrwtet>
- M., G. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. USA: Pearson.
- Mayo, I. (2016.). Introducción a los procesos de calidad. *Revista iberoamericana sobre calidad, eficacia y cambio en educación.*, 8.
- Medina Ramírez, S. (2012). *Trsansformando la movilidad urbana em México: Hacia ciudades accesibles con menor uso del automovil*. México : Grupo Fogra, S.A. de C.V. .
- Muetze, A., & Tan, Y. (2007). Electric bicycles. Aperformance evaluation. *IEEE Industry Applications MAgazine.*, 12-21.
- Narayanan, P., & Mathien , L. (2016). A metal manufacturing mill uses discrete event simulation to optimise operations. *European Journalof Economic and Business.*, 17-27.
- Nguyen, T., McFarland, R., Kleinsorge, M., Kruger, J., & Seliger, G. (2015). Adaptive qualification and assistance modules for manual assembly workplaces. *Procedia CIRP*, 115-120.
- Papoutsis, S., Martinolli, L., Braun, C., & Exadaktylos, A. (2014). E-bike injuries: experience from urban emergency department- A retrospective study from Switerland. *Journal of Emergency MEDicine International.*, 5.
- Parker, A. (2002). The power asisted bicycle: a green vehicle to reduce greenhouse gas emissions and air pollution. *Australian Transport Research Forum*, 2-4.
- Perez, J., De Looze, M., Bosch, T., & Neuman W. (2014). Discrete events simulation as an ergonomic tool to predict workload exposures during systems design. *International Journal of Industrial Ergonomics.*, 298-306.
- Posada, F., Kamakate, F., & Bandivadekar, A. (2011). Sustainable management of two and three wheelers in Asia. *International Council on Clean transportation.*, 953-957.
- Roetynck, A., & General, E. (2001). E-bike European Legislation in European Union. *ETRA Secretary General PEdelec&E-Bike.*, 392-410.
- Rudtsch, V., Bauer, J., & Gausenmeier, J. (2013). Approach for the conceptual design and validation of production systems using automated simulation model generation. *Procedia Computer Science* , 69-78.
- Saad, N., & Kadiramanathan, V. (2006). A DES approach for the cotextual load modeling of saupply chain for instability analysis. *Simulation Modeling Practice and theory.*, 541-563.

Secretaría de Economía. (10 de Noviembre de 2017). *Empresas*. Obtenido de Secretaría de Economía: <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/empresas>

Sun, Y., & Wyskb, R. (2001). Automatic simulation model generation for simulation based, real time shop floor control. *Computers in industry.*, 291-308.

Tarifa, E. (2001). *Teoría de modelos y simulación*. Argentina: Universidad de Jujuy.

Vargas Sarmiento, I., García Calva , A. L., Marcial González, F., & Hernández Bautista , B. F. (2015). Panorama de la micro y pequeña empresa en México. *Revista de ciencias sociales de la Universidad Iberoamericana* , 43.

Yao, D., Fan, G., Zhang, C., Jiang, J., & Wu, F. (2015).



## Anexos

Los formatos de control se hicieron de manera individual por lo que para cada proceso se evalúan diferentes cosas, en el proceso de corte de materiales (Tabla 14) se busca que todas las barras y tubos metálicos tengan un corte adecuado esto, considerando que este dentro de las tolerancias establecidas, además con este se registra si se cometen errores y si son corregibles o no. Por su parte en el caso del proceso de doblado se busca que los tubos tengan la forma correcta y no se llegue a deformación o fractura que no sean corregibles, esto se muestra mediante la Tabla 15. Por otro lado, en el caso de procesos de barrenado (Tabla 16) se busca que la perforación realizada tenga la forma correcta, no tenga deformaciones y que se haya realizado en el lugar correcto.

**Tabla A1.** Tabla de inspección de calidad Procesos de corte.

Ítem	Corte adecuado	Corte deforme	Es Corregible	No corregible
Barra Lateral	X		X	
Barra inferior	X		X	
Barra N	X		X	

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

**Tabla A2.** Tabla de inspección de calidad Procesos de doblado.

Ítem	Doblado adecuado	Fracturado	Deformado
A	X		
B	X		
C	X		

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

**Tabla A3.** Tabla de inspección de calidad Procesos de barrenado.

Ítem	Buen barrenado	Posición incorrecta	Corregible	No corregible
A	X		X	
B	X		X	
C	X		X	

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

Para el proceso de soldadura (Tabla 17) se busca que el ensamble no sea frágil, tenga una buena textura libre de deformaciones, que sea resistente y este en el lugar adecuado. En el proceso de torneado (Tabla 18) se necesita que las piezas bajo este tengan la forma y superficie adecuadas y que se respeten las tolerancias. Posteriormente en el caso de ensamblado de ruedas (Tabla 19), se busca que estas tengan la forma y giro adecuado, consecutivamente con el proceso de ensamblado del cuadro (Tabla 20) se precisa que los pedales, ruedas, tijeras y manubrio giren de la forma uniforme y libre de vibraciones, por su parte se busca también que el asiento este bien fijo.

**Tabla A4.** Tabla de inspección de calidad Procesos de soldadura.

Ítem	Buena textura	Resistente	Frágil	Mala textura
A	X			
B	X			
C	X			

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

**Tabla A5.** Tabla de inspección de calidad para cuadro final.

Ítem	Forma adecuada	Dentro de las tolerancias	Buen acabado	Defectuoso
A	X		X	
B	X		X	
C	X		X	

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

**Tabla A6.** Tabla de inspección de calidad para balanceado de ruedas.

Ítem	Balanceado	Rayos uniformes	Rin uniforme	Rueda uniforme	Eje recto
A	X	X	X	X	X
B	X	X	X	X	X
C	X	X	X	X	X

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

**Tabla A7.** Tabla de inspección de calidad para cuadro montado.

Ítem	Pedaleo uniforme	Ruedas con giro uniforme	Asiento firme	Tijera Firme	Manubrio firme
A	X		X		
B	X		X		
C	X		X		

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

En el caso de ensamblaje de frenos y desviadores (Tabla 21) se busca que los accionadores estén en el lugar correcto, con accionamiento correcto, con sus cables en el lugar adecuado, mientras que los desviadores estén en posición correcta en conjunto con sus cables y accionadores y que, al ser accionados, esto permitan cambios uniformes libres de retrasos. En el último proceso correspondiente a ensamblado de componentes electrónicos (Tabla 22), se busca que cada componente este en su lugar, bien conectado, que las luces y accionadores funcionen adecuadamente y que al accionar el acelerador se consiga un giro fuerte, rápido y uniforme.

**Tabla A8.** Tabla de inspección de calidad de ensamblaje de frenos y desviadores.

Ítem	Frenos en correcta posición	Frenado uniforme	Desviación adecuada	Accionadores en correcta posición
A	X		X	
B	X		X	
C	X		X	

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

**Tabla A9.** Tabla de inspección de calidad en ensamblaje eléctrico.

Ítem	Giro asistido adecuado	Suficiente potencia	Funciona el controlador	Funcionan las luces	Cableado en correcta posición
A	X		X		
B	X		X		
C	X		X		

*Fuente:* Elaboración propia (2017).

## Recursos

Mediante la Tabla A10 se muestran los elementos sugeridos para cada una de las unidades de manufactura y montaje resultantes del diseño del proceso mediante el diagrama de flujo mostrado en la etapa de desarrollo de modelo conceptual.

---

*Tabla A10.* Recursos necesarios para cada estación de manufactura y ensamblaje.

---

Estación	Recursos operativos
<p style="text-align: center;"><b>Corte de acero</b></p> <p>Entran tubos y barras y salen barras más desperdicios, por lo que es necesario asignar botes. Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U de manera que el operario solamente volteará hacia atrás para obtener su material. Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Letrero</li> <li>• Estante</li> <li>• Cortadora de acero</li> <li>• Mesa de corte</li> <li>• Bote de basura</li> <li>• Charola de transporte</li> <li>• Sección de rieles o banda</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Corte de aluminio</b></p> <p>Entran tubos y barras y salen barras más desperdicios, por lo que es necesario asignar botes. Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U de manera que el operario solamente volteará hacia atrás para obtener su material. Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Letrero</li> <li>• Estante</li> <li>• Cortadora de acero</li> <li>• Mesa de corte</li> <li>• Bote de basura</li> <li>• Charola de transporte</li> <li>• Sección de rieles o banda</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Doblado</b></p> <p>Entran tubos y barras y salen barras más doblados. Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U inversa de manera que el operario solamente volteará hacia atrás para realizar su operación y posteriormente para colocar el material en su charola. Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Letrero</li> <li>• Estante</li> <li>• Prensa</li> <li>• Dobladora de tubos</li> <li>• Charola de transporte</li> <li>• Sección de rieles o banda</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Barrenado</b></p> <p>Entran tubos y barras y salen los mismos con ranuras. Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U inversa de manera que el operario solamente volteará hacia atrás tomar su material y posteriormente para realizar su operación y colocar el material final en su mesa y posteriormente en su charola. Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Letrero</li> <li>• Estante</li> <li>• Taladro de banco</li> <li>• Mesa de terminados</li> <li>• Bote de basura</li> <li>• Charola de transporte</li> <li>• Sección de rieles o banda</li> </ul>

---

---

### Soldadura

**Entran tubos y barras y sale un cuadro para bicicleta.**

**Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U de manera que el operario solamente volteará hacia atrás para encender el equipo y al final colocará el cuadro en**

**Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.**

- Letrero
- Estante
- Planta de soldadura
- Mesa de trabajo
- Banco de soldadura
- Bote de basura
- Carro de transporte
- Sección de rieles o banda

### Torneado

**Entran tubos de aluminio y salen masas de rueda.**

**Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U inversa de manera que el operario solamente volteará hacia atrás para realizar su operación y posteriormente para colocar el material en su charola.**

**Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.**

- Letrero
- Estante
- Torno
- Bote de basura
- Sección de rieles o banda

### Ensamblaje de ruedas

**Entran rines, ejes, masas, cámara, rallo y llantas y sale una rueda completa.**

**Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U de manera que el operario solamente volteará hacia atrás para tomar sus componentes y posteriormente para realizar su operación y colocar la rueda en su charola.**

**Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.**

- Letrero
- Estante
- Mesa de ensamblaje
- Charola de transporte
- Sección de rieles o banda

### Ensamblaje de cuadro

**Entran ruedas, pedales, asiento, tijeras, manubrio y piñones y sale un cuadro con estos elementos.**

**Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U de manera que el operario solamente volteará hacia atrás para realizar su operación y posteriormente para colocar el material en riel.**

**Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.**

- Letrero
  - Estante
  - Mesa de ensamblaje
  - Charola de transporte
  - Sección de rieles o banda
-

---

### Ensamblaje de frenos y desviadores

**Entran frenos, desviadores palancas y conectores y sale un cuadro con estos elementos. Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U de manera que el operario solamente voltará hacia atrás para tomar su material y realizar su operación y colocar en el riel. Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.**

- Letrero
- Estante
- Mesa de ensamble
- Charola de transporte
- Sección de rieles o banda

### Ensamblaje eléctrico

**Entran motor, CPU, batería, LCD, acelerador, conectores y lampara y sale una e-bike completa. Se asigna estante de material de trabajo y equipo de seguridad. El área se distribuye en U de manera que el operario solamente voltará hacia atrás para tomar su material y posteriormente para colocar la e-bike en el almacén. Se asignan letreros para reconocer la operación realizada en el área.**

- Letrero
- Estante
- Mesa de ensamble
- Charola de transporte
- Sección de rieles o banda

### Almacén

- Rack para bicicletas
  - Letreros
-

## Acrónimos

BE: bicicleta eléctrica.

EBEP: emprendedores de bicicletas eléctricas plegables (área usuaria, usuario).

E-bikes: bicicletas eléctricas.

DES: simulación de eventos discretos.

DOE: diseño de experimentos.

FAEDPYME: Fundación para el Análisis Estratégico y el Desarrollo de la Pequeña y Mediana Empresa.

INEGI: Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

MIPyME: micro, pequeña y mediana empresa.

PyME (SME's): pequeña y mediana empresa.

PIB (GPB): producto interno bruto.

SE: secretaría de economía de México