



FACULTAD DE POSGRADOS

DISEÑO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA EL AMBIENTE DE  
TRABAJO SIMULADO DEL LABORATORIO DE PRODUCCIÓN  
INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Autor

Juan Pablo Trajano Zambrano Arias

Año  
2018



FACULTAD DE POSGRADOS

DISEÑO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA EL AMBIENTE DE  
TRABAJO SIMULADO DEL LABORATORIO DE PRODUCCIÓN  
INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Magister en Dirección de Operaciones y  
Seguridad Industrial

Profesor Guía

Mg. Omar Cristóbal Flor Unda

Autor

Juan Pablo Trajano Zambrano Arias

Año

2018

## DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Diseño de una línea de producción para el ambiente de trabajo simulado del laboratorio de producción industrial de la Universidad de Las Américas, a través de reuniones periódicas con el estudiante Juan Pablo Trajano Zambrano Arias, en el semestre 2018-01, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Omar Cristóbal Flor Unda  
Magister en Automática, Robótica y telemática  
CC: 171353133-1

## DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Diseño de una línea de producción para el ambiente de trabajo simulado del laboratorio de producción industrial de la Universidad de Las Américas, del estudiante Juan Pablo Trajano Zambrano Arias, en el semestre 2018-01, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Christian Leonardo Chimbo Naranjo

Magister en Docencia Universitaria en la Ciencia de la Ingeniería

CC: 180271958-1

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Juan Pablo Trajano Zambrano Arias

CC: 171583402-2

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con una familia maravillosa. Gracias a mi padre, por ser mi mentor. Gracias a mi madre, por el apoyo y cariño incondicional.

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con mucho amor a mis padres y hermana, porque han sido mi inspiración y fuerza para seguir adelante.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un ambiente de trabajo simulado para la UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS (UDLA) específicamente estará ubicado junto a los laboratorios de la carrera de ingeniería en Producción Industrial, el objetivo es implementar el diseño de un ambiente de trabajo simulado el cual proporcionara capacitación práctica y se podrá implementar: procesos fabricación, herramientas lean etc, por medio de una maqueta de una línea de montaje de tamaño real con vehículos simulados contruidos de madera o acero, para proporcionar al estudiante los diferentes escenarios de fabricación del mundo real, reproduciendo exactamente distintas actividades como control de inventarios, balanceo de líneas, control de calidad, manejo de procesos etc.

Mediante una breve reseña histórica del sistema productivo y su evolución a lo largo de los años se describe los distintos procesos de manufactura, la ingeniería de métodos, los diversos tipos de distribución de planta y la importancia de medir las actividades del trabajo, se determina las diferentes fases necesarias para el diseño y construcción de un prototipo, los costos directos e indirectos el análisis de pecios unitarios del prototipo construido y se detalla el proceso de construcción y montaje para fabricar el prototipo de vehículo tipo Jeep.

Una vez diseñado el prototipo a ensamblarse, se diseña el ambiente de trabajo simulado el cual consiste en el diseño de planta con su línea de ensamblaje, procesos de ensamble, toma de tiempos, equipamiento de planta y el diseño de inmueble que para el presente proyecto se diseñó un galpón tomando en cuenta el análisis estructural de la cimentación y de la estructura metálica.

## **ABSTRACT**

The objective of this work was to design a simulated work environment for the UNIVERSITY OF THE AMERICAS (UDLA) specifically will be located next to the laboratories of the engineering career in Industrial Production, the objective is to implement the design of a simulated work environment. which will provide practical training and can be implemented: manufacturing processes, lean tools, etc., by means of a mock-up of a real-size assembly line with simulated vehicles constructed of wood or steel, to provide the student with the different scenarios of real-world manufacturing, reproducing exactly different activities such as inventory control, line balancing, quality control, process management, etc.

Through a brief historical review of the productive system and its evolution over the years, the different manufacturing processes, method engineering, the different types of plant distribution and the importance of measuring work activities are described. different phases necessary for the design and construction of a prototype, the direct and indirect costs, the analysis of unit wrecks of the built prototype and detailing the construction and assembly process to manufacture the Jeep type vehicle prototype.

Once the prototype has been designed to be assembled, the simulated work environment is designed, which consists of the design of the plant with its assembly line, assembly processes, taking of time, plant equipment and the design of the factory that for the present project a barn was designed taking into account the structural analysis of the foundation and the metallic structure.

# ÍNDICE

1. Generalidades .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.2.1. Objetivo General.....	1
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. Antecedentes .....	2
1.4. Definición del problema .....	4
1.5. Justificación .....	5
1.6. Metodología .....	5
1.6.1. Aspectos Metodológicos.....	6
1.6.1.1. Inductivo.....	6
1.6.1.2. Deductivo .....	6
1.6.2. Puntos Metodológicos del proyecto .....	6
2. Marco teórico .....	7
2.1. El sistema productivo y su evolución histórica .....	7
2.1.1. Producción artesanal .....	8
2.1.2. Producción en masa .....	9
2.1.3. Producción ajustada .....	9
2.1.4. De la producción artesanal a la producción en masa .....	10
2.1.5. De la producción en masa a la producción ajustada .....	12
2.2. ¿Qué es la manufactura?.....	14
2.2.1. La manufactura como campo de estudio en el contexto moderno	14
2.2.2. Capacidad de manufactura.....	15
2.2.3. Procesos de manufactura .....	17
2.3. Dirección de operaciones.....	19
2.3.1. Diseño de operaciones .....	19
2.3.2. Ingeniería de métodos .....	20
2.3.2.1. Objetivos del estudio de métodos .....	22
2.3.2.2. Procedimiento para realizar un estudio de métodos .....	23
2.3.3. Importancia de la medición del trabajo .....	26

2.3.3.1.	Métodos clásicos de medición del trabajo.....	27
2.3.3.2.	Tiempos predeterminados.....	41
2.3.4.	Diseño de producto.....	43
2.3.5.	Construcción de prototipos .....	44
2.3.6.	Diseño de procesos y modelado.....	44
2.3.7.	Tipos de distribución de planta .....	45
2.3.7.1.	Distribución de posiciones fijas .....	46
2.3.7.2.	Distribución por procesos.....	46
2.3.7.3.	Distribución por celdas .....	48
2.3.7.4.	Distribución por producto .....	49
2.3.8.	Balaneo de línea .....	50
2.4.	Entorno de trabajo simulado (SWE) .....	51
2.5.	Diseño mecánico .....	53
3.	Diseño y construcción de un prototipo de vehículo para la línea de producción simulada .....	54
3.1.	Fases de planeación del producto .....	54
3.1.1.	Primera fase (Definición Estratégica) .....	55
3.1.1.1.	Identificación de las necesidades del usuario .....	56
3.1.2.	Segunda fase (Diseño de Concepto).....	62
3.1.2.1.	Alternativas de diseño.....	63
3.1.2.2.	Metodología para seleccionar la mejor alternativa .....	67
3.1.3.	Tercera fase (Diseño en detalle).....	70
3.1.3.1.	Especificaciones del producto.....	70
3.1.3.2.	Diseño para ensamblés .....	73
3.1.3.3.	Diseño asistido por computadora (CAD).....	75
3.1.4.	Cuarta fase (Verificación y Testeo).....	81
3.1.4.1.	Costos .....	81
3.1.4.2.	Construcción .....	86
3.1.4.3.	Montaje .....	93
4.	Diseño del ambiente de trabajo simulado.....	95
4.1.	Consideraciones para el diseño.....	95
4.2.	Diseño de planta.....	96

4.2.1.	Selección de distribución de planta .....	97
4.2.2.	Diseño del inmueble .....	98
4.2.2.1.	Análisis estructural del galpón.....	100
4.2.2.2.	Diseño estructural de la cimentación del galpón.....	109
4.2.3.	Layout de los puestos de trabajo y de la línea de producción ....	110
4.3.	Diseño de la línea de transporte.....	115
4.3.1.	Selección del mecanismo de transporte .....	115
4.3.2.	Dimensionamiento de la línea de transportación.....	116
4.4.	Diseño de la línea de ensamble.....	118
4.4.1.	Diagrama del proceso de ensamble .....	122
4.4.2.	Toma de tiempos de cada actividad .....	123
4.5.	Diseño del equipamiento .....	125
4.5.1.	Diseño de los Racks .....	125
4.5.2.	Diseño y selección de estructuras de soporte .....	129
4.6.	Simulación de planta .....	131
4.6.1.	Datos ingresados en las rutas del proceso productivo .....	133
4.6.2.	Datos ingresados a las operaciones de trabajo.....	138
4.6.3.	Análisis de resultados.....	141
4.6.3.1.	Balaceo de línea .....	142
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	156
5.1.	Conclusiones.....	156
5.2.	Recomendaciones .....	156
	REFERENCIAS .....	158
	ANEXOS .....	162

# **1. Generalidades**

## **1.1. Introducción**

El proyecto de tesis se desarrolla en la Universidad de las Américas (UDLA), enfocándose en la línea de producción industrial de ensamble de vehículos en general, el objetivo es diseñar y construir un prototipo de vehículo de fácil ensamble para simular un ambiente de trabajo con el propósito de determinar los procesos que intervienen en la línea de producción mediante el estudio y diseño de planta más adecuado para su fácil simulación donde se puedan aplicar los diversos conocimientos que se relacionan en la Maestría de Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial.

Un claro ejemplo de la aplicación del ambiente de trabajo simulado se la puede observar en GM OBB del Ecuador y en la empresa Caterpillar que posee una planta de trabajo simulado para que personas externas y colaboradores puedan experimentar este trabajo y las condiciones en que se realiza. Se recrean varias operaciones de ensamblaje que permiten a los participantes palpar directamente procesos que podrían parecer sencillos a primera vista, pero que requieren de gran precisión y agilidad manual para cumplir con los estándares de calidad y plazos de entrega de la empresa.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar una línea de producción para el ambiente de trabajo simulado del Laboratorio de Producción Industrial de la Universidad de Las Américas.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir un prototipo de vehículo de fácil ensamble para la línea de producción simulada.
- Determinar los procesos que intervienen en la línea de producción.
- Estudiar y diseñar un sistema de transporte para el ensamble de los vehículos.
- Realizar el diseño de planta.
- Documentar los detalles constructivos.

### 1.3. Antecedentes

Hoy en día existen algunas empresas manufactureras que tienen desarrollado el ambiente de trabajo simulado como *Caterpillar*, *General motors* para entrenar a su propio personal y otras que se dedican hacer consultoría como *Infinite Learning Development* y *Elphinstone SWE*. De estas empresas la más conocida que realiza este tipo de entrenamiento y está establecida en Ecuador es General Motors.

En *General Motors* de Estados Unidos el Ambiente de Trabajo Simulado o *Simulated Work Environment (SWE)*, se caracteriza por llevar el siguiente proceso:

El *SWE* simula los procesos de manufactura de la planta de fabricación de vehículos y proporciona entrenamiento, los participantes provienen de las diferentes estaciones de trabajo de la fábrica de autos GM. Estos trabajadores pasan por el entrenamiento de un día en lo que se conoce como "*Natural work*

*groups*". Por ejemplo, este grupo de nivel de planta está conformado por jefes de planta y técnicos de las estaciones de ensamblaje, pero no necesariamente quien es jefe de planta en las fábricas reales tiene que serlo en el ambiente de trabajo simulado, esto se lo realiza para maximizar las oportunidades de aprendizaje (PR Newswire, 2006).

El SWE desarrollado por General Motors, proporciona a todo su sistema de manufactura global, mejora de las áreas de calidad, producción, seguridad, control de inventarios etc.

En el proceso de ensamblaje de sus autos el SWE apoya generando trabajo en equipo y constantes mejoras en las reuniones de retroalimentación.

El SWE está diseñado con un área de 4073 pies cuadrados con un sistema de transportación tipo bucle cerrado (*closed loop conveyor system*) en el cual interactúan 16 estaciones de trabajo cada una con su respectivo trabajador, más un trabajador que está encargado de entregar los materiales necesarios para el ensamblaje del vehículo de madera. Uno de los miembros del equipo se llega a convertir en líder el cual estará encargado de manejar tiempos y detectar problemas de líneas de producción como cuellos de botella (PR Newswire, 2006).

Los participantes se entrenan aprendiendo a través de los distintos procesos realizados en equipo ellos siguen normas de trabajo, identifican como manejar hojas de control y como mejorar los problemas encontrados en la manufacturación del proceso.

Hasta el año 2006 como se indica en la figura 1, más de 1300 personas han participado en este tipo de entrenamiento desarrollado por General Motors (GM) con una capacitación de cinco mil horas (PR Newswire, 2006).



*Figura 1.* Planta S.W.E de General Motors Company.  
Tomado de (Fhait, 2015)

#### **1.4. Definición del problema**

En la UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS (UDLA) gran parte de los estudiantes de Ingeniería en Producción Industrial y de Posgrado se ven en la necesidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante su proceso de formación académica, como ingenieros en producción industrial. A fin de consolidar el aprendizaje, un entorno de trabajo simulado es una alternativa pertinente, necesaria e innovadora.

No siempre resulta sencillo intervenir en la parte operativa de la industria, La solución que se propone es implementar el diseño de un ambiente de trabajo simulado el cual proporcionara capacitación práctica y se podrá implementar: procesos fabricación, herramientas lean etc.

Analizando la realidad que se vive actualmente en el país es muy complicado que al momento de realizar prácticas profesionales se pueda aplicar los conocimientos teóricos ya que en muchos casos los estudiantes están a

disposición de las empresas y sus actividades. Por esta razón la UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS (UDLA) se ha visto en la necesidad de implementar una solución adecuada para mejorar el aspecto práctico en el proceso educativo.

### **1.5. Justificación**

Tratando de encontrar una manera simple pero sin concesiones para entender los conceptos de: trabajo en equipo, la reducción de residuos y la mejora de la calidad de fabricación, se propone realizar una simulación de trabajo parecido al de un fabricante de automóviles, ya que a diferencia de otras simulaciones de fabricación enseñadas por algunas universidades que utilizan juguetes y sistemas informáticos para capacitar a los estudiantes, la UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS (UDLA) utilizará una maqueta de una línea de montaje de tamaño real con vehículos simulados construidos de madera o acero, para proporcionar al estudiante los diferentes escenarios de fabricación del mundo real. Cada estudiante de la carrera de Ingeniería en Producción Industrial o Postgrado en la línea de ensamble pasará a través de las distintas estaciones de trabajo para construir un vehículo, reproduciendo exactamente distintas actividades como control de inventarios, balanceo de líneas, control de calidad, manejo de procesos etc.

El diseño de un ambiente de trabajo simulado o más conocido en el idioma inglés como *Simulated Work Environment (SWE)* apoyará a los estudiantes, a trabajar en equipo y a mejorar continuamente en las áreas del conocimiento de producción industrial preparándolos así para el ámbito laboral.

### **1.6. Metodología**

Para el diseño y estudio de una línea de producción para el ambiente de trabajo simulado se partirá desde la necesidad, se considerará el diseño de un vehículo, las especificaciones de la línea de transporte, la lista de materiales necesarios

para su ensamblaje, la distribución del espacio, aspectos de seguridad en los procesos de fabricación para lograr una planta simulada funcional adecuada y completa para el aprendizaje.

### **1.6.1. Aspectos Metodológicos**

#### **1.6.1.1. Inductivo**

A partir del diseño de los componentes del ambiente de trabajo simulado se concluirá el desempeño del entorno total permitiendo el estudio de su eficiencia en su totalidad.

#### **1.6.1.2. Deductivo**

Se emplearán los conocimientos de Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Producción, y los conceptos enseñados del programa de estudios Maestría en Dirección de Operaciones lo que permitirá diseñar, determinar estándares y procesos para la finalización del proyecto.

### **1.6.2. Puntos Metodológicos del proyecto**

- Estudio de las líneas de ensamblaje automotriz con el fin de conocer su distribución y sus procesos de producción lo que nos permitirá realizar el diagrama de flujo de la materia prima y hacer un análisis preliminar del estado de la planta.
- Fundamentos de optimización del flujo de trabajo.
- Realizar de un análisis descriptivo de las actividades en cada puesto de trabajo de la línea de producción.
- Definición de los indicadores de productividad.
- Estudio y toma de tiempos en cada uno de los puestos de trabajo y para cada operación.

- Diseño de planta.
- Configuraciones de distribución de las líneas de producción.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. El sistema productivo y su evolución histórica**

Desde que el hombre se encontró con la necesidad de producir objetos a gran escala se ha intentado desarrollar los conceptos de producción más adecuados, para satisfacer la demanda de los productos que se venden al público tratando de que estos sean útiles, fáciles de vender y generen utilidades (García, 2016). La producción industrial se ha estudiado desde los inicios de la historia hasta hoy en día, un claro ejemplo de esto es la REVOLUCIÓN INDUSTRIAL en la cual se sustituyó la energía física por energía mecánica incrementando la producción manufacturera a gran escala.

El presente proyecto se basará en la revisión del proceso evolutivo de los aspectos productivos que se ha desarrollado a lo largo de los años en el sector industrial automovilístico tomando en cuenta lo siguiente:

Durante la evolución productiva el sector automotriz ha sido el pionero por desarrollar la mayor actividad manufacturera en el mundo durante los últimos 50 años aplicando una diversidad de procesos a su cadena de producción, abarcando la mayoría de áreas del conocimiento que se utilizan en otras industrias como mecánica, electrónica, electricidad, hidráulica, diseño asistido por computadora, producción, seguridad industrial, entre otras (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

La capacidad de poder coordinar todos estos procesos que demandan cierta complejidad para fabricar un automóvil en los tiempos y costes establecidos,

justifica desarrollar un ambiente de trabajo simulado basado en la industria automovilística.

Al terminarse la Primera Guerra Mundial, Alfred Sloan (Presidente de General Motors), Frederic W. Taylor (autor del libro Los Principios de la Gestión Científica), Henry Ford (presidente de la Ford Motor Company) llevaron al mundo de la producción artesanal hacia la era de la producción en masa (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

En los años 70, el mundo reconoció un verdadero sistema de producción el cual se originó en Japón ya que después de la Segunda Guerra Mundial, Taiichi Ohno y Eiji Toyota de la Toyota Motor Company crearon una novedosa forma de producir denominada producción ajustada (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

En la actualidad la mayoría de empresarios han afirmado que sus sectores constantemente se enfrentan a una crisis de sobredimensionamiento conjuntamente con un exceso en su capacidad productiva, que realmente no es así ya que el nivel adquisitivo de los consumidores está creciendo y especialmente en países donde su economía es favorable, consecuencia de esto, los consumidores desean productos que sean estandarizados desean mayores prestaciones, personalización, rapidez de respuesta calidad y servicios adicionales sin que todo esto sea un factor para elevar el precio final del producto y es aquí donde la producción ajustada podría ser la solución (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

### **2.1.1. Producción artesanal**

La producción artesanal consiste en emplear trabajadores muy calificados que usan herramientas sencillas para hacer exactamente lo que solicita el consumidor. El resultado es la creación de una pieza única como un traje hecho a medida del cliente o un cuadro de arte, el problema de producir por el medio

artesanal radica en que es excesivamente caro y no muy asequible para que se interesen en comprarlo. En 1920 se producían los vehículos siguiendo el método artesanal y eran demasiado caros al punto de ser exclusivos (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

### **2.1.2. Producción en masa**

La producción en masa es un sistema que, con profesionales cualificados en el diseño de procesos y productos, emplea trabajadores no cualificados o semicualificados para manipular máquinas que son caras y poco flexibles produciendo enormes cantidades de productos idénticos entre sí. Como la maquinaria utilizada en estos procesos es costosa y no tolera las interrupciones, el profesional capacitado añade todas las facilidades para que no se interrumpa el proceso de fabricación debido a los siguientes motivos: stocks al inicio de la línea de producción, stocks intermedios, holguras de estaciones de trabajo etc. Como el tiempo que se invierte en configurar la maquinaria y su ajuste es complejo el productor siempre trata de minimizar los cambios produciendo grandes lotes de productos estándar, la reducción del costo de producción se reduce, pero se ve sacrificada la variedad (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

### **2.1.3. Producción ajustada**

El sistema de producción ajustada intenta combinar las fortalezas que posee la producción artesanal y la producción en masa basándose en el principio de la eliminación de la ineficacia, ineficiencia del proceso productivo ya que esto no aporta valor alguno al producto final, en otras palabras la producción ajustada maximiza su capacidad de aprovechar al máximo sus recursos evitando los despilfarros generados, obteniendo los mismos productos pero a la mitad del esfuerzo humano, mitad de la inversión en maquinaria, mitad de espacio y mitad de horas de cálculo y diseño ingenieril en el desarrollo de un nuevo producto dando como resultado menos defectos y variedad (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

#### 2.1.4. De la producción artesanal a la producción en masa

Al inicio de 1889 el fabricante de máquinas y herramientas P&L (Panhard y Levassor) tuvo una reunión estratégica con el fundador de la actual Mercedes Benz Gottlieb Daimler para diseñar el famoso vehículo Panhard una obra de ingeniería que alcanzaba las 12 millas/hora, con un motor en la parte frontal y con tracción trasera. Los trabajadores de P&L eran artesanos cualificados que fabricaban los vehículos en cantidades mínimas, estos autos no eran idénticos, porque los sistemas de medidas no tenían una estandarización. Como consecuencia las piezas de ensamblaje de ajuste siempre tenían que ser limados produciendo que el ensamblaje secuencial produzca el deslizamiento dimensional (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

Los problemas de este tipo de producción son obvios los costes son elevados y no descienden con el aumento de volumen productivo lo que significa que los productos están reservados solo para un nicho especial de mercado. Cada coche era un prototipo difícil de darle fiabilidad. La producción en talleres no estaba en las condiciones de desarrollar nuevas investigaciones en tecnología pues no se disponía de los recursos necesarios (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).



*Figura 2. Panhard x72 Berlina Panorámica 1934.  
Tomado de (Yalta Producción, s.f.)*



*Figura 3.* Panhard 24 1963 construido en alianza con Citroën.  
Tomado de (Caradisiac. s.f.)

La clave de la producción vehicular en masa radica en la coherente intercambiabilidad y facilidad del ensamblaje de sus partes. Henry Ford insistió que su famoso modelo T como se muestra en la figura 4, utilizara el mismo sistema de medida para todas sus partes durante el proceso de fabricación, esto ayudo a proporcionar ventajas considerables con respecto a sus competidores ya que pudo descartar mano de obra cualificada (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).



*Figura 4.* Modelo T de Ford Motor Company año 1921.  
Tomado de (Catálogo diseño, s.f.)

El producto que ofertaba la compañía Ford se lo fabricaba en nueve carrocerías distintas, pero con el mismo chasis. El éxito de sus ventas se basaba más en sus bajos precios.

### **2.1.5. De la producción en masa a la producción ajustada**

En 1930 Kiichiro Toyota fundador de *Toyota Motor Company* implementó la filosofía de cero defectos al producir, algo un poco difícil de lograrlo en esos años ya que no se habían realizado avances el sistema de producción.

Puesto que la fábrica de Ford producía alrededor de 7000 unidades al día mientras que *Toyota Motors Company* estaba produciendo 2865 unidades en todo el año 1950. Su hijo Eiji Toyota se dispuso a analizar minuciosamente el sistema de producción de Ford, llegando a la conclusión que el sistema de producción en masa generaba demasiado desperdicio, debido a que no estaban ajustados sus recursos a las necesidades de producción. La forma más sencilla de comprender el ajuste de recursos, es realizando una comparativa de los procesos en la producción artesanal, producción en masa y producción ajustada de la carrocería (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

Según (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004) en la producción artesanal las carrocerías esta compuestas por planchas de acero, soldadas alrededor de unas 300 piezas de metal forjado y las planchas de aluminio se moldean a mano sobre una matriz hasta conseguir la forma deseada.

En la producción en masa la plancha inicial de acero se hace pasar a través de troqueles automatizados, para producir troquelados planos, los cuales se insertan en prensas de forjado obteniendo la forma tridimensional que se desea, el problema de este método es que la maquinaria es costosa, las matrices de prensado demasiado pesadas, dificultando su cambio y siendo necesario

producir gran cantidad de piezas para que justifique su cambio antes de producir otro modelo (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

Así que después de comprar algunas prensas usadas y experimentar con ellas Eiji Toyota llegó a simplificar el proceso de los cambios de matriz en una técnica conocida como SMED (*Single Minute Exchange of Dies*) que significa que el cambio de serie se lo debe realizar en un tiempo menor a dos dígitos de minuto menor que 10 minutos (Espín Carbonell, 2013).

Como consecuencia de este descubrimiento los trabajadores de Toyota se preocupaban menos por las forjas y más por la calidad porque al producir menos piezas se podía detectar cualquier falla a tiempo y así hacer los ajustes pertinentes y no después de un gran lote producido (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).



*Figura 5.* Fábrica de Toyota en Valenciennes.  
Tomado de (Suñe et al., 2004, p. 21)

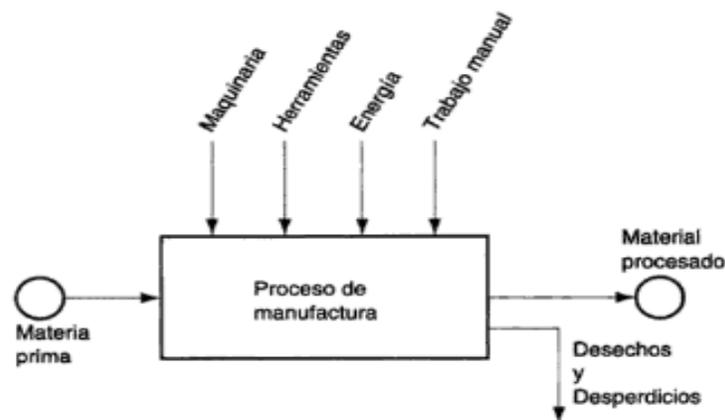
## 2.2. ¿Qué es la manufactura?

La manufactura proviene del latín manus (mano) y factus (hacer) cuya unión se describe como hecho a mano, este significado tiene varios siglos de antigüedad describiendo en forma adecuada los procesos y métodos manuales cuando se acuñó la expresión. La manufactura moderna en su mayoría se lleva a cabo utilizando maquinaria automatizada y controlada por computador que se lo supervisa de manera manual (Groover, 2007).

### 2.2.1. La manufactura como campo de estudio en el contexto moderno

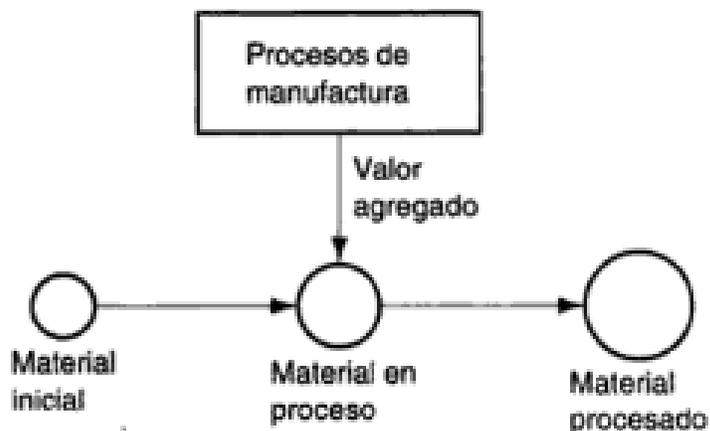
La manufactura se puede definir de las siguientes formas según su contexto moderno: tecnológica y económica.

La manufactura tecnológica como se observa en la figura 6, utiliza la aplicación de procesos físicos y químicos para cambiar las propiedades geométricas, propiedades del material, apariencia del material en un inicio dado, para obtener otras piezas o productos por medio de la fabricación; en la manufactura también se incluye el ensamblaje de piezas múltiples utilizando máquinas, herramientas, trabajo manual y energía (Groover, 2007).



*Figura 6.* Manufactura como proceso técnico.  
Tomado de (Groover, 2007, p. 4)

Analizando el sentido económico como se detalla en la figura 7, la manufactura es la transformación de materia prima de las fábricas en artículos de un valor mayor que se lo realizó con una, o más operaciones de procesamiento o ensamblaje (Groover, 2007).



*Figura 7.* Manufactura como proceso económico.  
Tomado de (Groover, 2007, p. 4)

### 2.2.2. Capacidad de manufactura

Una planta de producción está formada por sistemas y procesos, en los cuales abarcan personas por su puesto, para transformar la materia prima en un producto final que ha incrementado su valor. Esos tres bloques sistemas, procesos y materiales integran la materia de la manufactura moderna (Groover, 2007, p. 7).

Según (Groover, 2007) la capacidad de manufactura analiza las limitaciones técnicas y físicas de una planta industrial manufacturera para identificar:

- Capacidad tecnológica de proceso
- Tamaño físico y peso del producto

- Capacidad de producción

La *capacidad tecnológica del proceso* de una planta industrial es lo que posee como conjunto de procesos de manufactura. Ciertas plantas manufactureras realizan operaciones de fundición, otras realizan operaciones de trefilado para obtener alambre de cobre, otras convierten lingotes de acero en pletinas y otras fabrican automóviles que están compuestos por los productos de las anteriores empresas mencionadas (Groover, 2007).

Una planta de fundición no puede realizar alambres de cobre y una planta de trefilado no puede construir vehículos, las características que hacen distinguir a esas plantas son los procesos que pueden realizar, porque el procesamiento tecnológico se relaciona con el tipo de material a trabajar. Cada planta es experta en sus procesos de manufactura y por lo tanto debe concentrarse en el diseño y la manufactura de productos compatibles con sus procesos tecnológicos (Groover, 2007).

Las *limitaciones físicas del producto* están determinadas por el producto físico, limitando el diseño de planta en los términos de tamaño y peso de los mismos que pueden alojarse ya que si el elemento producido es grande y pesado, se debería considerar un sistema de transportación tipo grúa y si éste es pequeño se lo movería de una estación de trabajo a otra utilizando bandas transportadoras.

Las limitaciones de tamaño y peso del producto también afectan a las máquinas de producción porque poseen tamaños distintos en función de la pieza a fabricar. Cuando se va a diseñar una planta de producción hay que tener muy en cuenta estas limitaciones para poder determinar la capacidad de almacenamiento, los equipos de producción y el manejo de materiales (Groover, 2007).

La tercera limitante relacionada con la capacidad de manufactura de una empresa manufacturera es la *capacidad de producción*, que es la cantidad que

puede producirse en un determinado periodo de tiempo definida como la tasa máxima de producción que una planta llega a alcanzar dentro de una operación (Introducción a los Procesos de Manufactura, s.f.).

### 2.2.3. Procesos de manufactura

Los procesos de manufactura están divididos en *operaciones del proceso* y en el *proceso de ensamblado*, como se puede apreciar en la figura 8 y en la figura 9 respectivamente. Las operaciones del proceso hacen que los materiales pasen de un estado a otro obteniendo un estado avanzado en cada etapa de la manufacturación mientras se acerca a producto final que se desea obtener. El estado avanzado del producto va obteniendo valor al momento que va cambiando la geometría, propiedades mecánicas etc (Groover, 2007).

Una operación de ensamblado es en la cual interviene un proceso de unión de dos o más componentes con el objetivo de crear un ensamble o subensamble (por ejemplo, un ensamble soldado compuesto por dos marcos de metal y una bisagra) (Kalpakjian & Schmid, 2002).

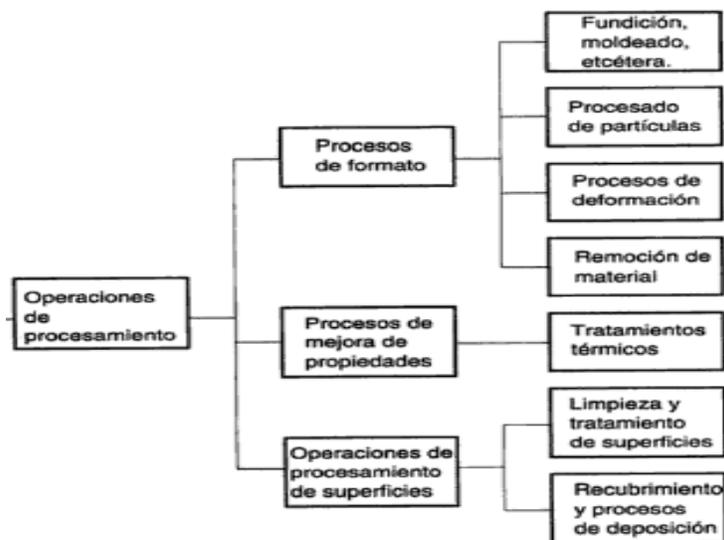
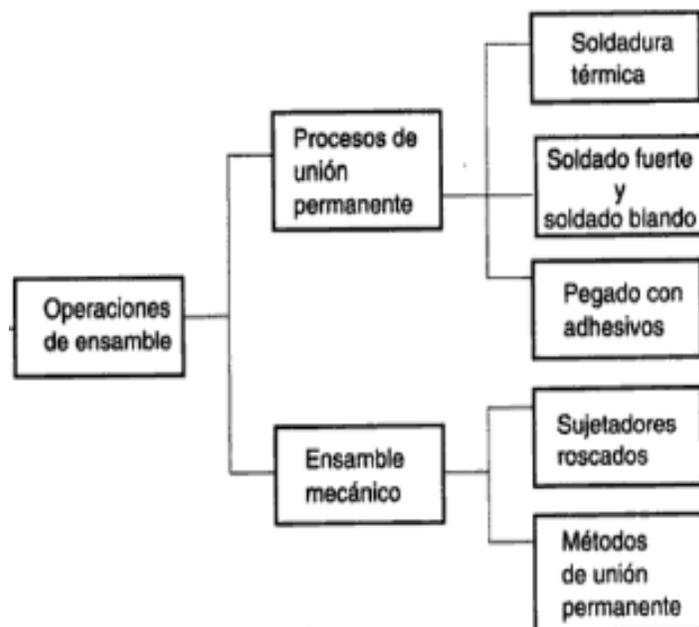


Figura 8. Operaciones de procesamiento.  
Adaptado de (Groover, 2007, p. 11)



*Figura 9.* Operaciones de ensamble.  
Adaptado de (Groover, 2007, p. 11)

Las operaciones del proceso en una planta manufacturera se realizan sobre partes discretas del trabajo siendo aplicables a artículos ensamblados, como se ilustra en la figura 10.



*Figura 10.* Ensamble de dos piezas de metal soldadas a una bisagra.

## **2.3. Dirección de operaciones**

El término dirección de operaciones se define como al control, diseño y administración sistemática de los procesos que intervienen en la transformación de ciertos insumos en bienes y servicios para los clientes (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2007). La dirección de operaciones se encuentra presente en todos los departamentos que contiene una empresa, ya que en cada uno de ellos se llevan a cabo diferentes tipos de procesos, que de una manera directa o indirecta se encuentran relacionados con el producto o servicio que ofrece la empresa (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2007).

En la mayoría de las organizaciones podemos encontrar las siguientes funciones:

- Contabilidad
- Distribución
- Ingeniería
- Operaciones
- Finanzas
- Recursos humanos
- Marketing

Cada función cuenta con sus propias responsabilidades, procesos y conocimientos que siempre estarán vinculados por los procesos, por tal razón es esencial una correcta coordinación entre los oficios de cada departamento y así conseguir una dirección de operaciones eficaz (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2007).

### **2.3.1. Diseño de operaciones**

El diseño de operaciones se encarga de optimizar las características de los procesos que intervienen en una línea de producción para que las empresas

sean rentables y competitivas (Chase et al., 2004). El diseño de operaciones de una línea de producción debe tener en cuenta que sus procesos sean realizadas en el menor tiempo posible para lograr adaptarse a la demanda del producto, reducir los stocks de materia prima fomentando el ahorro, control de calidad en todas las actividades, equilibrar las capacidades de sus recursos para controlar los cuellos de botella, optimizar la distribución de planta para lograr un flujo adecuado de la producción y analizar continuamente el proceso de producción. (Chase et al., 2004).

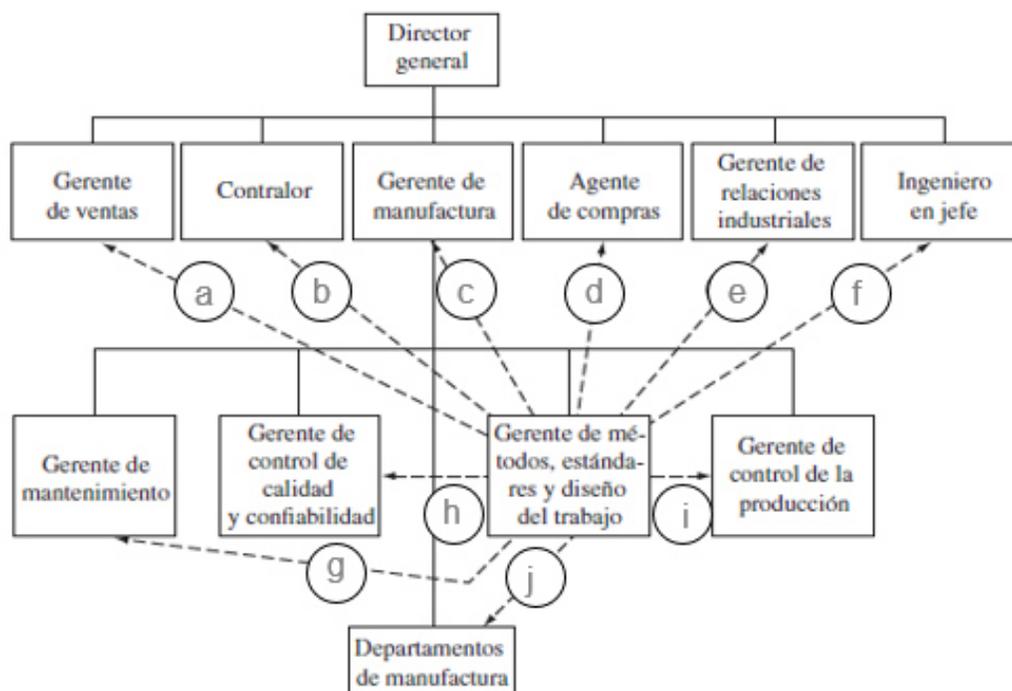
### **2.3.2. Ingeniería de métodos**

La ingeniería de métodos es una técnica encargada de incrementar la productividad con los mismos recursos que se disponen y obtener exactamente lo mismo, pero con menos recursos empleando estudios sistemáticos y críticos de los procesos que intervienen en los métodos de trabajo (Ingeniería de métodos, 2008).

La aplicación de la ingeniería de métodos está relacionada con la formulación del diseño, mediante la selección de los mejores procesos, métodos, herramientas y equipos necesarios para manufacturar un producto después de haber estudiado con detenimiento los planos realizados de los prototipos del producto a producirse en el área de ingeniería, logrando una interrelación eficiente entre hombre - maquina (Ingeniería de métodos, 2008).

Analizando cómo se comporta una organización que posee un departamento de ingeniería de métodos de acuerdo con la figura 11, podemos concluir lo siguiente: El objetivo de un gerente de manufactura es fabricar productos de calidad, justo a tiempo y con el menor costo posible generando utilidad. El objetivo del gerente de control de la calidad es mantener los estándares del producto a fabricar que sus especificaciones técnicas no tenga variación. El gerente de control de la producción se encarga de mantener una producción adecuada para satisfacer las necesidades del cliente elaborando planes de

producción y el gerente de mantenimiento mantiene operativas las máquinas para evitar las fallas y los paros no programados de las líneas de manufactura. Las áreas de gerencia antes mencionadas tienen relación e influencia de la ingeniería de métodos determinando los estándares y diseño del trabajo en la producción (Niebel & Freivalds, 2009).

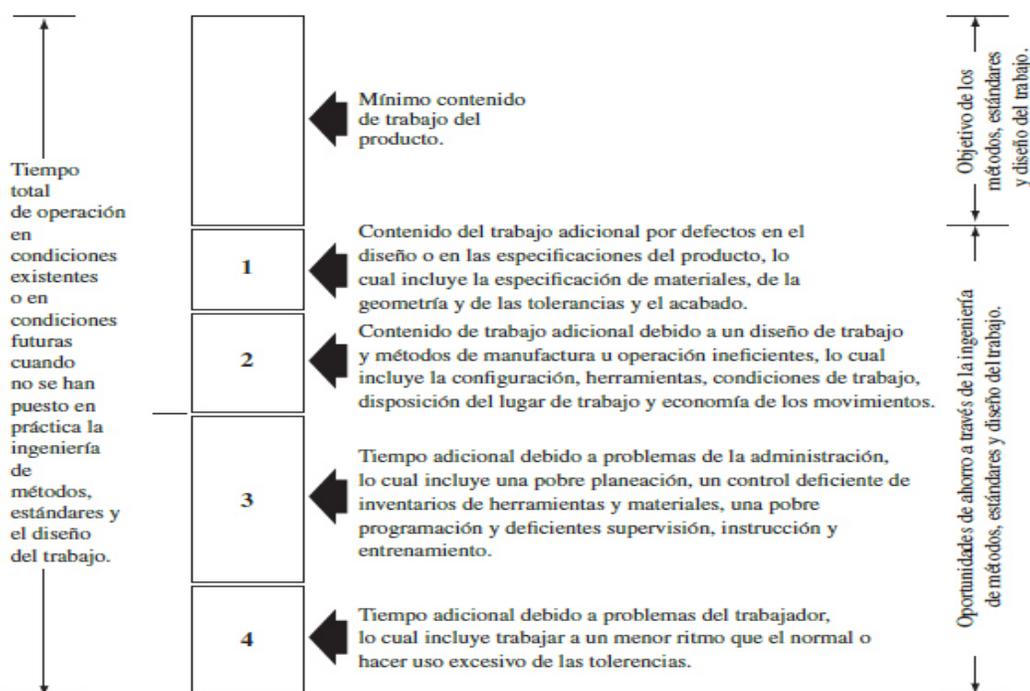


*Figura 11.* Diagrama de una organización típica que posee un departamento de métodos del trabajo.

Tomado de (Niebel y Freivalds, 2009, p. 3)

- a) En gran medida, el costo está determinado por los métodos de manufactura.
- b) Los estándares de tiempo son las bases de los costos estándar.
- c) Los estándares (directos e indirectos) proporcionan la base de las mediciones del desempeño de los departamentos de producción.
- d) El tiempo es el común denominador para comparar la competitividad del equipo y los suministros.
- e) Las buenas relaciones laborales se conservan mediante estándares equitativos y un entorno laboral seguro.
- f) Los métodos del diseño del trabajo y los procesos influyen en gran medida en el diseño de productos.
- g) Los estándares proporcionan la base del mantenimiento preventivo.
- h) Los estándares mantienen la calidad.
- i) La programación está basada en los estándares de tiempo.
- j) Los métodos, estándares y diseño del trabajo determinan como se hará el trabajo y que duración tendrá.

Según (Niebel & Freivalds, 2009) los términos, análisis de operaciones, diseño del trabajo, simplificación del trabajo e ingeniería de métodos se utilizan como sinónimos. Todos ellos se refieren a las técnicas más adecuadas para aumentar la producción, reduciendo costos con la ayuda de análisis del producto en dos etapas. Primero, el personal encargado del área de métodos es responsable del diseño y desarrollo de las estaciones de trabajo encargadas de manufacturar el producto. Segundo, se debe analizar constantemente los puestos de trabajo para encontrar mejores formas de fabricar el producto manteniendo la calidad de este y bajando los tiempos de fabricación, como se indica en la figura 12.



*Figura 12.* Ahorro a través de la aplicación de la Ingeniería de métodos y estudios de tiempo.

Tomado de (Niebel y Freivalds, 2009, p. 4)

### 2.3.2.1. Objetivos del estudio de métodos

De acuerdo con (García Criollo, 2005, p. 35) los objetivos de la ingeniería de métodos son los siguientes:

- Mejorar los procesos y procedimientos.
- Mejorar la disposición y el diseño de la fábrica, taller, equipo y lugar de trabajo.
- Economizar el esfuerzo humano y reducir la fatiga innecesaria.
- Disminuir el costo de uso de materiales, máquinas y mano de obra.
- Aumentar la seguridad.
- Mejorar las condiciones de trabajo.
- Hacer que el trabajo sea más fácil, rápido, y sencillo.

### 2.3.2.2. Procedimiento para realizar un estudio de métodos

Según (García Criollo, 2005, p. 36) el procedimiento a realizarse para obtener mejoras tiene los siguientes pasos:

- Primer paso (seleccionar el trabajo que debe mejorarse).
- Segundo paso (registrar los detalles del trabajo).
- Tercer paso (analizar los detalles del trabajo).
- Cuarto paso (desarrollar un nuevo método para hacer el trabajo).
- Quinto paso (adiestrar a los operarios en el nuevo método de trabajo).
- Sexto paso (aplicar el nuevo método de trabajo).

Detalle de cada paso:

- **Primer paso (seleccionar el trabajo que debe mejorarse):** todos los aspectos de trabajo en una empresa no se les puede mejorar al mismo tiempo, se requiere un criterio lógico para seleccionar el trabajo que se quiere mejorar, desde el punto de vista humano, desde el punto de vista económico, desde el punto de vista funcional del trabajo (García Criollo, 2005).

Desde el punto de vista humano los primeros trabajos a mejorar deben ser los que presenten algún tipo de riesgos de accidente.

Desde el punto de vista económico, se debe dar prioridad a los trabajos repetitivos que presentan un porcentaje alto de costo al producto terminado.

Desde el punto de vista funcional del trabajo es necesario analizar los trabajos que presentan cuellos de botella, porque retrasan la producción.

- **Segundo paso (registrar los detalles del trabajo):** para realizar mejoras en un trabajo, es elemental conocer en que consiste su proceso, redactando detalladamente todas sus actividades de forma clara sin perder el mínimo detalle. Los registros de estas actividades también ayudan para llevar una bitácora de cómo se han estado haciendo las cosas (Yandún Garzón, 2016). El registro de los procesos de fabricación se los puede realizar con la ayuda de diagramas de procesos de operación.
- **Tercer paso (analizar los detalles del trabajo):** el análisis completo de un trabajo comienza utilizando ciertas preguntas sobre cada detalle con el objeto de justificar existencia, lugar, orden, persona, y forma en que se ejecuta (García Criollo, 2005, p. 37).

Las preguntas deben ser usadas de la siguiente manera:

*¿Por qué existe cada detalle? ¿Para qué sirve cada uno de ellos?*; “estas preguntas explican la razón de su existencia de cada detalle” (Criollo, 2005, p. 37).

*¿Dónde debe hacerse el detalle?*; “pregunta que lleva a investigar si el lugar de las máquinas y donde se realiza el trabajo es adecuado” (Criollo, 2005, p. 37).

*¿Cuándo debe ejecutarse el detalle?*; “pregunta para investigar si el tiempo, orden, secuencia en que se ejecutan los detalles es adecuado” (Criollo, 2005, p. 37).

*¿Quién debe hacer el detalle?*; “pregunta para determinar si la persona que está ejecutando el detalle es adecuada” (Criollo, 2005, p. 37).

*¿Cómo se ejecuta el detalle?*; “pregunta para buscar una mejor forma de hacerlo” (Criollo, 2005, p. 38).

- **Cuarto paso (desarrollar un nuevo método para hacer el trabajo):** al momento de desarrollar el método de trabajo se debe considerar las respuestas obtenidas, las que nos permitan tomar las siguientes acciones:

“Si las primeras preguntas *¿Por qué?* y *¿Para qué?*; no pudieron contestarse en forma razonable, quiere decir que el detalle bajo el análisis no se justifica y debe ser *eliminado*” (García Criollo, 2005, p. 38).

“Las respuestas a las preguntas *¿Cuándo?*, *¿Dónde?* y *¿Quién?* Pueden indicar la necesidad de *cambiar* las circunstancias del lugar, tiempo y persona en que se ejecuta el trabajo. Es decir, buscar un lugar más conveniente. Un orden más adecuado o una persona más capacitada” (García Criollo, 2005, p. 38).

“Si surge la necesidad de cambiar algunas de las circunstancias bajo las cuales se ejecuta el trabajo, generalmente será necesario modificar algunos detalles y *reorganizarlos* para obtener una secuencia más lógica” (García Criollo, 2005, p. 38).

“Todos aquellos detalles que no hayan podido ser eliminados, posiblemente puedan ser ejecutados en una forma más fácil y rápida. La respuesta a la cuarta pregunta nos llevara a *simplificar* la forma de ejecución” (García Criollo, 2005, p. 38).

- **Quinto paso (adiestrar a los operarios en el nuevo método de trabajo):** se necesita lograr el entendimiento y la cooperación de los operadores para

disminuir las dificultades de implantación del nuevo método de trabajo y asegurar el éxito del emprendimiento (García Criollo, 2005). Por lo tanto, es conveniente:

Informar al personal antes de establecer los cambios, promover el aporte de sugerencias, explicar las razones de rechazo de alguna idea.

El personal debe sentirse que forma parte del trabajo, comprometerse para mejorar las condiciones de trabajo.

- **Sexto paso (aplicar el nuevo método de trabajo):** tomando en cuenta los pasos anteriores se pone en práctica el nuevo método de trabajo.

### **2.3.3. Importancia de la medición del trabajo**

El objetivo primordial de medir el trabajo es establecer estándares de tiempo de una tarea en forma técnica, mediante el cálculo del tiempo que necesita cada operario en sus estaciones de trabajo para realizar una tarea determinada siguiendo un método preestablecido (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2004).

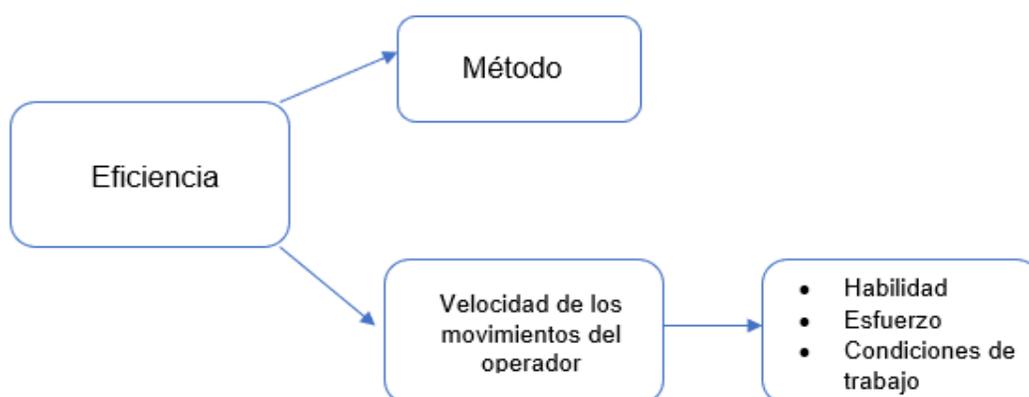
Las mejoras de los métodos de trabajo están ligadas directamente a la medida del tiempo. Medir el tiempo es fundamental para poder valorar y realizar una planificación del trabajo productivo cumpliendo los plazos de entrega al cliente.

“El *Tiempo tipo* o *Tiempo estándar* es el tiempo que se concede para efectuar una tarea. En él están incluidos los tiempos de los elementos cíclicos (repetitivos, constantes, variables)” (García Criollo, 2005, p. 240).

### 2.3.3.1. Métodos clásicos de medición del trabajo

“Las medidas de tiempo deben tomarse con las mayores garantías de que están perfectamente realizadas, ya que, si las mediciones no se les toma con sentido de responsabilidad, se producen perjuicios graves al trabajador y a la empresa” (García Criollo, 2005, p. 180).

“En la figura 13 se detalla como los métodos de la medición del trabajo ayudan a definir la eficiencia como el grado de rendimiento en realizar un trabajo con respecto a una norma preestablecida (tiempo tipo o estándar)” (García Criollo, 2005, p. 180).



*Figura 13.* Eficiencia como resultado del método de trabajo aplicado y la velocidad de los movimientos del trabajador.  
Adaptado de (García Criollo, 2005, p. 181)

#### 2.3.3.1.1. Por estimación de datos históricos

El cálculo del tiempo tipo o estándar realizado por este procedimiento es totalmente subjetivo. Este tiempo tipo dado es un valor estimado por aquellos profesionales que poseen una gran experiencia en la ejecución de trabajos similares. Debido a que los datos recopilados en el histórico no tienen gran

precisión si se los compara con tiempos de una producción actual el cálculo de tiempo se lo debe realizar calculando la media ponderada (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

$$T_p = \frac{T_o + 4T_m + T_a}{6} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$T_p$  es el tiempo tipo o determinado

$T_o$  es el tiempo optimo registrado (más corto)

$T_a$  es el tiempo más largo registrado

$T_m$  es el tiempo modal

“Si el ciclo a estudiar corresponde a una tarea nueva y no existen datos históricos, siempre existirá la posibilidad de compararla con otra tarea parecida” (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004, p. 41).

### **2.3.3.1.2. Estudio de tiempos con cronómetros**

El cálculo de tiempos de trabajo utilizando un cronometro es el sistema más utilizado en las industrias. La medición del tiempo se lo puede realizar observando directamente al operario o analizando una grabación de video (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004).

Según (Meyers & Stephens, 2006, p. 66) el estudio de tiempos por cronometro se lo empezó a usar en 1880, quien comenzó con este tipo de estudios fue W. Taylor, esta técnica formó parte de muchos contratos entre el sindicato y las empresas de manufactura en aquella época.

Antes de proceder a realizar las observaciones se debe conocer la descripción del método delimitando de forma clara los diversos elementos que componen el

ciclo de trabajo. El método debe ser constante que no se presenten modificaciones a lo largo del tiempo.

Algunos autores señalan que:

La técnica empleada para calcular el tiempo tipo de una tarea determinada, consiste en descomponerla en las diversas partes que la forman, denominadas elementos y calcular el tiempo tipo de cada uno de ellos. La suma de estos tiempos tipos elementales determinan el tiempo estándar de la tarea (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004, p. 41).

Los elementos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Manual
- Máquina parada
- Máquina en marcha
- Automáticos

“Una persona capacitada puede realizar la medición de tiempos de cada tarea siguiendo los siguientes pasos” (González & Carro, 2012, p. 12):

- **Primero:** Definir la tarea que debe ser estudiada (después de haber llevado el análisis de métodos).
- **Segundo:** Desglosar la tarea en elementos precisos que a menudo no toman más que algunos segundos.
- **Tercero:** Decidir cuantas veces se medirá la tarea (el número de ciclos o muestras necesarias).
- **Cuarto:** Cronometrar y registrar los tiempos elementales y las tasas de desempeño.

- **Quinto:** Calcular el tiempo de ciclo real promedio. *El Tiempo de ciclo real promedio*, es la media aritmética de las veces que cada elemento es medido.

$$\text{Tiempo de ciclo real promedio} = \frac{\text{Suma de todos los tiempo registrados para llevar a cabo cada elemento}}{\text{Número de ciclos observados}}$$

(Ecuación 2)

- **Sexto:** Calcular el *Tiempo normal* para cada elemento. Para que este tiempo sea útil para todos los trabajadores, debe afectársele de una medición de velocidad (característica de cada operario) que para este proyecto será denominado calificación de desempeño CD (Fernández, Quesada, González, & Puente, 1996).

$$\text{Tiempo normal} = \text{Tiempo de ciclo real promedio} * FE \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde (FE) es el factor de evaluación:

$$FE = \left( \frac{1}{1-CD} \right) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Sustituyendo la (Ecuación 2.4) en la (Ecuación 2.3) se obtiene:

$$\text{Tiempo normal} = \text{Tiempo de ciclo real promedio} * \left( \frac{1}{1-CD} \right) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

La ecuación 3 se la debe utilizar cuando los operarios trabajan más rápido de lo normal.

Cuando los operarios trabajan a un ritmo más lento de lo normal se debe usar la siguiente ecuación para obtener el tiempo normal que se deduce de la ecuación 3.

Donde (FE) el factor de evaluación tiene una variación con respecto a la ecuación 4.

$$FE = \left( \frac{1}{1+CD} \right) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Sustituyendo la ecuación 6 en la ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Tiempo normal} = \text{Tiempo de ciclo real promedio} * \left( \frac{1}{1+CD} \right) \quad (\text{Ecuación 7})$$

### Ejemplo 1

- Si un operador realiza una tarea en 3 minutos y el analista que está tomando los tiempos en la planta determina que lleva a cabo su tarea un 30% más rápido de lo normal, el tiempo normal sería:

Datos

*Tiempo de ciclo real promedio = 3 minutos*

*CD = 0.3*

Desarrollo:

$$\text{Tiempo normal} = \text{Tiempo de ciclo real promedio} * \left( \frac{1}{1 - CD} \right)$$

$$\text{Tiempo normal} = 3 \text{ minutos} * \left( \frac{1}{1 - 0.3} \right)$$

$$\text{Tiempo normal} = 3 \text{ minutos} * \left( \frac{1}{0.7} \right)$$

*Tiempo normal = 4.28 minutos*

## Ejemplo 2

- Si un operador realiza una tarea en 2 minutos y el analista que está tomando los tiempos en la planta determina que lleva a cabo su tarea un 25% más lento de lo normal, el tiempo normal sería:

Datos

*Tiempo de ciclo real promedio = 2 minutos*

*CD = 0.25*

Desarrollo:

$$Tiempo\ normal = Tiempo\ de\ ciclo\ real\ promedio * \left( \frac{1}{1 + CD} \right)$$

$$Tiempo\ normal = 2\ minutos * \left( \frac{1}{1 + 0.25} \right)$$

$$Tiempo\ normal = 2\ minutos * \left( \frac{1}{1.25} \right)$$

$$Tiempo\ normal = 1.6\ minutos$$

En el caso que el analista considere que no hay variación en los tiempos de trabajo, la fórmula de *Tiempo normal* quedaría de la siguiente forma:

$$Tiempo\ normal = Tiempo\ de\ ciclo\ real\ promedio * FE$$

Donde (FE) factor de evaluación sería igual a 1.

Para calcular el tiempo estándar, es necesario ajustar el tiempo normal total por medio de las concesiones tales como fatiga, necesidades personales, esfuerzo mental, como se ilustra en la figura 14. (González & Carro, 2012).

$$Tiempo\ estándar = Tiempo\ normal * (1 + Factor\ de\ conseción)$$

(Ecuación 8)

$$Tiempo\ estándar = \frac{Tiempo\ normal}{1 - Factor\ de\ concesión} \quad (Ecuación\ 9)$$

En el libro Diseño y medición de Puestos de Trabajo podemos entender que son las concesiones:

Las concesiones personales de tiempo se establecen a menudo en el rango del 4% al 7% del tiempo total, dependiendo de la cercanía a los sanitarios, bebederos y otras instalaciones. Los estándares de retraso se establecen como resultado de los estudios reales de los retrasos que suceden. Como se describe en la tabla 1 los estándares de fatiga se basan en el gasto de energía humana, bajo varias condiciones físicas y ambientales. (González & Carro, 2012, p. 13).

“La ecuación 8 es la que se utiliza más en la práctica, pero si presupone que las tolerancias se deben aplicar al periodo de trabajo entero, la ecuación 9 es la más indicada” (Chase, Jacobs, & Alquilano, 2009, p. 193).

Tabla 1.  
*Concesiones de descanso (en porcentaje) para varias clases de trabajo*

<b>1 Concesiones constantes</b>	%	Bastante inadecuada	5
a) Concesión personal	5	e) Condiciones atmosféricas (calor y humedad)	
a) Concesión básica por fatiga	4	Variable	0-10
<b>2 Concesiones variables</b>		f) Atención	
a) Concesión por estar de pie	2	Trabajo bastante fino	0
b) Concesión por postura normal		Fino y exacto	2
Ligeramente débil	0	Muy fino y exacto	5
Difícil (doblar)se	2	g) Nivel de ruido	
Muy difícil (tendido, estirado)	7	Continuo	0
c) Empleo de la fuerza o energía muscular al levantar, jalar o empujar		Intermitente-Fuerte	2
10	1	Intermitente-muy fuerte	5
20	3	h) Esfuerzo mental	
30	5	Proceso ligeramente complejo	1
40	9	Complejo o de gran concentración de la atención	4
50	13	Muy complejo	8

60	17	i) Tedio	
d) Mala iluminación		Algo tedioso	0
Ligeramente menor a la recomendada	0	Tedioso	2
Bastante menor	2	Muy tedioso	2

Adaptado de (González y Carro, 2012, p. 13)

No existe un método aceptado que sea universal para calificar la actuación de los operadores o trabajadores, las técnicas aplicadas en conjunto con las mediciones de tiempos se basan en el juicio del analista de tiempos (García Criollo, 2005).

“Para que el proceso de calificación conduzca a un estándar eficiente y útil, deberán satisfacerse en forma razonable dos requisitos básicos.” (García Criollo, 2005, p. 210).

- La compañía debe entender claramente que es una tasa de trabajo normal.
- Cada analista de tiempo debe tener en cuenta que existe una aproximación razonable al desempeño normal.

Como no existe un método convencional aceptado para seleccionar y expresar el desempeño normal, las siguientes recomendaciones pueden ayudar (García Criollo, 2005).

- El ritmo tipo comúnmente aceptado, es la velocidad de movimiento de un hombre al caminar sin carga en terreno llano y en línea recta a 6.4 Km/h (García Criollo, 2005, p. 210).
- “Otro modelo a considerar, es el que se debe seguir para repartir 52 naipes de la baraja en 30 segundos, sobre la mesa, en un espacio de 30 cm de lado, sosteniendo el juego de naipes fijo en la mano, a una distancia de 12 a 18 cm” (García Criollo, 2005, p. 210).

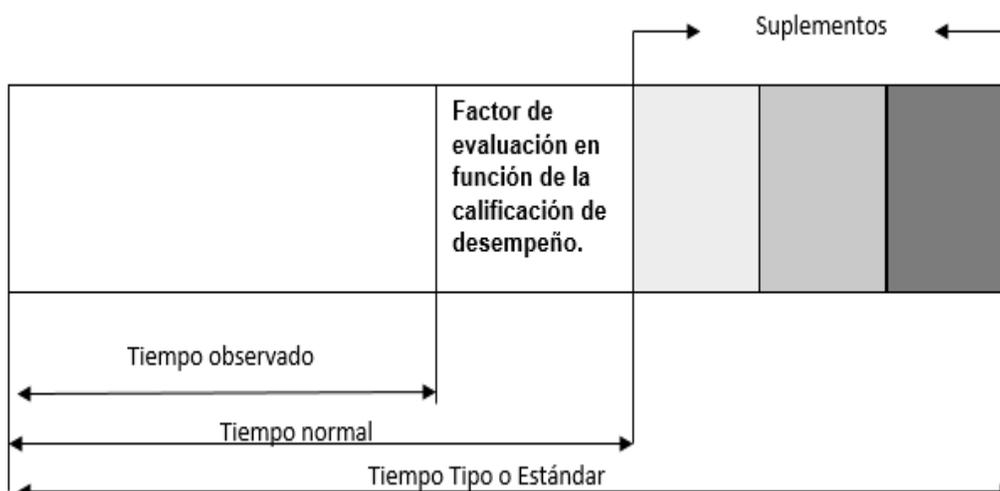


Figura 14. Descomposición del Tiempo tipo o Estándar.

Las observaciones necesarias que se necesitan para calcular el tiempo normal se calculan aplicando el método estadístico (García Criollo, 2005, p. 205).

$$N = \left( \frac{K \cdot \sigma}{\epsilon \cdot \bar{X}} \right)^2 + 1 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

N = es el número de observaciones necesarias para obtener el tiempo representativo con un error  $\epsilon$  % y un riesgo fijado de R%.

K = es el coeficiente de riesgo.

K = 1 para riesgo de error de 32%.

K = 2 para riesgo de error de 5%.

K = para riesgo de error de 0.3%.

$\epsilon$  = error expresado en forma decimal.

Como lo menciona (García Criollo, 2005, p. 205), la desviación típica de la curva de la distribución de frecuencias de los tiempos de reloj es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$X_i$  = valores obtenidos de los tiempos de cronometro.

$\bar{X}$  = media aritmética de los tiempos.

$n$  = número de mediciones efectuadas.

### **2.3.3.1.3. Muestreo (observaciones instantáneas de trabajo)**

En el muestreo del trabajo se estiman proporciones del tiempo total que los trabajadores dedican a realizar sus actividades, así como también el tiempo total de las maquinas en uso para esas actividades, por medio de analizar un número grande de observaciones (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2007).

“En sí, el muestreo del trabajo estima el porcentaje del tiempo en el que un empleado realiza varias tareas, los registros de estas observaciones son realizados al azar” (González & Carro, 2012, p. 16).

También hay autores que resaltan que:

Un estudio de muestreo del trabajo debe realizarse en un periodo de tiempo que sea en verdad representativo de las condiciones de trabajo normales y en el cual cada actividad se presente un número de veces representativo. Por ejemplo, si una actividad se realiza una vez a la semana, el estudio tendrá que prolongarse quizá varios meses. Sin embargo, si la actividad se presenta continuamente durante la semana, y se repite de una semana a otra durante todo el año, el estudio durara tan solo algunas semanas. (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2007, p. 186).

Para medir el trabajo es necesario realizar el cálculo adecuado, tomando en cuenta tres puntos claves (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009):

- ¿Qué grado de confiabilidad estadística se pretende que tengan los resultados?
- ¿Número de observaciones necesarias?
- ¿En qué momento se necesita realizar las observaciones?

Las aplicaciones principales del muestreo del trabajo son:

- “Proporción de la demora para determinar el porcentaje de tiempo de la actividad correspondiente al personal o al equipamiento. Por ejemplo, la gerencia tal vez quiera conocer la cantidad de tiempo que una maquina está funcionando o parada” (Chase, Jacobs & Alquilano, 2009, p. 194).
- Elaboración del índice de desempeño de los trabajadores midiendo su desempeño. Cuando la cantidad de producto está relacionado con el tiempo se puede evaluar el desempeño periódicamente (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).
- Estándares de tiempo para obtener el tiempo tipo de una tarea. “Cuando el muestreo del trabajo se usa para este efecto, el observador deber ser experimentado porque debe adjudicar un índice de desempeño a sus observaciones” (Chase, Jacobs, & Alquilano, 2009, p. 195).

El número de observaciones en un estudio del trabajo puede ir desde cientos hasta miles, dependiendo en si del grado de exactitud que se desea alcanzar y la complejidad de la actividad. El número de observaciones se lo puede calcular mediante la aplicación de fórmulas, pero el camino más fácil es referirse a la tabla 2, la cual contiene el número de observaciones adecuadas para una confiabilidad del 95% en términos de error absoluto (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

El error absoluto es el rango real de las observaciones. Por ejemplo, si un oficinista está inactivo 10% del tiempo y el analista de estudios determina que un rango de error puede ser del 2.5% (es decir el verdadero porcentaje de inactividad estaría entre 7.5% y 12.5%), el número adecuado de observaciones sería 576 (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Un estudio con muestreo del trabajo deber seguir los siguientes pasos:

- Identificar el objeto central del estudio (actividades específicas) determinando el porcentaje de tiempo ya sea este de actividad o inactividad (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).
- Calcular la porción de tiempo de la actividad en cuestión con relación al tiempo total (por ejemplo, el operador solo está trabajando el 60% del tiempo) estos cálculos se los puede realizar en base a un histórico (datos del pasado) o a un estudio piloto (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).
- Establecer que exactitud se necesita en los resultados.
- Establecer el tiempo adecuado en el que se realizaran las observaciones (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).
- Calcular el tamaño de la muestra.

El número de observaciones según (Chase et al., 2009, p. 196), se obtiene de la ecuación 12:

$$N = \frac{Z^2 * \rho(1-\rho)}{E^2} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

N= Número de observaciones aleatorias (tamaño de la muestra).

E= Error absoluto.

Z= Número de desviaciones estándar que brinda el grado de confiabilidad deseado (por ejemplo, para 90% de confiabilidad Z=1.65; para 95%, Z= 1.96; para 99%, Z=2.23) en la Tabla 2-2, Z=2.

La fórmula del error absoluto de acuerdo con (Chase, Jacobs, & Aquilano, Administración de Operaciones, 2009, p. 196) es la siguiente:

$$E^2 = Z * \sqrt{\frac{\rho(1-\rho)}{N}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$\text{Tiempo estándar por pieza} = \frac{\left(\text{Tiempo total en minutos}\right) * \left(\frac{\text{Proporción de tiempo trabajado}}{\text{Número total de piezas producidas}}\right) * \left(\frac{\text{ÍNDICE DE DESEMPEÑO}}{\text{DESEMPEÑO}}\right) * \frac{1}{1 - \text{Tolerancias}}}{1} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Como se lo menciona anteriormente, el muestreo del trabajo se puede utilizar para establecer estándares de tiempo. El analista debe registrar el porcentaje de tiempo trabajado, índice promedio del desempeño, porcentaje de tiempo de descanso (tolerancias), así como las observaciones del trabajo (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Tabla 2.

*Número de observaciones requeridas para un error absoluto dado con diversos valores de  $p$ , con un grado de confiabilidad de 95%*

PORCENTAJE DEL TOTAL DE TIEMPO OCUPADO POR LA ACTIVIDAD O DEMORA. $p$	Error Absoluto					
	±1.0%	±1.5%	±2.0%	±2.5%	±3.0%	±3.5%
1 o 99	396	176	99	63	44	32
2 o 98	784	348	196	125	87	64
3 o 97	1164	517	291	186	129	95
4 o 96	1536	683	384	246	171	125
5 o 95	1900	844	475	304	211	155
6 o 94	2256	1003	564	361	251	184
7 o 93	2604	1157	651	417	289	213

8 o 92	2944	1308	736	471	327	240
9 o 91	3276	1456	819	524	364	267
10 o 90	3600	1600	900	576	400	294
11 o 89	3916	1740	979	627	435	320
12 o 88	4224	1877	1056	676	469	344
13 o 87	4524	2011	1131	724	503	369
14 o 86	4816	2140	1204	771	535	393
15 o 85	5100	2267	1275	816	567	416
16 o 84	5376	2389	1344	860	597	439
17 o 83	5644	2508	1411	903	627	461
18 o 82	5904	2624	1476	945	656	482
19 o 81	6156	2736	1539	985	684	502
20 o 80	6400	2844	1600	1024	711	522
21 o 79	6636	2949	1659	1062	737	542
22 o 78	6864	3050	1716	1098	763	560
23 o 77	7084	3148	1771	1133	787	578
24 o 76	7296	3243	1824	1167	811	596
25 o 75	7500	3333	1875	1200	833	612
26 o 74	7696	3420	1924	1231	855	628
27 o 73	7884	3504	1971	1261	876	644
28 o 72	8064	3584	2016	1290	896	658
29 o 71	8236	3660	2059	1318	915	672
30 o 70	8400	3733	2100	1344	933	686
31 o 69	8556	3803	2139	1369	951	698
32 o 68	8704	3868	2176	1393	967	710
33 o 67	8844	3931	2211	1415	983	722
34 o 66	8976	3989	2244	1436	997	733
35 o 65	9100	4044	2275	1456	1011	743
36 o 64	9216	4096	2304	1475	1024	753
37 o 63	9324	4144	2331	1492	1036	761
38 o 62	9424	4188	2356	1508	1047	769
39 o 61	9516	4229	2379	1523	1057	777
40 o 60	9600	4266	2400	1536	1067	784
41 o 59	9676	4300	2419	1548	1075	790
42 o 58	9744	4330	2436	1559	1083	795
43 o 57	9804	4357	2451	1569	1089	800
44 o 56	9856	4380	2464	1577	1095	804
45 o 55	9900	4400	2475	1584	1099	808
46 o 54	9936	4416	2484	1590	1104	811
47 o 53	9964	4428	2491	1594	1107	813
48 o 52	9984	4437	2496	1597	1109	815
49 o 51	9996	4442	2499	1599	1110	816
50	10000	4444	2500	1600	1111	816

Adaptado de (Chase, Jacobs y Alquilano, 2009, p. 196)

### 2.3.3.2. Tiempos predeterminados

Frank y Lillian Gilbreth desarrolladores de los sistemas de tiempo predeterminados resaltan que:

Cuando se necesita un estándar de tiempo durante la fase de planeación del programa de desarrollo de un producto nuevo, se usa la técnica de tiempos predeterminados. En esta etapa del desarrollo del producto nuevo solo se dispone de información muy general, el tecnólogo debe visualizar lo que se necesita en cuanto a herramientas, equipo y métodos de trabajo. Este profesional debe diseñar una estación de manufactura para cada etapa del plan de trabajo del producto nuevo, desarrollar un patrón de movimientos, medir cada uno de ellos y asignarles un valor en el tiempo. El total de estos valores sería el tiempo estándar. (Meyers & Stephens, 2006, p. 66).

Los *tiempos predeterminados* son un grupo de tiempos validos que se asignan a movimientos básicos, que no pueden ser analizados con exactitud con los procedimientos comunes para medir el trabajo como el estudio cronométrico de tiempos (García Criollo, 2005).

“Son el resultado del estudio de un gran número de muestras de operaciones diversificadas, con un dispositivo para tomar el tiempo, tal como una cámara de cine, que es capaz de medir elementos muy cortos” (García Criollo, 2005, p. 302).

“Para cualquier empresa, el desarrollo de un sistema apropiado de estándares de tiempos predeterminados resulta prohibitivamente caro” (González & Carro, 2012, p. 15).

El estudio de tiempos más común es el MTM (siglas en ingles de *Methods Times Measurement*) estos estándares son tiempos obtenidos de los movimientos básicos denominados *therbligs* donde se realizan las siguientes actividades que se detalla en la tabla 3:

Tabla 3.  
*División del trabajo para toma de tiempos predeterminados*

<b>División del trabajo para toma de tiempos predeterminados</b>			
1)	Transporte Vacío	11)	Uso
2)	Búsqueda	12)	Retención
3)	Selección	13)	Inspección
4)	Tomar	14)	Retraso evitable
5)	Transporte cargado	15)	Retraso inevitable
6)	Preposición	16)	Plan
7)	Posición	17)	Descanso para reponerse de la fatiga
8)	Ensamble	18)	.....
9)	Desensamble	19)	.....
10)	Soltar carga	20)	.....

Adaptado de (Meyers y Stephens, 2006, p. 66)

Las actividades de la tabla 4 se establecen en unidades de medición de tiempo (TMU) (García Criollo, 2005, p. 303).

$$1TMU = 0.00001 \text{ hora} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Tabla 4.  
*Conjunto de estándares de tiempo para el movimiento alcanzar*

DISTANCIA MOVIDA EN PULGADAS	TIEMPO EN TMUS					MANO EN MOVIMIENTO	
	a	b	c	d	e	a	b
3/4 o menos	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	1.6
1	2.5	3.5	3.6	3.6	2.4	2.3	2.3
2	3.0	5.0	5.9	5.9	3.8	3.5	2.7
3	4.3	7.3	7.3	7.3	5.3	4.5	3.6
4	5.1	8.4	8.4	8.4	6.8	4.9	4.3
5	5.5	9.8	9.4	9.4	7.4	5.3	5.0
6	6.0	10.6	10.1	10.1	8.0	5.7	5.7

7	6.4	10.3	10.8	10.8	8.7	6.1	6.5
8	6.9	11.1	11.5	11.5	9.3	6.5	7.2
9	7.3	12.8	12.2	12.2	9.9	6.9	7.9
10	7.7	12.5	12.9	12.9	10.5	7.3	8.6
12	8.6	14.9	14.2	14.2	11.8	8.1	10.1
14	10.5	15.4	15.6	15.6	13.0	8.9	11.5
16	11.4	17.8	17.0	17.0	14.2	9.7	12.9
18	12.3	18.2	18.4	18.4	15.5	10.5	14.4
20	13.1	19.6	19.8	19.8	16.7	11.3	15.8

Adaptado de (González y Carro, 2012, p. 15)

Nota: a) Alcanzar un objeto en una localización fija o a un objeto en la otra mano, o en el cual descansa la mano. b) Alcanzar un objeto único en una localización que puede variar ligeramente entre ciclo y ciclo. c) Alcanzar un objeto mezclado con otros en grupo, de tal forma que sucedan la búsqueda y la selección. d) Alcanzar un objeto muy pequeño o donde se requiere agarrarlo exactamente. e) Alcanzar una localización indefinida para poner la mano en posición en donde exista equilibrio del cuerpo, para el siguiente movimiento o para no estorbar.

### 2.3.4. Diseño de producto

El diseño de un producto es un proceso que necesita de la intervención de casi todas las funciones de una fábrica, sin embargo, las funciones más importantes son las siguientes:

- La función de *marketing* que ayuda a establecer las oportunidades de los productos y a la determinación de las necesidades de los clientes (Ulrich & Eppinger, 2013).
- La función de *diseño* define las dimensiones físicas del producto que logre la satisfacción de las necesidades del cliente que incluye la creación del diseño ingenieril (mecánico, eléctrico, software, etc) y el diseño industrial (estético, ergonómico) (Ulrich & Eppinger, 2013).
- La función de Manufactura incluye la adquisición de materia prima, distribución e instalación (Ulrich & Eppinger, 2013).

Dentro de la función de diseño se deben realizar los siguientes pasos para el diseño de un producto: Definición estratégica, diseño de concepto, diseño en detalle, verificación y testeo.

### **2.3.5. Construcción de prototipos**

Un prototipo se define como una aproximación en una o varias dimensiones al producto real desarrollado en el diseño (bosquejos de conceptos, modelos matemáticos, simulaciones) llegando a ser versiones funcionales previas a la producción (Ulrich & Eppinger, 2013).

Los prototipos se clasifican de una forma útil en físicos, analíticos e integral. El primero es el prototipo llamado físico, en donde el bien es tangible es un artefacto para realizar de manera rápida una prueba y experimentación. El segundo es el prototipo analítico el cual es intangible solo se puede ver su funcionalidad mediante modelos matemáticos, modelación por computadora, hojas de cálculo etc (Ulrich & Eppinger, 2013).

Los prototipos integrales se construyen a escala real para ejecutar en gran parte todas las especificaciones del producto un ejemplo de este tipo de prototipo es la versión del producto que se le entrega al personal encargado para que mediante el uso de todas las funciones del producto se pueda determinar las fallas restantes del diseño antes de entrar en producción (Ulrich & Eppinger, 2013).

### **2.3.6. Diseño de procesos y modelado**

El diseño de procesos establece la forma de producir un bien cumpliendo los requerimientos del usuario y que las especificaciones del producto se encuentren dentro del costo y las restricciones del diseño. Un correcto diseño del proceso determinará a largo plazo la eficiencia, eficacia, costos y calidad de los bienes fabricados (Paz & Gonzáles, 2012).

En general los procesos se clasifican como:

- **Proceso de fabricación:** en donde se realizan cambios o transformaciones a la materia prima. Por ejemplo, la extrusión de cilindros de cobre para obtener alambre de plata (Paz & Gonzáles, 2012).
- **Proceso de ensamble:** en el cual la unión de varias partes conforma un producto. Por ejemplo, la industria automotriz, en donde varios elementos se ensamblan para obtener un automóvil (Paz & Gonzáles, 2012).

El modelado de procesos, como indica su nombre, es un modelo de una realidad, en otras palabras, una representación lo más exacta de las actividades que se realizan en el proceso (Brunnello & Rocha, 2011).

Generalmente un proceso es modelado, mediante la ayuda de diagramas de proceso (representación gráfica), para poder visualizar las interrelaciones que existen entre distintas actividades, identificar subprocesos, determinar acciones de mejora y tiempos de cada actividad (Brunnello & Rocha, 2011).

### **2.3.7. Tipos de distribución de planta**

Una instalación de producción se conforma por el equipo de producción y el manejo de sus materiales, donde el equipo de producción interactúa de forma directa con las piezas o ensambles durante el proceso de fabricación de acuerdo con su *distribución de planta (layout)*. Los equipos de producción se organizan en sistemas de manufactura tales como distribución de posiciones fijas o líneas de producción automatizada conformadas por un robot industrial más máquinas y herramientas (Groover, 2007).

Las compañías de manufactura deben tratar de diseñar sus instalaciones de forma que sus sistemas de manufactura puedan cumplir sus objetivos particulares de producción del modo más eficiente (Groover, 2007).

### 2.3.7.1. Distribución de posiciones fijas

Cuando la cantidad de unidades producidas al año va de (1 a 100 unidades) debido a su dificultad de fabricación, la producción es del tipo de taller de trabajo. El taller de trabajo se diseña para poder enfrentar cualquier variabilidad de especificación en su proceso de construcción, por ejemplo, si el producto es grande y pesado, dificultando su movilidad por los trabajadores, el equipo de procesamiento y los materiales van al producto, este tipo de distribución se lo conoce como *distribución de posiciones fijas* (Groover, 2007).

“El producto permanece fijo durante toda la producción como en la figura 15, algunos ejemplos de tales productos son barcos, aeronaves, locomotoras y maquinaria pesada” (Groover, 2007, p. 18).

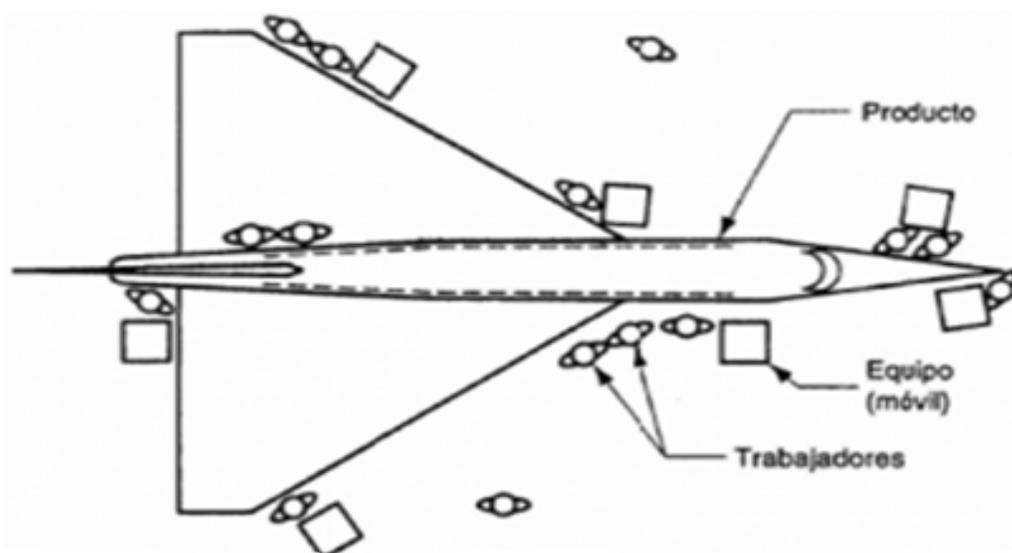


Figura 15. Distribución de planta por posición fija.  
Tomado de (Groover, 2007, p. 18)

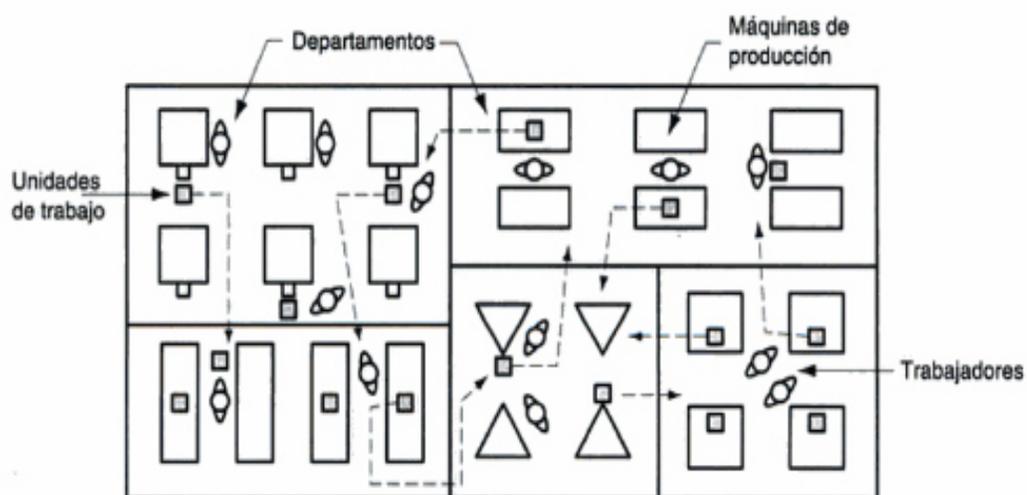
### 2.3.7.2. Distribución por procesos

Como los mencionan algunos autores:

Con frecuencia, los componentes individuales de esos productos grandes se elaboran en fábricas en las que el equipo está situado de acuerdo con su función o tipo. Este acomodo se denomina distribución por procesos. Las distintas piezas, cada una de las cuales requiere una secuencia distinta de operaciones, se conducen por los departamentos en el orden particular que se necesita para procesarlas, por lo general por lotes como se observa en la figura 16. La distribución por procesos es notable por su flexibilidad; puede albergar una gran cantidad de secuencias de operaciones para configuraciones distintas de las piezas (Groover, 2007, p. 18).

“Los equipos y máquinas de tipo general o uso múltiple permiten la eliminación del paro de la producción. Así, si una maquina se detiene, otra puede estar preparada para realizar el trabajo” (García Criollo, 2005, p. 145).

Algunas de las desventajas de este tipo de distribución de planta es que se requiere espacios grandes para el depósito de los lotes a trabajar (García Criollo, 2005).



*Figura 16.* Distribución de planta por procesos.  
Tomado de (Groover, 2007, p. 18)

### 2.3.7.3. Distribución por celdas

En producciones de rango medio (100 a 10000 unidades por año) donde no sea necesario los cambios grandes de la variedad del producto de uno a otro se puede configurar el sistema de manufactura de modo que productos similares puedan fabricarse en una misma celda sin la pérdida significativa del tiempo por la preparación de cada estación de trabajo como en la figura 17. A este tipo de producción se lo conoce como *producción celular* (Groover, 2007).

Podemos definir a la producción por celdas como:

Aquella que agrupa máquinas y estaciones de trabajo en una secuencia que genera un flujo continuo de materiales y componentes a través del proceso con transportes y esperas mínimas. A esta agrupación generalmente muy compacta se la denomina célula de trabajo (Suñé, Gil, & Arcusa, 2004, p. 145).

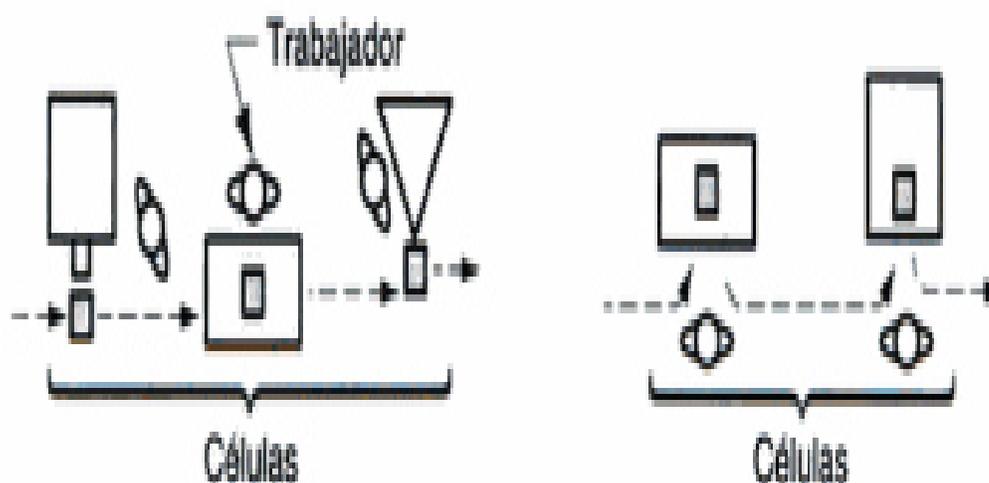


Figura 17. Distribución de planta por celdas.  
Tomado de (Groover, 2007, p. 18)

#### **2.3.7.4. Distribución por producto**

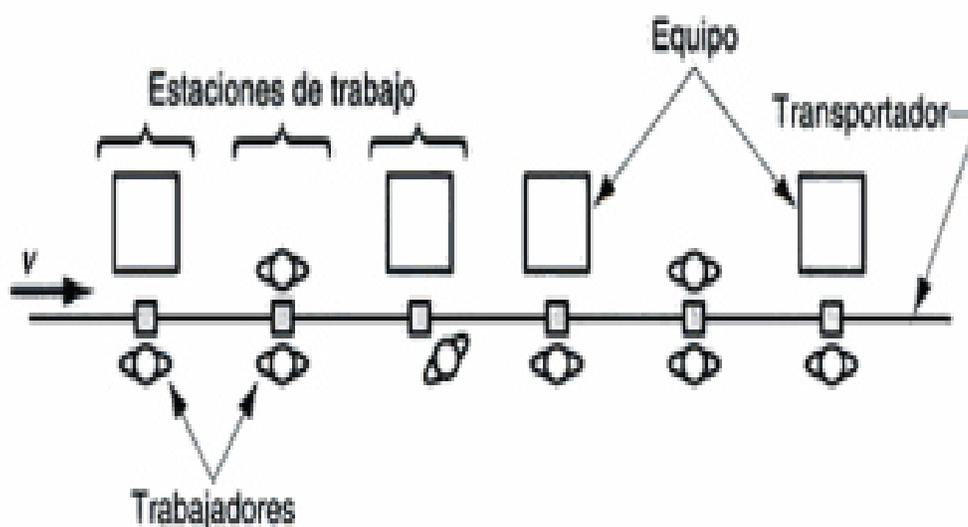
En este tipo de distribución las estaciones de trabajo se encuentran situadas en secuencia y cada unidad de trabajo se mueve físicamente a través de ellas con el objetivo de completar el producto. La distribución de las estaciones de trabajo y los operarios están dispuestos para que el producto maximice su eficiencia (Groover, 2007). “La distribución se denomina por producto y las estaciones de trabajo se acomodan en una línea larga, o en una serie de segmentos de línea conectados” (Groover, 2007, p. 19). El producto por fabricarse se mueve por un sistema de bandas transportadoras, en cada estación de trabajo se procesa una cantidad pequeña del producto total como se observa en la figura 18.

Este tipo de producción está asociada con las fábricas de automóviles y electrodomésticos.

El concepto por distribución de productos menciona que:

El caso puro de producción en línea de flujo es aquel en el que no hay variación en los productos que se elaboran en la línea. Cada producto es idéntico y la línea se conoce como línea de producción de modelo único. A fin de comercializar con éxito un producto dado, con frecuencia es benéfico introducir variaciones en las características y modelos, de modo que los clientes individuales puedan elegir la mercancía exacta que les agrade. Desde un punto de vista de la producción, las diferencias en las características representan un caso de variabilidad suave de productos. El término línea de producción de modelos mixtos se aplica a aquellas situaciones en las que hay variedad suave de productos que se fabrican en línea. Un ejemplo de ello es el ensamble de los automóviles modernos. Los vehículos que salen de la línea de montaje tienen variaciones en las opciones y estilo, que representan modelos diferentes y en muchos casos diferentes

placas para el mismo diseño básico de vehículo. (Groover, 2007, p. 19).



*Figura 18.* Distribución de planta por producto.  
Tomado de (Groover, 2007, p. 18)

### 2.3.8. Balanceo de línea

El balance de línea tiene como objetivo distribuir adecuadamente la cantidad de trabajo de una forma parecida entre todas las estaciones de trabajo (Meyers & Stephens, 2006). El balanceo de una línea de manufactura se logra desglosando las tareas y reuniéndolas en estaciones de trabajo con un periodo de tiempo casi igual entre ellas, aunque habrá alguna estación que realice más carga de trabajo que las demás entendiéndose que dicha estación se encuentra al 100 por ciento cargada y se la conoce como cuello de botella limitando la producción de salida de toda la planta (Meyers & Stephens, 2006).

Para mejorar la línea de ensamblado de una planta es necesario enfocarse en la estación de trabajo que está produciendo el cuello de botella, porque incluso una

mejora del uno por ciento ayuda a que todas las estaciones de trabajo vayan más rápido en un uno por ciento (Meyers & Stephens, 2006). El procedimiento para realizar un balance de línea es el siguiente:

- Determinar las tareas que se necesitan realizar para completar una unidad de producto.
- Definir el orden en el que se deben realizar las tareas en la línea de ensamble.
- Estimar los tiempos de las tareas.
- Dividir el tiempo disponible de trabajo para la demanda del producto (Tiempo de ciclo); si no se conoce la demanda se puede utilizar como tiempo de ciclo al tiempo que le toma a la estación cuello de botella (tarea más larga) en completar su actividad.
- Agregar una tarea a la vez a una estación, respetando su orden de precedencia hasta que cada estación de trabajo realice una parte del producto en un tiempo lo más parecido al tiempo de ciclo.

## **2.4. Entorno de trabajo simulado (SWE)**

El SWE es un sistema de entrenamiento interactivo usado para promover los principios de *Lean Production* en conjunto con las iniciativas de mejora continua (Elphinstone SWE, 2016).

De acuerdo con (Elphinstone SWE, 2016), esta herramienta de capacitación bien probada demuestra activamente los beneficios de las metodologías Lean tales como:

- *Put Safety First.*
- *Chase Waste.*
- *Make Value Flow.*

- *Drive Standard Work.*
- *Go See Act.*
- *Stop to Fix.*
- *Make It Visual... just to name a few.*

“Mediante un trabajo en equipo y una comunicación eficaz, el SWE demuestra cómo la colaboración puede ayudar a un equipo a ser significativamente más productivo y rentable, a la vez que mejora la calidad y reduce los problemas relacionados con la seguridad” (Elphinstone SWE, 2016, párr. 4).

De acuerdo con la empresa Elphinstone:

Utilizando las metodologías del Sistema de Producción SWE, los principios y prácticas aprendidas durante las sesiones de entrenamiento manual pueden ser transferidos a todos los ambientes de trabajo y miembros del equipo, desde el taller hasta la oficina. Cada empleado de cada organización se beneficiará de los aprendizajes facilitados por el SWE como se detalla en la tabla 5, independientemente de su posición o antigüedad (Elphinstone SWE, 2016, párr. 5).

“Aunque se basa en los Principios de Gestión Lean, no es necesario haber completado ninguna formación previa en Lean para beneficiarse de la gama completa de resultados de aprendizaje generados por el SWE” (Elphinstone SWE, 2016).

Tabla 5.  
*Principales iniciativas de mejora continua en el SWE*

<b>Principales iniciativas de mejora continua en el SWE</b>	
1) Trabajo en equipo	9) Mapeo de la cadena de valor
2) Comunicación efectiva	10) Análisis de causa raíz
3) Colaboración funcional cruzada	11) Efectividad de la cadena de suministro

4)	Planificación productiva	12)	Reducir la variabilidad del proceso
5)	Liderar equipos eficaces	13)	Desarrollar personas y equipos
6)	Iniciativas continuas de mejora, incluyendo 5S	14)	Escucha activa y generación de ideas
7)	Sistemas de producción de flujo de una sola pieza	15)	Identificar y establecer objetivos de rendimiento
8)	Identificar y reducir los residuos	16)	Actuar con decisión

Adaptado de (Elphinstone SWE, 2016)

## 2.5. Diseño mecánico

El diseño mecánico es una actividad compleja que necesita muchas habilidades ingenieriles en la cual se presentan varias ideas y se revisan constantemente dependiendo de la naturaleza del diseño general para llegar al diseño en la ingeniería mecánica en particular (Budynas & Keith Nisbett, 2008). El diseño mecánico es un proceso en el cual se necesitan algunos recursos para ayudar al diseñador, entre los que encontramos fuentes de información, herramientas de diseño asistido por computador, códigos y normas, por consideraciones de responsabilidad legal y seguridad del producto (Budynas & Keith Nisbett, 2008).

En si diseñar es crear una planificación para conseguir satisfacer un requerimiento específico y solventar un problema, si la planificación resulta en la creación de un producto físicamente tangible, entonces el producto debe ser seguro, útil, competitivo, funcional y lo más importante fácil de fabricarse (Budynas & Keith Nisbett, 2008).

Cuando se realiza el diseño mecánico de algún elemento o sistema siempre se deben tener en cuenta ciertas consideraciones de acuerdo con la necesidad y para qué va a ser utilizado, la principal consideración a tener en cuenta es la resistencia que requiere el elemento o sistema mecánico ya que este factor determina su geometría y sus dimensiones (Budynas & Keith Nisbett, 2008).

Según (Budynas & Keith Nisbett, 2008) entre las consideraciones de diseño mecánico más importantes tenemos las siguientes:

- Peso
- Resistencia/esfuerzo
- Desgaste
- Corrosión
- Utilidad
- Seguridad
- Costo
- Confiabilidad
- Forma
- Tamaño
- Mantenimiento
- Volumen
- Lubricación
- Comercialización
- Fricción
- Manufacturabilidad

### **3. Diseño y construcción de un prototipo de vehículo para la línea de producción simulada**

#### **3.1. Fases de planeación del producto**

Como lo menciona (Ulrich & Eppinger, 2013), al diseñar un producto hay que tener en cuenta que un producto bien diseñado beneficia tanto a quien lo produce como a quien lo va a utilizar. Los principales beneficios de esto se materializan de la siguiente forma:

- Facilidad de fabricación optimizando la producción y los costos asociados a estas.
- Aportación de valor a la marca creando fidelización de los clientes.
- Mejora del producto basándose en productos de la competencia por medio de mejoras funcionales y estéticas.
- El usuario mejora su experiencia de uso del producto, lo cual ayuda a su valoración.

El diseño se entiende como un proceso en el cual se analiza, se planea y se ejecuta una idea enfocada en el desarrollo específico de un determinado producto (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2009).

El modelo de diseño que se plantea en este proyecto esquematiza el proceso que puede seguir una empresa para diseñar un producto. Esta organizado mediante fases de trabajo que permiten la creatividad, implementación y control, para así disminuir los errores debido a las improvisaciones.

### **3.1.1. Primera fase (Definición Estratégica)**

Todo proceso de diseño inicia a partir de un problema detectando, analizando y procesando la información disponible, que en este proyecto es, ¿Cómo consolidar el aprendizaje con un entorno de trabajo simulado? y ¿Cómo realizar el diseño y construcción de un prototipo de vehículo basándose en los diferentes tipos de coches que se fabrican en los Ambientes de trabajo simulado de Caterpillar, General Motors y Elphinstones para así ofrecer un correcto entrenamiento interactivo de una línea de producción?.

Los objetivos de la primera fase son los siguientes:

- **Definir el problema a solucionar:** construir un prototipo (Vehículo) adecuado para instalaciones a escala de laboratorio, el mismo que debe

ser de fácil manipulación y ensamble (sin usar herramientas eléctricas), eliminando en lo posible el uso de herramientas mecánicas para su ensamblaje en la línea de producción simulada.

- **Garantizar afinidad entre el proyecto y la estrategia de la empresa:** La Universidad de las Américas tiene como visión “crear un modelo de referencia para la educación superior ecuatoriana, construir una comunidad universitaria orgullosa y comprometida con el país buscando de manera constante, la realización personal y profesional de sus miembros y mantenerse permanentemente integrada a la comunidad académica internacional” (Universidad de las Américas, s.f.).

Como se puede observar dentro de la misión de la UDLA, la Universidad está comprometida con el país en el desarrollo profesional de los estudiantes y una de las estrategias para lograrlo es el diseño de una línea de producción para el ambiente de trabajo simulado del laboratorio de Producción Industrial, ya que hasta el momento no existe en el país una universidad que posea un ambiente de trabajo simulado (SWE), por lo tanto, el presente proyecto tiene afinidad con las estrategias de la UDLA.

### **3.1.1.1. Identificación de las necesidades del usuario**

La parte integral de todo proceso donde se desarrolla un producto es la identificación de las necesidades del cliente, que están estrechamente relacionadas con la generación y selección de las alternativas de diseño, con la comparación de los productos que usa la competencia y el establecimiento de las especificaciones técnicas del producto (Ulrich & Eppinger, 2013).

En relación con la cita textual (Ulrich & Eppinger, 2013), señala que:

Las *necesidades* son independientes de cualquier producto particular que pudiéramos desarrollar; no son específicas del

concepto que en última instancia perseguimos. Por otra parte, las *especificaciones* dependen del concepto que seleccionemos. Las especificaciones para el producto que escogemos desarrollar, dependerá de lo que sea técnica y económicamente factible (p.75).

Identificar las necesidades del cliente es un proceso el cual posee cinco pasos como se indica en la tabla 6, pensados en una estructura para llegar a facilitar una práctica efectiva del diseño y construcción de un producto, obteniéndose como resultado mejora continua y refinamiento.

Tabla 6  
*Identificación de las necesidades del usuario*

<b>Identificación de las necesidades del usuario</b>		
<b>#</b>	<b>Pasos a seguir</b>	<b>Métodos</b>
1	Recopilar datos sin procesar del usuario	Entrevistas. Grupos de enfoque Observar el producto en uso.
2	Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades del usuario	Expresar la necesidad del usuario en términos de lo que el producto tiene que hacer. Expresar la necesidad tan específicamente como la información originalmente recopilada
3	Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y de ser necesario, terciarias.	El procedimiento para organizar las necesidades en una lista jerárquica es intuitivo.

4	Establecer importancia relativa de las necesidades	Encuestas de importancia.
5	Reflexionar en los resultados y el proceso	Responder a preguntas como, por ejemplo: ¿Qué sabemos ahora que no sabíamos cuando empezamos? ¿Cómo podríamos mejorar el proceso en futuros trabajos?

Adaptado de (Ulrich & Eppinger, 2013, p. 75)

### 3.1.1.1. Descripción de cada paso a seguir en la identificación de las necesidades del usuario

- **Paso 1 (Recopilar datos sin procesar del usuario):** en las reuniones realizadas con los docentes del área de producción industrial de la Universidad de las Américas, se estableció como necesidad que el prototipo debe tener un tamaño adecuado para las instalaciones de los laboratorios de producción industrial y poseer las siguientes características:
  - Tener la apariencia de un vehículo como los que son usados en empresas como Caterpillar o General Motors.
  - Fácil ensamble, para que hasta una persona que no tenga conocimientos de mecánica automotriz este en capacidad de hacerlo bien.
  - El ensamble del producto se debe realizar con el mínimo uso de herramientas mecánicas y sin herramientas eléctricas en la línea de producción simulada.
  - El producto no debe ser pesado facilitando su manipulación por una persona promedio.
  - Poseer buenas características de vida útil, por ejemplo: resistencia a la abrasión y caídas.
  - El ensamblado del producto deber ser rápido.

- Centro de gravedad adecuado para que tenga buena estabilidad en la línea de ensamblaje.
  - Buena apariencia.
  - No ser costoso.
  - Ser plegable para minimizar el espacio utilizado.
  - Ser fácilmente reproducible en cualquier metal mecánica.
  - No tener aristas cortantes en su diseño.
  - Mínimo uso de elementos de fijación como pernos, tornillos, pasadores etc.
- 
- **Paso 2 (Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades del usuario):** las necesidades de los clientes son expresadas en términos de lo que el producto tiene que hacer de una forma afirmativa y no en forma negativa de tal forma que el cliente perciba la necesidad como un atributo del producto (Ulrich & Eppinger, 2013).

Enunciado de necesidad correcta:

- La carrocería tiene la apariencia de un vehículo.
- Fácil ensamble.
- El ensamble de la carrocería del producto está diseñado para armarse solo con 4 pasadores.
- El producto es de peso mínimo y manejable.
- Es resistente a caídas y al desgaste.
- Ensamblado rápido.
- El producto es estable y adecuado para su uso en líneas de transportación.
- El vehículo es de buena apariencia.
- Su fabricación no es costosa.
- Es plegable.
- El producto puede construirse en cualquier metal mecánica.

- Su manipulación es segura y cómoda.
- **Paso3 (Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y de ser necesario, terciarias):** las necesidades primarias son las más generales, mientras que las secundarias y las terciarias expresan necesidades con mayor detalle cómo se observa en la figura 19, este procedimiento es intuitivo (Ulrich & Eppinger, 2013).

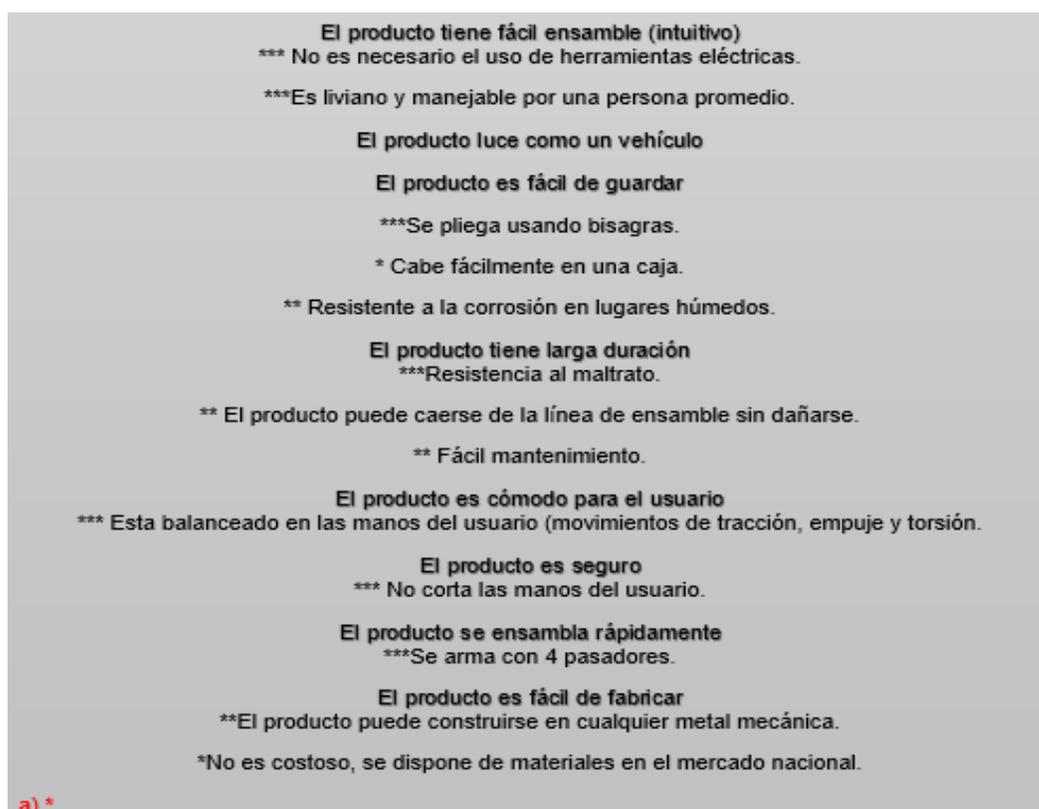


Figura 19. Lista jerárquica de necesidades primarias y secundarias.

a) \*(Las calificaciones de importancia están indicadas por el número de asteriscos siendo tres asteriscos lo más crítico).

- **Paso 4 (Establecer la importancia relativa de las necesidades):** en si una lista jerárquica no entrega una información sobre la importancia relativa que los clientes mencionan en diferentes necesidades. El sentido de la importancia relativa es importante porque permite al equipo de desarrollo

realizar las concesiones y asignar recursos al diseñar el producto (Ulrich & Eppinger, 2013).

Como lo menciona (Ulrich & Eppinger, 2013), El resultado de este paso es una valoración numérica de importancia para un subconjunto de las necesidades. Hay dos métodos básicos para el trabajo:

El primer método es apoyarse en el consenso de los miembros del grupo con base en su experiencia con clientes o el segundo método basar la evaluación de importancia en más encuestas con clientes (véase figura 20). La concesión obvia entre los dos métodos es costosa y velocidad contra precisión, el equipo puede hacer una evaluación educada de la importancia relativa de las necesidades en una sesión, mientras que una encuesta a clientes por lo general toma un mínimo de dos semanas. En casi todos los casos pensamos que la encuesta con clientes es importante y merece el tiempo necesario para completarla. Otros trabajos de desarrollo, por ejemplo, generación de conceptos y análisis de productos competitivos, pueden empezar antes de que se completen las encuestas de importancia relativa. (p.88)

Las importancias relativas de las necesidades en este proyecto serán establecidas de acuerdo con la experiencia de los miembros del grupo que en este caso estaría conformado por el Profesor tutor y el Profesor corrector.

---

### Encuesta del desarmador inalámbrico

---

Para cada una de las siguientes funciones del desarmador inalámbrico, por favor indique en una escala de 1 a 5 qué tan importante es esa función para usted. Por favor use la siguiente escala:

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría un producto sin esta función.

También indique, con una marca en la caja de la derecha, si piensa usted que la función es única, interesante y/o inesperada.

Importancia de la función  
en escala de 1 a 5.

Marque una caja si la función  
es única, interesante y/o  
inesperada.

_____ El desarmador conserva energía durante varias horas de uso pesado.	<input type="checkbox"/>
_____ El desarmador puede meter tornillos en madera dura.	<input type="checkbox"/>
_____ La velocidad del desarmador puede ser controlada por el usuario al atornillar.	<input type="checkbox"/>
_____ El desarmador tiene un sonido agradable cuando está en uso.	<input type="checkbox"/>

*Y así sucesivamente.*

---

*Figura 20.* Ejemplo parcial de encuesta de importancia.

Tomado de (Ulrich & Eppinger, 2013, p. 88)

### 3.1.2. Segunda fase (Diseño de Concepto)

En la *segunda fase (Diseño de Concepto)* el análisis y la creatividad es lo que va a ayudar a plasmar la idea de un producto de manera que pueda ser entendido por terceros. Definiendo los lineamientos a seguir a partir de una conceptualización clara del diseño que va a tener el producto.

Los objetivos en la en la segunda fase son los siguientes:

- **Crear alternativas para el diseño del producto:** en el presente proyecto se plantea tres opciones para el diseño del producto (*Brainstorming*) y se elegirá el más conveniente que cumpla con las características bases que se planteó en la definición del problema de la Primera fase (Definición estratégica).
- **Estudiar la factibilidad de las ideas generadas de las tres alternativas de diseño propuestas en base a las necesidades del producto:**

descripción de cada alternativa de producto propuesto, así como sus ventajas y desventajas.

- **Definir la tecnología y los materiales a utilizar:** la definición de la tecnología y los materiales a utilizar, serán definidos de acuerdo a la selección de la mejor alternativa de diseño, mediante el método de atributo ponderado.

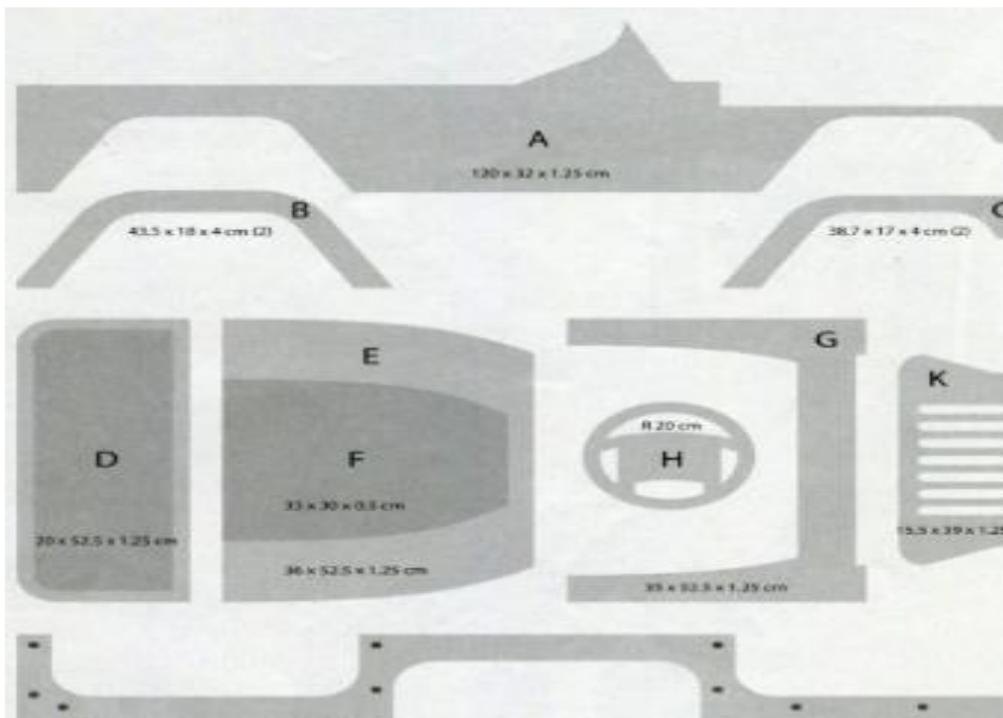
### 3.1.2.1. Alternativas de diseño

Las alternativas de diseño se basarán en un vehículo tipo Jeep, debido a que este tipo de modelo es de fácil construcción, motivo por lo cual llegó a ser un vehículo 4x4 icono desarrollado en la segunda Guerra mundial, el cual posee algunas características como:

- Vehículo pequeño.
- Excelente estabilidad.
- Fácil mantenimiento.
- Carrocería y sus elementos externos poseen un diseño simple pero fiable.
- Peso ligero.
- Fácil ensamble.
- Error dimensional mínimo de (+/- 1mm) en la fabricación del cuerpo.
- Diseño asistido por computador no complejo.

**Alternativa A (Vehículo tipo Jeep de madera):** este modelo consta de un chasis de madera el cual debe ser diseñado para obtener una buena rigidez, entre más gruesa sea ésta más resistente quedará, pero también su peso aumentará y las uniones de sus partes se lo puede realizar usando tornillos, pernos, clavos o pegamento. El cofre se hace de un bastidor de madera de forma

trapezoidal y por otro lado la carrocería y sus elementos externos puede ser de madera terciada de  $\frac{3}{4}$ ", como se aprecia en la figura 21.



*Figura 21.* Esquema de un vehículo tipo Jeep de madera.  
Adaptado de (Hearst Corporation, 2006)

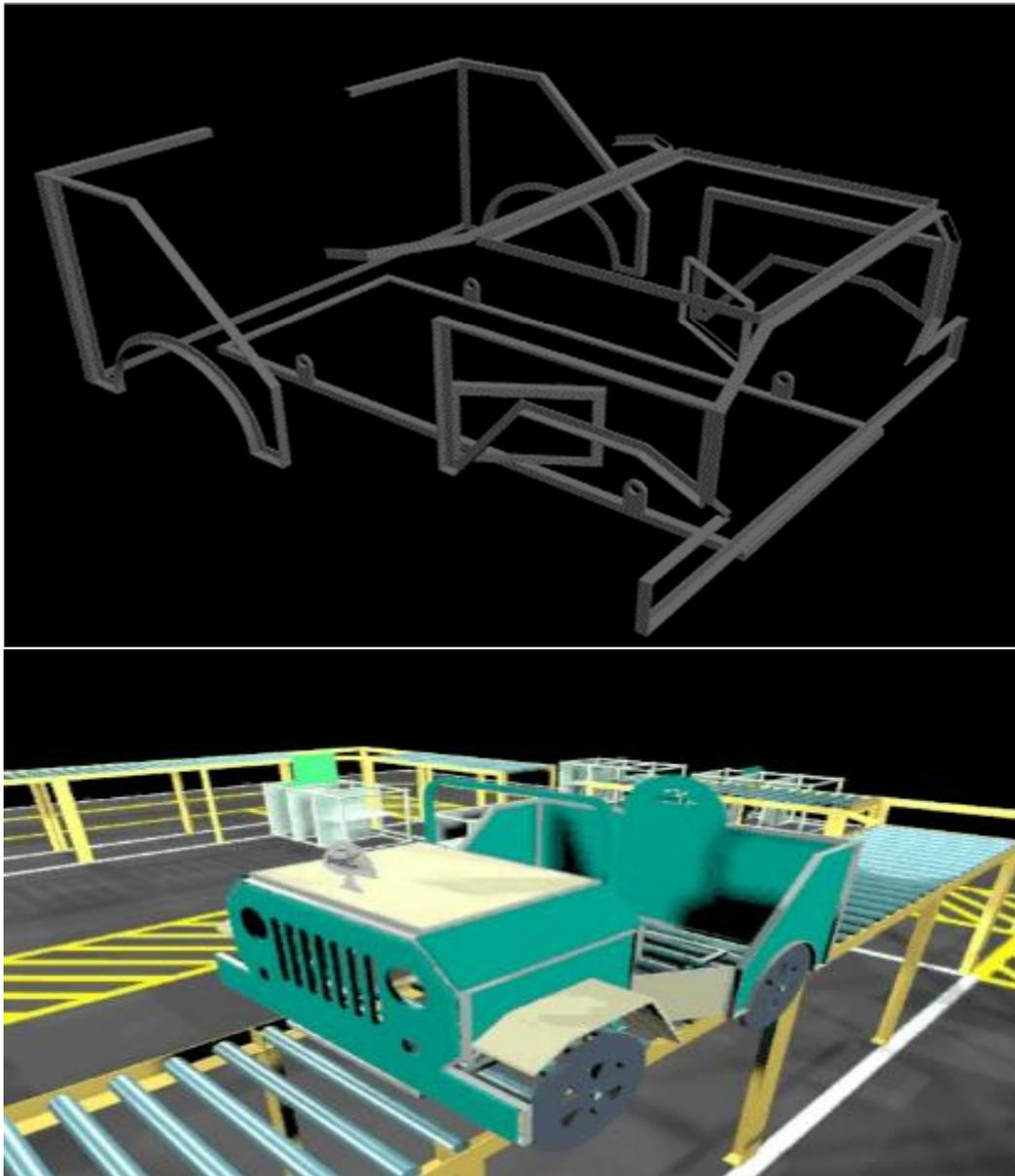
## **Ventajas**

- Costo moderado.
- No existen problemas de corrosión y oxidación.
- Fácil adquisición de sus materiales en el mercado.

## **Desventajas**

- Su construcción es un poco difícil, se necesita tener experiencia y habilidad para su manufactura.
- El uso de pernos, clavos o pegamento hace que su construcción sea más tediosa, provocando más tiempo en la finalización del producto.
- El vehículo al ser de madera puede astillarse por sufrir caídas o golpes.
- El acabado del material es susceptible a sufrir daños por su manipulación.
- Muy pesado por que la construcción del chasis necesita rigidez (aumento de material).
- Según sea su diseño se puede necesitar el uso de muchos pernos o tornillos para la sujeción de sus partes.
- El diseño de un sistema plegable para este prototipo es complicado.

**Alternativa B (Vehículo tipo Jeep con carrocería y chasis de acero):** el vehículo tipo Jeep de acero puede ser diseñado con perfiles angulares a 90° de alas iguales, en acero de baja aleación A36 y laminados en caliente de 20x2[mm], permitiendo así la fácil adaptación de planchas de madera triplex de 9 [mm], homologando las partes externas de la carrocería de un vehículo Jeep de escala real. La unión de sus partes se lo puede realizar por medio de soldaduras a bisagras de acero, facilitando crear algún tipo de diseño que sea plegable para minimizar el espacio en bodega, como se ilustra en la figura 22.



*Figura 22.* Sketch de un vehículo tipo Jeep construido con perfiles angulares de acero y planchas de madera.

### **Ventajas**

- Fácil construcción.
- Bajo costo.
- Peso moderado.
- Disponibilidad de sus materiales.

- Fácil mantenimiento.
- La sujeción de sus partes puede ser por soldadura de arco eléctrico.

#### **Desventaja**

- Oxidación y corrosión por lo cual su estructura de acero debe ser pintada.

**Alternativa C (Vehículo tipo Jeep con cuerpo y carrocería de aluminio):** esta alternativa de diseño posee exactamente las características de diseño de la alternativa B, pero varía en los materiales para su construcción. El chasis y la carrocería puede ser diseñados con perfiles angulares a 90° de aluminio de 25.4 x 2.5 [mm] y los elementos externos de la carrocería de madera.

#### **Ventajas**

- Peso mínimo.
- Disponibilidad de sus materiales.
- Fácil mantenimiento.
- No se oxida.

#### **Desventaja**

- Su construcción es un poco complicada porque se necesita experiencia soldando aluminio.
- Su costo de fabricación es elevado comparado con las anteriores alternativas.

### **3.1.2.2. Metodología para seleccionar la mejor alternativa**

El modelo que se usara para seleccionar la mejor alternativa es el método de atributo ponderado. Como lo menciona (Kendall & Kendall, 2005), la medida de evaluación simbolizada por  $R_j$  para cada alternativa  $j$  se define como:

$$R_j = \sum_{i=1}^n W_i V_{ij} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Los números ( $W_i$ ) son los pesos importantes del atributo, y ( $V_{ij}$ ) es la evaluación del valor del atributo  $i$  para cada alternativa ( $j$ ) (Kendall & Kendall, 2005).

( $W_i$ ) de acuerdo a la siguiente ecuación es igual a:

$$W_i = \frac{\text{puntuación } i \text{ de importancia}}{\sum_{i=1}^m \text{puntuación } i \text{ de importancia}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Se elige la alternativa con mayor valor ( $R_j$ ) ya que esta será la que tenga los atributos de mayor importancia.

Tabla 7.  
*Asignación de jerarquía para cada atributo*

Atributo de evaluación	Jerarquización
Muy pobre	0 - 2
Malo	3 - 5
bueno	6 - 7
Muy bueno	8 - 10

Tabla 8.  
*Puntuaciones de atributos y valores de evaluación de las alternativas*

Atributo	Puntuación (i) de importancia	Alternativa	Alternativa	Alternativa
		A	B	C
Costo no elevado	6	6	8	2
Disponibilidad de materiales en el mercado nacional	7	10	10	9
Facilidad de mantenimiento	5	7	8	9
Peso del chasis y la carrocería ligero	6	6	8	10
Resistencia a la manipulación	9	2	9	6

Facilidad de ensamble sobre una línea de trasportación mecánica estándar	8	6	8	6
La apariencia del producto debe verse como un vehículo	2	7	8	8
Facilidad de construcción de la carrocería y sus elementos exteriores	6	5	9	9
Diseño de Carrocería plegable utilizando bisagras (fácil de guardar)	10	2	10	10
<b>Total</b>	<b>59</b>			

Tabla 9.  
*Resultado del método de atributos ponderados*

Atributo	Puntuación (i) de importancia	Alternativa	Alternativa	Alternativa
		A	B	C
Costo no elevado	0,102	0,61	0,81	0,20
Disponibilidad de materiales en el mercado nacional	0,119	1,19	1,19	1,07
Facilidad de mantenimiento	0,085	0,59	0,68	0,76
Peso ligero del chasis y la carrocería	0,102	0,61	0,81	1,02
Resistencia a la manipulación	0,153	0,31	1,37	0,92
Facilidad de ensamble sobre una línea de trasportación mecánica estándar	0,136	0,81	1,08	0,81
La apariencia del producto debe verse como un vehículo	0,034	0,24	0,27	0,27
Facilidad de construcción de los elementos exteriores de la carrocería	0,102	0,51	0,92	0,92
Diseño de Carrocería plegable utilizando bisagras (fácil de guardar)	0,169	0,34	1,69	1,69
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>5,20</b>	<b>8,83</b>	<b>7,66</b>

En la tabla 9 se puede observar que el mayor valor ( $R_j$ ) es de 8.83, por esta razón la mejor opción es la alternativa B.

### 3.1.3. Tercera fase (Diseño en detalle)

En la *Tercera fase (Diseño en detalle)* se desarrolla la propuesta, definiendo las especificaciones técnicas sobre cómo se va a diseñar y construir el producto con documentación técnica detallada como, por ejemplo, soportes gráficos, diseño asistido por computador, memorias de cálculo, planos de conjunto y despiece.

Los objetivos en la Tercera fase son los siguientes:

- Definir procesos, tecnología y materiales para la fabricación de cada una de las partes del producto, así como también el sistema de ensamble.
- Estimar los costos de cada componente del producto.
- Verificar que los materiales sean de fácil adquisición en el mercado.

#### 3.1.3.1. Especificaciones del producto

Las necesidades del cliente se expresan de acuerdo con el lenguaje del cliente. Necesidades del cliente como “la carrocería es fácil de ensamblar” o “la carrocería es de poco peso”, son típicas en términos de la calidad subjetiva de las expresiones. Estas expresiones son útiles para crear una idea clara de los problemas que son de interés del cliente, pero no ayudan completamente a diseñar y a construir el producto, por que dejan un amplio rango de interpretación subjetiva. Por esta razón es necesario establecer un conjunto de especificaciones que explican, con detalles precisos y medibles, lo que el producto debe hacer (Ulrich & Eppinger, 2013).

Las especificaciones del producto no indica al diseñador cómo manejar las necesidades del cliente, pero representan una base sobre lo que se tiene que diseñar para satisfacer las necesidades del cliente. Por ejemplo, de acuerdo con la necesidad del cliente de que “la carrocería es fácil de ensamblar”, la especificación podría ser que “el tiempo promedio de ensamble del bastidor y la

estructura del vehículo debe ser menor a 80 segundos”, en si la especificación de un producto es la descripción precisa de las características ingenieriles.

Para establecer las especificaciones de un producto es necesario elaborar un listado de sus métricas, las métricas de mayor utilidad son aquellas que describen, tan exacto como sea posible, el grado al cual el producto satisface las necesidades del cliente. “La suposición funcional es que es posible una traducción de las necesidades del cliente a un conjunto de especificaciones precisas y medibles, y que, por lo tanto, al cumplir estas especificaciones se lograra la satisfacción de las necesidades del cliente” (Ulrich & Eppinger, 2013, p. 97).

En la tabla 10 podemos observar el listado de las métricas que cumplen en su totalidad con las necesidades del cliente.

“La métrica debe ser completa. Idealmente, cada necesidad del cliente correspondería a una sola métrica y el valor de esa métrica se correlacionaría perfectamente con la satisfacción de esa necesidad como se indica en la figura 23. En la práctica, varias métricas pueden ser necesarias para reflejar por completo una sola necesidad del cliente” (Ulrich & Eppinger, 2013, p. 100).

Tabla 10.

*Lista de métricas para el diseño de un vehículo tipo Jeep que será ensamblado en un ambiente de trabajo simulado (SWE)*

<b>Métrica #</b>	<b>Métrica</b>	<b>Unidades</b>
1	Costo unitario de construcción de un prototipo	us \$
2	Estructura de acero A 36 perfil angular 0,59 kg/m	Lista
3	Tiempo para ensamblar la estructura	s
4	Tiempo de mantenimiento	s

5	Elementos exteriores de la carrocería de madera	Lista
6	Resistencia mecánica a caídas	Kn
7	Masa total	kg
8	Ancho entre neumáticos	mm
9	Ancho de bastidor	mm
10	Altura del vehículo	mm
11	Ancho del vehículo	
12	Largo del vehículo	mm
13	Volumen del vehículo al estar plegado	cm <sup>3</sup>
14	Volumen del vehículo al estar armado	cm <sup>3</sup>
15	Bisagras de acero	Lista
16	Uniones soldadas por arco eléctrico con electrodo 6011	Lista
17	Pasadores de acero	Lista
18	Acabado superficial con pintura	cm <sup>3</sup>
19	Pernos eje de neumáticos	Lista

Necesidades	MÉTRICA																		
	costo unitario de construcción por prototipo	Estructura de acero A 36 perfil angular 059 kg/m	Tiempo para ensamblar la estructura	Tiempo de mantenimiento	Elementos exteriores de la carrocería de madera	Resistencia mecánica a caídas	Masa total	Ancho entre neumáticos	Ancho de bastidor	Altura del vehículo	Ancho del vehículo	Largo del vehículo	Volumen del vehículo al estar plegado	Volumen del vehículo al estar armado	Bisagras de acero	Uniones soldadas por arco eléctrico con electrodo 6011	Pasadores de acero	Acabado superficial con pintura	Pernos eje de neumáticos
Costo no elevado	●																		
Disponibilidad de materiales en el mercado nacional		●			●										●	●	●	●	●
Facilidad de mantenimiento		●		●	●													●	
Peso del chasis y la carrocería ligero		●			●		●												
Resistencia a la manipulación		●			●	●										●		●	
Facilidad de ensamble sobre una línea de trasportación mecánica estándar			●				●	●	●	●	●	●			●	●	●		
La apariencia del producto debe verse como un vehículo								●	●	●	●	●							
Facilidad de construcción de la carrocería y sus elementos exteriores.		●			●			●	●	●	●	●			●	●		●	●
Diseño de Carrocería plegable utilizando bisagras (fácil de guardar)												●	●	●					

Figura 23. Matriz de las necesidades del cliente (vs) las métricas.

### 3.1.3.2. Diseño para ensamblables

El diseño para ensamblables (DFA, siglas en inglés) es muy importante ya que favorece a la disminución del costo de mano de obra en las operaciones de ensamble (Groover, 2007). Según (Groover, 2007), un diseño de ensamble exitoso se basa en los siguientes aspectos: diseñar el producto con la menor

cantidad de piezas posibles y diseñar las piezas restantes para que su ensamble sea sencillo.

Hay autores que resaltan que:

El costo del ensamble se determina en gran parte durante el diseño de producción, debido a que en esta etapa se establece la cantidad de componentes separados en el producto y se toma decisiones acerca de cómo se ensamblara dichos componentes. Una vez tomadas estas decisiones, se puede hacer muy poco en la manufactura para influir en los costos de ensamble (excepto, por supuesto, administrar bien las operaciones) (Groover, 2007, p. 779).

#### **3.1.3.2.1. Principios generales del (DFA)**

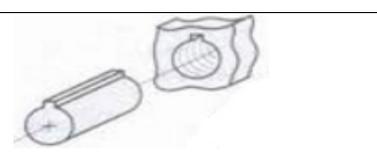
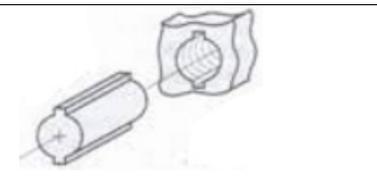
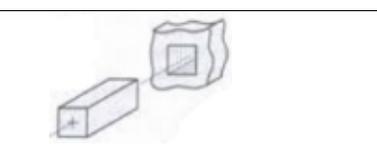
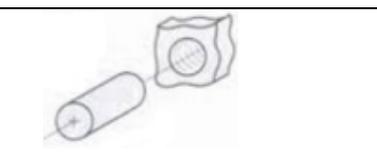
La mayoría de los principios generales del diseño para ensambles (DFA, por sus siglas en inglés) se aplican tanto para el ensamble manual como para el automatizado, su propósito es obtener la función de diseño requerida a través de los medios más sencillos y de menor costo.

Recomendaciones para obtener un correcto diseño para ensambles:

- Reducir la cantidad de piezas posibles para disminuir la cantidad de ensambles requeridos.
- Reducir el uso de sujetadores roscados, se debe diseñar para utilizar mecanismos de sujeción rápida. Se debe utilizar sujetadores con rosca cuando se necesite ajuste o desensamble).
- Los sujetadores deben estar estandarizados, reduciendo así el tamaño y estilo de sujetadores requeridos.

- Diseñar piezas que sean simétricas para que su manejo y la inserción sean fáciles por los operarios en el ensamble.

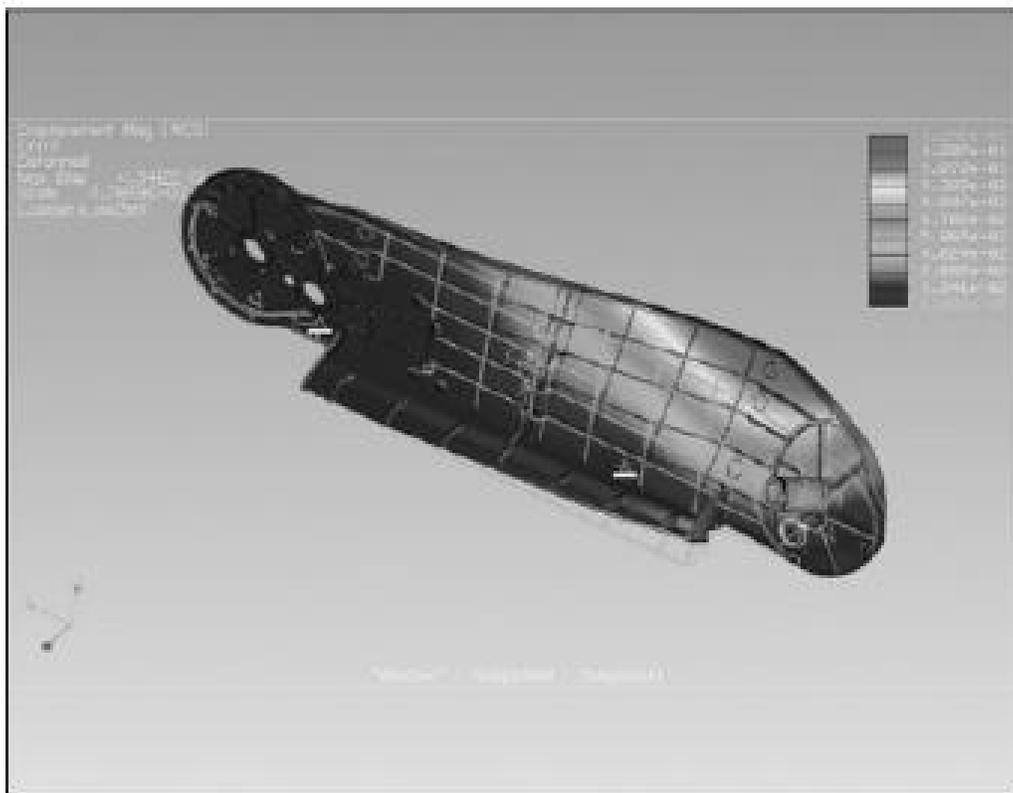
Tabla 11.  
*Piezas simétricas*

Solo una orientación de rotación posible para la inserción	
Dos orientaciones posibles	
Cuatro orientaciones posibles	
Un número infinito de orientaciones	

Adaptado de (Groover, 2007, p. 779)

### 3.1.3.3. Diseño asistido por computadora (CAD)

El diseño 3D permiten crear y previsualizar un producto en tres dimensiones (modelos CAD 3D) antes de su producción real, lo cual hace posible una previsualización dinámica, que permite que las decisiones se ajusten a los criterios conceptuales. Por lo general las ventajas de modelar en un programa CAD 3D incluyen la capacidad de crear imágenes realistas para evaluar el aspecto del producto, poder calcular las propiedades físicas como masa y volumen, y la facilidad de la creación de una descripción del producto como vistas en sección transversal y dibujos para su fabricación. (Ulrich & Eppinger, 2013).



Cortesía de iRobot Corp.

*Figura 24.* Análisis de elemento finito de la placa lateral del Packbot basado en un modelo CAD 3D.

Tomado de (Ulrich y Eppinger, 2013, p. 295)

### 3.1.3.3.1. Proceso de modelado del vehículo

El prototipo del vehículo a modelar en AutoCAD será el vehículo tipo Jeep con carrocería y chasis de acero, que fue seleccionado como mejor alternativa de acuerdo con la matriz de decisiones.

Especificaciones del producto:

- Perfiles angulares a 90° de alas iguales, en acero de baja aleación A36 y laminados en caliente de 20x2[mm].



*Figura 25.* Perfil angular 90° A36.

- Bisagras de 12.7 x 53 [mm]



*Figura 26.* Bisagra para soldar.

- Pasador 8 x 30 [mm]



*Figura 27. Pasador de anilla.*

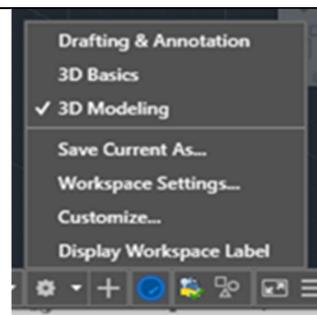
Los programas básicos de diseño asistido por computador hoy en día disponibles son los siguientes: Autocad, Solid Works, Inventor etc.

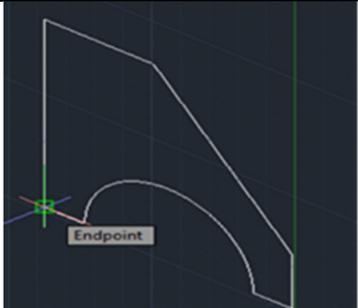
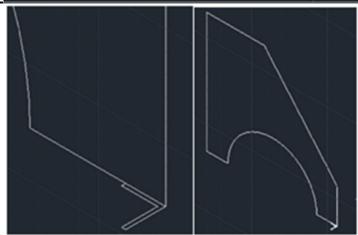
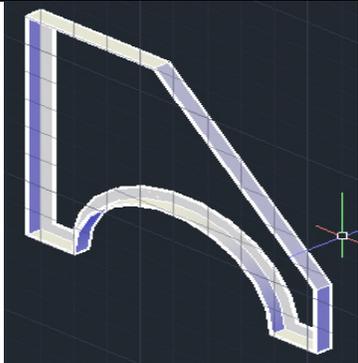
Para el proyecto de tesis se optó por diseñar prototipo, utilizando el programa Autocad, los pasos básicos para modelar el prototipo de vehículo Jeep en Autocad son los siguientes:

Tabla 12.

*Pasos para modelar el vehículo tipo Jeep en AutoCAD*

- 1) Configurar el espacio de trabajo en 3 dimensiones.



<p>2) Dibujar el contorno de cualquier pieza mediante el comando línea.</p>	
<p>3) Dibujar el contorno del área del perfil angular 90° A36.</p>	
<p>4) Colocar el contorno del área del perfil dibujado en la esquina del contorno de la pieza dibujada.</p>	
<p>5) Convertir a poli línea el contorno dibujado con el comando Pedit.</p>	
<p>6) Con el comando Sweep seleccionar el contorno del perfil angular para barrer y después seleccionamos el camino del barrido sweep path.</p>	

Siguiendo los pasos de la tabla 12 se modeló el vehículo tal y como se muestra en la figura 28.

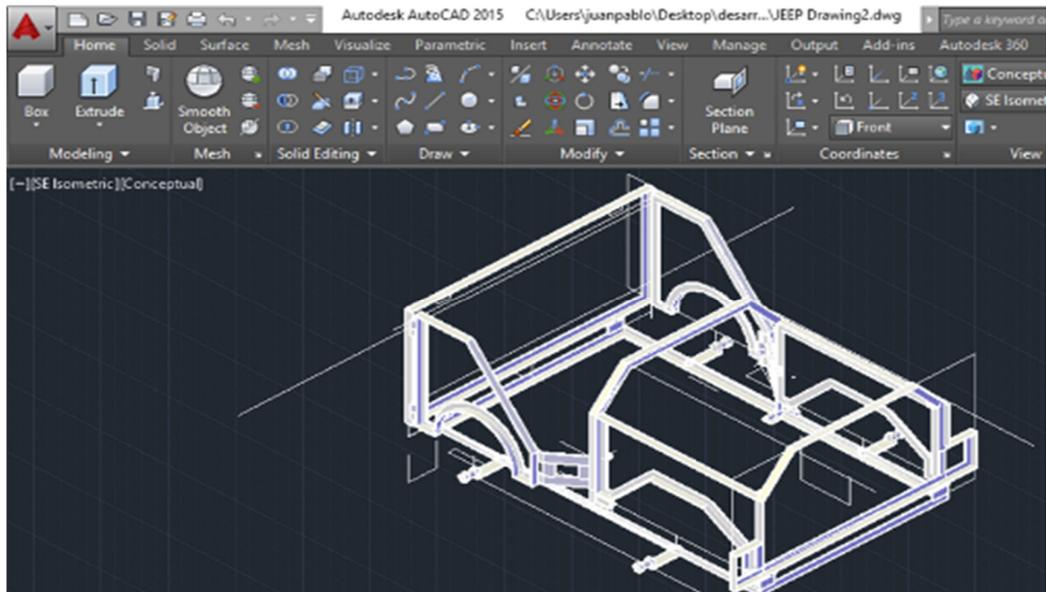


Figura 28. Jeep prototipo modelado en Autocad.

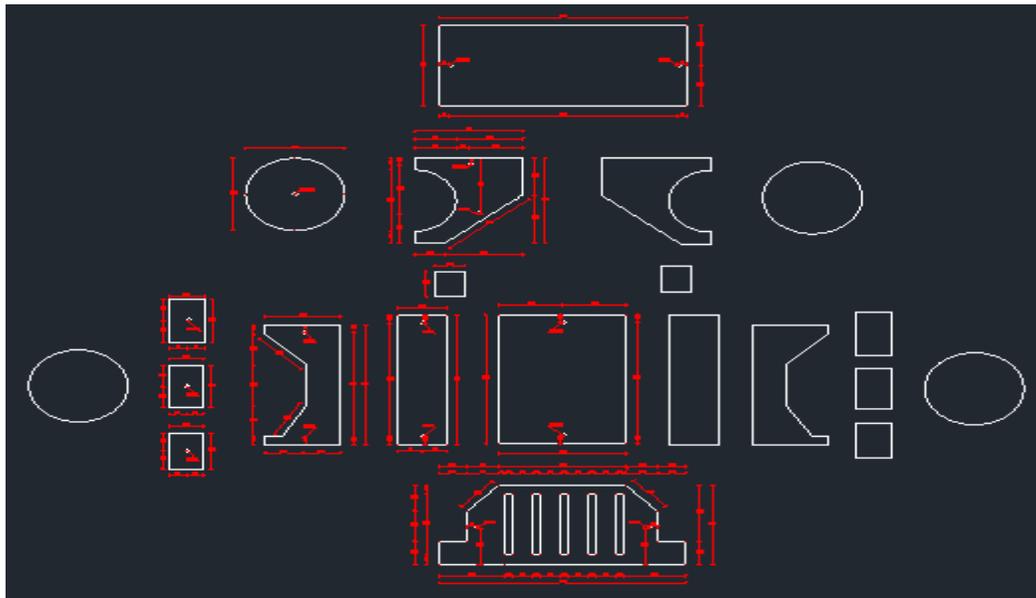


Figura 29. Detalle de los paneles de madera triplex de 9mm espesor.

### 3.1.4. Cuarta fase (Verificación y Testeo)

El diseño de detalle debe contar con una forma de verificar que este cumpla efectivamente las especificaciones técnicas conceptuales del producto, como, por ejemplo, verificar aspectos de calidad, seguridad, confiabilidad, mantenimiento, compatibilidad dimensional de ensamblado y montaje. Esta fase es importante ya que permite validar las condiciones realistas de fabricación del producto y la selección de los proveedores.

Los objetivos en la Cuarta fase son los siguientes:

- **Facilitar el paso de la fase de diseño a la fase de producción:** se convierte progresivamente la solución técnica en una solución fabricable (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2009).
- **Verificar si las definiciones planteadas inicialmente en el diseño a detalle del producto han sido plasmadas correctamente al producto:** verificación del diseño del producto en condiciones de uso de la forma más real posible con la ayuda de prototipos funcionales.

#### 3.1.4.1. Costos

El costo se define como todos los gastos que se necesitan realizar para obtener un bien, durante este proyecto se tomó en cuenta, los costos dentro de las etapas de diseño y la etapa de construcción.

##### 3.1.4.1.1. Costos directos

Los costos directos son todos los valores que corresponden a: materiales, maquinas, herramientas, mano de obra y transporte; estos rubros están directamente relacionados al proyecto para la obtención del producto o servicio en torno al cual gira el negocio de la empresa.

### 3.1.4.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son los rubros que no tienen una influencia directa con el producto o servicio, pero son indispensables en la cadena de producción. Por ejemplo, el consumo de energía eléctrica en una fábrica automotriz no tiene una relación directa con el producto, pero es un recurso indispensable para operar el equipo electrónico, las herramientas eléctricas y las bandas de transportación en la línea de producción.

### 3.1.4.1.3. Análisis de precios unitarios (APU) para la construcción del vehículo tipo Jeep

A continuación, se detalla el análisis de costos unitarios (APU) para el diseño y construcción de un vehículo tipo Jeep con una estructura metálica a partir de perfiles angulares a 90° de lados iguales en acero A36:

#### Análisis de precios unitarios (APU)

**Proyecto:** Diseño y construcción de un vehículo tipo Jeep con una estructura metálica a partir de perfiles angulares a 90o de lados iguales en acero A36.

Tabla 13.

#### *Precio Unitario (Diseño de Estructura metálica Jeep)*

RUBRO: Diseño de Estructura metálica Jeep				UNIDAD: U	
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A \times B$	$R = H/U$	$D = C \times R$
Herramienta menor (5% m.o.)					37,50
Computador portátil	1	1,98	1,98	0,114	0,23
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>37,73</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A \times B$	$R = H/U$	$D = C \times R$
Ing. Mecánico (diseño y dibujo)	1	30,00	30,00	25	750

<b>SUBTOTAL N</b>		<b>750,00</b>
Estos precios no incluyen el IVA	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>	787,73
	<b>COSTO INDIRECTO</b>	157,5
	<b>OTROS INDIRECTOS:</b>	
	<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO:</b>	945,27
	<b>VALOR OFERTADO:</b>	<b>945,27</b>

Tabla 14.  
*Precio Unitario (Construcción de estructura metálica tipo Jeep)*

<b>RUBRO:</b> Construcción de estructura metálica tipo Jeep			<b>UNIDAD:</b> Kg		
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R=H/U	D = C x R
Herramienta menor (5% m.o.)					0,08
Soldadora electrica	1	1,98	1,98	0,114	0,23
Amoladora	1	1,17	1,17	0,114	0,13
Taladro eléctrico	1	1,17	1,17	0,114	0,13
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,57</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R=H/U	D = C x R
Soldador	1	3,45	3,45	0,114	0,39
Maestro herrero	1	3,82	3,82	0,114	0,44
Pintor	1	3,45	3,45	0,114	0,39
Ayudante	1	3,3	3,3	0,114	0,38
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>1,60</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Electrodo 6011	kg	0,05	5,23	0,26	
Perfil angular estructural de alas iguales en acero A36 y pletinas de acero A36	kg	1	0,95	0,95	
Pintura en spray anticorrosivo negro mate	U	0,01	4,00	0,04	
Disco abrasivo universal	U	0,05	16,00	0,80	
Thinner comercial	gls	0,01	15,59	0,16	
Broca para metal	U	0,05	3,20	0,16	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>2,37</b>	
Estos precios no incluyen el IVA	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>			4,54	
	<b>COSTO INDIRECTO</b>			0,91	
	<b>OTROS INDIRECTOS:</b>				

<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO:</b>	5,45
<b>VALOR OFERTADO:</b>	<b>5,45</b>

Tabla 15.

*Precio Unitario (Construcción de paneles de madera para el vehículo)*

<b>RUBRO:</b> Construcción de paneles de madera para el vehículo				<b>UNIDAD:</b>	U
<b>EQUIPOS</b>					
<b>Descripción</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	A	B	C = A x B	R=H/U	D = C x R
Herramienta menor (5% m.o.)					0,06
Taladro eléctrico	1	1,10	1,10	0,114	0,13
Compresor	1	1,17	1,17	0,114	0,13
Sierra caladora de madera	1	1,98	1,98	0,114	0,23
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,54</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL /HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	A	B	C = A x B	R=H/U	D = C x R
Maestro carpintero	1	3,82	3,82	0,114	0,44
Pintor	1	3,45	3,45	0,114	0,39
Ayudante	1	3,3	3,3	0,114	0,38
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>1,20</b>
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>	
		A	B	C = A x B	
Thinner comercial	gls	0,01	15,59	0,16	
Pintura roja	gls	0,01	15,74	0,16	
Plancha de madera	U	0,20	15	3,00	
Sierra para caladora	U	0,05	5,5	0,28	
Broca para madera	U	0,05	3,2	0,16	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>3,75</b>
Estos precios no incluyen el IVA			<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>		5,50
			<b>COSTO INDIRECTO</b>		1,10
			<b>OTROS INDIRECTOS:</b>		
			<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO:</b>		6,60
			<b>VALOR OFERTADO:</b>		<b>6,60</b>

Tabla 16.

*Precio Unitario (Componentes del vehículo)*

<b>RUBRO:</b> Componentes del vehículo	<b>UNIDAD:</b>	U
--	----------------	---

<b>Componentes</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
		A	B	C = A x B
Bisagras para soldar	U	18	0,75	13,5
Pernos para faldones	U	6	0,5	3
Tuercas para pernos de faldones	U	6	0,25	1,5
Pernos para tuerca mariposa	U	22	0,5	11
Tuerca mariposa	U	22	0,3	6,6
Pasador de liberación rápida con anillo	U	4	0,42	1,68
Perno para llantas	U	4	0,95	3,8
Tuerca para perno de llantas	U	4	0,4	1,6
Arandela para perno de llantas	U	4	0,08	0,32
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>43</b>
Estos precios no incluyen el IVA		<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>		43,00
		<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO:</b>		43,00
		<b>VALOR OFERTADO:</b>		<b>43,00</b>

Tabla 17.

*Costo Total para el Diseño y construcción de un vehículo tipo Jeep para el ambiente de trabajo simulado*

<b>RUBRO:</b> Diseño y construcción de un vehículo tipo Jeep para el ambiente de trabajo simulado (SWE)	<b>UNIDAD:</b>	U		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
		A	B	C = A x B
Diseño de Estructura metálica Jeep	U	1	945,27	945,27
Construcción de estructura metálica tipo Jeep de acero A36.	kg	16,71	5,45	90,97
Construcción de paneles de madera para el vehículo	U	17	6,60	112,20
Bisagras para soldar	U	18	0,75	13,50
Pernos para faldones	U	6	0,50	3,00
Tuercas para pernos de faldones	U	6	0,25	1,50
Pernos para tuerca mariposa	U	22	0,50	11,00
Tuerca mariposa	U	22	0,30	6,60
Pasador de liberación rápida con anillo	U	4	0,42	1,68
Perno para llantas	U	4	0,95	3,80
Tuerca para perno de llantas	U	4	0,40	1,60
Arandela para perno de llantas	U	4	0,08	0,32
Transporte	Km	15	1,00	15,00
		<b>SUBTOTAL</b>		1206,68
		<b>IVA</b>		144,77

TOTAL

1351,22

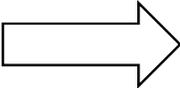
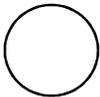
### 3.1.4.2. Construcción

Al igual que toda estructura de acero, la construcción de estructuras en perfil angular en los talleres debe organizarse de tal manera que el material siga un proceso desde la recepción hasta su entrega final, de acuerdo con los siguientes pasos:

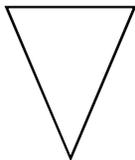
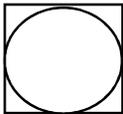
- Marcado para realizar el corte en los perfiles angulares.
- Corte adecuado por aserrado
- Curvado donde sea necesario.
- Preparación de los bordes para soldar.
- Soldadura
- Cepillado o desbaste de la soldadura.
- Inspección visual de las uniones soldadas.
- Pintado para protección de la corrosión.

Tabla 18.

*Símbolos para elaborar diagrama de procesos*

Simbología	Significado
	Transporte
	Operación Tecnológica
	Inspección

---

	Almacenamiento
	Demora
	Actividad combinada

---

Adaptado de (García Criollo, 2005, p. 44)

Una buena operación de montaje está directamente relacionada con la correcta selección de una mesa o estructura de montaje en el taller, para poder facilitar las operaciones de soldadura, atornillado, perforación, doblado etc.

En el montaje de la estructura metálica del prototipo hay que tener en cuenta las deformaciones que se producen al momento de soldar, con el fin de garantizar que la precisión de las medidas sean las correctas como en los planos constructivos. En el plan de fabricación siempre hay que considerar los siguientes factores:

- Espacio de trabajo.
- Máquinas/herramientas.
- Mano de obra especializada.
- Almacenamiento de elementos estructurales.

Para el montaje de los elementos estructurales del prototipo Jeep se definieron los siguientes parámetros:

- **Montaje:** se lo realiza en mesa de trabajo.

- **Trabajo de taller:** corte o aserrado de perfiles y paneles de madera, doblado de perfiles, soldadura, y perforación.
- **Soldadura:** Smaw electrodo 6011 (véase tabla 19).
- **Método de curvado:** doblado por presión sobre un molde como se observa en la figura 32.

Tabla 19.

*Ficha técnica electrodo 6011*

<b>Análisis Típico depositado (% en peso)</b>							
C, %	Mn, %	Si, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %
0.11	0.41	0.23	0.010	0.017	0.02	0.02	0.01
<b>Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado</b>							
Tratamiento Térmico	Esf. Fluencia en 0.2%Mpa		Esf. De Tracción en Mpa		Elongación (L=4d),%	E. Absorbida Ch-v	
S/T.T	424		495		27	34J a - 30°C	
<b>Parámetros de Soldadura y Datos</b>							
Diámetro, mm	2.4		3.2		4.0	4.8	
Longitud, mm	300		350		350	350	
Int. De Corr, A	50-90		80-120		120-160	160-220	
Nº elect/kg	74		34		24	17	

Adaptado de (INDURA, 2017)

Tabla 20.

*Flujograma de construcción*

<b>Simbología</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempo de la operación (horas)</b>
	Compra de materiales	1
	Transporte	1
	Marcado y corte de todos los elementos	6
	Inspección de medidas	0,5
	Curvado de los elementos	0,25

	Inspección de curvado	0,083
	Transporte	0,05
	Soldadura de todos los elementos y montaje	5
	Desbaste de los cordones de soldadura	1
	Inspección de soldadura	0,5
	Lijado de la estructura	0,5
	Pintura de la estructura	0,5
	Secado de pintura	2
	Corte de los paneles de madera.	1,5
	Inspección de las medidas	0,25
	Pintura de los paneles de madera	0,75
	Secado de pintura	2
	Transporte	0,05
	Montaje de los paneles de madera en la estructura	0,25
	Inspección final	0,25
	Almacenamiento	0,083

Nota: El tiempo de construcción total aproximado es de 25 horas.

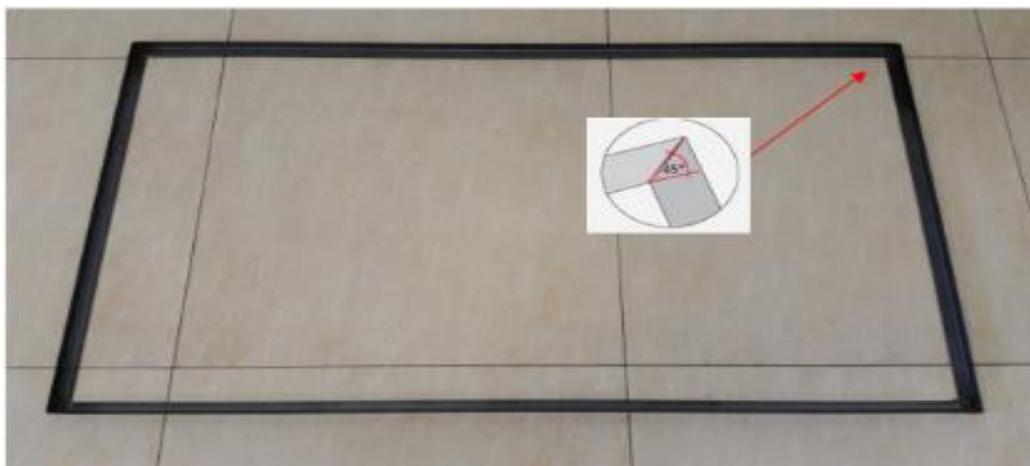
### 3.1.4.2.1. Corte por aserrado

Para fabricar una estructura metálica se debe preparar sus partes mediante el corte por aserrado o por oxicorte, para memorar el costo y por facilidad de construcción es preferible el método de corte aserrado.

La herramienta para cortar es una sierra de arco de metal que sirve para cortar perfiles angulares y pletinas, por ejemplo, para unir los perfiles angulares directamente y construir el bastidor de forma rectangular es necesario realizar un corte a  $45^\circ$  como se indica en la figura 30.



*Figura 30.* Corte por aserrado recto y a  $45^\circ$  de perfiles angulares a  $90^\circ$  y de pletinas respectivamente.



*Figura 31.* Bastidor con cada extremo cortado a  $45^\circ$ .

### 3.1.4.2.2. Curvado en frío por presión con ayuda de un molde

Se realiza varios cortes de segmentos iguales en un ala del perfil angular para facilitar su doblado y tras colocar el perfil angular sobre el molde circular, se procede a aplicar presión en los extremos del perfil angular hasta obtener la forma deseada.

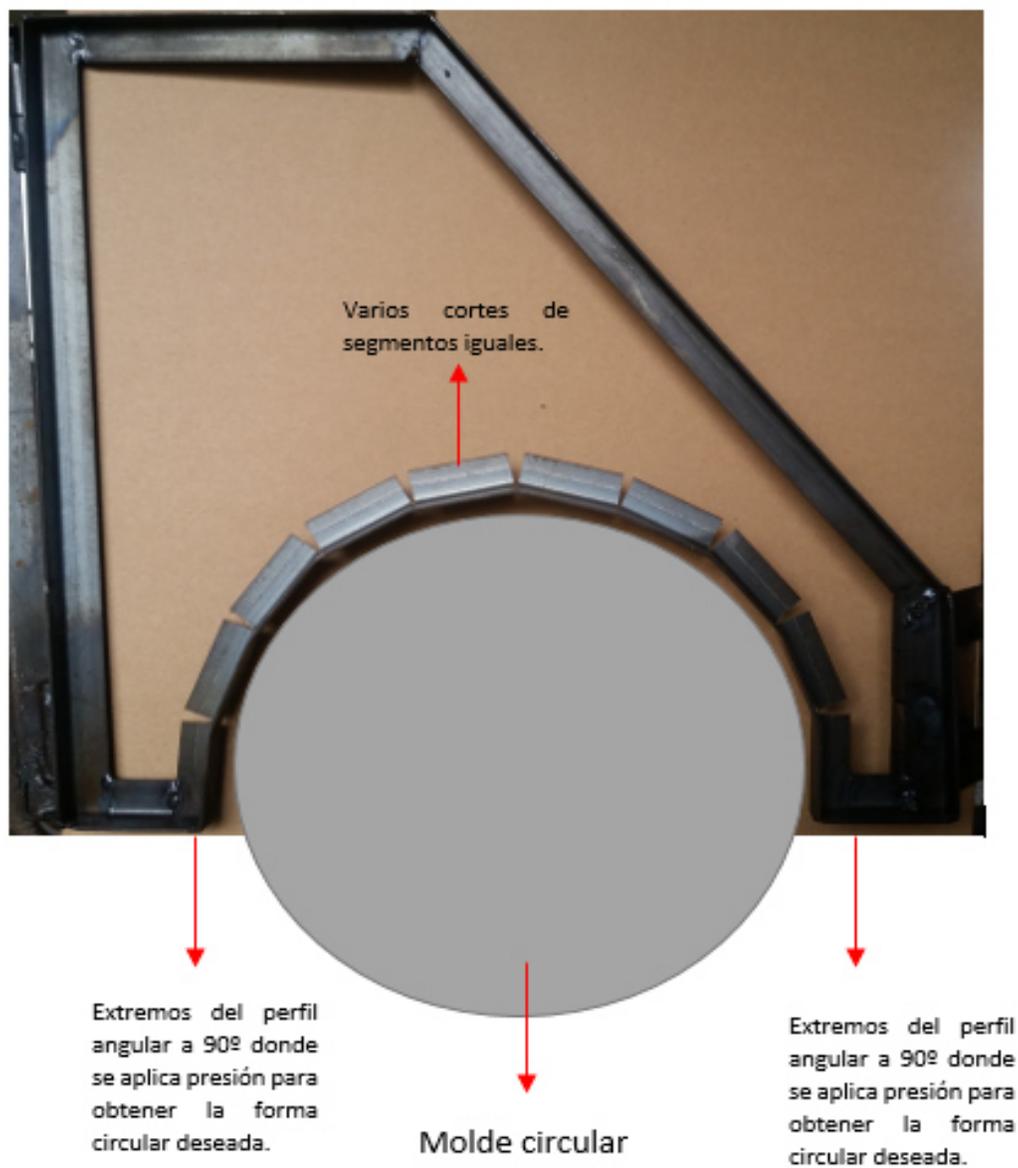


Figura 32. Curvado en frío por presión de un perfil angular a 90°.

### 3.1.4.2.3. Punteado de la soldadura

El punteado de la soldadura es una soldadura pequeña como un punto, esta técnica es utilizada para la fijación preliminar de las barras de perfil angular de cualquier estructura, consiguiendo una sujeción temporal previa a la soldadura definitiva en un montaje. “El espesor de la garganta del punteado de soldadura tiene que estar de acuerdo con la posición de la raíz. Éste debe garantizar una unión limpia en la raíz de la soldadura. Los extremos de los puntos de soldadura deben estar correctamente ejecutados para obtener una buena fusión en el cordón de la raíz” (Andrade Alvarez & Jaramillo Madrid, 2009,p.107).



*Figura 33.* Ejemplo de punteado de soldadura.  
Tomado de (Pereda, 2013)

### 3.1.4.2.4. Inspección de soldaduras

Es de importancia fundamental efectuar una detenida inspección visual de los cordones de la soldadura, así como de la zona próxima a la soldadura, tanto

antes como después de soldar. Por lo tanto, “se recomienda comprobar la separación de la raíz entre las partes que hay que soldar, el ángulo de inclinación entre los elementos estructurales, la uniformidad en la preparación de los bordes de la soldadura, el ángulo de bisel, la distancia entre la alineación de las caras y la eliminación total de aceite, grasa, etc” (Andrade Alvarez & Jaramillo Madrid, 2009, p. 108).

### 3.1.4.3. Montaje

Una vez marcado y cortado los elementos estructurales correspondientes al bastidor y a la estructura metálica del Jeep en general, se los va uniendo uno por uno con puntos de suelda y se verifica que se encuentren con las medidas de los planos constructivos.

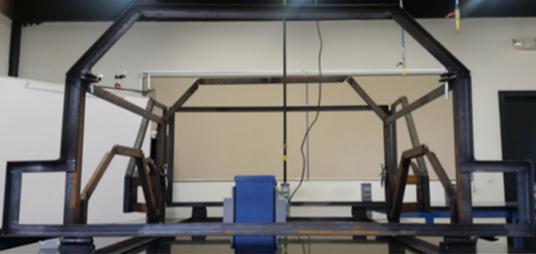
Una vez que se ha comprobado que las medidas son las correctas, se procede a soldar todo el conjunto.

En la tabla 21, se indica los diferentes componentes de la carrocería del vehículo tipo Jeep para el ambiente de trabajo simulado.

Tabla 21.

*Componentes de la carrocería del vehículo tipo Jeep*

Nombre del componente	Fotografía del componente
Bastidor	

Marco posterior	
Marco posterior derecho	
Marco delantero derecho	
Marco frontal	
Puerta derecha	

Soporte del faldón	
Jeep armado con paneles provisionales	
Jeep etapa final vista lateral derecha	
Jeep etapa final vista lateral izquierda	

## 4. Diseño del ambiente de trabajo simulado

### 4.1. Consideraciones para el diseño

En el diseño de las instalaciones de una fábrica hay que tomar en cuenta las

siguientes consideraciones:

- Tipo de producto a fabricarse
- Espacio disponible
- Ubicación
- Demanda del producto
- Calidad/costo del producto
- Tipo de distribución de planta
- Diseño del inmueble
- Manejo de materiales
- Otros factores (Proximidad de las fuentes de materia prima, sistemas de transporte).

Las consideraciones antes mencionadas se ven afectadas directamente por el diseño de la instalación, por esta razón el diseño de fábrica representa un gran reto porque al organizar adecuadamente las instalaciones se logra promover el uso eficiente de los recursos, como equipo, materiales, mano de obra y energía (Meyers & Stephens, 2006) .

## **4.2. Diseño de planta**

Para el diseño de planta se debe tomar en cuenta el espacio disponible para su fabricación, su ubicación y el tipo de distribución de planta, la planta manufacturera estará ubicada junto a los laboratorios de Ingeniería Industrial de la Universidad de las Américas (UDLA) campus Queri sector Noreste (Figura 4.1), con un área útil de aproximadamente 117 m<sup>2</sup> de dimensiones (Largo 13 m y ancho 9 m).



*Figura 34.* Espacio disponible y ubicación de la planta SWE.

#### **4.2.1. Selección de distribución de planta**

De acuerdo con el espacio disponible y al tipo de producto que se va a fabricar es necesario la selección de distribución de planta, para este proyecto se ha escogido la distribución de planta por producto (capítulo 2.3.7.4), el producto a ensamblarse se mueve por un sistema de rodillos transportadores, en cada estación de trabajo se procesa una cantidad pequeña del producto total como se ilustra en la figura 35.



Figura 35. Distribución de planta por producto.

Ya que el espacio que se dispone en la Universidad de las Américas no es muy amplio ( $117\text{m}^2$ ) y además por sus dimensiones presenta una forma rectangular el escenario más factible de distribución de planta es el propuesto en la figura 35, sin embargo, se planteó otros posibles diseños que podrían ser utilizados en futuros proyectos (véase en anexos).

#### 4.2.2. Diseño del inmueble

Para el presente proyecto se decidió que el inmueble debía ser un galpón con estructura metálica, como en el diseño de la figura 36, ya que al ser de acero sus elementos estructurales son livianos y resistentes en grandes luces permitiendo aprovechar de mejor manera el área disponible.

El diseño de la estructura metálica del galpón debe poseer las siguientes características:

- Debe ser diseñada de tal manera que sea desmontable en caso de que sea necesario cambiar de ubicación de la fábrica de ensamblaje como se indica en la figura 37.
- Poseer un puente grúa de 0.5 Toneladas, para el izaje del producto terminado (véase figura 38).

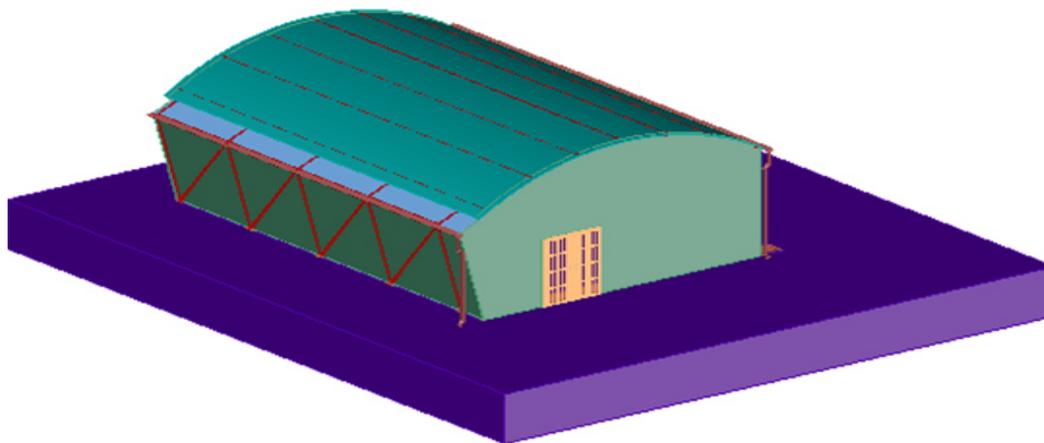


Figura 36. Galpón de estructura metálica.

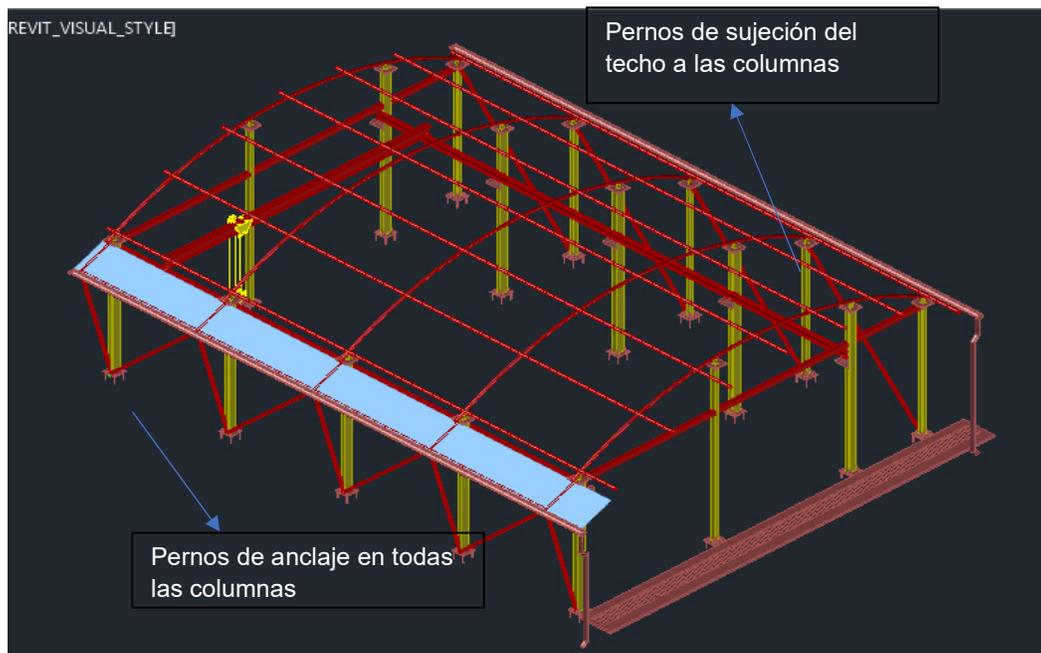


Figura 37. Estructura metálica desmontable.

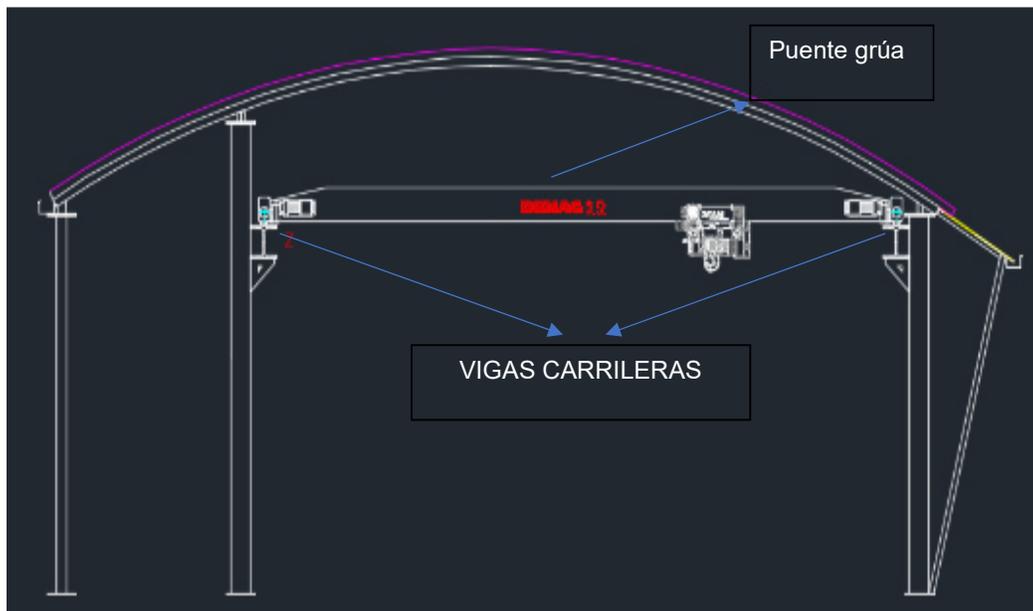


Figura 38. Puente grúa.

#### 4.2.2.1. Análisis estructural del galpón

El análisis estructural de la estructura metálica del galpón se lo realizó en el Software Sap 2000 V19, el cual es un programa de cálculo de estructuras basado en el método de los elementos finitos, posee interfaz en 3D, facilita el dimensionamiento y análisis de las cargas exteriores que actúan en un sistema estructural. El galpón tendrá las siguientes dimensiones: largo 13.10 m; ancho 9.10 m y altura 4.50 m. Se considerarán los siguientes perfiles para un primer análisis:

- Cubierta y fachada termo acústica de UPVC (Policloruro de vinilo no plastificado) espesor de 2.5 mm.
- Tubo circular estructural de 3 [pulg] x 3 [mm] en (Acero A36) el cual va a soportar la cubierta.
- Las columnas que soportarán las vigas carrileras y el puente grúa serán de tubo rectangular de 200x100x4 [mm] en (Acero A36).

- Las columnas periféricas serán de tubo cuadrado de 100x100x4 [mm] en (Acero A36).
- La viga del puente grúa será del tipo W8X24 en (Acero A36).
- Las vigas carrileras serán de tipo UB 152X89X16 en (Acero A36).
- Tubo cuadrado de 50x50x3 [mm] en (Acero A36), para la colocación de la cubierta de fachada.

Las fichas técnicas de los elementos estructurales se encuentran en los anexos.

Para proceder a analizar el comportamiento del sistema estructural en el software, primero se dibuja la disposición de la estructura metálica con todos sus componentes (véase figura 39), después se dibuja un diagrama unifilar del sistema estructural para ingresarlo en el software de análisis estructural (véase figura 40).

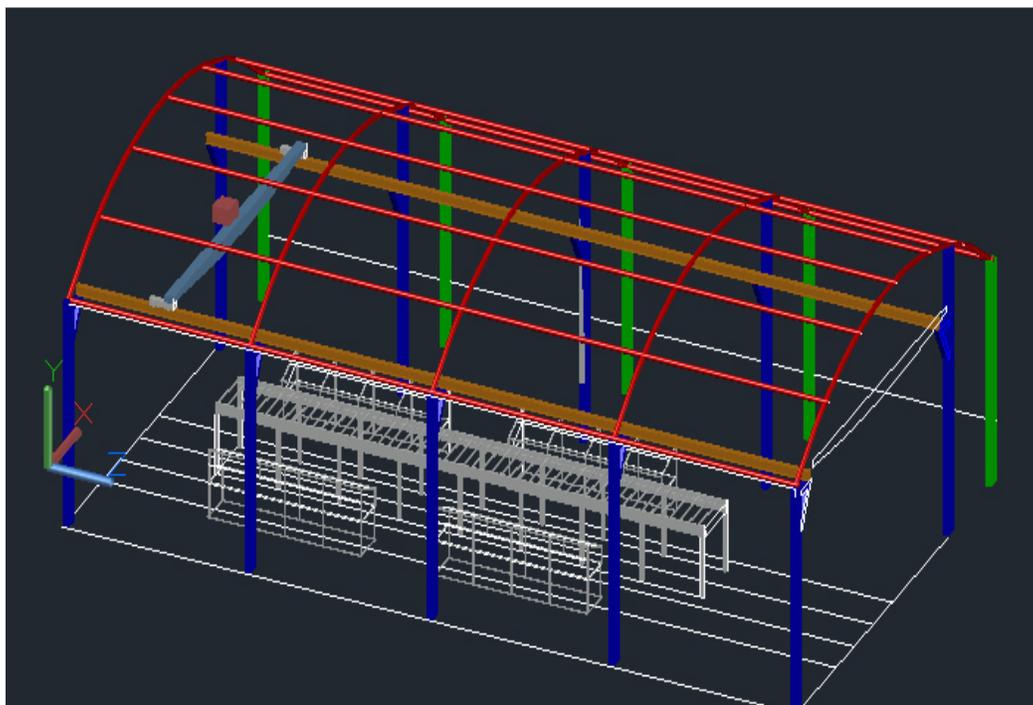
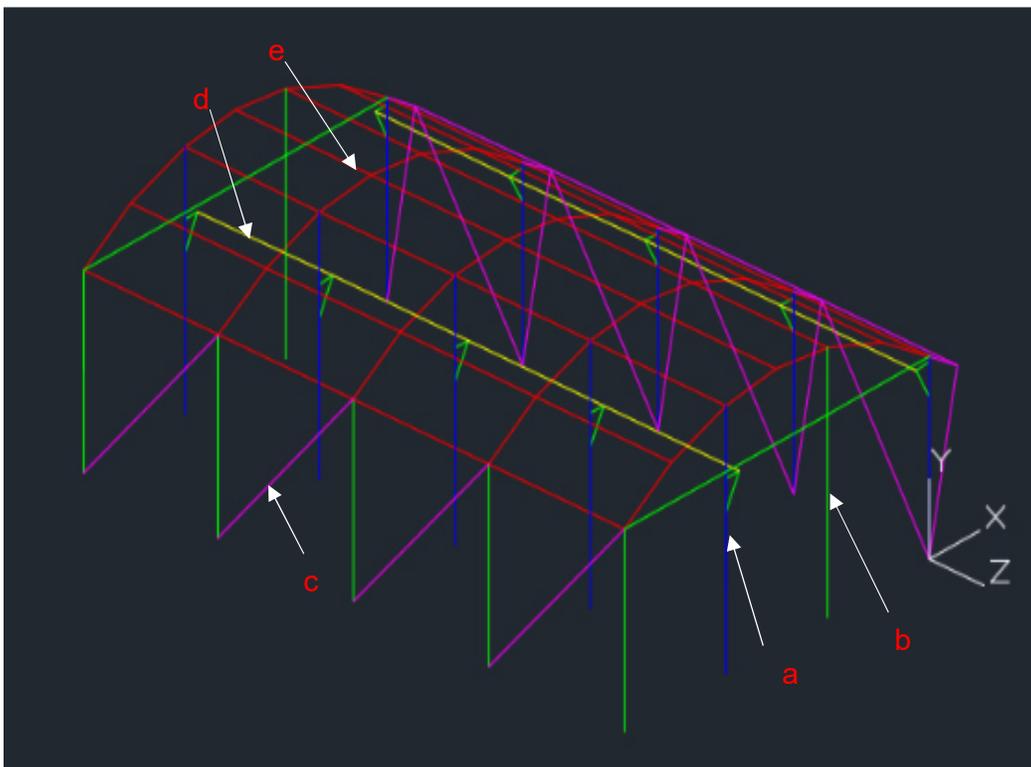


Figura 39. Estructura metálica diseñada en AutoCAD.



*Figura 40.* Diagrama unifilar de la estructura metálica del galpón diseñado en AutoCAD.

- a) Color azul: Tubo rectangular de 100x200x4.
- b) Color verde: Tubo cuadrado de 100x100x4.
- c) Color magenta: Tubo cuadrado de 50x50x3.
- d) Color amarillo: Vigas carrileras UB 152X89X16.
- e) Color rojo: Tubo circular de 3" x 3 mm.

Una vez que se tiene dibujado el diagrama unifilar de la estructura metálica del galpón procedemos a ingresar las secciones de los elementos estructurales en el software de análisis estructural y posteriormente aplicar las cargas a las cuales está sometido el sistema estructural como se puede observar en la figura 41.

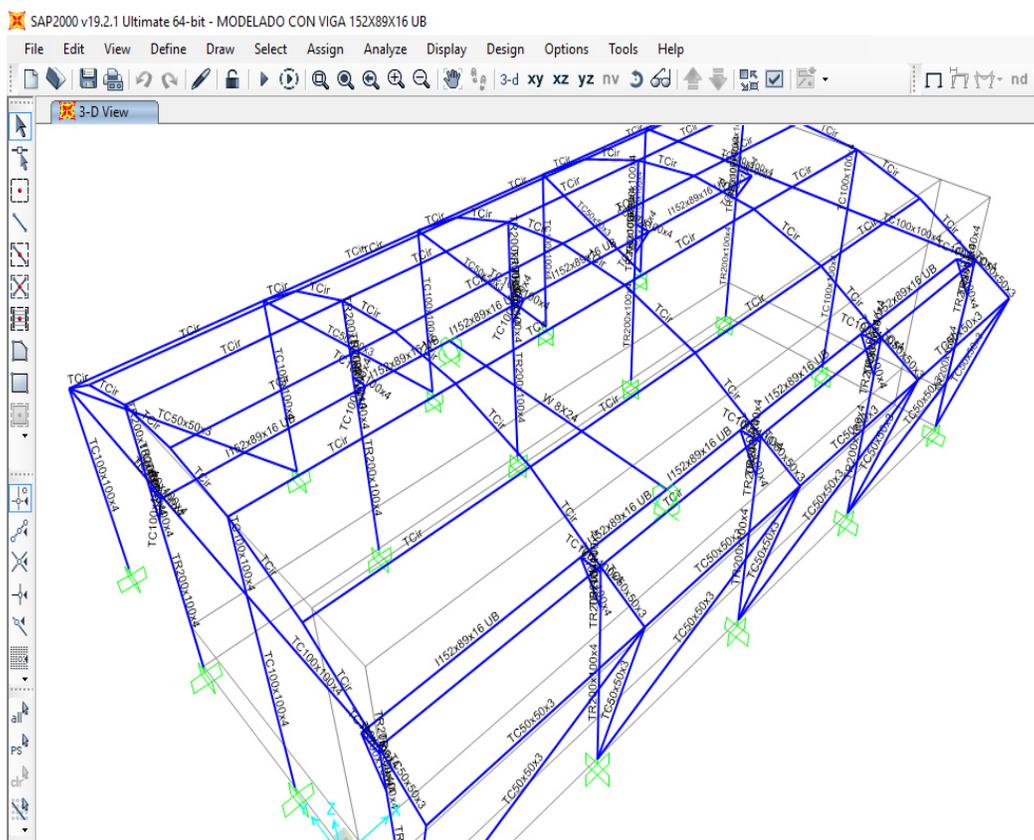


Figura 41. Análisis estructural del galpón.

La estructura metálica del galpón va a soportar las cargas propias del peso de sus elementos estructurales, así como el peso de cada producto terminado (Jeep ensamblado) que levantará el puente grúa.

La cubierta del techo de un espesor de 2.5 [mm] tiene un peso específico igual 5.70 [kg/m<sup>2</sup>], el área del techo de la cubierta se encuentra dividida en cuatro secciones (véase figura 42), cada sección del galpón tiene seis planchas de cubierta termo acústica de dimensiones: largo:3 [m], ancho:1.641 [m] con un área igual a 4.924 m<sup>2</sup> por plancha de cubierta (véase figura 43).

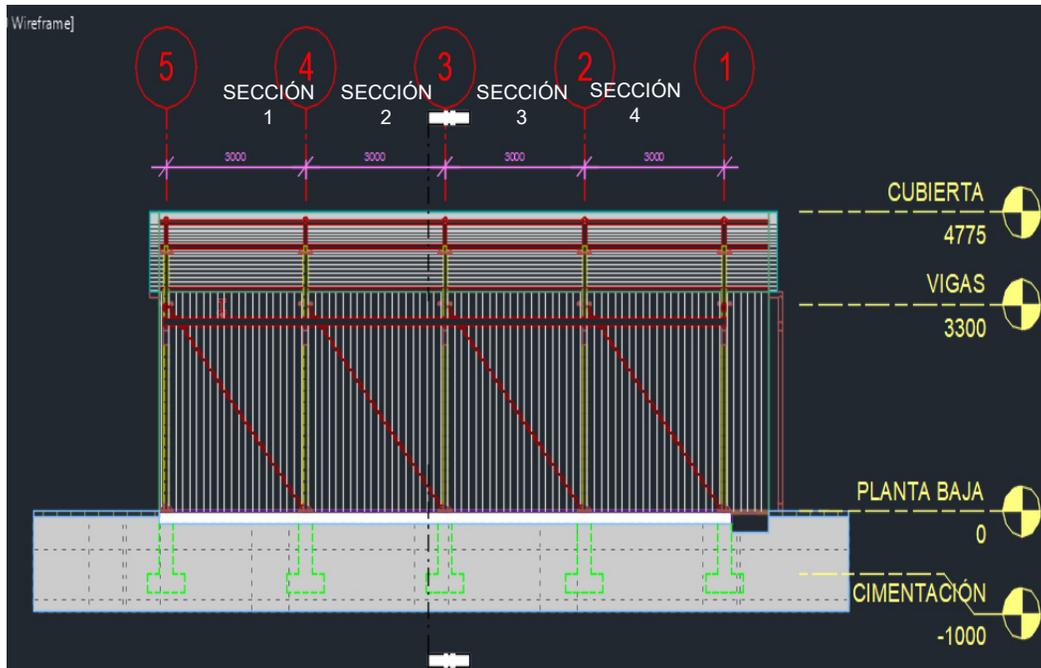


Figura 42. Número de secciones del galpón.

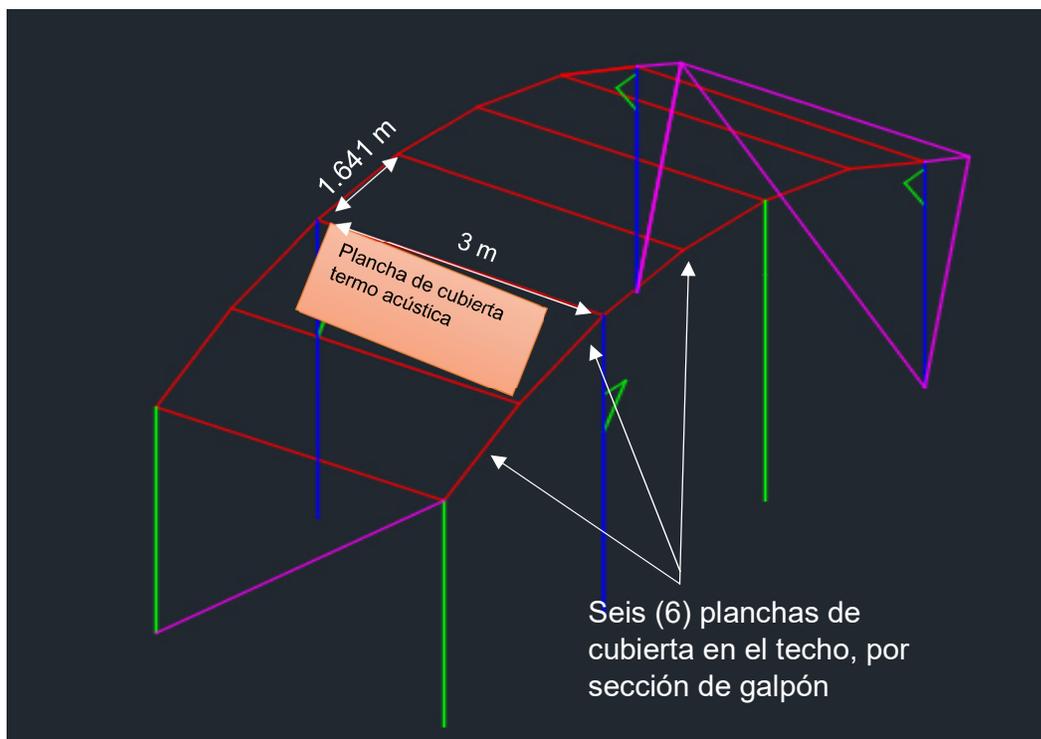


Figura 43. Número de planchas de cubierta termo acústica (Techo) por sección del galpón.

#### 4.2.2.1.1. Cálculo de carga distribuida del techo del galpón y carga puntual del puente grúa

Mediante la ecuación 18 del peso específico de la cubierta del techo, procedemos a calcular la carga distribuida que este ejerce en la estructura del techo, que está compuesta por tubo de 3" x 3 [mm].

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso}}{\text{Área}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$\text{Peso específico} = 5.70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \text{ cubierta del techo}$$

$$\text{Peso} = \text{Peso específico} * \text{Área}$$

Área total del techo de la cubierta por sección de galpón:

$$\text{Área total de cubierta} = (1.641\text{m} * 3\text{m}) * \text{número de planchas}$$

$$\text{Área total de cubierta} = 4.923 \text{ m}^2 * \text{número de planchas} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$\text{número de planchas} = 6 u$$

$$\text{Área total de cubierta} = 4.923 \text{ m}^2 * 6$$

$$\text{Área total de cubierta} = 29.54 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso cubierta} = 5.70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 29.54 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso cubierta} = 168.4 \text{ kg}$$

$$\text{Carga distribuida del techo} = \frac{\text{Peso cubierta}}{\text{Longitud cubierta}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$\text{Carga distribuida del techo} = \frac{168.4 \text{ kg}}{9846 \text{ mm}}$$

$$\text{Carga distribuida del techo} = 0.017 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}$$

$$\text{Carga de granizo por m}^2 = \text{densidad granizo} * \text{altura de acumulacion}$$

(Ecuación 21)

$$\text{Carga de granizo por m}^2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \text{altura de acumulacion}$$

Se asume una altura de acumulación de granizo de 3 [cm], las pendientes de la cubierta del techo son las siguientes: en su parte superior es de 5 grados (8.7%), en la parte media es de 17 grados (30.5%) y en su parte baja es de 28 grados (53%). (Ver planos en anexos).

$$\text{Carga de granizo por } m^2 = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.03 \text{ m}$$

$$\text{Carga de granizo por } m^2 = 30 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{Peso de granizo} = 30 \frac{kg}{m^2} * 29.54 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso de granizo} = 886.2 \text{ kg}$$

$$\text{Carga de granizo por metro lineal} = \frac{\text{Peso de granizo}}{\text{Longitud de cubierta}}$$

$$\text{Carga de granizo por metro lineal} = \frac{886.2 \text{ kg}}{9846 \text{ mm}}$$

$$\text{Carga de granizo por metro lineal} = 0.09 \frac{kg}{mm}$$

*Carga Total distribuida*

$$= \text{carga distribuida del techo} + \text{carga de granizo lineal}$$

(Ecuación 22)

$$\text{Carga Total distribuida} = 0.017 \frac{kg}{mm} + 0.09 \frac{kg}{mm}$$

$$\text{Carga Total distribuida} = 0.11 \frac{kg}{mm}$$

La carga puntual a la cual va a estar sometido el puente grúa sería igual a la suma combinada de los pesos del tecele eléctrico, el peso de Jeep, y el peso propio de la viga del puente grúa.

- El tecle eléctrico posee un peso igual a: 47 kg. (Especificaciones técnicas anexos).
- El peso del producto terminado (Jeep ensamblado) tiene un peso aproximado igual a: 34 kg. (Especificaciones técnicas anexos).
- La viga del puente grúa W8x24 de una longitud de 6.8 m según las especificaciones técnicas (Anexos) tiene un peso de 35.9 kg/m. (Especificaciones técnicas anexos).

Sumando todos estos pesos tenemos un peso global que actúa en la viga W8x24 de 325.12 kg. Asumiendo que la carga de izaje puede ser hasta de 0.5 toneladas que es la capacidad total del tecle eléctrico, el peso total al cual estaría sometida la viga del puente grúa sería igual a 825.12 kg, a esta carga se le multiplica por un factor de seguridad de 2.4 obteniendo una carga de 1980.3 kg, para visualizar si al momento de analizar la estructura en el software esta soporta las cargas, la carga puntual de estudio se redondea a 2000 kg.

Con estos valores de las cargas se analiza el comportamiento estructural del galpón en el software Sap2000.

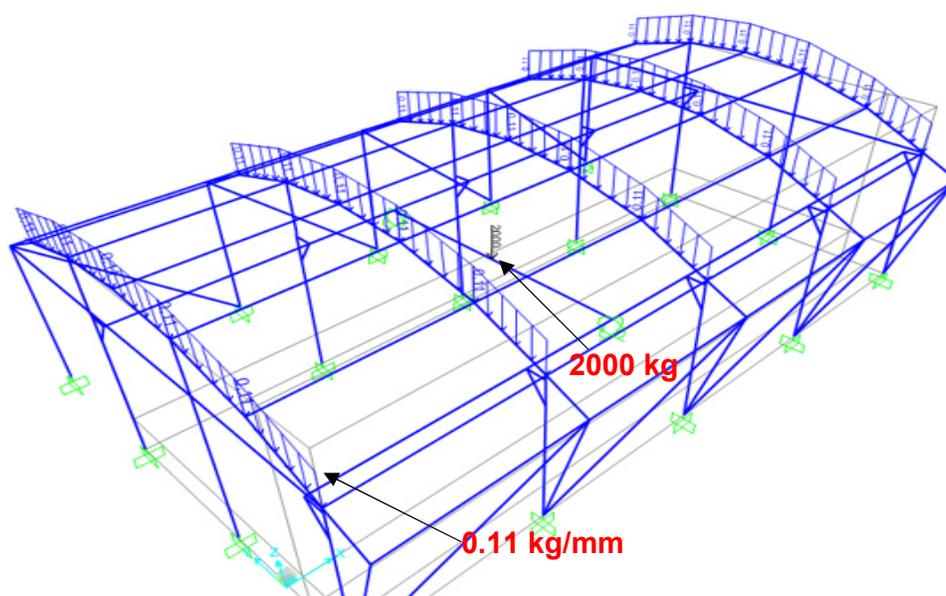


Figura 44. Carga distribuida del techo del galpón y carga puntual del puente grúa.

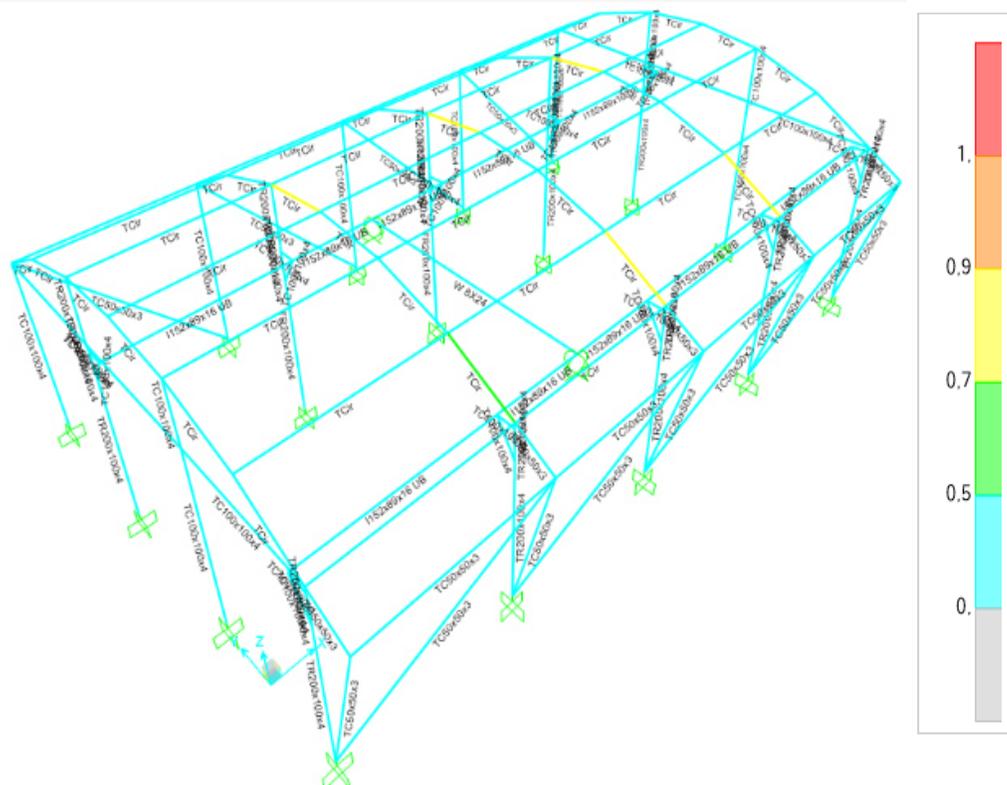


Figura 45. Análisis de carga muerta.

Se puede observar que todos los elementos de la estructura metálica del galpón soportan muy bien las cargas a las cuales están sometidas.

De acuerdo con la escala que el programa de análisis estructural utiliza, se entiende como crítico al color rojo quiere decir que ese elemento estructural falló, como color celeste a que no existen esfuerzos críticos, color verde esfuerzos permisibles la estructura se encuentra trabajando correctamente y amarillo que se solicita más a ese elemento queriendo pasar a la etapa de deformación.

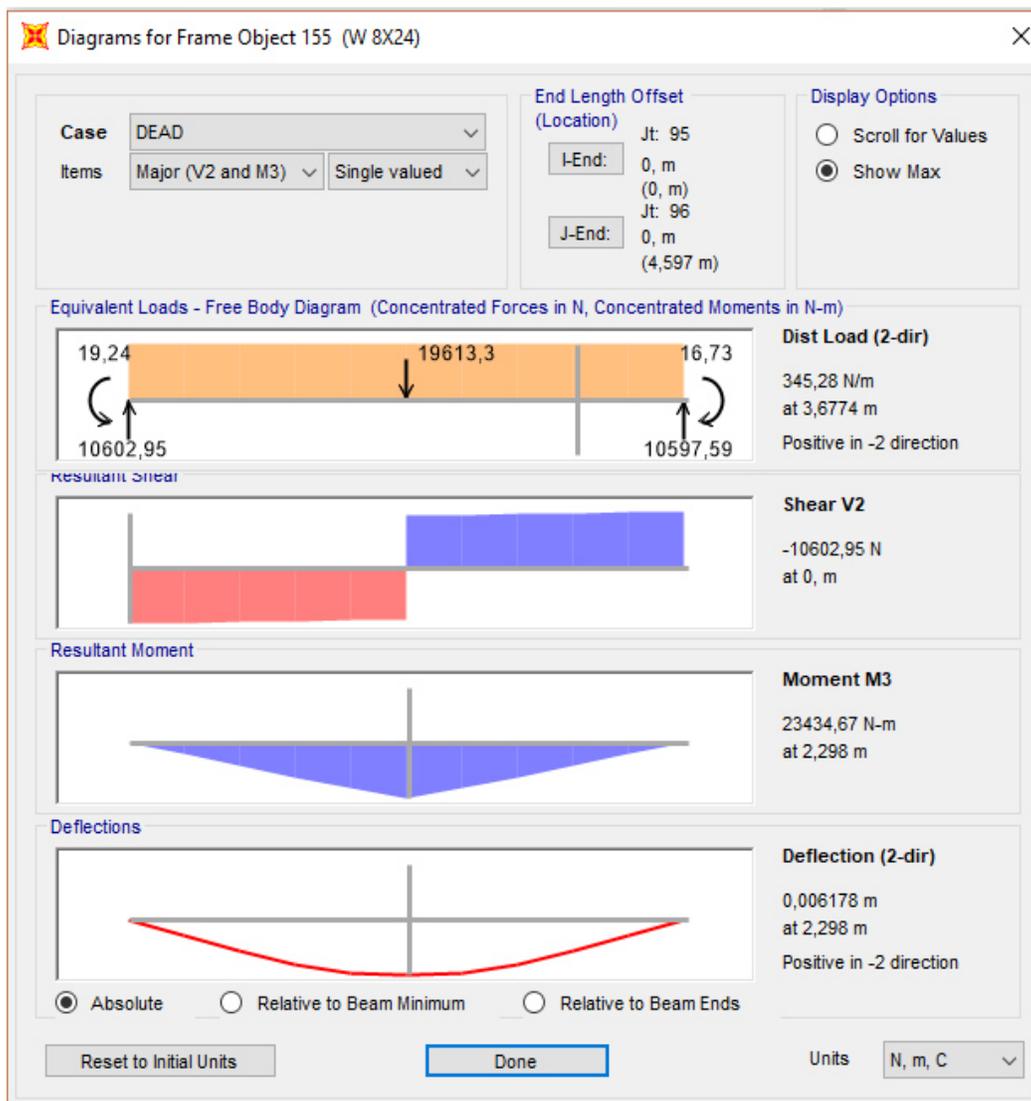
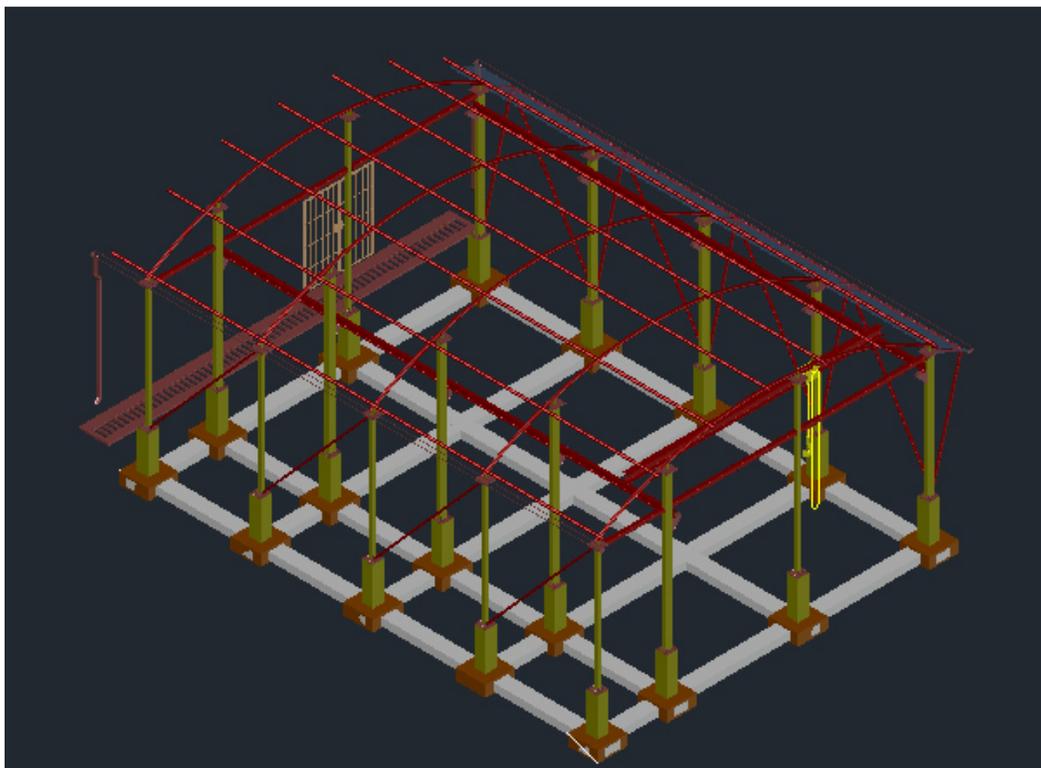


Figura 46. Diagramas de fuerza cortante y momento flector del puente grúa.

#### 4.2.2.2. Diseño estructural de la cimentación del galpón

Una vez realizado el diseño de la estructura metálica del galpón es necesario el diseño de la cimentación, porque el sistema estructural necesita estar anclado y trasladar las cargas de la edificación al suelo por medio de zapatas, las profundidades necesarias de cimentación para este tipo de edificaciones tipo galpón son menores a 4 m aproximadamente con respecto al nivel de la superficie del terreno (Garza, 2000).

Para el presente proyecto se decidió que las zapatas deben ser conectadas como se ilustra en la figura 47, cada zapata tiene las siguientes dimensiones: largo:800 [mm], ancho:800[mm], alto: 300 [mm].



*Figura 47.* Zapata de cimentación conectada.

#### **4.2.3. Layout de los puestos de trabajo y de la línea de producción**

El objetivo de diseñar los puestos de trabajo y su distribución es hallar un orden adecuado de las áreas de ensamblaje del prototipo (vehículo Jeep), de tal modo que el proceso del producto sea seguro de desarrollarlo y eficiente en costos de producción. Las ventajas de un correcto diseño (layout) de los puestos de trabajo y de la línea de producción son las siguientes:

- Incremento de la producción (los movimientos disminuyen). Se evita los tiempos muertos (retrasos).

- Optimización del espacio (ahorro de superficie).
- Satisfacción del trabajador (se reducen las enfermedades laborales).
- Se implementa secuencias lógicas del proceso productivo.
- La supervisión se magnifica ya que se tiene un mejor campo de visión del proceso.

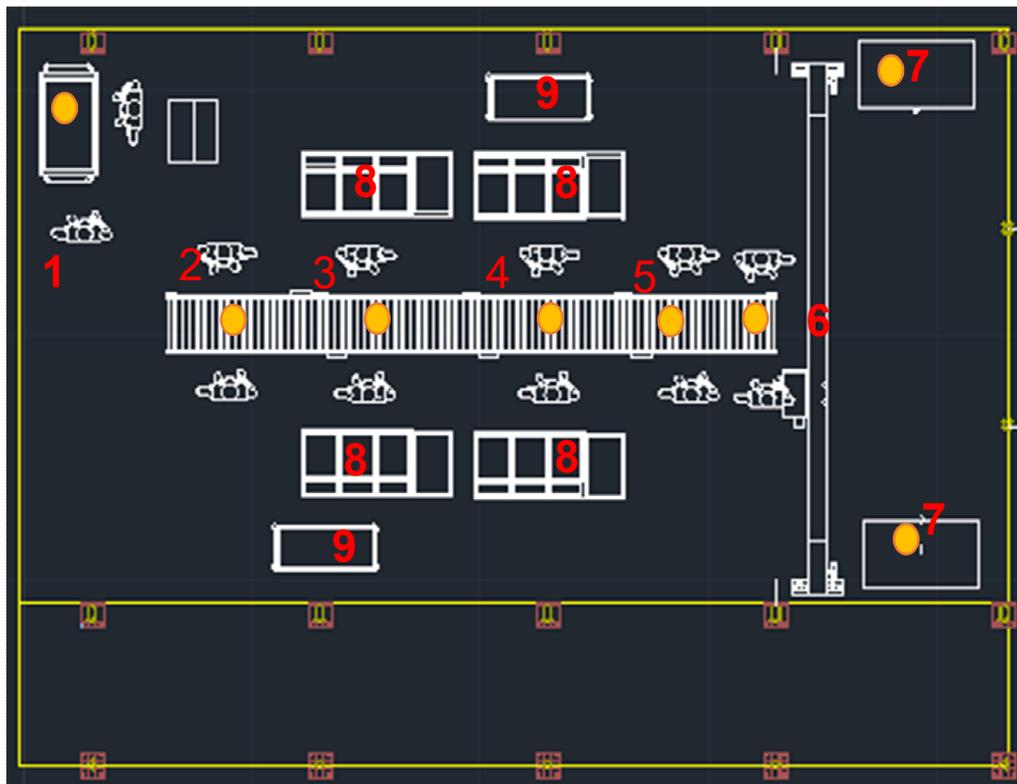


Figura 48. Layout de los puestos de trabajo y de la línea de producción.

A continuación, se detalle lo que representa cada número de la figura 48:

- El número uno es la estación de trabajo donde se recibe el chasis desarmado del vehículo tipo Jeep (*Operación Nro.1*). Cantidad de operarios igual a dos.



*Figura 49.* Chasis desarmado.

- El número dos es la estación de trabajo donde se realiza el plegado del chasis (*Operación Nro.2*). Cantidad de operarios igual a dos.



*Figura 50.* Plegado del chasis.

- EL número tres representa la estación de trabajo donde se realiza el montaje Nro.1, el orden de montaje de los paneles de madera se definirá en el diseño del proceso de ensamble (*Operación Nro.3*). Cantidad de operarios igual a dos.



Figura 51. Montaje Nro.1 de los paneles de madera.

- El Número cuatro es la estación de trabajo donde se realiza el montaje Nro.2, el orden de montaje de los paneles de madera se definirá en el diseño del proceso de ensamble, en esta estación se completa el montaje de los paneles (*Operación Nro.4*). Cantidad de operarios igual a dos.



Figura 52. Montaje Nro.2 de los paneles de madera.

- Número cinco es la estación de trabajo donde se realiza control de calidad (*Operación Nro.5*). Cantidad de operarios igual a dos.
- Número seis es la estación de izaje del producto terminado usando un puente grúa (*Operación Nro.6*). Cantidad de operarios igual a uno.
- Número siete la bodega almacenamiento (*Operación Nro.7*).
- Número ocho son los racks para los paneles de madera que serán usados en las estaciones de montaje uno y dos.
- Número nueve representa los carritos para entrega de materia prima.

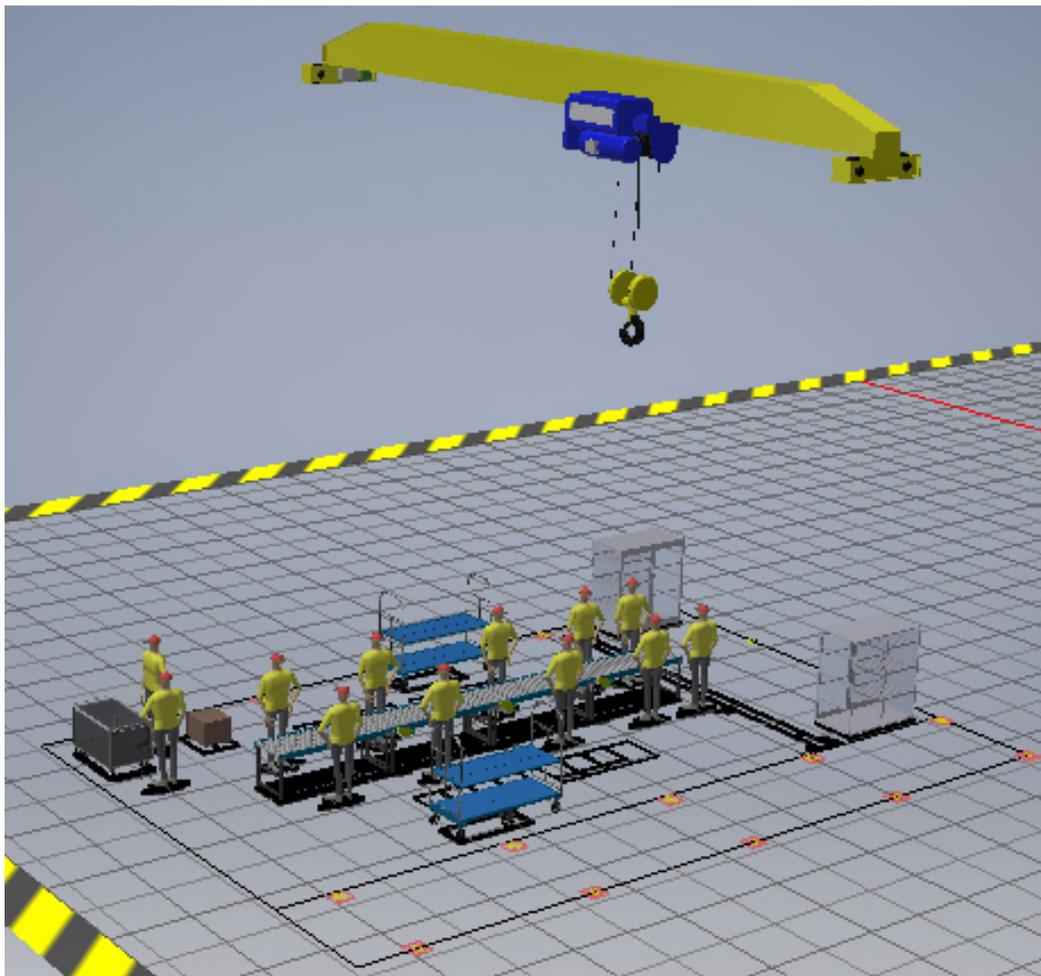


Figura 53. Layout en 3D de los puestos de trabajo y de la línea de producción.

### 4.3. Diseño de la línea de transporte

La línea de transporte para trasladar el producto ensamblado en el ambiente de trabajo simulado debe ser de transportación continua, que se utilizan para transportar y manipular materiales dentro de una diversidad de procesos productivos en el sector industrial. El carácter experimental de la línea de ensamble no exige el empleo de un motor para el desplazamiento del vehículo a través de las estaciones de trabajo.

#### 4.3.1. Selección del mecanismo de transporte

El mecanismo de transportación será del tipo transportador mecánico de rodillos, constará de una estructura metálica en la cual se ubicarán los rodillos metálicos, encargados de transportar el chasis del vehículo por las diferentes estaciones de trabajo, hasta completar su ensamblaje. Cada operario aplicará una fuerza mínima en el vehículo para direccionarlo a la siguiente estación de trabajo, el esfuerzo será mínimo, ya que cada rodillo metálico en sus extremos posee rodamientos, los cuales giran sobre su propio eje, permitiendo facilidad en el desplazamiento lineal del producto, de un puesto de trabajo a otro.

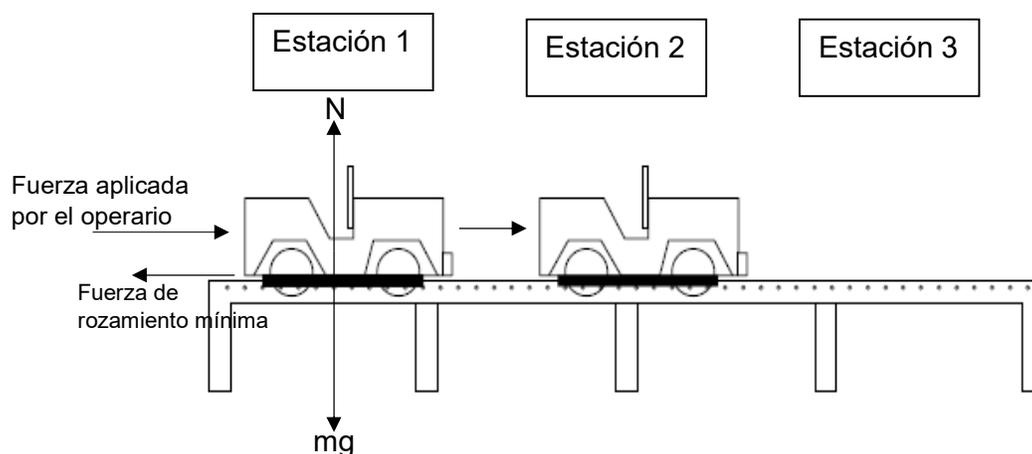


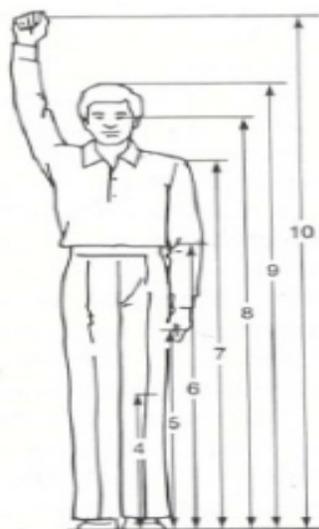
Figura 54. Transportador de rodillos.

### 4.3.2. Dimensionamiento de la línea de transportación

Por cuestiones de ergonomía es necesario estimar correctamente la altura del transportador mecánico. Para establecer la altura del transportador de rodillos se analizó la tabla 22 de medidas antropométricas y se estableció que la altura será de 910 mm, además el vehículo se montará sobre una base regulable que permitirá adaptarse a varios niveles de altura, por otro lado, el transportador también tendrá bases regulables en cada apoyo de su estructura (véase figura 55), para poder adaptarse a diferentes alturas y no incomodar a los operarios de cada estacione de trabajo. La longitud total será igual a 8000 mm con ancho de 700 mm.

Tabla 22.  
*Medidas antropométricas*

#### Detalle de medidas antropométricas en una persona



Medidas en centímetros	Población Percentiles, Varones			Población Percentiles, Mujeres			Población Percentiles, Varones/Mujeres		
	5	50	95	5	50	95	5	50	95
(4) Rodilla piso	44	50	56	41	46	49			
(5) Muñeca piso	78	85	91	72	77	84			

(6) Codo piso	101	109	117	94 91 <sup>c</sup>	97 97	107 104	100	109	118
(7) Hombro piso	133	142	153	124 122	128 129	140 137	127	137	150
(8) Ojo piso	150	160	171	141 137	145 145	156 153	145	160	172
(9) Estatura	160 <sup>a</sup>	171	183	151 148	155 157	170 165	157	172	183
(10) Alcance máximo vertical	189 <sup>b</sup>	203	221	172	189	207	172	203	221

Adaptado de (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2010)

Nota: a) Datos de color rojo: obreros de Mexicali (Edad 23-35). b) Datos de color azul: estudiantes (Edad 17-25). c) Datos de color verde: mujeres (con zapatos) de una planta de manufactura en Reynosa. México.

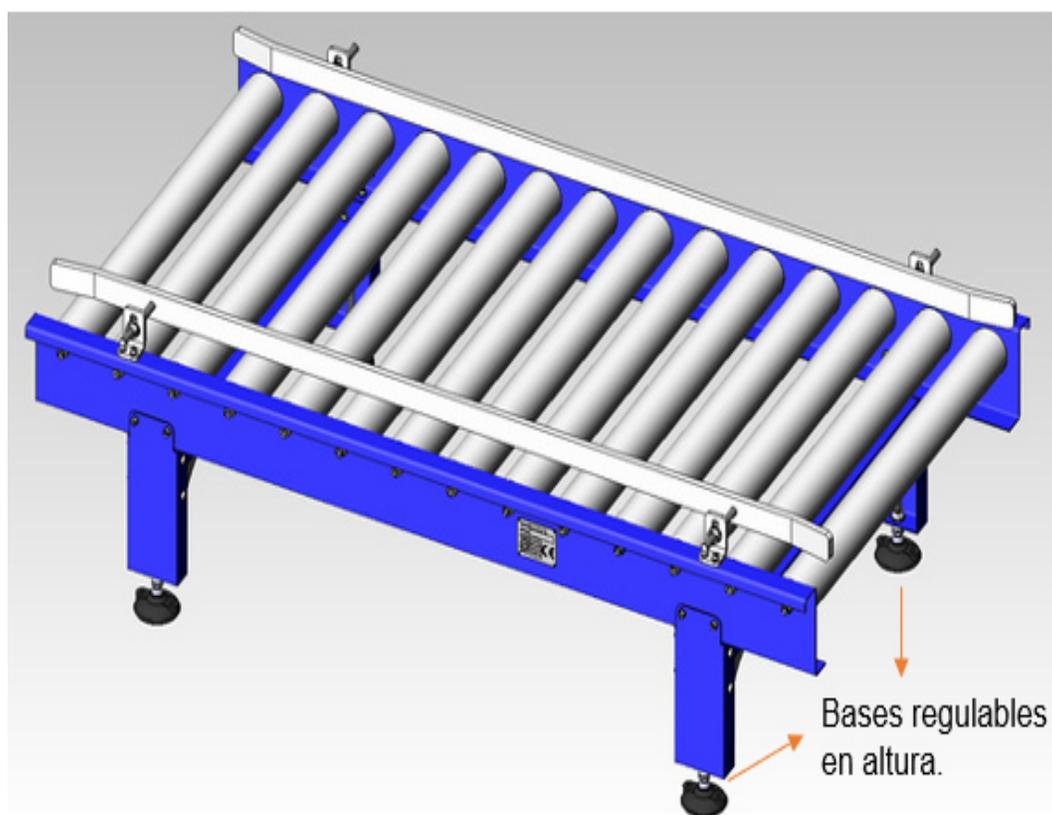


Figura 55. Transportador de rodillos con bases regulables en altura.

#### 4.4. Diseño de la línea de ensamble

Una vez que se realizó el layout de los puestos de trabajo y de la línea de producción es necesario diseñar la línea de ensamble definiendo, el orden correcto de armado que deben seguir los componentes del vehículo (paneles de madera y ruedas) para completar su ensamble, ubicación de los componentes en los Racks y los tiempos de cada actividad como se indica en la figura 56.

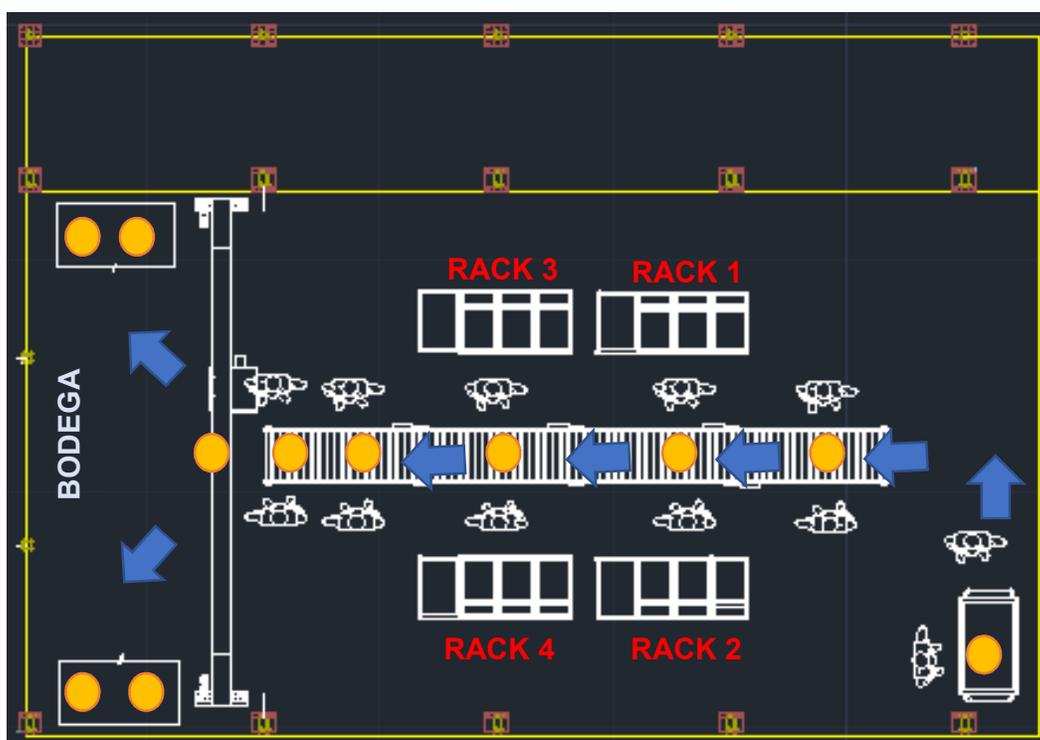


Figura 56. Diseño línea de ensamble.

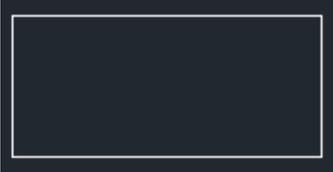
La ubicación de los componentes (paneles de madera) en los Racks se describe en la tabla 23.

Son cuatro tipos de componentes que se van ubicar en cada Rack con excepción del Rack Nro.5 el cual tendrá 5 tipos de componentes.

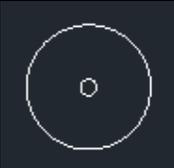
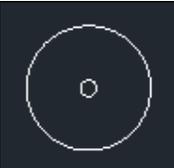
Tabla 23.  
Ubicación de los componentes en los Racks

Ubicación de los componentes del vehículo (paneles de madera y ruedas)			
Rack #1	Rack #2	Rack #3	Rack #4
C2	C1	C8	C9
C4	C3	C10	C11
C6	C5	C14	C12
C13	C7	C16	C15
			C17

Tabla 24.  
Detalle de cada componente

# Componente	DETALLE
C1 Panel posterior	
C2 Panel posterior derecho	
C3 Panel posterior izquierdo	
C4 Puerta derecha	
C5 Puerta izquierda	

C6 Faldón derecho	
C7 Faldón izquierdo	
C8 Panel delantero derecho	
C9 Panel delantero izquierdo	
C10 Panel delantero derecho (CAPOT)	
C11 Panel delantero izquierdo (CAPOT)	

C12 Panel central (CAPOT)		
C13 Panel frontal (Parrilla)		
C14 Llanta posterior derecha		
C15 Llanta posterior izquierda		
C16 Llanta delantera derecha		
C17 Llanta delantera izquierda		

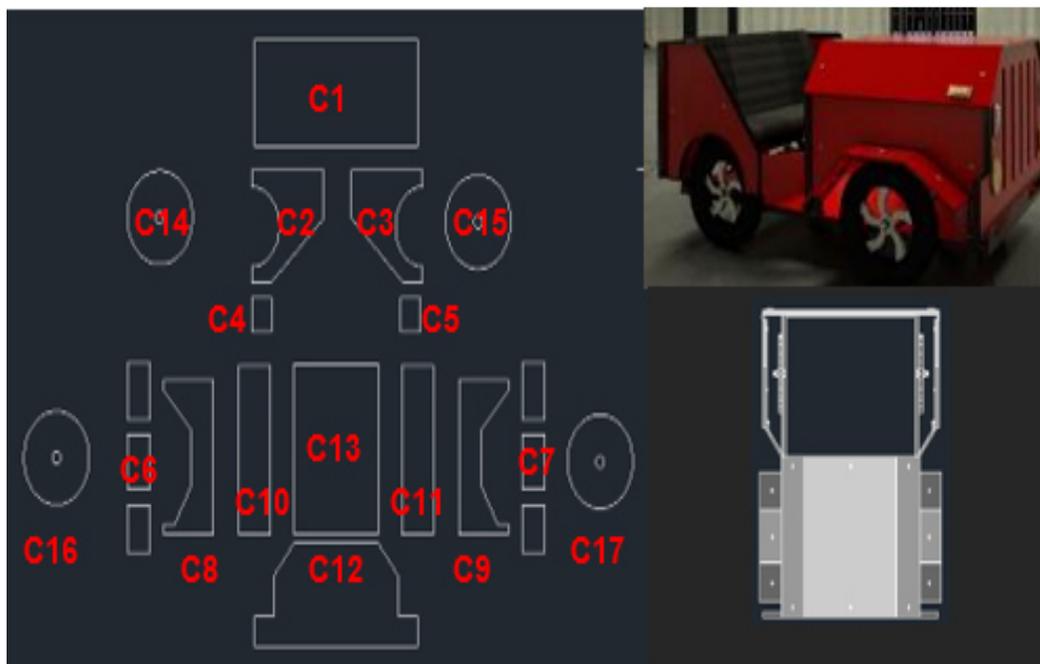


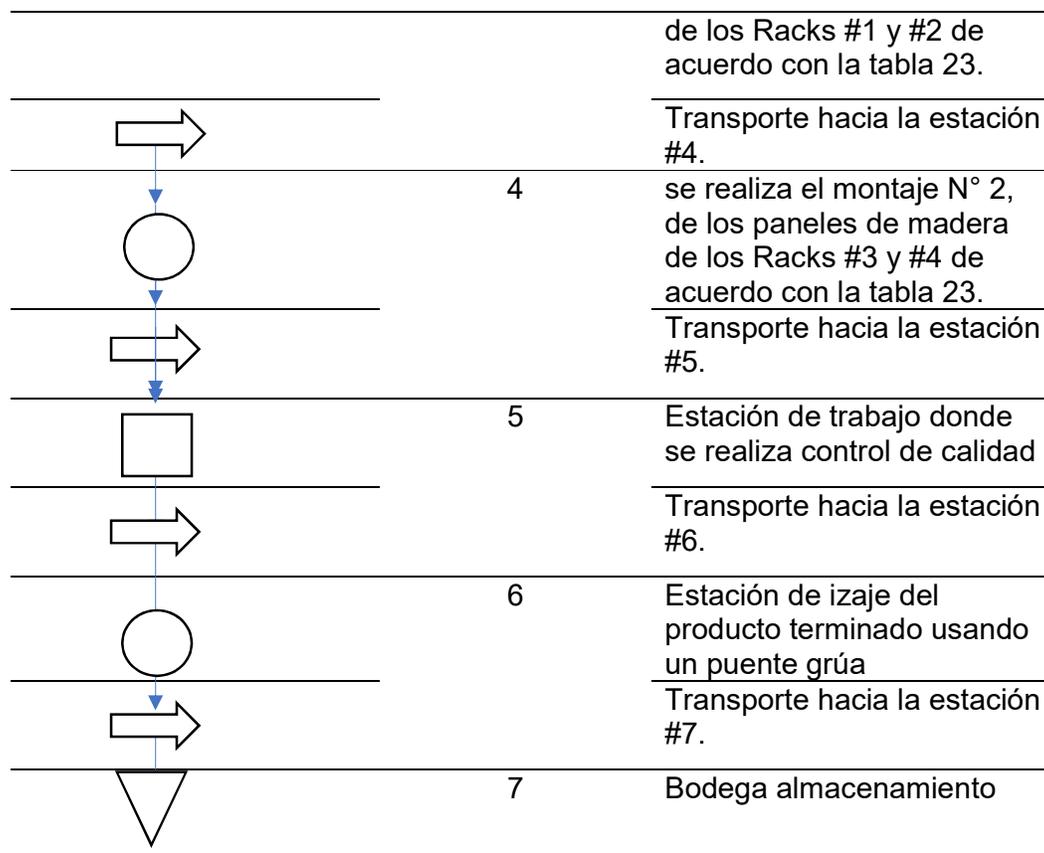
Figura 57. Detalle vista superior Jeep.

#### 4.4.1. Diagrama del proceso de ensamble

En la siguiente tabla se describe el proceso de ensamble de cada operación:

Tabla 25.  
Diagrama del proceso de ensamble

Simbología	Operación de trabajo	Operación
	1	Se recibe el chasis desarmado del vehículo tipo Jeep
		Transporte del chasis a la estación 2
	2	Se realiza el plegado del chasis
		Transporte del chasis plegado a la estación #3
	3	se realiza el montaje N° 1, de los paneles de madera
		



#### 4.4.2. Toma de tiempos de cada actividad

La toma de tiempos se lo realizó utilizando un cronometro y analizando diferentes grabaciones de video como se lo menciona en el capítulo 2.3.3.1.2, las grabaciones realizadas se encuentran en archivo digital en la carpeta anexos.

Tabla 26.  
*Tiempo que toma instalar cada componente*

Componente	Tiempo [seg]
C1	19
C2	20
C3	20
C4	14

C5	14
C6	15
C7	15
C8	55
C9	55
C10	15
C11	15
C12	17
C13	20
C14	16
C15	15
C16	6
C17	6

Tabla 27.

*Toma de tiempos de cada actividad en el proceso de ensamble del vehículo*

<b>Operación</b>	<b>Número de operarios</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo [seg]</b>
Operación 1 (Chasis)	2	Estación de trabajo #1 transporte del chasis a la estación #2	10
Operación 2 (Plegado)	2	Estación de trabajo #2 plegado del vehículo.	40
Operación 3 (Montaje 1)	2	Estación de trabajo #3 Montaje #1 de los paneles de madera de los Racks #1 y #2 de acuerdo con la tabla 23.	68
Operación 4 (Montaje 2)	2	Estación de trabajo #4 Montaje #2 de los paneles de madera de los Racks #3 y #4 de acuerdo con la tabla 23.	108
Operación 5 (Control de calidad)	2	Estación de trabajo #5 Control de calidad	15
Operación 6 (Izaje)	1	Estación de trabajo #6 izaje del producto terminado.	25

Operación 7 (Bodega)	1	Bodega almacenamiento de cada producto terminado	13
		<b>TOTAL</b>	279seg=4.65 minutos

Tabla 28.

*Toma de tiempos de cada actividad en el proceso de desensamble del vehículo*

Número de operarios	Actividad	Tiempo [seg]
2	Desmontaje de los paneles	150
2	Desplegado de la estructura metálica chasis	23
		<b>TOTAL</b> 173[seg]=2.88 minutos

## 4.5. Diseño del equipamiento

Un elemento básico que forma parte elemental del equipamiento de una fábrica son los Racks, estructuras metálicas diseñadas para almacenar, guardar y acomodar materia prima, mercancía u objetos necesarios para realizar un proceso productivo industrial, por ejemplo, acomodar los elementos necesarios para el ensamble de un vehículo.

### 4.5.1. Diseño de los Racks

El diseño de los Racks debe estar en función de los elementos que se van a almacenar y acomodar para facilitar al operario de cada estación de trabajo al ejecutar el ensamble de los vehículos tipo Jeep en la línea de producción.

En la figura 58 se puede observar el orden y ubicación que tendrán los paneles de madera (componentes del vehículo) en los Racks.

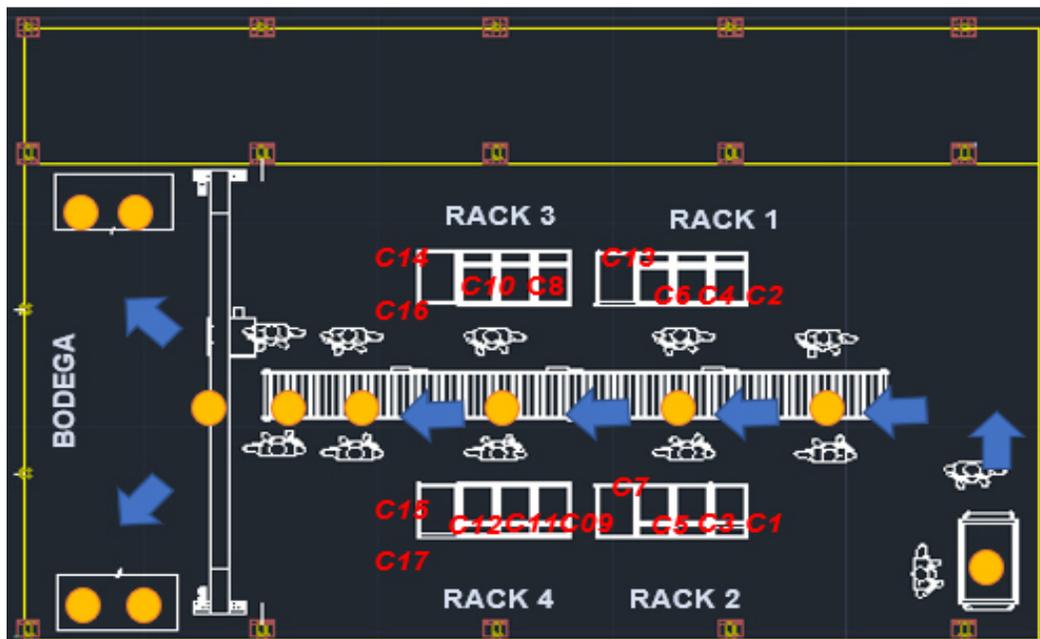


Figura 58. Orden y ubicación de los paneles de madera (componentes del vehículo) en los racks.

Las dimensiones de los Racks Nro.1, Nro.2, Nro.3 y Nro.4 aproximadamente serán de largo 1959 mm, ancho 791mm y altura 1525, como se observa en la figura 59 y figura 60).

Cada Rack se diseñó en función de las medidas de los componentes que se van a almacenar y acomodar de acuerdo con la tabla 29, es decir el espacio que los componentes van a ocupar en los Racks.

Tabla 29.

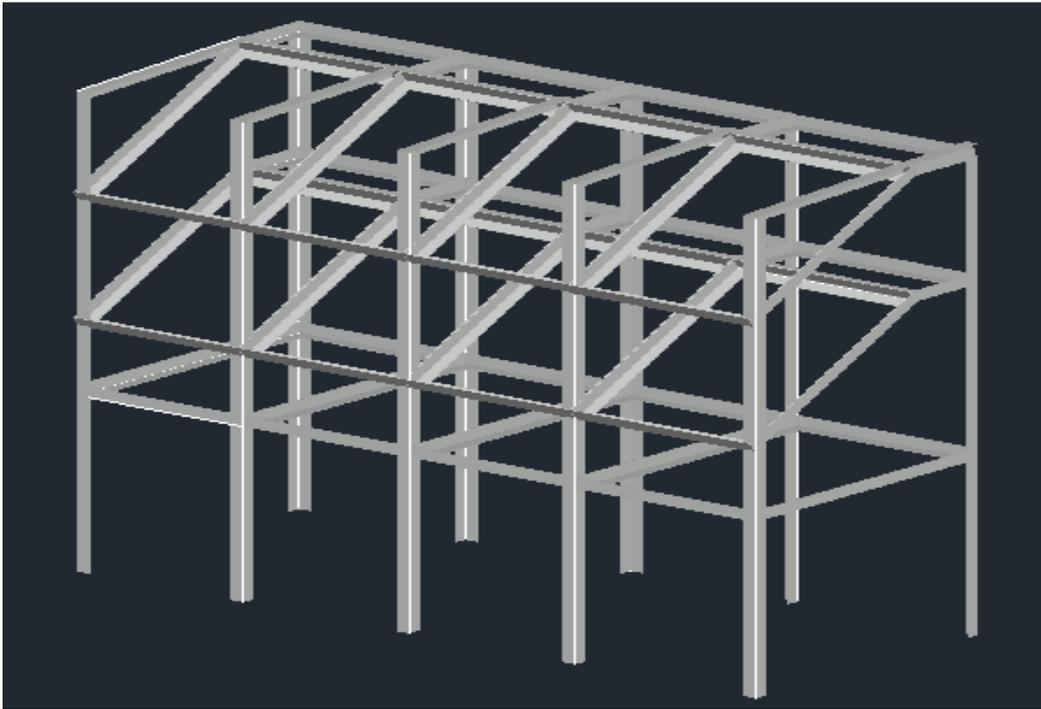
*Dimensiones largo y ancho de cada componente (panel de madera)*

COMPONENTE	DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN (A) (más larga) [mm]	DIMENSIÓN (B) (más corta) [mm]	ESPESOR [mm]
C1	Panel posterior	890	398	
C2	Panel posterior derecho	422	390	
C3	Panel posterior izquierdo	422	390	

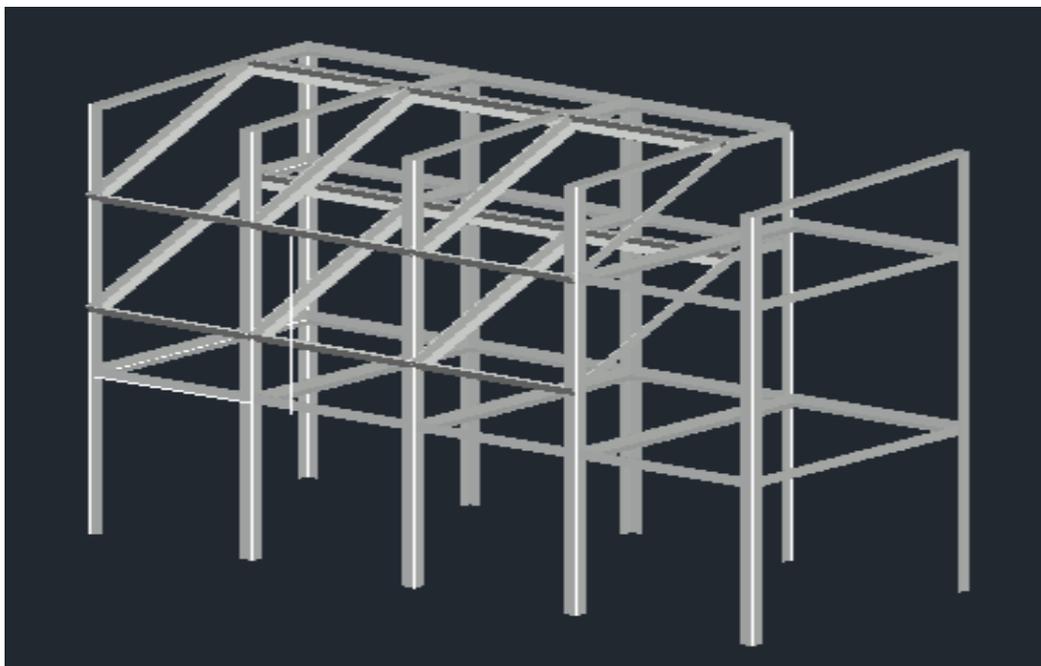
C4	Puerta derecha	127,3	108
C5	Puerta izquierda	127,3	108
C6	Faldón derecho	213,2	125
C7	Faldón izquierdo	213,2	125
C8	Panel delantero derecho	590	271
C9	Panel delantero izquierdo	590	271
C10	Panel delantero derecho (CAPOT)	640	174,8
C11	Panel delantero izquierdo (CAPOT)	640	174,8
C12	Panel central (CAPOT)	640	460
C13	Panel frontal (Parrilla)	886	392
C14	Llanta posterior derecha	355,6	355,6
C15	Llanta posterior izquierda	355,6	355,6
C16	Llanta delantera derecha	355,6	355,6
C17	Llanta delantera izquierda	355,6	355,6

9

La estructura metálica será de ángulo ranurado para cubrir todas las exigencias, así como para una necesidad prevista e imprevista, este tipo de estructura metálica soporta muy bien cargas relativamente pesadas, son desmontables, pudiendo variar tanto en altura como en longitud y lo principal es que su montaje es sencillo sin el uso de herramientas especiales.



*Figura 59.* Diseño de Racks Nro. 1 y Nro. 2 en AutoCAD.



*Figura 60.* Diseño de Racks Nro. 2 y Nro. 3 en AutoCAD.

#### 4.5.2. Diseño y selección de estructuras de soporte

Las estructuras de soporte ayudaran a mantener los objetos almacenados en los Racks seguros y facilitaran su manipulación, sus componentes básicos son los siguientes:

- Panel.
- Pie metálico.
- Escuadra.
- Tornillos de 7.9 mm (5/16").
- Pie de plástico.
- Refuerzo de panel (Según la carga a soportar).

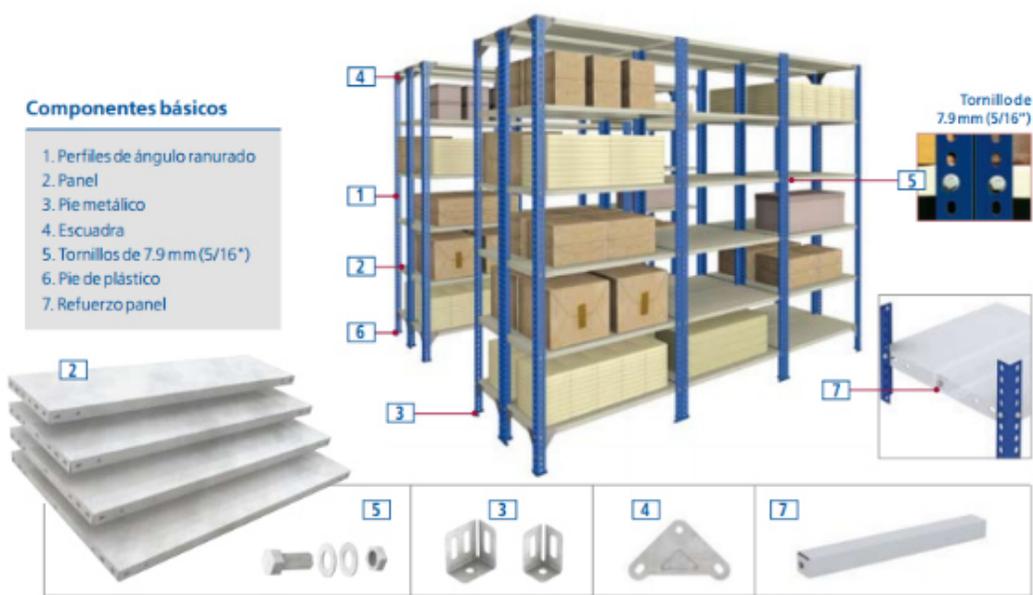


Figura 61. Estructuras de soporte que contiene un Rack.  
Tomado de (Mecalux, s.f.)

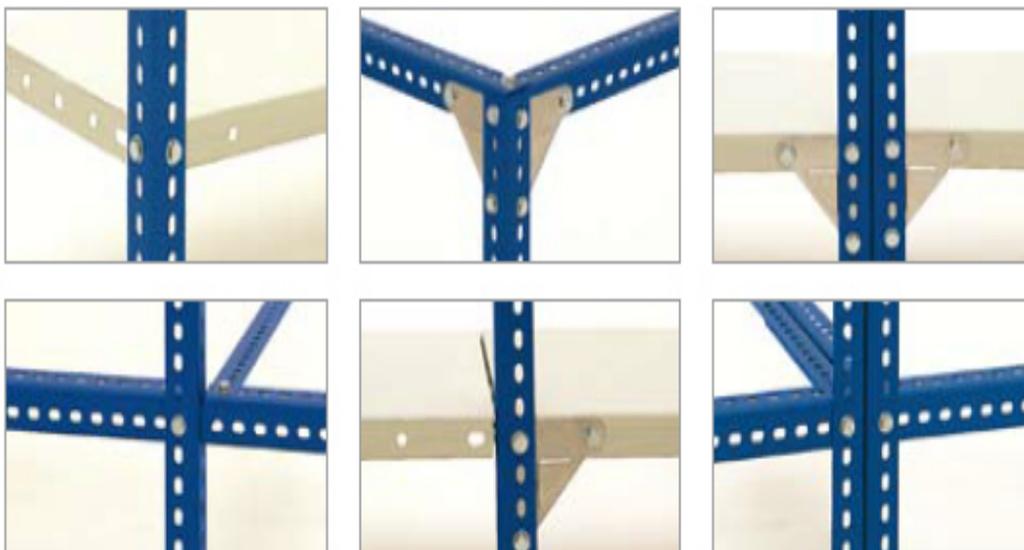


Figura 62. Ejemplo de ensamble de ángulos y paneles que posee un Rack.  
Tomado de (Mecalux, s.f.)

De acuerdo con las dimensiones del Rack según catalogo se debe seleccionar los puntales Barra M40 para una capacidad de carga uniformemente repartida de 273 kg.

Tabla 30.  
Capacidad de carga a diferentes alturas para Barras M40 y M60 de los racks

<b>Barras M40 y M60</b>								
<b>Altura</b>	<b>Puntal 1</b>		<b>Puntal 2 "T"</b>		<b>Puntal 2 "C"</b>		<b>Puntal 4</b>	
	<b>Barra M40</b>	<b>Barra M60</b>	<b>Barra M40</b>	<b>Barra M60</b>	<b>Barra M40</b>	<b>Barra M60</b>	<b>Barra M40</b>	<b>Barra M60</b>
203	1019		2056	2874	2057	2865	4126	5750
406	973		2014	2830	2015	2798	4074	5670
609	897		1944	2759	1944	2685	3988	5537
812	790	869	1845	2658	1846	2527	3867	5351
1016	653	836	1719	2530	1720	2352	3712	5112
1219	485	795	1564	2371	1564	2077	3523	4820
1422	356	747	1381	2185	1381	1784	3300	4475
1625	273	571	1169	1969	1169	1446	3090	4077
1828		534	939	1725	943	1136	2747	3626
2032			758	1450	762	920	2420	3121
2235			626	1194	629	760	2049	2586
2387			526	1003	529	639	1722	2171
2590				855			1467	1850
2794				737			1265	1592

3048	642	1102	1390
<b>Las dimensiones de longitud y fondo en [mm]. Carga uniformemente repartida en kg</b>			
Tomado de (Mecalux, s.f.)			

#### 4.6. Simulación de planta

La simulación de planta se realizó en el software AutoCAD *Factory Design Utilities* porque permite el acceso a una extensa librería de activos de fábrica (*Factory assets*), abrir dibujos creados en formato DWG y añadir ciertos parámetros de fábrica a los dibujos, simulando la creación de los productos a fabricarse y las rutas de estos a través de las estaciones de trabajo.

Los activos de fábrica que maneja el sistema son:

- Transportadores.
- Equipo de manejo de materiales.
- Equipamiento de las instalaciones.

Para el diseño de fábrica se seleccionó los siguientes activos: transportador, racks, puente grúa, estación de trabajo y los carritos plataforma para transportar materia prima.

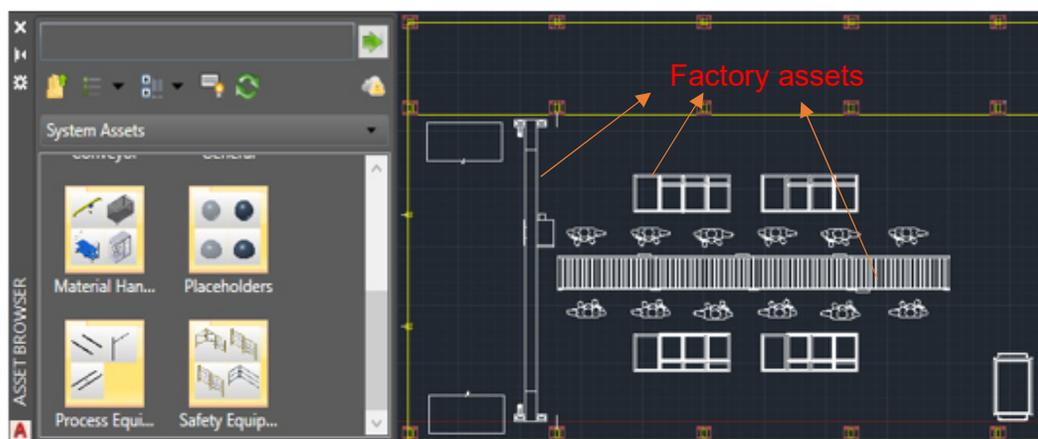


Figura 63. Selección de activos de fábrica en Factory Design Suite.

Los parámetros necesarios del proceso y de las estaciones de trabajo son los siguientes:

Parámetros que intervienen en las rutas del proceso:

- Número de operarios que se necesita por estación de trabajo.
- Transporte.
- Tiempo de proceso.
- Tiempo de preparación.
- Velocidad de transporte.
- Costo por día.
- Tiempo de carga.
- Tiempo de descarga.

Parámetros que intervienen en las operaciones de trabajo:

- Costo de preparación.
- Costo de procesamiento.
- Porcentaje de uso máquina.
- Consumo de energía.

Para la simulación se asume un lote de producción de 20 vehículos.

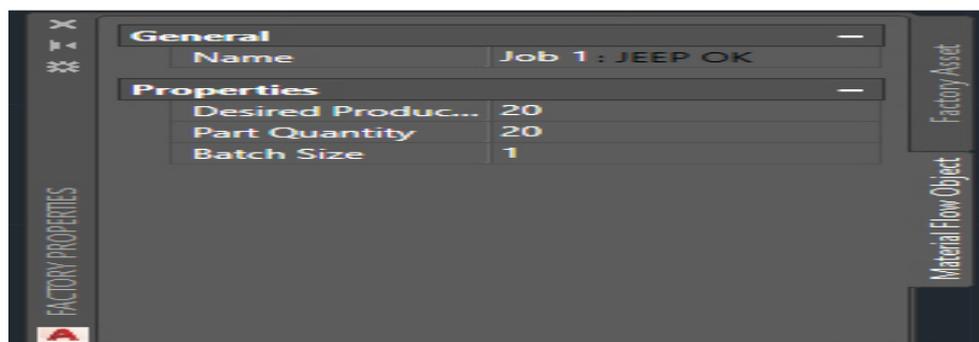


Figura 64. Lote de producción.

#### 4.6.1. Datos ingresados en las rutas del proceso productivo

Cada ruta detallada en la figura 65 necesita los parámetros que intervienen en el proceso de producción, como se muestra en la tabla 32.

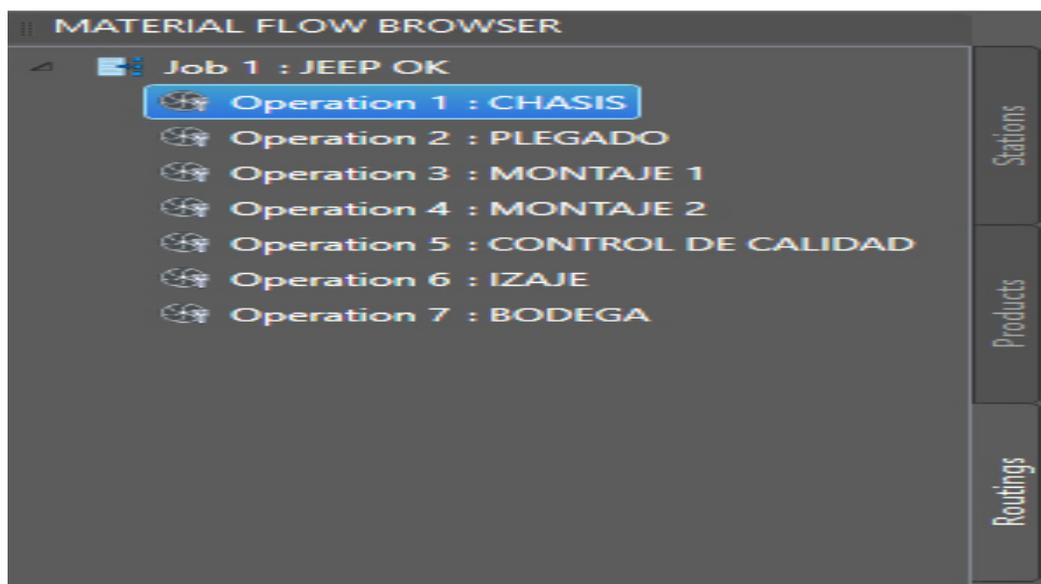


Figura 65. Detalle de las rutas a través de las operaciones de trabajo.

Antes de ingresar los parámetros que intervienen en las rutas del proceso en el software de simulación es necesario plantear los posibles escenarios de ensamble que se podrían realizar basados en el orden de ensamble de los componentes del vehículo, ya que para este proyecto el orden de armado de los paneles determina el tiempo de trabajo de las estaciones de montaje Nro.1 y Nro.2.

Tabla 31.

*Escenarios posibles para el orden de armado de los componentes del vehículo (paneles de madera y ruedas)*

Ubicación de los componentes del vehículo (paneles de madera y ruedas)	
(Escenario Nro.1)	
Montaje 1	Montaje 2

Rack #1	Rack #2	Rack #3	Rack #4
C2	C1	C8	C9
C4	C3	C10	C11
C6	C5	C14	C12
C13	C7	C16	C15
			C17
Tiempo [seg]			
60	68	92	108
(Escenario Nro.2)			

## Montaje 1

## Montaje 2

Rack #1	Rack #2	Rack #3	Rack #4
C1	C3	C6	C9
C2	C5	C8	C7
C4	C13	C10	C11
C14	C15	C16	C12
			C17
Tiempo [seg]			
69	69	91	108
(Escenario Nro.3)			

## Montaje 1

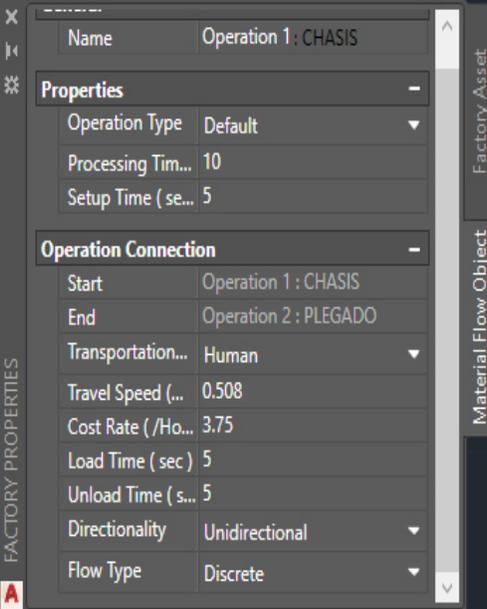
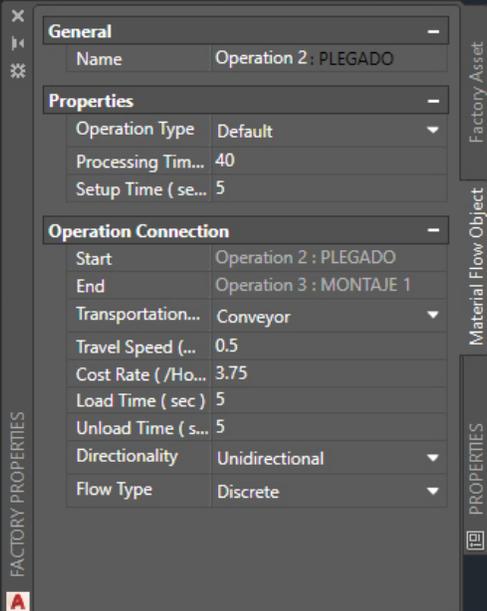
## Montaje 2

Rack #1	Rack #2	Rack #3	Rack #4
C1	C3	C6	C9
C2	C5	C8	C7
C4	C12	C10	C11
C14	C15	C16	C13
			C17
Tiempo [seg]			
69	66	91	111

De los tres posibles escenarios planteados se escoge el escenario Nro.1 debido a que se realiza en menos tiempo el ensamblaje de las partes, obteniendo como resultado que para completar el montaje Nro.1 se necesita 68 [seg] y para el montaje Nro.2 son necesarios 168 [seg], además el orden de armado de los componentes se asemeja al de un vehículo real ya que en la mayoría de plantas ensambladoras de automóviles al final de la línea de producción generalmente el último componente a ser ensamblado son los neumáticos.

Los parámetros ingresados en la tabla 32 son de acuerdo con el escenario Nro.1.

Tabla 32.  
Parámetros que intervienen en las rutas del proceso

Número de operación	Nombre de la operación	Parámetros
1	Chasis	
2	Plegado	

3	Montaje 1	
4	Montaje 2	

5	Control de calidad	
6	Izaje	



#### 4.6.2. Datos ingresados a las operaciones de trabajo

Cada operación de trabajo detallada en la figura 66 necesita los parámetros que intervienen en el proceso de producción de la tabla 33.

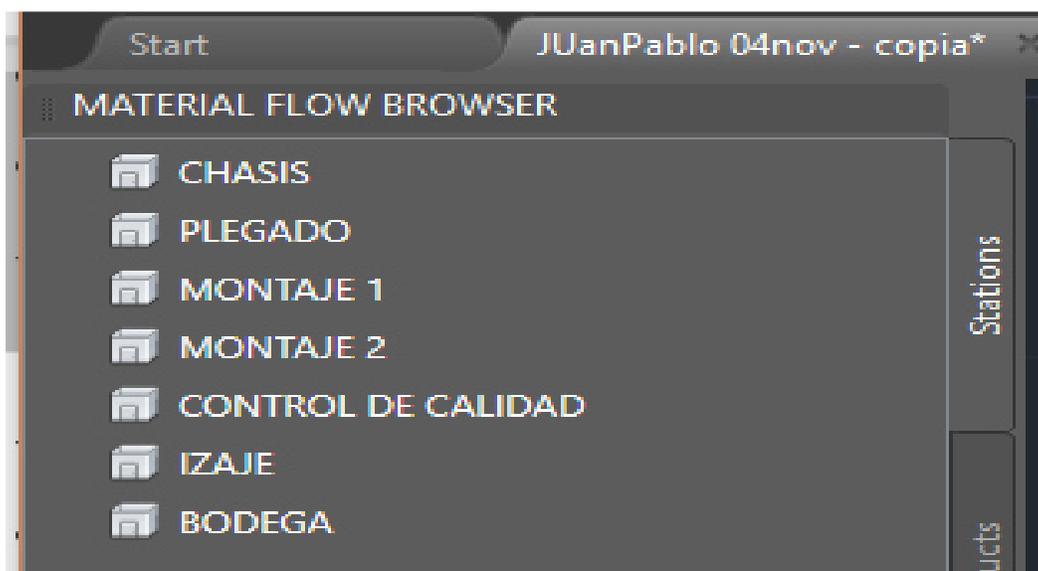
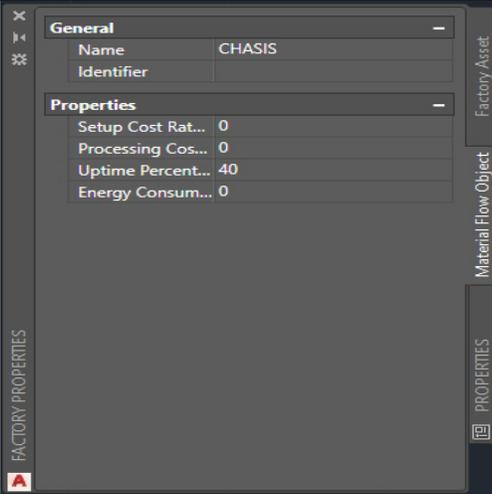
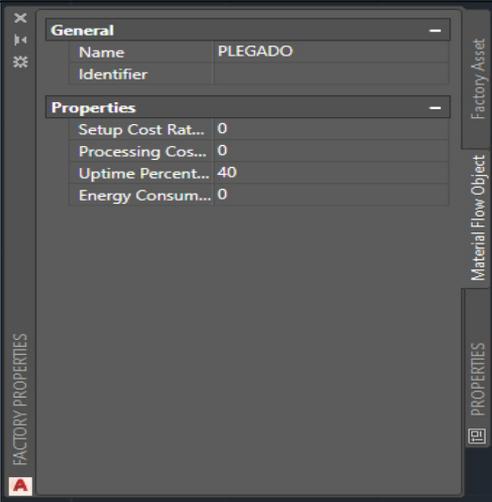
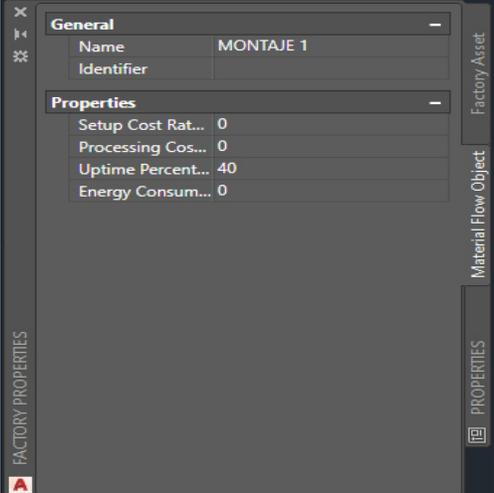
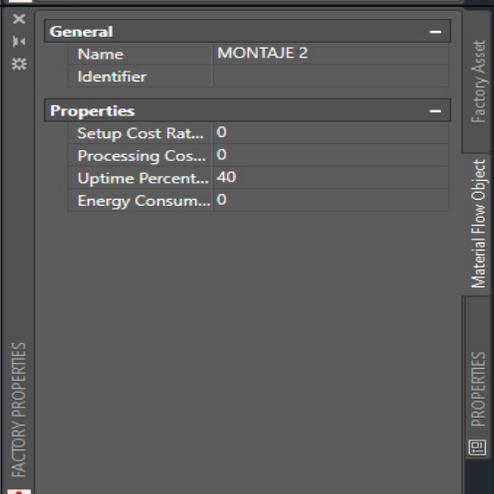
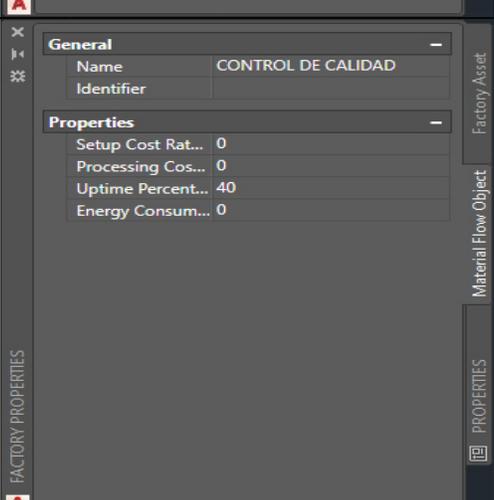
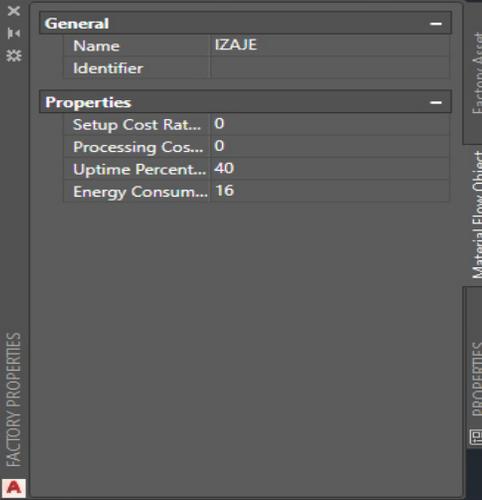
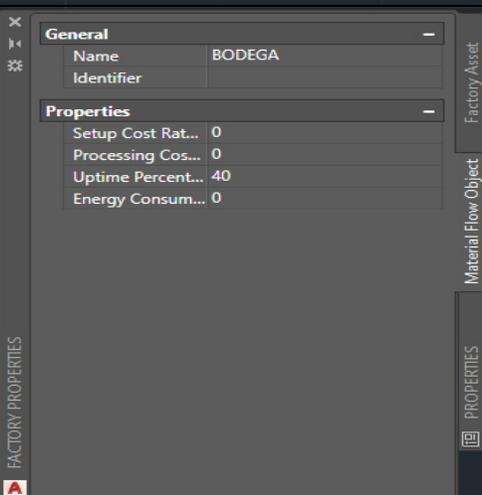


Figura 66. Detalle de las de las estaciones de trabajo.

Tabla 33.  
*Parámetros que intervienen en las operaciones de trabajo*

Número de estación	Nombre de la operación de trabajo	Parámetros
1	Chasis	
2	Plegado	

3	Montaje 1	 <p>The screenshot shows the 'Factory Properties' dialog box for 'Montaje 1'. It has two tabs: 'General' and 'Properties'. The 'General' tab is active, showing 'Name' as 'MONTAJE 1' and 'Identifier' as an empty field. The 'Properties' tab shows 'Setup Cost Rat...' as 0, 'Processing Cos...' as 0, 'Uptime Percent...' as 40, and 'Energy Consum...' as 0. The dialog has standard window controls (min, max, close) at the top left and a close button at the top right. On the left side, there is a vertical label 'FACTORY PROPERTIES' and a red warning icon at the bottom. On the right side, there are three vertical labels: 'Factory Asset', 'Material Flow Object', and 'PROPERTIES'.</p>
4	Montaje 2	 <p>The screenshot shows the 'Factory Properties' dialog box for 'Montaje 2'. It has two tabs: 'General' and 'Properties'. The 'General' tab is active, showing 'Name' as 'MONTAJE 2' and 'Identifier' as an empty field. The 'Properties' tab shows 'Setup Cost Rat...' as 0, 'Processing Cos...' as 0, 'Uptime Percent...' as 40, and 'Energy Consum...' as 0. The dialog has standard window controls (min, max, close) at the top left and a close button at the top right. On the left side, there is a vertical label 'FACTORY PROPERTIES' and a red warning icon at the bottom. On the right side, there are three vertical labels: 'Factory Asset', 'Material Flow Object', and 'PROPERTIES'.</p>
5	Control de calidad	 <p>The screenshot shows the 'Factory Properties' dialog box for 'Control de calidad'. It has two tabs: 'General' and 'Properties'. The 'General' tab is active, showing 'Name' as 'CONTROL DE CALIDAD' and 'Identifier' as an empty field. The 'Properties' tab shows 'Setup Cost Rat...' as 0, 'Processing Cos...' as 0, 'Uptime Percent...' as 40, and 'Energy Consum...' as 0. The dialog has standard window controls (min, max, close) at the top left and a close button at the top right. On the left side, there is a vertical label 'FACTORY PROPERTIES' and a red warning icon at the bottom. On the right side, there are three vertical labels: 'Factory Asset', 'Material Flow Object', and 'PROPERTIES'.</p>

6	Izaje	 <p>The screenshot shows the 'Factory Properties' dialog for the asset 'Izaje'. It is divided into two sections: 'General' and 'Properties'. The 'General' section contains 'Name' (IZAJE) and 'Identifier'. The 'Properties' section contains 'Setup Cost Rat...' (0), 'Processing Cos...' (0), 'Uptime Percent...' (40), and 'Energy Consum...' (16). The dialog has a title bar with 'FACTORY PROPERTIES' and a close button. On the right side, there are three tabs: 'Factory Asset', 'Material Flow Object', and 'PROPERTIES'.</p>
7	Bodega	 <p>The screenshot shows the 'Factory Properties' dialog for the asset 'Bodega'. It is divided into two sections: 'General' and 'Properties'. The 'General' section contains 'Name' (BODEGA) and 'Identifier'. The 'Properties' section contains 'Setup Cost Rat...' (0), 'Processing Cos...' (0), 'Uptime Percent...' (40), and 'Energy Consum...' (0). The dialog has a title bar with 'FACTORY PROPERTIES' and a close button. On the right side, there are three tabs: 'Factory Asset', 'Material Flow Object', and 'PROPERTIES'.</p>

#### 4.6.3. Análisis de resultados

Como se observa en la figura 67 el costo de producción del vehículo tipo Jeep en el ambiente de trabajo simulado que determina el software sería igual a 3.01\$ así mismo se visualiza que la capacidad de producción de la planta sería de un vehículo cada 108 segundos.

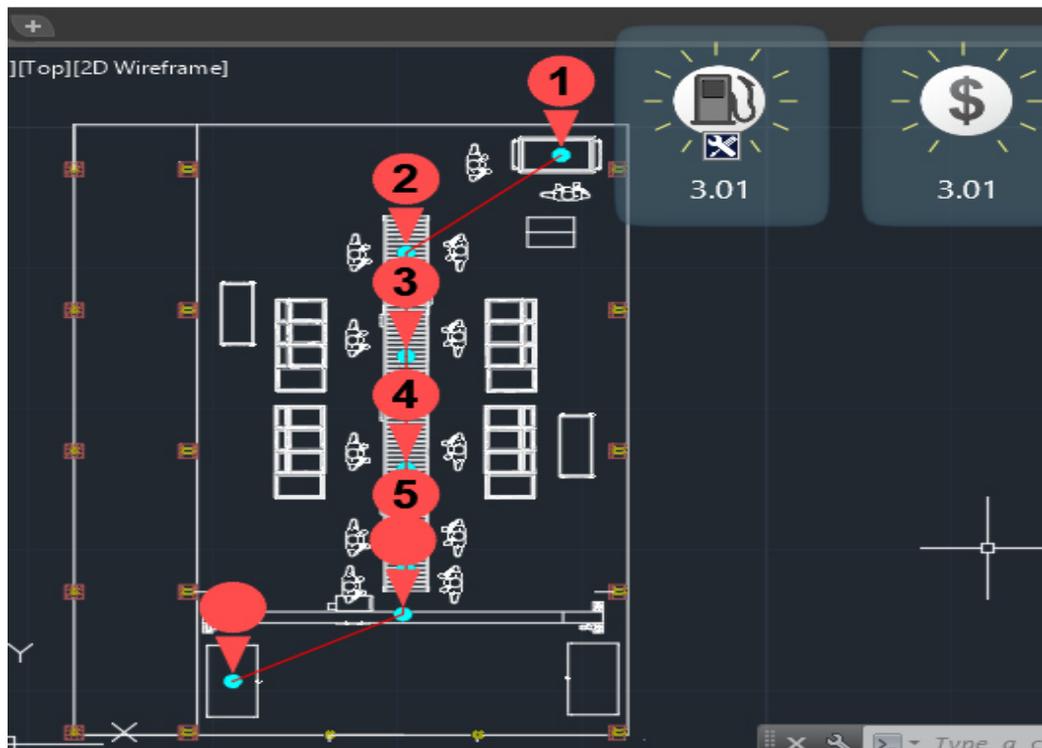


Figura 67. Costo de producción determinado por el software de simulación Factory en Autocad.

#### 4.6.3.1. Balanceo de línea

A continuación, se procede a realizar el balanceo de la línea de ensamble, aclarando que para el presente proyecto el objetivo no es diseñar una línea de producción perfectamente balanceada, el objetivo primordial del presente proyecto se encuentra centrado en diseñar y construir una línea de ensamble a escala de laboratorio(SWE), que produzca un prototipo de producto (vehículo de fácil ensamble), para que sea utilizada de una forma experimental, en la cual se pueda modificar factores como tiempo de ciclo, orden de ensamble de piezas, número de operarios, demanda de producto etc; permitiendo crear una infinidad de escenarios y que el estudiante analice las soluciones más óptimas según cada caso de estudio que se desarrolle.

El tiempo de concesión estimado para todos los escenarios es del 7%.

Primer escenario:

Tabla 34.

*Primer escenario estaciones de trabajo sin balancear*

Estación de trabajo	Tarea	Número de operarios	Actividad	Tiempo [seg]
1	Estación de trabajo #1 transporte del chasis a la estación #2	2	1	10,7
2	Estación de trabajo #2 plegado del vehículo.	2	2	42,8
3	Estación de trabajo #3 Montaje #1 de los paneles de madera de los Racks #1 y #2 de acuerdo con la tabla 23.	2	3	72,76
4	Estación de trabajo #4 Montaje #2 de los paneles de madera de los Racks #3 y #4 de acuerdo con la tabla 23.	2	4	115,56
5	Estación de trabajo #5 Control de calidad	2	5	16,05
6	Estación de trabajo #6 izaje del producto terminado.	1	6	26,75
7	Traslado a Bodega mediante puente grúa para almacenamiento de cada producto terminado	1	7	13,91
<b>TOTAL</b>		12		298,53

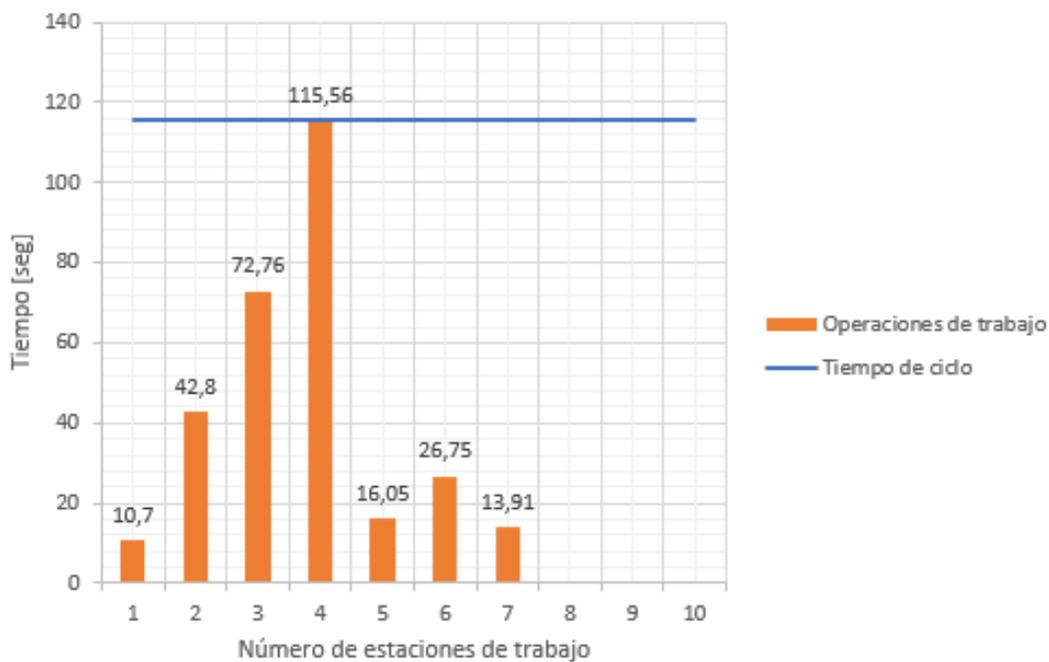


Figura 68. Proceso sin balancear primer escenario.

Tabla 35.

Balanceo de las estaciones de trabajo del primer escenario

Estación de trabajo	Actividad	Tiempo del elemento	Tiempo acumulado	Tiempo de ciclo (Seg)	Tiempo no asignado
1	1	10,7	10,7	115,56	104,86
	2	42,8	53,5	115,56	62,06
2	3	72,76	72,76	115,56	42,8

3	4	115,56	115,56	115,56	0
	5	16,05	16,05	115,56	99,51
	6	26,75	42,8	115,56	72,76
4	7	13,91	56,71	115,56	58,85

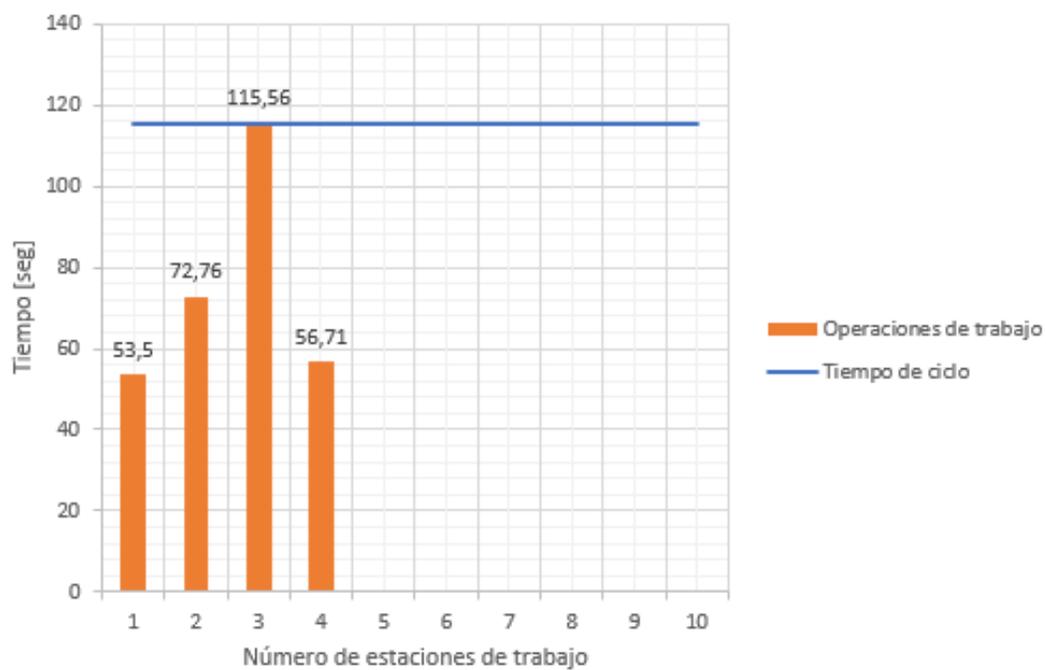


Figura 69. Proceso balanceado primer escenario.

Tabla 36.  
*Tiempo total no asignado primer escenario*

Estación de trabajo	Tiempo total no asignado [seg]
1	62,06
2	42,8
3	0
4	58,85
<b>TOTAL</b>	163,71

Calculo de eficiencia primer escenario:

$$Eficiencia\ de\ la\ linea\ de\ producción = \frac{298.53}{TC * No.\ estaciones} * 100\%$$

$$Eficiencia\ de\ la\ linea\ de\ producción = \frac{298.53}{115.56 * 4} * 100\%$$

$$Eficiencia\ de\ la\ linea\ de\ producción = 65\%$$

La eficiencia es muy baja es necesario analizar otro escenario.

Segundo escenario:

En el segundo escenario se plantea la posibilidad de aumentar dos operarios a la actividad No.3 y a la actividad No.4 respectivamente, aumentando en total cuatro operarios más a línea de ensamble, esto con la finalidad de reducir los tiempos de las ya mencionadas actividades.

Tabla 37.  
*Segundo escenario estaciones de trabajo sin balancear*

<b>Estación de trabajo</b>	<b>Tarea</b>	<b>Número de operarios</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo [seg]</b>
1	Estación de trabajo #1 transporte del chasis a la estación #2	2	1	10,7
2	Estación de trabajo #2 plegado del vehículo.	2	2	42,8
3	Estación de trabajo #3 Montaje #1 de los paneles de madera de los Racks #1 y #2 de acuerdo con la tabla 23.	4	3	36,38
4	Estación de trabajo #4 Montaje #2 de los paneles de madera de los Racks #3 y #4 de acuerdo con la tabla 23.	4	4	57,78
5	Estación de trabajo #5 Control de calidad	2	5	16,05
6	Estación de trabajo #6 izaje del producto terminado.	1	6	26,75
7	Traslado a Bodega mediante puente grúa para almacenamiento de cada producto terminado	1	7	13,91
<b>TOTAL</b>		16		204,37

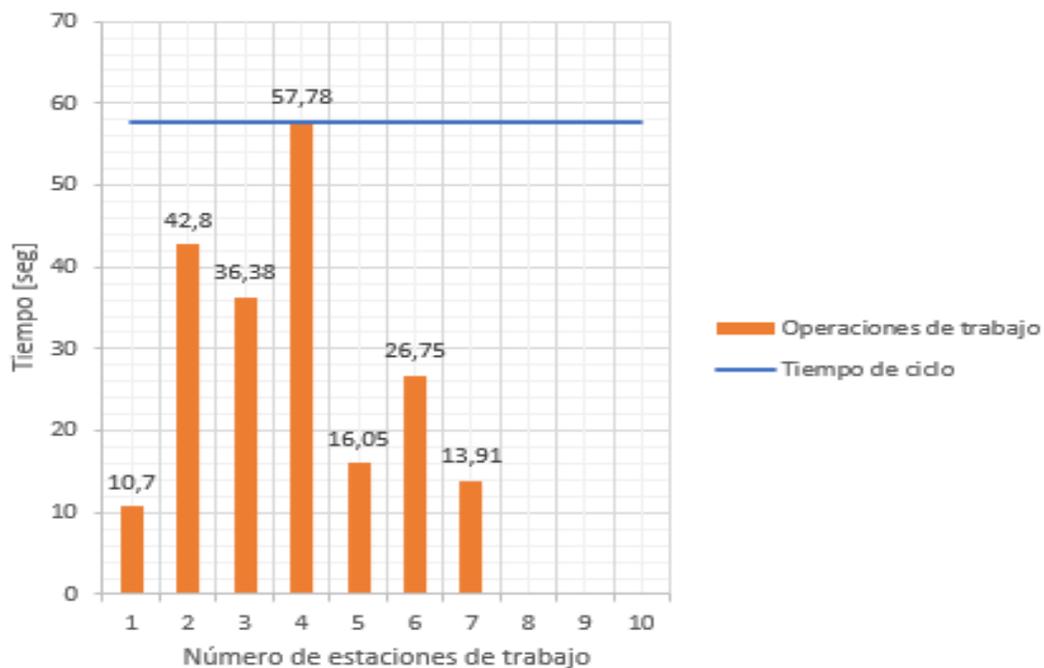


Figura 70. Proceso sin balancear segundo escenario.

Tabla 38.

Balanceo de las estaciones de trabajo del segundo escenario

Estación de trabajo	Actividad	Tiempo del elemento [Seg]	Tiempo acumulado [Seg]	Tiempo de ciclo [Seg]	Tiempo no asignado [Seg]
1	1	10,7	10,7	57,78	47,08
	2	42,8	53,5	57,78	4,28
2	3	36,38	36,38	57,78	21,4

3	4	57,78	57,78	57,78	0
	5	16,05	16,05	57,78	41,73
	6	26,75	42,8	57,78	14,98
4	7	13,91	56,71	57,78	1,07

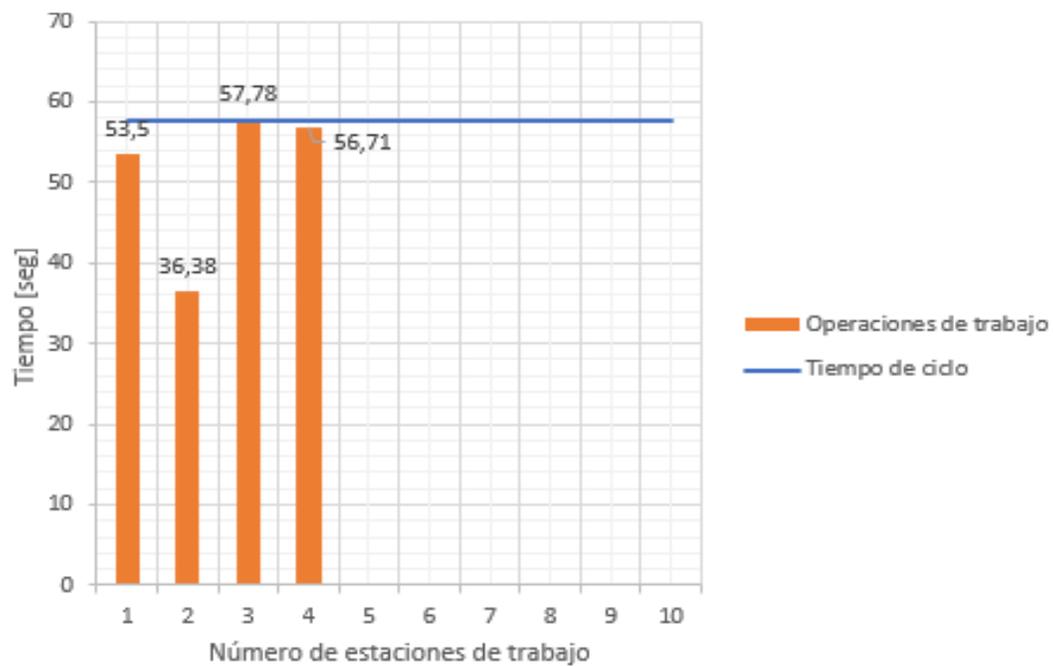


Figura 71. Proceso balanceado segundo escenario.

Tabla 39.  
*Tiempo total no asignado segundo escenario*

Estación de trabajo	Tiempo total no asignado [seg]
1	4,28
2	21,4
3	0
4	1,07
<b>TOTAL</b>	<b>26,75</b>

Calculo de eficiencia segundo escenario:

$$Eficiencia\ de\ la\ linea\ de\ producción = \frac{204.37}{TC * No.\ estaciones} * 100\%$$

$$Eficiencia\ de\ la\ linea\ de\ producción = \frac{204.37}{57.78 * 4} * 100\%$$

$$Eficiencia\ de\ la\ linea\ de\ producción = 88.4\%$$

En el segundo escenario se puede observar que la eficiencia de la línea es aceptable.

Calculo del número de operadores por estación para el segundo escenario:

Tabla 40.  
*Tiempo en [Seg/Unidad] que le toma en completar cada actividad a un (1) operador*

Actividades	No. De operadores (A)	[Seg/Unidad] (B)	[Seg/Unidad] por un operador (A*B)
-------------	-----------------------	------------------	------------------------------------

Transporte de chasis	2	10,7	21,4
Plegado	2	42,8	85,6
Montaje 1	2	72,76	145,52
Montaje 2	2	115,56	231,12
Control de calidad	2	16,05	32,1
Izaje	1	26,75	26,75
Traslado a bodega	1	13,91	13,91

Tabla 41.  
Número de operadores necesarios para cada actividad del segundo escenario

Actividades	[Seg/Unidad] por un operador (A)	No. De [Unidades/minuto] (B)=(60seg/A)	No. De operadores necesarios (C)	Producción (D)=(C*B)	[Seg/Unidad] 60seg/D
Transporte de chasis y Plegado	107	0,56	2	1,12	53,5
Montaje 1	145,52	0,41	4	1,65	36,38
Montaje 2	231,12	0,26	4	1,04	57,78
Control de calidad	32,1	1,87	2	3,74	16,05
Izaje y traslado a bodega	40,66	1,48	1	1,48	40,66

Tercer escenario:

En el tercer escenario se plantea la posibilidad de aumentar un operario a la actividad No.3 y dos operarios a la actividad No.4, aumentando en total tres operarios más a línea de ensamble, esto con la finalidad de reducir los tiempos de las ya mencionadas actividades.

Tabla 42.  
*Tercer escenario estaciones de trabajo sin balancear*

Estación de trabajo	Tarea	Número de operarios	Actividad	Tiempo [seg]
1	Estación de trabajo #1 transporte del chasis a la estación #2	2	1	10,7
2	Estación de trabajo #2 plegado del vehículo.	2	2	42,8
3	Estación de trabajo #3 Montaje #1 de los paneles de madera de los Racks #1 y #2 de acuerdo con la tabla 23	3	3	48,50
4	Estación de trabajo #4 Montaje #2 de los paneles de madera de los Racks #3 y #4 de acuerdo con la tabla 23	4	4	57,78
5	Estación de trabajo #5 Control de calidad	2	5	16,05
6	Estación de trabajo #6 izaje del producto terminado.	1	6	26,75
7	Traslado a Bodega mediante puente grúa para almacenamiento de cada producto terminado	1	7	13,91
<b>TOTAL</b>		15		216,4931

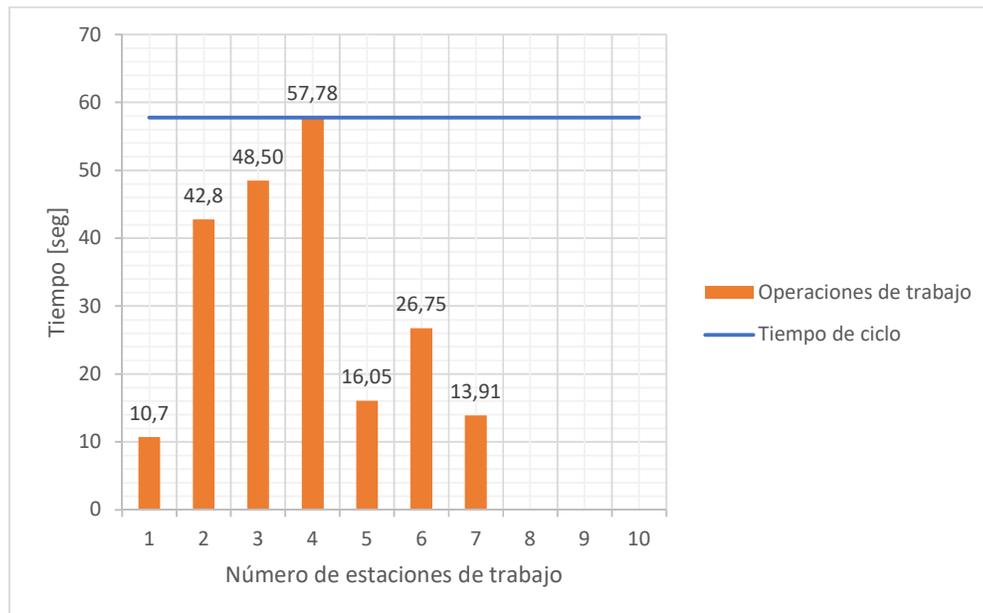


Figura 72. Proceso sin balancear tercer escenario.

Tabla 43.

Balanceo de las estaciones de trabajo del tercer escenario

Estación de trabajo	Actividad	Tiempo del elemento	Tiempo acumulado	Tiempo de ciclo (Seg)	Tiempo no asignado
1	1	10,7	10,7	57,78	47,08
	2	42,8	53,5	57,78	4,28
2	3	48,5031	48,5031	57,78	9,2769

3	4	57,78	57,78	57,78	0
	5	16,05	16,05	57,78	41,73
	6	26,75	42,8	57,78	14,98
4	7	13,91	56,71	57,78	1,07

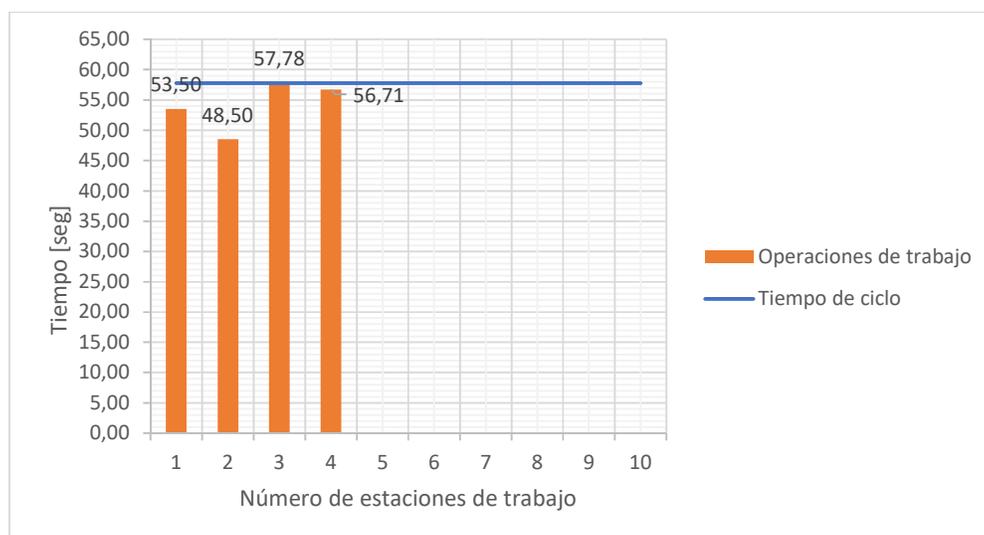


Figura 73. Proceso balanceado tercer escenario.

Tabla 44.  
Tiempo total no asignado tercer escenario

Estación de trabajo	Tiempo total no asignado
1	4,28

2	9,28
3	0
4	1,07
<b>TOTAL</b>	<b>14,63</b>

Calculo de eficiencia tercer escenario:

$$\text{Eficiencia de la línea de producción} = \frac{216.49}{TC * \text{No. estaciones}} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia de la línea de producción} = \frac{216.49}{57.78 * 4} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia de la línea de producción} = 94\%$$

En el tercer escenario se puede observar que la eficiencia de la línea mejora considerablemente.

Tabla 45.

*Número de operadores necesarios para cada actividad del tercer escenario*

Actividades	[Seg/Unidad] por un operador (A)	No. De [Unidades/minuto] (B)=(60seg/A)	No. De operadores necesarios (C)	Producción (D)=(C*B)	[Seg/Unidad] 60seg/D
Transporte de chasis y Plegado	107	0,56	2	1,12	53,50
Montaje 1	145,52	0,41	3	1,24	48,507
Montaje 2	231,12	0,26	4	1,04	57,78
Control de calidad	32,1	1,87	2	3,74	16,05
Izaje y traslado a bodega	40,66	1,48	1	1,48	40,66

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

El Ambiente de Trabajo Simulado (SWE) desarrollado en la UDLA, proporcionará el entrenamiento adecuado de sus estudiantes en áreas de: calidad, producción, seguridad, control de inventarios etc.

El uso de una línea de montaje de tamaño real con vehículos simulados contruidos de madera o acero proporciona al estudiante los diferentes escenarios de fabricación del mundo real.

Para realizar mejoras en un trabajo es elemental conocer en que consiste su proceso, redactando detalladamente todas sus actividades de forma clara sin perder el mínimo detalle.

Todo prototipo que va a ser utilizado en ambientes de trabajo simulado posee las siguientes características: fácil manipulación, ensamble (sin usar herramientas eléctricas), y elimina en lo posible el uso de herramientas mecánicas para su ensamblaje en la línea de producción simulada.

Las alternativas de diseño se basaron en un vehículo tipo Jeep, debido a que este tipo de modelo es de fácil construcción y porque la mayoría de las personas conocen la forma y funcionamiento de un automóvil.

### **5.2. Recomendaciones**

Para diseñar un prototipo es necesario que las necesidades de los clientes sean expresadas en términos de lo que el producto tiene que hacer de una forma

afirmativa y no negativa, de tal modo que el cliente perciba la necesidad como un atributo del producto.

Por motivos educativos todo producto que se utiliza en ambientes de trabajo simulado se debe realizar con el mínimo uso de herramientas mecánicas y sin herramientas eléctricas en la línea de producción simulada, ya que no todas las personas están familiarizadas con el uso de herramientas a nivel industrial.

Si se pretende diseñar una línea de trabajo simulado de carrocerías, lo mejor es utilizar acero en forma de perfiles angulares a 90° de alas iguales, de baja aleación A36 y laminados en caliente de 20x2[mm], ya que es de fácil adaptación de planchas de madera, homologando las partes externas de la carrocería de un vehículo.

Es necesario que todo diseño de producto sea verificado en condiciones de uso, de la forma más real posible con la ayuda de prototipos funcionales.

Cada analista de tiempo debe tener en cuenta que existe una aproximación razonable al desempeño normal, como no existe un método convencional aceptado para seleccionar y expresar el desempeño normal, las siguientes recomendaciones expresadas anteriormente pueden ayudar: el ritmo tipo comúnmente aceptado es la velocidad de movimiento de un hombre al caminar sin carga en terreno llano y en línea recta a 6.4 Km/h (García Criollo, 2005, p. 210). “Otro modelo a considerar es el que se debe seguir para repartir 52 naipes de la baraja en 30 segundos, sobre la mesa, en un espacio de 30 cm de lado, sosteniendo el juego de naipes fijo en la mano, a una distancia de 12 a 18 cm” (García Criollo, 2005, p. 210).

## REFERENCIAS

- Andrade Alvarez, A. F., y Jaramillo Madrid, G. A. (2009). *Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la fórmula automovilística universitaria FAU*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica automotriz, Riobamba, Ecuador.
- Brunnello, M., y Rocha, M. (2011). *Modelado de Procesos*. Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Económicas, Córdoba, Argentina. Recuperado de [http://e-conomicas.eco.unc.edu.ar/archivos/\\_2/U3-ModProc-11.pdf](http://e-conomicas.eco.unc.edu.ar/archivos/_2/U3-ModProc-11.pdf)
- Budynas, R. G., y Keith Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). México DF, México: McGraw-Hill.
- Caradisiac. (s.f.). *Panhard 24 1963*. Recuperado de <http://www.caradisiac.com/Panhard-24-CT-1963-67-Beaute-fatale-51298.htm>.
- Chase, R., Jacobs, R., y Aquilano, N. (2004). *Administración de la Producción y Operaciones* (Décima ed.). México DF, México: McGraw-Hill.
- Chase, R., Jacobs, R., y Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros* (Duodécima ed.). México DF, México: McGraw - Hill.
- Disup. (2014). *Catalogodiseno modelo T de Ford Motor Company*. Recuperado de <http://www.catalogodiseno.com/2014/08/09/clasicos-ford-t/>
- Elphinstone SWE. (2016). *Simulated Work Environment*. Recuperado de <http://elphinstone.com/elphinstone-swe/>
- Espín Carbonell, F. (2013). Técnica SMED reducción del tiempo de preparación. *3Ciencias*. Recuperado de <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2013/05/TECNICA-SMED.pdf>
- Faith, M. (2015). *Linea de ensamble SWE*. Recuperado de <http://www.wilx.com/home/headlines/An-Inside-Look-at-the-Fake-Assembly-Line-GM-Uses-for-Training-323003251.html>
- Fernández, I., Quesada, P., González, A., y Puente, J. (1996). *Diseño y medición de trabajos*. Oviedo, España: Universidad de Oviedo. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=0fOUe9teiEMC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=dmh+medicion+del+trabajo&source=bl&ots=KT05\\_GwwWH&sig=UXIqGJFu1iOFOBf1-mc-FqXONw0&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjxN\\_Lga3TAhVEKCYKHxaMD10Q6AEILjAC#v=onepage&q=dmh%20medicion%20del%20trabajo&f](https://books.google.com.ec/books?id=0fOUe9teiEMC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=dmh+medicion+del+trabajo&source=bl&ots=KT05_GwwWH&sig=UXIqGJFu1iOFOBf1-mc-FqXONw0&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjxN_Lga3TAhVEKCYKHxaMD10Q6AEILjAC#v=onepage&q=dmh%20medicion%20del%20trabajo&f)

- García Criollo, R. (2005). *Estudio del Trabajo* (Segunda ed.). México DF, México: Mc Graw Hill.
- García, F. A. (2016). *Breve historia de la admistración de la Producción y las Operaciones*. Trabajo de Investigación, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Merida, Venezuela. Recuperado de <http://webdelprofesor.ula.ve/economia/gsfran/Asignaturas/Produccion/Historiap.pdf>
- Garza, L. (2000). *Diseño y contrucción de cimentaciones*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad Nacional de Minas, Medellín, Colombia. Recuperado de [http://www.docentes.unal.edu.co/lgarza/docs/NOTAS\\_%20DYCC\\_%20v09-10-06.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/lgarza/docs/NOTAS_%20DYCC_%20v09-10-06.pdf)
- González, D., y Carro, R. (2012). *Diseño y Medición de Puestos de Trabajo*. Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de [http://nulan.mdp.edu.ar/1609/1/04\\_medicion\\_puestos\\_trabajo.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1609/1/04_medicion_puestos_trabajo.pdf)
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura moderna* (Tercera ed.). México DF, México : McGraw-Hill Interamericana.
- Hearst Corporation. (2006). Hazlo Tú Mismo. *Popular Mechanics*. Recuperado de <http://www.eltallerderolando.com/2011/07/25/jeep-de-pedales-3/1-5/>
- INDURA. (2017). *Ficha técnica de eletrodo de soldadura 6011*. Recuperado el 22 de agosto de 2017, de <http://www.indura.com.ec/Web/CL/2000578/indura-6011-3-32-2-4-mm>
- Ingeniería de métodos. (2008). *Virtual Pro (Procesos Industriales)*. Recuperado de <http://www.revistavirtualpro.com/revista/ingenieria-de-metodos/4>
- Instituto Mexicano del Seguro Social. (2010). *Tabla de Medidas antropométricas*. Recuperado el 5 de diciembre de 2017, de <https://es.slideshare.net/juangonzalezleija/cfakepathdatos-antropometricos-3925719>
- Instituto Nacional de Tecnologia Industrial. (2009). *Fases para el desarrollo de productos* . INTI. Buenos Aires, Argentina: Programa de diseño del INTI. Recuperado de [https://www.inti.gob.ar/prodiseno/pdf/n141\\_proceso.pdf](https://www.inti.gob.ar/prodiseno/pdf/n141_proceso.pdf)
- Kalpakjian, S., y Schmid, S. (2002). *Manufactura,ingeniería y tecnología* (Cuarta ed.). México DF, México: Prentice Hall.

- Kendall, K., y Kendall, J. (2005). *Análisis y Diseño de sistemas* (Sexta ed.). México DF, México: Pearson. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=5-rZA0FggusC&printsec=frontcover&dq=KENDALL+Y+KENDALL+ANALISIS+Y+DISE%C3%91O&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjskNiltebTAhWGTCYKHTybC6kQ6AEIITA#v=onepage&q=KENDALL%20Y%20KENDALL%20ANALISIS%20Y%20DISE%C3%91O&f=false>
- Krajewski, L., Ritzman, L., y Malhotra, M. (2007). *Administración de Operaciones Procesos y Cadenas de valor* (Quinta ed.). México DF, México : Pearson.
- Mecalux, S.A. (s.f.). *Estructuras de soporte y ensambles de angulos y paneles*. Recuperado de [https://mecaluxmx.cdnwm.com/catalogos/angulo-ranurado.1.0.pdf#\\_ga=2.242207746.1884072859.1510016985-1783888453.1509764435&\\_gac=1.254093756.1510017730.EAlalQobChMlnsjGj6Or1wIVEEsNCh1a0ADiEAAYASAAEgJiQfD\\_BwE](https://mecaluxmx.cdnwm.com/catalogos/angulo-ranurado.1.0.pdf#_ga=2.242207746.1884072859.1510016985-1783888453.1509764435&_gac=1.254093756.1510017730.EAlalQobChMlnsjGj6Or1wIVEEsNCh1a0ADiEAAYASAAEgJiQfD_BwE)
- Mecalux, S.A. (s.f.). *Tabla capacidad de carga a diferentes alturas para Barras M40 y M60 de los racks*. Recuperado el 6 de noviembre de 2017, de [https://mecaluxmx.cdnwm.com/catalogos/angulo-ranurado.1.0.pdf#\\_ga=2.242207746.1884072859.1510016985-1783888453.1509764435&\\_gac=1.254093756.1510017730.EAlalQobChMlnsjGj6Or1wIVEEsNCh1a0ADiEAAYASAAEgJiQfD\\_BwE](https://mecaluxmx.cdnwm.com/catalogos/angulo-ranurado.1.0.pdf#_ga=2.242207746.1884072859.1510016985-1783888453.1509764435&_gac=1.254093756.1510017730.EAlalQobChMlnsjGj6Or1wIVEEsNCh1a0ADiEAAYASAAEgJiQfD_BwE)
- Meyers, F., y Stephens, M. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales* (Tercera ed.). México DF, México: Pearson.
- Niebel, B., y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo* (Duodécima ed.). México DF, México : Mc Graw Hill.
- Osterstone. (2014). *Tipo de zapatas de cimentación*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/OSTERSTONE/cimentacin-stone>
- Paz, R., y González, D. (2012). *Diseño y selección de procesos*. Artículo Académico, Universidad Nacional Mar Del Plata, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de [https://www.google.com.ec/search?ei=6plWWvbyMsKkzwK51qSQCQ&q=universidad+nacional+mar+del+plata&oq=UNIVERSIDAD+NAZIONALE&gs\\_l=psy-ab.3.2.0l10.11543485.11547577.0.11550155.23.18.0.0.0.0.367.3059.0j5j2j5.12.0....0...1c.1.64.psy-ab..11.12.3055...46j0i46k1](https://www.google.com.ec/search?ei=6plWWvbyMsKkzwK51qSQCQ&q=universidad+nacional+mar+del+plata&oq=UNIVERSIDAD+NAZIONALE&gs_l=psy-ab.3.2.0l10.11543485.11547577.0.11550155.23.18.0.0.0.0.367.3059.0j5j2j5.12.0....0...1c.1.64.psy-ab..11.12.3055...46j0i46k1)
- Pereda, J. M. (2013). *Soldadura a tope*. Recuperado de <http://eafjimpereda2012.blogspot.com/2013/03/practica-soldadura-tope-con-smaw-o.html>

- PR Newswire. (2006). *CISION*. Recuperado de <http://www.prnewswire.com/news-releases/simulated-work-environment-opened-at-uaw-gm-center-for-human-resources-55850742.html>
- Suñé, A., Gil, F., y Arcusa, I. (2004). *Manual Practico de Diseño de Sistemas Productivos* (Segunda ed.). Madrid, España: Díaz de Santos.
- Tecnología Mecánica II. (s.f.). *Introducción a los Procesos de Manufactura*. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Cochabamba, Bolivia. Recuperado de <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-11.pdf>
- Ulrich, K., y Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta ed.). México DF, México: McGraw-Hill.
- Universidad de las Américas. (s.f.). Historia *UDLA*. Recuperado de <http://www.udla.edu.ec/la-udla/acerca-de-nosotros/>
- Yandún Garzón, C. E. (2016). *Rediseño y Mejoramiento de la Línea de Ensamble de cocinas de inducción en la empresa ECASA*. Tesis de grado, Universidad de las Américas , Ingeniería en Producción Industrial, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/4761>
- Yantal Production. (2017). *Panhard X72*. Recuperado de <http://www.guide-automobiles-anciennes.com/VOITURE/panhard-x72-panoramique-1787.htm>

## **ANEXOS**

## Anexo1 Angulo ranurado de acero A36

# ÁNGULOS

### DESCRIPCIÓN

Perfil angular a 90° de alas iguales, en acero de baja aleación, laminados en caliente.

### USOS

En la construcción de estructuras espaciales, celosías, vigas, columnas, arcos, diafragmas, cerchas.

Metal-mecánica: Industria de muebles, carrocerías para vehículos, puertas, ventanas. Elementos ornamentales, verjas y cerramientos. Herramientas manuales. Refuerzo para anclaje de maquinaria.

### NORMAS TÉCNICAS

**NTE INEN 2215** (Ecuatoriana)

Perfiles de acero laminados en caliente.

**NTE INEN 2224**

Perfiles angulares estructurales de acero laminados al caliente.

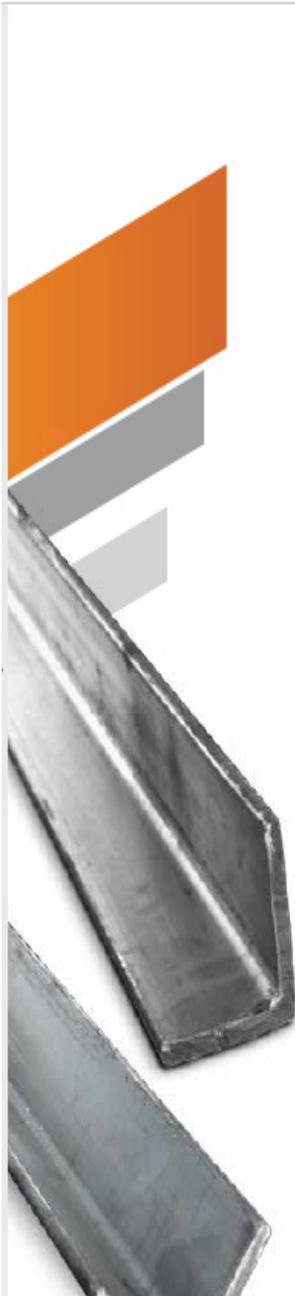
**ASTM A36** (Americana)

Standard Specification for Carbon Structural Steel

DIMENSIÓN	MASA NOMINAL		TOLERANCIAS		
	mm	kg/m	kg/6m	Ala mm	Espesor mm
20 x 2		0,59	3,612	± 1	± 0,50
20 x 3		0,871	5,226		
25 x 3		1,107	6,642		
25 x 4		1,444	8,664		
25 x 6		2,072	12,432		
30 x 3		1,342	8,052		
30 x 4		1,758	10,548		
30 x 6		2,543	15,258		
40 x 3		1,813	10,878		
40 x 4		2,386	14,316		
40 x 6		3,485	20,910		
50 x 3		2,284	13,704		
50 x 4		3,014	18,084		
50 x 6		4,427	26,562		

Tolerancia de longitud: ±50mm

PROPIEDADES MECÁNICAS	kgf/mm <sup>2</sup>	MPa	GradoE185
Límite de fluencia mínimo	24	235	185
Resistencia a la tracción mínima	34	340	300
Resistencia a la tracción máxima	48	470	540
ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA L <sub>0</sub> =5,66 * √A <sub>0</sub> = 28%			18



## Anexo 2 Pletinas de acero A36

# PLETINAS

### DESCRIPCIÓN

Pletinas de acero de baja aleación laminadas en caliente de sección rectangular.

### USOS

Se utilizan para múltiples propósitos dentro del sector metal-mecánico, cerrajería ornamental, manufactura de muebles, carrocerías vehiculares, herramientas manuales y trabajos de carpintería metálica en general.

### NORMAS TÉCNICAS

NTE INEN 2215 (Ecuatoriana)

Perfiles de acero laminados en caliente.

NTE INEN 2222 (Ecuatoriana)

Barras cuadradas, redondas y pletinas de acero laminadas en caliente.

ASTM A36 (Americana)

Standard Specification for Carbon Structural Steel

DIMENSIÓN	MASA NOMINAL		TOLERANCIAS	
	kg/m	kg/6m	Lado mm	Espesor mm
12 x 3	0,283	1,698	± 1,0	± 0,50
12 x 4	0,377	2,262		
19 x 3	0,477	2,885		
19 x 4	0,597	3,582		
25 x 3	0,589	3,534		
25 x 4	0,785	4,710		
25 x 6	1,178	7,068		
30 x 3	0,707	4,242		
30 x 4	0,942	5,652		
30 x 6	1,413	8,478		
38 x 3	0,895	5,370		
38 x 4	1,193	7,158		
38 x 6	1,790	10,740		
50 x 3	1,178	7,068		
50 x 4	1,570	9,420		
50 x 6	2,355	14,130		
65 x 6	3,062	18,372		
75 x 6	3,533	21,198		

Tolerancia de longitud: +100 / -10mm

Tolerancia de longitud: +100 / -10mm



PROPIEDADES MECÁNICAS	ASTM A36		INEN 2215 grado E185	
	Kgf/mm <sup>2</sup>	MPa	Kgf/mm <sup>2</sup>	MPa
Límite de Fluencia mínimo	25	250	19	185
Resistencia a la tracción mínima	40	400	30	300
Resistencia a la tracción máxima	56	550	55	540
Alargamiento (%) mínimo con probeta $L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{A_0} - 26\%$	21%		18%	

## Anexo 3 Perfil T en acero A36

# TEES

### DESCRIPCIÓN

Perfil T de alas iguales, en acero de baja aleación, laminadas en caliente.

### USOS

Construcción de estructuras espaciales; celosías, cerchas, arcos, bóvedas. etc., metal-mecánica: puertas, ventanas, muebles, carrocerías para vehículos, elementos ornamentales, verjas y cerramientos; herramientas manuales, maquinarias, etc.

### NORMAS TÉCNICAS

**NTE INEN 2215** (Ecuatoriana)

Perfiles de acero laminados en caliente.

**NTE INEN 2234** (Ecuatoriana)

Perfiles estructurales T de acero laminados en caliente.

**ASTM A36** (Americana)

Standard Specification for Carbon Structural Steel

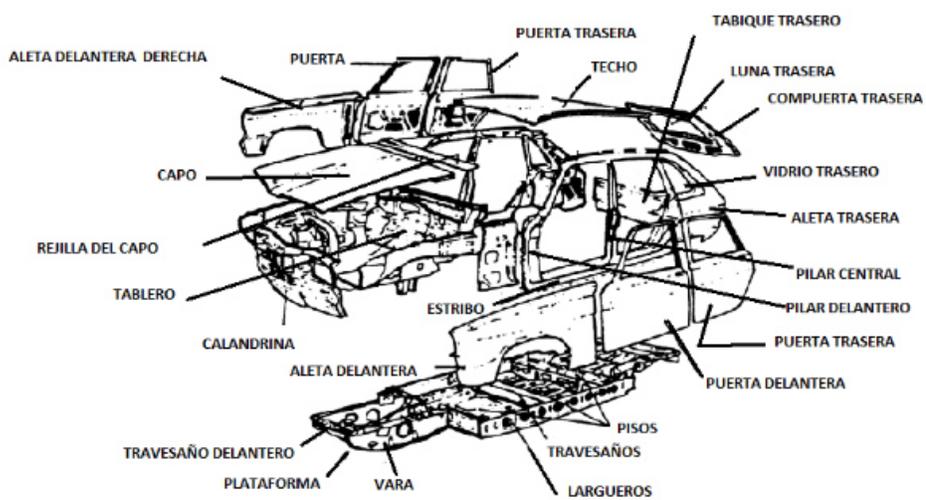
DIMENSIÓN	MASA NOMINAL		TOLERANCIAS	
	kg/m	kg/6m	Ala - Alma	Espesor
mm			mm	mm
20 x 3	0,891	5,346	± 1,0	± 0,5
25 x 3	1,131	6,786		
30 x 3	1,379	8,274		

Tolerancia de longitud: ±50mm

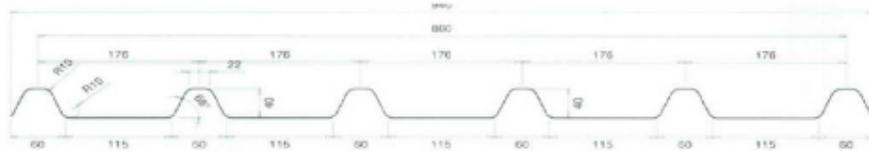
PROPIEDADES MECÁNICAS	ASTMA36		INEN 2215 grado E185	
	Kgf / mm <sup>2</sup>	MPa	Kgf / mm <sup>2</sup>	MPa
Límite de Fluencia mínimo	25	250	19	185
Resistencia a la tracción mínima	40	400	30	300
Resistencia a la tracción máxima	56	550	55	540
Alargamiento (%) mínimo con probeta $L_0=5,65 \cdot \sqrt{A_0}$	21%		18%	



## Anexo 4 Partes de la carrocería de un Vehículo



## Anexo 5 Cubierta (Techo)



DISTANCIA	800 mm	1000 mm	1200 mm	1400 mm	1600 mm	1800 mm
ESPESOR 2,5 mm	210kg/m <sup>2</sup>	180kg/m <sup>2</sup>	150kg/m <sup>2</sup>	120kg/m <sup>2</sup>	100kg/m <sup>2</sup>	80kg/m <sup>2</sup>

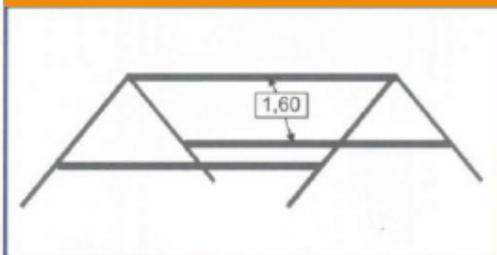
CARACTERÍSTICAS	TIPO	PERMATEC
LARGO (mt)		11,80 - 5,90 - 2,95
ANCHO TOTAL (mt)		0,94
ANCHO UTIL (mt)		0,88
ALTURA DE CRESTA (mm)		40,00
DISTANCIA ENTRE CRESTAS (mm)		176,00
PESO ESPECIFICO (KG/ mt <sup>2</sup> )	ESPESOR 2 mm	4,95
	ESPESOR 2,5 mm	5,70
TRASLAPO LONGITUDINAL		1 CRESTA (6 cm)
TRASLAPO TRANSVERSAL (cm)		20,00
PENDIENTE MINIMA (%)	SIN TRASLAPO	10%
	CON TRASLAPO	15%
COEFICIENTE DE AISLAMIENTO TERMICO (W/ m °K)		0,0643
AISLAMIENTO ACUSTICO EN DECIBELES (dB)		10 a 12
VARIACIÓN DIMENSIONAL POR DILATACIÓN (%)		0,18
VOLADIZO MAXIMO (cm)		20
RADIO MINIMO DE CURVATURA (mt)		15

### TRASLAPO

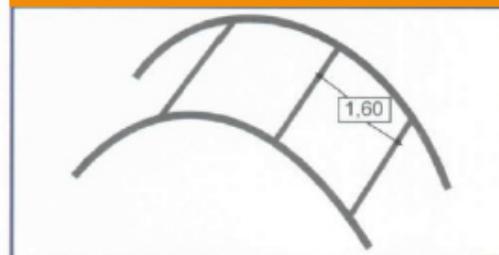
Para el traslape de las tejas PERMATEC INDUSTRIAL se debe sobre poner la primera cresta de la teja a instalar sobre la última cresta de la teja ya instalada.



#### Cubierta a dos aguas



#### Cubierta tipo bóveda



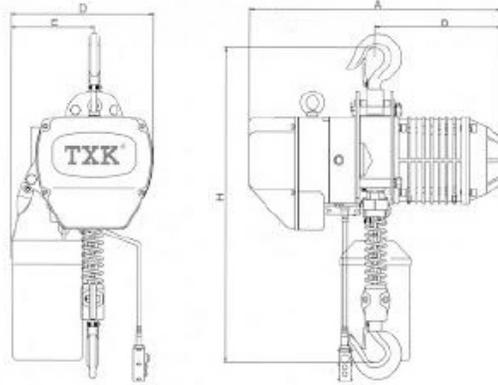
## Anexo 6 Tecla eléctrica

### Tecla Eléctrico 0,5 - 5 Ton



Single Speed		Technical Parameter								
Model	SSDHL									
	0.5-01S	01-01S	1.5-01S	02-01S	02-02S	2.5-01S	03-01S	03-02S	03-03S	05-02
Capacity(t)	0.5t	1t	1.5t	2 t	2.5t	3t	3t	3t	1.5	3.0
Lifting Speed(m/min)	7.2	6.6	8.8	6.6	3.3	5.4	5.4	4.4	2.2	2.7
Motor Power(Kw)	0.8	1.5	3.0	3.0	1.5	3.0	3.0	3.0	1.5	3.0
Rotation Speed(r/min)	1440									
Insulation Grade	F									
Power Supply	3P 220V-690V									
Control Voltage	24V/36V/48V									
No. of Chain	1	1	1	1	2	1	1	2	3	2
Spec. of Load Chain	φ6.3	φ7.1	φ10.0	φ10.0	φ7.1	φ11.2	φ11.2	φ10.0	φ7.1	φ11.2
Net Weigh(Kg)	47	61	108	115	73	115	122	131	85	151

## Hoist with Hook

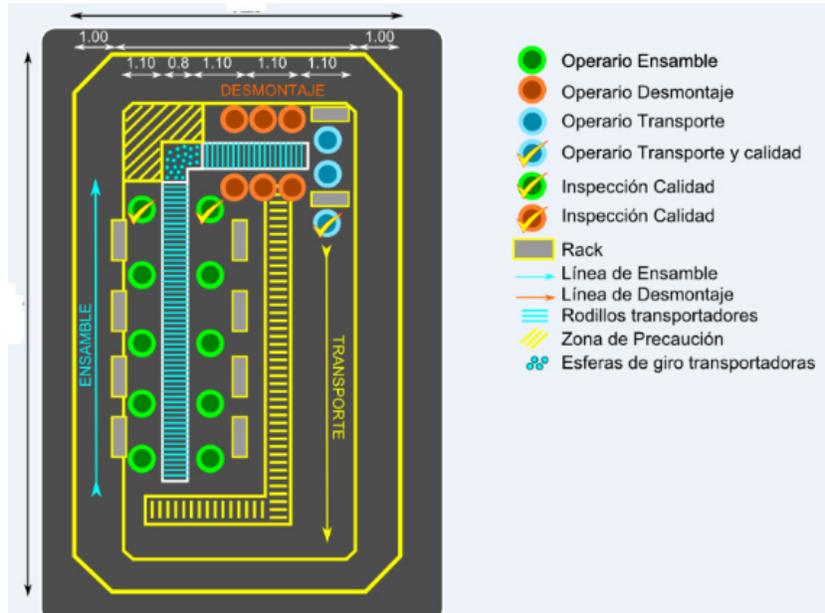


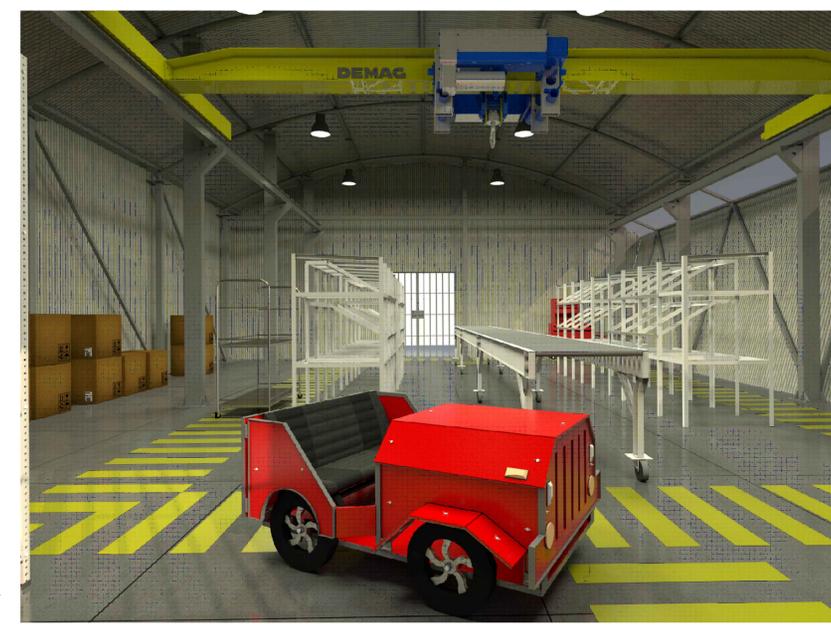
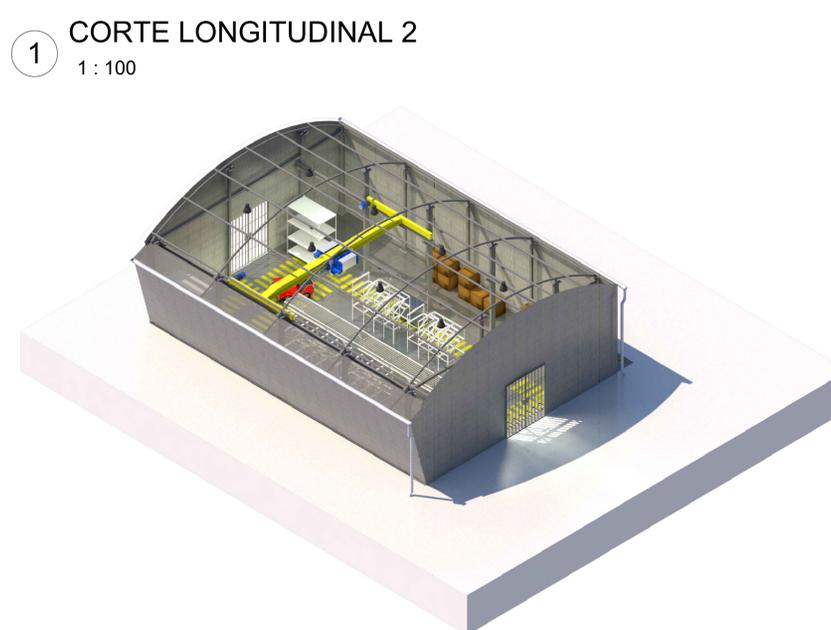
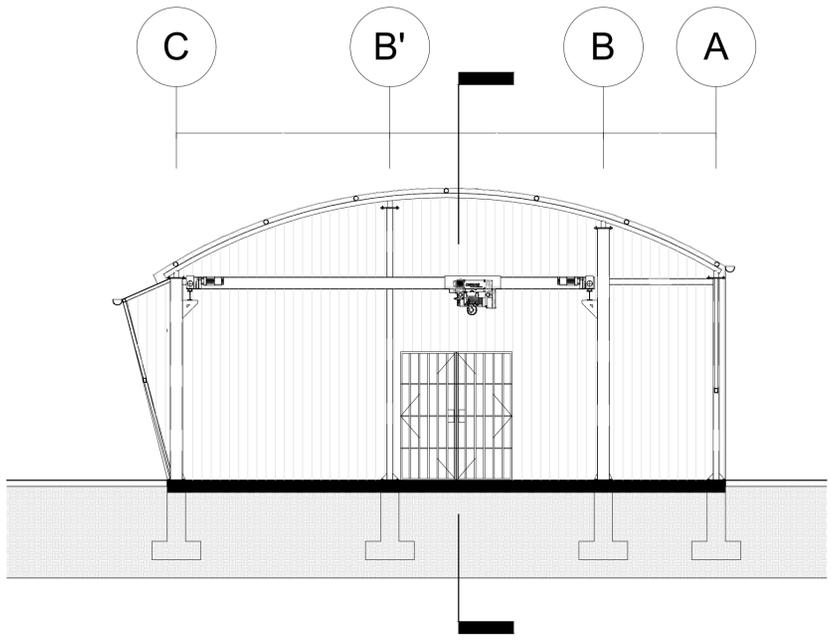
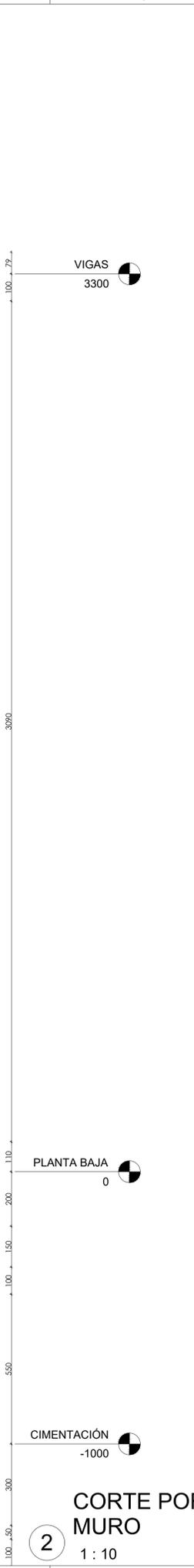
### Size specification

Model	H	A	B	D	E
SSDHL 0.5-01S	530	460	230	288	178
SSDHL 0.5-01D	530	545	260	288	178
SSDHL 01-01S	650	520	280	300	176
SSDHL 01-01D	650	582	280	300	176
SSDHL 1.5-01S	800	615	295	430	265
SSDHL 1.5-01D	800	670	313	430	265
SSDHL 02-01S	800	615	295	430	265
SSDHL 02-01D	800	670	313	430	265
SSDHL 02-02S	835	520	260	300	236
SSDHL 02-02D	835	582	280	300	236
SSDHL 2.5-01S	845	615	295	430	265
SSDHL 2.5-01D	845	670	313	430	265
SSDHL 03-01S	845	615	295	430	265
SSDHL 03-01D	845	670	313	430	265
SSDHL 03-02S	950	615	295	430	320
SSDHL 03-02D	950	670	313	430	320
SSDHL 03-03S	950	520	260	350	205
SSDHL 03-03D	950	582	280	350	205
SSDHL 05-02S	1030	615	295	430	325
SSDHL 05-02D	1030	670	313	430	325

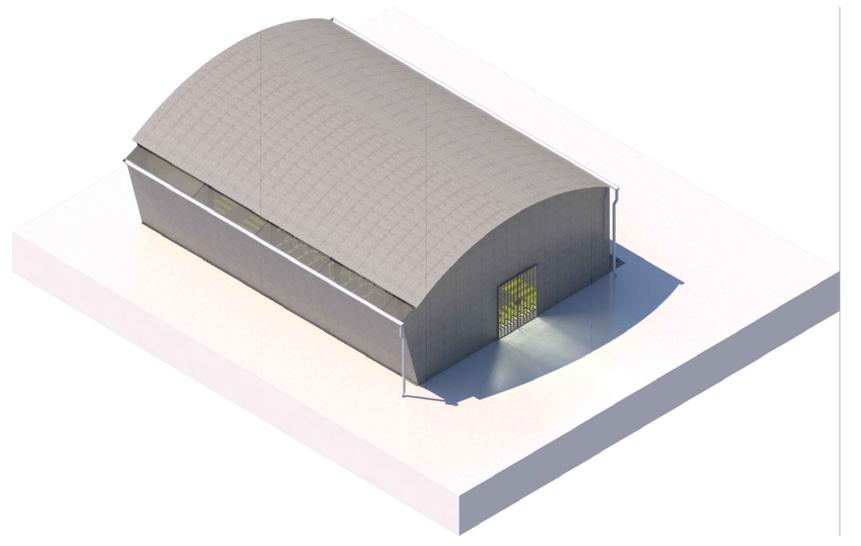
## Anexo 7 Distribución de planta por producto



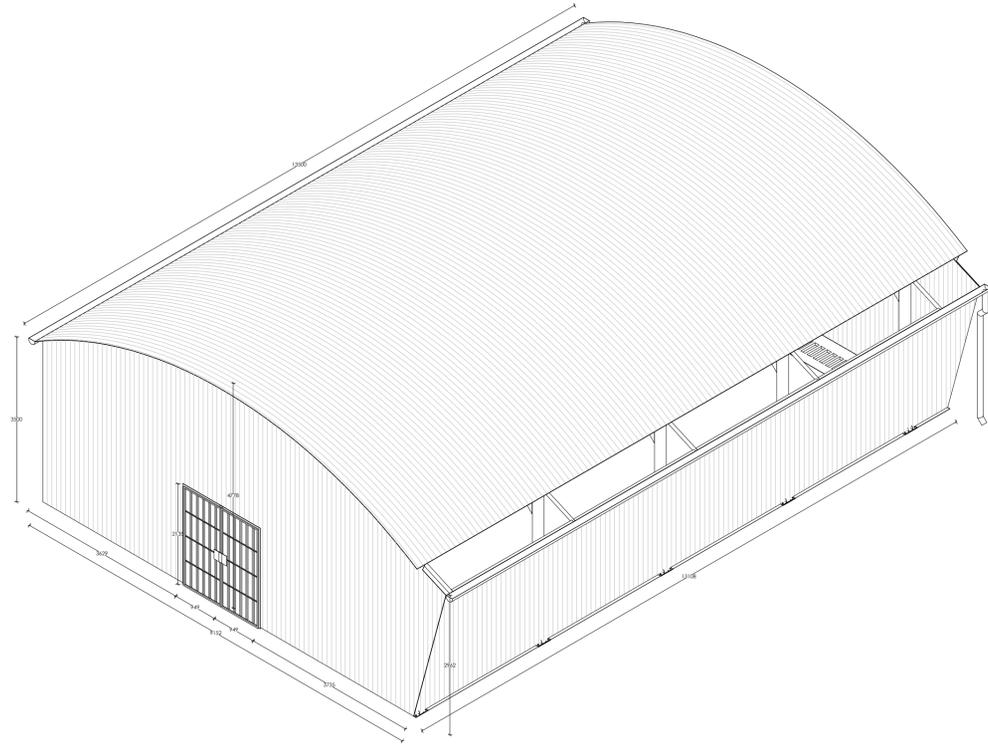




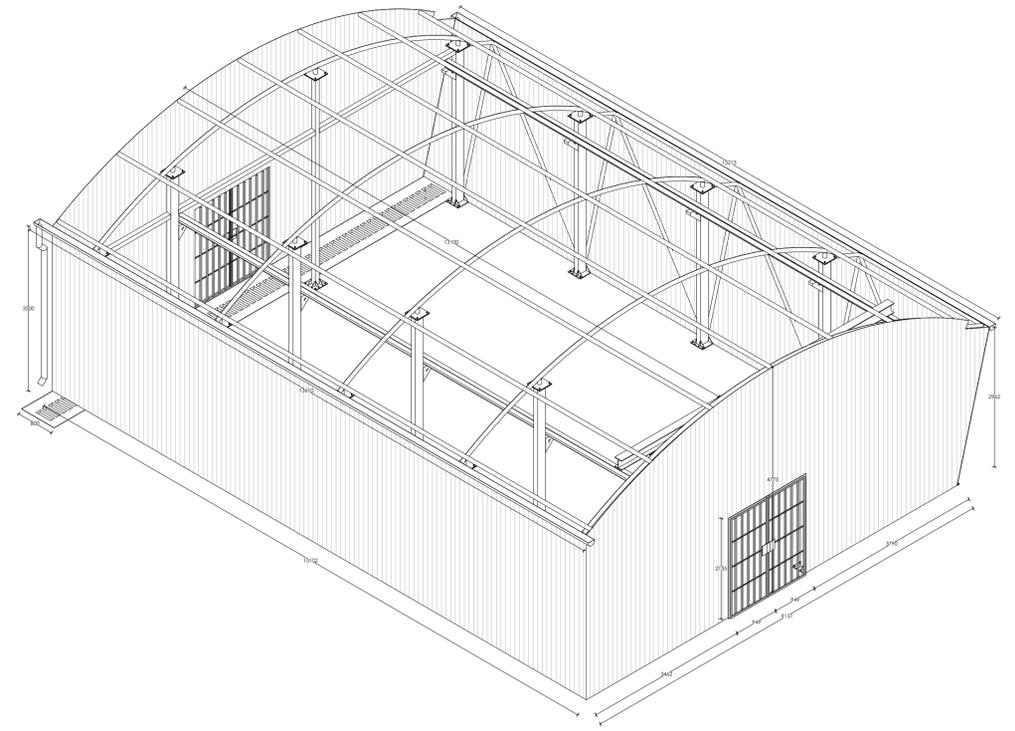
- CUBIERTA 4775
- VIGAS 3300
- PLANTA BAJA 0
- CIMENTACIÓN -1000



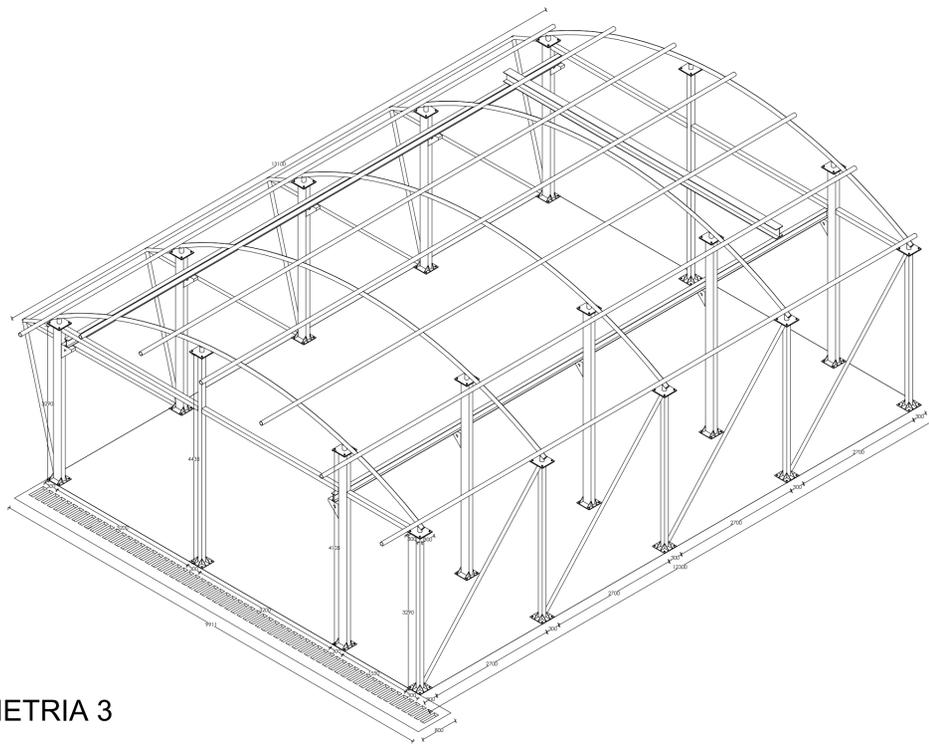
Proyectado	Fecha	Nombre	Firma	Material:	Cantidad:
Dibujado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Perfiles en acero A36	Anexo Tabla 1
Revisado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Hormigón armado Fc= 210 Kg/cm2	Escala:
Aprobado		Ing. Omar Flor		Detalle de corte por muro y renders	Indicadas
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS UDLA				Código:	
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES				MDO - A02	
				Sustituye a:	No aplica



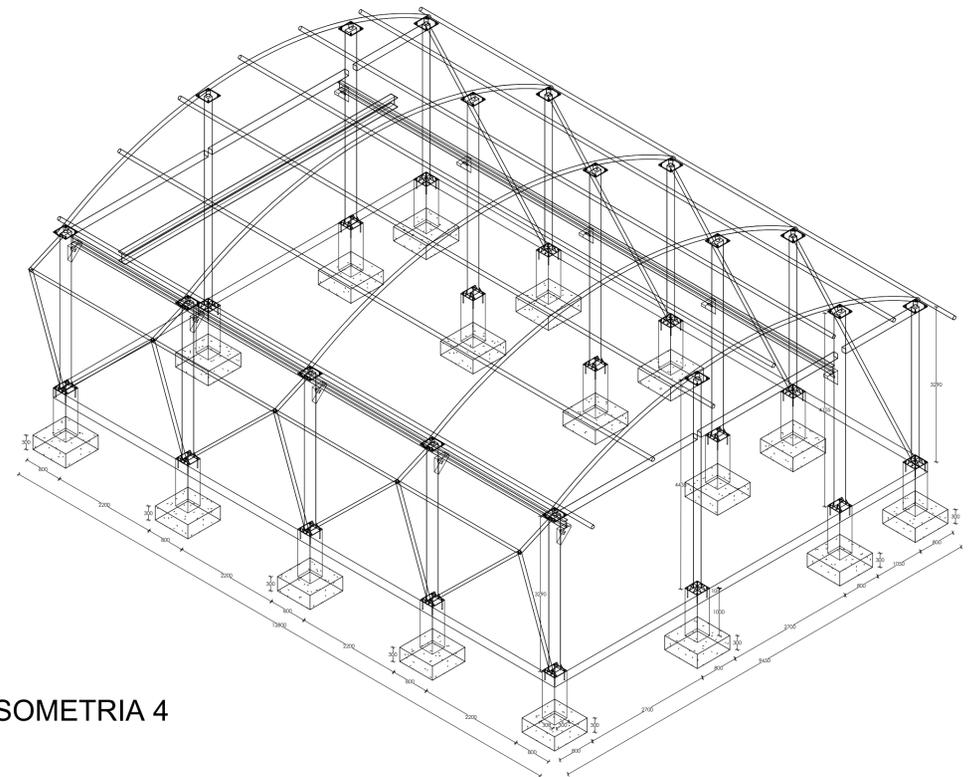
1 ISOMETRIA 1



2 ISOMETRIA 2

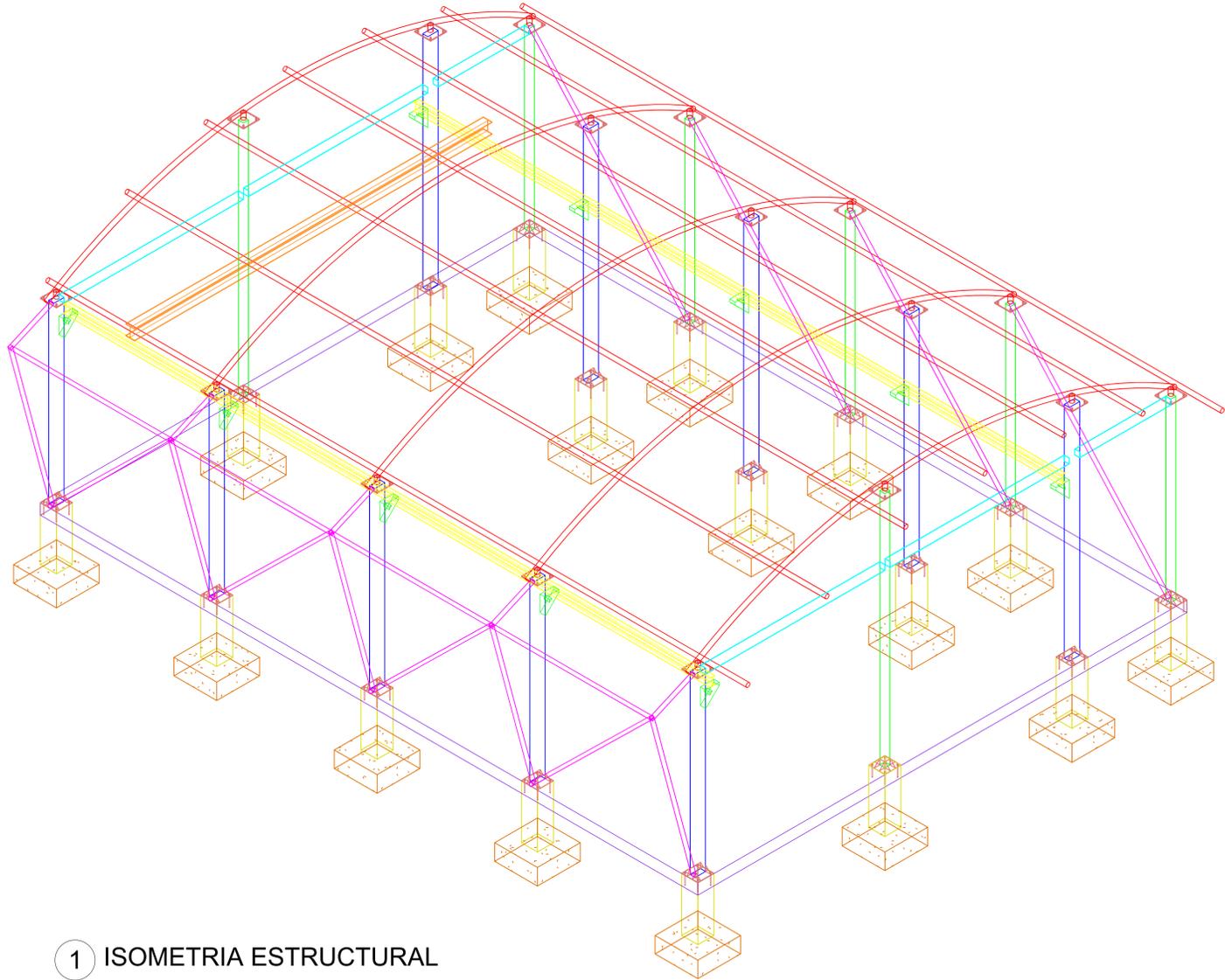


3 ISOMETRIA 3

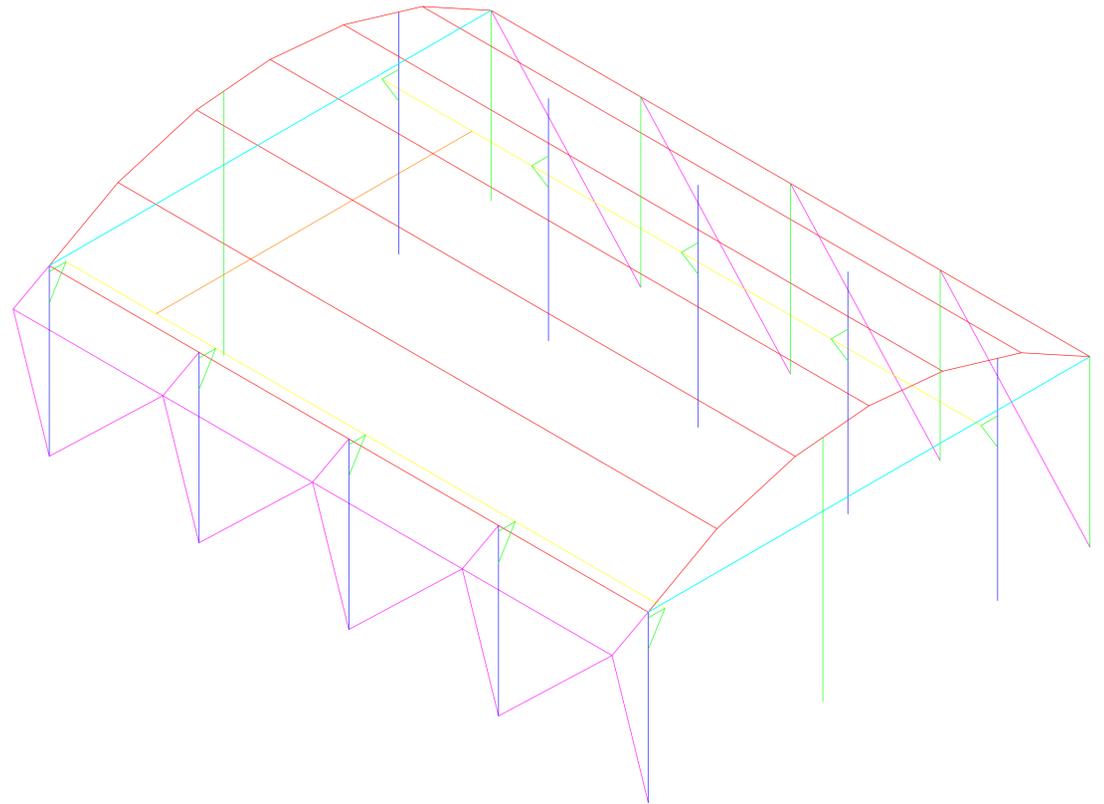


4 ISOMETRIA 4

	Fecha	Nombre	Firma	Material:	Cantidad:
Proyectado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Perfiles en acero A36	Anexo Tabla 1
Dibujado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Hormigón armado Fc= 210 Kg/cm <sup>2</sup>	Escala:
Revisado		Ing. Omar Flor		Denominación:	1 : 75
Aprobado		Ing. Omar Flor		Plano de isometrías estructurales	
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS UDLA				Código:	
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES				MDO - E02	
				Sustituye a:	No aplica



1 ISOMETRIA ESTRUCTURAL

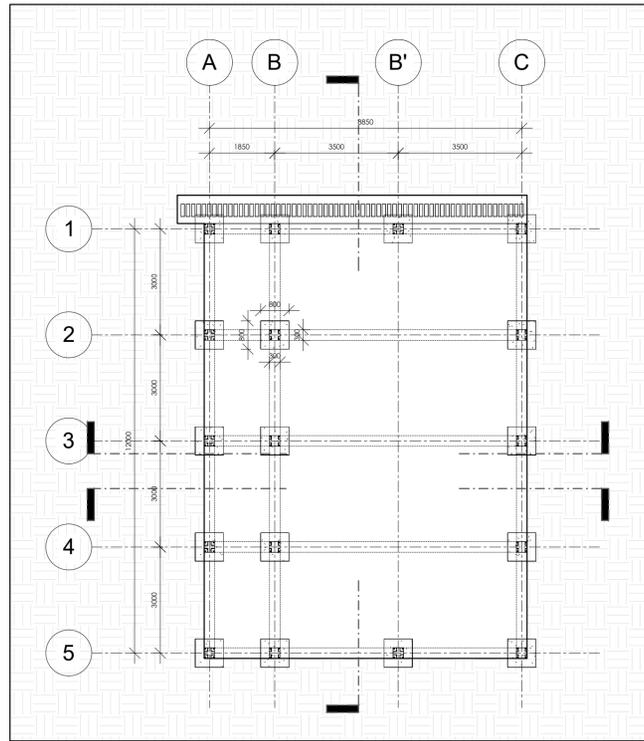


2 UNIFILAR

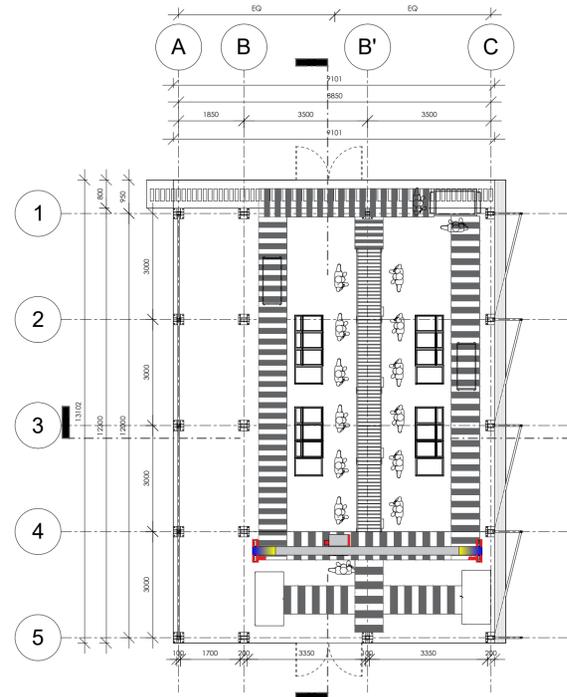
CUADRO DE SIMBOLOGÍA	
	COLUMNA METÁLICA 100x100 mm
	COLUMNA METÁLICA 200x100 mm
	PUENTE GRÚA W 8x24
	VIGA CARRILERA 152x89x16UB
	VIGA CUADRADA METÁLICA 100x100x4 mm
	TUBO CUADRADO DE 50x50x3 mm

CUADRO DE SIMBOLOGÍA	
	TUBO CIRCULAR METÁLICO 3"x3 mm
	PEDESTAL DE HORMIGÓN ARMADO 300x300x1000 mm
	ZAPATA AISLADA 800x800x300 mm
	CONTRAPISO DE HORMIGÓN ARMADO F'C= 210 KG/CM2
	ANCLAJE CON PLACA METÁLICA e= 10 mm Y PERNOS M12

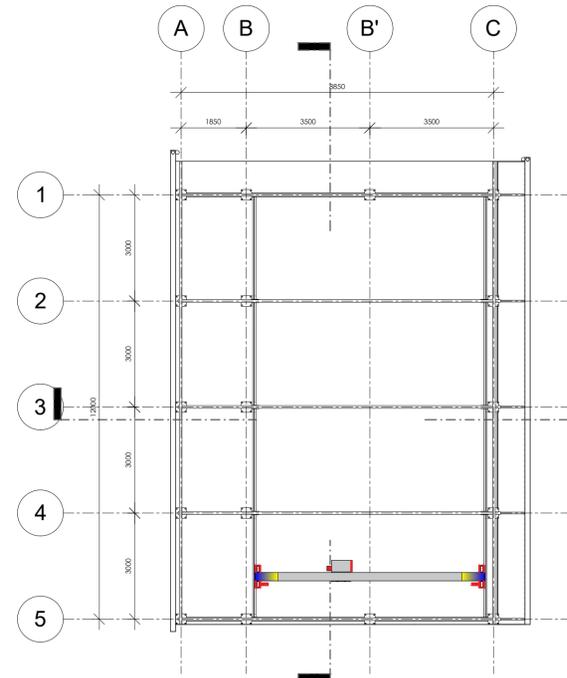
Proyectado	Fecha	Nombre	Firma	Material:	Cantidad:
Dibujado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Perfiles en acero A36	Anexo Tabla 1
Revisado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Hormigón armado Fc= 210 Kg/cm2	Escala:
Aprobado		Ing. Omar Flor			Sin escala
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS UDLA				Código:	
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES				MDO - E01	
				Sustituye a:	No aplica
					Hoja 1 de 2



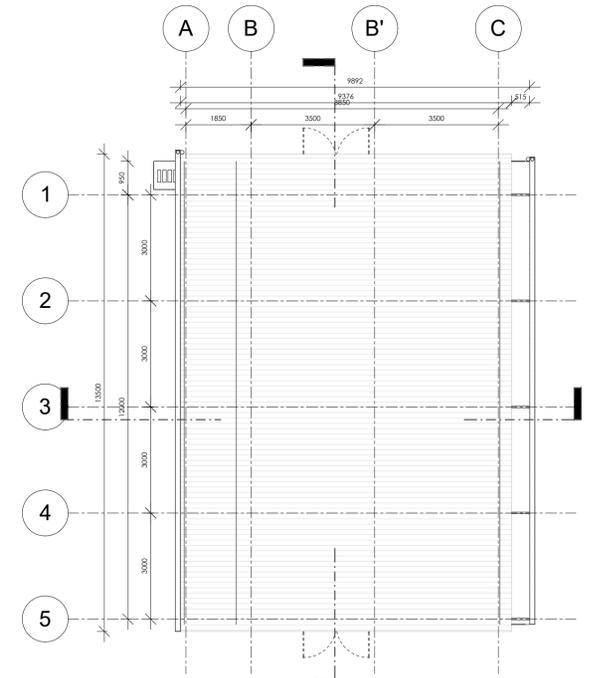
1 CIMENTACIÓN  
1 : 100



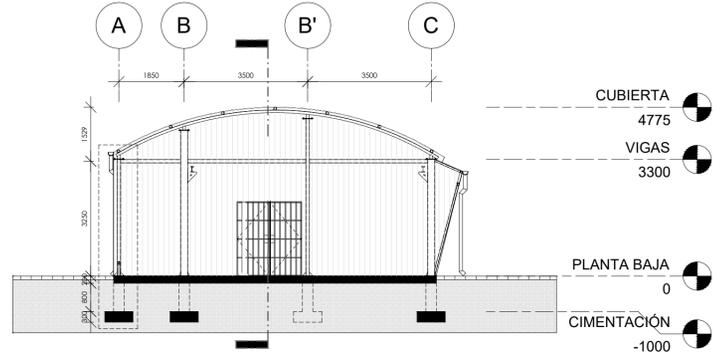
2 PLANTA BAJA  
1 : 100



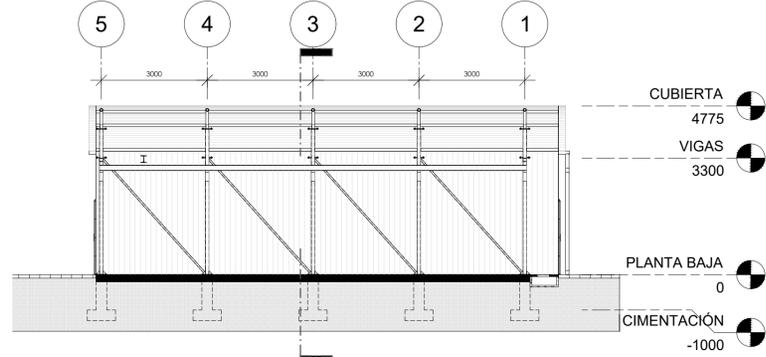
3 VIGAS  
1 : 100



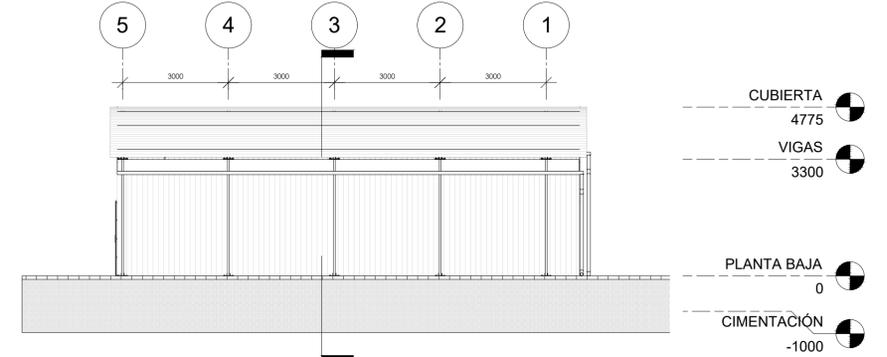
4 IMPLANTACIÓN  
1 : 100



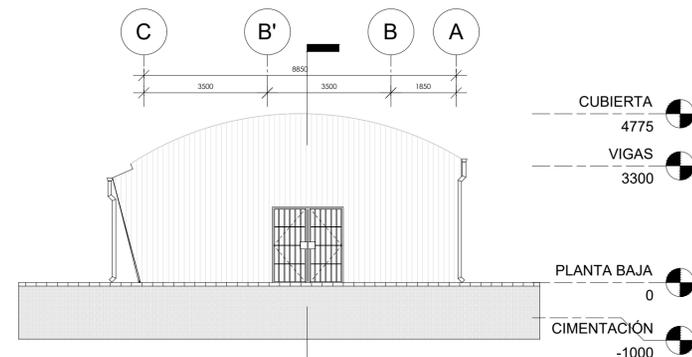
5 CORTE LONGITUDINAL  
1 : 100



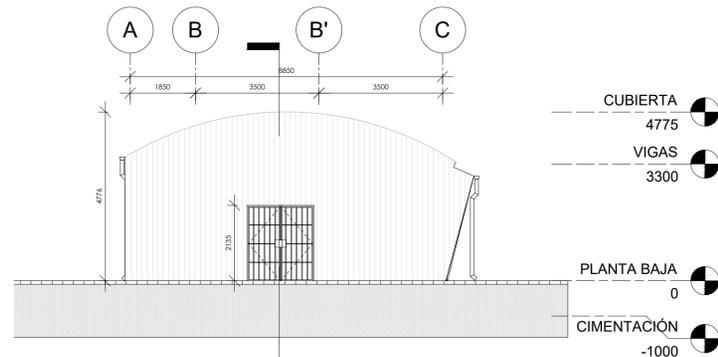
6 CORTE TRANSVERSAL  
1 : 100



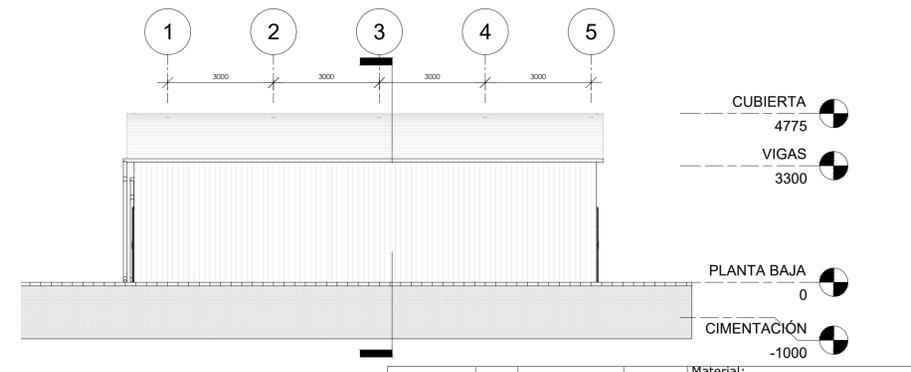
9 FACHADA ESTE  
1 : 100



7 FACHADA NORTE  
1 : 100

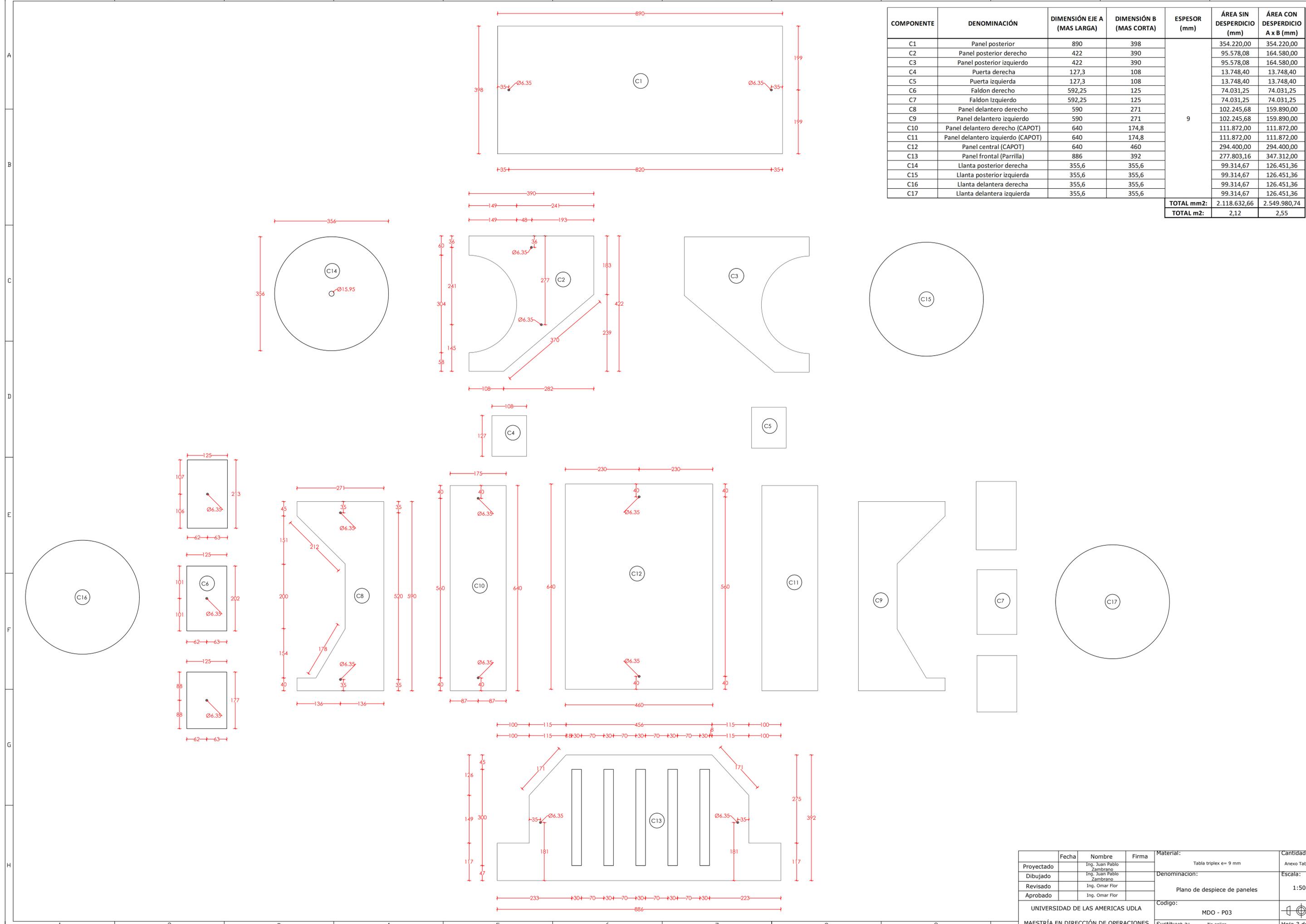


8 FACHADA SUR  
1 : 100



10 FACHADA OESTE  
1 : 100

Proyectado	Fecha	Nombre	Firma	Material:	Cantidad:
Dibujado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Perfiles en acero A36	Anexo Tabla 1
Revisado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Hormigón armado Fc= 210 Kg/cm2	Escala:
Aprobado		Ing. Omar Flor		Plantas, cortes y fachadas	1:100
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS UDLA				Código:	
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES				MDO - A01	
				Sustituye a:	No aplica

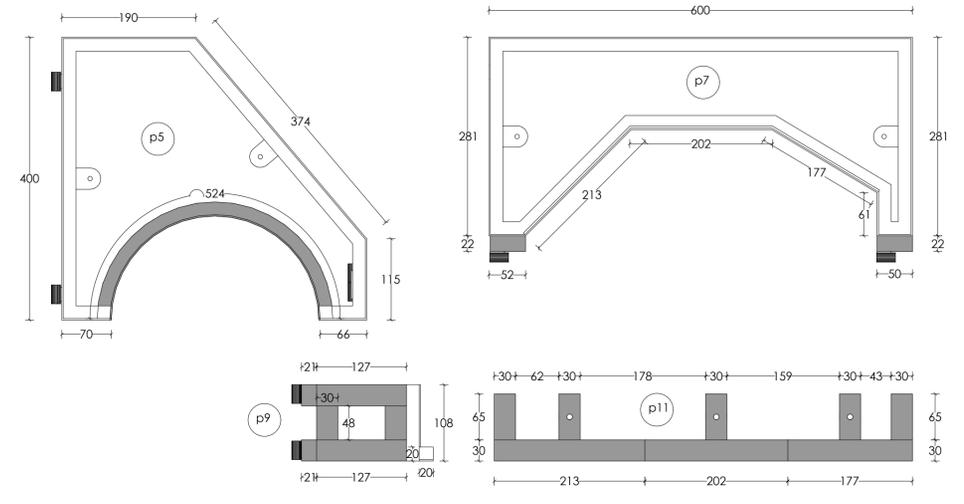
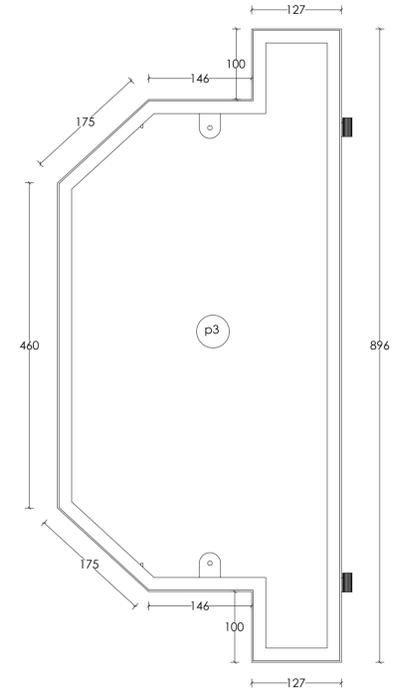
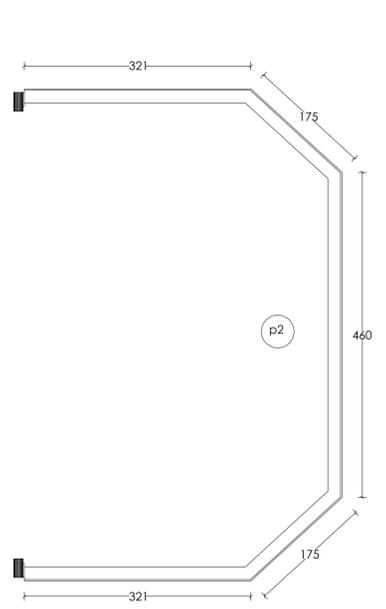
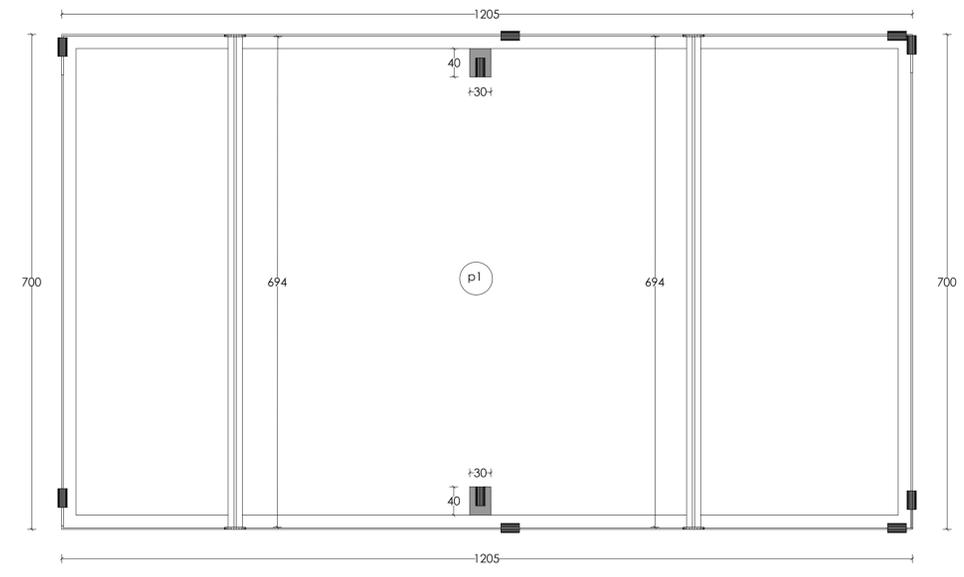
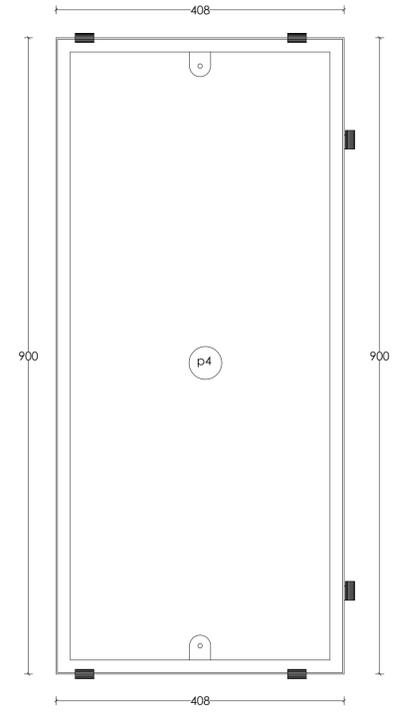
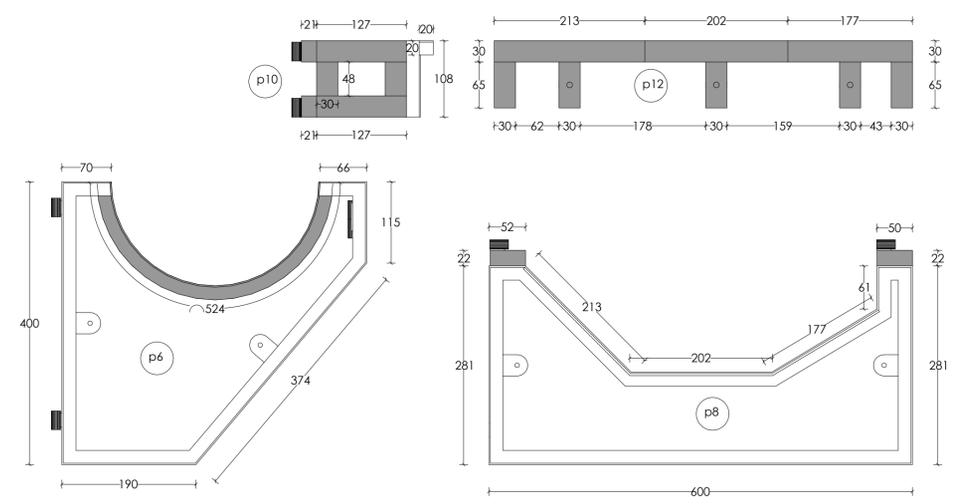


COMPONENTE	DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN EJE A (MAS LARGA)	DIMENSIÓN B (MAS CORTA)	ESPESOR (mm)	ÁREA SIN DESPERDICIO (mm)	ÁREA CON DESPERDICIO A x B (mm)
C1	Panel posterior	890	398	9	354.220,00	354.220,00
C2	Panel posterior derecho	422	390		95.578,08	164.580,00
C3	Panel posterior izquierdo	422	390		95.578,08	164.580,00
C4	Puerta derecha	127,3	108		13.748,40	13.748,40
C5	Puerta izquierda	127,3	108		13.748,40	13.748,40
C6	Faldon derecho	592,25	125		74.031,25	74.031,25
C7	Faldon izquierdo	592,25	125		74.031,25	74.031,25
C8	Panel delantero derecho	590	271		102.245,68	159.890,00
C9	Panel delantero izquierdo	590	271		102.245,68	159.890,00
C10	Panel delantero derecho (CAPOT)	640	174,8		111.872,00	111.872,00
C11	Panel delantero izquierdo (CAPOT)	640	174,8		111.872,00	111.872,00
C12	Panel central (CAPOT)	640	460		294.400,00	294.400,00
C13	Panel frontal (Parrilla)	886	392		277.803,16	347.312,00
C14	Llanta posterior derecha	355,6	355,6		99.314,67	126.451,36
C15	Llanta posterior izquierda	355,6	355,6		99.314,67	126.451,36
C16	Llanta delantera derecha	355,6	355,6		99.314,67	126.451,36
C17	Llanta delantera izquierda	355,6	355,6		99.314,67	126.451,36
<b>TOTAL mm2:</b>					<b>2.118.632,66</b>	<b>2.549.980,74</b>
<b>TOTAL m2:</b>					<b>2,12</b>	<b>2,55</b>

Proyectado	Fecha	Nombre	Firma	Material:	Cantidad:
Dibujado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Tabla triplex e= 9 mm	Anexo Tabla 1
Revisado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Denominacion:	Escala:
Aprobado		Ing. Omar Flor		Plano de despiece de paneles	1:50
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS UDLA				Codigo:	
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES				MDO - P03	
				Sustituye a:	No aplica
					Hoja 3 de 3

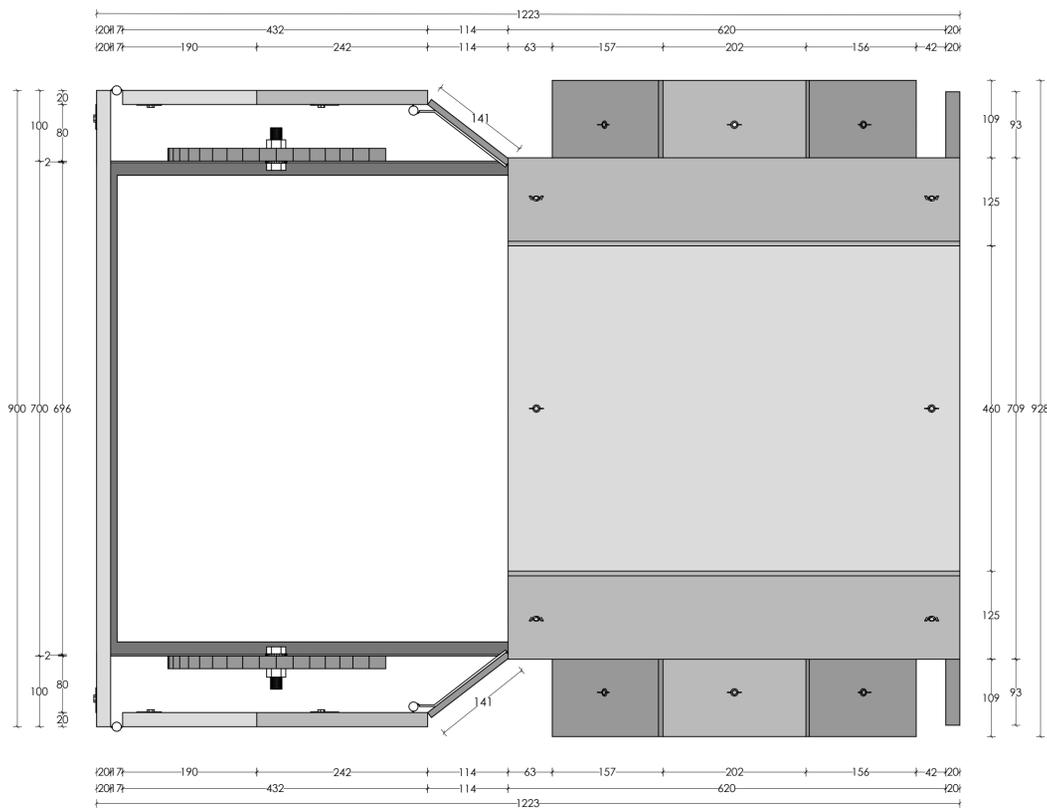
PERFIL	DENOMINACIÓN	TIPO	DIMENSIÓN mm	CANTIDAD DE SOLDADURAS
P1	Bastidor inferior	Perfil L de acero 20x20x2 mm	3.810,00	20
		T de acero 3/4	1.388,00	
		Pletina de acero 30x3 mm	80,00	
P2	Bastidor intermedio	Perfil L de acero 20x20x2 mm	1.452,00	6
P3	Bastidor frontal (Parrilla)	Perfil L de acero 20x20x2 mm	2.452,00	14
P4	Bastidor posterior	Perfil L de acero 20x20x2 mm	2.616,00	12
P5	Panel posterior derecho	Perfil L de acero 20x20x2 mm	1.215,00	12
		Pletina de acero 30x3 mm	542,00	
P6	Panel posterior izquierdo	Perfil L de acero 20x20x2 mm	1.215,00	12
		Pletina de acero 30x3 mm	542,00	
P7	Panel delantero derecho	Perfil L de acero 20x20x2 mm	1.917,00	15
		Pletina de acero 30x3 mm	102,00	
P8	Panel delantero izquierdo	Perfil L de acero 20x20x2 mm	1.917,00	15
		Pletina de acero 30x3 mm	102,00	
P9	Puerta derecha	Perfil L de acero 20x20x2 mm	128,00	10
		Pletina de acero 30x3 mm	392,00	
P10	Puerta izquierda	Perfil L de acero 20x20x2 mm	128,00	10
		Pletina de acero 30x3 mm	392,00	
P11	Faldon derecho	Pletina de acero 30x3 mm	917,00	7
P12	Faldon izquierdo	Pletina de acero 30x3 mm	917,00	7

TOTAL mm	PERFIL L DE ACERO 20x20x2 mm	T DE ACERO 3/4	PLETINA DE ACERO 30x3 mm	CANTIDAD DE SOLDADURAS
	16.850,00	1.388,00	3.986,00	140

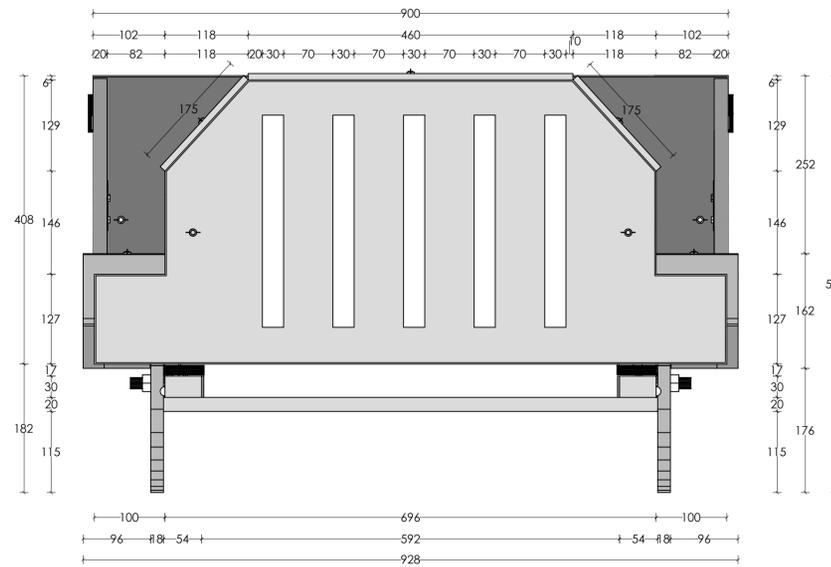


CUADRO DE SIMBOLOGÍA	
	PLETINA DE ACERO 30x3 mm
	PERFIL L DE ACERO 20x20x2 mm

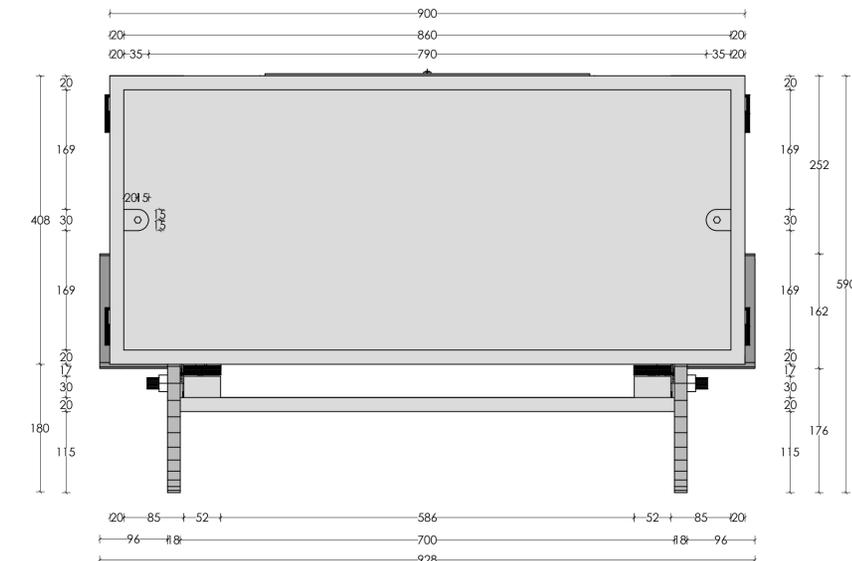
Proyectado	Fecha	Nombre	Firma	Material:	Cantidad:
		Ing. Juan Pablo Zambrano		Perfil L de acero 20x20x2 mm	Anexo Tabla 1
		Ing. Juan Pablo Zambrano		Pletina de acero 30x3 mm	
		Ing. Omar Flor		Denominación:	Escala:
		Ing. Omar Flor		Plano de despiece de perfiles	1:50
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS UDLA				Código:	
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES				MDO - P02	
				Sustituye a:	No aplica
					Hoja 2 de 3



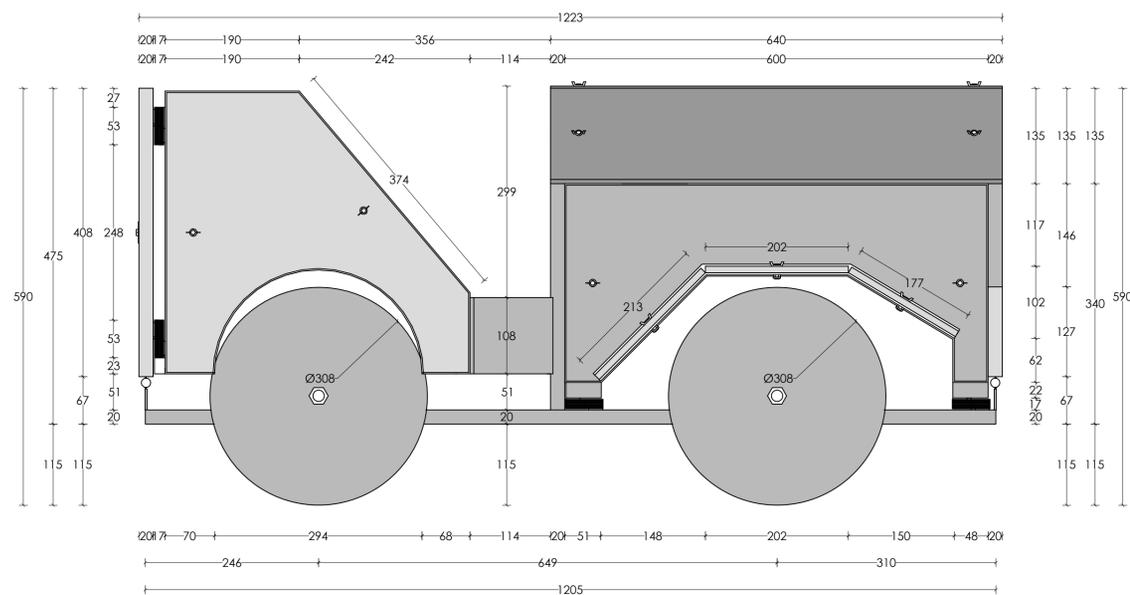
PLANTA



VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR



VISTA LATERAL (DERECHA E IZQUIERDA)



ESTRUCTURA



ISOMETRIA

	Fecha	Nombre	Firma	Material:	Cantidad:
Proyectado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Perfiles L de acero e= 2 mm Tabla triplex e= 9 mm	Anexo Tabla 1
Dibujado		Ing. Juan Pablo Zambrano		Denominación:	Escala:
Revisado		Ing. Omar Flor		Plano de Jeep	1:50
Aprobado		Ing. Omar Flor		Código:	
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS UDLA				MDO - P01	
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES				Sustituye a: No aplica	Hoja 1 de 3

