



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**ROBOT PARA MANEJO DE INVENTARIO Y FACTURACIÓN**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECATRÓNICO**

**JONATHAN FERNANDO CASA MOLINA**

**DIRECTOR: MSc. ANÍBAL MANTILLA**

**QUITO, OCTUBRE, 2015**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015  
Reservados todos los derechos de reproducción

# DECLARACIÓN

Yo JONATHAN FERNANDO CASA MOLINA, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Jonathan Casa

172352757-6

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “Robot para manejo de inventario y facturación”, que, para aspirar al título de Ingeniero Mecatrónico fue desarrollado por Jonathan Casa, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

---

Ing. Aníbal Mantilla, MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

171199612-2

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi madre, ya que gracias a sus consejos, sabiduría y su amor incondicional, alcanzo una meta más en mi vida, ella supo guiarme por el camino correcto y darme ánimos cuando más lo necesitaba.

A mi padre, ya que gracias a él se lo que es correcto y lo que no, porque supo mostrarme con hechos lo que se logra con esfuerzo y dedicación, porque siempre estuvo a mi lado apoyándome y ofreciéndome pautas de cómo afrontar los problemas que se presentan en la vida.

A mis hermanos, que con su amor incondicional llenan de alegría mí día a día, y porque siempre me han extendido su mano cuando lo he necesitado.

A mi sobrino Steven, quien es mi motivación, inspiración y felicidad, ya que con sus travesuras alegra mi vida y la de toda mi familia.

A mi primo Miguel, quien estuvo apoyándome incondicionalmente en cualquier situación que me encuentre.

A mis familiares y amigos, quienes de una manera u otra me brindaron su apoyo para alcanzar esta meta.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por colmarme de bendiciones, y brindarme la oportunidad de alcanzar otro logro más en mi vida.

Un sincero agradecimiento al MSc. Aníbal Mantilla quien brindándome su amistad, tiempo y conocimientos ayudó a realizar este proyecto.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b>	x
<b>ABSTRACT</b>	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	3
2.1.INDUSTRIA TEXTIL MUNDIAL	3
2.1.1. AVANCES TECNOLÓGICOS PARA LA INDUSTRIA TEXTIL	5
2.2.INDUSTRIA TEXTIL ECUADOR	9
2.2.1. HISTORIA Y ACTUALIDAD	9
2.2.2. VOCACIÓN EXPORTADORA	10
2.2.3. FACTORES QUE PERJUDICAN LA PRODUCCIÓN ECUATORIANA	11
2.3.ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS	12
2.3.1. COSTOS ASOCIADOS A LOS INVENTARIOS	13
2.3.2. TIPOS DE INVENTARIOS	14
2.3.3. MÉTODOS DE VALORACIÓN DE INVENTARIOS	16
2.4.PROCESO DE FACTURACIÓN	19
2.4.1. VERIFICAR LA ENTREGA DE MERCADERÍA	20
2.4.2. REVISAR TÉRMINOS Y GENERAR FACTURAS	20
2.4.3. EMITIR FACTURAS	20
2.4.4. ESTABLECER LÍMITES DE TIEMPO	21
2.5.ROBÓTICA	21
2.5.1. HISTORIA Y ACTUALIDAD	21
2.5.2. ARQUITECTURA DE UN ROBOT	25

	<b>PÁGINA</b>
2.5.3. DESARROLLO DE LA ROBÓTICA	32
2.5.4. MECÁNICA DEL ROBOT	37
2.5.5. DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS	39
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>43</b>
3.1. ANÁLISIS DE LA NECESIDAD	44
3.2. ESTABLECIMIENTO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	47
3.3. GENERACIÓN DE MODELOS DE SOLUCIÓN	47
3.3.1. MODELO DE SOLUCIÓN 1	48
3.3.2. MODELO DE SOLUCIÓN 2	49
3.3.3. MODELO DE SOLUCIÓN 3	50
3.4. SELECCIÓN DEL MODELO IDÓNEO Y SU OPTIMIZACIÓN	51
3.4.1. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE SOLUCIÓN	52
3.4.2. SELECCIÓN	52
3.4.3. OPTIMIZACIÓN DEL MODELO IDÓNEO A NIVEL DE COMPONENTES	53
3.5. DISEÑO DETALLADO DEL PROTOTIPO	54
3.5.1. DISEÑO MECÁNICO	54
3.5.2. DISEÑO ELÉCTRICO	72
3.5.3. DISEÑO DEL CONTROL	74
3.5.4. PRUEBAS DEL PROTOTIPO DISEÑADO	81
3.6. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	83
3.6.1. SUBSISTEMA MECÁNICO	83
3.6.2. SUBSISTEMA ELÉCTRICO	86
3.6.3. SUBSISTEMA DE CONTROL	88



	<b>PÁGINA</b>
3.7. PRUEBAS DEL EQUIPO	89
3.7.1. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	89
3.8. RESULTADOS	91
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>95</b>
4.1. ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE RESPUESTA DEL SISTEMA	95
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>99</b>
5.1. CONCLUSIONES	99
5.2. RECOMENDACIONES	101
<b>6. GLOSARIO</b>	<b>102</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>103</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>106</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 2.1.</b> Porcentaje de participación mundial en importaciones y exportaciones de productos textiles.	4
<b>Tabla 2.2.</b> Exportaciones por Bloque Económico Mundial.	5
<b>Tabla 2.3.</b> Articulaciones de pares inferiores.	28
<b>Tabla 3.1.</b> Especificaciones técnicas del sistema.	48
<b>Tabla 3.2.</b> Especificaciones del modelo 3.	53
<b>Tabla 3.3.</b> Resultados de los cálculos del soporte de la Pistola Lectora de Códigos.	57
<b>Tabla 3.4.</b> Resultado de los cálculos de la columna de las catalinas.	61
<b>Tabla 3.5.</b> Resultado de los cálculos del carro móvil.	65
<b>Tabla 3.6.</b> Resultados de los cálculos de la riel del carro móvil.	70
<b>Tabla 3.7.</b> Resultados de los cálculos del soporte de la máquina.	71
<b>Tabla 3.8.</b> Programación del Variador de Frecuencia.	79
<b>Tabla 3.9.</b> Tiempos de respuesta del movimiento vertical en 9 posiciones del sistema.	92
<b>Tabla 3.10.</b> Tiempo de respuesta del movimiento horizontal de avance.	92
<b>Tabla 3.11.</b> Tiempos de respuesta del movimiento vertical en 9 posiciones del sistema.	93
<b>Tabla 3.12.</b> Tiempos de respuesta del movimiento vertical de retorno.	93
<b>Tabla 3.13.</b> Tiempo de respuesta del movimiento horizontal de retorno.	94
<b>Tabla 4.1.</b> Promedios de los tiempos de respuesta del movimiento vertical en segundos.	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.1.</b> Exportación de Bienes Textiles por Bloque Económico Valores FOB..	6
<b>Figura 2.2.</b> Inventario Operativo.	16
<b>Figura 2.3.</b> Inventario de Seguridad..	16
<b>Figura 2.4.</b> F.I.F.O.	17
<b>Figura 2.5.</b> L.I.F.O.	18
<b>Figura 2.6.</b> Costo Promedio Ponderado..	19
<b>Figura 2.7.</b> Robótica - Gallo de Estrasburgo.	22
<b>Figura 2.8.</b> Robótica - Muñeca dibujante de Henry Maillardert.	23
<b>Figura 2.9.</b> Evolución del Robot ASIMO.	24
<b>Figura 2.10.</b> Articulación revoluta.	25
<b>Figura 2.11.</b> Articulación prismática.	26
<b>Figura 2.12.</b> Articulación helicoidal.	26
<b>Figura 2.13.</b> Articulación cilíndrica.	27
<b>Figura 2.14.</b> Articulación esférica.	27
<b>Figura 2.15.</b> Articulación planar.	28
<b>Figura 2.16.</b> Cadena cinemática cerrada.	29
<b>Figura 2.17.</b> Seis DOF.	30
<b>Figura 2.18.</b> Sistema del actuador.	30
<b>Figura 2.19.</b> Robot de soldadura automotriz.	34
<b>Figura 2.20.</b> Robot móvil para transportar partes de vehículos.	35
<b>Figura 2.21.</b> Robot tipo androide NAO.	36
<b>Figura 2.22.</b> Libélula robótica.	36
<b>Figura 2.23.</b> Robot Híbrido.	37

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 2.24.</b> Deformación por par de torsión en ejes.	40
<b>Figura 2.25.</b> Viga simplemente apoyada	41
<b>Figura 3.1.</b> Metodología mecatrónica.	44
<b>Figura 3.2.</b> Flujograma del proceso de atención al cliente en la empresa Casatex.	45
<b>Figura 3.3.</b> Flujograma del proceso de facturación en la empresa Casatex.	46
<b>Figura 3.4.</b> Modelo de solución 1.	49
<b>Figura 3.5.</b> Modelo de solución 2.	50
<b>Figura 3.6.</b> Modelo de solución 3.	51
<b>Figura 3.7.</b> Diagrama de esfuerzos del soporte de la pistola lectora de códigos.	55
<b>Figura 3.8.</b> Dimensiones para el momento de inercia.	57
<b>Figura 3.9.</b> Soporte de la pistola lectora de códigos.	57
<b>Figura 3.10.</b> Eje de las catalinas sometido a un par de torsión.	58
<b>Figura 3.11.</b> Diseño de las catalinas.	59
<b>Figura 3.12.</b> Columna de las catalinas.	61
<b>Figura 3.13.</b> Fuerzas en el carro móvil.	62
<b>Figura 3.14.</b> Diagrama de esfuerzos del carro móvil.	65
<b>Figura 3.15.</b> Vista explosionada del carro móvil.	65
<b>Figura 3.16.</b> Eje del carro móvil sometido a un par de torsión.	66
<b>Figura 3.17.</b> Diagrama de esfuerzos de la riel del caro móvil.	69
<b>Figura 3.18.</b> Riel carro móvil.	70
<b>Figura 3.19.</b> Soporte de la máquina.	71
<b>Figura 3.20.</b> Elementos periféricos al variador de frecuencia.	72
<b>Figura 3.21.</b> Alimentación sistema electrónico.	73

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 3.22.</b> Distribución gabinete metálico.	74
<b>Figura 3.23.</b> Esquema de conexión de los elementos de control.	75
<b>Figura 3.24.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 1 columna.	76
<b>Figura 3.25.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 2 columnas.	76
<b>Figura 3.26.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 3 columnas.	77
<b>Figura 3.27.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 4 columnas.	77
<b>Figura 3.28.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 5 columnas.	78
<b>Figura 3.29.</b> Variador de Frecuencia KE300-0R4G-S2.	79
<b>Figura 3.30.</b> Simulación placa entradas de control.	80
<b>Figura 3.31.</b> Simulación placa relés.	81
<b>Figura 3.32.</b> Pruebas en protoboard.	82
<b>Figura 3.33.</b> Pruebas en protoboard relés.	83
<b>Figura 3.34.</b> Soporte pistola lectora de códigos.	84
<b>Figura 3.35.</b> Viga de las catalinas.	84
<b>Figura 3.36.</b> Carro móvil.	84
<b>Figura 3.37.</b> Riel carro móvil.	85
<b>Figura 3.38.</b> Ejes del carro móvil y de las catalinas.	85
<b>Figura 3.39.</b> Subsistema mecánico completo.	86
<b>Figura 3.40.</b> Fuentes 5V y 12V.	86
<b>Figura 3.41.</b> Breaker 220V Schneider.	87
<b>Figura 3.42.</b> Contactor 220V Schneider.	87

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 3.43.</b> Subsistema eléctrico completo.	87
<b>Figura 3.44.</b> Placa de entradas de control.	88
<b>Figura 3.45.</b> Placa relés.	88
<b>Figura 3.46.</b> Subsistema de control completo.	89
<b>Figura 3.47.</b> Pruebas 1 del funcionamiento de la máquina.	90
<b>Figura 3.48.</b> Prueba 2 del funcionamiento de la máquina.	90
<b>Figura 3.49.</b> Avance de la maquina dependiendo la cantidad de columnas.	91
<b>Figura 3.50.</b> Retorno de la maquina a su posición inicial.	94
<b>Figura 4.1.</b> Promedio total de la respuesta en el tiempo del sistema.	96
<b>Figura 4.2.</b> Etiqueta de la empresa Casatex.	96

# ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1</b>	<b>PÁGINA</b>
PLANOS DISEÑO MECÁNICO	106

## RESUMEN

Este proyecto se basa en la necesidad de la empresa Casatex de automatizar su proceso de facturación, ya que este proceso es el cuello de botella de la empresa, por este motivo el robot para manejo de inventario y facturación agilizará y facilitará este proceso, ayudando a que el talento humano pueda optimizar sus tareas y así brindar a una mejor atención al cliente; ya que la industria textil en la provincia de Imbabura es una de las principales fuentes de ingreso económico.

El presente proyecto se desarrolló con una metodología mecatrónica acorde a las necesidades especificadas, ya que la máquina debe cumplir con ciertos parámetros, como son recorridos de funcionamiento, y por ende el espacio físico que ocupe dentro de la empresa, además del tiempo de desplazamiento, y la exactitud de su posicionamiento, para que así sea capaz de proporcionar una correcta lectura de los códigos de barras impresos en las etiquetas de la empresa.

El sistema tuvo la capacidad de adquirir los códigos mencionados anteriormente de una manera eficiente, ya que los tiempos necesarios para que la máquina agilice el proceso de facturación tienen que ajustarse en un rango de 2 a 3 segundos y la máquina lo realiza en 2.23 segundos de tiempo promedio. Se utiliza la programación conjunta de la plataforma Arduino y de los variadores de frecuencia marca Micno, para la movilidad de los motores trifásicos, para que estos a su vez posicionen el soporte de la base de la pistola lectora de códigos en los lugares necesitados, y así realizar las lecturas de los códigos de barras. El tamaño de la máquina es de 3400mm de forma horizontal, 3468mm de manera vertical y un ancho de 694mm, que encajan perfectamente en el espacio destinado para la facturación en la empresa Casatex, sin entorpecer el trabajo del personal de facturación ni el paso de los clientes.



## **ABSTRACT**

This project is based on business necessity Casatex of automating their billing process, because this process is the bottleneck of the company, for this reason the robot to inventory management and billing expedite and facilitate this process, helping that the human talent to optimize their tasks and so provide better customer service. Since the textile industry in the province of Imbabura is one of the main sources of income.

This project was developed with a mechatronic methodology according to the specified requirements, since the machine must meet certain parameters, such as maximum length of operation, and therefore the physical space they occupy within the company, in addition to time displacement, and the accuracy of its positioning, so that it is able to provide a correct reading of the bar codes printed on the labels of the company.

The system was able to acquire the above data in an efficient manner, since the time required for the machine facilitates the billing process must be set in a range of 2-3 seconds and the machine is done in 2.23 seconds average time. Used joint programming of the Arduino platform and brand Micno inverters for mobility three phase motors, so that they in turn positioned the support base code reader gun in needy places, and so take readings of bar codes. The size of the machine is 3400mm horizontally, vertically 3468mm and a width of 694mm, which fit perfectly in the space provided on the company billing Casatex, without hindering the work of staff and billing over the customers.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Este proyecto se basa en la necesidad de la empresa Casatex de automatizar su proceso de facturación ya que este es el punto donde el cliente se demora más tiempo ya que las personas a cargo de la facturación no se abastecen para la cantidad de clientes en espera; por este motivo el robot para manejo de inventario y facturación agilizará y facilitará este proceso, ayudando así a una mejor atención al cliente, ya que este no deberá esperar mucho tiempo antes de que su material se encuentre listo para que lo pueda transportar hasta su lugar de trabajo para ser convertido en artesanía en la ciudad de Otavalo, Atuntaqui o Ibarra.

He aquí el inconveniente no solo en esta empresa sino en muchas otras que es la facturación, este proceso suele ser llevado a cabo por personal calificado, pero por lo general es el lugar en el que el cliente necesita mayor eficiencia al momento de su atención, y no cumplen con sus expectativas, ya que el tiempo que demore la facturación dependerá de cuantas personas están delante de esa persona en la fila, dependerá también de la capacidad del personal que se encuentra en ese punto para la atención del cliente, así mismo dependerá de los métodos utilizados para la facturación como son simplemente una calculadora, un esfero y la hoja de la factura, o del grado de automatización del proceso de facturación.

Por ese motivo la idea de crear el “robot para manejo de inventario y facturación”, ya que este será autónomo al momento de leer códigos, de movilizarse a los diferentes puntos en donde se encuentre el material o los artículos a ser facturados, con los que ahorraría mucho tiempo a la persona a cargo de la facturación ya que simplemente tendría que ingresar los datos del cliente e imprimir la factura.

Los objetivos de este trabajo de titulación son los siguientes:

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un autómata para la adquisición de datos de las etiquetas de los productos en el lugar de facturación de la empresa Casatex.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar un sistema de movimiento autónomo dentro de las instalaciones de la empresa Casatex.
- Diseñar el sistema de adquisición de códigos de las etiquetas de los productos.
- Diseñar la interface de transmisión de datos del robot al ordenador.
- Sistematizar el proceso de obtención de datos de la información adquirida.

## **2. MARCO TEÓRICO**

A continuación se presenta la industria textil de una manera global, para luego ser observada a nivel de país.

## **2.1. INDUSTRIA TEXTIL MUNDIAL**

La industria textil es el sector industrial de la economía en el cual se producen fibras naturales y sintéticas, además de hilados, telas y productos que tengan una relación directa en lo que se refiere a la confección de ropa. Aunque desde un punto de vista distinto, desde el punto de vista técnico es un sector diferente en el cual se suele incluir a la industria del calzado como parte de la industria textil. (A. Lee Ivester y John D. Neefus, 2013)

Al momento de analizar la industria textil y de la confección no se puede inferir a un sector sin que este tenga que estar asociado al otro; del total de la tela (materia prima) que se genera en el mundo, aproximadamente la mitad de la producción se encuentra destinada a la industria de la confección y el resto hacia los productos industriales y para el hogar. (Alvarado y Viera, 2002)

Los textiles: fibras, hilos, telas y ropa, son productos de consumo masivo razón por la que la industria textil y de la confección genera gran cantidad de empleos directos e indirectos, tiene un peso importante en la economía mundial y una fuerte incidencia en el empleo y la tasa de desempleo en los países donde se instala. (A. Lee Ivester y John D. Neefus, 2013)

La industria textil constituye una fuente de ingresos y de empleo muy importante para muchos países, en particular si son países en desarrollo. Este tipo de industria en el año 2013 representó el 1.7% del comercio total de mercancías y el 2.6% del comercio total de manufacturas. (Angulo Luna, 2010)

Asia es la región que mayor relevancia posee, ya que sus exportaciones textiles representan el 3.7% de las exportaciones totales de mercancías y el 4.5% de las exportaciones totales de manufacturas de la región. En cuanto

a importaciones la región con un mayor porcentaje es África con un 3.4% del comercio total de mercancías y un 5.5% del comercio total de manufacturas, como se muestra en las Tabla 2.1., Tabla 2.2. y la Figura 1.1. (Angulo Luna, 2010)

**Tabla 2.1.** Porcentaje de participación mundial en importaciones y exportaciones de productos textiles.

<b>Rubros en porcentajes de la participación del mercado textil mundial.</b>	<b>Exportaciones %</b>	<b>Importaciones %</b>
<b>Parte en el comercio total de mercancías</b>		
<b>Mundo</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>
América del Norte	0.8	1.3
América del Sur y Central	0.5	2.3
Europa	1.3	1.4
Comunidad de Estados Independientes (CEI)	0.6	2.4
África	0.6	3.4
Oriente Medio	0.5	2.2
Asia	3.2	1.8
Australia, Japón y Nueva Zelanda	0.7	1.3
Otros países de Asia	3.7	1.9
<b>Parte en el comercio total de manufacturas</b>		
<b>Mundo</b>	<b>2.6</b>	<b>2.6</b>
América del Norte	1.1	1.8
América del Sur y Central	2.1	3.4
Europa	1.8	2.2
Comunidad de Estados Independientes (CEI)	2.6	3.2
África	3.0	5.5
Oriente Medio	2.5	3.2
Asia	4.0	3.0
Australia, Japón y Nueva Zelanda	1.1	2.2
Otros países de Asia	4.5	3.2

**Fuente:** Matriz de la Secretaría para el comercio mundial de mercancías por productos y regiones.

**Tabla 2.2.** Exportaciones por Bloque Económico Mundial.

BLOQUES ECONÓMICOS	IMPORTACIONES	
	Diciembre 2013	
	Toneladas	Miles de dólares
CAFTA-DR	147,406	1.237,509
CHILE	715,551	5.086,839
CHINA	34,634	48,826
COMUNIDAD ANDINA	20.911,563	91.218,689
ESTADOS UNIDOS	603,008	6.139,837
MERCOSUR	4.958,652	23.665,940
OTROS	1.311,905	5.367,444
PANAMA	306,414	2.312,405
RESTO ASIA	4.370,857	6.682,479
RESTO NAFTA	139,189	2.831,173
UNIÓN EUROPEA	5.693,782	12.704,841
Total General	39.192,961	157.285,982

Fuente: Banco Central del Ecuador

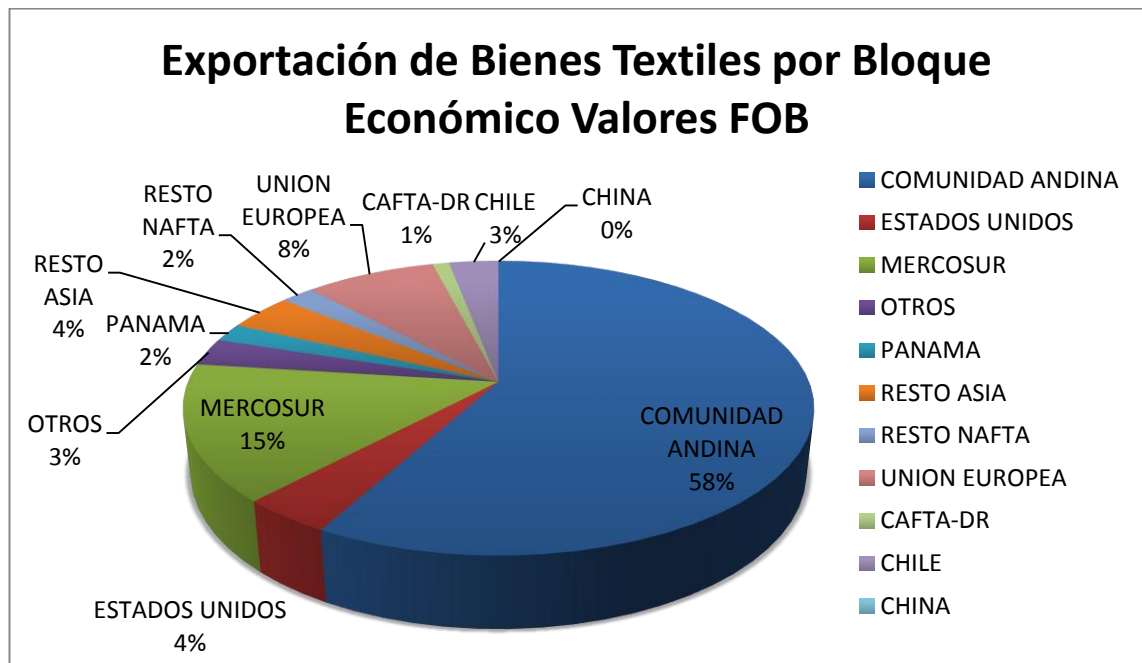
### **2.1.1. AVANCES TECNOLÓGICOS PARA LA INDUSTRIA TEXTIL**

En la actualidad la industria textil experimenta una evolución un tanto dramática, la cual se produce por varios factores entre los cuales se puede tener en cuenta al cambio en la demanda de productos textiles, y esto se da por efectos de la moda; he aquí la influencia de la Organización Mundial de Comercio. (Angulo Luna, 2010)

El traslado de las inversiones existentes de un país a otro y la presión cada vez más fuerte asegura la rentabilidad de este tipo de industria. En



consecuencia, las exigencias de los clientes van en aumento para lo cual mejorar el servicio y las soluciones hechas debe avanzar de la mano. (Angulo Luna, 2010)



**Figura 1.1.** Exportación de Bienes Textiles por Bloque Económico Valores FOB.

**Fuente:** AITE 2013

Según (Angulo Luna, 2010) en tal sentido, las mejoras tecnológicas tienden a orientarse hacia los siguientes puntos:

#### Tecnologías de Información:

- CAD/CAM
- Administrar y manejo de datos
- E-commerce/EDI

#### Producción

- Pequeños lotes de producción
- Integrar los procesos de producción para reducir el lead time total
- Flexibilizar para producir gran cantidad de productos
- Mejorar de la calidad y reducción del ratio de defectos

- Mejorar la retroalimentación de los procesos para minimizar los desechos
- Mejora tecnológica de maquinarias
- Adaptabilidad del plan de producción que permita realizar cambios a última hora.

#### Conservación del medio ambiente

- Tratar las aguas
- Evaluar del impacto medioambiental a lo largo del proceso
- La eliminación de productos textiles al final de su ciclo de vida
- Desarrollo de productos verdes

#### **2.1.1.1. Maquinarias Textiles**

Las compañías italianas en cuanto a este campo se han destacado sobre la competencia ofreciendo maquinaria y equipos de gran calidad y producción, las cuales se va a nombrar a continuación. (Angulo Luna, 2010)

- Tejeduría plana

De este tipo existen cuatro sistemas de tejeduría que se destacan y son: telares tipo pinza, de proyectil, a chorro de aire y con inserción de trama multifásica. Además de la tecnología multifásica, todavía en evolución, no se puede olvidar la tejeduría convencional con telares de lanzadera, los cuales aún se fabrican para tejedores en algunos países en desarrollo o para mercados especiales. (Angulo Luna, 2010)

- Tejeduría de punto

Para este tipo de maquinaria existen todos los niveles técnicos, tanto en máquinas circulares como rectilíneas. El consumo global a hecho que este tipo de maquinaria sea más utilizada que las maquinarias de tejeduría plana, la aplicación de electrónica avanzada ha llevado a la producción y desarrollo

de unidades altamente sofisticadas y productivas, que al igual que en las de tejeduría plana se construyen todavía máquinas convencionales para clientes de países en desarrollo. (Angulo Luna, 2010)

#### **2.1.1.2. Desarrollo de las Fibras Textiles**

El desarrollo de textiles con capacidades bactericidas es una realidad no muy lejana; así también lo es, el desarrollo de textiles inteligentes que gracias a su interfaz permitirán un rango muy amplio de aplicaciones con micro sistemas. (Angulo Luna, 2010)

- Telas bactericidas

Desde hace varios años, el laboratorio del Institut Textile et Chimique de Lyon (ITECH) está trabajando en la creación de textiles funcionales para la fijación de moléculas biosidas en fibras; estos trabajos ayudan en una potencial valorización de las fibras textiles en las aplicaciones tanto de ropa deportiva como en ropa para hospitales. (Angulo Luna, 2010)

- Textiles inteligentes

Se les da este nombre a los textiles que tienen cualidades en cuanto a su fabricación que le permite interactuar con su entorno, aquí sus campos de acción más importantes:

##### *Aislamiento térmico*

La cantidad de calor que produce una persona depende de la actividad física y puede variar de 100W en un estado de reposo a 1000W durante su máxima actividad física. (Angulo Luna, 2010)

Para mantener el incremento de temperatura corporal dentro de ciertos límites, el cuerpo transpira eliminando energía. Si el aislamiento térmico de la ropa se reduce durante la actividad física, una parte de la producción de

calor sufrirá una disminución notable y por consiguiente el cuerpo no requerirá transpirar mucho y en este caso el deportista no perderá mucha energía en comparación a cuando usa ropa hecha de otro tipo de materiales. (Angulo Luna, 2010)

### *Moda*

Con este tipo de materiales es posible fabricar ropa que cambie de color dependiendo de la cantidad de luz que reciba o dependiendo si esta húmeda o seca para el caso de los trajes de baño. (Angulo Luna, 2010)

En conclusión, la integración de la tecnología dentro de la ropa dará un nuevo inicio a la era de la moda industrial, con lo cual todo tendrá que cambiar, desde la forma de crear la materia prima de las prendas, hasta la forma en que tengan que ser tratadas por las personas y por las máquinas al momento de su confección. (Angulo Luna, 2010)

## **2.2. INDUSTRIA TEXTIL ECUADOR**

Ecuador en comparación con otros países de la región no aparece como productor de textiles a gran escala, se llega a exportar una gama limitada de productos que sirven de materia prima en la producción de textiles y prendas de vestir. (Ing. Jose Luis Bravo Carpio y CPA. Karina Elizabeth Cuzme Ortega, 2012)

Esta es la razón por la cual el empresario ecuatoriano se siente motivado a una constante modernización que deriva en un crecimiento constante en cuanto a la cantidad de venta y distribución en el país de sus productos. (Ing. Jose Luis Bravo Carpio y CPA. Karina Elizabeth Cuzme Ortega, 2012)

### **2.2.1. HISTORIA Y ACTUALIDAD**

Los inicios de la industria textil ecuatoriana surgen desde la época de la colonia, donde la lana de oveja era la materia prima con la cual se fabricaban los tejidos. (AITE, 2014)

Posteriormente en la década de 1950 se afianza la utilización del algodón. Hoy en día, la industria textil ecuatoriana fabrica productos usando todo tipo de fibras, siendo las más utilizadas el poliéster, la seda, la lana, los acrílicos, el algodón y el nylon. (AITE, 2014)

En el recorrido del tiempo las empresas dedicadas a la actividad textil ubicaron sus instalaciones a lo largo de diferentes ciudades del país. Pero, se puede afirmar que las provincias con mayor número de este tipo de industrias son: Imbabura, Azuay, Pichincha, Guayas y Tungurahua. (AITE, 2014)

El incremento de la industria textil ha permitido una diversificación en este sector, lo cual ha dado paso a la producción de un sin número de productos textiles en el Ecuador, siendo los tejidos y los hilados los principales en cuanto a volumen de producción. Así mismo, cada vez es mayor la producción de confecciones textiles en cuanto a prendas de vestir y manufacturas para el hogar. (AITE, 2014)

El sector textil es el segundo sector manufacturero en cuanto a generar plazas de trabajo, después del sector de alimentos, bebidas y tabacos. Según estimaciones hechas por la Asociación de Industriales Textiles del Ecuador – AITE, alrededor de 50.000 personas laboran directamente y más de 200.000 lo hacen indirectamente en empresas textiles. (AITE, 2014)

### **2.2.2. VOCACIÓN EXPORTADORA**

A partir de la década de los 90, las exportaciones textiles fueron incrementándose, salvo por unas caídas en los años 1998 y 1999. En general, las empresas textiles ecuatorianas concentraron la mayor parte de sus ventas al mercado local, aunque siempre han tenido una vocación exportadora. (AITE, 2014)

En el año 2000, momento en el cual Ecuador adoptó la dolarización, se produce un incremento de las exportaciones en un 8.14% con relación a las del año anterior, lo que marca una tendencia que empezó a ser normal durante este nuevo milenio; únicamente en el 2002 surge una disminución en las exportaciones textiles que rápidamente fueron recuperadas en los siguientes dos años, llegando a exportar 90 millones de dólares en el 2004 siendo el pico más alto de los últimos 10 años (1997 – 82 millones de dólares). (AITE, 2014)

Los industriales textiles conscientes del desarrollo del sector y que este está directamente relacionado con las exportaciones, han invertido en la adquisición de nueva maquinaria que les permita ser más competitivos frente a una economía globalizada. Así mismo, las empresas invierten en programas de capacitación para su personal de planta, con el afán de incrementar los niveles de eficiencia y productividad. (AITE, 2014)

Uno de los requerimientos de la industria es que el costo país disminuya hasta llegar al menos a los niveles de la región, especialmente en lo que respecta al costo laboral, energía eléctrica, tarifas de telecomunicaciones y fletes de transporte de carga, que son algunos de los principales rubros que afectan los costos de producción de la industria textil. (AITE, 2014)

Otro factor fundamental para seguir creciendo la participación en el mercado externo, es que el Gobierno Nacional negocie acuerdos comerciales con países que demanden nuestra producción y que oferten la materia prima que requerimos. Entre los países o bloques económicos más importantes comercialmente hablando se encuentran Estados Unidos, la Unión Europea, Venezuela, México, Canadá y Centroamérica. (AITE, 2014)

### **2.2.3. FACTORES QUE PERJUDICAN LA PRODUCCIÓN ECUATORIANA**

Según un estudio realizado por la AITE, el contrabando textil fluctúa entre 150 y 200 millones de dólares al año, sin considerar lo que se introduce

ilegalmente por las fronteras con Perú y Colombia, de cuyos ingresos no existe registro alguno. Una modalidad utilizada con mucha frecuencia para cometer este acto ilegal es la subfacturación de importaciones, así como la falsa clasificación arancelaria de las mismas. (AITE, 2014)

Este tipo de negocio fue alentado históricamente por la ineficiencia y corrupción existente en la Aduana del país, y por la falta o por la inexistente vigilancia en los mercados. (AITE, 2014)

En la actualidad se aplica el llamado vigilancia de mercados, que es la forma moderna y más efectiva de verificar el cumplimiento de la Ley aduanera y tributaria por parte de los agentes económicos, es decir, de quienes fabrican o comercian productos. Otra de las normas obligatorias cuyo cumplimiento puede ser verificado con esta vigilancia es el Reglamento de Etiquetado y Rotulado Textil (RTE INEN 013:2006). (AITE, 2014)

### **2.3. ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS**

La administración de un inventario es un punto decisivo en el manejo estratégico de toda empresa u organización. Las tareas correspondientes a la administración de un inventario se relacionan con la determinación de los métodos de registro, de los puntos de rotación, las formas de clasificación y el modelo de reinventario determinado por sus métodos de control. (Bastidas Bonilla, 2014)

Los objetivos fundamentales de gestionar inventarios son:

- Asegurar la disponibilidad de existencias de un producto determinado, materia prima, insumos, etc. en el momento justo
- Reducir al mínimo posible los niveles de existencias

### **2.3.1. COSTOS ASOCIADOS A LOS INVENTARIOS**

Todo inventario posee un costo asociado al mismo, los costos asociados al proceso de sostener un inventario se diferencian según la naturaleza de cada organización y consisten en:

#### **2.3.1.1. Costo de Ordenar**

- Para la actividad productiva (fabricación o ensamblaje): consiste en los costos asociados a los procesos de producción, además del proceso logístico de transmisión de órdenes. (Bastidas Bonilla, 2014)
- Para la actividad comercial: consiste en el proceso de manifestar una orden de pedido ya sea por medio de llamadas telefónicas u otro medio, además de los gastos por preparación de formatos, gastos administrativos de papeleo. (Bastidas Bonilla, 2014)

#### **2.3.1.2. Costo de Sostentamiento de Inventario**

Los costos asociados al mantenimiento de un inventario se ven determinados mayormente por la estancia del promedio de unidades logísticas en un lugar determinado en función del tiempo, puesto que cada unidad representa un costo de manipulación en todos los procesos, siendo estos procesos: de recepción, almacenamiento, inspección y despacho. (Bastidas Bonilla, 2014)

Otro factor que incide en este importe es el costo de oportunidad, el cual tiene relación con la inversión ejecutada en la operación de los inventarios y que irrefutablemente ocasiona que la organización excluya el valor de dicha inversión para otro tipo de adquisición que genere también valor agregado. Un factor no menos importante es el riesgo, este factor agrupa varios tipos



de importes como son: los costos de obsolescencia, costos de averías y costos de traslados. (Bastidas Bonilla, 2014)

### **2.3.1.3. Costo de Quiebre de Stock (Costo de Inexistencias)**

El costo de quiebre de stock funciona en relación a cada unidad en inventario que permite el proceso de partida, en la búsqueda de un equilibrio entre costos de operación de inventario. Dentro de este grupo de costos se incluye a todo lo lógico de un proceso de pérdida de ventas e incumplimiento de contratos, que redundan en tres grupos básicos:

- Pérdida de ingresos por ventas
- Gastos generados por incumplimiento de contratos
- Sustitución de pedidos

Sin embargo identificar de manera cuantitativa el costo total por quiebre de stock es una tarea compleja, dado que una necesidad insatisfecha puede recaer en la pérdida de un cliente y pérdida de credibilidad de la organización, factores difícilmente cuantificables y que solo mediante un sistema de gestión de calidad se podría lograr óptimas aproximaciones aunque igualmente relativo. (Bastidas Bonilla, 2014)

### **2.3.2. TIPOS DE INVENTARIOS**

Varían ampliamente entre los distintos grupos de industrias. La composición de esta parte del activo es una gran variedad de artículos, y es por eso que se han clasificado de acuerdo a su utilización en los siguientes tipos:

#### **2.3.2.1. Según su Nivel de Terminación**

Los inventarios se pueden catalogar según su grado de terminación en:

- Inventarios de Materias Primas: comprende los elementos básicos que entran en la elaboración del producto.
- Inventarios de Insumos y Materiales (Materias primas de segundo orden): sus especificaciones varían según el tipo de industria.
- Inventarios de Productos en Proceso: consiste en todos los artículos o elementos que se utilizan en el actual proceso de producción.
- Inventarios de Productos Terminados: son los artículos transferidos por el departamento de producción al almacén de productos terminados. (Bastidas Bonilla, 2014)

### **2.3.2.2. Según su Localización Respecto a las Instalaciones de la Empresa**

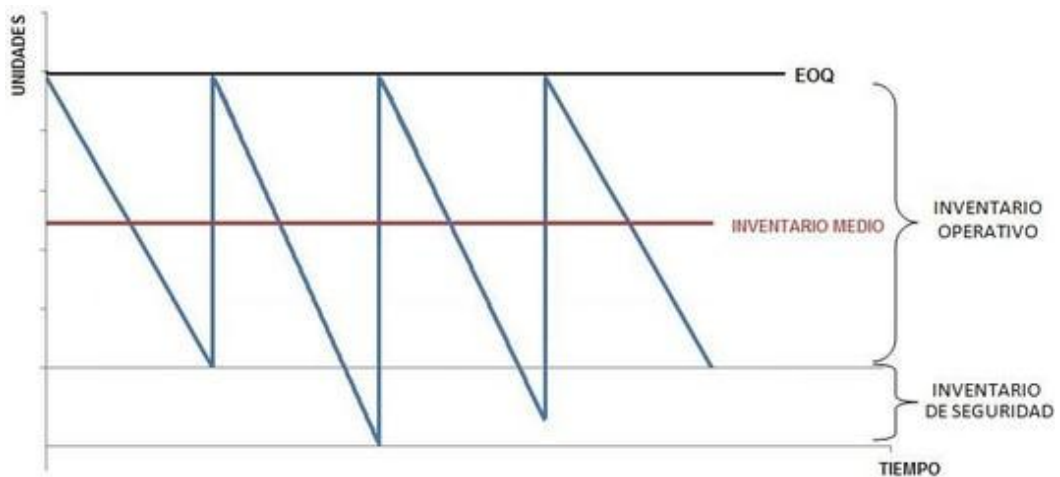
- Inventario en tránsito: aquellas unidades pertenecientes a la empresa, y que no se encuentran en sus instalaciones físicas.
- Inventario en planta: son todas las unidades bajo custodia de la empresa y que se encuentran en sus instalaciones físicas. (Bastidas Bonilla, 2014)

### **2.3.2.3. Según su Función**

- Inventario Operativo: es el conjunto de unidades que surgen del reabastecimiento de las unidades que son vendidas o utilizadas en la producción, tal como se muestra en la Figura 2.2.
- Inventario de Seguridad: es aquel inventario del cual se dispone para replicar a las posibles fluctuaciones de la demanda y los atrasos que puedan presentarse en los procesos de reabastecimiento por parte de los proveedores, como se muestra en la Figura 2.3. (Bastidas Bonilla, 2014)



**Figura 2.2.** Inventario Operativo.  
**Fuente:** Ingeniería Industrial Online



**Figura 2.3.** Inventario de Seguridad.  
**Fuente:** Ingeniería Industrial Online

### 2.3.3. MÉTODOS DE VALORACIÓN DE INVENTARIOS

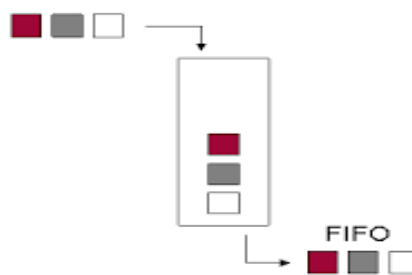
Los métodos de valoración de inventarios son técnicas usadas con el propósito de seleccionar y dar una base específica de valor monetario a los inventarios. La valoración de inventarios es un proceso vital cuando los valores unitarios de adquisición varían entre uno y otro producto. (Bastidas Bonilla, 2014)

Existen varias técnicas para cumplir con este objetivo, sin embargo las más utilizadas a nivel organizacional dada su utilidad son:

- Costo promedio constante
- Primeros en Entrar Primeros en Salir
- Últimos en entrar Primeros en Salir
- Identificación Específica

### 2.3.3.1. Primeros en Entrar Primeros en Salir

Por lo general se lo conoce como FIFO por sus siglas en inglés (First In, First Out), este método se basa en la interpretación lógica del movimiento de las unidades en el inventario, por esta razón el costo de las últimas compras es el costo de las existencias, en el mismo orden en el que ingresaron al almacén, tal como se muestra en Figura 2.4.



**Figura 2.4.** F.I.F.O.

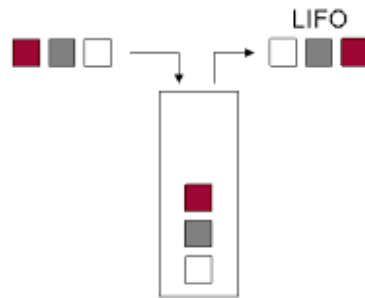
**Fuente:** Ingeniería Industrial Online

La ventaja de este tipo de técnica radica en que los inventarios están valorados con los costos más recientes, dado que los costos más antiguos son los que conforman a los primeros costos de ventas. (Bastidas Bonilla, 2014)

### 2.3.3.2. Últimos en Entrar Primeros en Salir

En la mayoría de casos conocido como LIFO que significa en inglés (Last In, First Out), de manera contraria al anterior método este se basa en que los

últimos artículos en entrar en inventario, son los primeros en venderse de manera que el costo unitario de las últimas entradas sea el que se aplique a las primeras salidas, como se muestra en la Figura 2.5.



**Figura 2.5.** L.I.F.O.

**Fuente:** Ingeniería Industrial Online

La ventaja de aplicar este tipo de técnica es que el inventario se valorará con el costo más antiguo, lo cual da como resultado un costo de inventario inferior a su valor promedio, siendo de gran utilidad en épocas de inflación que es cuando los costos aumentan constantemente. (Bastidas Bonilla, 2014)

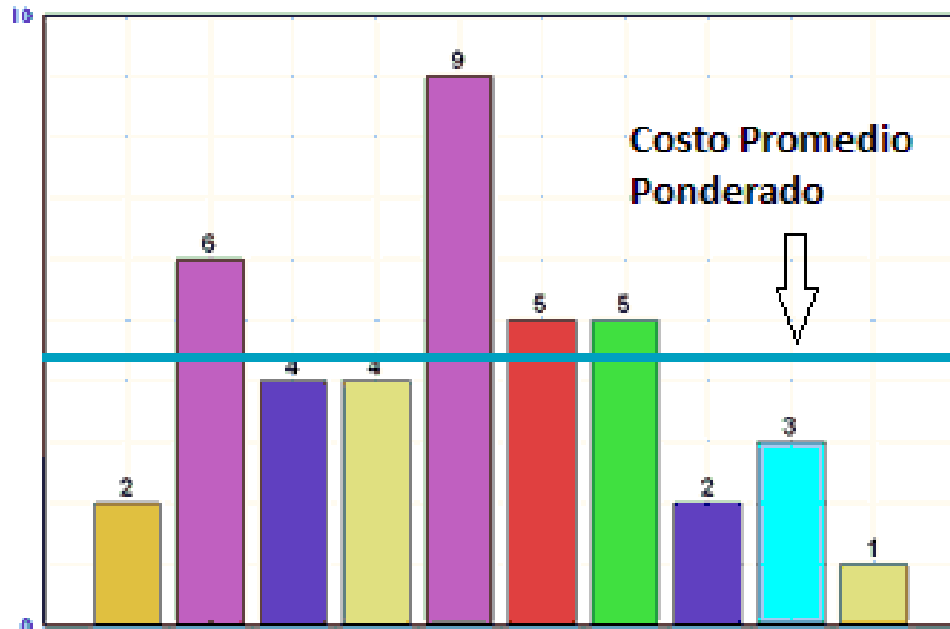
### **2.3.3.3. Costo Promedio Constante o Promedio Ponderado**

Este es un método de valorización razonable de aproximación en donde se divide el saldo de unidades monetarias existentes, para el número de unidades en existencia. Gracias a este procedimiento se puede generar un costo medio, pero debe ser recalculado cada vez que ingresen artículos, como se muestra en la Figura 2.6. en la cual se puede apreciar en el eje vertical una escala en miles de dólares, y en el eje horizontal no existe un tiempo definido para el ingreso de nuevos productos.

### **2.3.3.4 Identificación Específica**

Una identificación acertadamente concebida, consiste en el registro individual de todos los artículos, lo cual incrementa su certeza y

proporcionalmente su complejidad de aplicación, ya que mientras más artículos existan, más compleja será la valoración. (Bastidas Bonilla, 2014)



**Figura 2.6.** Costo Promedio Ponderado.  
**Fuente:** Ingeniería Industrial Online

## 2.4. PROCESO DE FACTURACIÓN

El proceso de facturación tiene como fin la emisión de un documento legal, que da el derecho al cobro por los bienes comerciados o servicios prestados, que por lo general finalizan en una factura o en una nota de venta. (Valéncia, Centro de Apoyo a la Innovación, la Investigación y la Tránsferencia de Tecnología, 2006)

- Factura: es el detalle de los artículos vendidos que el proveedor remite al comprador, con una detallada y precisa lista de artículos con su respectiva cantidad, precio, calidad y todas aquellas características necesarias para poder determinar el contenido individualmente; con la cual se respaldan las transacciones

efectuadas por contribuyentes y no contribuyentes en la transferencia de bienes o por la prestación de servicios.

A continuación se detalla cuatro pasos que de manera general se realizan en el proceso de facturación:

#### **2.4.1. VERIFICAR LA ENTREGA DE MERCADERÍA**

Se puede considerar como primer paso en el proceso de facturación al hecho de comprobar que el cliente haya recibido los bienes o servicios de forma adecuada. Si es un producto, comprobar los pesos, la cantidad y las firmas. Si es un servicio, obtener del cliente de manera escrita una confirmación que muestre que el servicio se brindó según lo acordado. (Balle, eHow en Español, 2004)

#### **2.4.2. REVISAR TÉRMINOS Y GENERAR FACTURAS**

Una vez que se pueda confirmar la recepción, revisar el acuerdo guía hacia el cliente con el que se está tratando; dicho acuerdo debe detallar condiciones de pago, importe de descuento y todo aquello relacionado con la transacción monetaria a efectuarse. Usando esta información se debe generar la factura real. (Balle, eHow en Español, 2004)

#### **2.4.3. EMITIR FACTURAS**

Como último paso se entrega la factura terminada al cliente, para la cual existen varias opciones, como por ejemplo correo, e-mail, fax, o de una manera más personal como lo es entregar la factura junto a los artículos vendidos o al momento de prestar los servicios. Pero una vez entregada la

factura, no termina el proceso, ya que se debe dar seguimiento a esta, para saber si se ha cancelado o determinar algún otro estado de pago.

#### **2.4.4. ESTABLECER LÍMITES DE TIEMPO**

Cuando se empieza el proceso de facturación, es imperativo delimitar tiempos para cada paso, de manera que al cumplir con los itinerarios se eviten problemas como retrasos en los pagos, retrasos en los envíos de los bienes convenidos o daños a estos.

### **2.5. ROBÓTICA**

La palabra robótica fue descrita por Isaac Asimov para describir la tecnología de los robots, sin embargo fueron usadas por primera vez en 1921 por el escritor checo Karel Capek en su obra de teatro Rossum's Universal Robot que hacían referencia a un humanoide mecánico. (Barea, Introducción a la Robótica, 2011)

Ochoa menciona lo siguiente:

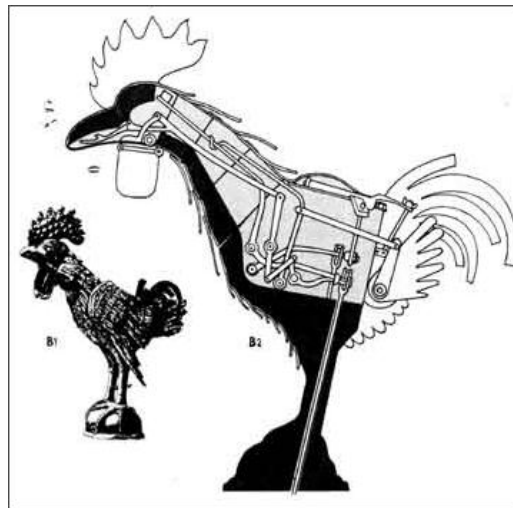
“El conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poli articuladas, dotados de un determinado grado de "inteligencia" y destinados a la producción industrial o a la sustitución del hombre en muy diversas tareas”.

#### **2.5.1. HISTORIA Y ACTUALIDAD**

A lo largo de la historia la tecnología en cada época influyó en la vida cotidiana de las sociedades creando artefactos para realizar labores repetitivas o de entretenimiento, a continuación algunos de estos:



- Edad Media
  - Hombre de hierro de Alberto Magno. (1204 - 1282)
  - Gallo de Estrasburgo. (1352) (Barea, Introducción a la Robótica, 2011) (Figura 2.7.)
  
- Renacimiento
  - León Mecánico de Leonardo da Vinci. (1549)
  - Hombre de Palo de Juanelo Turriano. (1525) (Barea, Introducción a la Robótica, 2011)



**Figura 2.7.** Robótica - Gallo de Estrasburgo.

**Fuente:** Introducción a la Robótica

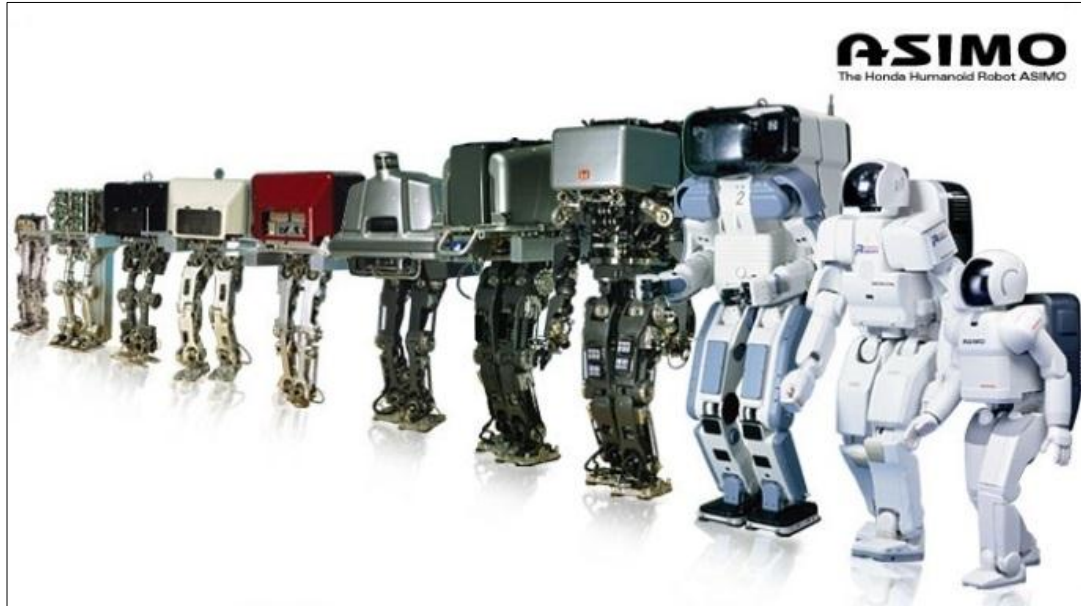
- Era Moderna
  - Muñecos flautistas de Jacques Vaucanson. (1738)
  - Escriba, organista, dibujante de familia Droz. (1770)
  - Muñeca dibujante de Henry Maillardert (1805) (Figura 2.8.)
  
- Siglo XX (desarrollo de la robótica)
  - 1950: El laboratorio ARGONNE diseña manipuladores para manejar material radioactivo.

- 1960: La empresa Unimation instala los primeros robots en una fábrica de General Motors en Estados Unidos.
- 1963: Se inicia la implantación de robots en Europa.
- 1968: Japón empieza a implementar esta tecnología.
- 1970: Los laboratorios de la Universidad de Stanford y del Instituto de Tecnología de Massachusetts emprenden la tarea de controlar un robot mediante un computador.
- 1975: La aplicación del microprocesador, transforma la imagen y las características del robot, hasta ese entonces grande y costoso. Los robots se introducen masivamente en las empresas (robots industriales).
- 1980: A partir de los ochenta se potencia la configuración del robot inteligente, que es capaz de adaptarse al ambiente y tomar decisiones en tiempo real de acuerdo a la situación.
- 1990: En los noventa los robots salen de las fábricas y se les asigna nuevos roles, aparición de los robots de servicio. (Barea, Introducción a la Robótica, 2011)



**Figura 2.8.** Robótica - Muñeca dibujante de Henry Maillardet.

**Fuente:** Monografias.com



**Figura 2.9.** Evolución del Robot ASIMO.

**Fuente:** Advanced Step in Innovative Mobility

- 2015, estado actual: el de la consolidación de los robots de servicio en actividades para:
  - Limpieza de residuos tóxicos.
  - Exploración espacial.
  - Minería y agricultura.
  - Búsqueda y rescate de personas.
  - Localización de minas terrestres.
  - Asistentes personales (Wakamaru de Mitsubishi).
  - Entretenimiento (Asimo de Toyota, Aibo de Sony)(Figura 2.9).
  - Robots de medicina.
  - Robots exploradores (Terrestres, voladores y submarinos).
  - Los robots se están abaratando y empequeñeciendo (nanorobots).
  - Desarrollo de simuladores de robots.
  - Nuevos conceptos (Web bots – internet bots).

## 2.5.2. ARQUITECTURA DE UN ROBOT

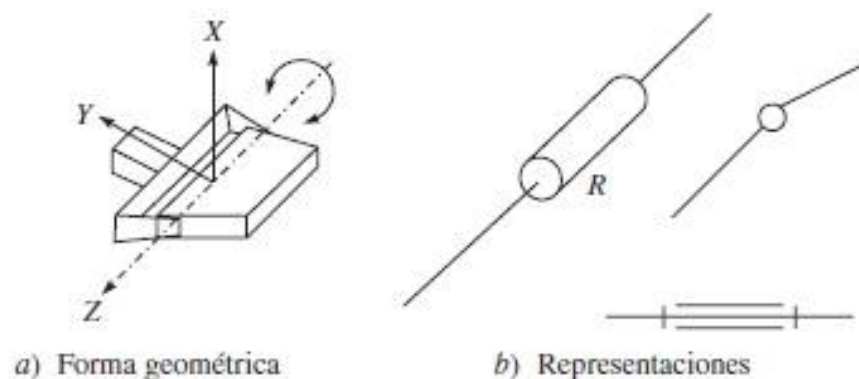
Un robot está compuesto de varios eslabones conectados de manera serial mediante articulaciones. Los grados de libertad de un robot (DOF) dependen del número y tipo de eslabones y articulaciones, así como de la cadena cinemática del robot. Además el funcionamiento de un robot depende también de sus actuadores y sensores. (Saha, 2010)

### 2.5.2.1. Eslabones y Articulaciones

Los cuerpos individuales que forman a un robot se denominan eslabones. En cambio el acople de eslabones de un robot es llamado articulación, el cual proporciona las restricciones físicas para el movimiento relativo entre eslabones. (Saha, 2010)

A continuación se da una información detallada de las articulaciones:

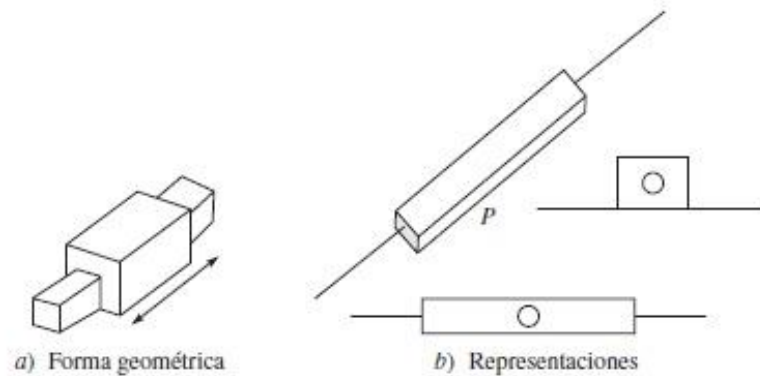
- Articulación revoluta o rotacional, R: esta articulación permite que dos eslabones unidos giren, uno respecto del otro, alrededor del eje de la articulación, como se muestra en la Figura 2.10.; esta articulación posee un grado de libertad. (Saha, 2010)



**Figura 2.10.** Articulación revoluta.

**Fuente:** Saha, 2010

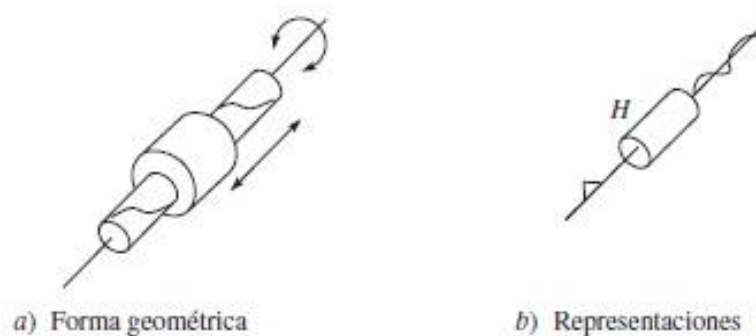
- Articulación prismática, P: es este tipo de articulación se permite que dos eslabones estructurados en pares se deslicen, uno respecto del otro a lo largo de su eje, como se muestra en la Figura 2.11.; esta articulación posee un grado de libertad. (Saha, 2010)



**Figura 2.11.** Articulación prismática.

**Fuente:** Saha, 2010

- Articulación helicoidal, H: una articulación de esta clase permite, que dos eslabones unidos giren alrededor del eje de la articulación y se trasladen a lo largo de el al mismo tiempo. Sin embargo el traslado no es independiente, sino que se relaciona con el paso del tornillo, por eso posee un solo grado de libertad; como se muestra en la Figura 2.12. (Saha, 2010)

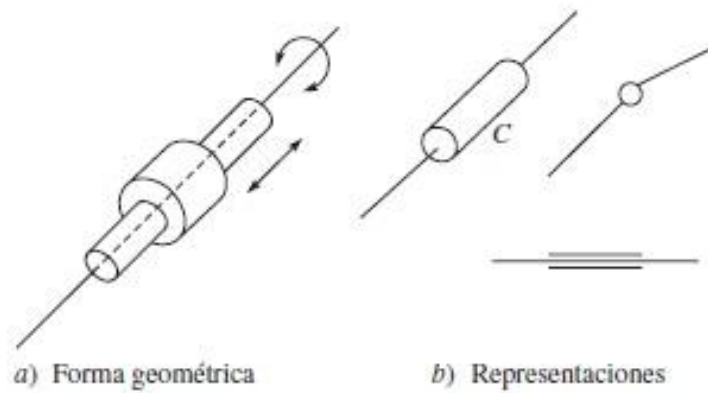


**Figura 2.12.** Articulación helicoidal.

**Fuente:** Saha, 2010

- Articulación cilíndrica, C: este tipo de articulación permite la rotación alrededor del eje de la articulación y el traslado independiente a lo

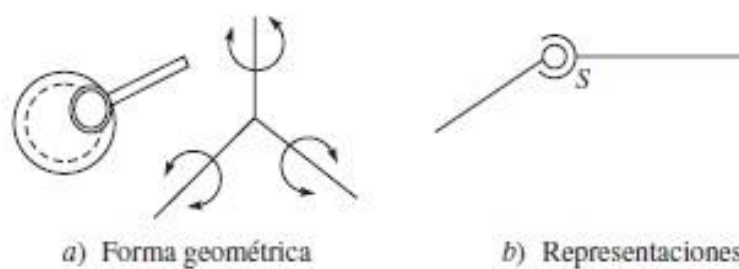
largo de esta, por lo tanto, posee dos grados de libertad como se muestra en la Figura 2.13. (Saha, 2010)



**Figura 2.13.** Articulación cilíndrica.

**Fuente:** Saha, 2010

- Articulación esférica, S: esta articulación permite que uno de los eslabones pareados gire libremente en todas las orientaciones posibles respecto al otro alrededor del centro de una esfera, por eso posee tres grados de libertad, como se muestra en la Figura 2.14. (Saha, 2010)

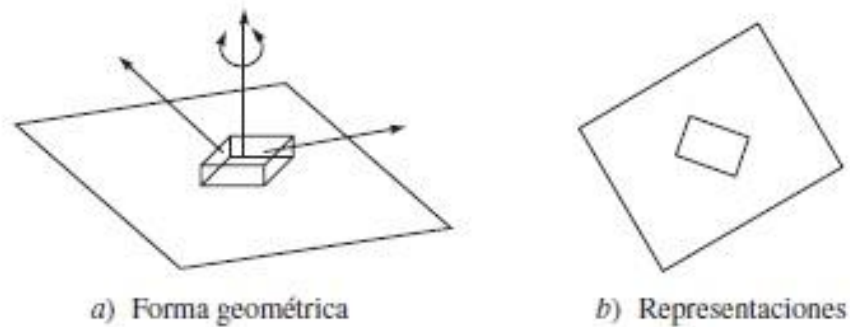


**Figura 2.14.** Articulación esférica.

**Fuente:** Saha, 2010

- Articulación planar, L: esta articulación permite dos traslados a lo largo de dos ejes independientes del plano de contacto y una rotación

alrededor del eje perpendicular al plano, por este motivo posee tres grados de libertad, como se muestra en la Figura 2.15. (Saha, 2010)



**Figura 2.15.** Articulación planar.

**Fuente:** Saha, 2010

### 2.5.2.2. Cadena Cinemática

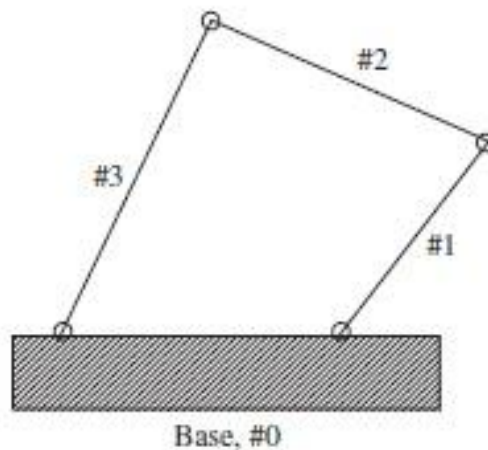
Es una serie de eslabones conectados por articulaciones, cuando todos los eslabones se acoplan a un máximo de otros dos, la cadena se denomina cadena cinemática simple. En la Tabla 2.3. se presenta las articulaciones de pares inferiores. (Saha, 2010)

Una cadena cinemática puede ser abierta o cerrada. Es cerrada si cada uno de los eslabones se acopla a otros dos eslabones, como se muestra en la Figura 2.16. (Saha, 2010)

**Tabla 2.3.** Articulaciones de pares inferiores

Nombre	Símbolo	Forma geométrica y representaciones	DOF	Superficie común
Rotacional	R	Figura 2.10.	1	Cilindro
Prismática	P	Figura 2.11.	1	Prisma
Helicoidal	H	Figura 2.12.	1	Tornillo
Cilíndrica	C	Figura 2.13.	2	Cilindro
Esférica	S	Figura 2.14.	3	Esfera
Planar	L	Figura 2.15.	3	Plano

**Fuente:** Saha, 2010



**Figura 2.16.** Cadena cinemática cerrada.

**Fuente:** Saha, 2010

### 2.5.2.3. Grado de Libertad (DOF)

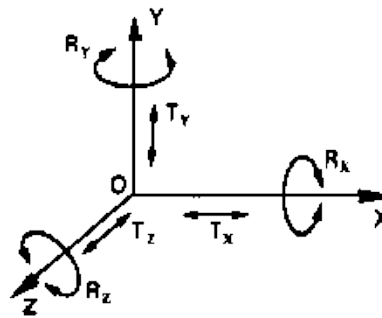
Se define como el número de coordenadas independientes o libres que poseen movimiento. En un plano cartesiano tridimensional existen seis grados de libertad, tres para posición y tres para orientación, como se muestra en la Figura 2.17. (Saha, 2010)

### 2.5.2.4. Actuadores

Si se compara a los actuadores con el cuerpo humano, se llega a la conclusión de que cumplen la misma función que los músculos, ya que son los que proveen el movimiento al robot ya sean estos movimientos lineales o movimientos rotatorios, sea cual fuere el caso, los actuadores comprenden lo siguiente:

- Una fuente de alimentación
- Un amplificador de potencia
- Un servomotor
- Un sistema de transmisión

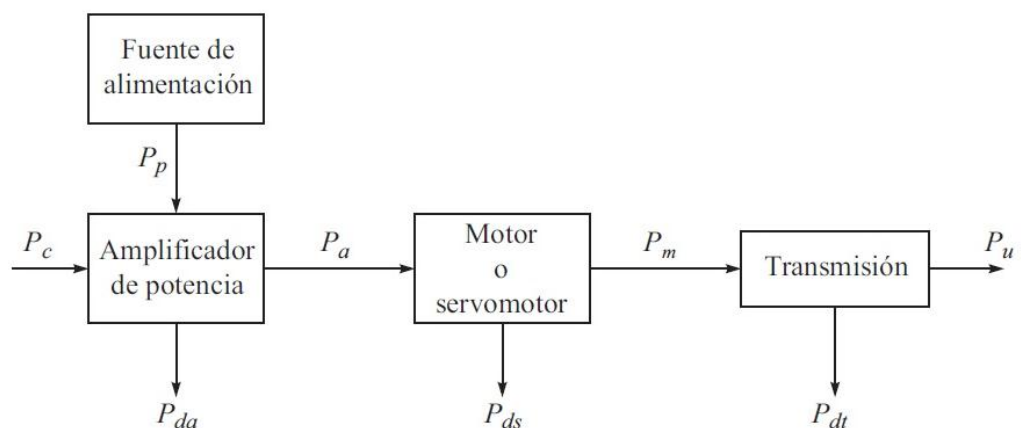




**Figura 2.17.** Seis DOF.

**Fuente:** Saha, 2010

A continuación se presenta la Figura 2.18. en la cual se describen las conexiones entre los componentes de los actuadores:



**Figura 2.18.** Sistema del actuador.

**Fuente:** Saha, 2010

En la Figura 2.18 el significado de las siglas son los siguientes, Pp: Fuente primaria de potencia, Pc: potencia de control de entrada, Pa: potencia de entrada al motor, Pm: salida de potencia del motor, Pm: potencia mecánica que se requiere, Pda,Pds,Pdt: pérdidas de potencia por disipación durante las conversiones realizadas por el amplificador, el motor y la transmisión.

Con base en la fuente de potencia de entrada los actuadores se pueden clasificar en tres grupos:

- Actuadores neumáticos: utilizan energía neumática almacenada en un compresor que la transforma en energía mecánica mediante pistones o turbinas. (Saha, 2010)
- Actuadores hidráulicos: utilizan energía hidráulica entregada por un compresor u otro dispositivo y la transforman en energía mecánica mediante pistones o turbinas. (Saha, 2010)
- Actuadores eléctricos: su fuente principal de entrada es la energía eléctrica que fluye desde el sistema de distribución eléctrico. (Saha, 2010)

Para que un actuador se utilice en una aplicación robótica debe poseer las siguientes características:

- Baja inercia
- Alta relación de potencia-peso
- Posibilidad de sobrecarga y entrega de pares de torsión de impulsos
- Capacidad para desarrollar altas aceleraciones
- Amplios rangos de velocidad
- Alta precisión de posicionamiento
- Buena precisión de rastreo de trayectorias y posicionamiento (Saha, 2010)

#### **2.5.2.5. Sensores**

Un sensor o captador, como prefiera llamársele, no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular. (Maynard, 2006)

Las capacidades más comunes requeridas por un robot son las siguientes:

- Tacto sencillo: presencia o ausencia de un objeto.
- Palpación o tacto complejo: presencia de un objeto más algún tipo de información sobre su tamaño o forma.
- Fuerza simple: fuerza medida a lo largo de un solo eje.
- Fuerza compleja: Fuerza medida a lo largo de dos o más ejes.
- Proximidad: detección de un objeto sin contacto.
- Visión simple: detección de bordes, agujeros, esquinas, etc.
- Visión compleja: reconocimiento de formas.

Existen muchos otros tipos de sensores los cuales se pueden estudiar según la necesidad que debe cumplir cada robot. (Saha, 2010)

### **2.5.3. DESARROLLO DE LA ROBÓTICA**

En el desarrollo de la robótica se toma en cuenta los diferentes campos de aplicación de esta y su clasificación, como se aprecia a continuación:

#### **2.5.3.1. Campos de Aplicación**

Saha menciona lo siguiente:

“La robótica ha evolucionado en un sinnúmero de aplicaciones, desde el uso en soldadura, pintura, ensamblaje, carga y descarga de herramientas de máquinas, inspección, agricultura, enfermería, cirugía médica, usos militares y seguridad hasta las exploraciones subacuáticas y del espacio.”

#### **2.5.3.2. Clasificación de los Robots**

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) define un robot como:

“Un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, a través de movimientos variables programados, para el desempeño de tareas diversas”.

Existen muchas más definiciones hechas por asociaciones como por ejemplo, la Robotics Institute of America (RIA), la Japan Industrial Robot Association (JIRA), la British Robot Association (BRA), entre otros; en las cuales coinciden dos puntos: la capacidad de reprogramación y la multifuncionalidad de los robots. (Saha, 2010)

No existe un estándar en cuanto a la clasificación de robots por lo que a continuación se presenta la forma más común que es mediante generaciones:

- 1ra Generación: son sistemas mecánicos multifuncionales, con un sistema de control manual de secuencia fija o secuencia variable, que por lo general tienen un control de lazo abierto. (Rodríguez, La Robótica, 2008)
- 2da Generación: repiten una secuencia de movimientos manipulados, esto lo realizan mediante un dispositivo mecánico; el operador realiza los movimientos requeridos, mientras el robot sigue y memoriza estos. (Rodríguez, La Robótica, 2008)
- 3ra Generación: en este caso el controlador es una computadora que ejecuta las órdenes de un programa y las envía al manipulador para que realice los movimientos necesarios, en este caso usan un control de lazo cerrado. (Rodríguez, La Robótica, 2008)
- 4ta Generación: son semejantes a los anteriores, pero también poseen sensores que envían información al programa en la cual se realiza el control sobre el estado del proceso; esto permite el control del proceso en tiempo real. (Rodríguez, La Robótica, 2008)

- 5ta Generación: actualmente se encuentran en desarrollo; basaran su acción principalmente en modelos conductuales establecidos. (Barea, Introducción a la Robótica, 2011)

Además se los puede clasificar también según su arquitectura en los siguientes grupos:

- Poliarticulados: en este grupo de robots sus características más comunes son que básicamente son sedentarios, poseen un número limitado de grados de libertad y esto lo realizan en determinado espacio de trabajo; en este grupo se encuentran los robots manipuladores como se muestra en la Figura 2.19. (Rodríguez, La Robótica, 2008)



**Figura 2.19.** Robot de soldadura automatizada.

**Fuente:** Mecalux

- Móviles: estos robots poseen una gran capacidad de desplazamiento que se basan en carros o plataformas y se dotan de sistemas locomotores de tipo rodante. Son guiados mediante control remoto, pistas o por la información recibida de su entorno a través de sensores, este tipo de robots se usan industrialmente para el

transporte de piezas o utensilios de un lugar a otro. (Rodríguez, La Robótica, 2008)

Las pistas pueden ser de tipo electromagnética con circuitos empotrados al suelo o mediante bandas detectadas fotoeléctricamente como se muestra en la Figura 2.20. (Rodríguez, La Robótica, 2008)



**Figura 2.20.** Robot móvil para transportar partes de vehículos.

**Fuente:** Xataka Ciencia

- Androides: en este tipo de robots se intenta reproducir parcial o totalmente la forma y el comportamiento cinemático del ser humano. Hoy en día los androides están muy poco evolucionados y sin utilidad práctica, por el momento se los usa para estudio y experimentación. Como se puede apreciar en la Figura 2.21. (Rodríguez, La Robótica, 2008)
- Zoomórficos: se caracterizan principalmente por sus diversos sistemas de locomoción que les permiten imitar a diversos seres

vivos, como lo son libélulas, canguros, caballos entre otros cuadrúpedos; como se muestra en la Figura 2.22. (Rodríguez, La Robótica, 2008)



**Figura 2.21.** Robot tipo androide NAO.

**Fuente:** Aldebaran.



**Figura 2.22.** Libélula robótica.

**Fuente:** FESTO



- Híbridos: son los robots de difícil clasificación ya que su estructura es una combinación de algunas de las ya explicadas, ya sea por conjunción o yuxtaposición. Un ejemplo se lo puede apreciar en la Figura 2.23. a continuación:



**Figura 2.23.** Robot Híbrido.

**Fuente:** Introducción a la Robótica

## **2.5.4. MECÁNICA DEL ROBOT**

En la física mecánica del robot se toma en cuenta la cinemática, estática, dinámica y control de un robot como son explicadas a continuación:

### **2.5.4.1. Cinemática**

Para poder hacer que un robot ejecute una tarea específica, primero se deberá establecer la posición y orientación del eslabón final en el cual posiblemente se situará un actuador, es decir, la posición y configuración



respecto a la base. Esto es fundamental para resolver los problemas de posicionamiento, velocidad y aceleración del eslabón final, así como el análisis dinámico del robot en cuestión. (Saha, 2010)

#### **2.5.4.2. Estática**

Cuando un robot ejecuta una determinada tarea, por ejemplo, levantar una pieza de trabajo, su eslabón final ejerce una fuerza y un momento sobre el ambiente externo en el punto de contacto. La estática busca la relación entre los pares de torsión/fuerzas, los momentos cartesianos y las fuerzas aplicadas en el eslabón final. (Saha, 2010)

Todo lo anterior tiene importancia práctica, ya que determinar la calidad de transmisión de fuerzas y momentos a través de las diferentes articulaciones, sirve para poder clasificar el tamaño de eslabones y cojinetes del robot, actuadores adecuados, y para satisfacer al sistema de control. (Saha, 2010)

#### **2.5.4.3 Dinámica**

La dinámica estudia las ecuaciones de movimiento de un robot, es decir, la manera en que se produce el movimiento del robot debido a los pares de torsión y a las fuerzas que se aplican a las articulaciones mediante los actuadores. Mediante este estudio se genera un conjunto de ecuaciones que describen el comportamiento dinámico del robot, al cual se lo llama también el modelo dinámico del robot. (Saha, 2010)

Un correcto modelo dinámico puede usarse para desarrollar el control del robot, para la simulación por computadora del robot, además con el análisis dinámico se realiza el diseño y determinación de los tamaños de actuadores, cojinetes y eslabones necesarios para el robot. (Saha, 2010)

#### **2.5.4.4. Control**

El sistema de control de un robot gobierna las acciones a realizar. Este tipo de mando debe cumplir con ciertos criterios u objetivos como estabilizar el sistema ante perturbaciones, o una evolución temporal y un comportamiento dinámico óptimo respecto a parámetros de calidad específicos. (Benítez, Historia de la Evolución de los Robots, 2010)

Los avances en el campo de la inteligencia artificial permiten a distintos tipos de unidades aspectos más avanzados en el control de sistemas como lo son la toma de decisiones o el aprendizaje dependiendo el uso para el cual fue creado dicho sistema. (Benítez, Historia de la Evolución de los Robots, 2010)

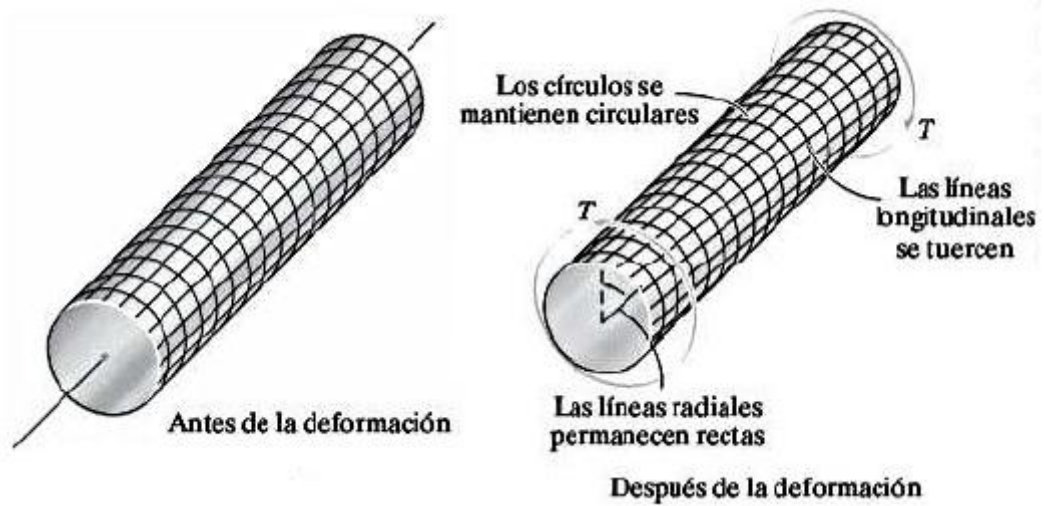
#### **2.5.5. DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS**

En el diseño de elementos de máquinas es necesario conocer las propiedades de los materiales siendo estas físicas, químicas y mecánicas. Para el diseño de elementos de máquinas es fundamental conocer cómo va a trabajar el elemento, para así conocer sus variables y así utilizar las adecuadas ecuaciones, propiedades, diagramas de esfuerzos, etc.

A continuación se presenta la forma de diseño de ejes y vigas:

##### **2.5.5.1. Deformación por torsión (ejes)**

El par de torsión es un momento que por lo general tuerce a un elemento sobre su eje longitudinal. En el diseño de ejes o árboles de transmisión su efecto es de suma importancia; cuando se aplica un par de torsión sobre un eje, se puede ilustrar físicamente como se muestra en la Figura 2.24., considerando que el material es altamente deformable, como el caucho. (Hibbeler, 2011)



**Figura 2.24.** Deformación por par de torsión en ejes.

**Fuente:** Mecánica de Materiales de Hibbeler.

En el diseño de ejes se utiliza las siguientes ecuaciones:

- Esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot C}{J} \quad [1]$$

- Momento polar de inercia.

$$J = \frac{\pi \cdot C^4}{2} \quad [2]$$

- Potencia

$$P = T \cdot \omega \quad [3]$$

Dónde:

$\tau_{max}$  = Esfuerzo cortante máximo

T = Torque

C = Radio del eje

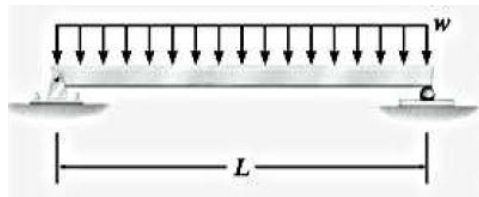
J = Momento polar de inercia

P = Potencia

$\omega$  = Velocidad angular

### 2.5.5.2. Vigas

Estos elementos estructurales importantes en la ingeniería se someten a esfuerzos normales producidos por el momento flector, que a su vez se los divide en esfuerzos a la tensión y esfuerzos a la compresión, además de esfuerzos cortantes producidos por fuerzas cortantes, un ejemplo de estos se muestra en la Figura 2.25.



**Figura 2.25.** Viga simplemente apoyada.

**Fuente:** Mecánica de Materiales de Hibbeler.

En el cálculo de estos elementos, se utiliza los diagramas de esfuerzos, que para ser construidos es necesario realizar varios cálculos, para los cuales se utiliza las siguientes ecuaciones:

- Sumatoria de fuerzas y momentos

$$\sum F_{x \text{ o } y} = 0 \quad [4]$$

$$\sum M_{x \text{ o } y \text{ o } f} = 0 \quad [5]$$

- Momento de inercia de una sección compuesta

$$I = \sum (I_i + A_i \cdot d_i^2) \quad [6]$$

$$I_i = \frac{1}{12} b \cdot h^3 \quad [7]$$

- Esfuerzos normales máximos a la compresión o tensión

$$\sigma_{max_{cot}} = \frac{M_f \cdot C_{cot}}{I} \quad [8]$$

Dónde:

$I$  = Momento de inercia de una sección compuesta

$I_i$  = Momento de inercia de cada figura

$A_i$  = Área de cada figura

$d_i^2$  = Distancia elevada al cuadrado, desde el eje neutro de la sección al eje neutro de cada figura

$B$  = Base

$h$  = Altura

$M_f$  = Momento flector máximo

$c_{cot}$  = Distancia desde el eje neutro a las fibras más externas del elemento, ya sean estas a compresión o tensión

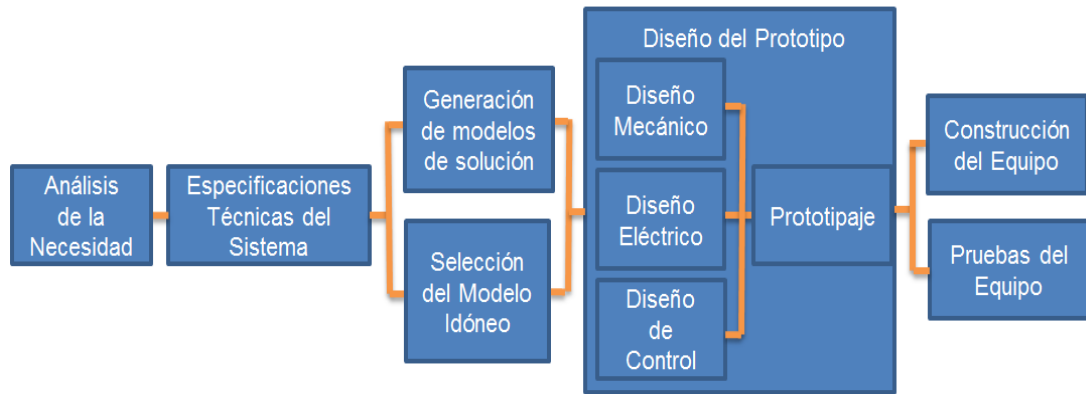
### **3. METODOLOGÍA**

Existen varios ejemplos de metodologías para la mecatrónica, pero la que más se ajusta a las necesidades del presente proyecto, robot para manejo de inventario y facturación, es la siguiente metodología mecatrónica, con la cual se puede desarrollar el diseño e implementación de los sistemas mecatrónicos necesarios para el funcionamiento de la misma; a continuación se describen los pasos o etapas a seguir:

- Análisis de la necesidad: el proceso de diseño inicia con una necesidad, la cual es propuesta por un cliente, o es detectada mediante una investigación.
- Establecimiento de especificaciones técnicas: para continuar con el diseño es necesario saber los parámetros a los cuales se debe regir el prototipo a diseñar, ya sean estos tiempos, dimensiones, etc.
- Generación de modelos de solución: con los parámetros definidos se procede a realizar los componentes y la estructura de cada modelo, que posteriormente pasaran por un proceso de selección, para finalmente ser manufacturados.
- Selección de un modelo idóneo: mediante algún tipo de mecanismo de selección llegar al prototipo que cumpla con todas las especificaciones necesarias, y que además optimice cada una de estas.
- Diseño detallado del modelo óptimo de solución: con las especificaciones técnicas se llega al punto en el cual mediante algún software se realizan los bosquejos de prototipos, suficientemente detallado para indicar como obtener las funciones requeridas.
- Construcción del equipo: el prototipo virtual que resulte ser el escogido es llevado a un taller, en el cual se materializa y es fabricado de acuerdo a los detalles realizados en el software de diseño.
- Pruebas del equipo: una vez construido y armado el equipo se le somete a diferentes pruebas de funcionamiento, con las cuales se

puede detectar cualquier tipo de fallo o alguna corrección necesaria para que el equipo funcione adecuadamente con las necesidades.

El proceso metodológico, se representa en la Figura 3.1. a continuación:



**Figura 3.1.** Metodología mecatrónica.

### 3.1. ANÁLISIS DE LA NECESIDAD

Se presenta la necesidad de agilizar el tiempo de atención al cliente al momento de la facturación en la empresa Casatex, y esto se puede alcanzar con un robot autónomo; implementando este robot autónomo los clientes serán atendidos de una manera más eficiente y su tiempo de estadía en la empresa será reducido.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso de atención al cliente en la Figura 3.2. y del proceso de facturación en la Figura 3.3. de la empresa Casatex; donde puede observarse el recuadro de facturación, sombreado en color rojo, para resaltar que es allí donde se produce un cuello de botella.

Muchas de las actividades del proceso de atención al cliente concurren finalmente en la etapa de facturación, lo cual provoca la ralentización del flujo del proceso, pues aquí se ha formado un cuello de botella.



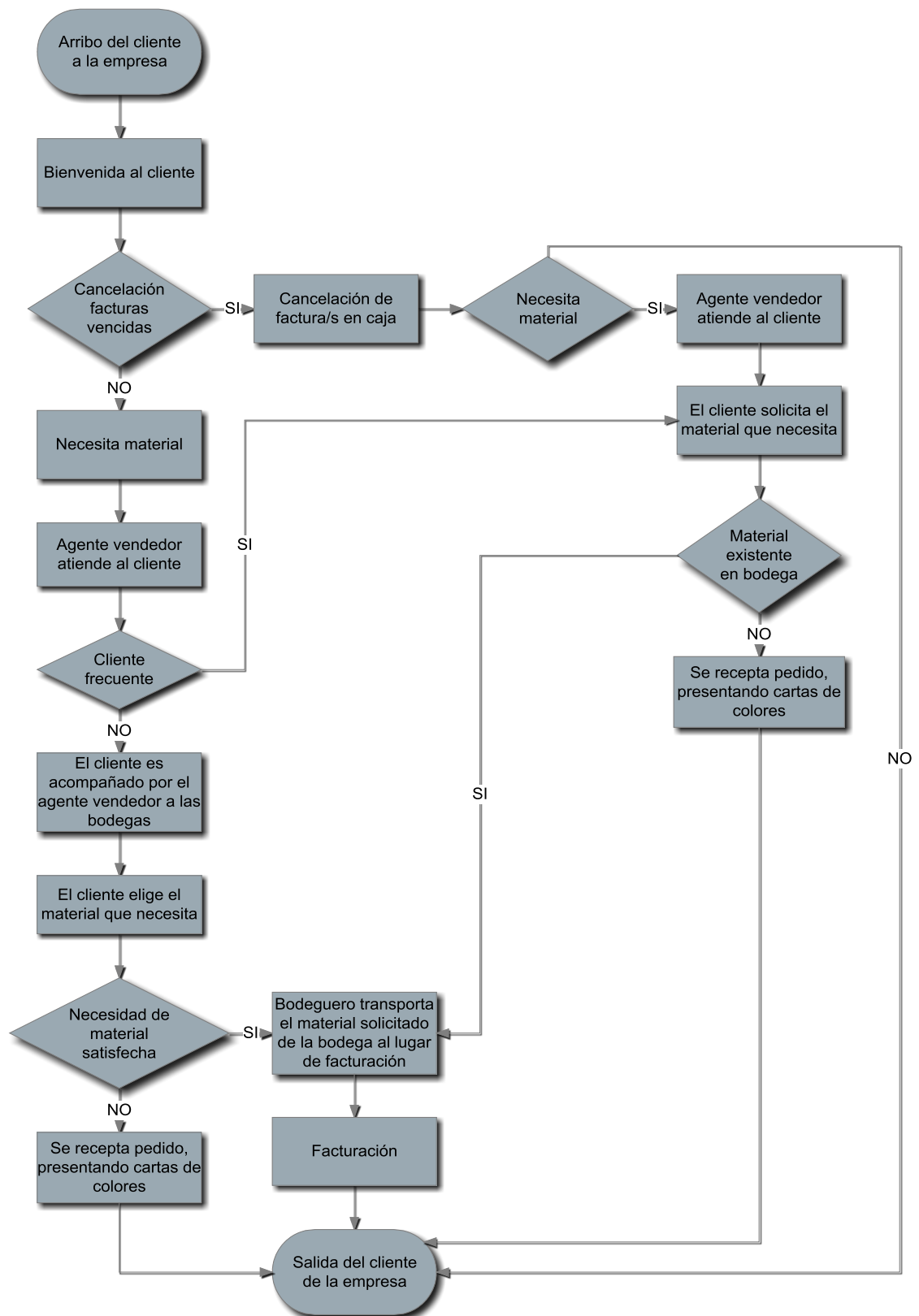
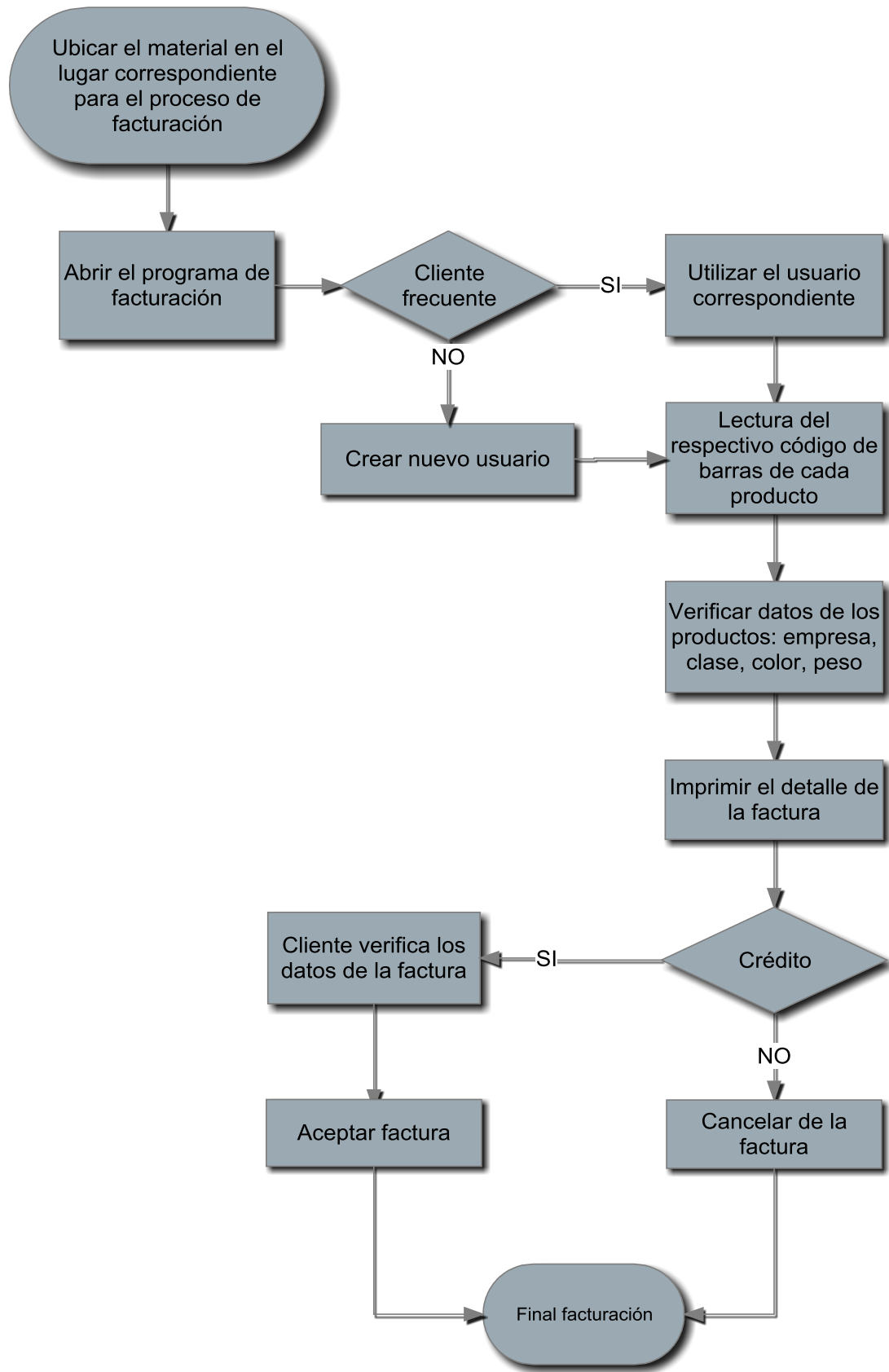


Figura 3.2. Flujograma del proceso de atención al cliente en la empresa Casatex.



**Figura 3.3.** Flujograma del proceso de facturación en la empresa Casatex.

Por este motivo el robot que asistirá a las personas en el proceso de facturación aumentará a la rapidez con la cual los clientes son atendidos, para lograr esto es necesario determinar las especificaciones de la necesidad, las cuales son:

- Robot para control en lazo abierto.
- Dos grados de libertad.
- Lectura de código de barras con tecnología láser.
- Velocidad mínima de desplazamiento vertical 0.07m/s
- Velocidad mínima de desplazamiento horizontal 0.1m/s
- Desplazamiento por trayectoria fijada por riel de 3.4m
- El espacio físico disponible para la facturación es de 5x5x3.5m
- Mecanismos silenciosos que provean movilidad al robot.

### **3.2. ESTABLECIMIENTO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Las especificaciones técnicas de los parámetros que se toman en cuenta para el diseño de los prototipos y cada una de sus partes siendo estas fijas o móviles, tienen base en las especificaciones de la necesidad que se mencionan anteriormente, además de parámetros necesarios para la compra de elementos que serán utilizados en el control de la máquina o bien en su alimentación.

### **3.3. GENERACIÓN DE MODELOS DE SOLUCIÓN**

A continuación se presentan tres modelos de solución con su respectiva descripción; de entre los cuales se escogerá uno para su posterior diseño detallado y manufactura, los parámetros necesarios para el diseño de los modelos de solución se presentan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Especificaciones técnicas del sistema.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Tiempo de lectura entre etiquetas	2 a 3 segundos
Dimensiones de la estructura	Horizontal 3400 mm, vertical 3486.5 mm, ancho 694 mm; cadenas de 4.3m de perímetro y catalinas de diámetro exterior de 0.06m.
Material	ASTM A36, $\rho$ : 7850Kg/m <sup>3</sup>
Acometida dedicada	220v, 60Hz
Sistema de control para el posicionamiento del equipo	Arduino Mega
Sistema de control del motor eléctrico	Variador de frecuencia

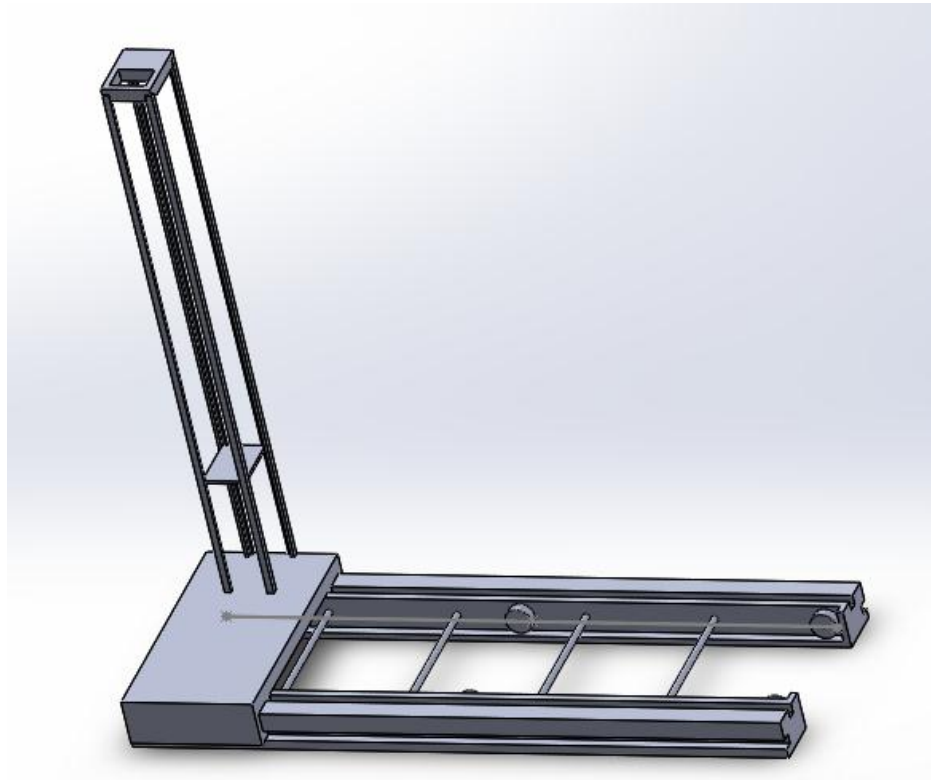
### **3.3.1. MODELO DE SOLUCIÓN 1**

En el modelo de solución 1 se presenta en la Figura 3.4. y se propone que la estructura esté fijada al suelo; posee dos rieles con dos ranuras cada una, las cuales fijan la trayectoria de la base, en esta base se anclan las 4 guías superiores que a su vez limitan la trayectoria para el dispositivo móvil de forma vertical, en el dispositivo vertical se encuentra la pistola lectora de códigos.

El movimiento horizontal se realiza a través del mecanismo de piñón-cremallera, a este mecanismo se le da movilidad con un motor paso a paso

y una rueda dentada que transmiten el movimiento. La cremallera esta soldada en cada riel y el motor y los piñones están anclados a la base.

El movimiento vertical se realiza a través de un motor tipo winche que se sujeta al dispositivo que sostiene la pistola lectora de códigos y al desenrollar o enrollar el cable, se produce el movimiento necesario.



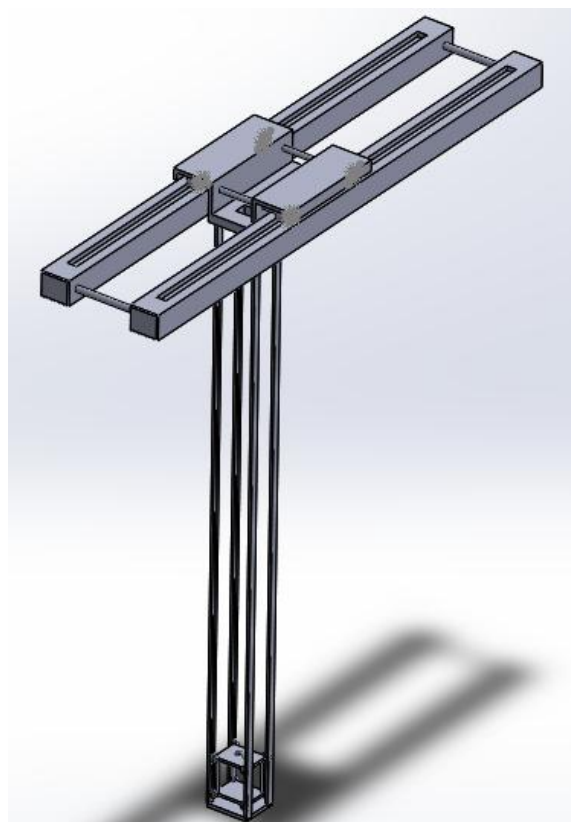
**Figura 3.4.** Modelo de solución 1.

### **3.3.2. MODELO DE SOLUCIÓN 2**

El modelo de solución 2 se visualiza en la Figura 3.5. y propone una alternativa en la que es fijado al techo mediante 4 soportes que salen de las rieles; posee dos rieles con una ranura cada una, las cuales fijan la trayectoria de la base, en esta base (carro) se anclan las 4 guías verticales que a su vez limitan la trayectoria para el dispositivo móvil de forma vertical, en el dispositivo vertical se encuentra la pistola lectora de códigos.

El movimiento horizontal se realiza a través de un motor paso a paso que transmite su movimiento mediante una rueda dentada a otra rueda dentada que se encuentra en uno de los pasadores de las ruedas de la base.

El movimiento vertical se realiza a través de un motor tipo winche que se sujeta al dispositivo que sostiene la pistola lectora de códigos y al desenrollar o enrollar el cable transmite el movimiento necesario.



**Figura 3.5.** Modelo de solución 2.

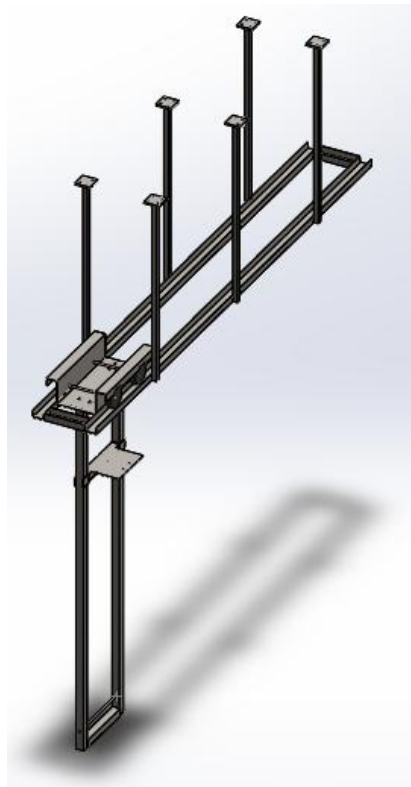
### **3.3.3. MODELO DE SOLUCIÓN 3**

En el modelo de solución 3 se presenta en la Figura 3.6. y se plantea que la estructura esté fijada al techo mediante 6 soportes que salen de las rieles; posee dos rieles con una ranura cada una, las cuales fijan la trayectoria de la base, en esta base (carro) se anclan las 2 guías verticales que a su vez

limitan la trayectoria para el dispositivo móvil de forma vertical, en el dispositivo vertical se encuentra la pistola lectora de códigos.

El movimiento horizontal se realiza a través de un motor trifásico que transmite su movimiento mediante una caja reductora hacia uno de los ejes de las ruedas de la base.

El movimiento vertical se realiza a través de un motor trifásico que transmite su movimiento mediante una caja reductora hacia uno de los 2 ejes en los cuales se encuentran las catalinas con cadena; estas catalinas son de igual diámetro, número de dientes y paso, para así transmitir el movimiento.



**Figura 3.6.** Modelo de solución 3.

### **3.4. SELECCIÓN DEL MODELO IDÓNEO Y SU OPTIMIZACIÓN**

Para proceder con la selección del modelo óptimo de solución de entre los modelos propuestos se debe tener en cuenta cada una de las necesidades

y como satisface cada modelo a estas, para así llegar al modelo que además de cumplir adecuadamente las necesidades, optimice recursos.

### **3.4.1. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE SOLUCIÓN**

El modelo de solución 1 cumple con ser un robot para control en lazo cerrado, posee dos grados de libertad, su lectura de código de barras tiene tecnología láser pero no visión artificial, sus velocidades de desplazamiento son las adecuadas además de ser fijadas por riel, en cuanto al espacio físico ocupa un amplio porcentaje que disminuye la eficiencia de movilidad de las personas por este espacio, y sus mecanismos de movilidad son silenciosos.

El modelo de solución 2 cumple con ser un robot para control en lazo cerrado, posee dos grados de libertad, su lectura de código de barras tiene tecnología láser y visión artificial, sus velocidades de desplazamiento son un poco menores a las necesitadas y su desplazamiento es fijado por riel, en cuanto al espacio físico cumple con dar disponibilidad a este espacio y no entorpecer las demás actividades, y sus mecanismos de movilidad son silenciosos.

El modelo de solución 3 cumple con ser un robot para control en lazo cerrado, posee dos grados de libertad, su lectura de código de barras tiene tecnología láser y visión artificial, sus velocidades de desplazamiento son las necesitadas y su desplazamiento es fijado por riel, en cuanto al espacio físico cumple con dar disponibilidad a este espacio y no entorpecer las demás actividades, y sus mecanismos de movilidad son silenciosos.

### **3.4.2. SELECCIÓN**

Por lo antes mencionado el modelo que cumple a cabalidad todas las especificaciones de la necesidad además de optimizar sus recursos es el



modelo 3 por lo cual se selecciona este modelo y se procede a realizar un análisis de casas de calidad para un mayor entendimiento del mismo.

### 3.4.3. OPTIMIZACIÓN DEL MODELO IDÓNEO A NIVEL DE COMPONENTES

En la Tabla 3.2. se elige los elementos idóneos para el modelo 3, para lo cual se da una valoración a cada criterio, para así llegar a saber que elemento se va a utilizar en la máquina.

Tabla 3.2. Especificaciones del modelo 3.

CRITERIOS	MODELO 3											
	Motor Eléctrico			Software Programación			Controlador			Mecanismo que Provee Movimiento		
	DC	AC	PASO A PASO	MATLAB	TIA PORTAL	ARDUINO	PIC 18F4550	ARDUINO MEGA 2560	VARIADOR DE FRECUENCIA MICNO KE300X-0R4G-S2	MOTOREDUCTOR ORTOGONAL	CATALINA / CADENA	PIÑÓN / CREMALLERA
Exactitud	1	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3
Eficiencia	2	3	2	2	3	3	3	3	2	2	3	2
Modularidad	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	3
Usabilidad	3	3	1	3	2	2	2	3	3	2	2	3
Costo	3	3	3	2	1	3	1	2	3	3	3	3
Disponibilidad del mercado	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	1
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>15</b>
<b>DETALLE DE LA VALORACIÓN</b>												
<b>VALOR</b>	<b>SIGNIFICADO</b>											
3	ALTO											
2	MEDIO											
1	BAJO											

### **3.5. DISEÑO DETALLADO DEL PROTOTIPO**

Para el modelo seleccionado se procede con su diseño detallado para lo cual se lo divide en tres partes importantes que son:

- Diseño mecánico
- Diseño eléctrico
- Diseño de control

#### **3.5.1. DISEÑO MECÁNICO**

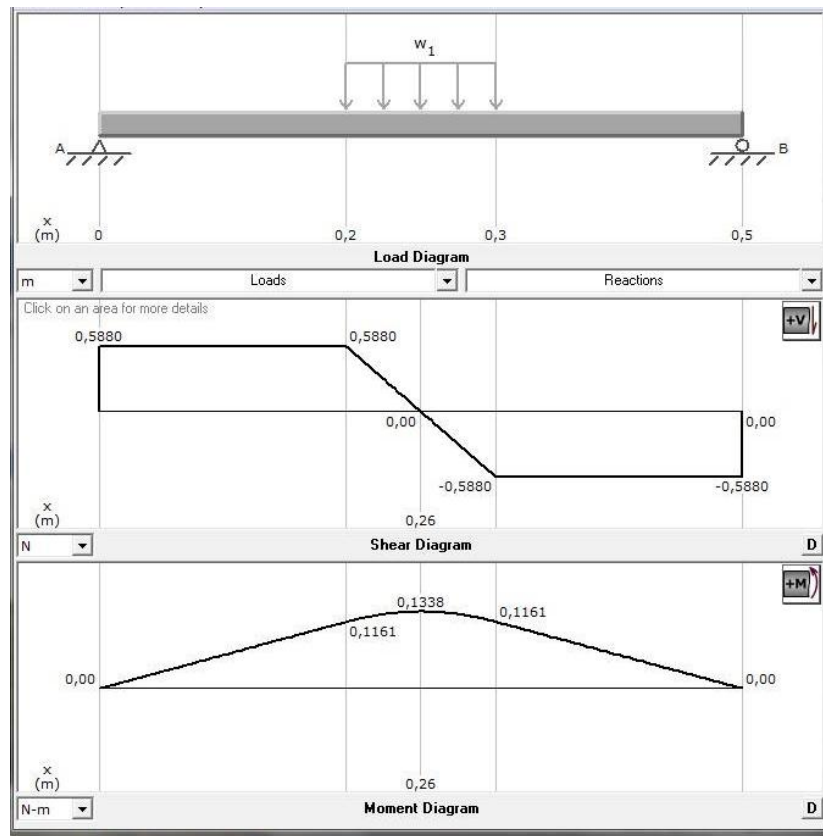
A continuación se presentan el diseño de cada uno de los componentes del modelo de solución seleccionado. Los componentes del modelo son los siguientes:

- Soporte de la pistola lectora de códigos
- Ejes superior e inferior de las catalinas
- Catalinas
- Columna de las catalinas
- Carro móvil
- Eje delantero y posterior del carro móvil
- Riel del carro móvil
- Soporte de la máquina

##### **3.5.1.1. Soporte de la Pistola Lectora de Códigos**

El soporte de la pistola lectora de códigos está diseñado para cumplir a cabalidad con su cometido que es subir y bajar la pistola lectora de códigos en 10 posiciones diferentes siendo estas equidistantes entre sí, posee 7 perforaciones de las cuales 5 son para colocar los diferentes soportes de las pistolas ya que se puede utilizar dos tipos diferentes de estas y 2

perforaciones para colocar las cadenas, todo se fija mediante tornillos; a continuación se puede visualizar los diagramas de esfuerzos en la Figura 3.7. y para los cálculos de los esfuerzos máximos la Figura 3.8., los resultados de los cálculos en la Tabla 3.3 y en la Figura 3.9. su forma final.



**Figura 3.7.** Diagrama de esfuerzos del soporte de la pistola lectora de códigos.

En la Figura 3.7. el valor de  $W_1$  es  $9.8 \text{ N/m}$  y su longitud es  $0.12\text{m}$ , la longitud total del elemento es  $0.515\text{m}$ ,  $S_y = 269 \times 10^6 \text{ Pa}$ ,  $N = 3$

- De la ecuación [4] se tiene que:

$$Q = 0.12\text{m} \cdot 9.8 \frac{\text{N}}{\text{m}} \rightarrow Q = 1.176\text{N}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_A + F_B = 1.176\text{N} \rightarrow F_A = 1.176\text{N} - F_B \rightarrow F_A = 0.588\text{N}$$

- De la ecuación [5] se tiene que:

$$\sum M_A + \uparrow = 0 \rightarrow -1.176\text{N} \cdot 0.2575\text{m} + F_B \cdot 0.515\text{m} = 0 \rightarrow F_B = 0.588\text{N}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.1975m$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_A - V_1 = 0 \rightarrow V_1 = 0.588N$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.1975m$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_1} + \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_1} - F_A \cdot x = 0 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_1} = 0$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0.1975 \rightarrow M_{F_1} = 0.116Nm$$

- Cuando la longitud es  $0.1975m + 0 \leq x \leq 0.12$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_A - Q - V_2 = 0 \rightarrow V_2 = 0.588 - 9.8x \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow V_2 = 0.588N$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0.12m \rightarrow V_2 = -0.588N$$

- Cuando la longitud es  $0.1975m + 0 \leq x \leq 0.12$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_2} + \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_2} + Q \cdot \frac{x}{2} - F_A(0.1975 + x) = 0 \rightarrow$$

$$M_{F_2} = 0.116 + 0.588x - 4.9x^2 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_2} = 0.116 Nm$$

$$\text{si } x = 0.12m \rightarrow M_{F_2} = 0.116 Nm$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.1975m$  desde la derecha, utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_B - V_3 = 0 \rightarrow V_3 = 0.588N$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.1975m$  desde la derecha, utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_3} + \uparrow = 0 \rightarrow -M_{F_3} + F_B \cdot x = 0 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_3} = 0$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0.1975 \rightarrow M_{F_3} = 0.116Nm$$

- Momento de inercia utilizando la ecuación [7]

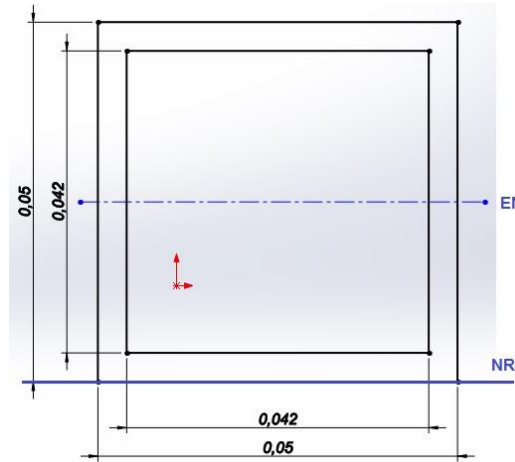
$$I = I_{\blacksquare} - I_{\square} \rightarrow I = \left[ \frac{1}{12} \cdot 0.05 \cdot (0.05^3) \right] - \left[ \frac{1}{12} \cdot 0.042 \cdot (0.042^3) \right] \rightarrow$$

$$I = 2.6152 \times 10^{-7} m^4 \quad \text{y} \quad \bar{Y} = 0.025 m$$

- Esfuerzo máximo versus esfuerzo permisible utilizando la ecuación [8]

$$\sigma_{permi} = \frac{S_y}{N} \rightarrow \sigma_{permi} = \frac{269 \times 10^6}{3} \rightarrow \sigma_{permi} = 89.67 \times 10^6 \text{ Pa}$$

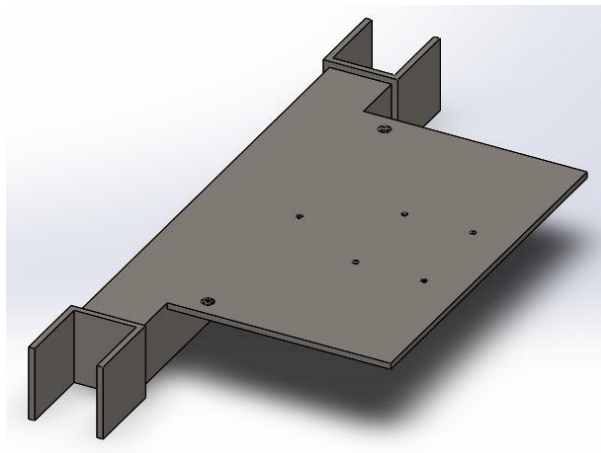
$$\sigma_{max} \leq \sigma_{permi} \rightarrow \frac{0.116 \cdot 0.025}{2.6152 \times 10^{-7}} \leq 89.69 \times 10^6 \rightarrow 11.09 \text{ KPa} \leq 89.69 \text{ MPa}$$



**Figura 3.8.** Dimensiones para el momento de inercia.

**Tabla 3.3.** Resultados de los cálculos del soporte de la Pistola Lectora de Códigos.

$F_A$ (N)	$F_B$ (N)	$M_{FMAX}$ (Nm)	$I$ (m <sup>4</sup> )	$\bar{Y}$ (m)	$\sigma_{max}$ (KPa)	$\sigma_{permi}$ (MPa)
0.588	0.588	0.1338	$2.615 \times 10^{-7}$	0.025	11.09	89.67



**Figura 3.9.** Soporte de la pistola lectora de códigos.

### 3.5.1.2. Eje Superior e Inferior de las Catalinas

Los ejes de las catalinas son sólidos, ya que deben transmitir la potencia desde el motor hacia las catalinas, para que estas a su vez transmitan el movimiento a las cadenas y así se produzca el movimiento de sube y baja en el soporte para la pistola lectora de códigos, en la Figura 3.10. se puede apreciar la manera en que se aplica el par de torsión.



Figura 3.10. Eje de las catalinas sometido a un par de torsión.

El eje está sometido a las siguientes fuerzas  $P = 0.18\text{Kw}$ ,  $W = 1393\text{rpm}$  y posee  $G = 80\text{GPa}$ ,  $S_y = 269\text{MPa}$ ,  $N = 3$

- El esfuerzo cortante permisible

$$S_{ys} = 0.5 \cdot S_y \rightarrow S_{ys} = 0.5 \cdot 269 \rightarrow S_{ys} = 134.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{permi} = \frac{134.5}{3} \rightarrow \tau_{permi} = 44.83 \text{ MPa}$$

- El torque utilizando la ecuación [3]

$$T = \frac{P}{W} \rightarrow T = \frac{180}{145.88} \rightarrow T = 1.24 \text{ Nm}$$

- El diámetro utilizando las ecuaciones [1] y [2]

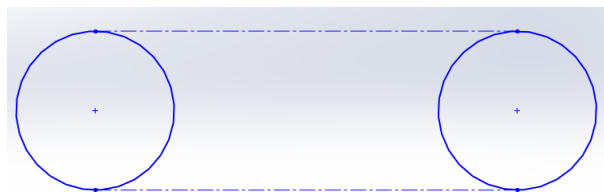
$$\tau_{max} \leq \tau_{permi} \rightarrow C \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_B}{\pi \cdot \tau_{permi}}} \rightarrow C \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1.24}{\pi \cdot 44.83 \times 10^6}} \rightarrow C \geq 2.6 \times 10^{-3} m$$

$$C \geq 2.6 \text{ mm} \rightarrow C \approx 3 \text{ mm} \rightarrow D = 6 \text{ mm}$$

Debido a que el diámetro debe superar los 6 mm se utiliza un diámetro de 14 mm, ya que el diámetro interior de la caja reductora del motor posee dicho diámetro.

### 3.5.1.3. Catalinas

Las catalinas se asemejan a las ruedas dentadas de dientes rectos, pero a diferencia de estas, las catalinas no pueden transmitir potencia de una a otra directamente, por tal motivo es necesario, que sean conectadas a través de cadenas u otro elemento. En este caso la potencia será transmitida mediante cadenas. A continuación se pueden observar en la Figura 3.11.



**Figura 3.11.** Diseño de las catalinas.

Ya que el movimiento que proveen las catalinas a las cadenas debe ser el mismo, la potencia es la misma en las dos, por lo cual el diseño posee los siguientes datos:  $Z = 14$ ,  $m = 4$

- Cálculo de diámetros

$$D_o = Z \cdot m \rightarrow D_o = 14 \cdot 4 \rightarrow D_o = 56 \text{ mm}$$

$$D_e = D_o + 2 \cdot m \rightarrow D_e = 56 + 2 \cdot 4 \rightarrow D_e = 64 \text{ mm}$$

$$D_i = D_e - 2 \cdot h \rightarrow D_i = 64 - 2 \cdot 8.6708 \rightarrow D_i = 46.66 \text{ mm}$$

$$h = 2.1677 \cdot m \rightarrow h = 2.1677 \cdot 4 \rightarrow h = 8.6708 \text{ mm}$$

$$h_f = 1.167 \cdot m \rightarrow h_f = 1.167 \cdot 4 \rightarrow h_f = 4.668 \text{ mm}$$

$$h_k = m \rightarrow mmh_k = 4 \text{ m}$$

$$t = m \cdot 3.145 \rightarrow t = 4 \cdot 3.145 \rightarrow t = 12.58$$

$$s = \frac{t}{2} \rightarrow s = \frac{12.58}{2} \rightarrow s = 6.29 \text{ mm}$$

Dónde:

m = modulo

Z = número de dientes

Do = diámetro primitivo

De = diámetro exterior

Di = diámetro interior

h = altura del diente

h<sub>k</sub> = altura de la cabeza del diente

h<sub>f</sub> = altura del pie del diente

t = paso

s = espacio entre dientes

#### **3.5.1.4. Columna de las Catalinas**

Las columnas de las catalinas (2) son tubos cuadrados y están ubicadas de forma paralela para servir como soporte del mecanismo de movimiento vertical, poseen 2 perforaciones cada una, que sirven para ingresar los pasadores inferiores de las catalinas, además de una platina soldada en la parte superior con 4 perforaciones para los dispositivos de sujeción y para que sirva como soporte de este mecanismo; a continuación se presenta su visualización en la Figura 3.12., los cálculos correspondientes y sus resultados en la Tabla 3.4.:



Para el cálculo se posee los siguiente datos:  $S_y = 269\text{MPa}$ ,  $F_1 = F_2 = 33.76\text{N}$ ,  $N = 3$ , diámetro cuadrado exterior  $0.05\text{m}$  y diámetro cuadrado interior  $0.042\text{m}$

- Esfuerzo máximo permisible

$$\sigma_{\text{permi}} = \frac{S_y}{N} \rightarrow \sigma_{\text{permi}} = \frac{269}{3} \rightarrow \sigma_{\text{permi}} = 89.67 \text{ MPa}$$

- De la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - F_1 - F_2 = 0 \rightarrow R_A = 33.76 + 33.76 \rightarrow R_A = 67.52 \text{ N}$$

- Esfuerzo máximo versus esfuerzo permisible

$$\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{permi}} \rightarrow \frac{R_A}{A} \leq 89.67 \rightarrow \frac{67.52}{A_{\blacksquare} - A_{\square}} \leq 89.67 \rightarrow$$

$$\frac{67.52}{(0.05 \cdot 0.05) - (0.042 \cdot 0.042)} \leq 89.67 \rightarrow 91.74 \text{ KPa} \leq 89.67 \text{ MPa}$$

**Tabla 3.4.** Resultado de los cálculos de la columna de las catalinas.

$\sigma_{\text{permi}}$ (MPa)	$R_A$ (N)	A (m <sup>2</sup> )	$\sigma_{\text{max}}$ (KPa)
89.67	67.52	$7.36 \times 10^{-4}$	91.74



**Figura 3.12.** Columna de las catalinas.

### 3.5.1.5. Carro Móvil

Se diseñó en base a la necesidad de movilidad en forma horizontal, posee 4 perforaciones laterales en las cuales se insertan los pasadores de las ruedas, 8 perforaciones en la base para ingresar los elementos de sujeción de las columnas de las catalinas y un soporte para el motor que dará movilidad al soporte de la pistola lectora de códigos, el cual posee 4 perforaciones.

A continuación se presentan los cálculos, la aplicación de las fuerzas en la Figura 3.13., los diagramas de fuerzas en la Figura 3.14., los resultados en la Tabla 3.5. y la forma final en la Figura 3.15.:

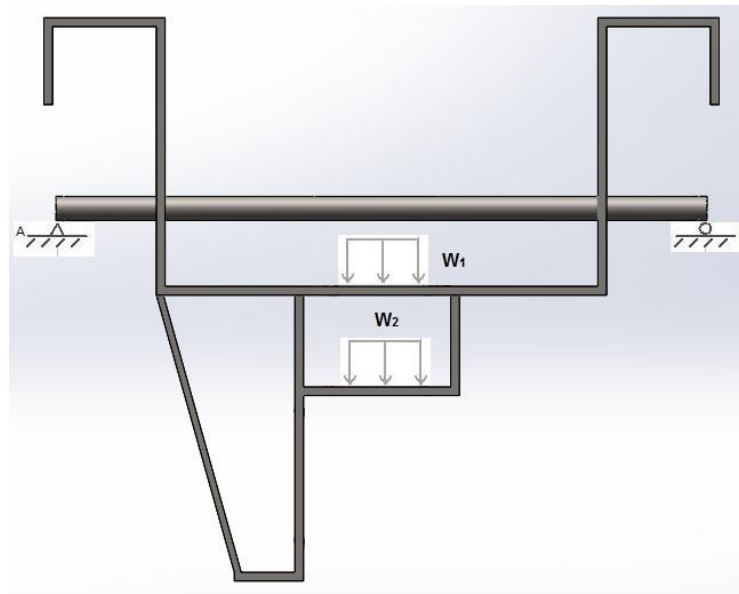


Figura 3.13. Fuerzas en el carro móvil.

Para el cálculo se posee los siguiente datos:  $W_1 = 499.41 \frac{N}{m}$ ,  $W_2 = 83.3 \frac{N}{m}$ ,  $S_y = 269MPa$  y  $N = 3$ .

- De la ecuación [4] se tiene que:

$$Q_1 = 0.062m \cdot 499.41 \frac{N}{m} \rightarrow Q_1 = 30.96 N$$

$$Q_2 = 0.062m \cdot 83.3 \frac{N}{m} \rightarrow Q = 5.17 N$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A + R_B = 36.13 \text{ N} \rightarrow R_A = 36.13 \text{ N} - R_B \rightarrow R_A = 18.065 \text{ N}$$

- De la ecuación [5] se tiene que:

$$\sum M_A \uparrow = 0 \rightarrow -30.96 \cdot 0.188 - 5.17 \cdot 0.188 + R_B \cdot 0.376 \text{ m} = 0 \rightarrow$$

$$R_B = 18.065 \text{ N}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.157 \text{ m}$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - V_1 = 0 \rightarrow V_1 = 18.065 \text{ N}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.157 \text{ m}$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_1} \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_1} - R_A \cdot x = 0 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_1} = 0$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0.157 \rightarrow M_{F_1} = 2.84 \text{ Nm}$$

- Cuando la longitud es  $0.157 \text{ m} + 0 \leq x \leq 0.062$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - Q_1 - Q_2 - V_2 = 0 \rightarrow V_2 = 18.065 - 499.41x - 83.3x$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow V_2 = 18.065 \text{ N}$$

$$\text{si } x = 0.062 \text{ m} \rightarrow V_2 = -18.065 \text{ N}$$

- Cuando la longitud es  $0.157 \text{ m} + 0 \leq x \leq 0.062$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_2} \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_2} + Q_1 \cdot \frac{x}{2} + Q_2 \cdot \frac{x}{2} - R_A(0.157 + x) = 0 \rightarrow$$

$$M_{F_2} = 2.84 + 18.065x - 291.36x^2 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_2} = 2.84 \text{ Nm}$$

$$\text{si } x = 0.062 \text{ m} \rightarrow M_{F_2} = 2.84 \text{ Nm}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.157 \text{ m}$  desde la derecha, utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_B - V_3 = 0 \rightarrow V_3 = 18.065 \text{ N}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 0.157 \text{ m}$  desde la derecha, utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_3} \uparrow = 0 \rightarrow -M_{F_3} + R_B \cdot x = 0 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_3} = 0$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0.157 \text{ m} \rightarrow M_{F_3} = 2.84 \text{ Nm}$$

- Momento de inercia utilizando la ecuación [6] y [7]

$$\bar{Y} = \frac{\bar{Y}_1 \cdot A_1 + \bar{Y}_2 \cdot A_2 + \bar{Y}_3 \cdot A_3 + \bar{Y}_4 \cdot A_4 + \bar{Y}_5 \cdot A_5 + \bar{Y}_6 \cdot A_6 + \bar{Y}_7 \cdot A_7 + \bar{Y}_8 \cdot A_8 + \frac{\bar{Y}_9 \cdot A_9 + \bar{Y}_{10} \cdot A_{10} + \bar{Y}_{11} \cdot A_{11} + \bar{Y}_{12} \cdot A_{12}}{A_{11} + A_{12}}}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} + A_{11} + A_{12}}$$

$$\bar{Y} = \frac{300 \cdot (50 \cdot 5) + 322.5 \cdot (60 \cdot 5) + 245 \cdot (160 \cdot 5) + 167.5 \cdot (250 \cdot 5) + 245 \cdot (160 \cdot 5) + 322.5 \cdot (60 \cdot 5) + 300 \cdot (50 \cdot 5) + 82.5 \cdot (171.21 \cdot 5) + 2.5 \cdot (31 \cdot 5) + 82.5 \cdot (165 \cdot 5) + 109.5 \cdot (85 \cdot 5) + 136 \cdot (58 \cdot 5)}{(50 \cdot 5) + (60 \cdot 5) + (160 \cdot 5) + (250 \cdot 5) + (160 \cdot 5) + (60 \cdot 5) + (50 \cdot 5) + (171.21 \cdot 5) + (31 \cdot 5) + (165 \cdot 5) + (85 \cdot 5) + (58 \cdot 5)} \rightarrow$$

$$\bar{Y} = 179.96 \text{ mm} \rightarrow \bar{Y} = 0.17996 \text{ m}$$

$$I = \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 50^3 + 120.04^2 \cdot 50 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 5^3 + 142.54^2 \cdot 60 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 160^3 + 65.04^2 \cdot 160 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 5^3 + 12.46^2 \cdot 250 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 160^3 + 65.04^2 \cdot 160 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 5^3 + 142.54^2 \cdot 60 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 50^3 + 120.04^2 \cdot 50 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 171.21^3 + 97.46^2 \cdot 171.21 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 31 \cdot 5^3 + 177.46^2 \cdot 31 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 165^3 + 97.46^2 \cdot 165 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 85 \cdot 5^3 + 70.46^2 \cdot 85 \cdot 5 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 58^3 + 43.96^2 \cdot 58 \cdot 5 \right) \right]$$

$$I = 59554328.18 \text{ mm}^4 \rightarrow I = 5.955432818 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

- Esfuerzo máximo versus esfuerzo permisible utilizando la ecuación [8]

$$\sigma_{permi} = \frac{S_y}{N} \rightarrow \sigma_{permi} = \frac{269 \times 10^6}{3} \rightarrow \sigma_{permi} = 89.67 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{permi} \rightarrow \frac{3.12 \cdot 0.17996}{5.955432818 \times 10^{-5}} \leq 89.69 \times 10^6 \rightarrow 9.43 \text{ KPa} \leq 89.69 \text{ MPa}$$

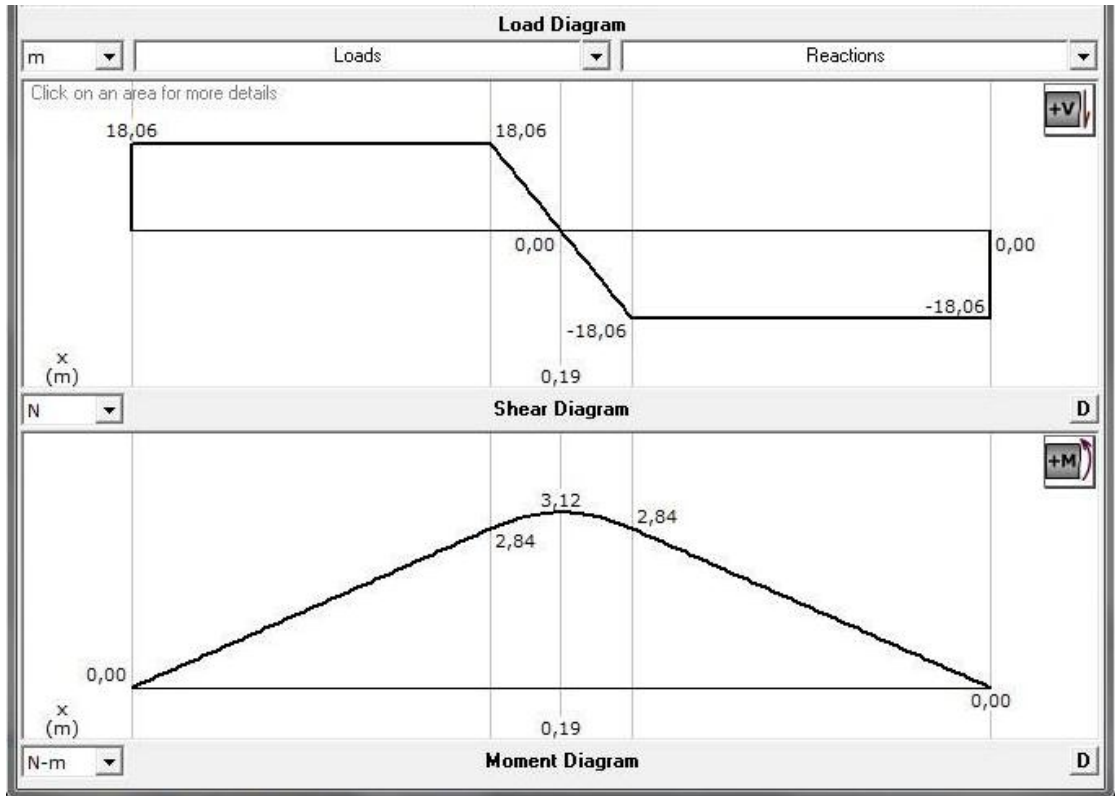


Figura 3.14. Diagrama de esfuerzos del carro móvil.

Tabla 3.5. Resultado de los cálculos del carro móvil.

$R_A$ (N)	$R_B$ (N)	$M_{FMAX}$ (Nm)	$I$ (m <sup>4</sup> )	$\bar{Y}$ (m)	$\sigma_{max}$ (KPa)	$\sigma_{permi}$ (MPa)
18.065	18.065	3.12	$5.956 \times 10^{-5}$	0.17996	9.43	89.67

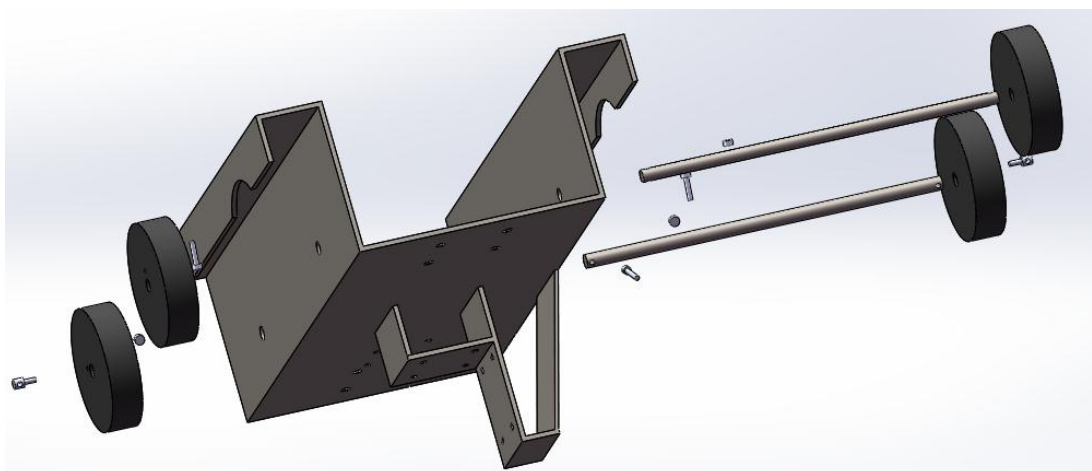
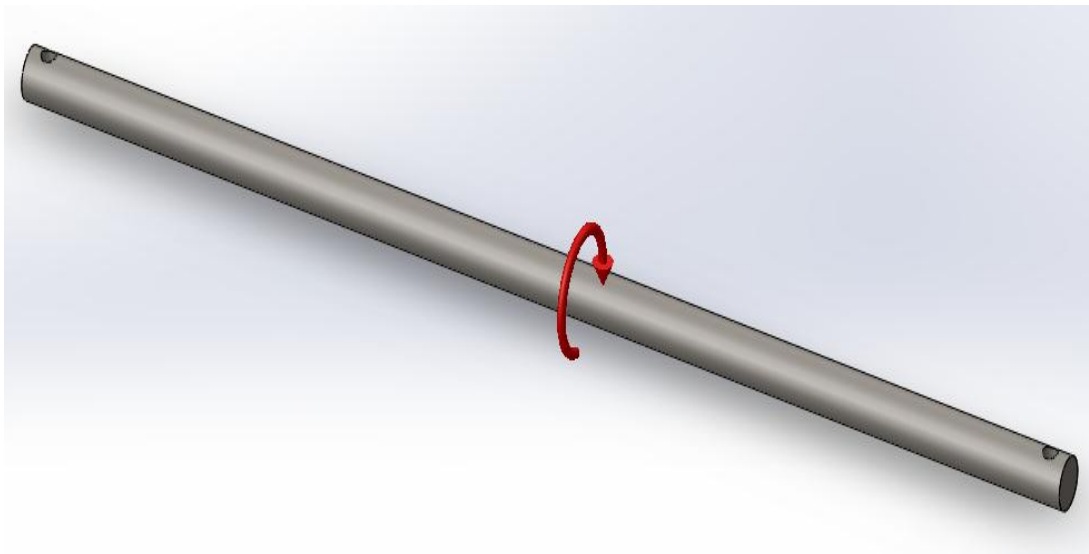


Figura 3.15. Vista explosionada del carro móvil.

### 3.5.1.6. Ejes Delantero y Posterior del Carro Móvil

Los ejes del carro móvil son sólidos, ya que deben transmitir la potencia desde el motor hacia las ruedas, para que así produzca el movimiento horizontal de la máquina, siendo este de derecha a izquierda y viceversa, además de soportar el peso de toda la parte inferior de la máquina, en la Figura 3.16. se puede apreciar la manera en que se aplica el par de torsión.



**Figura 3.16.** Eje del carro móvil sometido a un par de torsión.

El eje está sometido a las siguientes fuerzas  $P = 0.09Kw$ ,  $W = 1346rpm$  y posee  $G = 80GPa$ ,  $S_y = 269MPa$ ,  $N = 3$

- El esfuerzo cortante permisible

$$S_{ys} = 0.5 \cdot S_y \rightarrow S_{ys} = 0.5 \cdot 269 \rightarrow S_{ys} = 134.5 MPa$$

$$\tau_{permi} = \frac{134.5}{3} \rightarrow \tau_{permi} = 44.83 MPa$$

- El torque utilizando la ecuación [3]

$$T = \frac{P}{W} \rightarrow T = \frac{90}{140.95} \rightarrow T = 0.64 Nm$$

- El diámetro utilizando las ecuaciones [1] y [2]

$$\tau_{max} \leq \tau_{permi} \rightarrow C \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_B}{\pi \cdot \tau_{permi}}} \rightarrow C \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 0.164}{\pi \cdot 44.83 \times 10^6}} \rightarrow C \geq 2.09 \times 10^{-3} m$$

$$C \geq 2.09 \text{ mm} \rightarrow C \approx 3 \text{ mm} \rightarrow D = 6 \text{ mm}$$

Debido a que el diámetro debe superar los 6 mm se utiliza un diámetro de 14 mm, ya que el diámetro interior de la caja reductora del motor posee dicho diámetro.

### 3.5.1.7. Riel Carro Móvil

Son 2 rieles para limitar el desplazamiento del carro móvil, y estas son vigas UPN en las cuales se suelda los soportes de la máquina, además para que las rieles mantengan su distancia y no provoquen fallos al momento del desplazamiento del carro se encuentran soldadas a 2 pedazos de viga UPN en sus extremos; a continuación se presenta su visualización en la Figura 3.18., los cálculos pertinentes, su diagrama de esfuerzos en la Figura 3.17. y sus resultados en la Tabla 3.6.

Para el cálculo se posee los siguiente datos:  $W_1 = W_2 = 203.15 \text{ N/m}$ ,  $A = 1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ,  $S_y = 269 \text{ MPa}$  y  $N = 3$ .

- De la ecuación [4] se tiene que:

$$Q_1 = Q_2 = 0.12 \text{ m} \cdot 203.15 \frac{\text{N}}{\text{m}} \rightarrow Q_1 = Q_2 = 24.32 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A + R_B = 48.76 \text{ N} \rightarrow R_A = 48.76 \text{ N} - R_B \rightarrow R_A = 24.38 \text{ N}$$

- De la ecuación [5] se tiene que:

$$\sum M_A + \uparrow = 0 \rightarrow -24.38 \cdot 1.58 - 24.38 \cdot 1.82 + R_B \cdot 3.4 = 0 \rightarrow R_B = 24.38 \text{ N}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 1.52 \text{ m}$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - V_1 = 0 \rightarrow V_1 = 24.38 \text{ N}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 1.52m$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_1} + \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_1} - R_A \cdot x = 0 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_1} = 0$$

$$\rightarrow \text{si } x = 1.52m \rightarrow M_{F_1} = 37.05 \text{ Nm}$$

- Cuando la longitud es  $1.52m + 0 \leq x \leq 0.12m$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - Q_1 - V_2 = 0 \rightarrow V_2 = 24.38 - 203.15x$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow V_2 = 24.38N$$

$$\text{si } x = 0.12m \rightarrow V_2 = 0$$

- Cuando la longitud es  $1.52m + 0 \leq x \leq 0.12m$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_2} + \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_2} + Q_1 \cdot \frac{x}{2} - R_A(1.52 + x) = 0 \rightarrow$$

$$M_{F_2} = 37.05 + 24.38x - 101.58x^2 \rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow M_{F_2} = 37.05 \text{ Nm}$$

$$\text{si } x = 0.12m \rightarrow M_{F_2} = 38.51 \text{ Nm}$$

- Cuando la longitud es  $1.64m + 0 \leq x \leq 0.12m$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - Q_1 - V_3 = 0 \rightarrow V_3 = 24.38 - 24.38 \rightarrow V_3 = 0$$

- Cuando la longitud es  $1.64m + 0 \leq x \leq 0.12m$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_3} + \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_3} + Q_1 \cdot (x + 0.06) - R_A(1.64 + x) = 0 \rightarrow$$

$$M_{F_3} = 39.98 + 24.38x - 1.46 - 24.38x \rightarrow M_{F_3} = 38.51 \text{ Nm}$$

- Cuando la longitud es  $1.76m + 0 \leq x \leq 0.12m$  utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - Q_1 - Q_2 - V_4 = 0 \rightarrow V_4 = 203.15x$$

$$\rightarrow \text{si } x = 0 \rightarrow V_4 = 0$$

$$\text{si } x = 0.12m \rightarrow V_4 = -24.38 N$$

- Cuando la longitud es  $1.76m + 0 \leq x \leq 0.12$  utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_4} + \uparrow = 0 \rightarrow M_{F_4} + Q_2 \cdot \frac{x}{2} + Q_1 \cdot (0.18 + x) - R_A(1.76 + x) = 0 \rightarrow$$



$$M_{F_4} = 38.51 - 101.58x^2 \rightarrow \quad \text{si } x = 0 \quad \rightarrow M_{F_4} = 38.51 \text{ Nm}$$

$$\text{si } x = 0.12\text{m} \rightarrow M_{F_4} = 37.05 \text{ Nm}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 1.52\text{m}$  desde la derecha, utilizando la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_B - V_5 = 0 \rightarrow V_5 = 24.38 \text{ N}$$

- Cuando la longitud es  $0 \leq x \leq 1.52\text{m}$  desde la derecha, utilizando la ecuación [5]

$$\sum M_{F_5} + \uparrow = 0 \rightarrow -M_{F_5} + R_B \cdot x = 0 \rightarrow \text{si } x = 0 \quad \rightarrow M_{F_5} = 0$$

$$\rightarrow \text{si } x = 1.52\text{m} \rightarrow M_{F_5} = 37.05 \text{ Nm}$$

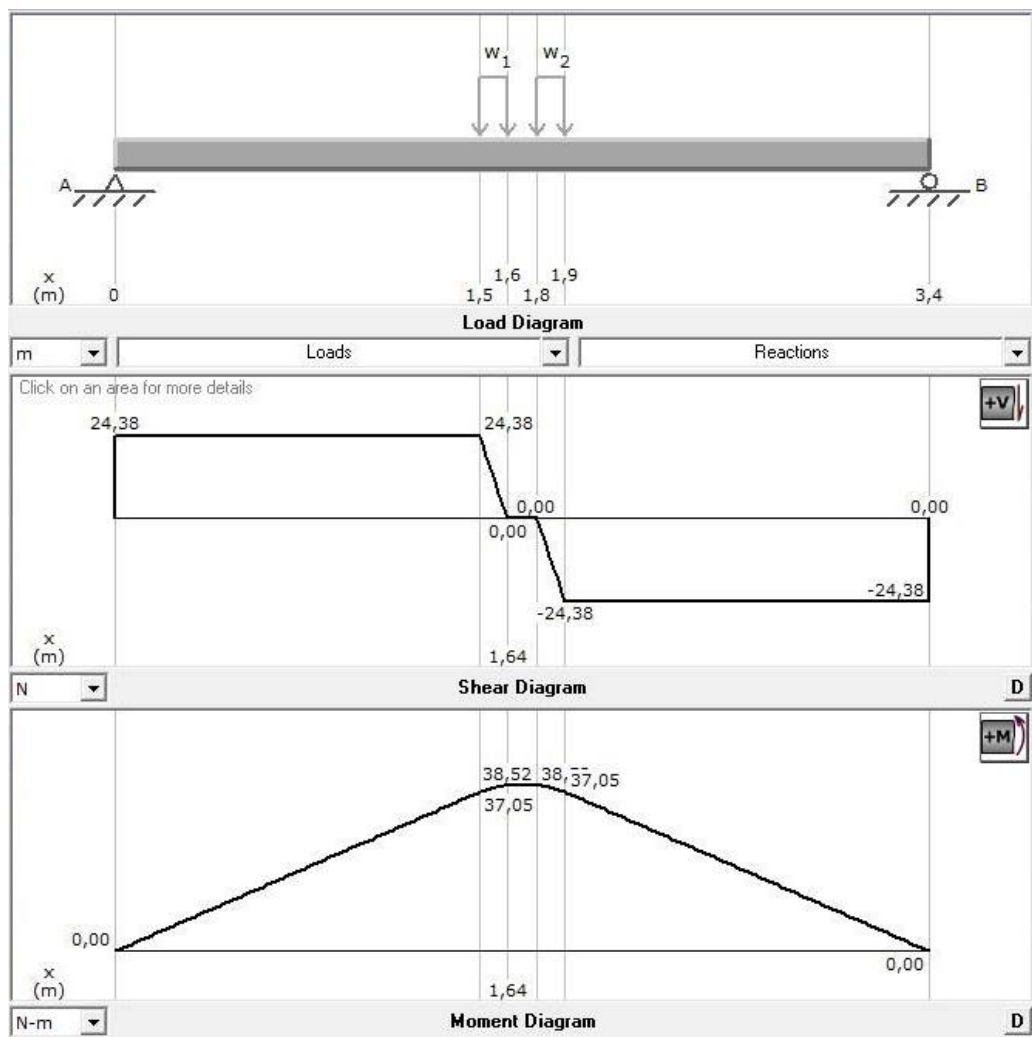


Figura 3.17. Diagrama de esfuerzos de la riel del carro móvil.

- Esfuerzo máximo permisible

$$\sigma_{permi} = \frac{S_y}{N} \rightarrow \sigma_{permi} = \frac{269}{3} \rightarrow \sigma_{permi} = 89.67 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo máximo versus esfuerzo permisible

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{permi} \rightarrow \frac{R_A}{A} \leq 89.67 \text{ MPa} \rightarrow \frac{24.38 \text{ N}}{1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \leq 89.67 \text{ MPa} \rightarrow$$

$$22.16 \text{ KPa} \leq 89.67 \text{ MPa}$$

**Tabla 3.6.** Resultados de los cálculos de la riel del carro móvil.

$R_A$ (N)	$R_B$ (N)	$M_{FMAX}$ (Nm)	$\sigma_{max}$ (KPa)	$\sigma_{permi}$ (MPa)
24.38	24.38	38.51	22.16	89.67



**Figura 3.18.** Riel carro móvil.

### 3.5.1.6. Soporte de la Máquina

En la maquina existen 6 de estos soportes, 3 en cada lado soldados a las vigas UPN que sirven como riel para el carro móvil. La parte inferior es de forma tubular cuadrada y en su parte superior una platina cuadrada sirve de

soporte mediante 4 perforaciones en las cuales se ingresaran los elementos de sujeción apropiados, para que se mantengan fijos en el techo; a continuación se presentan su visualización en la Figura 3.19. y los resultados de los cálculos en la Tabla 3.7.:

Para el cálculo se posee los siguiente datos:  $S_y=269\text{MPa}$ ,  $F=239.12\text{ N}$ ,  $N=3$ , diámetro cuadrado exterior  $0.03\text{m}$  y diámetro cuadrado interior  $0.024\text{m}$ .

- Esfuerzo máximo permisible

$$\sigma_{permi} = \frac{S_y}{N} \rightarrow \sigma_{permi} = \frac{269}{3} \rightarrow \sigma_{permi} = 89.67\text{ MPa}$$

- De la ecuación [4]

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - F = 0 \rightarrow R_A = 239.12\text{N}$$

- Esfuerzo máximo versus esfuerzo permisible

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{permi} \rightarrow \frac{R_A}{A} \leq 89.67 \rightarrow \frac{239.12}{A_{\blacksquare} - A_{\square}} \leq 89.67 \rightarrow$$

$$\frac{239.12}{(0.03 \cdot 0.03) - (0.024 \cdot 0.024)} \leq 89.67 \rightarrow 738.03\text{ KPa} \leq 89.67\text{ MPa}$$

**Tabla 3.7.** Resultados de los cálculos del soporte de la máquina.

$\sigma_{permi}$ (MPa)	$R_A$ (N)	A (m <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$ (KPa)
89.67	239.12	$3.24 \times 10^{-4}$	738.03



**Figura 3.19.** Soporte de la máquina.

### 3.5.2. DISEÑO ELÉCTRICO

El diseño eléctrico tiene por objetivo establecer la manera de alimentación de los diferentes dispositivos necesarios para el debido funcionamiento de la máquina, además de la distribución de posicionamiento de los elementos dentro del gabinete metálico.

#### 3.5.2.1. Alimentación sistema eléctrico.

El sistema eléctrico está alimentado por dos líneas de 110v AC desfasadas 120°, ya que los elementos del sistema eléctrico funcionan a 220v AC; los dispositivos periféricos al variador de frecuencia mostrados en la Figura 3.20., son implementados teniendo en cuenta el manual del fabricante del variador de frecuencia marca Micno, y estos son el Contactor y Switch ambos de marca Schneider, ya que el variador de frecuencia necesita de estos para brindar el correcto funcionamiento a los motores trifásicos, debido a que dichos motores proveen el movimiento de toda la máquina.

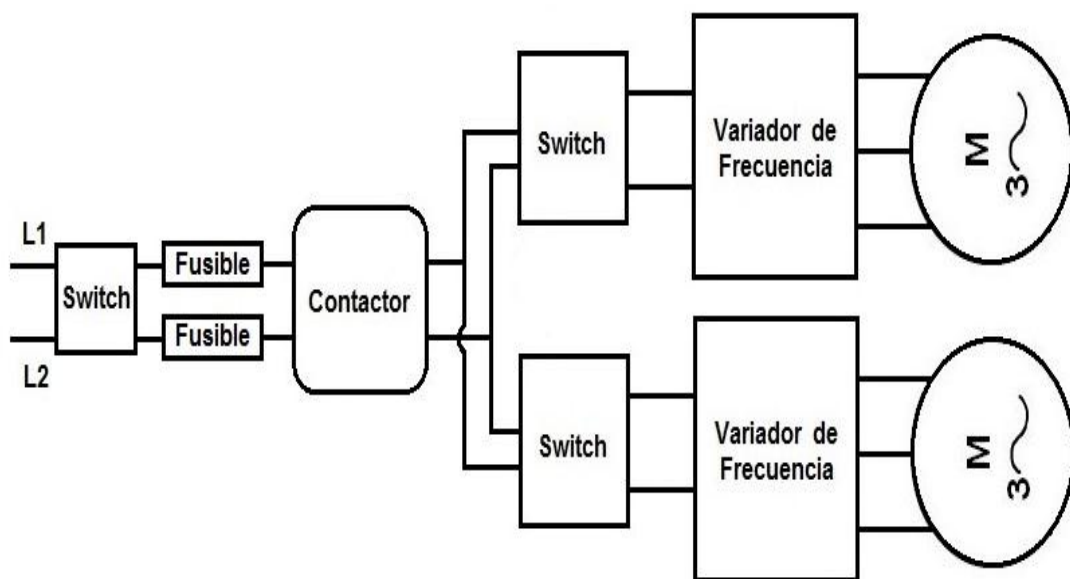


Figura 3.20. Elementos periféricos al variador de frecuencia.

### 3.5.2.2. Alimentación sistema electrónico.

El sistema electrónico está alimentado por una línea de 110v AC, por este motivo se utiliza el transformador que convierte los 110v AC a 12v AC, por lo que es necesario ingresarlo en su respectivo circuito de transformación para que se los convierta en DC, ya que algunos de los componentes funcionan a 5v DC y otros a 12v DC, como se puede observar en la Figura 3.21.

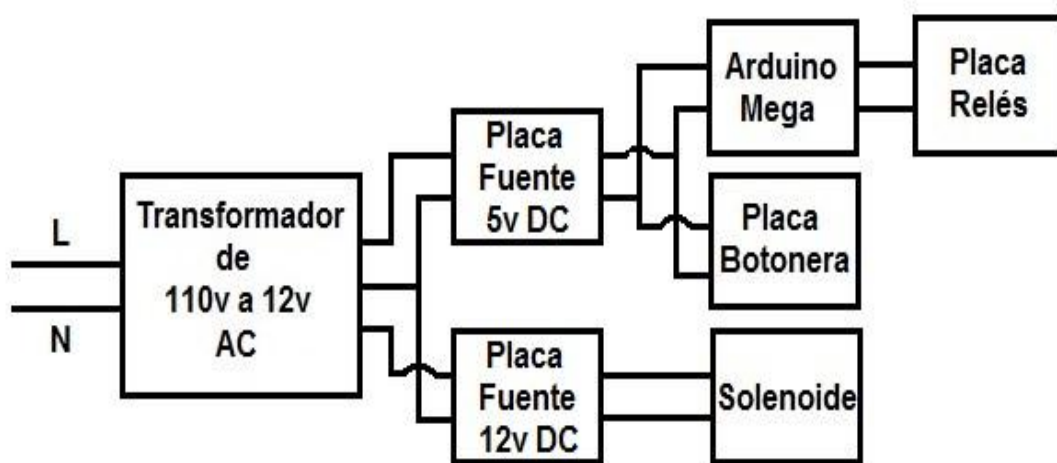


Figura 3.21. Alimentación sistema electrónico.

### 3.5.2.3. Posicionamiento de los elementos dentro del gabinete metálico.

Los elementos dentro del gabinete metálico aprovechan el espacio del mismo estando ordenados de manera que no interfieran el uno con el otro, ya que son varios los elementos que deben ocuparlo, por limitaciones graficas los nombres de los elementos se representan mediante letras, y se pueden apreciar en la Figura 3.22. a continuación:

a) Fuente de 5v

b) Transformador

- c) Placa relés
- d) Placa Botonera
- e) Arduino Mega 2560
- f) Variadores de Frecuencia Micno KE300X-0R4G-S2
- g) Breakers 220v
- h) Contactor 220v

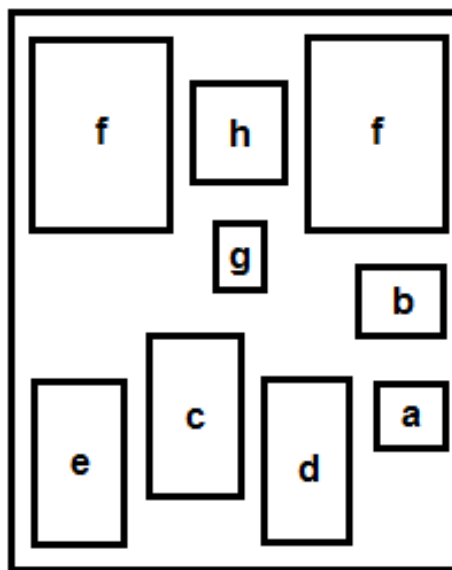


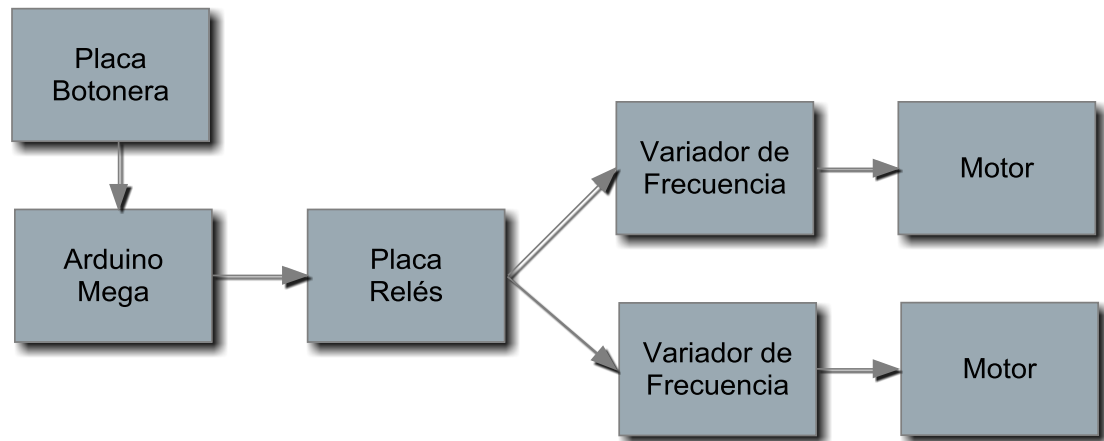
Figura 3.22. Distribución gabinete metálico.

### 3.5.3. DISEÑO DEL CONTROL

A continuación se presenta en la Figura 3.23. el esquema de conexión de los elementos de control de la máquina, los cuales serán explicados más adelante en su respectivo diagrama de flujo.

El flujo del control de la máquina empieza ingresando la información mediante la placa de la botonera, la cual envía datos de cuantas columnas van a ser facturadas, y estas pueden ser de 1 a 5 columnas, las cuales son representadas con un botón cada una; una vez elegida la cantidad de columnas se envía la señal de lectura de las mismas mediante un sexto

botón en la placa de la botonera, la cual activa la programación del controlador Arduino Mega 2560.



**Figura 3.23.** Esquema de conexión de los elementos de control.

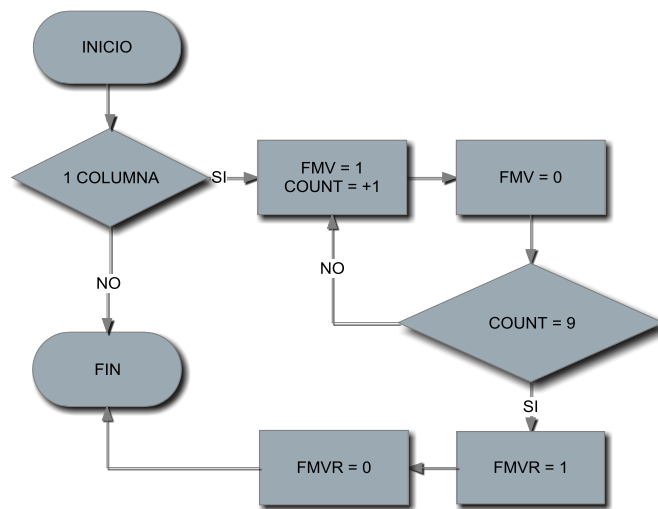
El Arduino a su vez envía la señal a la placa de los relés (ya que las entradas o salidas digitales del Arduino brindan 5v en su estado alto y 0 voltios en estado bajo), se utiliza esta señal para excitar la bobina de los relés para que estos a su vez permitan el paso de la señal del Variador de Frecuencia KE300x-0R4G-S2 que es 24v a su módulo PLC, para que así conjuntamente a la programación del Variador de Frecuencia den movimiento a los motores.

### **3.5.3.1. Flujograma de la programación de cada botón de control.**

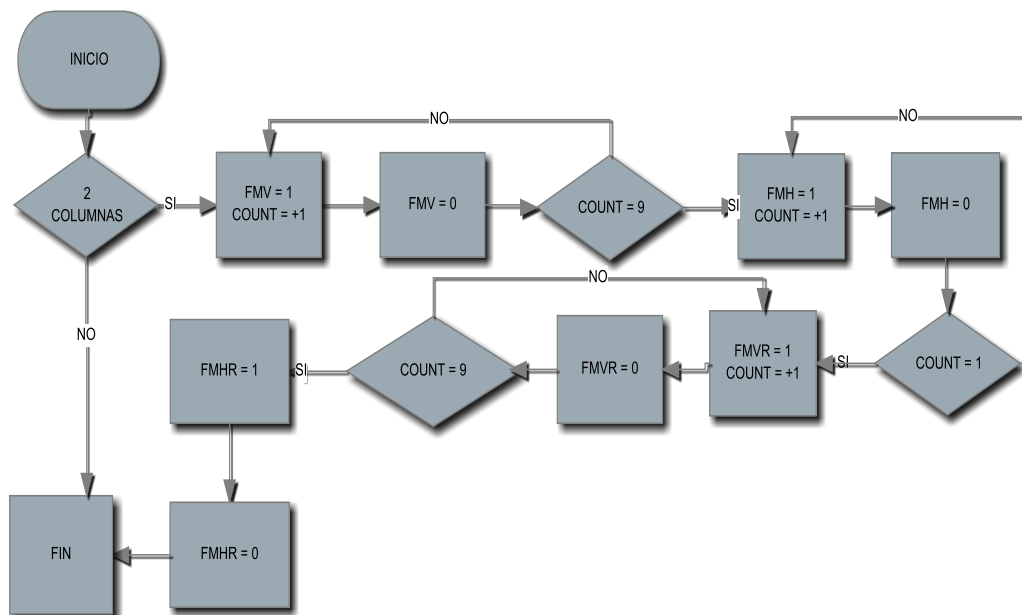
A continuación se presenta el funcionamiento de la programación en el Arduino Mega dependiendo de la cantidad de columnas seleccionadas, en las entradas de control.

- La programación que se ejecuta si en las entradas de control de la placa de la botonera es 1 columna se presenta en la Figura 3.24.
- La programación que se ejecuta si en las entradas de control de la placa de la botonera es 2 columnas se presenta en la Figura 3.25.

- La programación que se ejecuta si en las entradas de control de la placa de la botonera es 3 columnas se presenta en la Figura 3.26.
- La programación que se ejecuta si en las entradas de control de la placa de la botonera es 4 columnas se presenta en la Figura 3.27.
- La programación que se ejecuta si en las entradas de control de la placa de la botonera es 5 columnas se presenta en la Figura 3.28.



**Figura 3.24.** Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 1 columna.



**Figura 3.25.** Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 2 columnas.



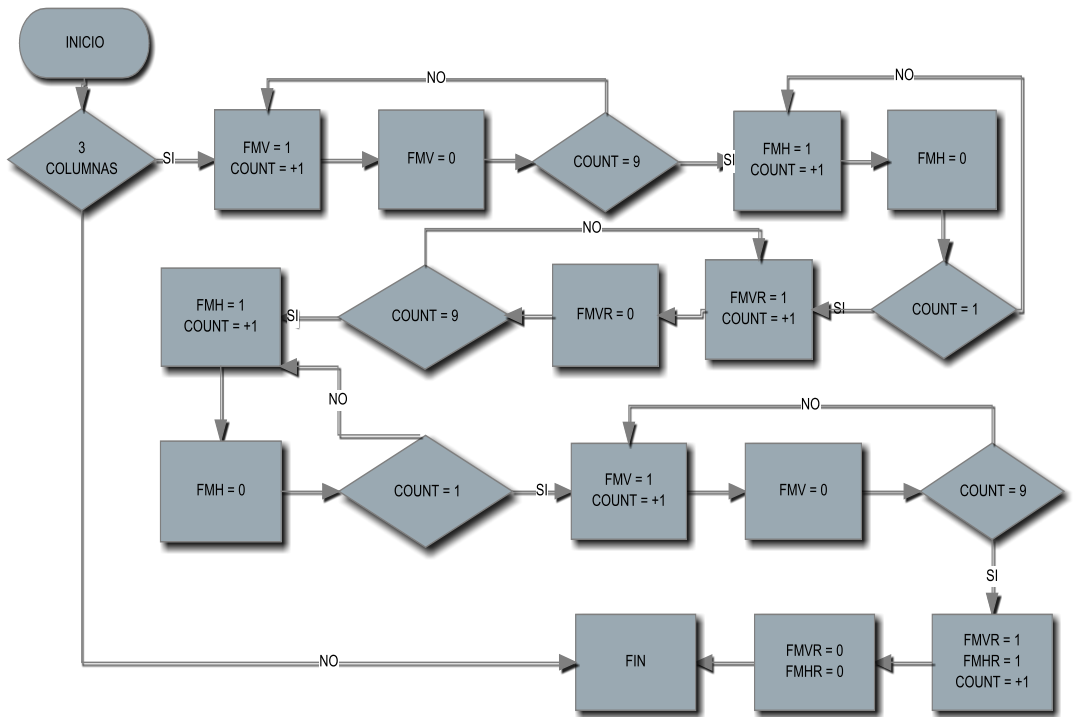


Figura 3.26. Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 3 columnas.

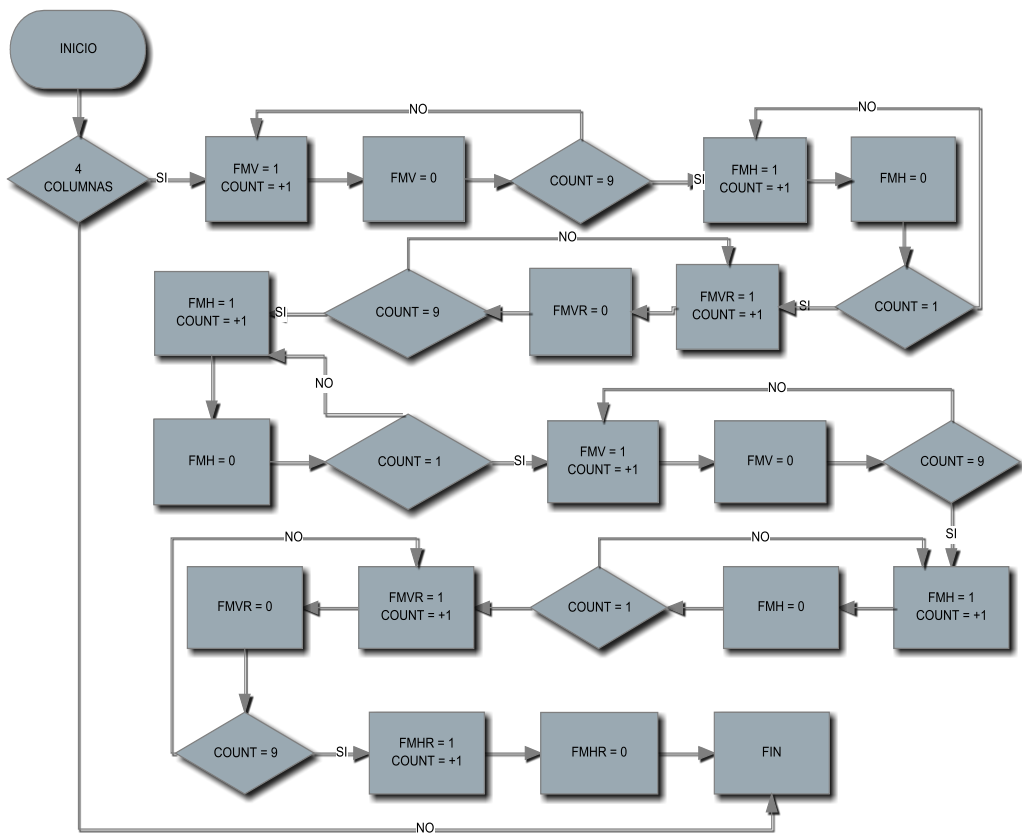


Figura 3.27. Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación de 4 columnas.





**Figura 3.29.** Variador de Frecuencia KE300-0R4G-S2.

**Fuente:** Micno

**Tabla 3.8.** Programación del Variador de Frecuencia.

Código de Función	Nombre	Detalle de la Instrucción
P0-02	Funcionamiento del variador	1: Terminales
P0-03	Selección del ingreso de frecuencia	1: Teclado
P0-08	Frecuencia de referencia del teclado	60Hz
P0-17	Tiempo de aceleración	0.02s
P0-18	Tiempo de desaceleración	0.02s
P1-04	Frecuencia nominal	60Hz
P4-11	Modo de comandos de los terminales	0: Dos líneas modo 1

### 3.5.3.3. Placa Entradas de Control

Las entradas de control son seis botones que cumplen diferentes funciones; los botones verdes que son los cinco primeros son utilizados para seleccionar la cantidad de columnas que se desea facturar, y el botón azul que es el último botón a la derecha se utiliza para que la placa Arduino Mega lea las entradas seleccionadas, y gracias a esto empezar el funcionamiento de la máquina. En la Figura 3.30. se puede apreciar su simulación en el programa ISIS 7 Profesional:

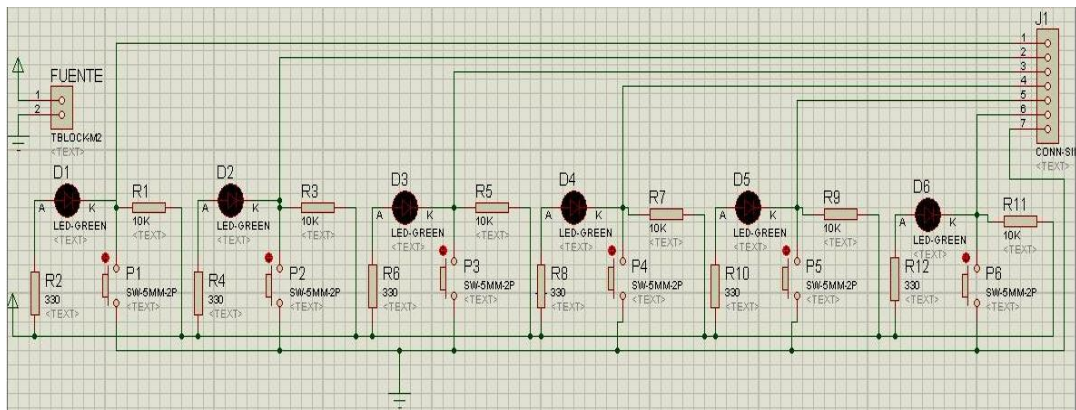


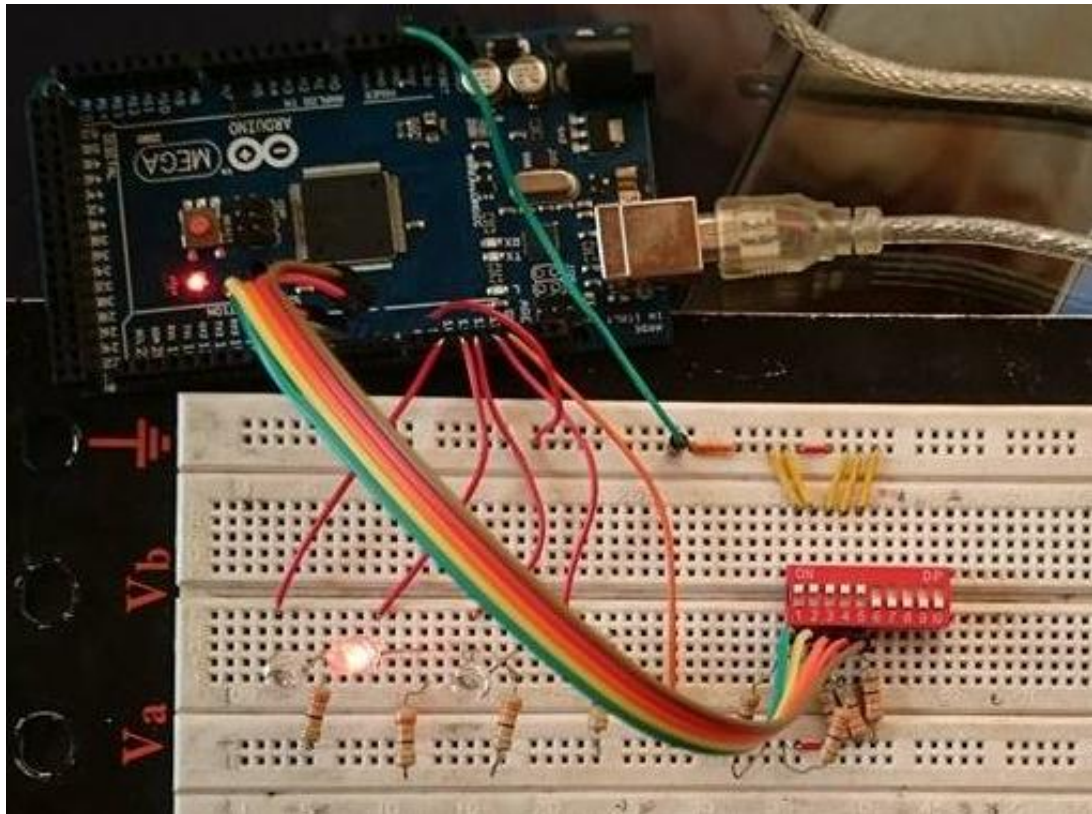
Figura 3.30. Simulación placa entradas de control.

### 3.5.3.4. Placa Relés

Los relés funcionan en conjunto con la placa Arduino Mega 2560, los variadores de frecuencia KE300X-0R4G-S2 y la placa de entradas de control, ya que al seleccionar la cantidad de columnas y enviar la señal desde la placa de entradas de control que funciona a 5v DC, la placa Arduino toma las decisiones gracias a la programación ingresada y envía las señales para excitar las bobinas de los relés que también funcionan a 5v DC y estos relés a su vez permiten el paso de la señal proveniente desde la función PLC de los variadores de frecuencia que es una señal de 24v DC. A continuación se presenta la simulación del circuito de la placa de relés en el programa ISIS 7 Profesional en la Figura 3.31.:



desde el variador de frecuencia y estos a su vez dan un giro en dirección contraria a cada motor, como se puede visualizar en la Figura 3.32.

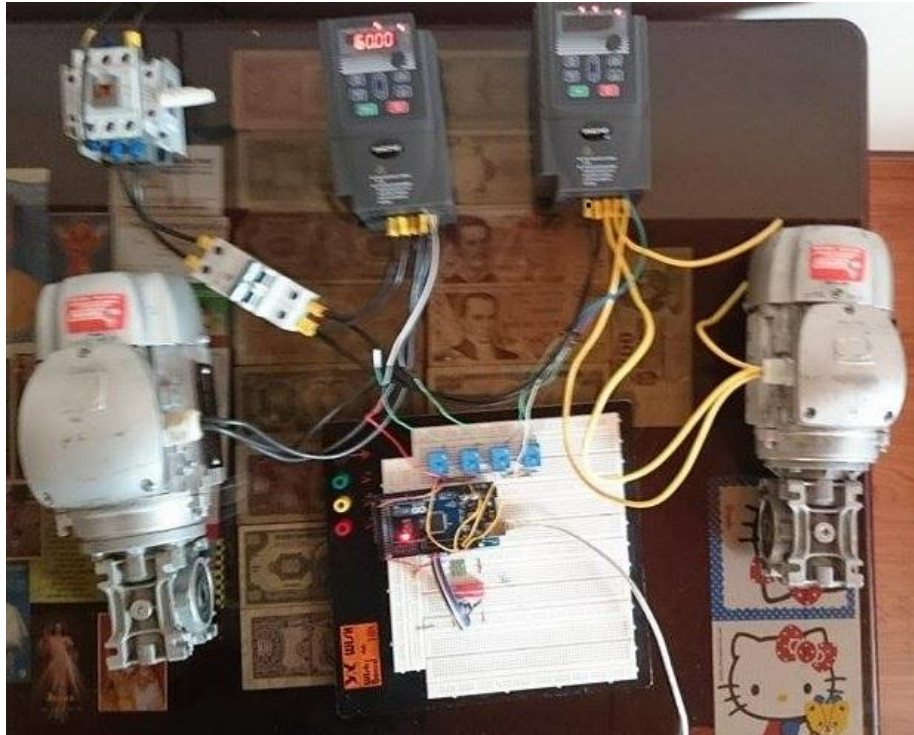


**Figura 3.32.** Pruebas en protoboard.

#### **3.5.4.2. PRUEBAS DE LA PROGRAMACIÓN CON RELÉS, VARIADORES DE FRECUENCIA Y MOTORES AC**

Se procede a la prueba de funcionamiento de la programación en conjunto de la plataforma Arduino y de los variadores de frecuencia, ya que si una de las dos programaciones llegara a fallar, podría causar daños no solo al equipo, sino a terceros; los motores trifásicos, los relés y sus protecciones, están debidamente conectados, para simular con los relés en el protoboard a la placa de relés, a las entradas de control con el dip switch, y así verificar el funcionamiento de los motores, como se muestra a continuación en la Figura 3.33.





**Figura 3.33.** Pruebas en protoboard relés.

## **3.6. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

El equipo consta de tres partes importantes ya mencionados anteriormente que son el subsistema mecánico, subsistema eléctrico y el subsistema de control. Estos tres subsistemas pasaron previamente por una etapa de diseño que condujo a la validación de los mismos, a través de pruebas llevadas a cabo en prototipajes virtuales y físicos.

A continuación se presenta cada una de estos subsistemas de forma práctica:

### **3.6.1. SUBSISTEMA MECÁNICO**

A continuación se muestran los elementos mecánicos construidos, previamente diseñados en relación al análisis de las necesidades y el establecimiento de las especificaciones técnicas, en apego a la metodología mecatrónica utilizada.

- Soporte pistola lectora de códigos (Figura 3.34.).



**Figura 3.34.** Soporte pistola lectora de códigos.

- Viga de las catalinas (Figura 3.35.).



**Figura 3.35.** Viga de las catalinas.

- Carro móvil (Figura 3.36.).



**Figura 3.36.** Carro móvil.



- Riel del carro móvil (Figura 3.37.).



**Figura 3.37.** Riel carro móvil.

- Ejes del carro móvil y de las catalinas (Figura 3.38.).



**Figura 3.38.** Ejes del carro móvil y de las catalinas.

- Subsistema Mecánico completo (Figura 3.39.).



**Figura 3.39.** Subsistema mecánico completo.

### 3.6.2. SUBSISTEMA ELÉCTRICO

Se utiliza una fuente de 5V ya que los elementos como el Arduino y los relés necesitan de este valor nominal para su funcionamiento.

- Fuentes de 5V (Figura 3.40.).



**Figura 3.40.** Fuentes 5V y 12V.

- Breakers 220V Schneider (Figura 3.41.).



**Figura 3.41.** Breaker 220V Schneider.

- Contactor 220V Schneider (Figura 3.42.).



**Figura 3.42.** Contactor 220V Schneider.

- Subsistema eléctrico completo (Figura 3.43.).



**Figura 3.43.** Subsistema eléctrico completo.



### 3.6.3. SUBSISTEMA DE CONTROL

Cada elemento de control se presenta a continuación con una figura para cada uno en los cuales se puede apreciar los elementos utilizados para conectar la placa Arduino Mega 2560, los variadores de frecuencia Micno KE300X-0R4G-S2 y las entradas de control:

- Placa de entradas de control (Figura 3.44.).



Figura 3.44. Placa de entradas de control.

- Placa relés (Figura 3.45.).

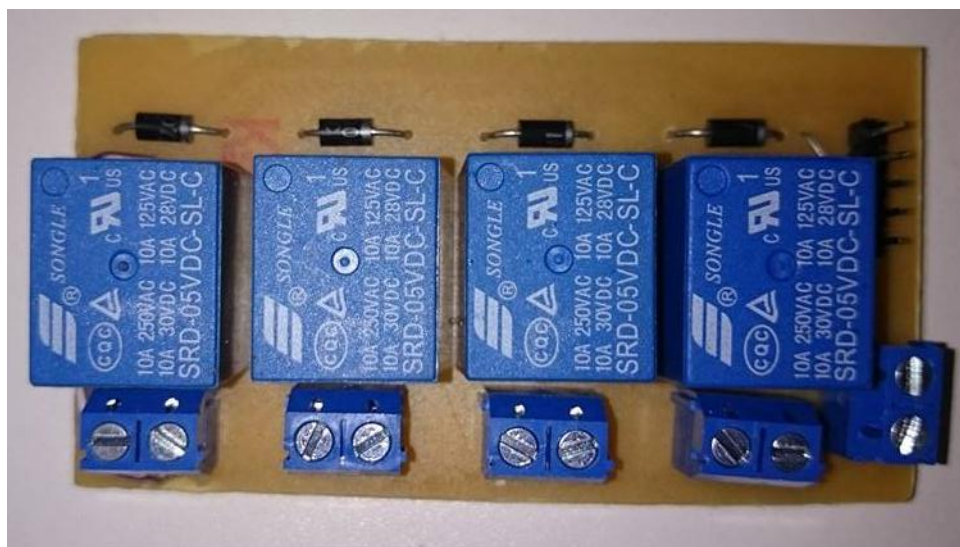


Figura 3.45. Placa relés.

- Subsistema de control completo en operación (Figura 3.46.).



**Figura 3.46.** Subsistema de control completo.

### **3.7. PRUEBAS DEL EQUIPO**

Una vez diseñados y construidos los elementos mecánicos y de control, se unen mediante los elementos eléctricos para realizar las pruebas correspondientes como se muestran en las figuras a continuación:

#### **3.7.1. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA**

Una vez comprobado el funcionamiento tanto de la programación en la plataforma Arduino y la programación en los Variadores de frecuencia, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento con el equipo conformando un sistema, es decir, el subsistema mecánico, eléctrico y de control funcionando de manera integrada, conformando un sistema, como se observa en las Figura 3.47. y Figura 3.48.:



**Figura 3.47.** Pruebas 1 del funcionamiento de la máquina.

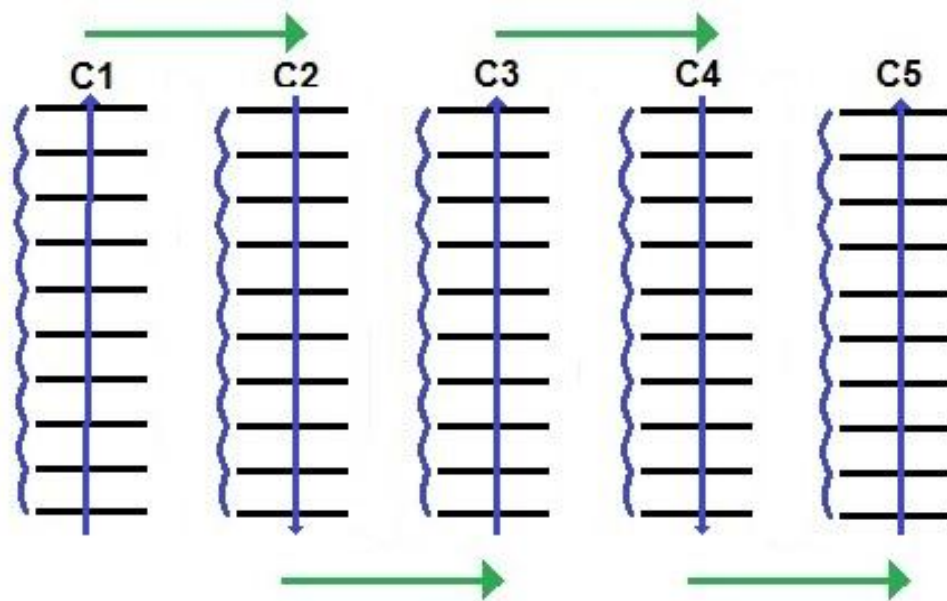


**Figura 3.48.** Prueba 2 del funcionamiento de la máquina.



### 3.8. RESULTADOS

La obtención de datos de tiempos de respuesta del sistema se realizó utilizando cada una de las posibles entradas que debe tener la máquina, es decir, de una a cinco columnas, el movimiento de avance del sistema puede ser observado en la Figura 3.49.



**Figura 3.49.** Avance de la maquina dependiendo la cantidad de columnas.

En la Tabla 3.9, Tabla 3.10. y Tabla 3.11. se muestran los tiempos de avance que demora el sistema en realizar los movimientos entre filas y columnas, ya sea que se haya elegido una columna, como haber elegido las cinco columnas, cabe recalcar que en las columnas impares el movimiento vertical es hacia arriba, lo que cambia en las columnas pares, ya que en estas el movimiento vertical es hacia abajo.

En el movimiento horizontal de avance que es hacia la derecha, depende también de la cantidad de columnas que se haya seleccionado, ya el sistema se mueve horizontalmente siempre y cuando sea más de una columna; los tiempos recolectados se muestran en segundos.

**Tabla 3.9.** Tiempos de respuesta del movimiento vertical en 9 posiciones del sistema.

<b>TIEMPOS DEL MOVIMIENTO VERTICAL DEL SISTEMA EN SEGUNDOS</b>						
<b>CANTIDAD FILAS</b>	<b>1 COLUMNA</b>	<b>2 COLUMNAS</b>		<b>3 COLUMNAS</b>		
	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>M1</b>	2.29	2.31	2.19	2.27	2.22	2.30
<b>M2</b>	2.26	2.27	2.17	2.22	2.20	2.27
<b>M3</b>	2.22	2.29	2.25	2.24	2.25	2.31
<b>M4</b>	2.24	2.24	2.18	2.20	2.19	2.29
<b>M5</b>	2.21	2.20	2.20	2.29	2.17	2.25
<b>M6</b>	2.25	2.26	2.23	2.33	2.21	2.28
<b>M7</b>	2.23	2.27	2.19	2.19	2.22	2.20
<b>M8</b>	2.19	2.23	2.26	2.23	2.24	2.18
<b>M9</b>	2.26	2.26	2.24	2.25	2.21	2.22
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.24</b>	<b>2.26</b>	<b>2.21</b>	<b>2.25</b>	<b>2.21</b>	<b>2.26</b>

Existen 10 filas, por lo cual existen 9 movimientos entre filas, el movimiento entre fila y fila esta denotado por la letra M.

**Tabla 3.10.** Tiempo de respuesta del movimiento horizontal de avance.

<b>TIEMPOS DEL MOVIMIENTO HORIZONTAL DEL SISTEMA EN SEGUNDOS</b>					
<b>CANTIDAD DE COLUMNAS</b>	<b>2 COLUMNAS</b>	<b>3 COLUMNAS</b>	<b>4 COLUMNAS</b>	<b>5 COLUMNAS</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MOVIMIENTO DE DERECHA A IZQUIERDA</b>	4.11	4.15	4.12	4.16	<b>4.14</b>



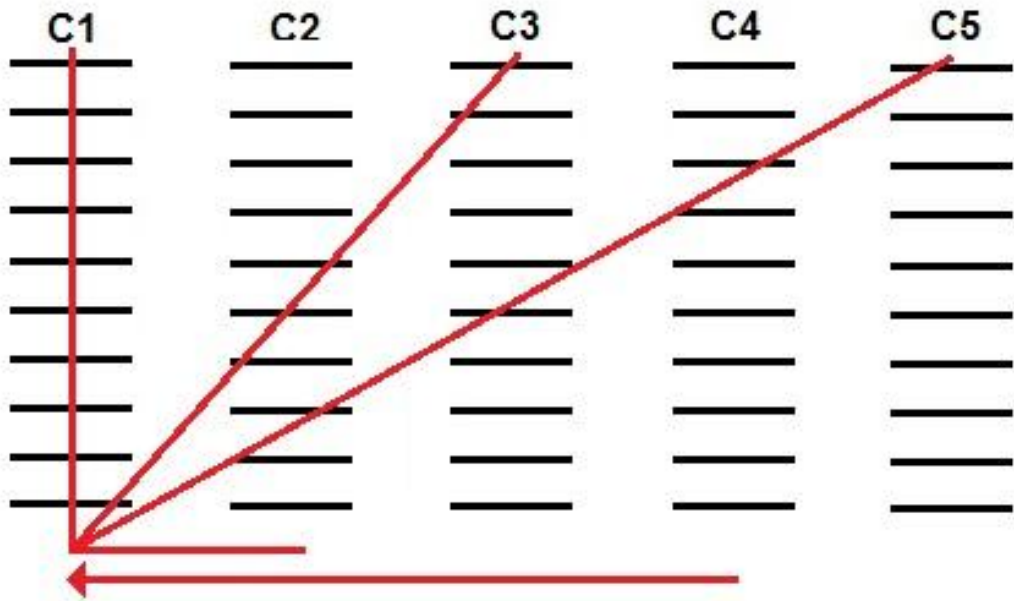
**Tabla 3.11.** Tiempos de respuesta del movimiento vertical en 9 posiciones del sistema.

<b>TIEMPOS DEL MOVIMIENTO VERTICAL DEL SISTEMA EN SEGUNDOS</b>									
<b>CANTIDAD FILAS</b>	<b>4 COLUMNAS</b>				<b>5 COLUMNAS</b>				
	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
<b>M1</b>	2.29	2.24	2.33	2.21	2.31	2.19	2.28	2.17	2.33
<b>M2</b>	2.25	2.19	2.28	2.18	2.27	2.20	2.31	2.19	2.25
<b>M3</b>	2.28	2.21	2.21	2.22	2.35	2.17	2.19	2.23	2.21
<b>M4</b>	2.24	2.17	2.24	2.17	2.24	2.24	2.17	2.21	2.27
<b>M5</b>	2.21	2.23	2.29	2.15	2.19	2.21	2.24	2.18	2.19
<b>M6</b>	2.17	2.20	2.27	2.22	2.26	2.26	2.22	2.16	2.26
<b>M7</b>	2.26	2.22	2.19	2.20	2.25	2.18	2.18	2.19	2.21
<b>M8</b>	2.18	2.22	2.17	2.16	2.29	2.19	2.25	2.22	2.17
<b>M9</b>	2.24	2.18	2.21	2.21	2.18	2.22	2.22	2.21	2.23
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.24</b>	<b>2.21</b>	<b>2.24</b>	<b>2.19</b>	<b>2.26</b>	<b>2.20</b>	<b>2.23</b>	<b>2.20</b>	<b>2.24</b>

A continuación se presentan los tiempos de respuesta del sistema en la Tabla 3.12 y la Tabla 3.13. una vez finalizado el avance, y es necesario que la máquina regrese a su posición inicial para que pueda volver a ser activada, para un mayor entendimiento se presenta la Figura 3.50.

**Tabla 3.12.** Tiempos de respuesta del movimiento vertical de retorno.

<b>TIEMPOS DEL MOVIMIENTO VERTICAL DEL SISTEMA EN SEGUNDOS</b>				
<b>CANTIDAD DE COLUMNAS</b>	<b>1<sup>ra</sup> COLUMNA</b>	<b>3<sup>ra</sup> COLUMNA</b>	<b>5<sup>ta</sup> COLUMNA</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MOVIMIENTO DE RETORNO</b>	18.31	18.33	18.26	<b>18.30</b>



**Figura 3.50.** Retorno de la maquina a su posición inicial.

**Tabla 3.13.** Tiempo de respuesta del movimiento horizontal de retorno.

TIEMPOS DEL MOVIMIENTO HORIZONTAL DEL SISTEMA EN SEGUNDOS				
CANTIDAD DE COLUMNAS	2 <sup>da</sup> COLUMNA	3 <sup>ra</sup> COLUMNA	4 <sup>ta</sup> COLUMNA	5 <sup>ta</sup> COLUMNA
MOVIMIENTO DE RETORNO	4.16	8.27	12.41	16.95

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## **4.1. ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE RESPUESTA DEL SISTEMA**

El posicionamiento del subsistema mecánico depende netamente de las señales de control, ya que dependiendo de estas los motores girarán en sentido horario o anti horario; las señales de control que llegan a los motores desde los variadores de frecuencia son activadas mediante el paso o corte de señal, que provienen desde el común de la función PLC de los mismos y para que estas lleguen deben pasar por la placa de los relés que para que permitan el paso, sus bobinas deben ser excitadas por las señales del Arduino Mega.

Para que el Arduino Mega envíe las señales para la excitación de las bobinas de los relés debe procesar la información proveniente de la placa de entradas de control, para así comparar estas señales con la programación y tomar decisiones de cuales puertos se pondrán estado alto y cuales se quedaran en estado bajo.

Debido a las exigencias de la empresa Casatex, la máquina fue dimensionada acorde a necesidades que pudieran presentarse, ya que en un futuro la máquina podrá ser utilizada también para transportar de un lugar a otro las columnas de material, las cuales oscilan entre 90 y 100 Kg.

Una vez obtenidos los datos de los tiempos de respuesta del sistema armado, es decir, integrados los tres subsistemas que son el subsistema mecánico, el subsistema eléctrico y el subsistema de control, se procede con la interpretación de los mismos, ya que es necesario comprobar que los tiempos establecidos en las especificaciones del sistema se están cumpliendo a cabalidad.

El sistema completo demuestra ser capaz de reaccionar y posicionarse de acuerdo a la programación dependiendo de que entradas de control hayan sido seleccionadas, además de cumplir con el tiempo promedio de posicionamiento entre fila y fila que es 2.23 segundos que está dentro del rango establecido que es de 2 a 3 segundos y 4.14 segundos para el movimiento entre columna y columna como se puede observar en la Figura 4.1. y los datos de los promedios en la Tabla 4.1.

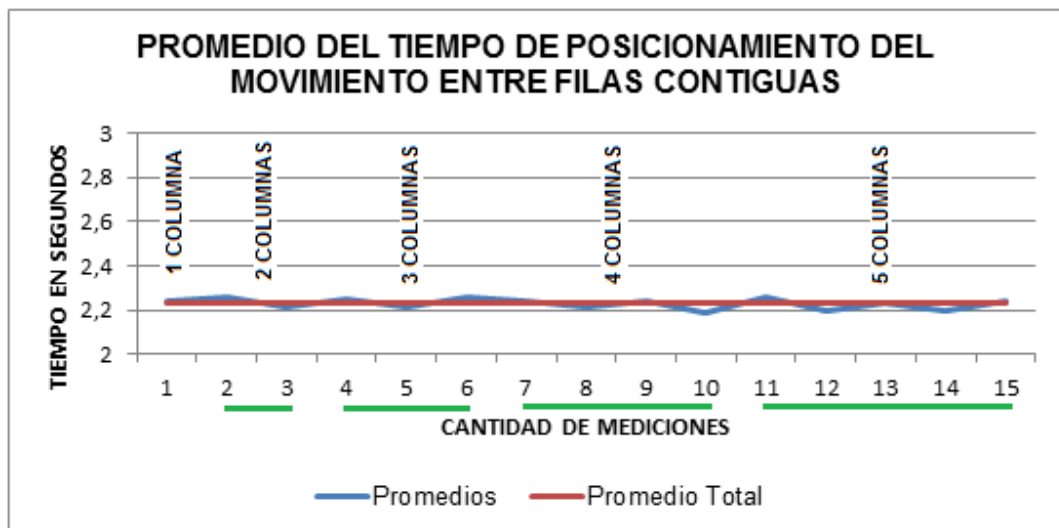


Figura 4.1. Promedio total de la respuesta en el tiempo del sistema.



Figura 4.2. Etiqueta de la empresa Casatex.

**Tabla 4.1.** Promedios de los tiempos de respuesta del movimiento vertical en segundos.

CANTIDAD DE COLUMNAS		PROMEDIOS (s)
1 COLUMNA	C1	2.24
2 COLUMNAS	C1	2.26
	C2	2.21
3 COLUMNAS	C1	2.25
	C2	2.21
	C3	2.26
4 COLUMNAS	C1	2.24
	C2	2.21
	C3	2.24
	C4	2.19
5 COLUMNAS	C1	2.26
	C2	2.20
	C3	2.23
	C4	2.20
	C5	2.24
	<b>PROMEDIO TOTAL</b>	<b>2.23</b>

Al posicionarse la máquina después de sus diferentes movimientos también demuestra tener una precisión por encima del 95%, ya que la diferencia de posición entre uno y otro movimiento oscila entre los 2 y 3 milímetros que al ser comparados con una etiqueta de la empresa Casatex, no demuestra provocar una deficiencia en la lectura de los códigos de barras impresos en dichas etiquetas, se puede apreciar en la Figura 4.2. una etiqueta de la empresa Casatex.

En la exactitud de la lectura de códigos de barras impresas en las etiquetas de la empresa Casatex existen errores, estos errores son provocados mayormente por factores externos, siendo así: mal posicionamiento de las etiquetas en las fundas de material, etiquetas rotas, etiquetas en mal estado, incorrecta posición de las fundas en el lugar de facturación.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 5.1. CONCLUSIONES

- Se cumplió completamente con los objetivos establecidos para el desarrollo de este trabajo de titulación.
- La adecuada programación de tiempos de aceleración y frenado de los motores trifásicos, que son 0.02s requiere tener en cuenta la corriente nominal de los mismos que es 0.97A para el primer motor y 0.58A para el segundo, ya que, al utilizar un dispositivo como el variador de frecuencia KE300X-0R4G-S2 para activar o desactivar su funcionamiento, se puede causar sobrecalentamiento en los motores, debido a que al momento de acelerar o frenar existen picos de corriente y estos no deben estar por encima del valor de la corriente nominal, y estos llegan a 0.87A para el primer motor y 0.53A para el segundo.
- Los variadores de frecuencia KE300X-0R4G-S2 son muy versátiles en cuanto a aplicaciones, ya que una poseen un módulo PLC, el mismo que viene con funciones pre programadas, que facilitan al usuario llevar acabo la aplicación para la cual fueron adquiridos, además de poseer un software con el cual pueden ser reprogramados, para ajustarse a las necesidades de los proyectos.
- Se logró diseñar, construir y comprobar el funcionamiento de tres subsistemas, que son el subsistema mecánico, el subsistema eléctrico y el subsistema de control, como se muestran en el apartado 3.5.1., 3.5.2., y 3.5.3., que además, al ser utilizados de forma integrada cumplen a cabalidad con las especificaciones técnicas del mismo, que son moverse entre etiquetas en un lapso de 2.23s, ya que el rango de funcionamiento era de 2 a 3 segundos, así como las demás especificaciones de la Tabla 3.1.

- Las protecciones para cualquier tipo de sistema eléctrico o electrónico deben ser incluidos necesariamente en el diseño de dichos sistemas, ya que estas ayudarán a mitigar o disminuir los riesgos ante fallos, como en el caso del apartado 3.5.2. en el cual se incluyen las protecciones para los variadores de frecuencia KE300X-0R4G-S2, ya que se producirán pérdidas económicas con un costo elevado si estos llegasen a dañarse, ya que se puede provocar daños irreversibles en los elementos del mismo e incluso dejar al robot para manejo de inventario y facturación sin movilidad alguna.
- En el caso de un sistema mecánico, los sistemas de protección mal diseñados, puede provocar daños físicos a los operadores de las máquinas, como pueden ser amputaciones, en el caso de esta máquina lo producirían si los operarios ingresasen al lugar de funcionamiento y por descuido colocasen sus manos en las cadenas, estas podrían arrancar los dedos debido a la fuerza de los motores.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- A personas que trabajen con máquinas eléctricas, como motores trifásicos se recomienda, conocer la operación de las mismas y su control, para seleccionar de forma adecuada el accionamiento requerido, como son variadores de frecuencia, start soft, entre otros.
- A los diseñadores de máquinas, se recomienda construirlas con la mayor calidad posible, pero tomando en cuenta que este factor es uno de los que más incide en el costo del mismo, y que siempre es necesario considerar la relación costo/beneficio, como en el caso de esta máquina, la cual se construyó de acero, ya que hacerlo de otro material resultaba en costos innecesarios para la empresa, los cuales no contaban dentro del presupuesto para la máquina.
- Por el tamaño, peso y nivel de tensión eléctrica requerida por el equipo, se debe tomar las precauciones del caso, para evitar accidentes en el transporte, implementación, emplazamiento y operación del mismo.
- Cuando se deba realizar mantenimiento a la máquina, según el procedimiento correcto antes, durante y después, asegurarse de cortar la fuente de alimentación de todos los dispositivos de la misma, y de ser posible desconectarla completamente de dicha fuente.
- Se recomienda a las personas encargadas de pegar las etiquetas en el material, hacerlo de manera adecuada, ya que, de esto depende la correcta lectura de los códigos de barras.

## GLOSARIO

<b>W</b>	Watios, medida de gasto energético muscular
<b><math>\rho</math></b>	Densidad, medida escalar de cantidad de masa de un determinado volumen de una sustancia
<b>UPN</b>	Perfil normalizado con sección transversal en forma de U o también llamado perfil europeo normal en U, de acero laminado estructural cuyas alas están inclinadas un 8% con respecto al alma y van decreciendo hacia los extremos
<b>Hz</b>	Hercio: unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Medidas (SI)
<b>NAO</b>	Es un robot androide, creado para ser el compañero ideal de todos los días, ya que por su interface puede interactuar con las personas a su alrededor.
<b>PLC</b>	Es una especie de microprocesador basado en controles que usa una memoria programable para almacenar instrucciones y mediante estas, implementar funciones lógicas, secuenciales, de tiempo, contadoras y aritméticas con el fin de controlar máquinas y procesos y está diseñado para ser operados con ingenieros con poco conocimiento en computadoras y lenguajes de computo
<b>FMV</b>	Representa el giro en sentido horario del motor que provee el movimiento vertical al sistema.
<b>FMVR</b>	Representa el giro en sentido anti horario del motor que provee el movimiento vertical al sistema.
<b>FMH</b>	Representa el giro en sentido horario del motor que provee el movimiento horizontal al sistema.
<b>FMHR</b>	Representa el giro en sentido anti horario del motor que provee el movimiento horizontal al sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. Lee Ivester y John D. Neefus. (Mayo de 2013). La industria textil: historia, salud y seguridad.
- AITE. (2014). *Asociación de Industriales Textiles del Ecuador*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.aite.com.ec/industria-textil.html>
- Angulo Luna, M. A. (2010). Análisis del Cluster Textil en el Perú. Lima, Perú.
- Avallone, E. A. (2009). *Manual del Ingeniero Mecánico*. McGraw Hill.
- Balle, L. (10 de Agosto de 2004). *eHow en Español*. Obtenido de eHow en Español: [http://www.ehowenespanol.com/proceso-facturacion-info\\_274430/](http://www.ehowenespanol.com/proceso-facturacion-info_274430/)
- Barea, R. (2011). Introducción a la Robótica. Alcalá de Henares, Comunidad de Madrid, España.
- Barrientos, A. (2008). *Fundamentos de la Robótica*. McGraw Hill.
- Bastidas Bonilla, E. (2014). *Ingeniería Industrial Online*. Recuperado el 24 de 11 de 2014, de [www.ingenieriaindustrialonline.com](http://www.ingenieriaindustrialonline.com)
- Benítez, I. (2010). Historia de la Evolución de los Robots. España.
- Blasco, A. L. (2013). *Proyectos de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión. Aplicación a Edificios de Viviendas*. Madrid: AMV Ediciones.
- Bolton, W. (2001). *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. Alfaomega.
- Cervera, M. L. (2012). *Gestión de Inventarios. Una Nueva Fórmula de Calcular la Competitividad*. Ediciones de la U.
- Chapman, S. J. (2000). *Máquinas Eléctricas*. McGraw Hill.

- Correa, G. C. (2003). *Gestión Efectiva de Materiales, Proceso de Compras, Administración de Almacenes y Control de Inventarios*. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Cortez, F. R. (2012). *Arduino, Aplicaciones en la Robótica, Mecatrónica e Ingenierías*. Alfaomega.
- Cruz, J. P. (2006). *Automatización de Maniobras Industriales, Mediante Autómatas Programables*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Damaris. (25 de Noviembre de 2010). *blogspot*. Recuperado el 31 de 01 de 2015, de <http://inteligencia-artificialrobotica.blogspot.com/p/conceptos-de-robotica.html>
- Du, H. (2009). La industria Textil y de Confecciones en el Desarrollo Económico de la República Popular China. *OES-China*.
- Fitzgerald, A. E. (2009). *Máquinas Eléctricas*. México: McGraw Hill.
- Harper, E. (2005). *Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales*. Mexico: Limusa.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica de Materiales*. México: Pearson.
- Holguín, C. J. (2010). *Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios*. Universidad del Valle.
- Ing. Jose Luis Bravo Carpio y CPA. Karina Elizabeth Cuzme Ortega. (2012). Análisis sectorial de la industria textil ecuatoriana y diseño de un modelo de planificación estratégica para la empresa Modatex S.A. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- López, A. L. (2003). *Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión. Teoría y Prácticas Para la Realización de Proyectos y Obras*. Madrid.
- Lorite, J. A. (2006). *Automatización Problemas Resueltos con Autómatas Programables*.

- Maynard, H. (2006). *Manual del Ingeniero Industrial*. McGraw Hill.
- Moreno, R. P. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. Alfaomega.
- Ochoa, L. P. (13 de Julio de 2014). Robotica y su enfoque en robot androides. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Pérez, E. M. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. Barcelona: Marcombo.
- Pulido, M. Á. (2004). *Controladores Lógicos*. Marcombo, S.A.
- Rodriguez, F. A. (2008). La Robótica. Cancún, Quintana Roo, México.
- Saha, S. K. (2010). *Introducción a la Robótica*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Salas, H. G. (2009). *Inventarios, Manejo y Control*. Ecoe.
- Soto, E. V. (2013). *Mecatrónica, Control y Automatización*. Alfaomega.
- Steren. (2011). *ABC de la Mecatrónica*. Mexico.
- Valéncia, U. P. (2006). *Centro de Apoyo a la Innovación, la Investigación y la Trasferencia de Tecnología*. Obtenido de Centro de Apoyo a la Innovación, la Investigación y la Trasferencia de Tecnología: [http://www.ctt.upv.es/2-serv-upv/serv-upv-7/ejecucion\\_5/contenido\\_facturacion.html](http://www.ctt.upv.es/2-serv-upv/serv-upv-7/ejecucion_5/contenido_facturacion.html)
- Xataka Ciencia. (15 de Abril de 2011). Obtenido de <http://www.xatakaciencia.com/robotica/robots-moviles-ii>

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1 – PLANOS DISEÑO MECÁNICO**



1

2

3

4

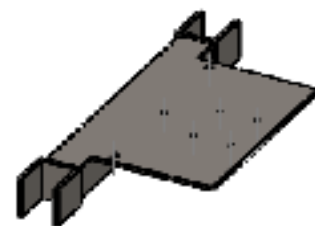
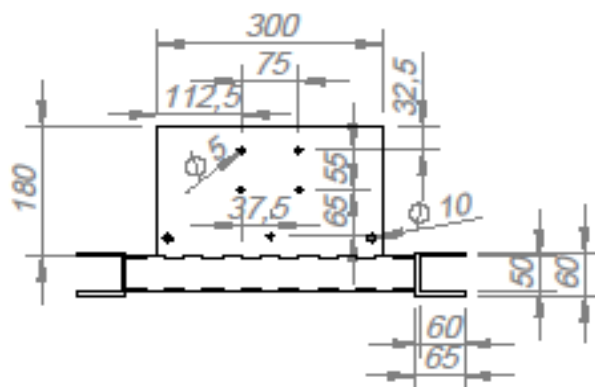
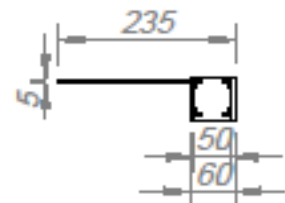
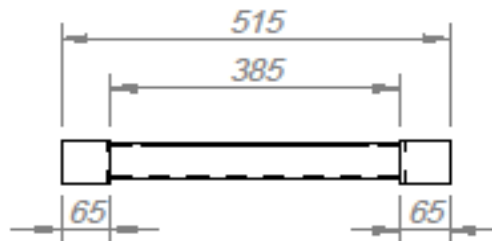
A


B

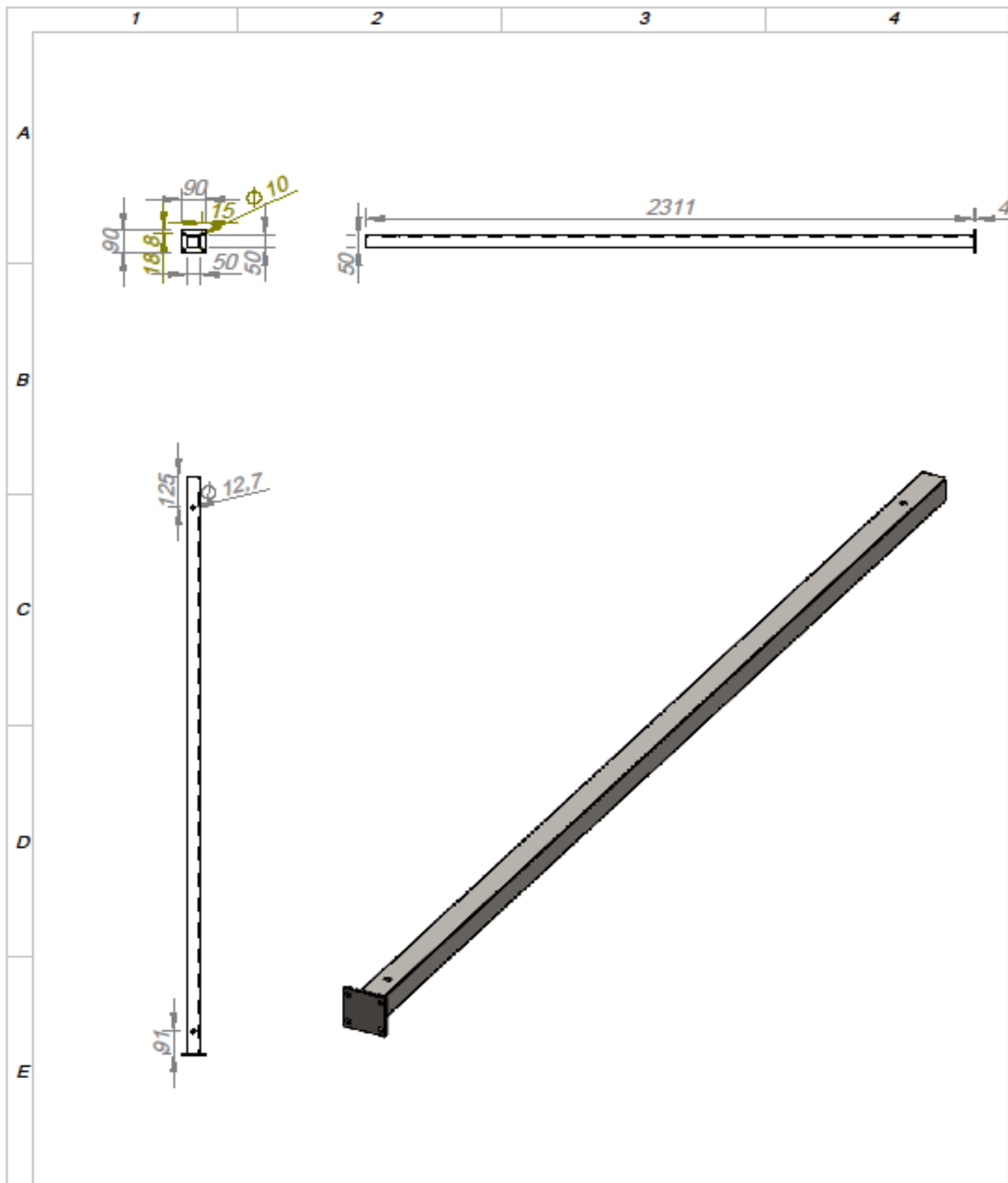
C


D

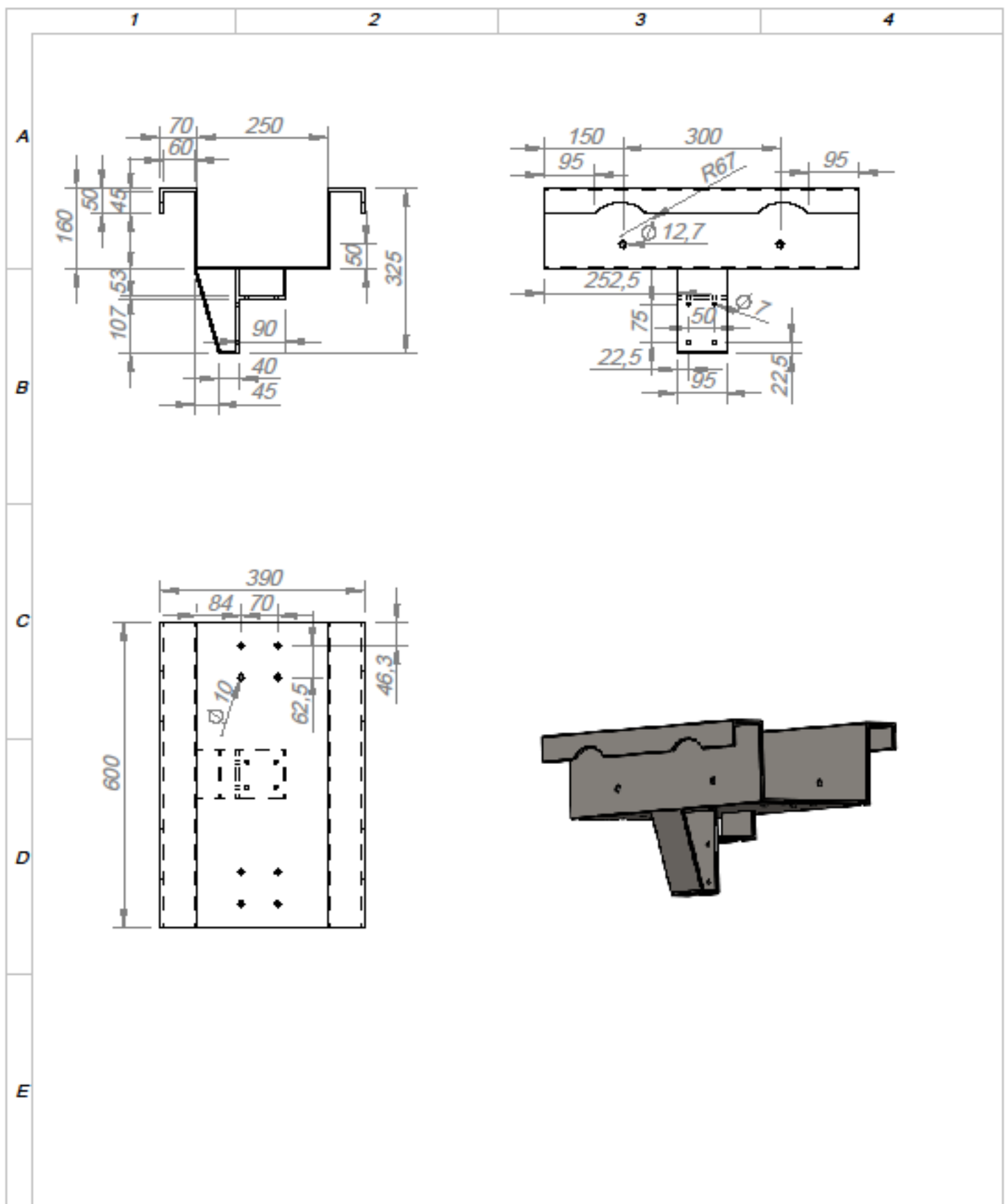
E



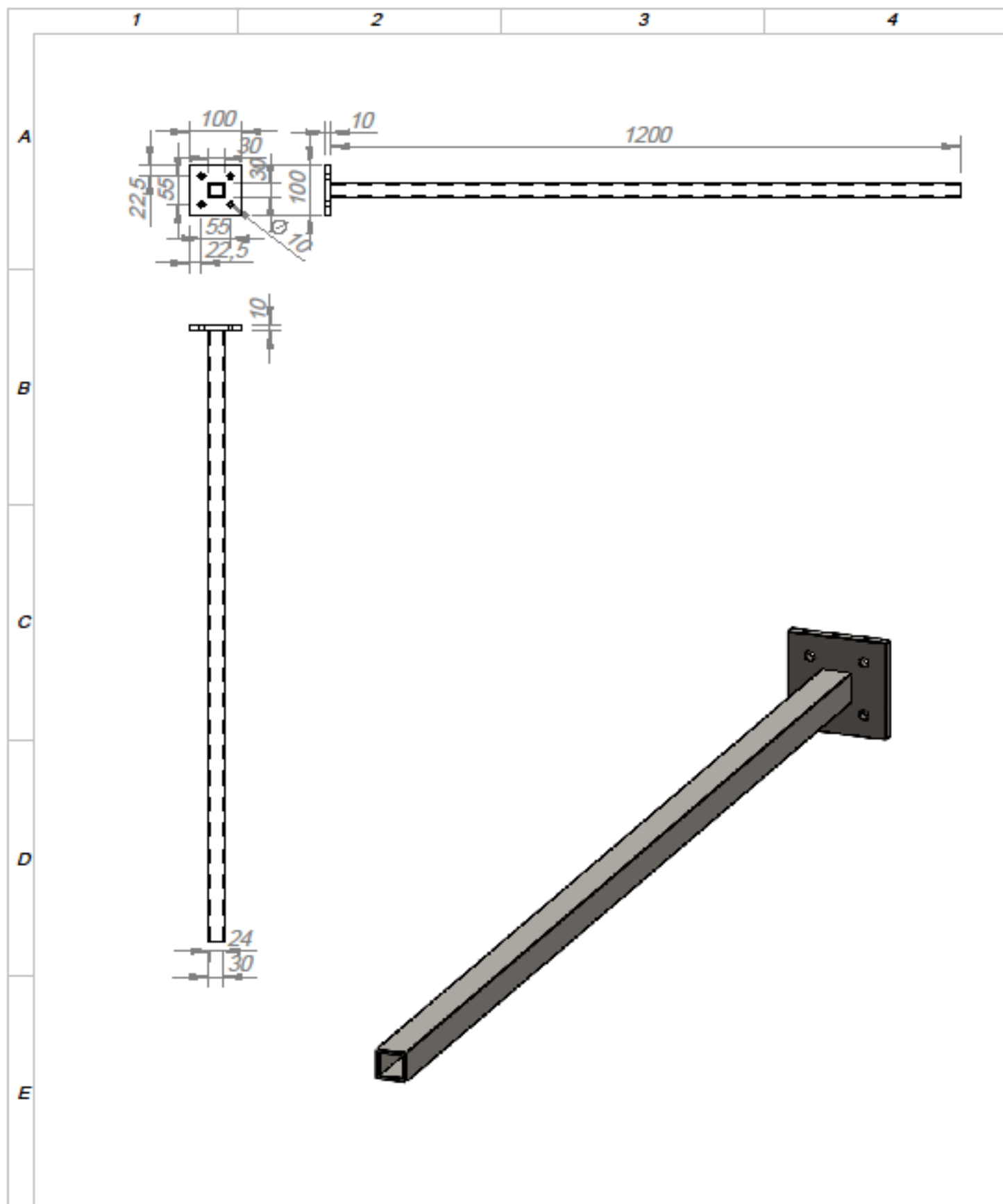
				TOLERANCIA:	PESO (kg)	MATERIAL:	
				±0.1	5.18	<b>ASTM A36</b>	
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado			<b>1:10</b>
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
				<b>UTE</b>			<b>A4</b>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



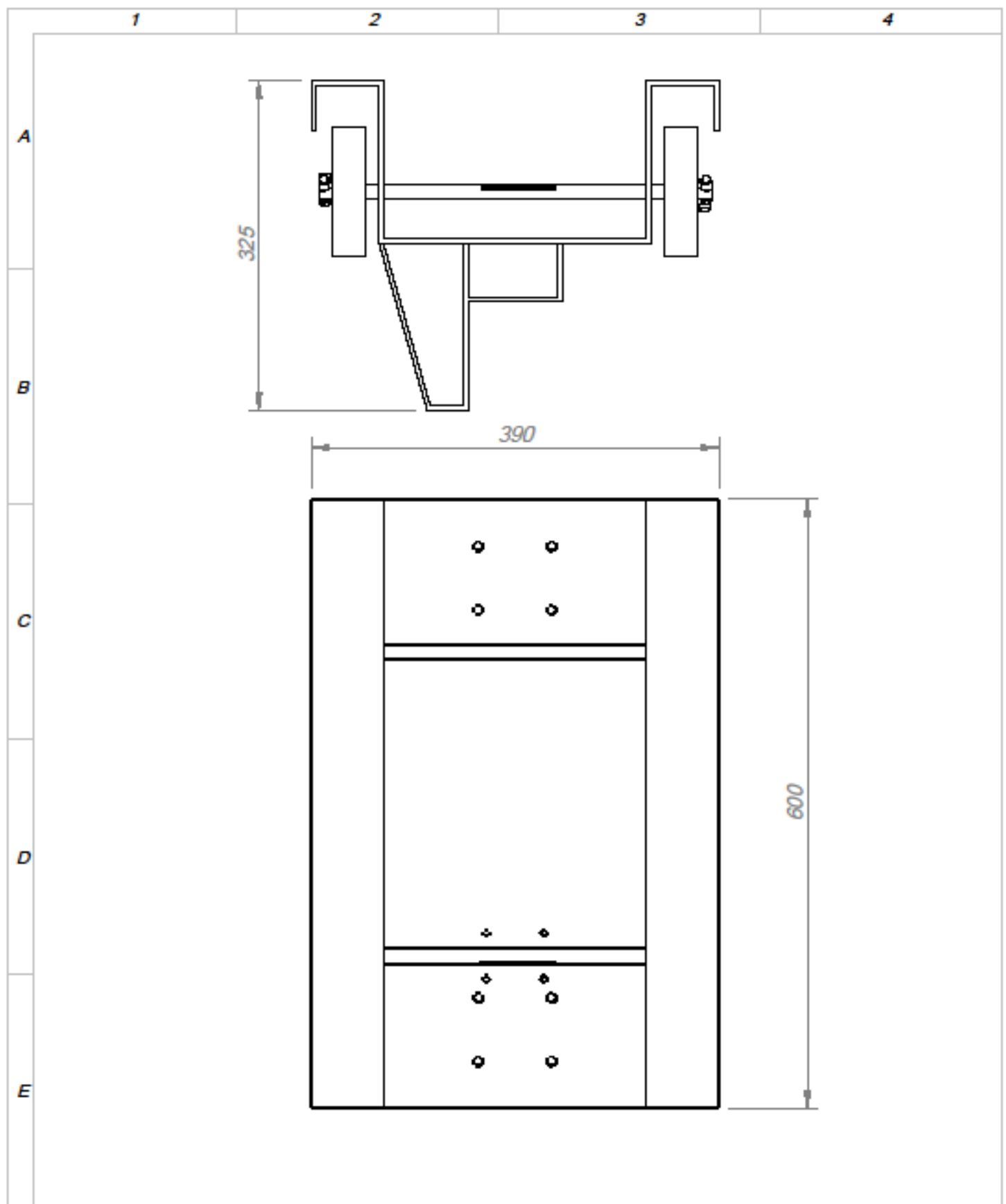
				TOLERANCIA:	PESO (kg)	MATERIAL:		
				± 0.1	13.5	ASTM A36		
					Fecha	Nombre	COLUMNA DE LAS CATALINAS	
				Dibujado				
				Revisado				
				Aprobado			ESCALA:	
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	1:20	
				UTE			HQJA:	
							A4	
E	D	C	B	A	1	2	3	4




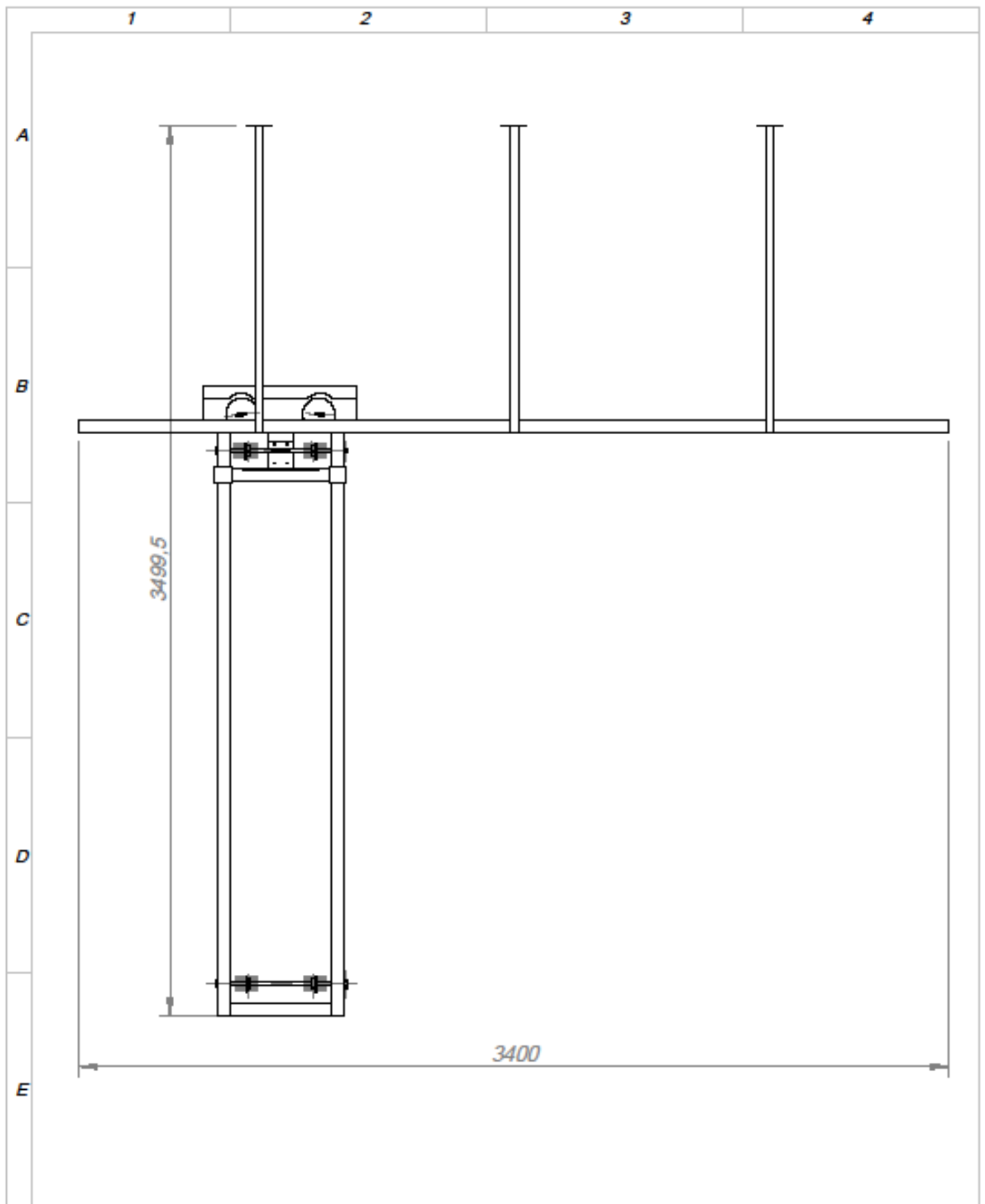
				TOLERANCIA:	PESO (Kg)	MATERIAL:		
				$\pm 0.1$	18.55	ASTM A36		
				Fecha	Nombre	CARRO MOVIL		
				Dibujado				ESCALA:
				Revisado				1:10
				Aprobado		HOJA:		
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:		
				UTE		A4		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO (Kg): 3.97	MATERIAL: <b>ASTM A36</b>	
						SOPORTE DE LA MÁQUINA	ESCALA: 1:10
				Fecha	Nombre		
				Dibujado			
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO Nº:	HOJA: A4
E							



				TOLERANCIA:	PESO (kg):	MATERIAL:	
				$\pm 0.1$			
				Fecha	Nombre	<b>ENSAMBLE DEL CARRO MOVIL</b>	
				Dibujado			
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	ESCALA:
				<b>UTE</b> 			1:5
Edition	Modificación	Fecha	Nombre				HOJA:
							A4



				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:		
				$\pm 0.1$	166.56			
					Fecha	Nombre	<b>ENSAMBLAJE</b>	
				Dibujado				ESCALA:
				Revisado				1:20
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:			DR/LUO N°:	
				<b>UTE</b>			HOJA:	
							<b>A4</b>	
<i>Edición</i>	<i>Modificación</i>	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>					