

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Sistema de traslación horizontal de transelevador para
acomodamiento de cargas en bodega de GRUPO
ROCAFUERTE**

Protocolo de trabajo de graduación presentado por Julio José Lazo
Valdez, estudiante de Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

Resumen

En este protocolo se describe el diseño y funcionamiento de una máquina semiautónoma encargada del movimiento y organización de pallets con productos dentro de la bodega principal de GRUPO ROCAFUERTE ubicada en Delta Bárcenas, Zona 3, Villa Nueva. Los objetivos principales de esta máquina son, optimizar el espacio de almacenamiento en bodega, acelerar el proceso de carga-descarga y facilitar el ingreso y despacho de producto para los encargados de bodega. La máquina se conforma de tres sistemas fundamentales requeridos para el funcionamiento de la misma los cuales son, el sistema mecánico el cual se encarga de soportar las cargas estáticas y dinámicas que la máquina presenta durante su funcionamiento, el sistema eléctrico y red de sensores para controlar y garantizar un movimiento fino y exacto de las cargas y el sistema de programación que se encarga de procesar los datos de los sensores y motores para enlazarse al sistema de manejo de inventario WMS ya existente en las bodega. Este protocolo se enfoca en el funcionamiento del sistema de movimiento horizontal, la alimentación eléctrica de la máquina y los soportes de la máquina. Para este sistema presenta la metodología para la elaboración del diseño mecánico, eléctrico, electrónico y de control.

Antecedentes

Este tipo de sistemas automáticos para el almacenamiento de pallets llevan existiendo ya hace una década «sin embargo» con el tiempo se han ido perfeccionando y optimizando para el uso de almacenamiento y distribución a escala industrial. Estos sistemas han permitido que operaciones de distribución y almacenamiento de distintos productos se den con una mayor facilidad y velocidad. Al tener automatizado el almacenamiento y despacho de pallets enteros se reduce considerablemente el error humano ya que se tiene control total sobre los productos que se tienen almacenados, los que se despachan y los que se reciben. Esto agiliza gran parte de la cadena de valores dentro de la industria que se emplea reduciendo errores administrativos.

Como referencia se tomaron 3 empresas líderes en este tipo de sistemas, SSI SCHAEFER (Alemania[1]), SWISSLOG (Suiza)[2] y MECALUX (España)[3]. Esta última empresa es la que se especializa más en el sistema de almacenamiento de pallets y posee mayor documentación a la disposición del público. Estas empresas se enfocan en una serie de soluciones combinadas que acompañan el sistema de almacenamiento automático, tales como softwares de control de almacenamiento como WMS, tracking de productos a lo largo de su trayectoria de entrega y almacenamiento, infraestructura de movilización y estanterías entre otras.

Justificación

En Guatemala no existen sistemas capaces de manejar el almacenamiento de productos de una forma masiva sin una intervención humana considerable la cual pone en riesgo su vida y la economía de las empresas que requieren este tipo de almacenamiento a gran escala. Por lo mismo esto permite explorar nuevas alternativas mas seguras, viables y rápidas del manejo y almacenamiento de mercancía en grandes cantidades por medio de la aplicación

de la tecnología actual tal como la robótica y la automatización de procesos tomando como referente las tecnologías desarrolladas y aplicadas en el mismo campo a nivel internacional.

Así mismo la logística en tienda se puede tornar muy complicada en cuanto al manejo de cargas en la bodega. La seguridad industrial como el tiempo de recepción en la bodega se ven afectados en el acomodamiento de cargas en los estantes de la bodega por lo que se planten esta solución electromecánica.

El sistema de preferencia será un transelevador el cual se considera un sistema producto a usuario, que consiste en que el proceso automatizado evita que el operario se vea involucrado en el proceso de ir a buscar el pallet del producto que se desea despachar o almacenar. Al automatizar esta tarea se minimizan los accidentes y errores humanos también se maximiza el espacio en bodega ya que estos sistemas ocupan un menor espacio entre estanterías.

Teniendo estos sistemas como referencias, se diseñará un prototipo funcional a escala con el objetivo de demostrar las capacidades del sistema. Dicho prototipo se presentara a los altos directivos del grupo corporativo Progreso el cual aportará los recursos económicos necesario para que se lleve a cabo la construcción del sistema real. El sistema real se diseñará tomando en cuenta las necesidades, dimensiones y la ubicación de una nueva bodega en construcción de la empresa GRUPO ROCAFUERTE.

A lo largo de el desarrollo de este proyecto se pondrán en práctica conocimientos fundamentales impartidos en la carrera de Ingeniería Mecatrónica ya que se pondrán en práctica competencias tales como el diseño mecánico, implementación de electrónica industrial por medio de motores y sensores y la programación de PLC's.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar, programar y construir un modelo a escala del movimiento horizontal de un trans elevador automatizado para el acomodamiento, almacenamiento y despacho de pallets para una bodega a escala y cotizar el sistema mecánico y eléctrico de una versión real del mismo transelevador para una bodega de material y equipo de ferretería.

Objetivos Específicos

- El sistema de movimiento horizontal debe ser exacto con una precisión de $\pm 2\text{mm}$ para el modelo a escala.
- El sistema debe soportar el peso de la columna, el elemento extractor y el pallet con su respectiva carga para un total de 500g.
- Los puntos de apoyo del sistema donde se encuentran los rodos no deben superar los 15cm de ancho a sus esquinas laterales.
- El sistema debe de ser capaz de moverse con un solo motor eléctrico.
- La comunicación con la maquina y el sistema WMS debe de ser inalámbrica.

- La alimentación del sistema debe de ser por medio de rieles electrificados y baterías como soporte.

Marco teórico

El sistema de acomodamiento de cargas en estanterías consiste en una torre con distintos elementos electromecánicos controlados por medio de un controlador PLC para agilizar el proceso de colocación de pallets en estanterías. Este sistema también esta dirigido a resolver la problemática del error humano y la optimización de espacio. El sistema en conjunto posee una red de sensores encargado de la precisión y operación de la máquina, así como la seguridad industrial. Por lo que al momento de ingresar un pallet al punto de carga este debe ser pesado y balanceado adecuadamente, lo cual se logra con una serie de distintos sensores.

Deberá contar con un sistema de escaneo del producto que está entrando o saliendo que se conecte al sistema WMS ya existente para llevar un inventario y un registro de donde este será colocado por la maquina en la estantería. Como se puede apreciar en la Figura 1, el sistema mecánico que se encarga de colocar los pallets está conformado por una torre central la cual se moverá únicamente en una dirección de forma horizontal y una canasta con un sistema de poleas que le permite moverse verticalmente con un subsistema encargado de desplegar de manera lateral las placas que sujetaran directamente los pallets para mantener el registro de los mismos se utilizara un sistema de códigos QR para identificarlos . [4]

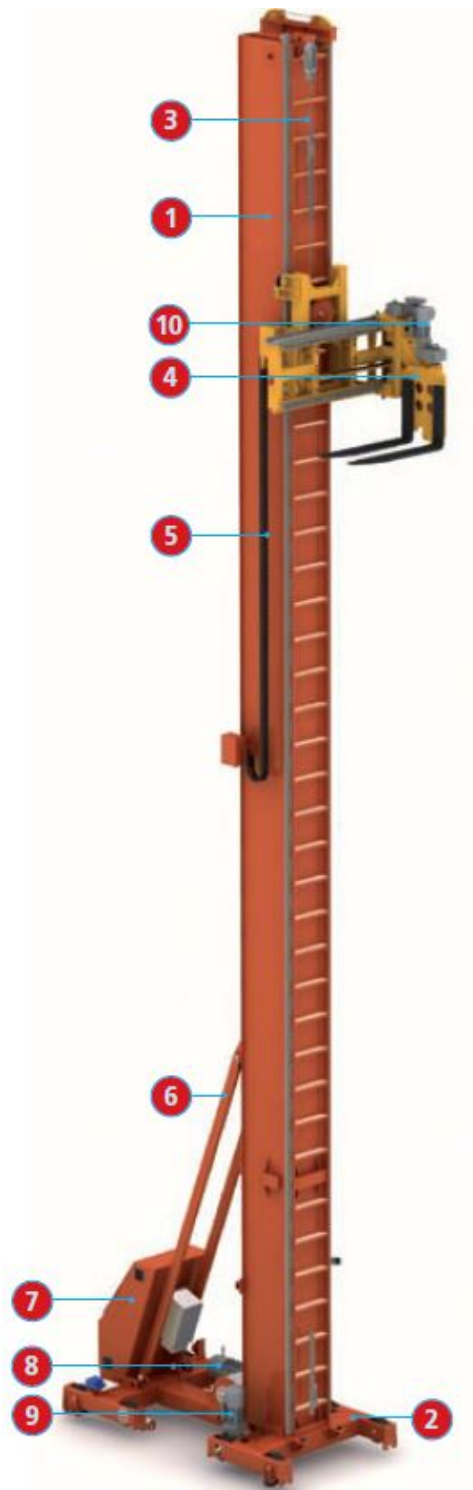


Figura 1: Torre Principal

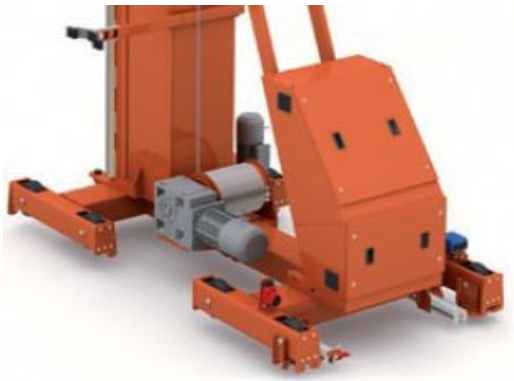
Componentes básicos	
1.	Columna
2.	Sistema de traslación
3.	Cable de elevación
4.	Extractor trilateral
5.	Cadena porta cables
6.	Tirante
7.	Armario electrónico
8.	Motor de elevación
9.	Motor de traslación
10.	Motor de extracción

Cuadro 1: Componentes básicos

Sistema mecánico

Maquina real

El sistema mecánico de la parte encargada del movimiento horizontal de toda la maquina consiste en una estructura de perfiles y chapas de acero soldadas resistentes a la flexión y torsión. A sus laterales se encuentran una serie de ruedas apoyadas en rieles de las cuales solamente una de ellas esta motorizada. Esta se encuentra sobre un eje el cual esta conectado a un reductor de engranajes cónicos, este con el objetivo de cambiar la línea de acción del eje del motor al de la rueda y ahorrar espacio lateral. Los extremos inferiores del sistema también poseen garras rotativas colocadas de manera horizontal con el objetivo de mantener las ruedas en el carril y evitar descarrilamientos en caso de colisiones accidentales. De igual manera montado sobre el sistema de movimiento vertical se encuentran estas garras sujetando un perfil como riel guía el cual solo soporta cargas laterales al momento de la colocación de pallets en las estanterías.



(a) Vista general del sistema



(b) Motor eléctrico y reductor de engranajes

Figura 2: Sistema mecánico de movimiento horizontal



Figura 3: Sistema de sujeción superior

Prototipo

En cuanto al prototipo, el sistema de movimiento horizontal esta hecho por medio de impresión 3D con el material PLA. El diseño se realizó a partir de una maquina existente ya que este prototipo solo servirá con fines demostrativos por lo que las cargas no se tomaron en cuenta por su magnitud tan pequeña e insignificante con relación a la resistencia de los materiales empleados en su fabricación. De igual manera este sistema a escala si toma en cuenta factores tal como el espacio lateral y el tipo de sistema de movilización por rieles. Por lo que su diseño es muy similar al final en cuanto a distribución de llantas, posición de motores y sujeción del sistema de movimiento vertical.

Sistemas eléctricos

Maquina real

El sistema eléctrico está conformado por una serie de sensores, emisores, receptores, variadores de frecuencia y motores. En la parte de inferior de la maquina se encuentran 2 motores de preferencia trifásicos, que se encargan tanto del movimiento horizontal como vertical. Así mismo se encuentra un armario eléctrico el cual alberga el PLC encargado del control de la maquina y los variadores de frecuencia para los motores. Para las mediciones longitudinales de posición se utilizan telémetros laser, estos con el objetivo de saber en todo momento la posición horizontal de la máquina y aplicar control con esos datos de medición. En cuanto a la transmisión de datos se utiliza un sistema de comunicación óptico por medio de infrarrojo por medio de un par de fotocélulas colocadas en los extremos de las estanterías

y sobre el sistema de desplazamiento. Esto debido a que la utilización de otro sistema que utilicen radio frecuencias se puede ver comprometido por la interferencia provocada por los motores.



(a) Telemetro laser



(b) Fotocélula infrarroja

Figura 4: Sistema de medición y comunicación

Prototipo

El sistema eléctrico del prototipo consiste en un par de motores DC con un reductor y cambio de línea de acción, un módulo de puente en H, un módulo de sensor ultrasónico para obtener el dato de posición del sistema, un módulo bluetooth y un Arduino como controlador de la máquina. Ya que esta escala los motores no generan una interferencia considerable la comunicación se da por medio del bluetooth. El modulo de puente en H se utiliza para controlar la dirección y velocidad de los motores y separa la alimentación de los motores y la del Arduino por lo que este no se ve afectado por la corriente y solo envía señales de control.

Sistema de alimentación eléctrica

Maquina real

Para la alimentación eléctrica de la maquina se utilizan perfiles “C” como carriles electrificados que se colocan en la parte inferior de las estanterías, esto con el objetivo de tener un fácil acceso para inspección y mantenimiento de estas. A la maquina toman la corriente por medio de escobillas ancladas a la estructura inferior de modo que estas queden flexibles para el cambio de dirección en el movimiento y se asegure un buen contacto con el mismo. Estas escobillas están conectadas a un armario eléctrico donde se encuentran el PLC y los variadores de frecuencia.



(a) Vista general del sistema



(b) Carriles electrificados

Figura 5: Sistema de alimentación eléctrica de toda la máquina

Prototipo

El sistema de alimentación eléctrica del prototipo solamente consiste en corrientes directas de 12 y 5 voltios, ya que los motores y servos trabajan con 12V y el Arduino y los módulos con 5V. de igual manera el sistema de transmisión se dará por medio de carriles electrificados ya que el movimiento tan prolongado de la máquina lo requiere aunque se a escala.

Sistema de control y programación

Tanto para el sistema final como para el prototipo se aplican métodos de control modelando el sistema mecánico tomando en cuenta la inercia de este para un movimiento más suave y certero. El dato de posición del sistema se estará dando por el telémetro laser y en el caso del prototipo el modulo del sensor ultrasónico, los cuales estarán colocados en la base de las estanterías por lo que los datos se estarán enviando de manera inalámbrica al controlador montado en la máquina. Este sistema de control está programado en el PLC por medio de LAD y STL y para el prototipo en Arduino en el lenguaje C. Para cada caso se tienen distintas consideraciones que repercuten en el control y programación de ambos sistemas, tales como la programación para el movimiento de los motores ya que e el caso del prototipo estos serán DC y se controlan por un módulo por medio de PWM mientras que en el diseño real se programa por medio un variador de frecuencia. Así mismo en el diseño real se deben considerar picos de corriente por lo que se agregan mas componente para que pueda funcionar sin fallas.

Metodología

Para definir el sistema acorde a las necesidades y expectativas de Progreso Labs y la ubicación donde se llevará a cabo el proyecto en sí.

1. Acercamiento con las autoridades pertinentes de Progreso Labs los cuales son los responsables directos del proyecto dentro del Conglomerado corporativo Progreso.

2. Reuniones virtuales y presenciales para la definición de objetivos clave.
3. Visitas técnicas para definir espacios, tipos de cargas y dimensiones.

Ya definido que el proyecto se realizara en las bodegas de GRUPO ROCAFUERTE se llevaron a cabo los siguientes pasos para definir el sistema completo más adecuado para las necesidades de operación en las bodegas.

1. Visitas técnicas para definir espacios, tipos de cargas, logística del manejo del producto y dimensiones reales de la bodega.
2. Reuniones virtuales y presenciales con el gerente encargado de la bodega para trabajar en sintonía de acuerdo a las necesidades operativas.
3. Investigación sobre los programas WMS para implementarlos a la maquina sin cambiar el sistema ya existente.
4. Análisis de viabilidad para cada parte mecánica de la máquina.

Se realizará un modelo a escala que representa un pasillo de la bodega de ROCAFUERTE y la maquina seleccionada. Para el diseño de este modelo se siguieron los siguientes pasos.

1. Selección de materiales para la fabricación de la maquina en sí y las estanterías a escala.
2. Selección y análisis de viabilidad par los controladores a utilizar en el prototipo.
3. Selección y análisis de viabilidad de sensores y motores.
4. Diseño 3D del prototipo en *Fusion360* considerando las medidas reales de la bodega a escala.
5. Impresión 3D del prototipo con filamento plástico PLA.
6. Montaje sobre planchas de madera para soportar el resto del modelo a escala.

Para la cotización de la maquina final se tiene que considerar más factores tales como presupuesto y disponibilidad de materiales por lo que se seguirán los siguientes pasos para el diseño.

1. Selección y análisis de viabilidad de sensores, sistemas de comunicación inalámbrica y motores, variadores de frecuencia, PLC's, rodamientos, sistemas mecánicos, materiales y estructuras metálicas.
2. Cotización preliminar de sensores, sistemas de comunicación inalámbrica, motores, variadores de frecuencia, PLC's, rodamientos, sistemas mecánicos y estructuras metálicas.
3. Seleccionar los elementos que conforman la maquina en base a la disponibilidad y precios en el mercado local.

4. Selección y análisis de viabilidad de sistema de control a implementar para el movimiento de la máquina.
5. Cotización final ya con el diseño completo y la selección de elementos a utilizar.

Cronograma de actividades

ID	Listado de tareas	PLAN DE TRABAJO PROGRESO LABS Julio Lazo				Progress Bar	Days	Work Days	March	2021 April	May	June	2021 July	Aug
		Start	End	Enchargado	Progreso									
1	Definición de proyecto a trabajar	07/06/2021	02/06/2022	Todos	98%	<div></div>	361	259						
1.1	Diseño mecánico del prototipo	07/06/2021	07/10/2021	Todos	83%	<div></div>	123	89						
1.1.1	Diseño del sist. movimiento horizontal (prototipo)	07/06/2021	30/06/2021	Julio L.	100%	<div></div>	24	18						
1.1.1.1	Diseño de rieles	07/06/2021	30/06/2021	Julio L.	100%	<div></div>	24	18						
1.1.1.2	Diseño de rodamientos	07/06/2021	30/06/2021	Julio L.	100%	<div></div>	24	18						
1.1.1.3	Diseño sist. sujeción y base.	07/06/2021	30/06/2021	Julio L.	100%	<div></div>	24	18						
1.1.2	Rediseño del sist. movimiento horizontal según resultado de pruebas (prototipo)	23/09/2021	07/10/2021	Julio L.	0%	<div></div>	15	11						
1.2	Impresión 3D	21/06/2021	02/06/2022	Julio L.	100%	<div></div>	347	249						
1.2.1	Impresión 3D máquina de movimiento horizontal	21/06/2021	02/06/2022	Julio L.	100%	<div></div>	347	249						
1.2.1.1	Impresión 3D de rieles	21/06/2021	02/06/2022	Julio L.	100%	<div></div>	347	249						
1.2.1.2	Impresión 3D de rodamientos	21/06/2021	02/06/2022	Julio L.	100%	<div></div>	347	249						
2	Impresión 3D sist. sujeción y base.	21/06/2021	02/06/2022	Julio L.	22%	<div></div>	347	249						
2.1	Impresión 3D componentes extras y uniones de máquina	07/10/2021	14/10/2021	Daniel H. y Juli	0%	<div></div>	8	6						
2.1.1	Impresión 3D máquina de movimiento horizontal V2.0	07/10/2021	14/10/2021	Julio L.	0%	<div></div>	8	6						
2.2	Construcción del prototipo	21/06/2021	18/11/2021	Todos	71%	<div></div>	151	109						
2.2.1	Unión de diseño 3D de la máquina completa	21/06/2021	18/11/2021	Julio L.	80%	<div></div>	151	109						
2.2.2	Unión del diseño 3D con las estanterías (con rieles)	21/06/2021	14/10/2021	Julio L.	80%	<div></div>	116	84						
2.3	Programación de prototipo	30/09/2021	30/11/2021	Julio y Vincenz	33%	<div></div>	62	44						
2.3.1	Programación en arduino	30/09/2021	30/11/2021	Julio y Vincenz	33%	<div></div>	62	44						
2.3.1.1	Programación de los motores	30/09/2021	18/11/2021	Julio y Vincenz	90%	<div></div>	50	36						
2.3.1.2	Programación de los sensores	30/09/2021	18/11/2021	Julio y Vincenz	50%	<div></div>	50	36						
2.3.1.3	Programación de Comunicación Wireless	30/09/2021	18/11/2021	Julio y Vincenz	0%	<div></div>	50	36						

	2021			2021			2021			2022		
	April	May	June	July	August	September	October	November	December	January	February	March
Listado de tareas												
trabajar												
prototipo												
movimiento horizontal (prototipo)												
rodamientos												
sujeción y base.												
movimiento horizontal según resultado de pruebas (prototipo)												
máquina de movimiento horizontal												
rodamientos												
sujeción y base.												
componentes extras y uniones de máquina												
máquina de movimiento horizontal V2.0												
prototipo												
de la máquina completa												
con las estanterías (con rieles)												
prototipo												
arduino												
los motores												
los sensores												
Comunicación Wireless												

2.3	Programación de prototipo	30/09/2021	30/11/2021	Julio y Vincenz	33%	<div></div>	62	44	
2.3.1	Programación en arduino	30/09/2021	30/11/2021	Julio y Vincenz	33%	<div></div>	62	44	
2.3.1.1	Programación de los motores	30/09/2021	18/11/2021		90%	<div></div>	50	36	
2.3.1.2	Programación de los sensores	30/09/2021	18/11/2021		50%	<div></div>	50	36	
2.3.1.3	Programación de Comunicación Wireless	30/09/2021	18/11/2021		0%	<div></div>	50	36	
2.3.1.4	Integración de programación de Arduino y APIs	30/09/2021	30/11/2021		0%	<div></div>	62	44	
2.4	Pruebas de control	23/09/2021	06/12/2021	Julio y Vincenz	0%	<div></div>	75	53	
2.4.1	Pruebas de desplazamiento horizontal	23/09/2021	28/09/2021	Julio	0%	<div></div>	6	4	
2.4.2	Calibración del prototipo	07/10/2021	06/12/2021	Julio y Vincenzo	0%	<div></div>	61	43	
2.4.3	Implementación en conjunto	07/10/2021	06/12/2021	Todos	0%	<div></div>	61	43	
2.5	Cotización	13/01/2022	02/06/2022	Todos	0%	<div></div>	141	101	
2.5.1	Investigación de los equipos y materiales a utilizar en la propuesta real	13/01/2022	02/06/2022		0%	<div></div>	141	101	
2.5.2	Investigación de disponibilidad de materiales localmente	13/01/2022	02/06/2022	Todos	0%	<div></div>	141	101	
2.5.3	Cotización para sistemas electromecánicos	13/01/2022	02/06/2022	Todos	0%	<div></div>	141	101	
2.5.4	Cotización para sistemas mecánicos y estructurales	13/01/2022	02/06/2022	Todos	0%	<div></div>	141	101	

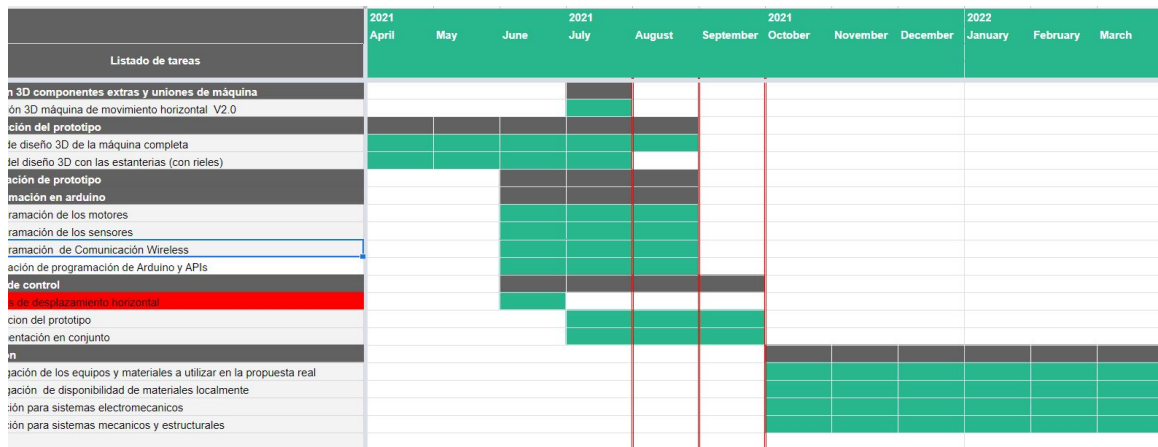


Figura 6: Cronograma

Índice preliminar

- Prefacio
- Lista de figuras
- Lista de cuadros
- Resumen
- Abstract
- Introducción
- Antecedentes
- Justificación
- Objetivos
 - Objetivos Generales
 - Objetivos específicos
- Alcance
- Marco teórico
 - Sistema mecánico
 - Sistemas eléctricos
 - Sistema de alimentación eléctrica
 - Sistema de control y programación
- Metodología
- Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Referencias
- Anexos
 - Código
 - Planos

Referencias

- [1] S. SCHAEFER, *MODULAR TRANSPORT SOLUTIONS*. dirección: <https://www.ssi-schaefer.com/es-es/productos/transportadores>.
- [2] Swisslog, *Sistemas de almacenamiento automatizados*. dirección: <https://www.swisslog.com/es-es/productos-sistemas-soluciones/tecnolog%C3%ADa-de-almacenamiento-automatizado-sistemas-de-almacenamiento-log%C3%ADstica-de-almacenamiento>.
- [3] Mecalux, *Transelevadores para paletas*. dirección: <https://www.mecalux.es/almacenes-automaticos/almacenes-automaticos-palets/transelevadores-palets>.
- [4] M. P. P. R. y Juan Sebastian Villamizar y Juan Camilo Acevedo, *SISTEMA DE ALMACENAMIENTO MASIVO AUTOMATIZADO A TRAVÉS DE TRANSELEVADORES*. BOGOTÁ, D.C: Unicersidad Piloto de Colombia, 2015.