 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **Diseño e implementación de un sistema de control automático para un elevador de carga de uso exterior y portátil de la Constructora Capital Medellín SAS**

Miguel Ángel Correa Martínez

Fresly Jhoan Mejia Cardenas

Ingeniería Mecatrónica

Director(es) del trabajo de grado

Jhon Alexander Isaza Hurtado

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Octubre 2019**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Constructora Capital es una empresa dedicada a la construcción de obras civiles inmobiliarias en el área Metropolitana, que actualmente presenta inconvenientes para controlar el transporte vertical de carga, el cual es el proceso principal para suministrar materiales de obra a lo largo de las torres en construcción. Dicho proceso inicia con el accionamiento de un elevador de carga controlado principalmente por un variador de velocidad y unos elementos de maniobra básicos para posicionamiento no preciso de la carga a transportar hacia arriba o hacia abajo. La altura máxima de desplazamiento oscila entre los 40m y 80m, dependiendo del tipo de construcción que se lleva a cabo, teniendo como resultado un conjunto de parámetros de funcionamiento y seguridad variables ante la operación de dicha máquina. Debido al mal manejo del elevador por parte de los operadores de maquinaria, a las constantes fallas por incidentes de situaciones no controladas, y a las constantes peticiones del área de seguridad de la empresa, fue necesario diseñar un sistema de control automático para la manipulación de la velocidad y posicionamiento de la carga, en conjunto con el monitoreo de las condiciones de seguridad establecidas para el peso total a cargar y la seguridad para el acceso al elevador de carga. Lo anterior permitió controlar los límites de desplazamiento del elevador, monitoreo del peso de la carga transportada, accionamiento controlado mediante aceleración y desaceleración variable, y posicionamiento preciso del elevador a lo largo de la torre. Esta automatización permitió reducir daños y fallas en el elevador de carga, disminuyendo tiempos muertos en la productividad, visitas técnicas y mantenimientos innecesarios por acciones no parametrizadas.

*Palabras clave: elevador de carga, autómeta programable, automatización, RS485, arduino, autómeta*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

A la empresa Constructora Capital SAS por permitirnos llevar a cabo el proyecto en las instalaciones de la misma, a la ingeniera Susana Arismendy, quien nos dio las pautas del requerimiento de desempeño final.

Al docente Jhon Alexander Isaza Hurtado, asesor metodológico, por su apoyo, interés, orientación y colaboración brindada durante el desarrollo del presente proyecto.

Al evaluador Orlando Zapata Cortes que por sus observaciones permitieron desarrollar un mejor trabajo.

A todos aquellos que directa o indirectamente colaboraron durante el proceso investigativo de nuestro trabajo de grado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

PLC: Controlador Lógico Programable.

SP: Set Point.

GPS: Sistema de posicionamiento global

MOVIDIS: Diseño e implementación de sistemas basados en las TIC para ayudas en la movilidad de personas con discapacidad visual en interiores.

RF: Radiofrecuencia.

RSSI: Indicador de fuerza de señal recibida.

 <b>ITM</b> Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	6
1.1	Generalidades .....	6
1.2	Objetivos.....	7
1.2.1	General.....	7
1.2.2	Específicos.....	7
2.	DIAGNÓSTICO DEL ELEVADOR DE CARGA DE LA CONSTRUCTORA CAPITAL MEDELLÍN SAS .....	8
2.1	Elevador de carga .....	8
2.1.1	Funcionalidad.....	8
2.1.2	Tipos de malacates .....	9
2.1.3	Actualidad .....	11
2.1.4	Internacional.....	12
2.1.5	Nacional .....	13
2.2	Automatización y control del proceso.....	14
2.3	Radiofrecuencia .....	15
2.4	Controlador lógico programable (PLC) .....	17
2.5	Identificación de parámetros de funcionamiento.....	18
2.6	Selección de la instrumentación.....	23
3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL ELEVADOR DE CARGA.....	27
3.1	Diseño de algoritmo de control.....	27
3.1.1	Descripción de la rutina de control.....	31
3.2	Diseño y reforma eléctrica del elevador de carga .....	32
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1	Puesta en marcha .....	42
4.1	Análisis de resultados .....	44
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	45
5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45
5.2	TRABAJO FUTURO.....	46
	REFERENCIAS .....	47

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1.INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Generalidades

La empresa Constructora Capital SAS de Medellín, está orientada a la construcción, promoción y venta de proyectos inmobiliarios para el área Metropolitana y alrededores, en los cuales se utilizan comúnmente máquinas para la edificación de estos. Dichas máquinas se utilizan con el fin de aumentar la productividad de las obras, para las cuales, en general, se emplean mezcladoras y bombas de concreto, dosificadores, minicargadores de material, martillos neumáticos, entre otras, y, particularmente se emplean elevadores de carga para una de las actividades primordiales en la cadena de suministro de las obras civiles, el despacho de los materiales de edificación a lo largo de las torres.

Actualmente existen malacates destinados para la tarea de suministrar los diferentes materiales a lo largo de la torre, pero ninguno de ellos cuenta con algún tipo de control y, principalmente, con sistemas de seguridad en caso de fallas, sobrecargas y otros, lo cual convierte el proceso de surtido en uno de alto riesgo. A su vez, cuenta con cableados expuestos que viajan en conjunto con el malacate a lo largo de la torre, aumentando el riesgo de descarga eléctrica y paros en la operación debido a fallas en dicho cable. Los procedimientos comunes para estas condiciones de funcionamiento e inseguridad, detallan la ineficiencia en el tipo de manejo del sistema electromecánico de la máquina, de igual manera, los peligros a los cuales están expuestos los trabajadores tales como, desprendimientos por sobrecarga del malacate, problemas eléctricos, modos de operación sin realimentación ni control, siendo todo el manejo de manera manual y visual, considerando alturas superiores a los 50m, sin línea de vista hacia lo que contiene el malacate, ni a las condiciones de funcionamiento del mismo en los diferentes pisos de destino y desplazamiento, lo cual genera incertidumbre en las posibles causas de fallas y accidentes que se puedan presentar, afectando la producción y el desempeño de los procesos.

Constructora Capital SAS cuenta, al momento, con 23 elevadores de carga distribuidos a lo largo del área Metropolitana, los cuales funcionan de manera manual y visual según lo anterior planteado, siendo una de las constructoras con más maquinaria para la elevación

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de carga. Este aspecto permite profundizar en la innovación de estos equipos, facilitando la ejecución de montajes de control en diferentes ambientes y con diferentes características de funcionamiento, esto con la intención de establecer parámetros de funcionamiento según entornos de trabajo, aunque en principio, una automatización general para cualquier elevador de carga, será tratada como posible trabajo futuro debido a todas las posibilidades que surgen al analizar diferentes métodos de trabajo particulares de cada obra.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

Diseñar e implementar un sistema de control automático de posición, velocidad y condiciones de seguridad para un elevador de carga de uso exterior y portátil de la Constructora Capital SAS.

### **1.2.2 Específicos**

Identificar las condiciones de desempeño eléctrico y mecánico de un elevador de carga portátil para exteriores.

Determinar los tipos de accionamiento del malacate mediante la implementación de equipos de maniobra.

Desarrollar un sistema de control eléctrico y electrónico para el movimiento automático parametrizado.

Transmitir a través de diferentes medios, el comportamiento en tiempo real de las variables de control del malacate.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. DIAGNÓSTICO DEL ELEVADOR DE CARGA DE LA CONSTRUCTORA CAPITAL MEDELLÍN SAS

En la última década el sector inmobiliario en Colombia está creciendo a pasos agigantados y el departamento de Antioquia lo demuestra con creces, debido a que sus operaciones inmobiliarias le han permitido en este último año tener un crecimiento mayor al 1% por encima del resto del país, que crece un 2% (Espectador, 2019); aumento que ha traído como consecuencia una fuerte competencia entre las compañías constructoras involucradas en este sector, en donde los resultados de sus ventas se ven reflejados en el tiempo de entrega de las obras, y se ignoran los diseños arquitectónicos y ubicaciones de los inmuebles, lo que da a entender que una de las dependencias más importantes de estas empresas es la productividad, la cual es el área encargada de que los procesos a realizar se hagan de la mejor forma y en el menor tiempo posible. Para lograr una eficiencia equilibrada y competitiva es necesario hacer uso de herramientas y procesos adecuados a las funciones estipuladas; los malacates o elevadores de carga de uso exterior y portátil son equipos claves para el desarrollo de la infraestructura ya que de ellos depende el abastecimiento eficaz de las materias primas empleadas en cada nivel del proyecto de construcción.

### 2.1 Elevador de carga

Son equipos para el transporte vertical de carga, comúnmente denominados malacates, cuyo funcionamiento puede ser hidráulico o electromecánico y variará según las necesidades de cada uno de los usuarios, ideales para las empresas que requieren de la movilidad de mercancías y materias primas. Estas máquinas cuentan con el diseño de las estructuras adecuadas y necesarias para que los procesos de trasladar productos de un lugar a otro en una compañía sean más fácil y efectivo.

#### 2.1.1 Funcionalidad

Estos elevadores funcionan, en principio, por medio de un variador de frecuencia accionado por un mando cableado, a 40m separado del tablero contenedor de los componentes de control, aplicando 3 funciones básicas sobre el funcionamiento del motor, subir, bajar y paro de emergencia. Estas funciones inician la aceleración progresiva del elevador, durante un tiempo determinado dado por la duración del pulsador presionado, acto seguido, desacelera de acuerdo a los parámetros

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

configurados en el variador. El paro de emergencia interrumpe la señal de las acciones de subir o bajar, desacelerando hasta el reposo en caso de que la máquina se encuentre en movimiento. El malacate en general, cuenta a su vez, con interruptores que determinan el estado de las puertas de la máquina, indicando un estado lógico en 1, en caso de que las puertas se encuentren cerradas, o caso contrario, 0 lógico. De acuerdo a lo anterior, obtenemos un funcionamiento constante del malacate, sin medidas de control para el posicionamiento, velocidad, fuerza y seguridad del mismo. Estas condiciones establecen el desempeño, funcionamiento y tiempos de producción para las labores de transporte vertical de implementos y suministros de construcción.



Figura 1: Tablero de control implementado para el manejo de elevadores de carga. (Propia)

### 2.1.2 Tipos de malacates

Debido al tipo de condiciones y al sector de influencia de las compañías hay gran variedad de estilos, capacidades y diseños para los cuales se adecua el montaje de un sistema de elevación de carga y a su vez se determinan, el tipo de instalación si es de uso interior o exterior, su principio de funcionamiento si es hidráulico o electromecánico desglosándose de este último varios tipos de traslación, los cuales son traslación piñón-cremallera, de cadena y cable; a su vez, estos cuentan con subcategorías que especifican si el malacate a implementar se puede trasladar o si es de uso fijo, es para personas, carga o ambos, lo cual indica el tipo de control que suministran los diferentes

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

proveedores que se encuentran en la industria, aunque normalmente se presenta un control básico capaz de gobernar cualquier tipo de elevador de carga.



Figura 2: Derecha, malacate para interiores, izquierda, malacate para exteriores. (Ingenieria, 2016)

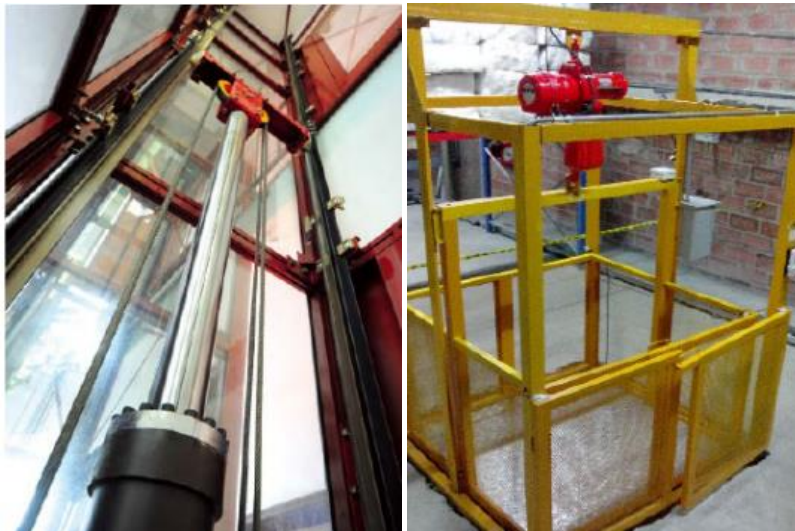


Figura 3: izquierda, elevador hidráulico. Derecha, elevador de cadenas. (Coldesa, s.f.).

La empresa Constructora Capital cuenta con malacates de uso exterior, portátiles y de funcionamiento electromecánico, utilizando como transmisión de movimiento un sistema de poleas con una relación de transmisión de 2:1, esto quiere decir que el motor debe realizar la mitad de trabajo para levantar el peso total de una carga.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 4: malacates de uso exterior y portátil montados en dos diferentes espacios de trabajo dentro de las obras de Constructora Capital. (Propia)

### 2.1.3 Actualidad

Actualmente se encuentran empresas centralizadas en el diseño y construcción de elevadores de carga según las peticiones y el sector en el que se encuentran los clientes, debido a que económicamente es una de las soluciones más eficientes para el movimiento vertical, ya que facilita el cargue y descargue de materiales, además de la comodidad a la hora de la instalación y adaptación en espacios reducidos y el mantenimiento de los mismos que se reduce al mínimo. Según el medio y las necesidades de las compañías en el que se emplean encontramos una gran variedad de elevadores de carga responsables del transporte de bienes y materiales en almacenes, entornos industriales, obras civiles y de fabricación, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, entre muchos otros. Encontramos malacates totalmente sistematizados y controlados con estándares de seguridad muy elevados, como también encontramos fabricantes que ofrecen equipos versátiles y de gran capacidad, sin controles automatizados y con mínimos estándares de seguridad.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Una de estas empresas es Equipaco, empresa dedicada a la industria metalmecánica, ofreciendo el malacate mostrado en la figura 5.



Figura 5: Estructura de malacate de carga, suministrado por Equipaco. (Equipaco, 2016)

#### 2.1.4 Internacional

En el ámbito internacional donde prima la seguridad ocupacional los elevadores de carga tienden a tener un costo más elevado que oscila entre 20.000 – 50.000 US, debido a que todas las piezas que se emplean son de primera calidad y marcas mundialmente conocidas, donde no hay espacio para una competencia maligna con productos de mala calidad ni confusiones a los usuarios con respecto a factores de precios. Así lo demuestran empresas como DC Elevator (EEUU) compañía norteamericana con más 4 décadas dedicadas a la fabricación de todo tipo de elevadores, al igual que Morn lift (China) ofrece calidad, seguridad y un servicio excelente.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

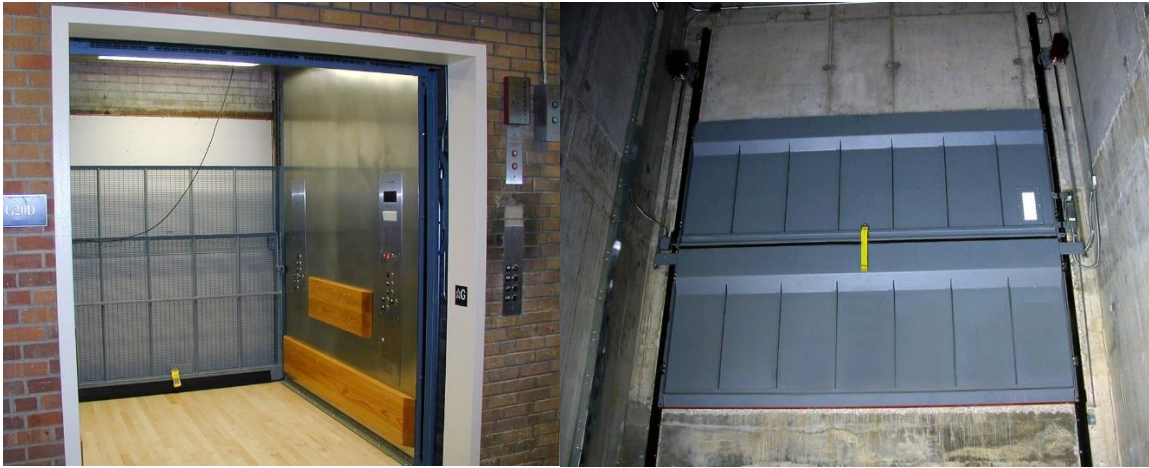


Figura 6: elevador de carga AC elevador de 2500-10000 lbs. Izquierda, interior del elevador, derecha, puertas deslizantes al interior foso de ascensor. (Elevator, s.f.)

### 2.1.5 Nacional

A nivel regional y nacional los elevadores de carga o malacates sufren de un déficit de proveedores debido a que son pocas las empresas que compiten en la fabricación e instalación de los mismos para aplicaciones de obras civiles. El diseño, espacio y peso de carga de cada uno de estos puede personalizarse para que así cumpla con las funciones específicas para la que estarán destinados, sin embargo, la mayoría de compañías los fabrican con un control muy básico e inseguro, ya que no cuenta con los dispositivos de frenado mecánico en caso de una eventualidad con el sistema eléctrico o falla en los componentes del sistema de tracción, y por este motivo en comparación con el mercado internacional los precios son mucho más bajos y oscilan entre 10.000-30.000 US. Las compañías líderes en el mercado Colombiano como Equipaco (Bogotá), anteriormente mencionada, cuya actividad principal es la industria metalmecánica, Femm SAS (Bogotá) fabricación de equipos para el movimiento y transporte vertical de personas, carga y discapacitado, y a nivel regional contamos con Tecnocinetica Ingeniería SAS (Medellín) dedicada al diseño, fabricación y montaje de equipos que ofrecen soluciones especiales de movimiento, elevación y almacenamiento de materiales; son las encargadas de abastecer el área inmobiliario a nivel nacional.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 7: izquierda, elevador de carga de la compañía Femm. Recuperado de (Femm, s.f.). Derecha, elevador de carga fabricado por la compañía Tecnocinetica. Recuperado (Ingenieria, 2016).

## 2.2 Automatización y control del proceso

Tenemos presente la sustitución de tareas tradicionalmente manuales, realizadas de manera automática por máquinas o cualquier otro tipo de automatismos. En (Velásquez, 2004) se hace referencia a los procesos automatizados y dice que la automatización industrial es un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, como los materiales, humanos, económicos, financieros, etc. La automatización de procesos en una empresa, dependiendo del proyecto, puede ser parcial o total, y se puede ajustar a funciones manuales o automáticos.

La automatización de sistemas de elevación de carga busca controlar el funcionamiento de equipos sin la intervención del factor humano para reducir tiempos de ejecución de labores, y optimizar procesos que, para nuestro caso, se trató de un control de las variables de velocidad, peso y posición que se llevaran a cabo con el fin garantiza la calidad en la ejecución y control de las posibles fallas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en los equipos del sistema. De esa forma, se fijan diferentes estándares de programación y ejecución.

### 2.3 Radiofrecuencia

Si se profundiza en un ámbito investigativo, se comprende que si bien la tecnología de la radiofrecuencia no es algo nuevo debido a que sus primeros indicios datan desde la segunda guerra mundial, se ha visto exponencialmente su desarrollo en base a la necesidad de potenciar su línea de acción al incorporar esta tecnología en la resolución de problemas de procesos industriales, medicinales, empresariales y organizacionales; con aplicaciones ilimitadas que se observan desde un control de inventarios, hasta aplicaciones más futuristas, como electrodomésticos que administran la compra de alimentos, o ropa que es lavada de acuerdo a las instrucciones leídas automáticamente desde su etiqueta.

En el artículo “Utilización de la comunicación por radiofrecuencia para la detección de vehículos en movimiento” (García et al., 2018) compara diversos dispositivos y sus respectivas características que se pueden emplear para el montaje y la comunicación por medio de radio frecuencia, que tiene como enfoque principal en el receptor CC1101 de la compañía Texas Instruments, modelo elegido debido a su bajo consumo energético, capacidad de utilizar el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI) y porque es poco propenso a la interferencia electromagnética. También se hace un estudio comparativo entre el posicionamiento vehicular y de objetos móviles en donde se pone a prueba la tecnología por medio comunicación GPS y la comunicación por radio frecuencia, para analizar durante el desarrollo de un proyecto llamado MOVIDIS, que va enfocado en la movilidad de personas con discapacidad visual.

El proyecto MOVIDIS es una iniciativa orientada a brindarles autonomía a las personas con discapacidad visual en el uso del sistema de transporte público en Panamá. Este proyecto está conformado por dos sistemas, uno que consiste en tecnología RF y otro basado en aplicaciones para Smartphone. El primero consiste en un sistema compuesto por varios módulos que facilitan la utilización del sistema de transporte a personas con discapacidad visual. Estos módulos se comunican entre sí.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Modelo conceptual de los sistemas de RF

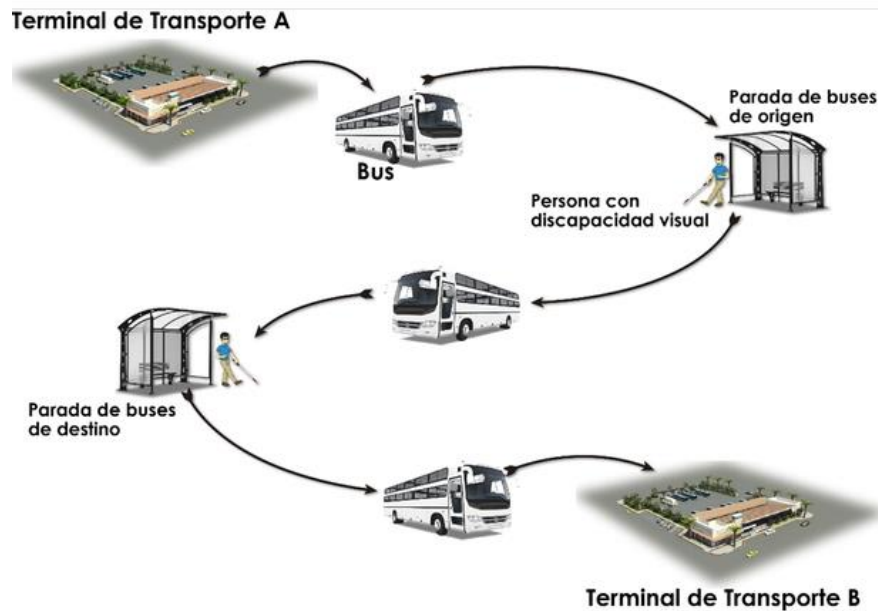


Figura 8: Esquema de funcionamiento del Sistema MOVIDIS utilizando la tecnología RF. (Sáez, 2017)

Existen distintos tipos de módulos de radiofrecuencia que han sido utilizados para proyectos a nivel científico e industrial. Uno de ellos, el transceptor CC1101 (Texas Instruments, 2009), se destaca por haber sido utilizado en múltiples estudios científicos para la construcción de redes inalámbricas de sensores (Kim et al., 2013), comunicación machine-to-machine (M2M) (Tuset-Peiró et al., 2013) y sistemas de monitoreo en tiempo real (Casciati y Chen, 2010). En estos estudios se ha comparado diferentes dispositivos de comunicación por radiofrecuencia, siendo el CC1101 el modelo escogido debido a sus características de bajo consumo energético, capacidad de utilizar el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI) y por ser menos propenso a interferencia electromagnética.

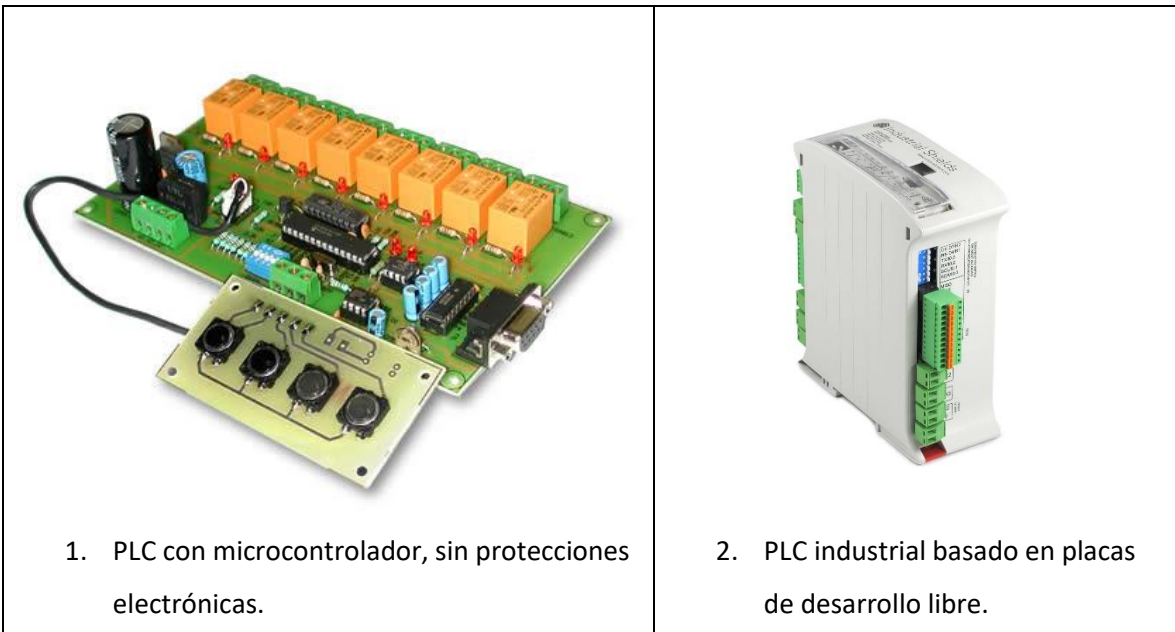
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.4 Controlador lógico programable (PLC)

“Sistema operativo electrónico digital, diseñado para uso en medios industriales. Cuenta con una memoria programable para el almacenamiento interno y para las instrucciones del usuario (funciones lógicas, secuencias, timers, contadores). A través de entradas y salidas digitales y/o analógicas controla diversos tipos de procesos y maquinas.” (Autotracen, 2018)

El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso debido a que abarca varios tipos de industria como la automoción, aeroespacial, construcción, entre otros. A diferencia de una computadora tradicional los PLCs están diseñados con múltiples señales de entrada y salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a los impactos y vibraciones.

Dentro de las ventajas más relevantes de los PLC se encuentran que, gracias a ellos, es posible realizar operaciones en tiempo real, debido a su disminuido tiempo de reacción. Además, son dispositivos que se adaptan a nuevas tareas debido a la flexibilidad a la hora de programarlos, tomando en cuenta la variedad de los mismos dependiendo de la estructura electrónica de estos y, gran medida, del tipo desarrollo a realizar.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

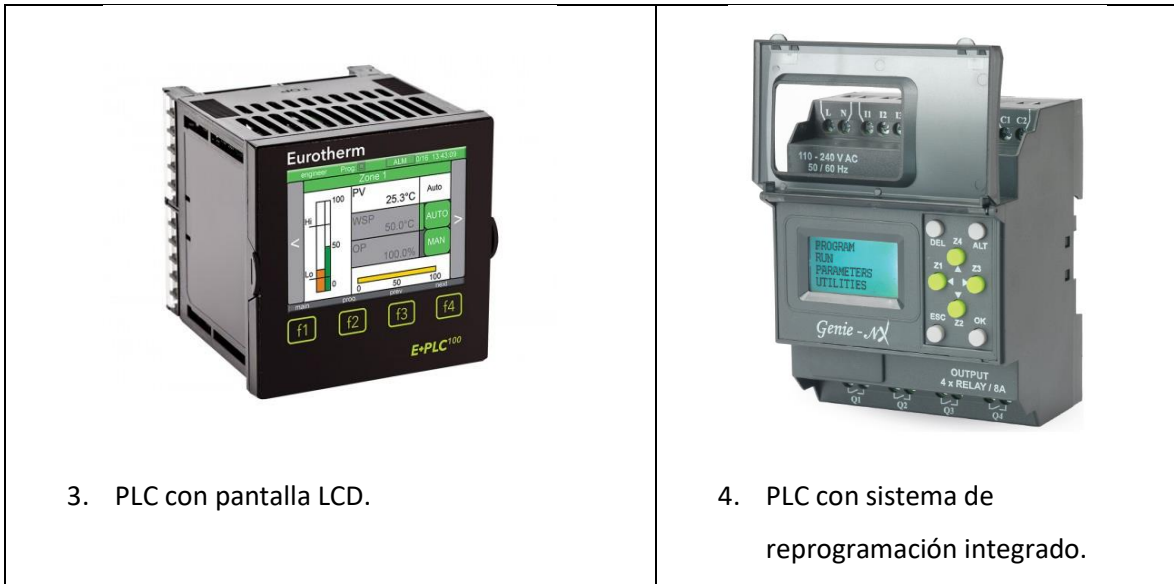


Figura 9: Tipos de PLC según características y parámetros de implementación. 1 (Estudio, 2019), 2 (Shields, s.f.), 3 (Eurotherm, s.f.), 4 (Gicindia, s.f.)

## 2.5 Identificación de parámetros de funcionamiento.

En principio, se realiza el reconocimiento de las condiciones de trabajo del malacate, específicamente en la obra Rio Místico, ubicada en la ciudad de Sabaneta, con un malacate de 20 pisos, y 60m de altura aproximadamente. Con ayuda del operador de este, se identificaron las condiciones iniciales del funcionamiento del equipo, establecidas según necesidades de materiales solicitados para transportar en el elevador. En consecuencia, se notó que según la carga a manejar, el malacate es ubicado en los diferentes niveles de la torre en construcción por medio de un posicionamiento no controlado, llevado a cabo por el operador utilizando un equipo de maniobra básico para subir y bajar la cabina del malacate, compuesto principalmente por un variador de frecuencia, el cual controla en su totalidad el movimiento electromecánico del sistema, trabajando en conjunto con unos contactores de accionamiento, protección termomagnética y pulsadores de función.

En la cadena de suministro se involucra a todo un equipo de trabajo encargado de distribuir el material de obra en la torre utilizando el malacate. Dicho material es variable en peso, forma y tamaño, el cual es cargado y descargado con condiciones mínimas de seguridad. Se identificó

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

entonces la operación del malacate en todo su recorrido sin tener presente peso, acceso a cabina, velocidad de operación y posicionamiento.

De lo anterior se destacan dos tipos de control utilizados para iniciar el funcionamiento del malacate, tal cual se ve en la figura 10.

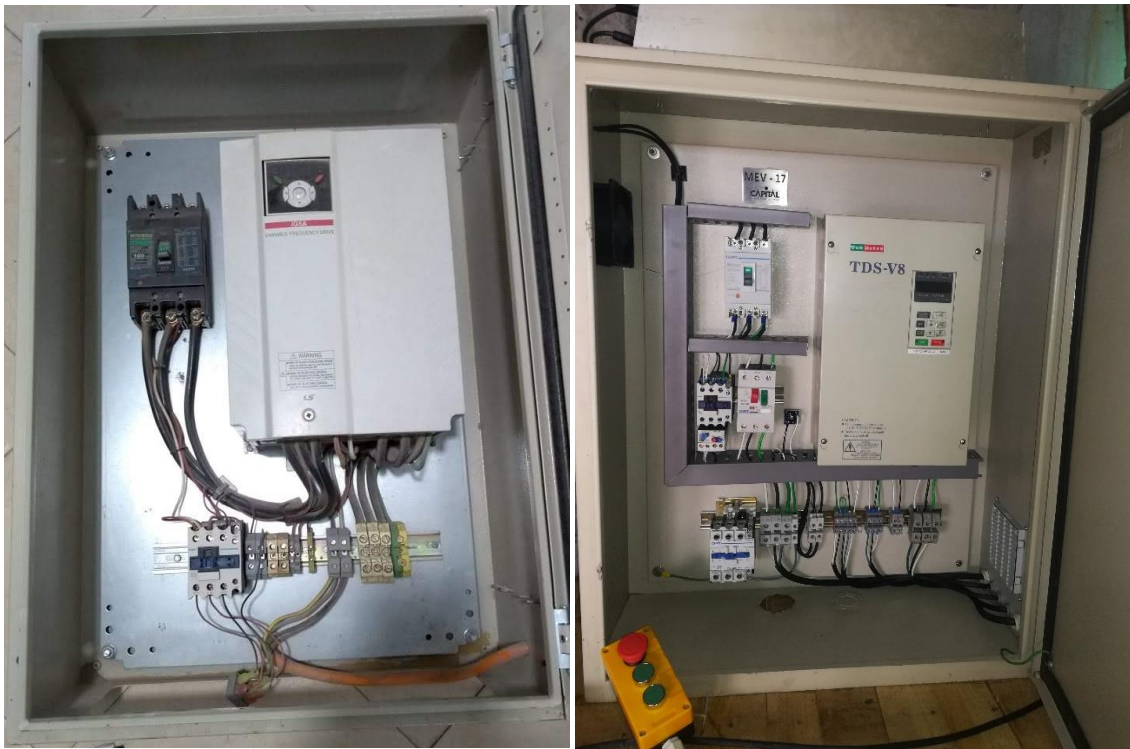


Figura 10: Tableros de control implementado comúnmente para el manejo de elevadores de carga. A la izquierda, tablero de control sin elementos de maniobra, a la derecha tablero de control con maniobra y protecciones termomagnéticas adicionales. (Propia)

El diagrama de instrumentación que representa el funcionamiento básico de este equipo se aprecia en la figura 11.

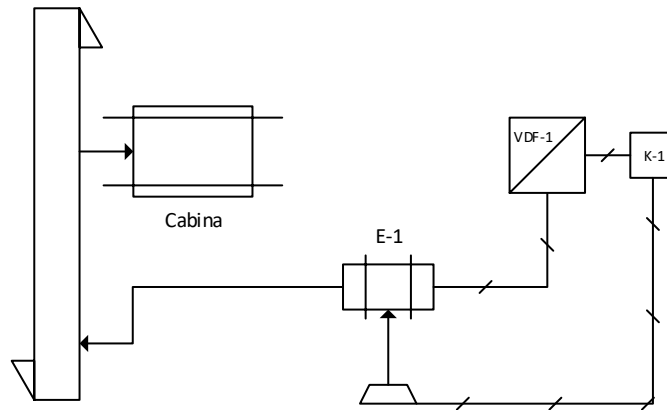


Figura 11: diagrama de flujo de proceso para malacate. (Propia)

El tablero de control es alimentado mediante una fuente constante trifásica a 220V, la cual suministra voltaje directamente a los contactores K-1 y al variador de frecuencia VDF-1, el cual viene acompañado de un controlador integrado que recibe unas señales de control manual para subir y bajar la cabina. Estas señales indican si VDF-1 inicia funcionamiento inyectando frecuencia variable al motor E-1, en conjunto con el accionamiento de K-1 para habilitar la alimentación del freno, normalmente trifásica, con voltaje constante y liberar a su vez el giro del motor E-1, acto seguido, inicia la transmisión de movimiento a la cabina del malacate, mediante caja reductora y poleas ejerciendo la acción de subir o bajar la misma, de acuerdo al control manual activado.

Para los tableros de control presentes en la figura 10, se tienen dos tipos de variadores de velocidad con funcionamiento semejante, los cuales son suministrados por el mismo distribuidor. Fue importante tener en cuenta las condiciones de funcionamiento de ambos variadores para estandarizar de la mejor manera el control a implementar para la manipulación del malacate, ya que debido a fallas e incidentes en campo, puede ser necesario cambiar dicho variador, por lo cual es necesario que no se vea afectado el desempeño del controlador planteado.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 12: Variador de velocidad LG iG5A. (Industrial, s.f.)

Variador de velocidad comúnmente usado en sistemas de elevación, con capacidad de trabajo hasta motores de 15HP y voltajes de funcionamiento entre los 200VAC y los 240VAC.



Figura 13. Variador de velocidad Tek Drive TDS-V8. (Giravan, s.f.)

El TDS-V8 presenta una capacidad de trabajo para motores hasta los 20HP y voltajes de funcionamiento entre los 200VAC y los 240VAC.

Los variadores presentados en las figuras 12 y 13 tienen similitudes en cuanto al funcionamiento mediante el uso de pines digitales, por lo cual se asumió la implementación de un control igual para ambos sistemas.

En el proceso de transporte de carga vertical realizado por el elevador de carga, se presentan las siguientes variables.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tag	Variable	Tipo de variable	Rango de operación	Tipo de instrumento	Notas/ Restricciones
	Subir	Entrada	0/1		Si (Ts)=1
	Bajar	Entrada	0/1		Si (Ti)=1
DS-01	Puerta (P)	Entrada	0/1	Interruptor de puerta	
YSH-01	Tope superior (Ts)	Entrada	0/1	Interruptor de altura superior	
YSL-01	Tope inferior (Ti)	Entrada	0/1	Interruptor de altura inferior	
WIC-01	Carga	Entrada	0-750 Kg	Controlador indicador de peso	Carga>750Kg
	Velocidad	Entrada	0-100Hz/ 0001 0010 0101 0110 1001 1010		Frecuencia máxima de motor. Se regula de acuerdo a la carga.
	Posición	Salida	0-80 m		Se calcula mediante la velocidad y el tiempo de desplazamiento.
E-1	Motor (giro)	Salida	0-1500 rpm	Motor	
E-1	Motor (dirección)	Salida	0/1	Motor	Giro de motor.
B-1	Freno (accionamiento)	Salida	0/1; VAC>220 V	Freno	Mientras motor gire.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 1. Variables de entrada y salida involucradas y estimadas en el funcionamiento del malacate.  
(Propia)

Estas variables fueron determinadas de acuerdo a las precauciones que debe considerar el operador del malacate al momento de poner en funcionamiento la máquina, puesto que en primera instancia, no se cuenta con realimentación de la misma hacia algún controlador, inexistente en principio.



Figura 14: sistema electromecánico del malacate. Motor, caja reductora, winche. (Propia)

## 2.6 Selección de la instrumentación

Basados en los parámetros de la tabla 1, se planteó el plano de instrumentación presentado en la figura 15. Dicho esquema establece los lazos de control implementados para el seguimiento y puesta en marcha del malacate, siendo C-01 el controlador encargado de enviar las instrucciones de velocidad, giro, dirección y posición al variador VDF-01, y C-02 es el controlador encargado de enviar a C-01, de manera inalámbrica, los estados de los interruptores de posición superior e inferior, interruptor de puerta y el peso de la carga.

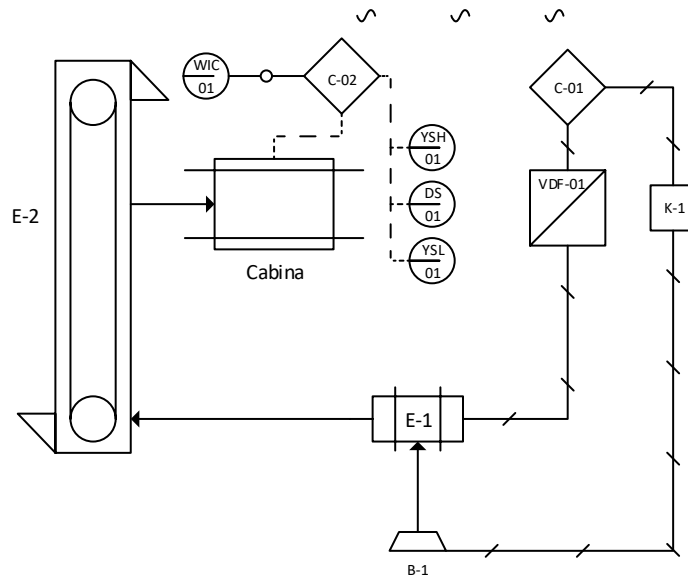


Figura 15: P&ID malacate de carga con lazos de control. (Propia)

El sistema de la figura 15 inicia proceso en la cabina del malacate, donde es medido el peso de la carga mediante WIC-01, en conjunto con la lectura del estado de los interruptores de altura superior, inferior y puerta, YSH-01, YSL-01, DS-01, respectivamente. Estas lecturas son procesadas en el controlador C-02, el cual se encarga de enviar los datos procesados hacia el controlador C-01, acto seguido, es gobernado el variador de velocidad VDF-01 mediante las instrucciones de posición y velocidad que recibe desde C-01.

Para este proceso los controladores toman en cuenta que el indicador de carga WIC-01 mide en todo momento el peso del material en la cabina, el cual se carga y descarga constantemente, a su vez, LSH-01, DS-01 y LSL-01 interruptores de estado, determinan seguridad de desplazamiento de la cabina, permitiendo movimiento solo si los topes están libres (LSH, LSL), y la puerta cerrada (DS).

La comunicación entre C-01 y C-02 se da de manera inalámbrica, y solo si se cumplen las condiciones de funcionamiento, en este caso, lectura de peso menor a 750 kg, topes en estado lógico 0, e interruptor de puerta en estado lógico 1, VDF-01 y K-1 iniciaran marcha.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22




Dispositivo	Descripción
	<p>Controlador 1</p> <p>Controlador basado en arduino, 10 entradas – 8 salidas – 12VDC.</p> <p>Comunicación por radiofrecuencia con NRF24LS01, distancia de comunicación 300m, línea de vista.</p> <p>Funciones de parametrización de altura, tiempos, peso máximo, estados de los interruptores, velocidad de trabajo.</p>
	<p>Controlador 2</p> <p>Controlador basado en arduino, 4 entradas, 12VDC.</p> <p>Comunicación por radiofrecuencia con NRF24LS01, distancia de comunicación 300m, línea de vista.</p>
	<p>Variador de frecuencia</p> <p>15HP – 11.2Kw – 200-240VAC</p> <p>8 entradas digitales</p> <p>1 entrada análoga de 0 – 10VDC</p> <p>1 salida análoga de 0 – 10VDC</p> <p>1 Relé multifunción</p>

Tabla 2: elementos esenciales para el diseño del sistema de control. (Propia).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para los controles e instrumentos implementados fue necesario limitar las funciones generales del elevador, esto con el fin de seguir los lineamientos para la programación del variador de velocidad, puesto que este, al poseer un módulo de salidas y entradas digitales, es susceptible a cambios bruscos en las reacciones eléctricas de los componentes que se encuentren alrededor de este.

El elevador de carga, como máquina de transporte principal en obras, requiere de una automatización y control capaz de funcionar sin importar las condiciones de movimiento, principalmente la distancia de comunicación entre la cabina del malacate, y el cuarto de control del mismo, optando por radiofrecuencia como solución para la comunicación entre cabina y cuarto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL ELEVADOR DE CARGA

Para el diseño del sistema de control automático para el malacate, fue necesario aclarar que este sistema es susceptible a múltiples señales eléctricas cableadas e inalámbricas, la mayoría de ellas debidas a máquinas y equipos aledaños al proceso. A su vez, el malacate dispone de señales susceptibles a las anteriores mencionadas, para lo cual se implementa una comunicación inalámbrica anteriormente mencionada, por radiofrecuencia parametrizada, la cual permite, en mayor medida, disminuir la influencia de posibles señales que afecten el correcto funcionamiento del algoritmo de control.

Debido a lo anterior, tanto los circuitos diseñados, como el algoritmo de control implementado a continuación, fueron probados directamente en el malacate, con el fin de ver la respuesta real del sistema ante el entorno de trabajo.

### 3.1 Diseño de algoritmo de control

Para la realización control del sistema fue necesario asumir condiciones ideales, sin perturbaciones en la máquina. Este sistema requiere un control con muchas oscilaciones en la respuesta de la velocidad debido a la inconsistencia notable en la carga que es transportada dentro del malacate, aunque no fue necesario plantear una respuesta rápida en el cambio de velocidad del desplazamiento del malacate, ya que es necesario una aceleración y desaceleración con intervalos superiores a 1.5 segundo. Para este caso en particular se realizó un control con salida binaria, la cual establece la velocidad según la tabla 3. Dicho control permite establecer un total de 16 velocidades de funcionamiento según carga, al igual que permite 16 aceleraciones y desaceleraciones para los cambios entre dichas velocidades. El variador iG5A permite parametrizar cada velocidad según sea conveniente, aunque para este proceso es necesario indicar por puerto en el variador de velocidad, el código binario asociado a cada instancia de velocidad y aceleración, lo que puede ralentizar la respuesta del controlador implementado. Por tal motivo se establecen 3 velocidades específicas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

para un control manual por botones y un control automático accionado por el controlador principal C-01 en las cuales osciló el malacate a lo largo de su recorrido con carga variable.

Código binario	Velocidad	Aceleración	Desaceleración	Dirección	Tag
0000	0 Hz	0 seg	0 seg		
0001	80 Hz	2 seg	1.5seg	Arriba	Segunda marcha
0010	80 Hz	2 seg	1.5seg	Abajo	
0011	0 Hz	0 seg	0 seg		
0100	0 Hz	0 seg	0 seg		
0101	50 Hz	2 seg	1.5seg	Arriba	Primera marcha
0110	50 Hz	2 seg	1.5seg	Abajo	
0111	0 Hz	0 seg	0 seg		
1000	0 Hz	0 seg	0 seg		
1001	100 Hz	2 seg	1.5seg	Arriba	Tercera marcha
1010	100 Hz	2 seg	1.5seg	Abajo	

Tabla 3: binarios de control para puerto de variador de velocidad. (Propia).

El control automático desempeña un papel importante en el proceso de posicionamiento del malacate a lo largo de la torre, por ende la planta para este caso fue el motor del malacate, con las señales de salida establecidas en posición y velocidad del mismo. El desplazamiento específico del malacate se referenció respecto a la altura de cada piso, en consecuencia planteamos una señal de referencia variable (Set Point). El controlador C-02 lee constantemente la señal análoga proveniente de las celdas de carga para establecer el peso actual del malacate en tiempo real y así realimentar el sistema, dicha señal se envía al controlador C-01 para su procesamiento y generación de la salida binaria de control y calcular la velocidad del motor para alcanzar una altura (Set Point) en un tiempo determinado.

A pesar de contar con un variador de velocidad capaz de mover un motor de 15HP y entregar diferentes consignas de velocidad, este mismo se encarga de generar perturbaciones ya que utiliza resistencias que consumen corriente debida a la regeneración que posee todo variador destinado

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

para la elevación de carga. Estas perturbaciones cambian directamente la frecuencia entregada a la planta, reduciendo la efectividad de la implementación del controlador.

A continuación se presenta el diagrama de flujo específico para el control en lazo cerrado del sistema, centrándose únicamente en los parámetros necesarios para la ejecución del control PID.

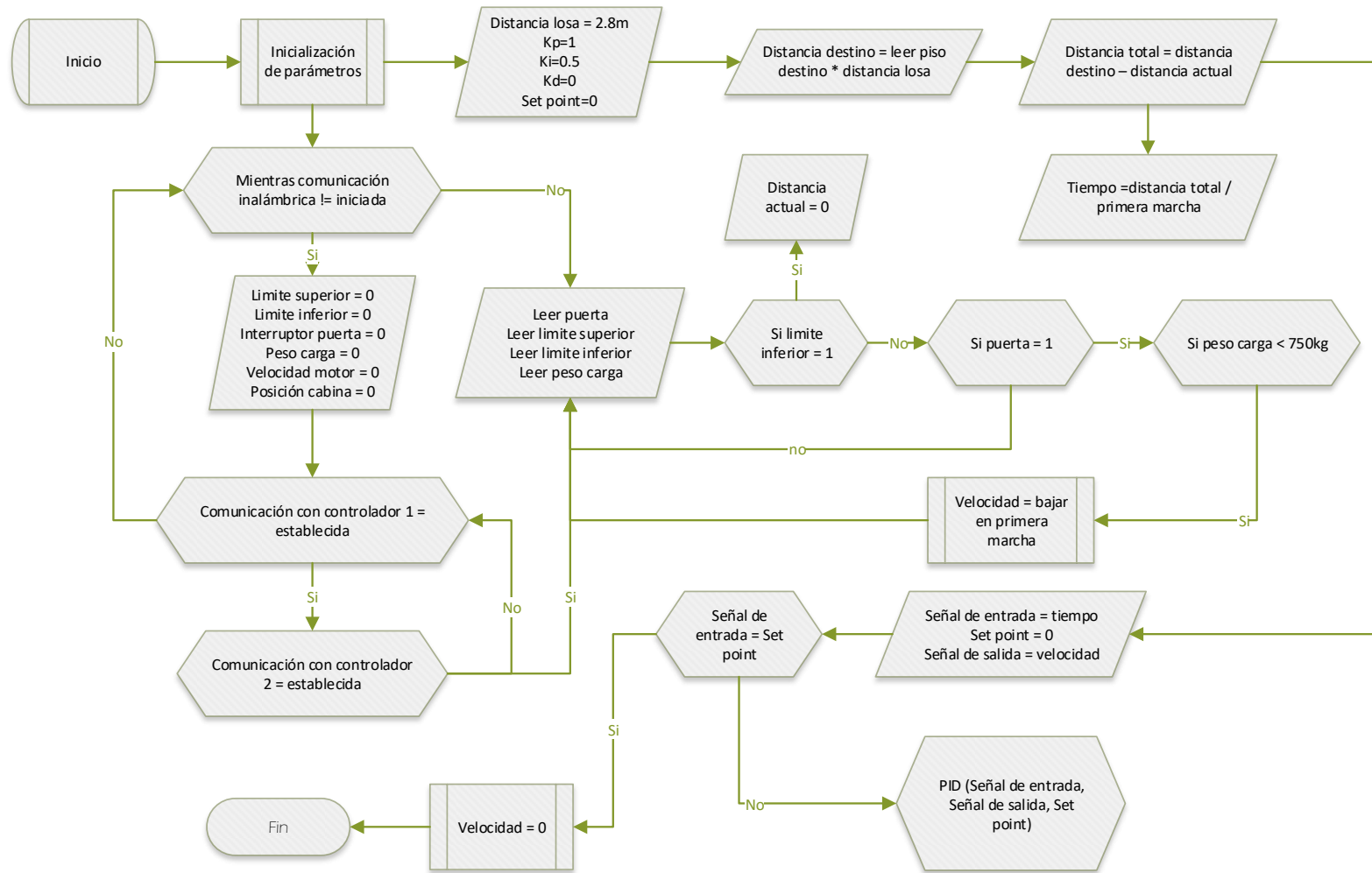



Figura 16: diagrama de flujo para la ejecución del controlador en lazo cerrado para el sistema de elevación de carga. (Propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.1.1 Descripción de la rutina de control

El sistema en principio, establece los valores de las diferentes variables del controlador en 0, esto con la intención de evitar ejecuciones no contraladas por almacenamientos no establecidos y que se pueden presentar al iniciar y apagar el sistema. El control en lazo cerrado utiliza los parámetros de señal de entrada, señal de salida, y set point o valor de referencia para la acción del motor, en este caso tratado solo como ejecución de velocidad. El controlador 1, o controlador principal envía datos al controlador 2 para establecer comunicación con este, en caso de que esta situación se presente, el controlador 2 enviará los estados lógicos de los interruptores de límite superior e inferior, interruptor de estado de puerta, y valor del peso medido por las celdas de carga. En este punto se realiza el primer proceso de posicionamiento, en el caso de que el interruptor de límite inferior no se encuentre activa, o en otras palabras, el malacate no se encuentre en el primer piso, este hará una verificación del estado de la puerta y el peso de la carga. Si la carga tiene un peso medido inferior a 750kg, y a su vez, la puerta de la cabina se encuentra cerrada, el controlador 1, el cual está conectado directamente al tablero de control principal del malacate, figura 18, indicará el accionamiento del motor con la instrucción de bajar en primera marcha hasta que el interruptor de límite inferior sea accionado. Esta condición inicial permite establecer las distancias de trabajo iniciales y controlarlas a lo largo del proceso.

El controlador establece unos valores iniciales completamente modificables para la implementación de un PID, el cual permite realizar una acción de control realimentada en todo momento. Dichos parámetros se mencionan como  $k_p$ , componente proporcional,  $k_i$ , componente integral,  $k_d$ , componente derivativa.

La teoría de control plantea una ecuación específica para la implementación de un controlador PID

$$vc = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

El controlador 1 establece unos valores para  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ , tomados de manera experimental, a su vez, establece la altura entre cada piso de la torre, denominado altura entre losas, también de establecer la referencia con la cual se calcula el PID, para este caso tenemos un set point de 0. La variable de proceso para este proyecto es la posición del malacate, pero se controlará de manera indirecta mediante la manipulación del tiempo de accionamiento del motor a velocidad variable. Debido a

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

esto, nuestro set point se hace 0, indicando al sistema la ejecución del proceso de posicionamiento en el menor tiempo posible.

Al indicar un piso o losa de destino, se calcula la distancia total a recorrer, conociendo la distancia entre pisos. La velocidad con la cual se realiza el control es la más lenta, debido a que se debe considerar los tiempos más largos de desplazamiento para garantizar aceleraciones y desaceleraciones constantes. Conociendo distancia total y velocidad a implementar, se calcula el tiempo necesario para realizar el desplazamiento.

$$t = v/d \tag{2}$$

Para lo anterior tenemos que  $v$  es la velocidad mínima de accionamiento (señal de salida),  $d$  es la distancia total a recorrer el malacate, y por último  $t$ , tiempo total de ejecución (señal de entrada). En consecuencia, al implementar el PID con estos parámetros, éste aplicará una velocidad al variador de frecuencia, reducirá constantemente el tiempo de recorrido con base a la velocidad y se realizará una actualización del valor de la posición recalculando tiempo transcurrido.

### 3.2 Diseño y reforma eléctrica del elevador de carga

El sistema de control mencionado en el anterior apartado debe ser consecuente con los dispositivos usados para el control eléctrico. Anteriormente no se contaba con un tablero de control adecuado para la ejecución de un sistema de lazo cerrado, tal cual se observa en la figura 10. Para corregir dicha situación, se realizó el esquema eléctrico de la figura 16, orientando dicho tablero al funcionamiento de manera manual y automática.

Las reformas realizadas fueron orientadas al control de fallas, contando con dos salidas para dos diferentes elevadores de carga, de las cuales, una de ellas, contará con toda la automatización del proceso de transporte de carga, y la otra omitirá la acción de control.

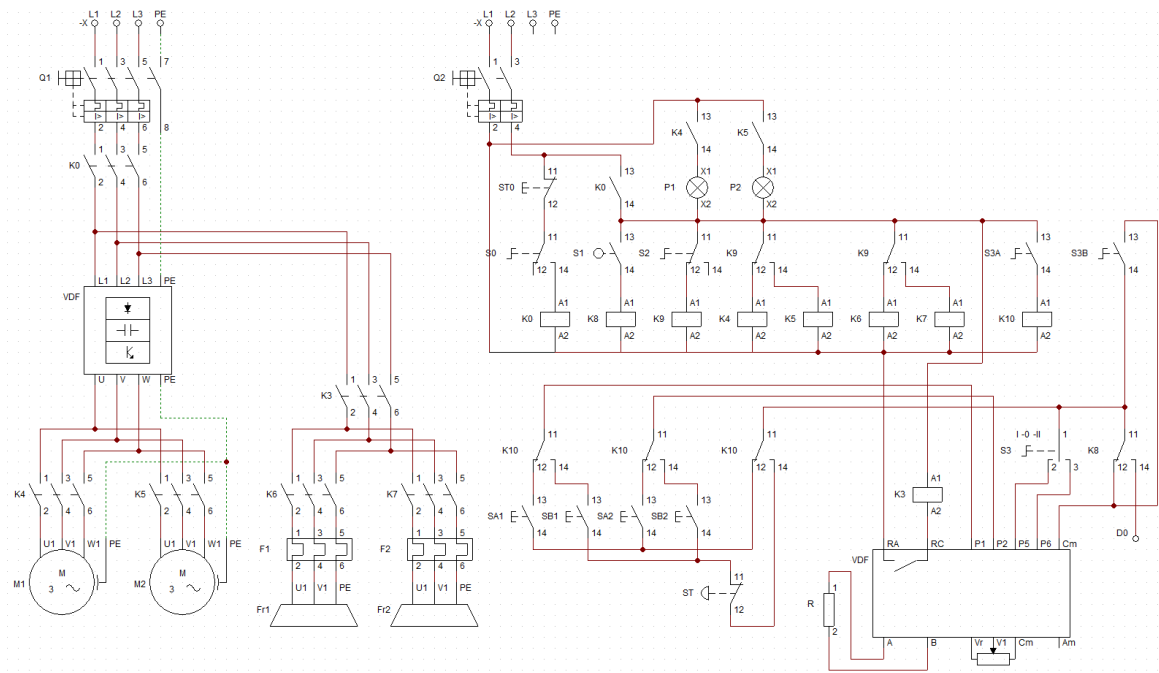


Figura 17: esquema eléctrico para implementación de sistema de control. (Propia)

La figura 17 muestra los controles realizados para iniciar el funcionamiento del malacate de manera manual o automática, según el accionamiento de los diferentes interruptores.

Al trabajar en modo manual, el operador puede seleccionar la velocidad con la cual subirá el elevador, todo según los lineamientos de seguridad del mismo, teniendo presente los interruptores de estados, peso de la carga, altura destino y visibilidad del elevador.

Para el modo de funcionamiento automático, el operador puede seleccionar, mediante interruptores de control, la puesta en marcha de esta función. En este caso se utilizan los controladores diseñados para emisión y recepción de datos mediante el uso de la antena NRF24LS01, la cual fue designada para la ejecución de la comunicación inalámbrica entre controlador 2 C-02, ubicado en la cabina del malacate, y el controlador 1, ubicado en la base del malacate.

El esquema de circuito eléctrico principal (figura 20) realizado para la implementación del controlador 1 C1, muestra el esquema general para el montaje de la comunicación por radio frecuencia y el control de velocidad con los parámetros para subir y bajar de acuerdo al control binario de posicionamiento mostrado en la tabla 3.

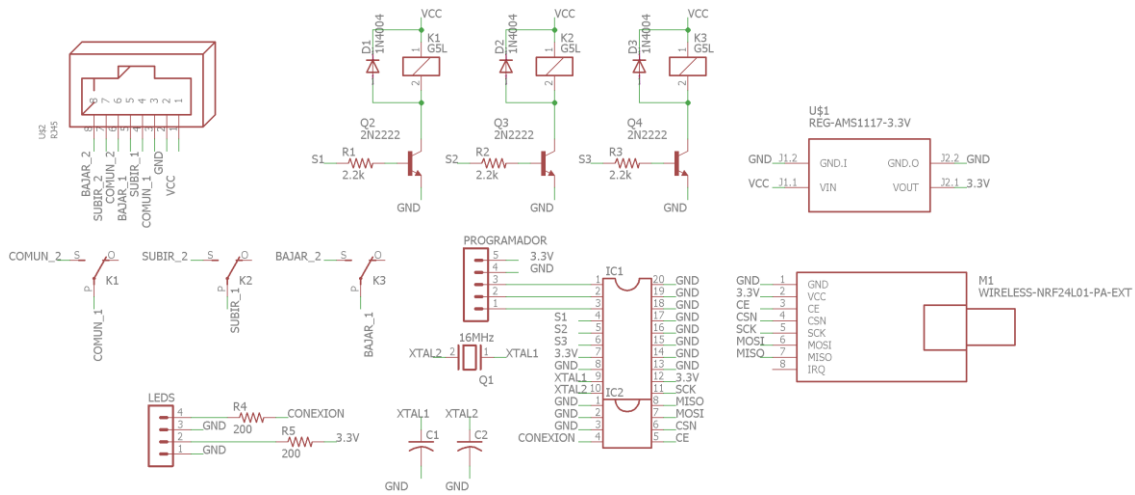


Figura 18: esquema eléctrico del controlador principal encargado de la comunicación, procesamiento e implementación del sistema de control. (Propia)

El controlador 2 se divide en 2 partes, en primera instancia, receptor de las señales de estado y peso provenientes desde la distancia, en segundo lugar tenemos al emisor de los datos mencionados, ubicado permanentemente en la cabina del malacate, direccionado hacia el receptor, desplazándose en conjunto con la carga.

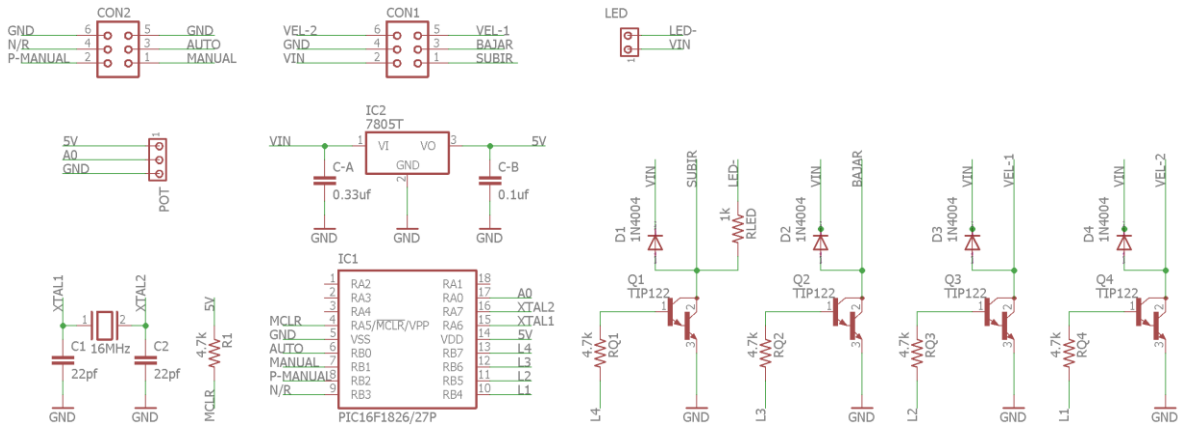


Figura 19: esquema eléctrico del receptor de las señales de estado. (Propia)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 20: celdas de carga y plataforma de cargue. (Propia)



Figura 21: celda de carga en esquina de cabina de malacate. (Propia)

Las celdas están ubicadas bajo una plataforma que hace de báscula para la lectura del peso transportado. Este dato es enviado hace el emisor para su posterior procesamiento y transmisión hacia el receptor del controlador 2.

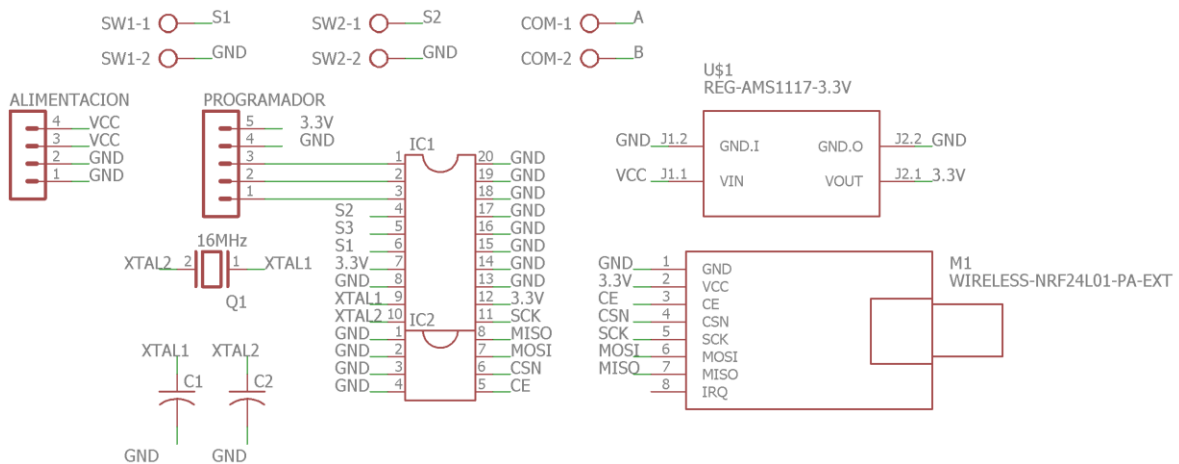


Figura 22: esquema eléctrico del emisor de datos del controlador 2. (Propia)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El elevador de carga modificado en la empresa Constructora Capital, presenta cambios notables en el desempeño de este debido a la automatización realizada. El transporte de carga vertical, siendo un proceso simple, presenta mejoras considerables en el funcionamiento de la máquina, tales como el aumento de la eficiencia del malacate. Esencialmente, debido a la modificación llevada a cabo en el tablero principal, este elevador pudo controlar en tiempo real las variables del sistema las cuales fueron la velocidad y posición en función de tiempo de accionamiento calculado mediante controlador PID. Se toma en cuenta de igual manera el monitoreo de los estados de seguridad de la cabina del malacate, interruptores de límite inferior y superior, en conjunto con el interruptor de apertura o cierre de la puerta de dicha cabina. Estos últimos tres dispositivos establecieron una mejora en el nivel de seguridad en la cadena de suministro de la obra.

Las condiciones de accionamiento de estos dispositivos fueron las esperadas según las solicitudes por parte del área de seguridad de la empresa, aunque presentan de igual manera ciertas limitaciones mecánicas, debidas a la manipulación no debida por parte de los trabajadores que hacen uso de la maquinaria.

A continuación se presente el resultado final de la implementación de los esquemas de control presentados en la figura 17.



Figura 23: tablero de control implementado para el sistema de control según esquema eléctrico.

La primera ventaja notada por quienes interactúan con este sistema, fue el orden y la facilidad de manejo (externo) de este equipo. Se presentan clavijas para la conexión y desconexión rápida de los periféricos de este. Además de contar con la posibilidad de operar dos malacates, de manera alternada, con un solo variador.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 24: botonera de accionamiento para manejo de velocidades y posiciones de manera manual y automática. (Propia).

Este control, aparte de ser más resistente que los implementados en otros elevadores de carga, aumenta la seguridad en la manipulación del mismo, aunque queda un detalle importante hablando de manejo, puesto que quienes operan el malacate no tienen la habilidad para manejar un sistema de elevación de carga con 3 velocidades. Lo que puede ser un beneficio, puede ser fácilmente desechado por desconocimiento de causa.

El controlador principal C1 de la figura 25 fue desarrollado según el esquema de la figura 18. Este controlador cumplió con las expectativas en respuesta y velocidad del procesamiento, considerándose un control muy preciso y estable ante perturbaciones del ambiente.



Figura 25: controlador 1, principal encargado del sistema de control. (Propia)

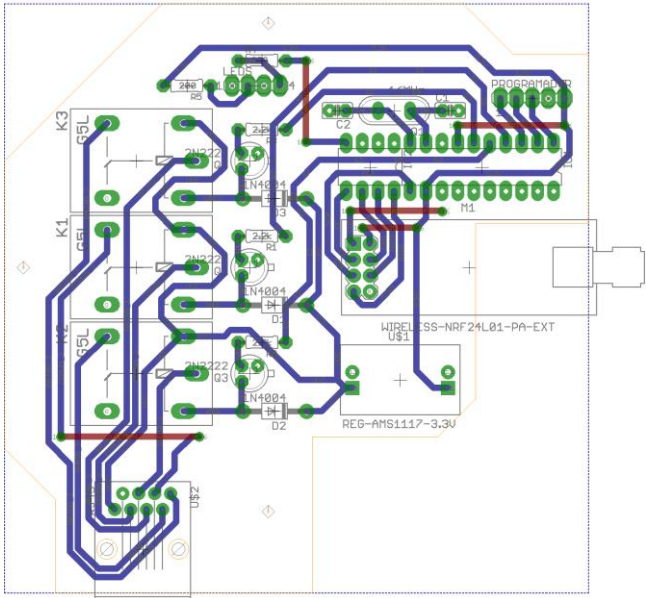


Figura 26: tarjeta electrónica resultante del esquema de la figura 18. (Propia)

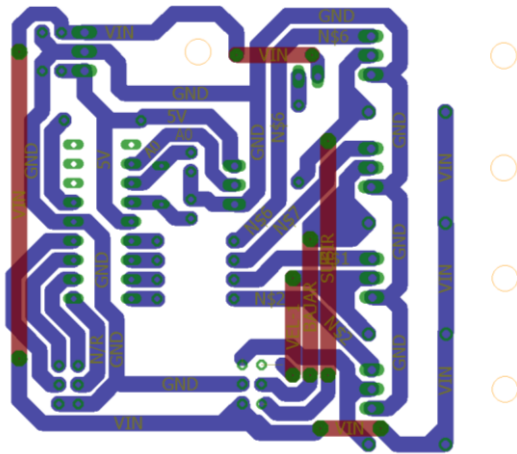


Figura 27: circuito electrónico generado a partir del esquema de la figura 19. (Propia)

El emisor de datos que viaja en conjunto con la cabina del malacate, lee constantemente el estado de las celdas de carga, visualizadas en la figura 19, a su vez lee el estado de los interruptores de límite superior e inferior, en conjunto con el interruptor de la puerta. Estos datos son enviados al receptor de señales antes mencionado.

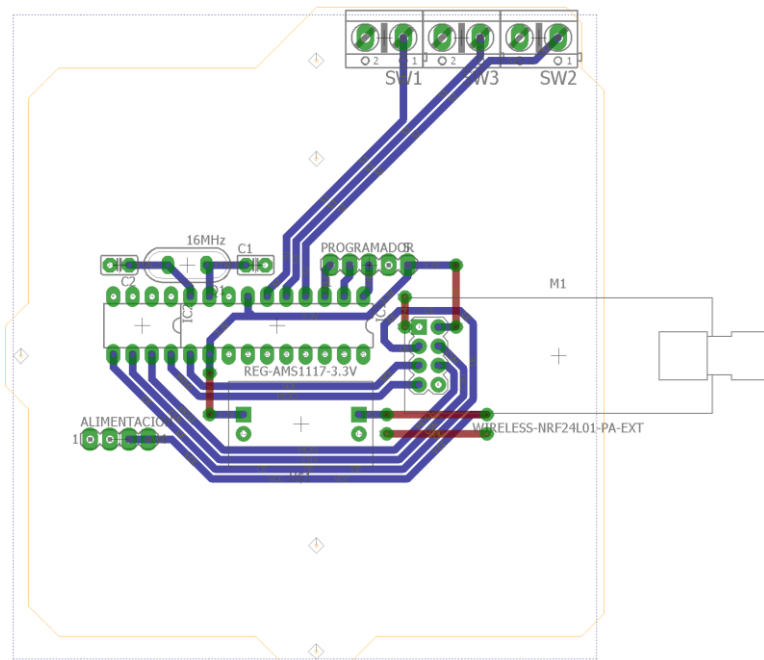


Figura 28: circuito electrónico generado a partir del esquema de la figura 22. (Propia)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Gracias a la automatización del malacate se toma en cuenta lo siguiente.

- Logra una disminución notable tanto en los tiempos de procesamiento de información, como en los tiempos de entrega de material en los niveles deseados.
- Aumenta el rendimiento de los equipos y a su vez la vida útil de los mismos, disminuyendo el costo de mantenimientos y ayudando a minimizar el tiempo de inactividad.
- Permite al usuario monitorear y controlar en tiempo real las variables del sistema.
- Obtiene un mejor conocimiento del funcionamiento y el desempeño de los equipos lo que hace posible la implementación de funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico.
- Ecológicamente contribuye enormemente en la reducción del consumo energético, evitando las paradas y arranques innecesarios cuando no se contaba con un control de posición.
- La implementación del control de peso no admite la sobre carga del equipo, evitando así daños y fallas en la estructura y a su vez cuidando la integridad física del personal humano.

#### 4.1 Puesta en marcha



Figura 29: montaje de emisor y receptor. A la izquierda, receptor anclado en viga, a la derecha, emisor instalado en cabina de malacate. (Propia)



Figura 28: prueba del controlador 2 para la emisión y recepción de datos. (Propia)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 29: interruptor de estado de puerta. (Propia)

#### 4.1 Análisis de resultados

La etapa final del proyecto, comprende su respectiva validación después de unificar el algoritmo de control y el tablero eléctrico para evaluar su comportamiento y analizar las variables controladas.

En cuanto a la implementación del control automático, se presentan diversos contratiempos debido a la cantidad de perturbación existente en el proceso, de igual manera los detalles minúsculos que pueden generar grandes fallas en el funcionamiento final del sistema de control. El controlador implementado tiene buena respuesta, pero no implica que sea la mejor solución para la automatización.

Si analizamos la respuesta de un controlador que trabaja en lazo cerrado, utilizando una señal de entrada calculada, y lo comparamos ante un controlador que realiza cálculos directamente con la señal de entrada, se puede llegar a notar la cantidad de perturbaciones que pueden afectar al sistema debido a la cantidad de cálculos que se deben realizar para analizar una única variable.

La instrumentación usada para la manipulación del malacate puede ser la ideal para las funciones que se van a desempeñar en obra, pero dicho esto, no implica que sea lo único presente, capaz de realizar las mismas tareas, con menor esfuerzo y de manera más efectiva.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### 5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se diseña e implementa un sistema de control automático de posición, velocidad y condiciones de seguridad para un elevador de carga de uso exterior y portátil de la Constructora Capital SAS, permitiendo mejorar el rendimiento a través de un controlador en lazo cerrado, atendiendo la problemática que se genera constantemente en el transporte de carga vertical tales como tiempos de ejecución de proceso, incidentes y accidentes que afectan íntegramente a los trabajadores.
- Se identifican las condiciones de desempeño eléctrico y mecánico de un elevador de carga portátil para exteriores, demostrando la importancia de monitorear los estados de la máquina, de igual manera, se mejora la distribución eléctrica de los tableros de control, planteando planos eléctricos, antes inexistentes, para la revisión, mantenimiento y control de la cadena de suministro.
- Se desarrolla un sistema de control eléctrico y electrónico para el movimiento automático parametrizado del malacate de carga, implementando un controlador en lazo cerrado para la realimentación del sistema.
- Se transmitió mediante comunicación por radiofrecuencia, el comportamiento en tiempo real de las variables de control del malacate. Se nota entonces las posibilidades de innovación en el campo de la construcción. Aunque cabe anotar que la antena de RF no está adaptada para las condiciones de trabajo específicas para la elevación de carga.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5.2 TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro para el presente proyecto, está la implementación de una interfaz gráfica capaz de monitorear el estado de las variables del sistema. A su vez es posible desarrollar un análisis estructural del elevador de carga. Esto determinaría en gran medida la vida útil de la máquina, y sobre todo, los riesgos asociados a ellos

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- Coldesa. (s.f.). *Ascensores - Elevadores de Carga*. Obtenido de <https://www.coldesa.com/productos/ascensor-elevador-de-carga.html>
- Control Real, E. (2017). *PID ¿Cómo sintonizar un lazo PID?* Obtenido de <https://controlreal.com/es/pid-como-sintonizar-un-lazo-pid/>
- Elevator, D. (s.f.). *Freight Elevators*. Obtenido de <https://www.dcelevator.com/elevators/freight-elevators/>
- Equimaco. (2016). *Equipos de elevación*. Obtenido de <http://www.equimaco.com/images/e1000k.png>
- Espectador, E. (2019). *El sector inmobiliario gana el año en Antioquia*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/economia/el-sector-inmobiliario-gana-el-ano-en-antioquia-articulo-879275>
- Estudio, E. (2019). *PLC en tiempo real de 8 relevadores*. Obtenido de <https://www.electronicaestudio.com/tienda/robotica-estudio/plc-en-tiempo-real-de-8-relevadores/>
- Eurotherm. (s.f.). *E+PLC100 Combination PLC*. Obtenido de <https://www.eurotherm.com/products/machine-control-and-process-automation-us/eplc-range-us/eplc100-combination-plc/>
- Femm. (s.f.). *Ascensores Montacargas (Malacates)*. Obtenido de [onstructoracapital.com](http://onstructoracapital.com)
- Gicindia. (s.f.). *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER*. Obtenido de <https://www.gicindia.com/process-control/logic-controllers/>
- Giravan. (s.f.). *Series TDS-V8*. Obtenido de <https://www.giravan.com/productos/variadores-de-velocidad/tekdrive/18-variadores/variadores-tek-drive/76-tek-drive-tds-v8>
- Industrial, M. (s.f.). *LS IG5A Series 380-460V AC Precision Electrical Device*. Obtenido de <https://www.mcg-usa.com/ms24-ls-ig5a-series-380-460v-ac-precision-electrical-device>
- Ingenieria, T. (2016). *Soluciones lógicas*. Obtenido de [https://tecnocinetica.com/wp-content/uploads/2016/11/resized\\_moto3-3.jpg](https://tecnocinetica.com/wp-content/uploads/2016/11/resized_moto3-3.jpg)
- Propia, F. (s.f.).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sáez, Y. &. (2017). Utilización de la Comunicación por Radiofrecuencia para la Detección de Vehículos en Movimiento: Revisión del Estado del Arte. *KnE Engineering*.

Shields, I. (s.f.). *PLC Arduino ARDBOX PLC 20 I/Os RELAY HF*. Obtenido de [https://www.industrialshields.com/es\\_ES/shop/product/plc-arduino-ardbox-plc-20-i-os-relay-hf-18](https://www.industrialshields.com/es_ES/shop/product/plc-arduino-ardbox-plc-20-i-os-relay-hf-18)

Velásquez, J. (2004). Como Justificar Proyectos de Automatización. 7. Obtenido de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol7\\_n1/pdf/justificar.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol7_n1/pdf/justificar.pdf)

*Diseño e implementación de un sistema de control de accesos por un elevador de carga de uso exclusivo para el personal de la construcción Capital Medellín S.A.S.*

FIRMA ESTUDIANTES

+ Geidy Johán Mejía

x [Signature]

FIRMA ASESOR [Signature]

FECHA ENTREGA: 30-10/2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_