



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UN CONTROLADOR LÓGICO DE UN ASCENSOR PARA UN EDIFICIO DE CUATRO PISOS USANDO UN MICROCONTROLADOR DE PROPÓSITO GENERAL

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

FÉLIX ALONSO AGAPITO CÓRDOVA

ASESOR: José Amadeo Dávalos Pinto

Lima, Agosto del 2010

RESÚMEN

El presente trabajo de tesis considera el diseño de un controlador lógico de un ascensor para un edificio de cuatro pisos empleando un microcontrolador de propósito general.

El controlador diseñado se encarga de procesar la información proveniente de los diferentes sensores y dispositivos de entrada y a través de la generación de una cola dinámica logra priorizar los movimientos a realizar, teniendo por resultado un menor tiempo de espera por parte de los usuarios del sistema, además de un uso eficiente de los recursos.

A pesar que el comportamiento básico del sistema obedece a una lógica secuencial, fue necesaria la implementación de eventos asíncronos para cumplir con los requisitos técnicos.

Así mismo, se definió un esquema mecánico que sirvió como marco para el alojamiento del controlador lógico. Para ello se buscó la sinergia entre leyes físicas y la normatividad, dado que los aspectos mencionados deben converger en la realidad sobre la cual se sitúa.

Tanto en el aspecto lógico como mecánico, prevaleció las normas en seguridad, puesto que los mínimos a considerar se encuentran estipulados. Sin perjuicio a ello, se consideró pertinente implementar mecanismos adicionales que contribuyan al correcto funcionamiento del sistema planteado.

El control lógico fue implementado en una tarjeta de desarrollo, en base al microcontrolador Atmega8 de Atmel. De igual forma se empleó un simulador de acceso libre para la depuración de la lógica.

Se comprobó que el controlador lógico diseñado, en base a un microcontrolador de propósito general, es capaz de ejercer el gobierno para el sistema que involucra el ascensor cumpliendo con las especificaciones técnicas requeridas. De igual forma el esquema mecánico planteado cumple con la normativa establecida para tal fin.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA

 PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un Controlador Lógico de un Ascensor para un Edificio de Cuatro Pisos usando un Microcontrolador de Propósito General
 Área : Control y Automatización 4 801
 Asesor : José Davalos Pinto
 Alumno : Félix Alonso Agapito Córdova
 Código : 20034076
 Fecha : 30 de Abril del 2010


Descripción y Objetivos

Desde hace algún tiempo se viene experimentando una onda expansiva en la línea de la construcción, la cual aprovecha la edificación vertical para el ahorro del espacio. Entonces, el ascensor cobra importancia pues ha pasado a ser un medio de transporte obligado para edificios de 4 pisos o más, según norma.

En la actualidad el desarrollo e innovación en los sistemas de control para los ascensores son impulsados por empresas que desarrollan nuevas tecnologías, es así como además del control secuencial con PLCs se puede usar el control con Tarjetas Controladoras basadas en microcontroladores.

El presente trabajo de tesis tiene por finalidad diseñar el sistema digital y definir el sistema mecánico para comandar de manera secuencial, un ascensor de 4 pisos basado en un microcontrolador de propósito general; de modo que cumpla con las especificaciones necesarias y un bajo costo en relación al mercado.

El proyecto considera el diseño de circuitos y programas para el microcontrolador que permita comandar el ascensor de 4 pisos. Un simulador permitirá verificar la operatividad de la lógica del control del ascensor en su conjunto. Luego, se realizará una propuesta del sistema mecánico del ascensor que cumpla los requerimientos de vivienda.

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

 Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍAPONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un Controlador Lógico de un Ascensor para un Edificio de Cuatro Pisos usando un Microcontrolador de Propósito General

Índice

Introducción

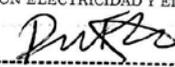
1. Transporte Electromecánico de Personas en Edificaciones
2. Sistemas de Transporte en Edificaciones: El Ascensor
3. Diseño del Sistema de Control Lógico
4. Simulaciones y Resultados
5. Presupuesto

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA
Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS



A mis padres, Ydania y Félix, por su constante apoyo y eterno amor.

A Mayra y Mauricio, por ser la inspiración de mis aspiraciones.

A Diego, más que un gran hermano, mi mejor amigo.

A Lidia Gomero, "Nona", gracias por tus consejos y amor incondicional.

*A mis queridos amigos Manuel, Michael, Lucia, Cynthia, Juan Alonso, Henry;
fuentes de valor, incondicionales como pocos.*

*A mi asesor Ing. José Dávalos, por su constante apoyo, preocupación y confianza
en el desarrollo de la Tesis.*

*A Rossana Rivas, Luis Vilcahuamán, Freri Orihuela, José Daniel Alcántara, José
Távora, porque de diversos modos ayudaron a descubrir y potenciar mis talentos.*

*A mis profesores de la Universidad Católica y del Colegio Carmelitas, gracias por
sus enseñanzas, consejos y paciencia.*

La Ingeniería no debe ser únicamente una técnica aplicada de la ciencia, no debe permanecer estática ni indiferente. La ingeniería, está llamada a ser una herramienta para solucionar las necesidades y mejorar la calidad de vida de las sociedades. Como ingenieros, debemos actuar bajo los principios de la ética con calidad profesional.

F.A.A.C.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. TRANSPORTE ELECTROMECAÁNICO DE PERSONAS EN EDIFICACIONES.....	3
1.1. Los Ascensores: Perspectiva y problemática.....	3
1.2. Relevancia del Estudio y Mejora del Sistema de Control de un Ascensor.....	5
1.3. Modelo Teórico.....	6
CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE TRANSPORTE EN EDIFICACIONES: EL ASCENSOR.....	8
2.1. Presentación del Asunto de Estudio	8
2.2. Definiciones Operativas	8
2.3. Tipos de Sistemas de Control.....	10
2.4. Estado de la Investigación	11
2.5. Síntesis Sobre el Asunto de Estudio.....	14
2.6. Objetivos.....	16
2.6.1. Objetivo General.....	16
2.6.2. Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL CONTROL LÓGICO DEL SISTEMA.....	17
3.1. Requerimientos del Sistema	17
3.1.1. Requerimientos Funcionales.....	17
3.1.2. Requerimientos Técnicos.....	19
3.2. Diseño de la Lógica de Control para un Ascensor de Cuatro Pisos	21
3.2.1. Propuesta del Sistema Mecánico.....	38
CAPÍTULO 4. SIMULACIONES Y RESULTADOS.....	44
4.1. Control del Motor	45
4.2. Etapa de Actualización	47
4.3. Control de Apertura y Cierre de la Puerta	51
4.4. Botón de Parada de Emergencia y de Restablecimiento del Sistema.....	52
CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO.....	55
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES.....	59

INTRODUCCIÓN

Desde hace algún tiempo, se viene experimentando una onda expansiva en la línea de la construcción, la cual aprovecha la edificación vertical para el ahorro del espacio. Junto a ello; el ascensor ha cobrado importancia pues ha pasado de ser un medio de lujo a un medio de necesidad, según norma.

El desarrollo e innovación en los sistemas de control para ascensores es impulsado por empresas que concentran grupos especializados de desarrollo de nuevas tecnologías. A consecuencia de ello, se introduce el tema de patentes lo que eleva el costo de adquisición de estos sistemas de última generación.

El presente trabajo de tesis tiene por finalidad el diseño de un controlador lógico para un ascensor basado en un microcontrolador de propósito general de modo que cumpla con las especificaciones necesarias para suplir el requerimiento y un bajo costo en relación al mercado.

En el capítulo 1 se describe de una forma general los aspectos que intervienen en el sistema que comprende el ascensor enfocándose en dos aspectos principalmente: El sistema es sí y su interacción como medio de transporte de pasajeros.

Por otro lado, el capítulo 2 presenta el estado del arte del asunto de estudio en el cual se enuncian las bases de los sistemas de control así como una descripción de las principales características de las tecnologías actuales.

Así mismo, el capítulo 3 involucra todo el proceso de diseño del sistema de control en base al microcontrolador seleccionado, además de la propuesta del esquema mecánico.

El capítulo 4 muestra las simulaciones realizadas en el controlador lógico así como los resultados del mismo. Dichos análisis se realizan desde dos perspectivas; la cuantitativa y la cualitativa, con las que se muestra la eficacia del sistema.

Finalmente, se realiza un presupuesto para la estimación de los gastos referidos a la implementación de la tarjeta controladora, así como de los principales elementos mecánicos involucrados, con el objeto de cuantificar económicamente una futura implementación del sistema.

CAPÍTULO 1. TRANSPORTE ELECTROMECAÁNICO DE PERSONAS EN EDIFICACIONES

1.1. Los Ascensores: Perspectiva y problemática

En el pasado, los ascensores, eran vistos como accesorios de lujo en las edificaciones; sin embargo, en la actualidad los ascensores son considerados como uno de los medios de transporte de mayor uso [1], ello debido al vertiginoso crecimiento de las ciudades, las cuales al verse limitadas ante una expansión horizontal han encontrado en la expansión vertical la solución a la demanda generada.

El sistema que involucra un ascensor está conformado principalmente por el diseño mecánico y por la lógica de control empleada [7]. Por ello una de las dificultades para la implementación de sistemas de ascensores es el alto costo inicial que representan así como el costo que ellos generan por concepto de mantenimiento. Al utilizar tecnología electro-mecánica los costos por consumo de energía son elevados, mientras que al utilizar tecnología de punta el costo de adquisición es igualmente elevado considerando la realidad en la cual nos encontramos.

Sin embargo, gracias a los avances de la tecnología, es posible encontrar en el mercado elementos que satisfacen algunas de las necesidades requeridas y que al ser considerados bajo la categoría de elementos de propósito general, el costo de adquisición es relativamente bajo, comparado a otros dispositivos especializados [15]. Algunos microcontroladores se encuentran catalogados bajo esa categoría.

En la actualidad los sistemas de control para ascensores, en el país, carecen en su mayoría de los adelantos tecnológicos, ello producto del elevado costo inicial que representan; sin embargo dichos sistemas son necesarios para la eficiente distribución de energía y la eficaz cadena de control del proceso. Además de ello, la vertiginosa ola de construcción en el país requiere de sistemas de ascensores que además de cumplir con los estándares internacionales [6], den un valor agregado para las edificaciones.

El constante desarrollo de la tecnología, aunque de manera cerrada, para los sistemas de control basados en microcontroladores para ascensores nos invita a evaluar primordialmente las nuevas técnicas de control para asegurar la seguridad de los usuarios [12]. Todo ello se ve envuelto en un solo bloque que asegura una

disminución de gastos operativos, de mantenimiento y de consumibles así como una mejor política de manejo de eventos asíncronos en general, como lo es el caso de los eventos adversos.

Por otro lado, la problemática existente se puede apreciar en la tabla 1 - 1.

Problemas	Características y Causas
Los sistemas de control son en su mayoría sistemas mecánicos.	Se presenta un alto costo de mantenimiento.
Los sistemas avanzados de control son de precios elevados para la realidad nacional.	Solo algunas instituciones privadas pueden contar con sistemas avanzados para ascensores, mientras que instituciones públicas deben mantener sistemas antiguos.
La eficiencia en el desarrollo del proceso es insuficiente	El tema de competitividad comercial genera que los desarrollos amparados por patentes permanezcan con carácter de exclusividad. Lo cual impide a los desarrolladores particulares a innovar en los sistemas.
El consumo de energía por parte de dispositivos electro-mecánicos es elevado.	Sistemas electromecánicos predominan en el país, ellos generan un gran consumo de energía, por lo que en algunos casos son vistos erróneamente como elementos de lujo.
El análisis de eventos adversos en su mayoría es dado por el método de sondeo.	El sondear eventos adversos genera ineficiencia en el proceso además de tener la probabilidad de omisión de ellos.

Tabla 1 - 1. Problemática en la Implementación de Ascensores.

En tal sentido es relevante estudiar el controlador del ascensor para aplicar las nuevas tecnologías en el desarrollo de los sistemas.

1.2. Relevancia del Estudio y Mejora del Sistema de Control de un Ascensor

Si bien es cierto, numerosas corporaciones han incursionado en la empresa que supone el desarrollo tecnológico del sistema de un ascensor, ello se ha llevado a cabo a través de grupos especializados de investigación y desarrollo los cuales al verse involucrados bajo un contexto comercial impiden una cooperación horizontal para el desarrollo del mismo.

Aunque los avances del aspecto mecánico no han supuesto una gran diferencia a nivel funcional, si lo han hecho desde un punto de vista estético, cuidando los estándares internacionales así como considerando los elementos necesarios para la creación de productos ergonómicos y adecuados para los requerimientos sustentados debido a las nuevas prestaciones que puede brindar un sistema como es el ascensor [15].

De otro lado, en lo que concierne a los avances del sistema de control se ha podido observar una evolución sostenida [15] pues se ha pasado de un sistema de control electromecánico, a un sistema de control digital y en esta fase se han podido detectar: El PLC [5] y los Microcontroladores.

Los microcontroladores, presentan una mejor adaptabilidad a las necesidades requeridas debido al contexto particular, ello debido al alto desempeño que suponen así como la eficiencia que mantienen al ser dispositivos de bajo consumo [14], cabe recordar que los microcontroladores forman la etapa de mando, la cual interactuará con una etapa de potencia para el funcionamiento final del sistema.

En este caso, el microcontrolador dadas sus características, ayudará a la correcta prestación de servicio por parte del ascensor así como una mejora desde un punto de vista de integración de desarrollo continuo y sostenido para las mejoras que se puedan aplicar según alguna necesidad particular.

Por ello, a través del desarrollo del presente tema de tesis se busca cerrar la brecha tecnológica en el país en lo concerniente a sistemas de control automatizado para ascensores, haciendo una propuesta económicamente viable y que cumpla con las características básicas de actuales sistemas de control.

1.3. Modelo Teórico

Para la correcta evaluación del sistema se debe tener en cuenta todos los elementos involucrados durante la operación del sistema. Ello asume tanto variables internas como externas al sistema [11].

El sistema del ascensor se puede dividir en dos grandes partes: El sistema Mecánico y el Sistema de Control.

Dentro de lo que involucra el sistema mecánico se debe considerar que ello involucra la cabina de pasajeros, la cual es diseñada para una capacidad máxima de peso extrapolada a una cantidad de personas recomendada; de otro lado tenemos el sistema de tracción el cual puede ser de diferentes tipos según sea la tecnología utilizada, en este caso tenemos sistemas de accionamiento por contrapeso, con engranajes y sin engranajes [4]. Además de ello se debe evaluar la parte de potencia incluida en el sistema, lo cual implica la selección del motor, considerando los aspectos de potencia y torque principalmente así como la determinación si el motor operará con corriente continua o alterna, de ello también dependerá si se requieren otros elementos de acondicionamiento como es el caso de un variador de velocidad o de un sistema de caja reductora, por ejemplo.

En relación al sistema de control, se debe tener en cuenta que el sistema por naturaleza trabaja bajo el concepto de sistema asíncrono, ello debido a que no se sabe con exactitud cuándo sucederán los eventos, sin embargo se sabe porqué sucederán ellos; es decir, no sabemos el momento (tiempo exacto) pero sí sabemos la causa del mismo.

En el caso del ascensor la petición de servicio viene dada cuando, ya sea desde el interior de la cabina o fuera de ella, se presiona alguno de los botones.

Se realizará una revisión de posibles riesgos y una vez obtenida una respuesta satisfactoria se procederá a la prestación del servicio [5].

Ambos sistemas, el mecánico y el de control, deben mantener una sinergia para el correcto funcionamiento del sistema que involucra un ascensor; sin embargo a pesar que los sistemas son pensados con tal fin la presencia de inconvenientes es prácticamente inevitable aunque sí prevenible. Es por ello que muchos de los sistemas incluyen como parte fundamental un estudio de manejo de riesgos [6].

El proceso que involucra un ascensor se muestra a través de la figura 1 – 1.

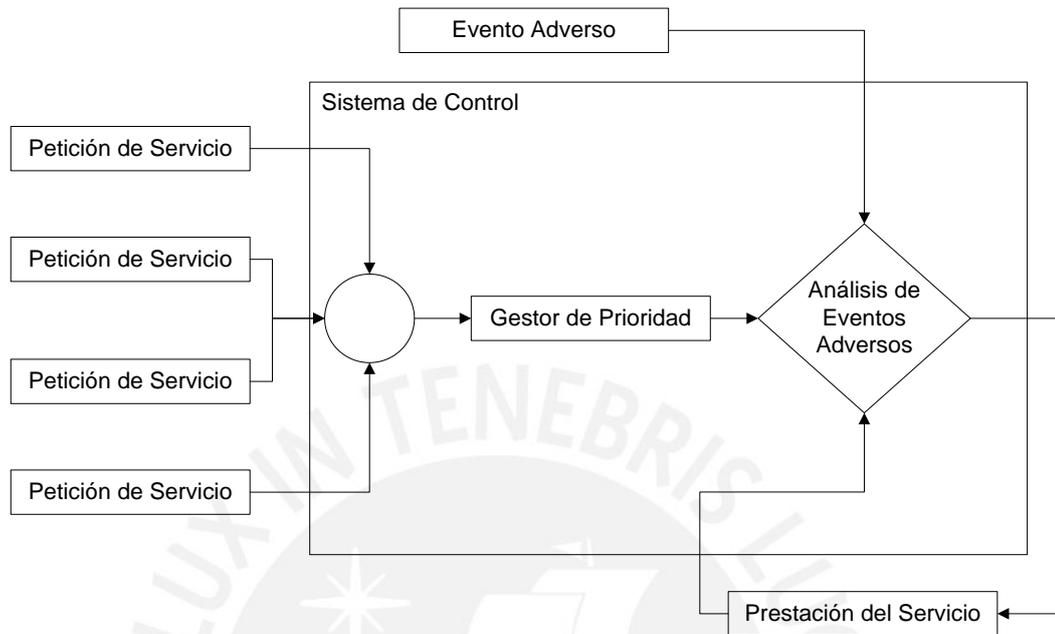


Fig. 1 - 1. Modelo Teórico del Sistema de un Ascensor

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE TRANSPORTE EN EDIFICACIONES: EL ASCENSOR

2.1. Presentación del Asunto de Estudio

La ingeniería tiene por deber el asegurar el correcto funcionamiento del sistema lo que involucra no solo un buen diseño estructural sino que además implica la elaboración de un eficiente sistema de control automatizado; la sinergia de dichos elementos es parte fundamental para la seguridad de las personas que interactúan con ellos.

El desarrollo de nuevos sistemas de control automatizado basados en microcontroladores puede ayudar a obtener un sistema más eficiente.

En relación a ello, los equipos de última generación emplean un microprocesador especialmente para realizar la tarea de coordinación, debido a la gran cantidad de variables y datos en tiempo real que se toman en cuenta en los complejos algoritmos de inteligencia artificial durante la administración de los recursos.

El presente estudio muestra una aproximación a las tecnologías utilizadas en los sistemas de control. Se empieza por mostrar las técnicas tradicionales para luego continuar con los últimos avances de la tecnología.

2.2. Definiciones Operativas

El desempeño del sistema de control automatizado está determinado principalmente por la característica de la administración de los recursos ante una gestión adecuada del tráfico. Los parámetros que la evalúan son la petición de servicio, la priorización de atención y la solución adecuada ante eventos adversos.

- Sistema Automatizado de Control Digital

Como todo sistema, éste es un conjunto ordenado de elementos los cuáles a través de un comportamiento sinérgico buscan lograr un objetivo. Para este caso en específico hablamos de una serie de componentes electrónicos y eléctricos que de manera autónoma gobernarán el comportamiento del sistema mediante un proceso secuencial principalmente sin embargo permitirán interrupciones externas inclusive. En general todo ello se verá medido en referencia al tiempo de respuesta

el cual estará en el orden de los milisegundos (ms) así como en relación de la energía que el sistema consumirá la cual se puede medir en KW/h.

- Evento Adverso

Es algún suceso que se genera de manera inesperada, en la mayoría de veces, el cual incide en un efecto negativo para el comportamiento natural del sistema. Cabe mencionar que un evento adverso puede ser predecible a través de estudios y simulaciones, situación en la cual se deben tomar preventivas a fin de evitar o disminuir la repercusión negativa que éste pueda tener en el sistema. Ellos se ven medidos de forma cuantitativa ordinal, con dicha información se realiza un estadística que permite evaluar el correcto funcionamiento así como la programación de rutinas de mantenimiento preventivo. En este caso la cuantificación es adimensional pues solo sirve como indicador para la toma de decisiones.

- Petición de Servicio

Cuando hablamos de la petición de un servicio se puede referir a un evento síncrono (programado, es decir: conocemos en qué momento ocurrirá) o también puede estar referido a un evento asíncrono (no sabemos el momento en el que ocurrirá, sin embargo conocemos las posibles causas que lo generarán).

Para el sistema a estudiar y desarrollar la Petición de Servicio se referirá a una serie de eventos asíncronos, los cuales serán generados por los usuarios. Dichos eventos son medidos en función del tiempo de respuesta medido en milisegundos el cual oscila alrededor de los 500ms, en el peor de los casos, así como de la prioridad que estos puedan presentar al momento del enmascaramiento de las interrupciones que ellas generan en relación a la función de muestreo que se le consigne.

- Maniobras de Control

El control de los sistemas de ascensores funciona mediante sistemas electrónicos, encargados de hacer funcionar la dirección de movimiento de la cabina y de seleccionar los pisos en los que esta deba detenerse.

Actualmente, los controles de ascensores funcionan con microprocesadores electrónicos que mediante algoritmos de inteligencia artificial determinan la forma

de administrar la respuesta a los pedidos de llamadas coordinando los distintos equipos para trabajar en conjunto. Cabe mencionar que dichas maniobras de control es dada a través de señales digitales las cuales presenten bajo voltaje para referirse a señales lógicas de 1 (3.5 V – 5V) o de 0 (0V – 0.8V)

- Dispositivos de Seguridad

Los dispositivos de seguridad en ascensores comprenden todos los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos que intervienen en el funcionamiento del sistema.

Ello implica sensores en la puerta para el gobierno de la apertura o cierre automático del mismo, así como de los mecanismos de frenado en caso de emergencias, la comunicación de la cabina con el exterior, entre otros.

Dichos sistemas son también medidos en función del tiempo de respuesta que presentan frente a los eventos adversos, así mismo se debe manejar una estadística que permita hacer una evaluación sobre el estado del sistema de seguridad, ello con el fin de brindar un servicio seguro y eficiente. Por ejemplo en el caso de los sensores de las puertas el tiempo de respuesta se encuentra alrededor de los 60ms con un rango de detección de 0-3000mm.

2.3. Tipos de Sistemas de Control

Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado [11].

La búsqueda de alcanzar algún tipo de objetivo implica el uso de un sistema de control [11].

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados [12].

El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo continúa haciendo con base en esta diferencia [11].

El sistema de lazo abierto. Se refiere al monitoreo exclusivo de variables, no a la adaptación de las mismas [11].

El control secuencial o lógico. Son los autómatas programables [15]. Mientras que el control analógico suele ser del tipo PID analógico [15].

En el control digital, el computador de proceso reemplaza al controlador analógico. Las señales de entrada y salida del computador han de convertirse en los formatos discreto y analógico. El computador procesa señales en forma numérica y discreta en el tiempo [15].

2.4. Estado de la Investigación

Los sistemas de ascensores modernos en edificios de gran altura consisten en grupos de ascensores con control centralizado. El objetivo en la planificación del ascensor es configurar un grupo de ascensores adecuados para ser construido. El grupo de ascensores deberán cumplir unos requisitos mínimos específicos para una serie de criterios de rendimiento estándar. Además, es conveniente para optimizar la configuración en función de otros criterios relacionados con el desempeño, la economía y nivel de servicio del grupo de ascensores [3].

El último desarrollo de los ascensores no se encuentra como información disponible independientemente; es por ello que el estudio del estado del arte está basado también en las diversas marcas que brindan de manera integral todos los servicios referentes a los ascensores. Sin embargo, la investigación se encuentra centrada en las características de los tipos de control que ellos poseen.

Por un lado tenemos al fabricante OTIS, el cual a través del modelo GEN2L-SERIES busca que dar solución y prestar los beneficios de un sistema de tracción a las estructuras de baja altura; dentro de las características más saltantes tenemos que éste es un sistema representado por una máquina compacta sin engranajes, la cual ofrece hasta un 75% más de eficiencia que un sistema hidráulico fijo, además de utilizar una tecnología denominada ReGen Otis Drive™, la cual tiene por objeto el capturar la energía y devolverla al sistema eléctrico del edificio; así mismo, emplea también la tecnología PULSE™ que permite monitorear el estado de las correas lo cual prevé el momento de su reemplazo preventivo; además de ello, este modelo hace uso de la tecnología Elevonic® que

incluye RSR Plus®, lo cual permite evaluar la demanda de tráfico y se auto ajusta para evitar tiempos lagos de espera [16].

De otro lado, OTIS también cuenta con el modelo Residential Elevator, el cual es práctico, así como funcional pues permite aumentar el valor comercial de una residencia así como el prestar asistencia para personas mayores o discapacitadas. Entre sus principales características presenta una velocidad de 40 fpm así como un controlador basado en un micro-procesador con gestión de fallas aprobado por la CSA; además, cuenta con una válvula de ruptura en caso de sismos [17].

Otro de los modelos de última generación es el Elevonic® R-Series, el cual se encuentra destinado para edificios de altura media y alta, mayormente del tipo comercial. Acondiciona un adelanto tecnológico que permite tener actualizado el sistema. Entre sus principales características se encuentra que el controlador está basado en micro-procesadores para un mejor manejo del tráfico, posee también capacidad de monitoreo remoto. Además de ello, utiliza el ReGen Otis Drive™ que permite capturar la energía y devolverla al sistema eléctrico del edificio. Posee también un diseño especial de un motor AC para aumentar el tiempo en que se presenten las fallas por uso [18].

Por otro lado se encuentra el fabricante Schindler, el cual muestra principalmente dos modelos que se consideran de interés dadas sus características.

El primer modelo a describir es el Schindler 330A, el cual se encuentra diseñado para edificaciones residenciales de baja altura, hasta seis pisos. Entre las características más saltantes se observa que éste sistema cuenta con SRM™ Schindler Remote Monitoring, el cual es un dispositivo que permite el monitoreo remoto del ascensor; así mismo, cuenta con iluminación con LEDs de larga duración, lo que genera un ahorro en el consumo de energía. Además, cuenta con un controlador basado en microprocesador para un mejor manejo de tráfico. Y cuenta con el dispositivo Schindler QKS-16 para el control de la puerta de un modo inteligente que permite un sensado óptimo de presencia [19].

El otro modelo de interés, del fabricante Schindler, es el modelo Schindler 400A, el cual se encuentra diseñado para edificaciones de hasta 20 pisos, para uso de propósito general y para hospitales. Dentro de sus principales características muestra velocidades de 200 a 300 fpm, además de incluir variadores de

frecuencia. Así mismo, cuenta con controles Miconic® GX, los cuales son controladores digitales que brindan mayor confiabilidad en los resultados [20].

Otro fabricante importante de mencionar es Hitachi, de este fabricante se muestra dos modelos que cuentan con características importantes de mencionar.

Por un lado se encuentra el modelo VFI en el cual se observa el hecho en el cual Hitachi ha desarrollado los Ascensores VFI basados en los conceptos de interfaz amigable y armonía ambiental. Dentro de las características más saltantes, tenemos que se incorpora un IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) para reducir el ruido electromagnético. Además de ello, cuenta con un Control Colectivo (CCTL), control utilizado para el flujo del ascensor. Por otra parte, cuenta con un sistema de comunicación en caso de emergencia CMNS así como con el sistema ASPF, el cual detecta si es que el ascensor se está desplazando a una velocidad mayor a la nominal, con lo cual ordena al ascensor a hacer una parada de emergencia [21].

De otra parte, también es importante mencionar al fabricante Mitsubishi Electric, el cual presenta una línea de ascensores de gama alta. El modelo a describir es el NexWay, el cual es un ascensor desarrollado para alcanzar altas velocidades con sistemas adaptables a las necesidades características del medio. Dentro de las características principales, este sistema muestra lo siguiente; Sensor 3D multirayo para el control de la puerta, además de incorporar un IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) para reducir el ruido electromagnético. Cuenta también con un sistema de control gobernado por un procesador computacional de alta velocidad y pantallas de visualización con tecnología Touch-screen [22].

Finalmente, otro fabricante importante de mencionar es la empresa ThyssenKrupp, que plasma en el modelo Synergy toda su tecnología de desarrollo, este ascensor Synergy ha sido concebido para su uso en viviendas, edificios para la administración y oficinas con hasta 16 paradas. Las características principales que muestra son el detalle de la botonera horizontal y los pulsadores Braille incorporados en su versión estándar, así como un display de cristal líquido estándar. Además, cuenta con comunicación bidireccional con el centro de control, apertura selectiva (Con dos accesos) y con el sistema CMC3 selectiva en bajada [23].

2.5. Síntesis Sobre el Asunto de Estudio

El PLC tiene muchas ventajas sobre otros sistemas de control analógico. Es conocido por su flexibilidad, velocidad de funcionamiento, fiabilidad, facilidad de programación, seguridad, Una de las aplicaciones que utilizan PLC es el control de los sistemas de ascensores.

El código de seguridad para ascensores y escaleras mecánicas ha tomado un nuevo giro, sobre todo para mantener el ritmo con los rápidos avances en tecnología. ASME y la Canadian Standards Association han publicado conjuntamente un nuevo estándar basado en desempeño. El nuevo código estándar basado en el desempeño de Seguridad para Ascensores y escaleras mecánicas, A17.7/CSA ASME B44.7 - está diseñado para permitir la innovación en diseño, pero las innovaciones ahora debe pasar a revisión por un tercero llamada Ascensor acreditadas / Escalera Organismo de Certificación que lo certifique. La organización de certificación sujeta al nuevo diseño a un examen físico para determinar si cumple con las normas de seguridad. [6]

Un avance reciente es un sistema destino-orientado, de Schindler Management of Ebikon, Suiza. El sistema Miconic 10 utiliza un algoritmo de gestión del tráfico que tiene en cuenta los patrones de uso en diferentes momentos del día [7].

El Grupo de Sistemas de Control de Ascensores (EGCSs) gestiona múltiples ascensores en un edificio de manera eficiente para el transporte de pasajeros. El rendimiento de un ECGS se mide por medio de varios parámetros como el tiempo medio de espera de pasajeros, el porcentaje de los pasajeros que esperan más de un tiempo predeterminado, el consumo de energía, entre otros. Cuatro algoritmos de despacho de ascensores se analizan y se implementan utilizando arquitecturas reconfigurables basados en FPGAs. El sistema se basa en Sistemas de Control Local (LCSs), uno para cada ascensor, y un protocolo basado en una red RS485 para la interconexión de los LCSs. Los FPGAs aplican la LCSS. Una interfaz de Java se llevó a cabo para las pruebas y la supervisión del sistema y la función de EGCS. La novedad de este enfoque es que los LCSs son capaces de ejecutar los diferentes algoritmos de despacho, que son apropiados para diferentes situaciones de tráfico de pasajeros, mientras que el EGCS sólo debe determinar el mejor algoritmo para ser ejecutado en cada uno de LCS. El tráfico de datos en la red es reducido, dado que la EGCS no está directamente implicada en el cálculo de pisos

próximos a visitar. Los algoritmos fueron descritos en VHDL y aplicados a tarjetas basadas en el FPGA Spartan3 [8].

Genetic Network Programming (GNP), uno de los algoritmos evolutivos se propuso ampliarse. GNP se distingue de otras técnicas de evolución en términos de su estructura compacta y la función de la memoria implícita. GNP puede realizar una búsqueda global, pero carece de la capacidad de explotación. Dado que el comportamiento del GNP se caracteriza por el equilibrio entre la explotación y exploración en el espacio de búsqueda, hemos propuesto un algoritmo híbrido, en este trabajo SE combina el PNB con Ant Colony Optimization (ACO). Los operadores genéticos se gestionan con la información de feromona en algunas generaciones especiales. Se aplicó el algoritmo híbrido propuesto a un problema complicado del mundo real, es decir, al Grupo de Sistemas de Control de Ascensores (EGSCS). Los resultados muestran la eficacia del algoritmo propuesto [9].

El sistema de doble ascensor de cubierta (DDES) ha sido inventado en primer lugar como una solución para mejorar la capacidad de transporte de los sistemas de grupo de ascensores en la sobre pico de tráfico máximo. La capacidad de transporte podría ser incluso el doble cuando se ejecuta en un DDES que obedece a un patrón de sobre pico donde dos jaulas conectadas paran cada dos pisos en un ciclo de ida y vuelta. Sin embargo, las características de DDES del sistema de un ascensor se vuelven intratables cuando se ejecuta en algunos de los otros patrones de tráfico. Por otra parte, puesto que casi todos los flujos de tráfico varían de forma continua durante un día, un controlador optimizado de DDES es necesario para adaptarse a los flujos de tráfico variable. En este trabajo, hemos propuesto un controlador de adaptación a los flujos de tráfico para DDES usando Genetic Network Programming (GNP) sobre la base de nuestros estudios anteriores en este ámbito, donde la eficacia de controlador de DDES con la utilización del GNP se ha verificado en tres patrones de tráfico normal [10].

2.6. Objetivos

En base a lo considerado como tecnologías actuales y a la necesidad de la realidad local, se plantean los objetivos para el sistema a desarrollar.

2.6.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de control para un ascensor ubicado en una edificación residencial empleando un microcontrolador de propósito general para la lógica de control del mismo.

2.6.2. Objetivos Específicos

- 1) Diseñar un sistema de control para un edificio de cuatro pisos basando la lógica de control del sistema en un microcontrolador de propósito general de bajo costo.
- 2) Proponer el esquema mecánico del ascensor para que cumpla con las especificaciones de las normas.

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL CONTROL LÓGICO DEL SISTEMA

A través del presente tema de tesis se busca desarrollar un sistema de control automatizado para un ascensor, haciendo una propuesta económicamente viable y que cumpla con las características de actuales sistemas de control.

Ello abarca ámbitos importantes como son el campo de impacto económico, el de competitividad comercial y el de flujo adecuado del proceso.

El diseño de éste sistema, cuyos resultados se muestran a través de una simulación, logrará optimizar el uso de los recursos por parte del .

3.1. Requerimientos del Sistema

3.1.1. Requerimientos Funcionales

El sistema tiene por objeto el control dinámico sobre el movimiento que realiza un ascensor que debe operar en un edificio de cuatro pisos. Se debe empezar con la instalación del ascensor en el primer piso, ello sirve como referencia para calcular el tipo de movimiento a realizar según las peticiones requeridas.

Dado el estado inicial del ascensor, ubicación en el primer piso, éste puede recibir llamados de atención por dos medios; las botoneras externas (que diferencia pedidos de subida y de bajada), que representan los llamados desde los pisos y el teclado interno de la cabina, que representa los llamados hacia los pisos.

El flujo de control debe seguir el siguiente patrón: se deben recibir las peticiones de atención de las dos entradas ya mencionadas, con ello se genera una cola en la cual se ubican los pisos a ser atendidos y el orden en el que deben ser atendidos.

El movimiento es determinado de la siguiente forma: captura el primer pedido; éste generará un movimiento en el ascensor, hacia arriba si es que el piso requerido es mayor al piso actual o hacia abajo si es que el piso requerido es menor que el actual.

El orden para atender los llamados de atención se obtiene analizando si es que el ascensor se encuentra en movimiento ascendente o descendente. En el caso que el ascensor se encuentre subiendo, éste sólo atenderá las llamadas que indiquen que se desea subir y sólo atenderá aquellas, inicialmente, que correspondan a un piso superior al actual. Si es que se detecta que un piso hace un llamado de atención para subir y éste es inferior al piso actual, el sistema guarda el pedido en

cola pero no lo atiende hasta que se haya completado los pedidos antes solicitados de subida, luego de ello bajará hasta el piso que realizó el llamado y procederá a atender su pedido.

Por otra parte, si es que el ascensor se encuentra bajando sólo atiende los pedidos de pisos que desean bajar y sólo de aquellos que provengan de un piso inferior al actual. Si se recibe una llamada de atención para bajar pero ésta es solicitada por un piso superior al actual, el pedido es almacenado en la cola y sólo se atiende una vez culminado el desplazamiento hacia abajo; es decir una vez que terminó de bajar, el ascensor sube para atender el pedido del piso que quería bajar.

Con ello, se debe mencionar que el sistema debe estar preparado para atender los pedidos, al menos generar la cola adecuada, en cualquier momento para que todos los usuarios sean atendidos según la prioridad. Una vez logrado que el ascensor ha llegado al piso deseado, éste abre sus puertas por un tiempo definido, luego del cual el ascensor cierra sus puertas y continúa con su movimiento, si es que corresponde.

Además de ello, el sistema debe estar preparado para realizar otras funciones complementarias al comportamiento propio del ascensor; entre ellas tenemos que se debe disponer de un botón de emergencia dentro de la cabina que sea accionado y detenga al ascensor ante una emergencia. Si dicha emergencia ocurre y el botón de parada de emergencia es pulsado, el ascensor inmediatamente se detiene y deja de recibir nuevos llamados de atención. Se cuenta además con un botón de restauración de movimiento, este botón se acciona luego de haber presionado el botón de parada de emergencia, la función que tiene por objeto es devolver la movilidad del ascensor y para ello se dirige al piso inmediatamente inferior al actual además de concebir a la cola generada con anterioridad como nula, en caso de encontrarse en el primer piso, asciende al segundo piso. Esta disposición del par de botones permite que ante una emergencia el sistema pueda detenerse y desplazarse hacia el piso de mayor seguridad sin forzar al motor ni al sistema de tracción.

Como elemento adicional de seguridad, se cuenta con un botón pulsador que mientras se mantenga presionado emite una alarma audible.

También se cuenta con un par de botones que funcionan sólo cuando el motor se encuentra en operación normal y únicamente cuando éste se encuentra detenido.

Este par de botones adicionales son los que permiten abrir la puerta y cerrar la misma.

El mecanismo de apertura de puerta presenta tres condiciones básicas: las puertas se abren una vez que se llega al piso deseado, las puertas se abren si es que se presiona el botón de apertura de puertas y las puertas permanecen abiertas siempre que exista alguna persona u objeto en medio de ella. En todos los casos una vez salvada la condición la puerta es cerrada y el ascensor se encuentra habilitado para seguir con su movimiento si es que existieran pedidos en la cola. Si mientras la puerta está abierta se presiona el botón de cerrado de puerta, ésta procede a cerrarse inmediatamente salvo que exista una persona u objeto en medio de ella, sólo en ese caso la puerta permanecerá abierta sin importar la petición de cerrarla.

Cabe mencionar que por ningún motivo el ascensor debe desplazarse si es que la puerta se encuentra abierta, del mismo modo debe impedir la apertura de la misma, por petición de la cabina, si es que el ascensor se encuentra en algún desplazamiento.

3.1.2. Requerimientos Técnicos

Para el diseño de la lógica de control del sistema se debe presentar un control realimentado tal que permita la actualización de estados. Además de ello, el sistema debe tener la capacidad de almacenar en una memoria no volátil el piso en el que se encuentra, con el fin de que en caso de un corte de energía y luego que esta se restablezca, el sistema pueda retomar sus posibles movimientos sin ningún inconveniente.

Del mismo modo el control del motor debe ser capaz de ser generado mediante la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM).

Se debe contar con circuitos temporizadores que permitan el sincronismo de algunos eventos, como la actualización de la cola de pedidos.

A pesar que el comportamiento principal del ascensor corresponde a uno del tipo secuencial, el sistema debe ser capaz de realizar operaciones por medio de una lógica combinacional. Ello es relevante para el caso de análisis de eventos adversos y recepción de pedidos de atención.

En síntesis, los requerimientos para el sistema lógico funcional son los siguientes:

- Tres bits de control para el gobierno del motor.
- Capacidad de recibir peticiones por dos vías: botoneras externas y teclado interno de la cabina.
- Priorización de la atención de pedidos por orden de relevancia.
- Actualización de la cola de pedidos en todo momento.
- Capacidad de parada de emergencia y del restablecimiento del sistema.
- Integración de un sistema de alarma acústica.
- Gobierno de la puerta en modo automático y modo manual.
- Capacidad de almacenamiento en memoria volátil y no volátil.

Dentro del mercado existen diversos tipos de microcontroladores, siendo los modelos y marcas con mayor presencia el PIC16F87X, de la empresa MICROCHIP y la línea del ATMEGAX, tomando especial atención con el Atmega8 que es usado como microcontrolador base en la universidad, de la empresa ATMEL.

Aunque ambos microcontroladores presentan algunas funcionalidades similares, se da preferencia al Atmega8 pues cumple con las especificaciones técnicas para los requerimientos de control planteados. Además de ello el Atmega8 presenta mayor cantidad de instrucciones (130) en comparación al PIC16F87X (35), lo que da mayor flexibilidad a la programación. El PIC16f87X, por otro lado, presenta características que no son necesarias para el desarrollo del proyecto, mientras que con el Atmega8 se puede emplear el 95% de sus características.

Para la definición del esquema mecánico, es necesario que se cumpla con los siguientes requerimientos:

- Capacidad de transporte: 6 pasajeros.
- Cantidad de Pisos a atender: 4 pisos.
- Peso máximo de carga: 450 kg.

Del mismo modo se debe considerar un mecanismo reductor para la máquina de fuerza, con la finalidad de brindar mayor fuerza de tracción.

3.2. Diseño de la Lógica de Control para un Ascensor de Cuatro Pisos

El sistema debe ser capaz de responder satisfactoriamente a los requerimientos planteados, es por ello que es necesario enfocar principalmente en las funciones básicas del sistema, para luego, poder evolucionarlo a un sistema de mayor complejidad.

La solución general involucra, en una primera instancia, una lógica secuencial que, como se verá luego, involucra a otros procesos más complejos como la generación de una cola dinámica con prioridad, por ejemplo.

En una primera parte, se mostrará la lógica creada para el gobierno general del sistema, en él se presentará el comportamiento básico del sistema, sin embargo se debe tener claro que este comportamiento es uno condicionado, pues requiere analizar variables tales como las peticiones de atención, la posición actual del ascensor, entre otros. Estas variables no se verán modificadas en el programa principal mas si empleadas como entradas por él; ello dada su naturaleza, implica el empleo de la técnica de programación por interrupciones, debido a que se debe tener una actualización de estas entradas en cualquier momento.

Así mismo el empleo de interrupciones permite al sistema realizar otras actividades sin necesidad de entrar a lazos de espera, ello le da mayor flexibilidad al sistema y mejor aprovechamiento de los recursos.

La figura 3 – 1 y la figura 3 -2, muestran los diagramas de flujo que involucran el proceso principal del sistema.

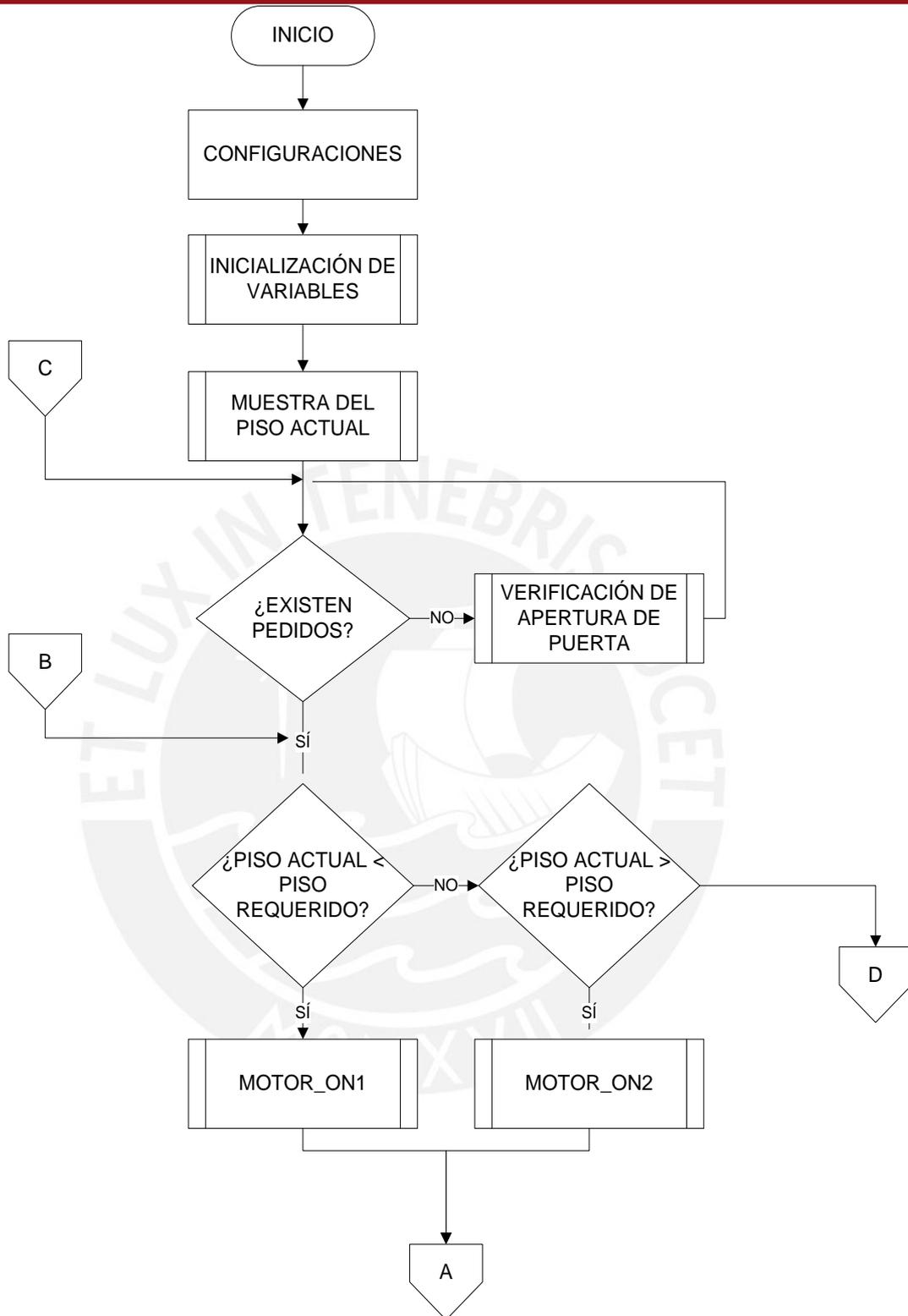


Fig. 3 - 1. Diagrama de Flujo del Proceso Principal - Etapa 1

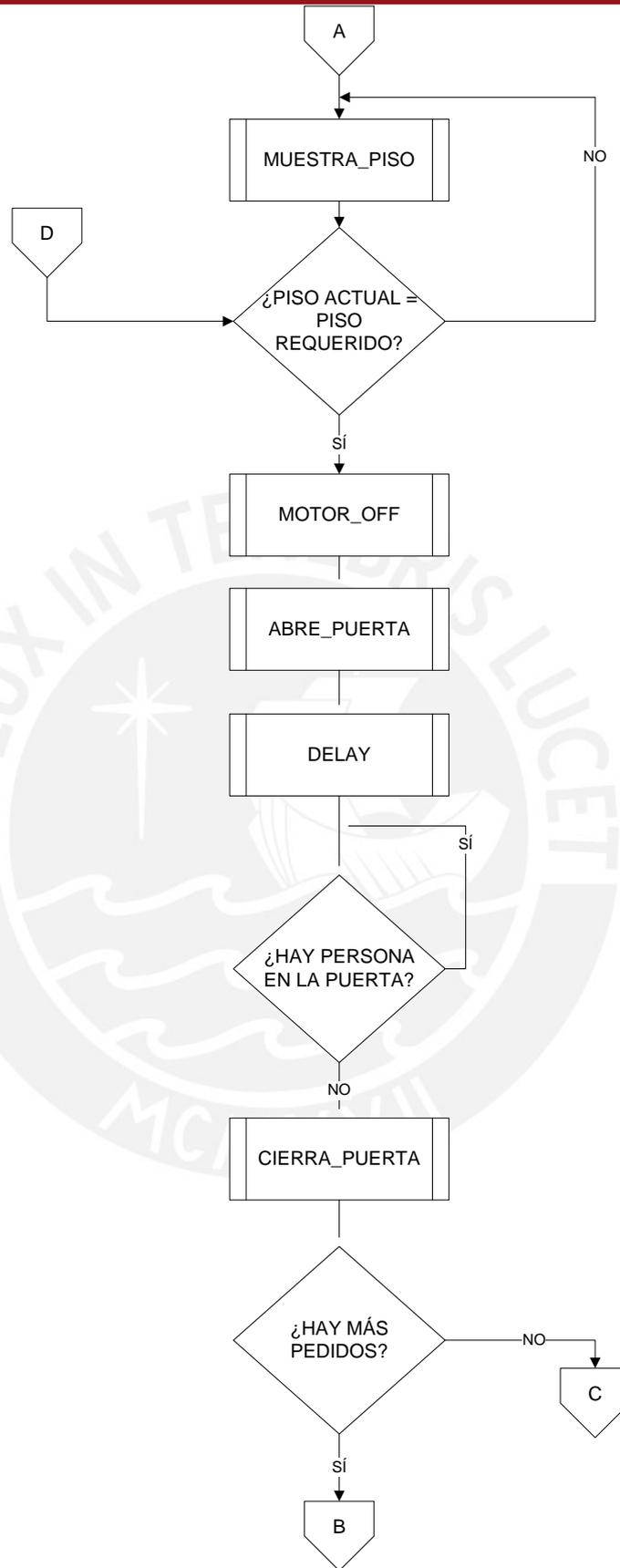


Fig. 3 - 2. Diagrama de Flujo del Proceso Principal - Etapa 2.

Para el programa principal, vemos que como parte inicial se debe hacer la configuración necesaria de los puertos a utilizar del microcontrolador, del mismo modo se debe realizar una inicialización de variables de modo tal que el sistema pueda tener un valor conocido para cada una de ellas. En este aspecto se realizan las siguientes consideraciones; inicialmente el ascensor, físicamente, debe ser instalado en el primer piso, por ello es que inicialmente se asigna al *piso actual* el valor de '1', además también se asigna al *piso requerido* el valor de '1', el motor inicialmente detenido (ello involucra que la variable *estado* tenga un valor de '0'), la *cola* de pedidos vacía (llena de únicamente de ceros), la variable creada de *pedidos* con un valor de '0', indicando que no hay pedidos, la variable *stop* en '0' lo que implica que el motor no ha sido detenido a través del botón de emergencia. Esas son las variables principales a tener en cuenta, mas no son las únicas, conforme se vaya desarrollando la descripción de la lógica de control se irán introduciendo las demás variables auxiliares que apoyan al comportamiento inteligente del sistema.

Luego de la etapa de configuración e inicialización del sistema, el sistema queda en un estado de reposo hasta que algún momento se solicite una petición de servicio. Esta petición de servicio puede ser generada por dos fuentes principalmente; a través de los botones externos a la cabina del ascensor o por medio del teclado instalado dentro de la cabina del ascensor, el comportamiento propio de este subsistema será mostrada luego, para esta etapa inicial basta simplemente con saber que se puede generar una petición por cualquiera de las fuentes mencionadas en cualquier momento.

Una vez que se ha generado un pedido por alguna de las fuentes, el sistema procede a atenderla, para ello primero analiza si es que el pedido, en general, proviene de un piso superior o inferior a la posición actual; una vez determinada la fuente del pedido el ascensor procede a desplazarse hacia el piso solicitado, cabe mencionar que durante su recorrido el sistema está preparado para recibir otros pedidos, los cuales introducirá de manera dinámica a la cola de pedidos (la lógica de generación de la cola será presentada posteriormente).

Las solicitudes son atendidas de acuerdo a la prioridad generada en la cola, básicamente el comportamiento es el siguiente; si el ascensor esta ascendiendo atiende a todos los pedidos que soliciten subir y que sean generados por un piso superior al piso en el cual se encuentra el ascensor y del mismo modo, si el

ascensor está descendiendo atiende a todos los pedidos que soliciten bajar y que sean generados por pisos inferiores al piso en el que se encuentra el ascensor. Ese es el comportamiento básico para la atención de pedidos, luego se mostrará con mayor detalle el proceso seguido si es que ocurriesen pedidos que no estén comprendidos en el comportamiento básico, tales como pedidos de bajada cuando el ascensor está subiendo o viceversa o el caso en el cual una solicitud de subida es generada por un piso inferior al que se encuentra el ascensor o su caso contrario en el que se genera un pedido de bajada cuando el ascensor está bajando pero este pedido es generado por un piso superior al que se encuentra el ascensor, estos casos serán analizados a detalle cuando se muestre la lógica de generación de la cola dinámica basada en prioridad.

Una vez que el ascensor ha recibido un pedido, procede a atenderlo de acuerdo a la prioridad que éste presente, en todo momento se actualiza la muestra del piso en el cual se encuentra el ascensor. Cuando el ascensor llega al piso requerido, el motor se detiene y se abren las puertas, luego si es que no hay nadie en medio de ellas y si es que no se ha presionado el botón de apertura de puerta, las puertas luego de un tiempo se cierran automáticamente y si es que existen más pedidos procede a atenderlos, caso contrario permanece en un estado de reposo hasta una nueva solicitud de atención.

Cabe mencionar que para el movimiento del motor se emplea la técnica de generación de onda basada en el ancho de pulso PWM, dicha técnica permite ajustar la velocidad del motor dado que es directamente proporcional al ancho del pulso generado, del mismo modo se considera como periodo de la onda una tal que permita la correcta modulación de la señal, para que el motor pueda percibir de manera adecuada dicha señal de control.

Ahora, se analiza el proceso que se sigue para la generación de las peticiones, este proceso se basa en el concepto de interrupciones y dado que para este caso su uso es limitado se ha realizado el manejo empleando algunos artificios para que la generación de pedidos se dé relativamente en cualquier momento.

Se debe empezar comentando que las fuentes para este subsistema provienen de seis botones ubicados de la siguiente forma: en el primer piso un solo botón que indica que se desea subir, en el segundo piso dos botones que indican la posibilidad de subir o bajar, de igual forma en el tercer piso se presentan dos botones que indican la posibilidad de subir o bajar y en el cuarto piso un solo botón

que indica el deseo de bajar. Así mismo dentro de la cabina se dispone de una serie de botones configurados de manera matricial, los cuales presentan las siguientes características: se cuenta con cuatro botones que representan a los cuatro pisos, adicionalmente se cuenta con un botón de parada de emergencia, uno de alarma y un par de botones para el gobierno de la apertura y cierre de la puerta.

Además se debe recordar que el Atmega8 solo cuenta con dos interrupciones externas, entonces como se puede deducir, hay que implementar algún otro tipo de interrupción para satisfacer la necesidad, es por ello que se ha optado por una interrupción por tiempo, es decir cada cierto tiempo (que en nuestro caso son 60ms.) el sistema analiza si es que hay pedidos nuevos. En la realidad dada la tasa de pedidos que se generan, el actualizar la toma de pedidos cada 60ms. es suficiente para considerar que los pedidos están posibilitados de ser actualizados relativamente en cualquier momento.

Para la actualización de la toma de pedidos se analiza, como se dijo anteriormente, los pedidos solicitados por el teclado interno así como de los botones externos. Por ello es que se analizan ambas fuentes. En un primer lugar se hace un análisis de los posibles pedidos externos, ello en el sistema lógico se ve expresado a través de la actualización del vector *IBEX* que lo único que genera es un índice de los pisos que están solicitando atención, del mismo modo se genera la actualización del vector *IKEY* que representa la generación del índice de pisos solicitados desde el teclado interno de la cabina. Luego que se han obtenido ambos índices se genera un índice global, expresado en el vector *I_FULL*, que realiza una concatenación lógica de los pedidos externos e internos, de ese modo este último vector generado representa en su totalidad los diversos pedidos solicitados.

El vector general de pedidos responde a la estructura mostrada en la figura 3 - 3.

Tipo de solicitud	baja	baja	baja	sube	sube	sube
Piso	2	3	4	3	2	1

Fig. 3 - 3. Índice General de Pisos.

Por ejemplo si el vector *IBEX*, detecta que se desea bajar del cuarto piso y que se desea subir del segundo piso, el vector *IBEX* queda de la forma mostrada en la figura 3- 4.

Tipo de solicitud	baja	baja	baja	sube	sube	sube
Estado de pedido	0	0	1	0	1	0

Fig. 3 - 4. Índice de Solicitudes Generadas por la Botonera Externa.

Por otro lado, si el vector *IKEY*, detecta que se desea ir al tercer piso y se desea ir al primer piso, el vector *IKEY*, queda de la forma mostrada en la figura 3 – 5.

Tipo de solicitud	baja	baja	baja	sube	sube	sube
Estado de pedido	0	0	1	0	0	1

Fig. 3 - 5. Índice de Solicitudes Generadas por el Teclado Interno de la Cabina.

En caso, existiera la solicitud de ir al segundo o al tercer piso, éste pedido es analizado ubicando la mejor posición, relativa para atender el pedido con la mayor celeridad. En ese caso la lógica de control es determinada analizando la relación entre el piso actual y el piso requerido. Por ejemplo si nos encontráramos en el segundo piso y el ascensor está bajando y se detecta que se desea ir al tercer piso, en ese caso el vector se mostraría de la forma especificada en la figura 3 - 6, dado que para llegar al tercer piso, estando en el segundo, se debe subir.

Tipo de solicitud	baja	baja	baja	sube	sube	sube
Estado de pedido	0	0	0	1	0	0

Fig. 3 - 6. Índice de Solicitudes Generadas por el Teclado Interno de la Cabina.

Finalmente, tomando el ejemplo inicial, el vector *IFULL*, que es el que obtiene la resultante, dada una disyunción lógica, quedaría de la forma mostrada en la figura 3 – 7.

Tipo de solicitud	baja	baja	baja	sube	sube	sube
Estado de pedido	0	0	1	0	1	1

Fig. 3 - 7. Índice de Solicitudes Totales.

Una vez que se ha obtenido el índice general pedidos, éstos son priorizados en la etapa de generación de cola, en dicha etapa los pedidos, dada su prioridad, son puestos en un vector final que denominaremos la COLA, en la se tendrá como resultado final la prioridad de atención de cada uno de las solicitudes realizadas.

Es por ello que la generación de la cola de pedidos responde a la relación booleana mostrada en la ecuación 3 – 1.

$$A \vee B = C$$

Ecuación 3 - 1. Relación Booleana para la Actualización de la Cola de Pedidos

Donde: *A* representa el índice generado por los botones externos (*IBEX*), *B* representa al índice generado por el teclado interno de la cabina (*IKEY*) y *C* representa el índice final de pedidos (*IFULL*).

Para el caso planteado, la generación de la cola se da haciendo una concatenación lógica del vector de pedidos con el vector *IFULL*, para el caso planteado, el vector de COLA, quedaría de la forma mostrada en la figura 3 – 8.

Tipo de solicitud	baja	baja	baja	sube	sube	sube
Estado de COLA	0	0	4	0	2	1

Fig. 3 - 8. Índice Final de la Cola Priorizada

La atención de pedidos se da solo para los casos en los cuales el elemento de la cola es diferente de cero y siempre se realiza la búsqueda de derecha a izquierda tomando como punto de referencia, inicio de búsqueda, el piso actual y el estado de movimiento, es decir si estuviéramos en el segundo piso y el movimiento indicado es el de ascenso, la referencia se ubicaría según lo mostrado en la figura 3 – 9:

Tipo de solicitud	baja	baja	baja	sube	sube	sube
Piso	2	3	4	3	2	1

Índice de Referencia ↑

Fig. 3 - 9. Índice de Referencia para Atención de Pedidos.

Una vez que se terminó de verificar el vector, se reinicia la búsqueda. Si es que no existieran pedidos en cola, lo cual es analizado a través de una variable *PEDIDOS*, no se realiza búsqueda alguna. Ello se ve expresado en la relación booleana mostrada en la ecuación 3 – 2.

$$D \vee E = F$$

Ecuación 3 - 2. Relación Booleana de búsqueda

Donde: *D* representa a la variable pedidos, *E* representa el estado de la cola y *F* representa el estado de la búsqueda.

Así mismo esta rutina de interrupción maneja a la variable *PEDIDOS*, y modifica su valor de la siguiente forma, si es que se ha generado algún pedido, la variable toma por valor '1', caso contrario se le asigna un valor de '0', indicando que no se ha solicitado ningún pedido de atención. Se debe recordar que el programa principal utiliza ésta variable para salir del estado de reposo en el que se encuentra luego de atender las solicitudes.

Cabe mencionar que el análisis de todo el proceso que involucra la actualización de pedidos y generación de cola, toma menos de 60ms. por lo que no se pierden los nuevos pedidos, dado que el refresco para la toma de los mismos es de 60ms.

La secuencia lógica que corresponde a la actualización de la cola, así como de la toma de pedidos se muestra en la figura 3 – 10.

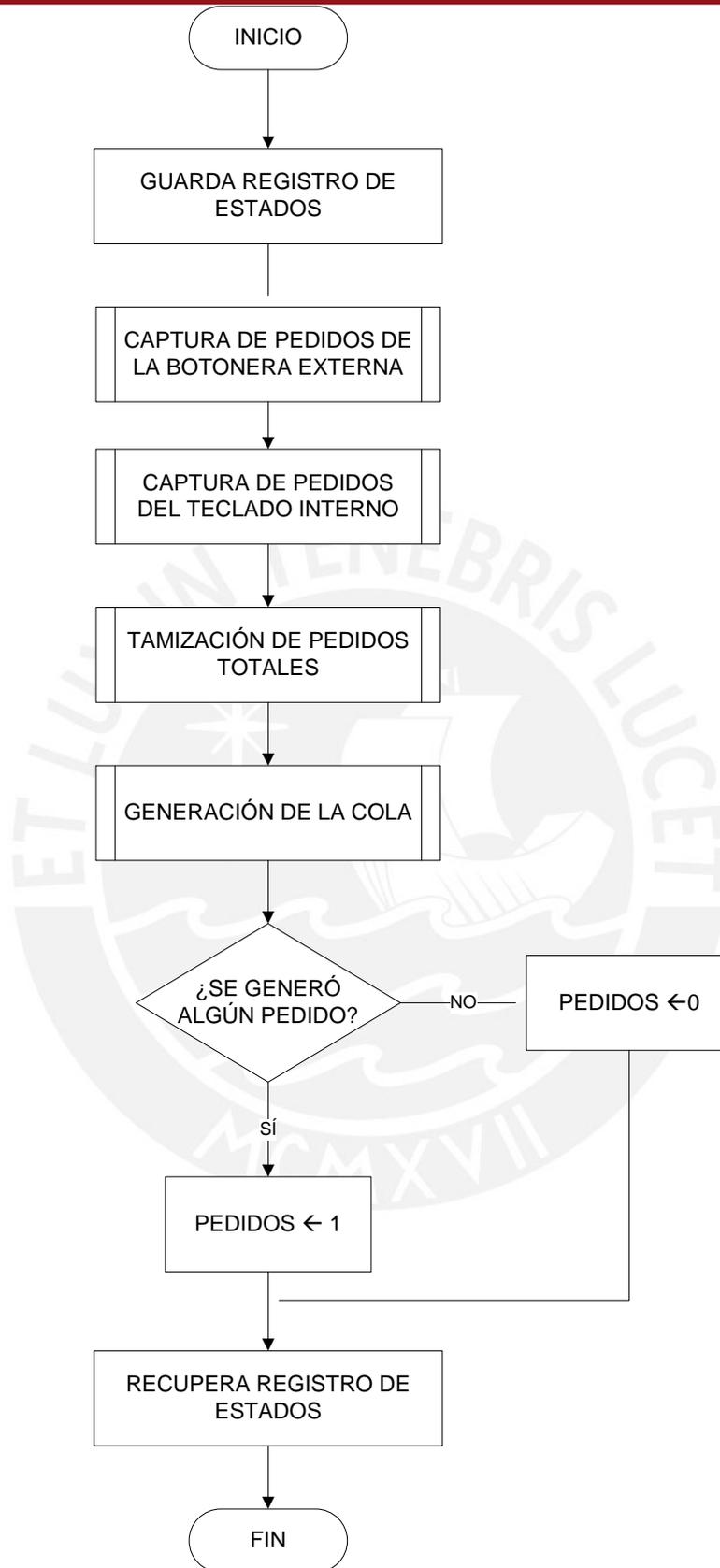


Fig. 3 - 10. Diagrama de Flujo del Proceso de Captación y Priorización de Pedidos.

Además de ello, es pertinente mostrar el diagrama de estados que refleja el comportamiento general del ascensor en su función básica de priorización de pedidos de atención. Ello se muestra en la figura 3 – 11.

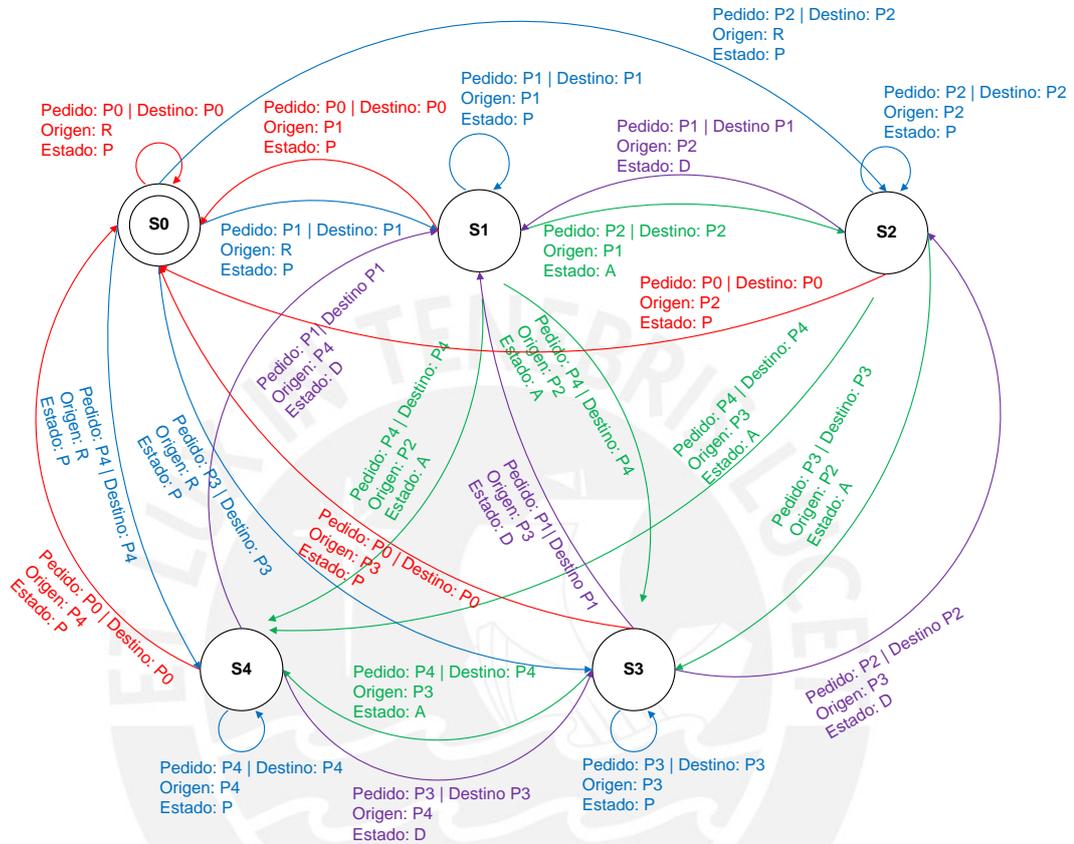


Fig. 3 - 11. Diagrama de Transición de Estados del control secuencial

Donde: Las entradas por botonera externa vienen definidas por 6 bits, y las entradas por teclado interno vienen definidas por 4 bits. En conjunto las entradas totales son de 10 bits, sin embargo esas 10 entradas son codificadas a 6 bits, quienes son los que finalmente indicaran el piso pedido (Pi: Piso i, P0: no existen pedidos), de igual forma se tienen como entradas al piso de origen (3 bits) y al tipo de movimiento presente (A: ascenso, D: descenso, P: parada, 2 bits); en total 11 bits de entrada. La salida, viene representada principalmente por el piso destino (Pi: Piso i, 3 bits), quien a su vez modificará los 2 bits de control del motor; en total 5 bits de salida.

En la figura 3 - 11, se observa que el estado inicial, S0, es el estado de reposo (ascensor detenido) en el que el sistema espera a que llegue algún pedido de

servicio de atención. Los estados siguientes, Si (donde $i = 1, 2, 3, 4$), representan la ubicación del ascensor en el piso respectivo. Cabe recordar que una vez que el ascensor ha llegado al piso requerido, este se detiene y continúa su movimiento en caso haya más pedidos en la cola, caso contrario regresa al estado de reposo.

Por una parte observamos que existen lazos de enclavamiento, ello se da cuando la solicitud del piso corresponde al mismo piso en el que se encuentra.

De otro lado, las demás acciones presentan dos condiciones principalmente; la primera, la determinación del movimiento del ascensor (ascenso o descenso); y la segunda, el destino de la petición requerida. En este último caso, se hace la salvedad que la atención es válida si es que para el caso del ascenso no se requiere ir a un piso que sea inferior al piso requerido y superior al piso actual; mientras que para el caso del descenso no se requiera ir a un piso superior al piso requerido e inferior al piso actual.

Para el caso de escalonamiento a un sistema que soporte más pisos, se debe considerar un estado más por piso; en el caso de las entradas, afecta principalmente al número de bits definidos para la botonera externa y teclado interno, además de asegurar el número de bits adecuados para la representación del piso origen y piso pedido. En la salida el número de bits se ve afecto a la capacidad de poder representar el piso destino con un número de bits adecuados.

Por otro lado, la actualización del piso en el cual se encuentra el ascensor se da debido a la resultante de los sensores de presencia instalados en cada piso. Dichos sensores emiten un valor lógico de '1' cuando no se detecta al ascensor y un valor lógico de '0' cuando el ascensor pasa por el punto de análisis. A nosotros nos interesa dicho flanco de bajada generado para detectar la presencia del ascensor en alguno de los pisos, luego tomando como base la ubicación inicial del ascensor y el tipo de movimiento, se procederá a incrementar o decrementar el valor del piso actual.

Es por ello que los sensores obedecen a la relación booleana mostrada en la ecuación 3 – 3.

$$NOT(G \vee H \vee I \vee J) = K$$

Ecuación 3 - 3. Detección de Piso

Donde G , H , I y J representan a los sensores ubicados en cada piso y K representa la solicitud de actualización del piso actual.

Este subsistema da origen a una interrupción externa que actualiza inmediatamente el valor del piso actual. Su comportamiento lógico se ve expresado de la forma mostrada en la figura 3 – 12.

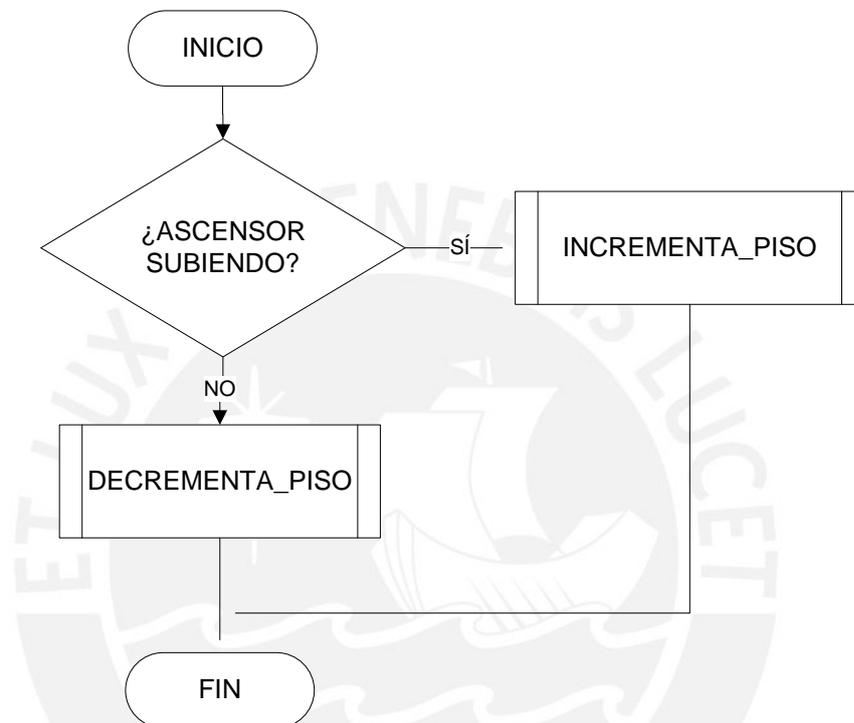


Fig. 3 - 12. Diagrama de Flujo del Proceso de Ubicación de la Cabina.

Todo ello es el comportamiento básico del ascensor, en el cual no se consideran perturbaciones externas, sin embargo sabemos que en la realidad estas perturbaciones o eventos adversos pueden ocurrir, es por ello que el sistema considera algunas medidas de seguridad como son la inclusión de un botón para parada de emergencia, un botón para salir del estado de parada de emergencia, un botón de alarma, y un par de botones que operan la apertura y cierre de las puertas.

Estas consideraciones, son trabajadas fundamentalmente bajo el concepto de interrupciones dado que ellas pueden ocurrir en cualquier momento y como tales deben ser atendidas con prontitud para asegurar la seguridad, por sobre todo, de los usuarios del sistema.

En primer lugar se analiza la lógica empleada para la utilización del par de botones de parada de emergencia y salida del estado de emergencia.

Al ser pulsado el botón de emergencia, éste detiene automáticamente el motor del ascensor, luego procede a asignar a la variable *STOP* el valor de '1', ello a través de un juego de instrucciones evita que el ascensor retome cualquier tipo de movimiento hasta que se presione el botón de salida de emergencia.

Al presionar dicho botón el ascensor retomara el movimiento, a ello se le ha añadido una consideración, dado que la parada de emergencia puede haberse accionado por la generación de algún evento adverso, al momento de retomar movimiento el ascensor, como medida de seguridad, llevará a los pasajeros al piso inferior más cercano, esto es considerado puesto que para un movimiento de baja el motor ejerce menor fuerza, por lo que resulta un movimiento menos peligroso luego de una parada de emergencia.

Hay que mencionar que las rutinas que dan movimiento al motor, emplean como entrada a la variable *STOP*, si en la rutina se detecta que esta variable está en estado lógico '1', no generaran ningún tipo de movimiento.

La lógica de control para el botón de emergencia se ve expresada de la forma mostrada en la figura 3 – 13.

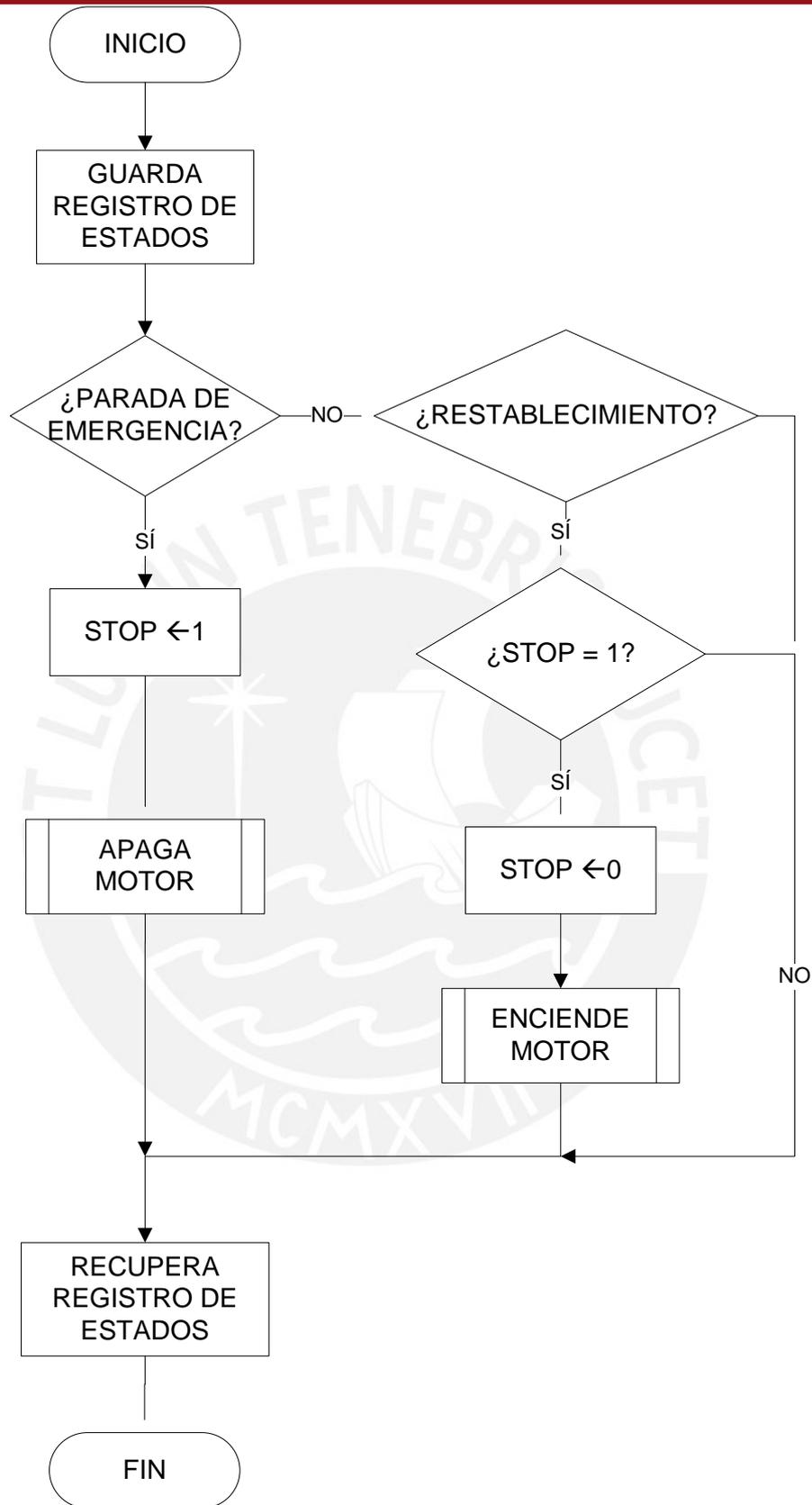


Fig. 3 - 13. Diagrama de Flujo del Proceso de Parada de Emergencia.

La alarma acústica; cumpliendo con la normatividad estipulada en el reglamento nacional de edificaciones, genera un sonido audible al momento de mantener presionado el botón de alarma, sin embargo cabe resaltar que el uso de la alarma no implica una detención del movimiento del ascensor.

Este sistema se comporta de manera independiente con respecto al sistema general y obedece a la lógica, mostrada en la figura 3 - 14.

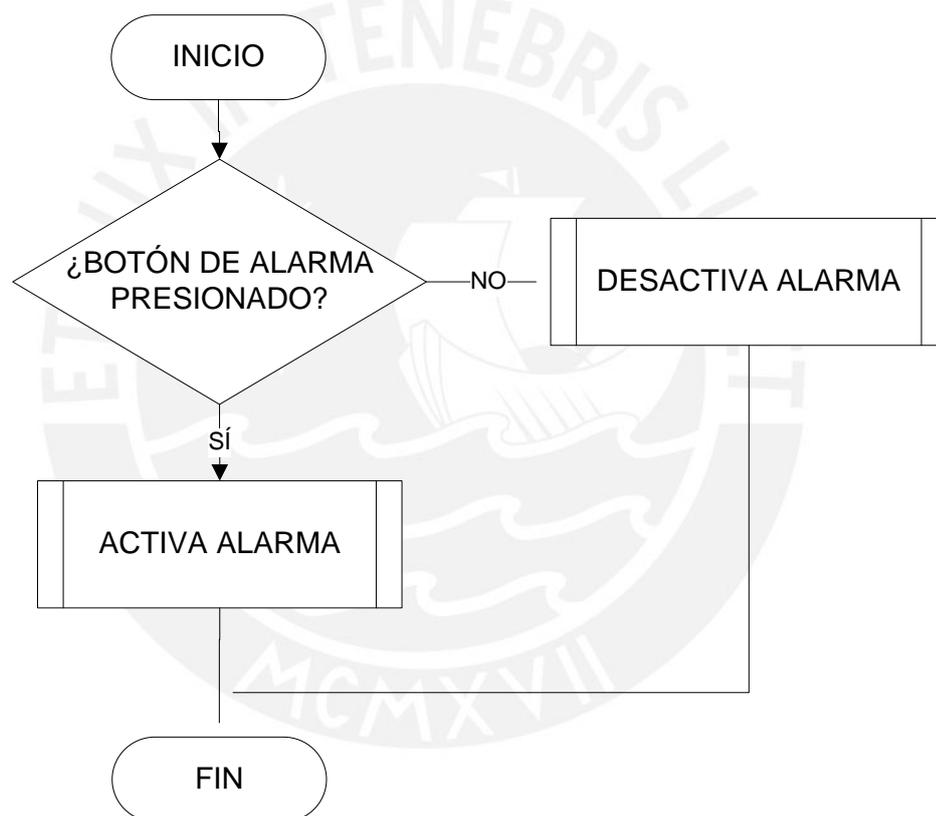


Fig. 3 - 14. Diagrama de Flujo del Proceso de Activación de la Alarma Acústica.

El comportamiento generado por los botones de apertura y cierre de puerta, es única mente válido para el caso en el cual el ascensor se encuentra detenido y éste no ha sido producto de una parada de emergencia. Ello obedece a la relación booleana mostrada en la ecuación 3 – 4.

$$NOT(L) \wedge NOT(M) = N$$

Ecuación 3 - 4. Relación Booleana de la Puerta

Donde: *L* es el estado de la variable *STOP*, *M* es el estado del motor y *N* es la capacidad de control sobre la puerta.

Si se cumplen dichas condiciones, el subsistema realiza lo siguiente: si se presiona el botón de apertura, el ascensor abre sus puertas por un intervalo de tiempo y luego del mismo las cierra automáticamente siempre y cuando no existe persona alguna en medio de la puerta. De manera similar, el botón de cierre de puerta permite al usuario cerrar la puerta en cualquier momento, sin necesidad de esperar el intervalo de tiempo predefinido, siempre y cuando no exista alguna persona en medio de la puerta. Ello se muestra en la figura 3 – 15.

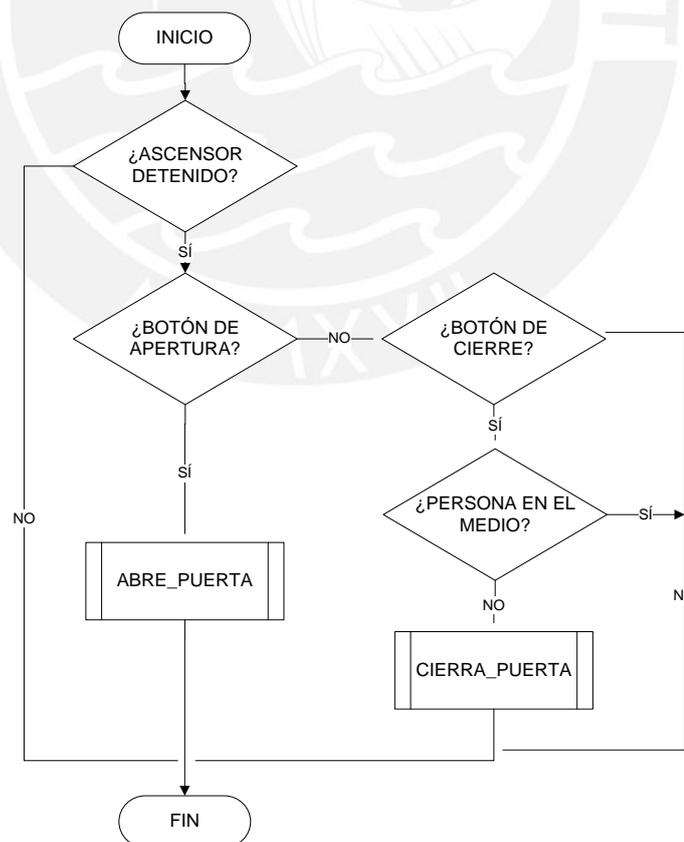


Fig. 3 - 15. Diagrama de Flujo del Gobierno de la Puerta.

3.2.1. Propuesta del Sistema Mecánico

Las consideraciones para la propuesta del esquema del sistema mecánico se basan en dos fundamentos principalmente; el primero es el concepto de las leyes físicas, desde un punto de vista estático y dinámico en el comportamiento del cuerpo y por otro lado desde un punto de vista normativo, dado que muchas de las especificaciones se encuentran estipuladas en el reglamento nacional de edificaciones, en el apartado concerniente a los Ascensores.

Dados esos preceptos, se debe analizar los puntos principales pertinentes a mencionar, dado que el sistema de un ascensor involucra un diseño estructural y mecánico complejo que en la realidad es llevado a cabo por un equipo de profesionales competentes, tales como un ingeniero mecánico, un ingeniero civil, un ingeniero electrónico entre otros.

Los aspectos principales a analizar, que llevan relación con el controlador digital diseñado, son los siguientes: el dimensionamiento de la cabina, el dimensionamiento del contrapeso, la velocidad de desplazamiento del ascensor, el limitador de velocidad, el dimensionamiento del motor a instalar y el variador de velocidad.

En relación a la cabina de pasajeros, ésta deberá contar con dispositivos que abran las puertas en caso encuentre algún obstáculo durante su cierre, además de ello deberá contar con un interruptor de alarma acústica que pueda ser percibida en el edificio al momento de su accionamiento. [24]

Además de ello, para la capacidad requerida, se debe considerar el valor de 75kg/persona. Dada esa consideración y la tabla 3 – 1, consignada en el reglamento nacional de edificaciones [27].

NÚMERO DE PASAJEROS	ÁREA DE LA CABINA (m ²)	
	Máximo	Mínimo
6	1,30	1,15
7	1,40	1,30
8	1,56	1,40
9	1,75	1,56
10	1,82	1,75

Tabla 3 - 1. Relación del Área de la Cabina y Número de Pasajeros. [27]

Se puede determinar que el área de la cabina debe estar comprendida entre 1,30m² y 1,15m², dando prioridad al dimensionamiento máximo para efectos de mayor comodidad de los pasajeros.

$$\text{Área de la Cabina} = 1.30 \text{ m}^2$$

Ecuación 3 - 5. Resultante del Área de la Cabina

El contrapeso por su lado, debe estar adecuadamente reforzado para evitar el movimiento libre vertical y horizontal de modo que se pueda prevenir su desprendimiento en caso de un movimiento telúrico [27]. Además, este debe tener un peso equivalente a un 45% del peso de los pasajeros además del peso de la cabina [30].

La ecuación 3 - 5 nos permite evaluar un peso tentativo de la cabina [25], dado que en la realidad depende de los métodos y materiales de manufactura.

$$\#de \text{ Pasajeros} = \frac{0.8 \text{ Peso de la Cabina}}{\text{Peso Promedio por Persona}}$$

Ecuación 3 - 6. Relación entre el peso de la cabina y el peso total de pasajeros [25]

Dada dicha relación y dado el requerimiento de transporte de seis pasajeros, tomando como base un peso de 75kg/persona [27]. Obtenemos que el peso aproximado de la cabina es 565kg.

$$\text{Peso de la Cabina} = 565 \text{ Kg}$$

Ecuación 3 - 7. Resultante del peso de la cabina

Entonces el peso del contrapeso debe ser de aproximadamente 768kg.

$$\text{Peso del Contrapeso} = 768 \text{ Kg}$$

Ecuación 3 - 8. Resultante del peso del Contrapeso

La velocidad del desplazamiento de la cabina se ve expresada en la relación existente entre el número máximo de pasajeros y de la distancia vertical entre la parada superior y la parada inferior del ascensor (altura de sobre recorrido), que para el caso particular corresponde a la altura de dos pisos. Dada esa consideración, se muestra la tabla 3 – 2, para el cálculo, según norma. [27]

Para capacidad de cabina hasta 8 personas:

VELOCIDAD (m/s)	ALTURA (m)
1	4,00
1,5	4,60
2	5,00

Tabla 3 - 2. Relación de Velocidad y Altura del Sobre Recorrido. [27]

Dados los factores y el requerimiento de instalación en un edificio de 4 pisos, la altura del sobre recorrido es de aproximadamente 4m., por lo tanto la velocidad nominal de la cabina debe ser de 1m/s.

$$\text{Velocidad Nominal de la Cabina} = 1 \text{ m/s}$$

Ecuación 3 - 9. Resultante de la velocidad nominal de la cabina

Dado que la velocidad nominal de un cuerpo se ve afecto por diversos eventos, ésta debe tener una forma de limitación por seguridad. Es en este punto donde es pertinente definir las características del limitador de velocidad.

El limitador de velocidad deberá actuar cuando se alcancen los valores máximos que se muestran en la tabla 3 - 3, según norma. [27]

VELOCIDAD NOMINAL (m/s)	INCREMENTO DE LA VELOCIDAD NOMINAL (*) %
$V < 0.50$	50
$0.50 < V < 1.00$	40
$1.00 < V < 5.00$	$15 + 0.25 \text{ m/s}$
$V > 5.00$	20

(*) Valores según Norma MERCOSUR NM2007

Tabla 3 - 3. Relación del Porcentaje del Incremento de Velocidad Nominal para la Actuación del Limitador de Velocidad. [27]

Es por ello que se determina como factor de accionamiento para el limitador de velocidad, el 40% de sobre velocidad del cuerpo. Es decir si la cabina alcanza una velocidad mayor a 1.4m/s el limitador de velocidad debe accionarse.

$$\text{Velocidad para el accionamiento del Limitador de Velocidad} = 1.4 \text{ m/s}$$

Ecuación 3 - 10. Resultante de la velocidad de accionamiento del Limitador de Velocidad

La selección del motor es vital para el sistema, pues es este elemento electromecánico el que genera el movimiento de la cabina. Para ello se deben definir algunas de las características más importantes del motor como es su tipo de alimentación, tipo de arranque, potencia, factor de potencia.

Dado que en la actualidad se cuenta con un tendido de red en configuración estrella con un valor nominal de 220 V entre fase y neutro, el motor debe soportar tensiones de 220V, 380V y 415 V.

$$\text{Voltaje de Alimentación del Motor} = 220V - 380V - 415V$$

Ecuación 3 - 11. Resultante de la alimentación del motor

Además de ello, se debe considerar que un motor al momento de arranque consume una corriente que es mucho mayor que la nominal, ello produce grandes caídas en la tensión del sistema eléctrico y genera un incremento crítico en la facturación por consumo de energía, es por ello que se debe aplicar un método de arranque para el motor.

El arranque en configuración Estrella – Delta, es el método que mejor cubre los requerimientos, pues el motor es arrancado en configuración Estrella, de modo que el voltaje en sus devanados es menor, aproximadamente 58%, y una vez que el motor se encuentra girando se hace la conmutación a una conexión Delta en donde los devanados operan bajo la tensión nominal de trabajo.

$$\text{Tipo de Arranque} = \text{Estrella} - \text{Delta}$$

Ecuación 3 - 12. Resultante del tipo de arranque para el motor

La potencia del motor es calculada de acuerdo a la ecuación 3 - 13, dado que es un sistema de elevación con carga equilibrada. [26]

$$P = \frac{Q \cdot v}{102 \cdot \eta} \cdot (1 - a)$$

Ecuación 3 - 13. Relación para el cálculo de la potencia del motor [26]

Donde: P es la potencia del motor, Q es la carga, v es la velocidad, η es la eficiencia del sistema y a es el factor equilibrado de la carga.

El factor equilibrado de carga se muestra en la ecuación 3 - 14:

$$a = \frac{G_1 - G}{Q}$$

Ecuación 3 - 14. Relación del factor equilibrado de carga

Donde: G_1 representa el contra peso y G representa el peso muerto del lado de la carga.

El peso muerto del lado de la carga, para el caso específico del ascensor, se refiere al peso de la cabina más el marco de suspensión. Además se considera una eficiencia del sistema del 85% [30][31], el cual es un índice aceptado. Entonces, dada la fórmula de potencia, se obtiene que la potencia que debe tener el motor es de 5KW.

$$P = \frac{Q \cdot v}{102 \cdot \eta} \cdot (1 - a) = 5KW$$

Ecuación 3 - 15. Resultante de la potencia del motor

Se debe remarcar que dada la potencia del motor, éste debe ser trifásico y de corriente alterna, esto último debido a que en el mercado los motores de corriente alterna AC son más económicos que los de corriente continua DC.

Además de ello, se tiene que un factor de potencia aceptable para un motor, o en general una carga, es aquel comprendido entre un 80% y 87% [30][31]. Ello se da debido al factor inductivo del sistema, para regularlo se puede instalar adicionalmente un sistema de compensación basado en capacitores.

Por otro lado se debe considerar, dadas las condiciones de trabajo, el uso de un sistema mecánico Reductor, que tiene por finalidad reducir la velocidad de movimiento de la cabina y aumentar la potencia mecánica transmitida. Muchos

motores para sistemas de ascensores vienen con un sistema mecánico reductor incluido o en su defecto con uno recomendado.

En otro aspecto, el variador de velocidad es un sistema que controla la velocidad giratoria del motor. Dado que el motor es del tipo trifásico de corriente alterna, el variador debe ser uno que opere bajo esas condiciones.

La alimentación para el variador de velocidad provendrá del tendido eléctrico, es decir éste debe ser capaz de ser alimentado con tensiones de 220v-230V y 380V-480V inclusive. Así mismo, debe tener un sistema de frenado rápido.

En el mercado existen diversos fabricantes de variadores de velocidad, sin embargo dado su prestigio y notable posicionamiento en aplicaciones de elevadores, se menciona como ejemplo de variador de velocidad al CFW-09 de la marca WEG, dado que cumple con los requerimientos mínimos, además de adicionar funciones especiales.

Finalmente se debe mencionar que existen otros parámetros para el diseño del sistema mecánico de un ascensor, como son el diseño propio de la cabina, cálculo de poleas, cálculo de calibre para los cables acerados, diseño del foso de recorrido, diseño de los rieles, dimensionamiento de los materiales, entre otros. Sin embargo ellos corresponden a los campos de la Ingeniería Mecánica y de la Ingeniería Civil, es por ello que dichos cálculos y la metodologías necesarias para ellos, se encuentran descritas en el anexo y en las fuentes utilizadas [27][29].

CAPÍTULO 4. SIMULACIONES Y RESULTADOS

El sistema es simulado mediante un software de acceso libre VMLAB, el cual permite visualizar, a través de sus diferentes herramientas, diversas características del sistema.

Mediante la herramienta de osciloscopio se puede determinar la operación de los bits de control del ascensor, verificando su modulación PWM o el estado de reposo; del mismo modo mediante el panel de control se puede verificar el correcto funcionamiento de los bits de control del circuito BCD, que tiene por finalidad la muestra del piso en el que se encuentra la cabina. Además de ello, se tiene acceso hacia la memoria no volátil EEPROM, donde se verificará la actualización y almacenamiento del piso actual. En la ventana correspondiente a la memoria RAM se puede constatar la actualización y priorización de la cola de pedidos. Se tiene acceso, también, a una ventana que muestra el estado de las variables intermedias, lo que permite una rápida depuración del controlador diseñado. Finalmente se cuenta con una ventana que muestra la correcta configuración de los periféricos utilizados, así como otra que muestra la operación de cada puerto de entrada salida del microcontrolador, como se muestra en la figura 4 -1.

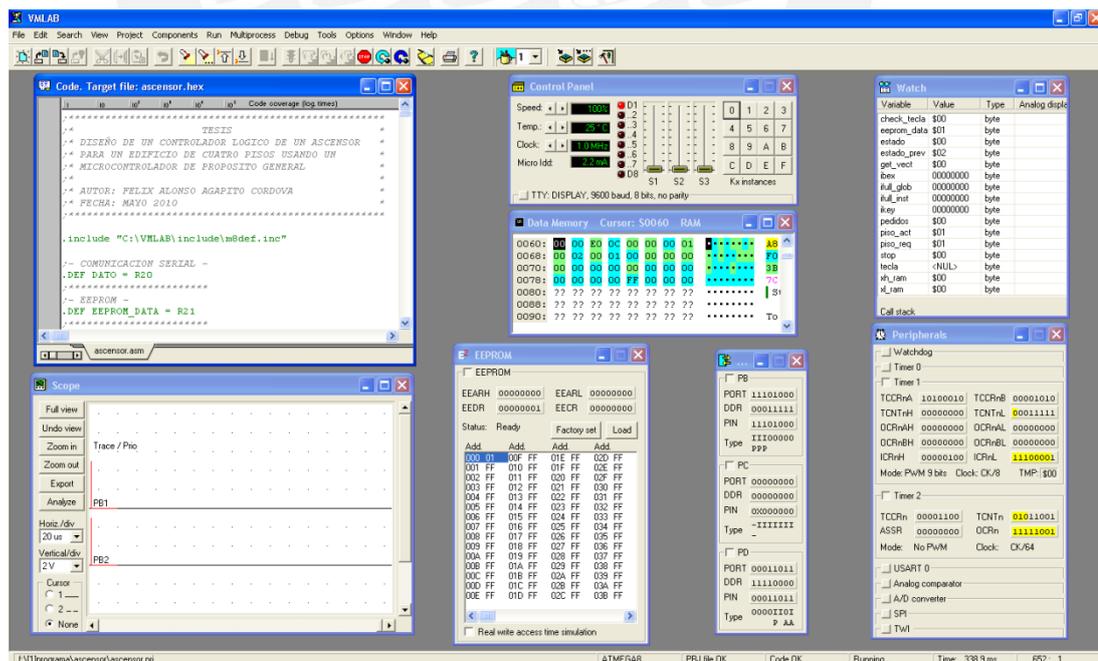


Fig. 4 - 1. Simulador VMLAB - Vista General.

4.1. Control del Motor

Para este caso es pertinente realizar la simulación comprobando el estado de la lógica del motor visualizando en la herramienta de osciloscopio.

Como primer estado se realiza la verificación del motor en estado de parada, para ello se puede visualizar que los dos bits de control permanecen en estado '0', estos bits de control transmiten su señal a través de los puertos de salida PB1 y PB2, los cuales son visualizados en la figura 4 – 2 correspondiente al osciloscopio.

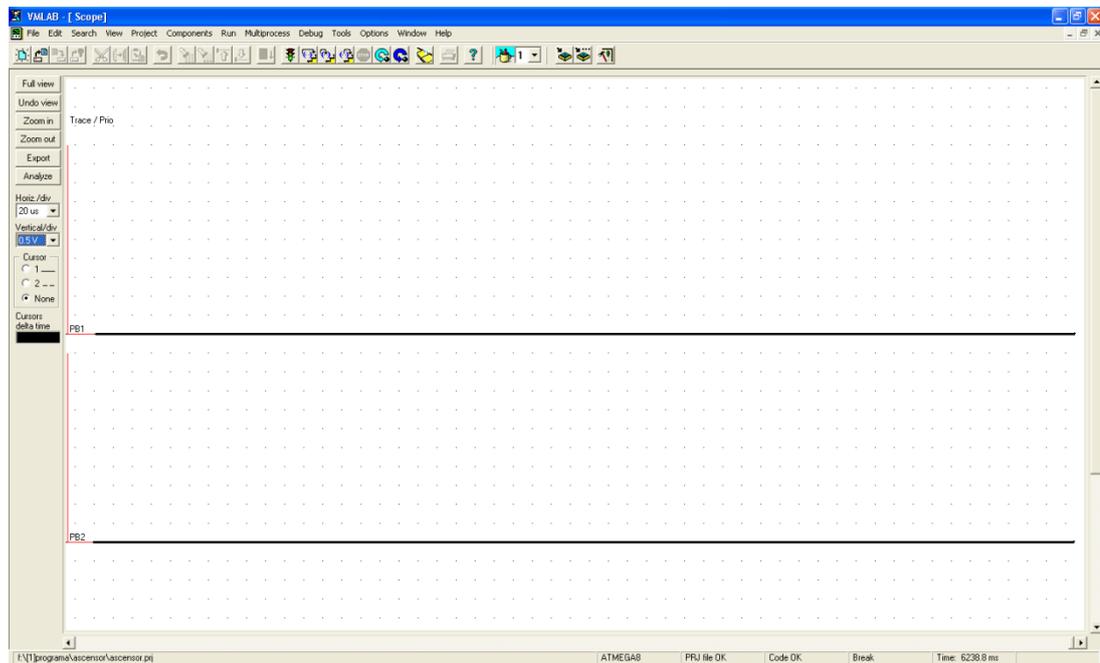


Fig. 4 - 2. Señales de Control del Motor en Estado de Parada.

Entonces se verifica que el sistema de control para el motor en estado de parada funciona correctamente, pues las salidas PB1 y PB2 (los bits de control) permanecen en '0' lógico sin perturbaciones.

El segundo estado a analizar, sobre el motor, es el estado en el cual éste se encuentra en giro para ascender, para ello las líneas de control actúan del siguiente modo: la línea correspondiente a PB1 debe mantenerse en '0' lógico, mientras que la línea correspondiente a PB2 debe emitir una señal modulada en PWM (modulación por ancho de pulso) con el fin de poder regular la velocidad de ascenso, ello se muestra a través de la figura 4 – 3.

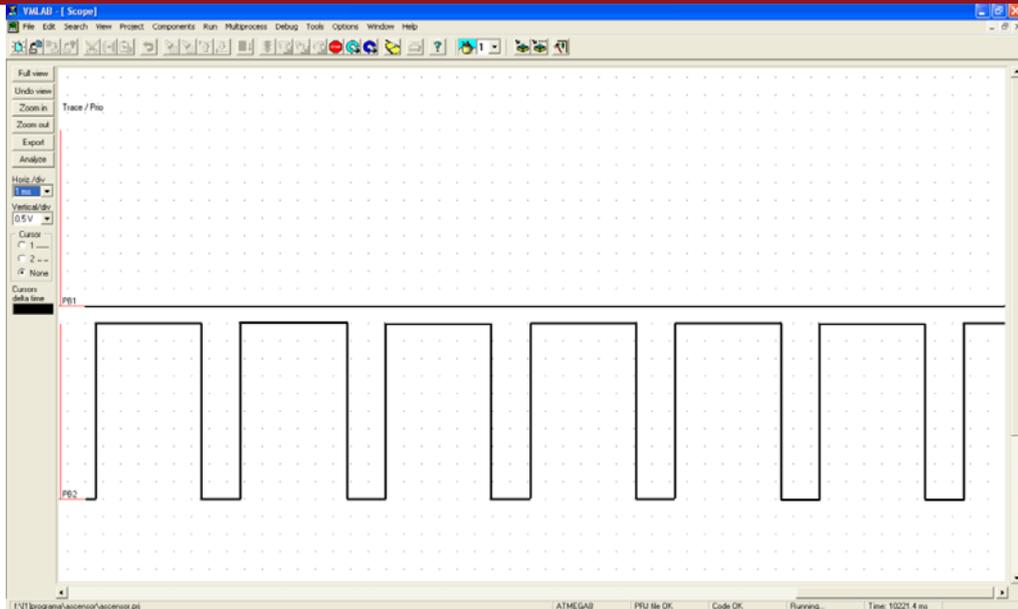


Fig. 4 - 3 Señales de Control del Motor en Estado de Ascenso.

Se comprueba que, efectivamente, la señal de control PB1 permanece en estado '0' lógico sin perturbaciones, mientras que la señal PB2 emite una señal PWM.

Así mismo se analiza el estado en el cual el motor se encuentra en giro de descenso, para ello la línea de control PB1 emite una señal PWM, mientras que la señal de control PB2 se mantiene en estado de '0' lógico. Ello se muestra a través de la figura 4 – 4.

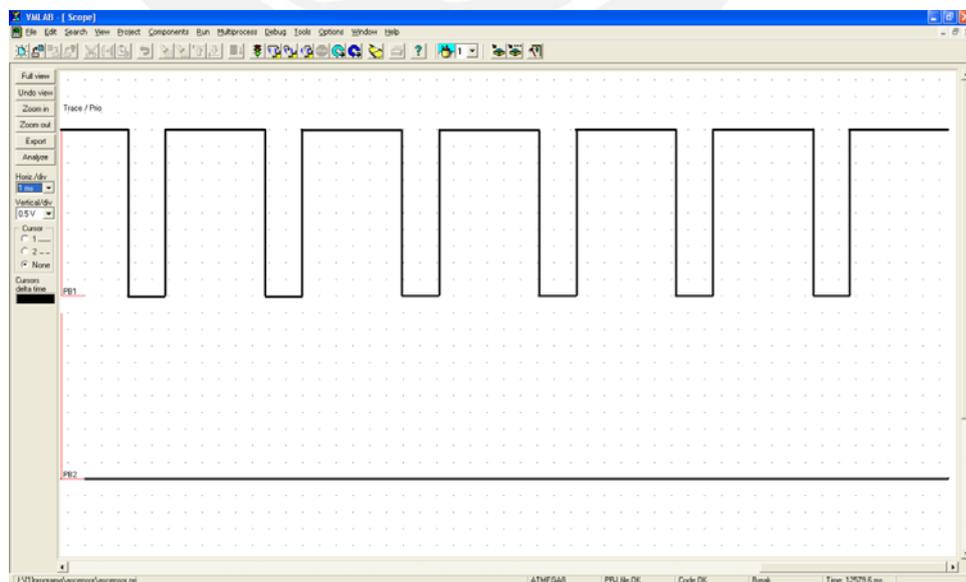


Fig. 4 - 4 Señales de Control del Motor en Estado de Descenso

En este caso, también se comprueba que para el movimiento de descenso, la señal de control PB1 emite una señal PWM, al mismo tiempo que la señal de control PB2 permanece en un estado de '0' lógico sin perturbación.

4.2. Etapa de Actualización

La etapa de actualización involucra la actualización de la cola de pedidos, la muestra de la ubicación actual de la cabina y la muestra del piso requerido

En este caso es pertinente realizar la simulación mostrando el espacio de memoria sobre el cual se almacenan los pedidos, así como el panel de control y del espacio de variables intermedias.

El panel de control virtual opera del siguiente modo, los indicadores D1, D2, y D3 son las señales de control para el circuito BCD que comanda el visualizador de siete segmentos donde se muestra el piso en el que se encuentra la cabina. La secuencia que sigue se muestra en la tabla 4 -1, teniendo en cuenta que el '1' lógico representa la puesta en alta de la señal que se visualiza como el encendido del indicador, mientras que el estado '0' indica lo contrario.

D3	D2	D1	RESPUESTA DEL BCD
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4

Tabla 4 - 1. Tabla de Verdad sobre el Gobierno del Circuito BCD.

Del mismo modo se cuenta con un teclado que permite simular el teclado interno de la cabina, así como los botones externos a ella. La figura 4 – 5 muestra el teclado utilizado.

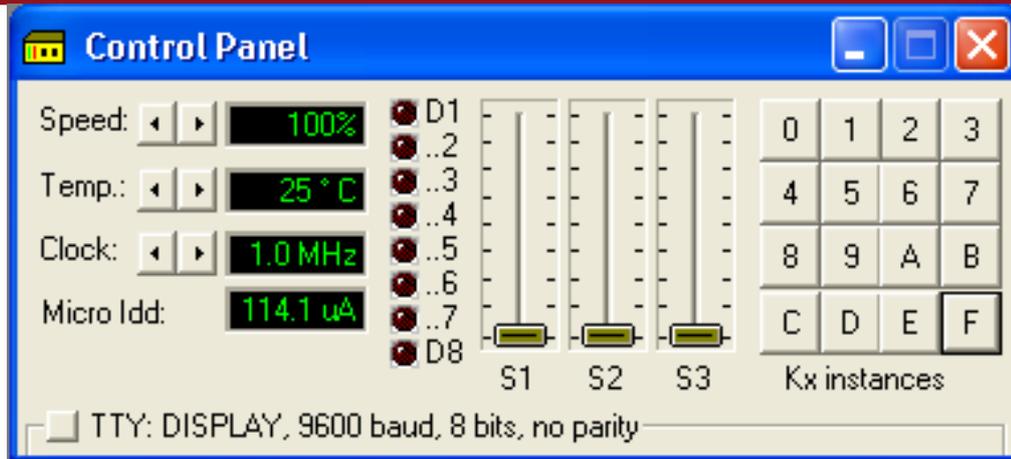


Fig. 4 - 5. Panel de Control

Por otro lado, la figura 4 - 6 muestra el espacio de memoria donde se realiza la actualización de la cola de pedidos, así como la priorización de la atención del servicio. Para ello basta con analizar únicamente el espacio seleccionado.

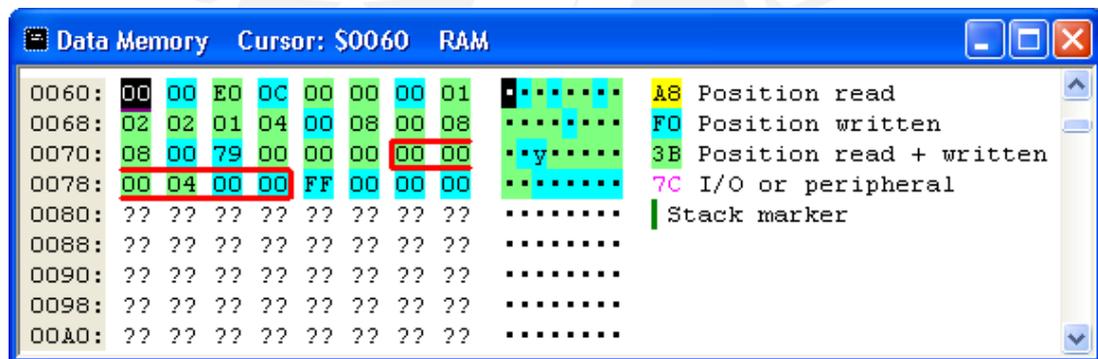


Fig. 4 - 6. Espacio de Memoria RAM.

A continuación se muestra en la figura 4 – 3 el estado inicial, donde se puede comprobar que se empieza mostrando el primer piso y que la cola de pedidos se encuentra vacía, ello representado por los ceros que almacena. Del mismo modo se puede apreciar que en el espacio de variables intermedias, se muestra la variable *estado* en '0' lo que indica que el ascensor está detenido, la variable *pedidos* en '0' indicando que no existen pedidos.

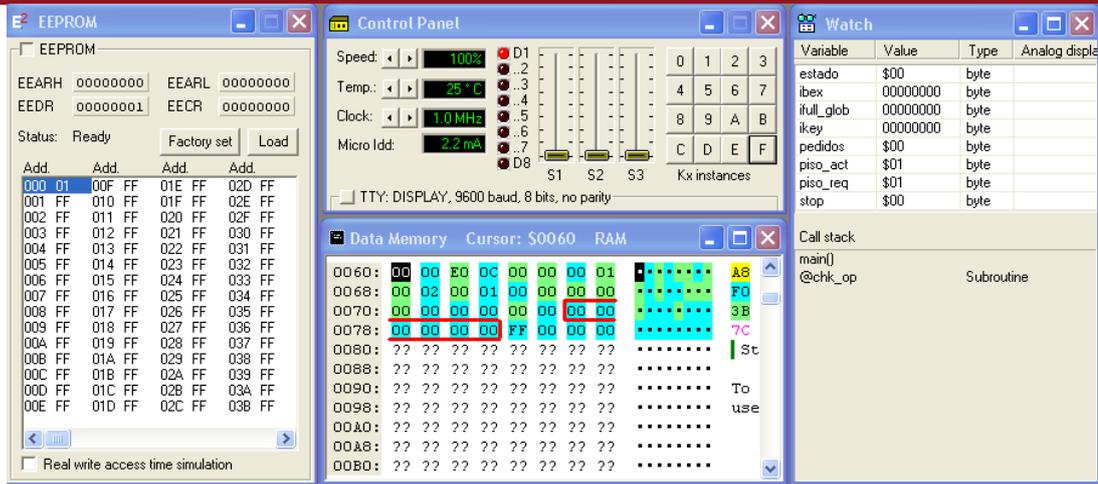


Fig. 4 - 7. Estado Inicial del Sistema

Luego si se realiza un pedido, por ejemplo, desde el piso 3, solicitando que desea bajar, este pedido es tomado inmediatamente y como se puede ver, la variable *piso_req* toma el valor de 3 indicando que el ascensor debe ir hacia ese piso.

Así mismo la variable *estado* toma el valor de 2 indicando que el motor está en movimiento ascendente. Estos estados son verificables en la figura 4 – 8.

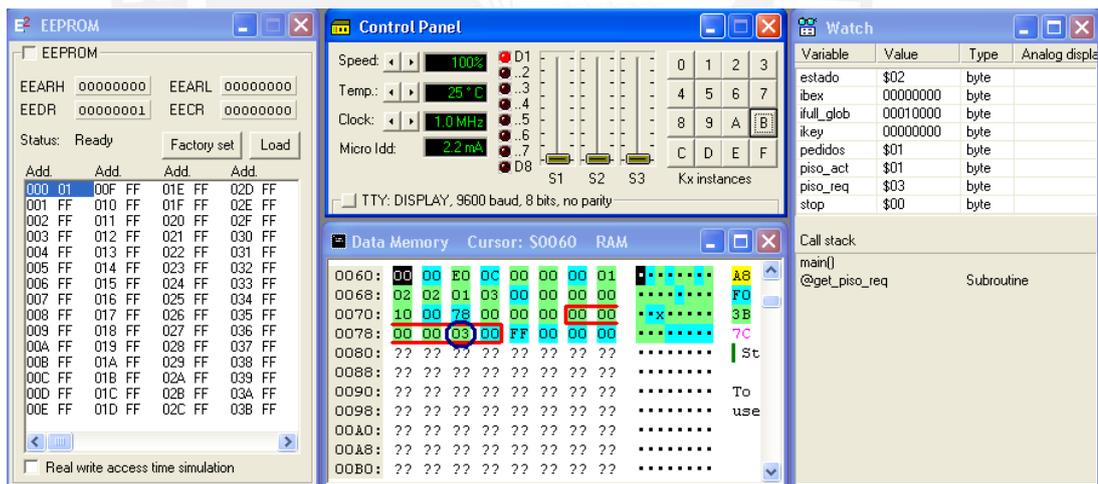


Fig. 4 - 8 Actualización de los Parámetros del Sistema

Del mismo modo si mientras esta ascendiendo, recibe otro pedido, por ejemplo se solicita desde el piso 2 que se desea bajar, este pedido es tomado, sin embargo no es atendido hasta después de haber llegado al piso 3. Ello se muestra desde dos figuras; la figura 4 – 9 se puede apreciar que el piso requerido sigue siendo el 3 (sin importar si se encuentra en el piso 1 o en el piso 2).

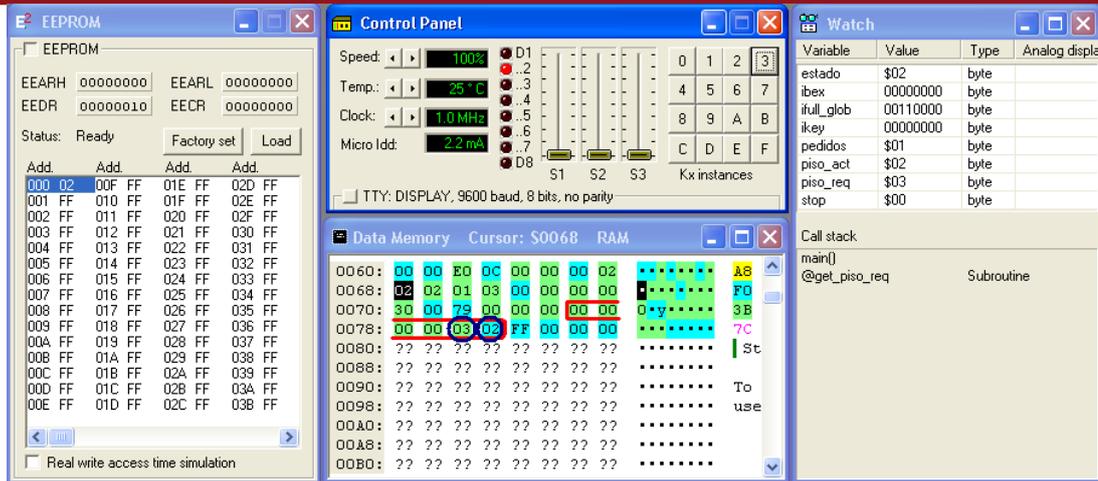


Fig. 4 - 9. Actualización de los Parámetros del Sistema

La figura 4 - 10 se muestra que el piso requerido es 2 cuando el piso actual es 3. Se verifica también que en todo momento se muestra el piso actual. En este caso se puede apreciar también que la variable *estado* ha cambiado su valor a 1, indicando que ahora el ascensor va a descender.

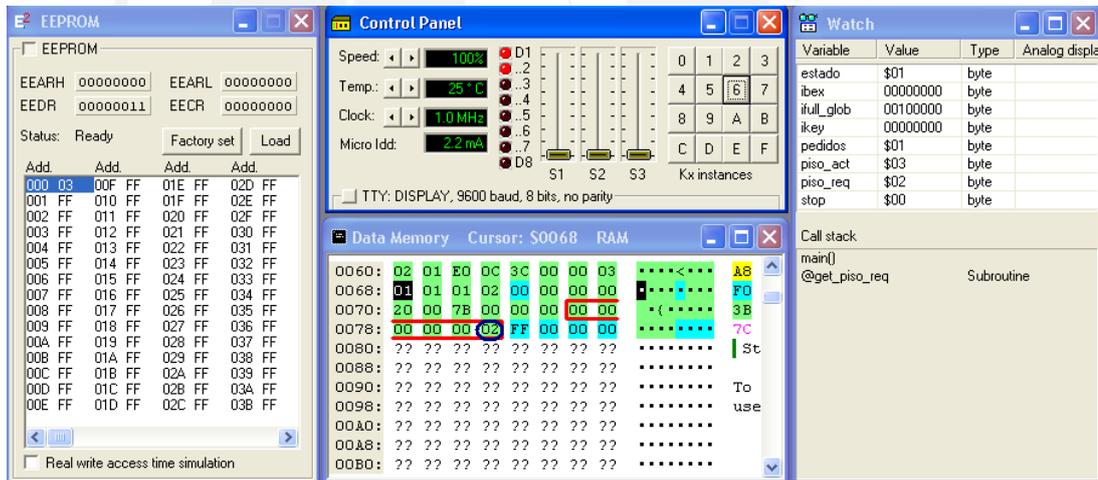


Fig. 4 - 10. Actualización de los Parámetros del Sistema

Cabe notar, también que el pedido del piso 3 que aparecía en el espacio de memoria RAM, ha sido actualizado, es decir ya no aparece en la cola pues ya ha sido atendido el pedido. A través de este ejemplo se demuestra la operatividad de la actualización de la cola, así como de la priorización que se da para la atención.

El sistema es capaz de comportarse óptimamente para cualquier combinación de pedidos, evidentemente ello se aprecia mejor en una simulación continua.

4.3. Control de Apertura y Cierre de la Puerta

El control de apertura y cierre de la puerta viene dado por el estado del indicador D8 del Panel de Control; se realiza la apertura de la puerta automáticamente cada vez que se ha llegado al piso deseado y después de un tiempo determinado se cierra si es que no existen obstáculos en ella. La figura 4 – 11 muestra el comportamiento descrito.

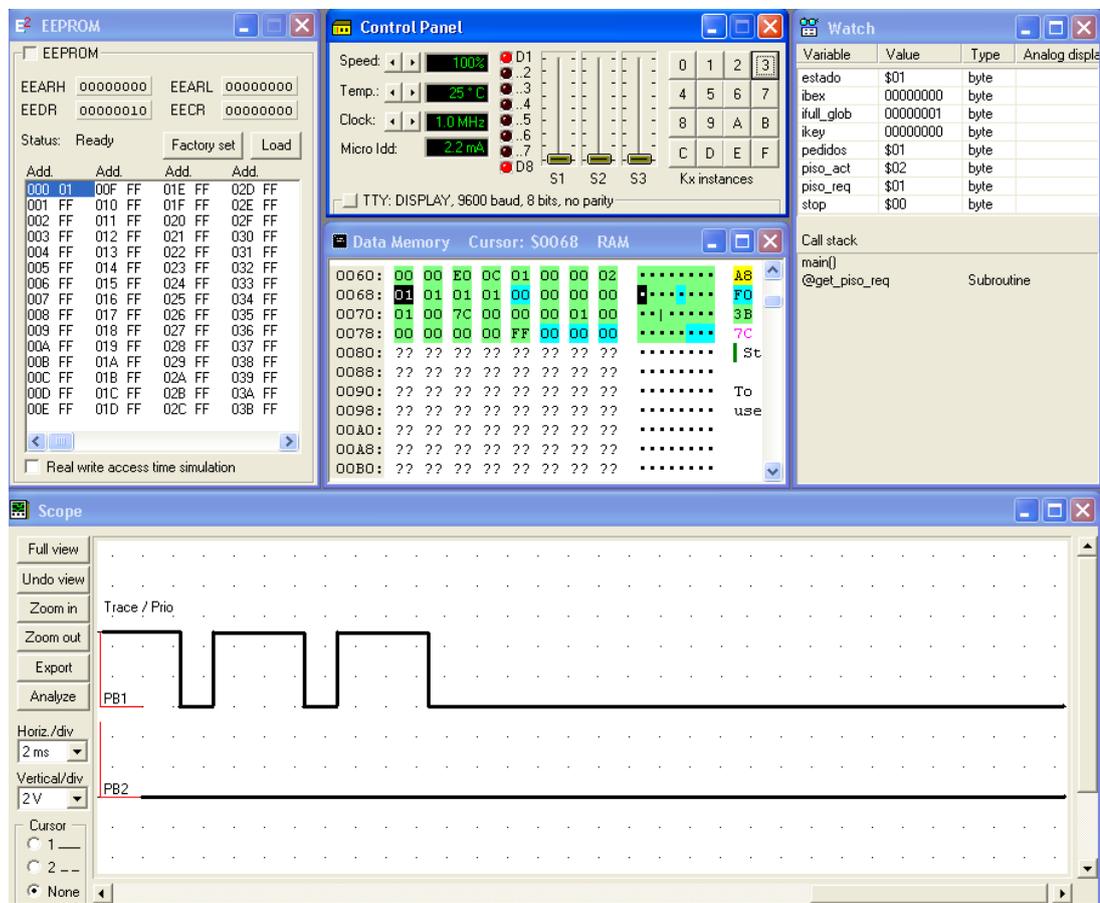


Fig. 4 - 11. Parada del Motor y Apertura de la Puerta.

Se comprueba efectivamente que al momento de llegar al piso deseado, el motor se detiene, como se puede observar en el osciloscopio y la puerta se abre.

Así mismo como se ha podido observar en las simulaciones anteriores, en todo momento, mientras el ascensor se encontraba en movimiento la puerta ha permanecido cerrada.

4.4. Botón de Parada de Emergencia y de Restablecimiento del Sistema

Para este caso, se muestra al ascensor realizando un movimiento y a pesar que no se encuentra en el piso requerido ni en uno de la cola, al momento de presionar el botón de parada de emergencia, éste procede a detenerse inmediatamente.

Como ejemplo tomamos el caso en el cual nos encontramos en el piso 2 y se debe llegar al piso 4. La parada de emergencia se da cuando el ascensor está subiendo y se encuentra en el piso 3. Ello es mostrado a través de la figura 4 – 12.

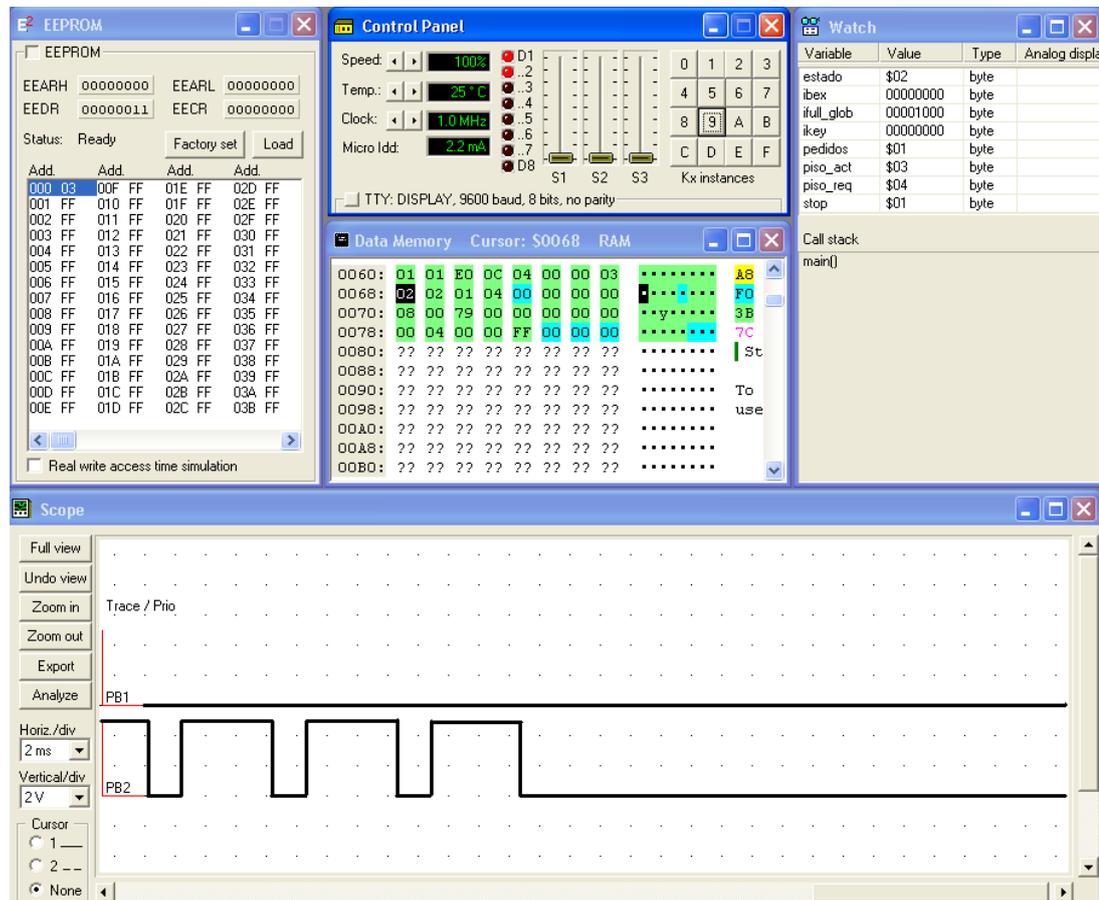


Fig. 4 - 12. Parada del Motor por Accionamiento del Botón de Parada de Emergencia.

Como se observa, al estar en el piso 3, al presionar el botón de parada de emergencia las señales de control del motor automáticamente envían la señal correspondiente para que el motor se detenga, ello se puede apreciar en el osciloscopio donde la señal PB2 que era la que emitía la señal PWM pasa inmediatamente a un estado de '0' lógico, de igual forma, una variable llamada *stop* toma el valor de '1' indicando que se ha producido una parada de emergencia. Se debe notar que a pesar que el ascensor se encuentra detenido la cola sigue

mostrando como piso requerido al piso 4. En este estado no se aceptan nuevos pedidos de atención.

Luego, al presionar el botón de restablecimiento el ascensor procede a dirigirse hacia el piso inferior más cercano, ello como medida de seguridad ya explicada anteriormente. Para este caso el piso requerido que era el piso 4 cambia al piso 2. La figura 4 – 13 muestra dicho comportamiento.

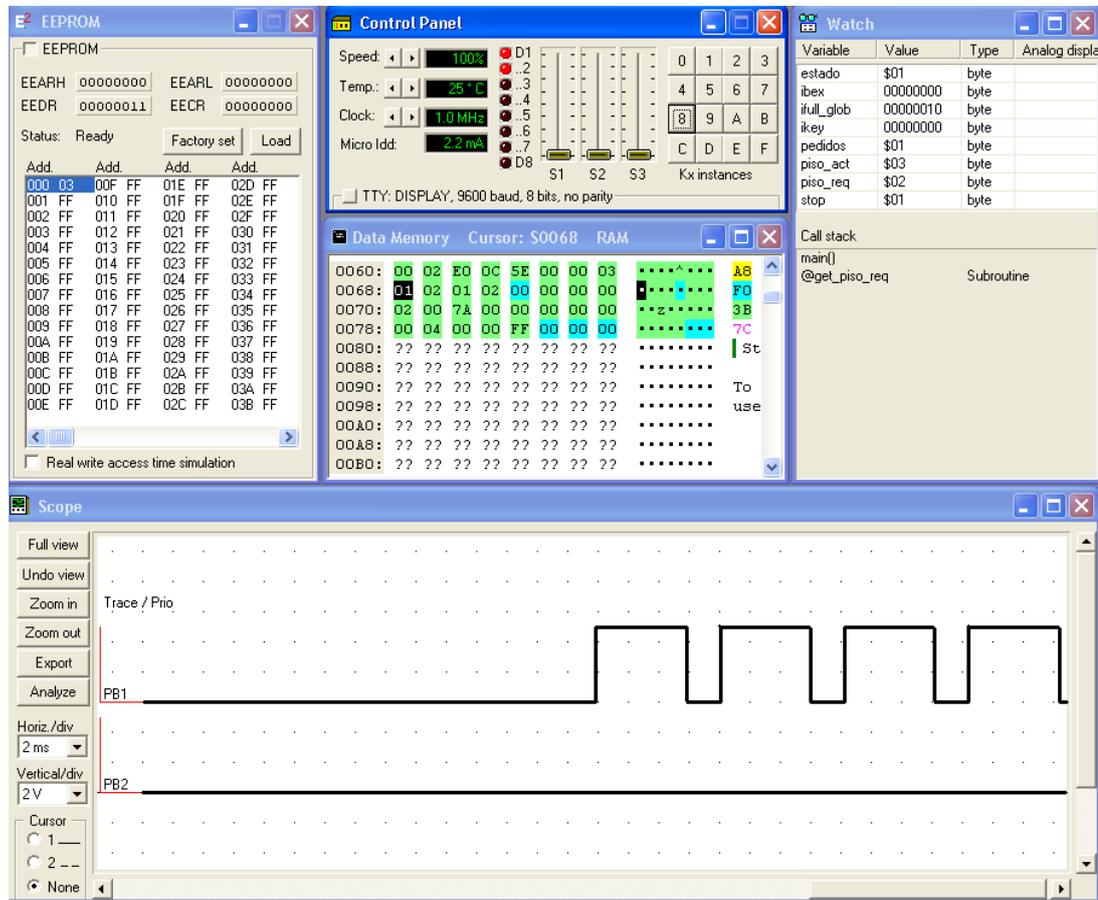


Fig. 4 - 13. Restablecimiento del Motor por Accionamiento del Botón de Restablecimiento

Así mismo, una vez recuperado el movimiento, la variable *stop* retoma su valor de '0', mientras que la cola de pedidos se restablece a su estado inicial, es decir está vacía. Ello se verifica en la figura 4 – 14.

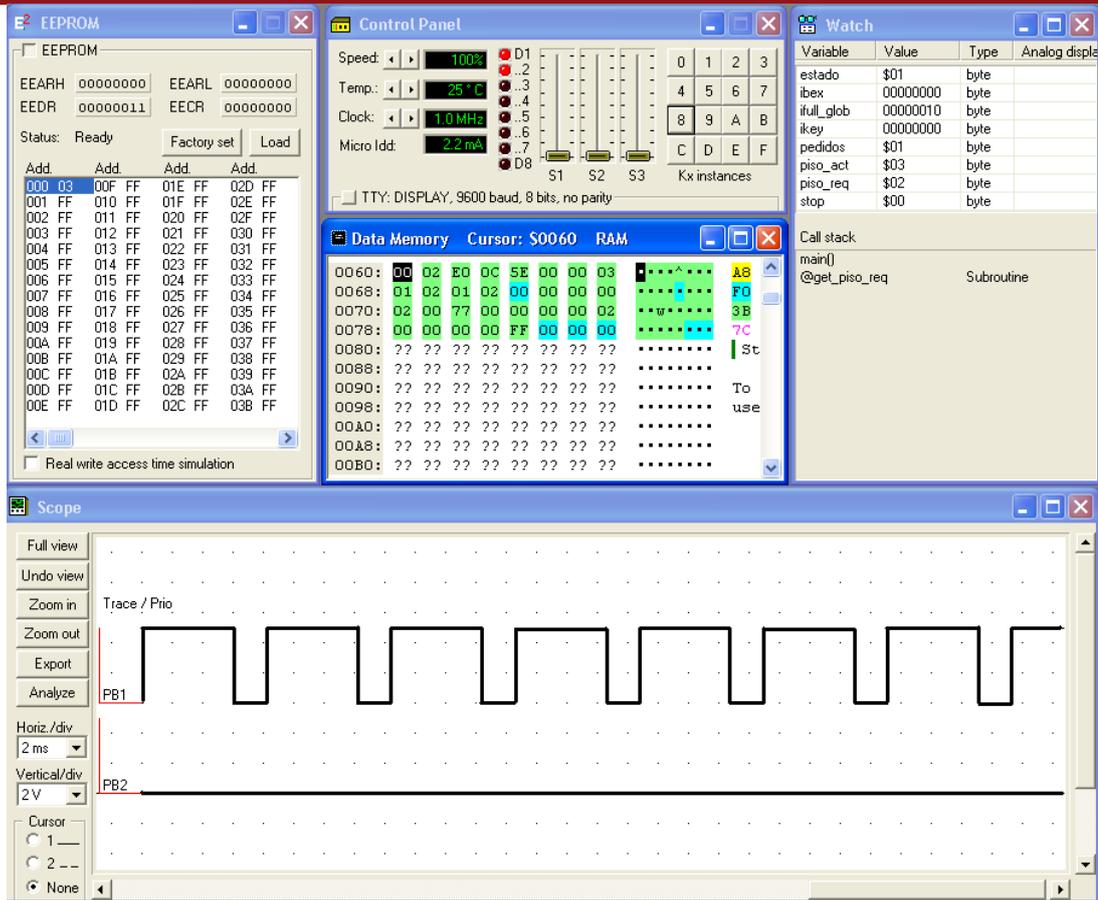


Fig. 4 - 14. Restablecimiento General del Sistema.

Por otra parte, se ha podido verificar que en todo momento se realiza la actualización del piso actual en la memoria no volátil EEPROM, ello se puede verificar desde la figura 4 -7 hasta la figura 4 -14.

CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO

Se plantea un presupuesto flexible que considera gastos directos e indirectos para la implementación del sistema. Los gastos directos incluyen los costos por fabricación de la tarjeta controladora, el costo de la tarjeta programadora, así como los costos de algunos elementos mecánicos, como son el motor y el sistema reductor. También se considera el costo por ingeniería que involucra la valoración del sistema diseñado, basado en un sondeo en el sector público y privado.

Se muestra en la tabla 5 – 1, el cálculo anticipado para los gastos directos.

Descripción	Costo
Tarjeta Controladora	S/. 59.10
Tarjeta Programadora	S/. 42.80
Variador de Velocidad - CFW-09 WEG	S/. 325.90
Motor de elevación con sistema reductor	S/. 2,688.50
Bastidor, acabados de cabina de calidad mediana, puerta de cabina corredera automática de acero pintado de 80 cm de ancho y 200 cm de alto, para ascensor de 6 personas	S/. 9,500.00
Costo por ingeniería	S/ 4500.00
Total	S/. 12,616.30

Tabla 5 - 1. Costos Directos

Los costos para los elementos mecánicos han sido tomados de proveedores internacionales.

Los costos expresados para la tarjeta controladora y la tarjeta programadora son parte de una cotización en el mercado local. El costo general de la partida asignada para la tarjeta controladora se ve detallada en la tabla 5 – 2.

Cant.	Descripción	P. Unit	Valor Venta S/.
1	Conector DB9 Hembra para impreso	1.00	1.00
1	C.I. Atmega8	13.00	13.00
1	Base para C.I. 14/lado	1.00	1.00
2	Tira de 40 espadines	1.00	2.00
1	C.I. MAX232	2.30	2.30
1	Base para C.I. 8/lado	1.00	1.00
1	Header macho (conector para FLAT de 10 pines)	1.50	1.50
1	Regulador de Voltaje 7805	1.00	1.00
1	Jack de poder	0.50	0.50
2	Leds	0.15	0.30
4	Jumper	0.15	0.60
5	Condensador Cerámico	0.10	0.50
5	Condensador Electrolítico	0.20	1.00
7	Resistencias (1/4 W)	0.04	0.30
1	Pulsador de 4 pines	0.30	0.30
1	Cristal de 16 MHz	2.80	2.80
1	Circuito Impreso	30.00	30.00
Son: VEINTINUEVE NUEVOS SOLES 10/100		Sub Total	49.64
		I.G.V.	9.46
		Total	S/. 59.10

Tabla 5 - 2. Costos de la Tarjeta Controladora.

Además de ello, se debe mencionar que la valoración asignada por concepto de desarrollo intelectual, se puede estimar como un porcentaje del tiempo dedicado al proyecto, lo cual incluye la etapa de investigación, desarrollo y prueba.

Para ello se estima el número de horas empleadas para el correcto desarrollo del proyecto. De acuerdo al calendario de actividades empleado (que se adjunta en el anexo), se han empleado un total de 203 días a una razón de 8 horas por día, que resulta en 1624 horas.

Considerando que un Ingeniero Electrónico Junior es valorado en el mercado local bajo un sueldo de S/. 28 (veintiocho nuevos soles) por hora hombre, según un sondeo en el sector público y privado, se llega a la conclusión que el monto correspondiente por concepto de ingeniería es de S/. 45,472 (cuarenta y cinco mil cuatrocientos setenta y dos nuevos soles). Es por ello que dicho monto se utiliza como base para el porcentaje asignado al costo por ingeniería final del producto.

Por otro lado, se debe mencionar lo concerniente a los gastos indirectos, que para el caso específico, aplican bajo la consideración de alquiler de equipos informáticos para la realización y verificación de la tarjeta controladora. Igualmente se considera el costo por hora que involucra la utilización de instrumentos de medición

necesarios. Además, de los gastos generales que aplican durante la realización del presente proyecto en ingeniería.

Dadas dichas consideraciones, se presenta en la tabla 5 – 3 la descripción de los gastos indirectos involucrados en el desarrollo del proyecto.

Descripción	Costo
Alquiler de Equipos Informáticos	S/. 1,000.00
Alquiler de Equipos de Medición	S/. 1,550.00
Gastos Generales	S/. 1,350.00

Total S/. 3,900.00

Tabla 5 - 3. Gastos Indirectos



CONCLUSIONES

- 1) El diseño del controlador lógico de un ascensor para un edificio de cuatro pisos pudo ser desarrollado satisfactoriamente considerando los requisitos de normas técnicas.
- 2) Se ha logrado presentar un esquema mecánico pertinente en concordancia con lo estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, así como lo referido en el Código Nacional de Electricidad y las Normas Técnicas Peruanas.
- 3) El sistema muestra su validez en términos de diseño, al haber sido realizado a través de la sinergia de la norma, leyes físicas y la electrónica.



RECOMENDACIONES

Si bien es cierto se ha logrado presentar un esquema mecánico sobre el sistema complejo que involucra el ascensor; el dimensionamiento y cálculos finales deben ser revisados por un equipo de profesionales aptos para ello, tales como lo son uno conformado por un Ingeniero Mecánico, un Ingeniero Civil y un Ingeniero Eléctrico, además del Ingeniero Electrónico. Ello debido a que existen muchos puntos que requieren de habilidades adquiridas por los profesionales mencionados.

Del mismo modo, a pesar de haber logrado pruebas modulares de cada etapa del controlador lógico diseñado, para una implementación bajo un sistema y condiciones reales, se deben realizar los acondicionamientos de señal necesarios para la compatibilidad de los sistemas.

Así mismo, se deben considerar elementos externos adicionales de seguridad, como son un detector de sobrecarga en el ascensor, un sistema de control de ventilación para la cabina, entre otros.

Además de ello, para la implementación real del sistema se requiere de una certificación que avale la seguridad y confiabilidad del mismo. Y aunque dicho proceso es largo y costo, en muchos casos, es una inversión necesaria pues resulta en un producto que para el usuario final representa un ahorro a mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] The Rise of the Elevator. (2005, October). *The Engineer*, 25.
- [2] Feng, Y., Zhang, J., & Zhao, Y.. (2009). Modeling and Robust Control of Horizontal Vibrations for High-speed Elevator. *Journal of Vibration and Control*, 15(9), 1375.
- [3] Tommi Tervonen, Henri Hakonen, & Risto Lahdelma. (2008). Elevator planning with stochastic multicriteria acceptability analysis *. *Omega*, 36(3), 352.
- [4] Hemanshu R Pota, Sunil K Agrawal, & Yuhong Zhang. (2004). A flatness based approach to trajectory modification of residual motion of cable transporter systems. *Journal of Vibration and Control*, 10(10), 1441-1457.
- [5] L Cheded, & Ma'an Al-Mulla. (2002). Control of a four-level elevator system using a programmable logic controller. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 39(2), 110.
- [6] Harry Hutchinson. (2007). NEW SAFETY CODE FOR ELEVATORS. *Mechanical Engineering*, 129(7), 11.
- [7] Willie D Jones. (2007). HOT TO BUILD A MILE-HIGH SKYSCRAPER. *IEEE Spectrum*, 44(6), 52-53.
- [8] Daniel M. Muñoz , Carlos H. Llanos , Mauricio Ayala-Rincón , Rudi H. van Els, Distributed approach to group control of elevator systems using fuzzy logic and FPGA implementation of dispatching algorithms, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v.21 n.8, p.1309-13 20, December, 2008.
- [9] Genetic And Evolutionary Computation Conference - Proceedings of the 2008 GECCO conference companion on Genetic and evolutionary computation , Atlanta, GA, USA
- [10] IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering. Vol. 3, no. 6, pp. 703-714. Nov. 2008
- [11] Ingeniería de control moderna - Ogata, Katsuhiko -Madrid : Pearson Educación, 2003
- [12] Juan Carlos Rubio Romero – Manual para la formación de nivel superior en prevención de riesgos laborales. Ed. Díaz Santos, España 2005
- [13] IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE) - <http://goldberg.berkeley.edu/t-ase/>. Junio 14, 2010

- [14] Manual Técnico del Atmega8 – <http://www.atmel.com>. . Junio 21, 2010
- [15] Vicente Blanca Giménez - Edificios Eléctricos – Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- [16] Tecnologías de Sistemas de Control – Cecilio Angulo Bahón, Cristóbal Raya Giner – Ed. UPC (Universidad Politécnica de Cataluña) Barcelona. 2004
- [17] Campbell-Kelly, Martin; Aspray, William (1996). *Computer: A History of the Information Machine*. New York: Basic Books. ISBN-10: 0465029892,
- [18] Hoja Informativa - GEN2L-NSAA-001 (0209) RHDG - <http://www.otis.com> Junio 21, 2010
- [19] Hoja Informativa - ENABLE Home and Wheelchair lift systems by OTIS. <http://www.otis.com> –Junio 21, 2010
- [20] Hoja Informativa - Elevonic R-Series featuring the OTIS ReGen Drive <http://www.otis.com>. Junio 21, 2010
- [21] Hoja Informativa – Schindler 330A Maximum efficiency in a holeless eco-friendly design <http://www.us.schindler.com>. Junio 21, 2010
- [22] Hoja Informativa – Schindler 400A Traction Elevator System When Less means more. <http://www.us.schindler.com>. Junio 21, 2010
- [23] Hoja Informativa - Operating Systems and Functions <http://www.hitachi.com.sg/eles> -. Junio 21, 2010
- [24] Hoja Informativa – Mitsubishi Electric Passenger Elevators (High-Speed Custom-Type). <http://www.mitsubishi-elevator.com>. Junio 21, 2010
- [25] Hoja Informativa com – Synergy One World One Company One Solution www.thyssenkruppelevadores.. Junio 21, 2010
- [26] Diario “El Peruano”, domingo 11 de junio de 2006, NORMAS LEGALES, p. 321207 -321286. NORMA EM. 070 TRANSPORTE MECÁNICO.
- [27] Consideraciones Técnicas para un Ascensor. <http://www.rosario.gov.ar/Reglamento/Sec35.htm>. Mayo 20, 2010
- [28] Cálculo de la Potencia de motores con carga equilibrada. <http://www.diee.unican.es/gdc/trabajos-apuntes-etc/pot-mot-2.pdf>. Mayo 20, 2010
- [29] Diseño Sísmico de Ascensores de Tracción. http://www.boroschek.cl/Ascensores_archivos/munozboroarticulo.PDF. Junio 08, 2010
- [30] Código Nacional de Electricidad. Ministerio de Energía y Minas. Ed. Enero 2006
- [31] Normas Técnicas Peruanas NTP-IEC 60034-2-1:2010. Ministerio de Energía y Minas.