



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

***Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.***

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA ASIGNACIÓN DE LLAMADAS DE HALL DE LOS ASCENSORES DEL EDIFICIO COMPUTEC**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**MARÍA FERNANDA ALBÁN TAPIA**

`mafer_alban88@hotmail.com`

**DIRECTOR: ING. KAREL ESPINOZA TORRES**

`gerencia@ide.com.ec`

**CODIRECTOR: ING. PABLO RIVERA**

`pablo.rivera@epn.edu.ec`

**Quito, Junio del 2011**

## **DECLARACIÓN**

Yo, María Fernanda Albán Tapia, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

María Fernanda Albán Tapia

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María Fernanda Albán Tapia, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Karel Espinoza Torres**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero que nada, me gustaría agradecer a Dios que con su bondad y amor infinito me ha suplido de los recursos necesarios para culminar mis estudios universitarios. Quiero agradecerle además, por haber puesto en mi camino al Padre Donald Kenny quien me ha brindado su cariño y apoyo incondicionales, convirtiéndose en el intercesor de Dios para este fin.

Mi profundo agradecimiento para mis padres que con su perseverancia, generosidad y sacrificio, han sabido entregarme diariamente su apoyo y su estímulo, mismos que han hecho posible alcanzar una de mis metas. Aspiro continuar con mis estudios para poder así, servir a mi Patria y contribuir con su desarrollo.

De manera muy especial quiero agradecer a mi director el Ing. Karel Espinoza por tener fe en mí. Sin los recursos provistos por él y su guía, este proyecto jamás se hubiera materializado y completado.

Quiero extender mi sincera gratitud a mis profesores por haberme guiado y compartido sus experiencias, las que me han ayudado durante el desarrollo de este proyecto. De manera particular, quiero agradecer a mi codirector el Ing. Pablo Rivera, por haber sido más que un profesor, un amigo, y haberme orientado y dirigido con verdadera vocación.

Me gustaría agradecer también a mis compañeros con quienes tuve el placer de trabajar durante estos años y a mis amigos Marlon Rosero y Jorge Menéndez por su comprensión y apoyo, al igual que gratos momentos de entretenimiento.

- *A mi familia* -

# CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DEL MANEJO DE ASCENSORES CONECTADOS EN UN SISTEMA DÚPLEX.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. CONCEPTOS GENERALES.....	2
1.2.1. TIPOS DE LLAMADAS.....	2
1.2.2. TIEMPO DE SERVICIO.....	4
1.2.3. TIPOS DE CONTROLADORES EN UN SISTEMA DÚPLEX DE ASCENSORES.....	4
1.3. DINÁMICA DEL MANEJO DE ASCENSORES EN GRUPO .....	5
1.3.1. CRITERIOS DE GESTIÓN PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE GRUPOS DE ASCENSORES .....	6
1.3.2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA MANEJAR ASCENSORES CONECTADOS EN GRUPO .....	13
<b>CAPÍTULO 2: ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....</b>	<b>19</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	19
2.2. SISTEMA BÁSICO DE LA ARQUITECTURA DE HARDWARE DE CONTROL DE UN SISTEMA DÚPLEX DE ASCENSORES.....	21
2.3. SISTEMA DE CONTROL DEL DÚPLEX.....	24
2.3.1. PLATAFORMA CPU.....	26
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL.....</b>	<b>45</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	45
3.2. DISEÑO DE ETAPA DE COMUNICACIÓN CON EL BUS CAN .....	47
3.2.1. INICIALIZACIÓN DEL SJA1000T .....	48
3.2.2. PROCESO DE COMUNICACIÓN .....	54
3.2.3. PASO Y BORRADO DE LLAMADAS .....	62

3.3. DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL PARA LA ASIGNACIÓN DE LLAMADAS DE HALL .....	68
3.3.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO DEL EDIFICIO COMPUTEC .....	70
3.3.2. ASIGNACIÓN DE LLAMADAS .....	75
<b>CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE.....</b>	<b>106</b>
4.1. INTRODUCCIÓN .....	106
4.2. HMI.....	107
4.2.1. DISEÑO DE LA COMUNICACIÓN ENTRE EL HMI Y EL CONTROLADOR DEL SISTEMA DÚPLEX DE ASCENSORES .....	108
<b>CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>119</b>
5.1. INTRODUCCIÓN .....	119
5.2. COMUNICACIÓN CON EL BUS CAN.....	120
5.3. ALGORITMO BASE PARA LA ASIGNACIÓN DE LLAMADAS DE HALL	122
5.3.1. PRUEBAS Y CORRECCIONES.....	122
5.3.2. RESULTADOS .....	125
5.4. ALGORITMOS ADICIONALES PARA LA ASIGNACIÓN DE LLAMADAS DE HALL.....	126
5.5. HMI.....	127
5.5.1. HMI PARA EL MONITOREO DEL SISTEMA .....	127
5.5.2. HMI PARA LA CONFIGURACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES DEL CONTROLADOR DÚPLEX .....	127
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>129</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	129
6.2. RECOMENDACIONES .....	130

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

# RESUMEN

Este proyecto busca enfatizar el manejo de sistemas dúplex de ascensores empleados para el transporte eficiente de los usuarios en el interior de edificaciones verticales. A continuación se detalla de manera breve el contenido de cada uno de los capítulos a desarrollarse en este trabajo.

## ***CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DEL MANEJO DE ASCENSORES CONECTADOS EN UN SISTEMA DÚPLEX***

En este capítulo se explican los aspectos principales relacionados con el manejo de ascensores conectados en dúplex, así como algunos de los métodos de control que se han desarrollado para mejorar la eficiencia de este tipo de sistemas.

## ***CAPÍTULO 2: ARQUITECTURA DEL SISTEMA.***

Este capítulo describe la función y relaciones de cada uno de los elementos que componen la plataforma de hardware del controlador del dúplex y da una visión general de toda la parte física que constituye el sistema con el fin de comprender la dinámica de su funcionamiento.

## ***CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL.***

En este capítulo se detalla el diseño del algoritmo de control que permite la administración de las llamadas de hall del sistema explicando, las acciones programadas para cada una de las condiciones establecidas, así como el algoritmo adicional para la optimización de los tiempos de espera máximos.

## ***CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE.***

Este capítulo presenta el software desarrollado para complementar la función del controlador del dúplex, este consiste en dos HMIs, una de las cuales permite la visualización del funcionamiento del sistema y la otra que se emplea para cargar las condiciones iniciales de trabajo del sistema.

## ***CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS.***

En este capítulo se muestra los resultados obtenidos después de implementar el controlador del dúplex en el sistema y las correcciones que se efectuaron a lo largo del proceso.

## ***CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.***

Las conclusiones y recomendaciones de este proyecto se muestran en este capítulo y están basadas en la experiencia obtenida mediante el diseño, implementación y pruebas del mismo.

## **PRESENTACIÓN**

Debido al acelerado crecimiento poblacional en las grandes ciudades, la construcción de edificios de gran altura ha aumentado considerablemente y con ello, ha nacido la necesidad de realizar sistemas de transporte vertical más eficientes que ayuden a los usuarios en dichas edificaciones a moverse de una manera más óptima minimizando en lo posible los recursos disponibles.

La densidad de personas en edificios, especialmente, en aquellos en que se realizan actividades comerciales, es en ocasiones tan elevada, que se requiere disponer de más de un ascensor para trasladarlas en el interior de los mismos. Aquellos sistemas que cuentan con un grupo de ascensores para la movilización vertical de sus usuarios deben contar adicionalmente con un método de administración de llamadas de hall acorde a sus características de tráfico y a otros requerimientos propios de los mismos.

En este trabajo se busca dar una solución a la necesidad de manejo de sistemas dúplex de ascensores, y de manera especial diseñar un algoritmo de control que permita operar de manera eficiente el sistema dúplex de ascensores del edificio COMPUTEC, remodelado por I&DE S.A. y su línea KEYCO ascensores; lo que se busca es diseñar un sistema que atienda de manera satisfactoria la demanda de transporte al interior del edificio antes mencionado, usando el hardware existente.



# **CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DEL MANEJO DE ASCENSORES CONECTADOS EN UN SISTEMA DÚPLEX**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

Uno de los mayores retos que enfrentan las industrias dedicadas al transporte vertical hoy en día, es el de trasladar de manera eficiente a sus usuarios especialmente debido al aumento considerable del flujo de pasajeros que se movilizan al interior de los edificios [6], [30], [32], para ello; se realizan estudios de tráfico de acuerdo al tipo de edificación que se tiene y a la densidad de usuarios a transportar con el fin de determinar el número de elevadores necesarios y la estrategia de control que permita un manejo óptimo de los pasajeros.

Cuando la densidad de personas en un edificio es muy elevada es necesario implementar más de un ascensor para movilizarlas de manera eficiente dentro del mismo, siendo más comunes en nuestro medio los sistemas dúplex de ascensores. Ahora bien, el aumento del número de elevadores no es suficiente para enfrentar de manera apropiada este problema, ya que; su funcionamiento de manera independiente resulta ineficiente y un desperdicio de recursos, por ello; es ineludible establecer una estrategia de control que permita manejar los ascensores grupalmente. Esta estrategia de control implica el aditamento de un controlador de grupo que administre las llamadas de hall del sistema asignándolas al elevador que presente las mejores condiciones para atenderla.

Los controladores de grupo son ampliamente usados para operar de manera eficiente grupos de ascensores, su función es asignar un ascensor en servicio a cada nuevo pasajero que efectúa una llamada de hall. Esta asignación implica una planificación en tiempo real del sistema realizando una optimización máxima de los recursos disponibles.

Los controladores de grupo deben considerar parámetros como: flujo de tráfico del edificio, tiempos de espera y viaje de los usuarios, consumo de energía del sistema, etc., para en función de estos establecer el método de control adecuado para operar el grupo de elevadores.

## **1.2. CONCEPTOS GENERALES**

La comprensión de sistemas de grupos de ascensores requiere primeramente del conocimiento de los algunos conceptos básicos que nos permitirán la familiarización con la terminología usada en el tratamiento de los mismos.

### **1.2.1. TIPOS DE LLAMADAS**

Un ascensor dispone esencialmente de dos tipos de llamadas:

- *Llamadas de hall:* Estas llamadas se efectúan al presionar un botón ubicado en el hall de cada uno de los pisos que recorre el ascensor, tal como se muestra en la Figura 1.1. Dependiendo, del modelo del ascensor se puede disponer de un solo botón para efectuar la llamada o de dos. Cuando se dispone de dos botones, el usuario puede escoger el de desplazamiento ascendente o descendente, de acuerdo a la dirección de viaje deseada, para este modelo consecuentemente, se debe tener en cuenta que, en los pisos primero y último se dispondrá de un solo botón para realizar una llamada de subida o de bajada correspondientemente. En cualquiera de los dos casos, un solo botón o dos, la llamada de hall no proporciona información acerca del piso destino final del usuario.



**Figura 1.1: Llamada de Hall [1]**

- *Llamadas de cabina:* Estas llamadas se realizan presionando uno de los botones ubicados en el interior de la cabina del ascensor como se observa en la Figura 1.2. En la botonera de cabina el usuario escoge el piso al que desea movilizarse.



**Figura 1.2: Llamada de Cabina [2]**

### 1.2.2. TIEMPO DE SERVICIO

Tiempo de servicio es el lapso de tiempo entre el registro de una llamada y el arribo del pasajero al piso de destino. Al tiempo de servicio se lo puede dividir en dos partes [3]:

- *Tiempo de espera:* Es el período de tiempo que un usuario debe esperar desde que realiza una llamada hall hasta que el ascensor lo recoge [3], [4].
- *Tiempo de viaje:* Es el período de tiempo que invierte un pasajero desde que el ascensor lo recoge, hasta alcanzar su piso destino es decir, es el tiempo que el usuario permanece en el interior de la cabina del ascensor [3], [4].

### 1.2.3. TIPOS DE CONTROLADORES EN UN SISTEMA DÚPLEX DE ASCENSORES

Un sistema de control para un grupo de ascensores está compuesto básicamente por: un controlador de ascensor por cada uno de los ascensores del grupo y un controlador de grupo. La función de cada uno de estos, se detalla a continuación:

- *Controlador de ascensor:* Es el cerebro que comanda y controla el funcionamiento de un ascensor. Está encargado del movimiento de la cabina, apertura y cerrado de puertas, interpretación de la información que envían los sensores y aplicación de las acciones que corresponden y control de seguridades.
- *Controlador dúplex:* Es el encargado de asignar las llamadas de hall a cada uno de los ascensores del sistema.

### 1.3. DINÁMICA DEL MANEJO DE ASCENSORES EN GRUPO

Puesto que un sistema dúplex de ascensores constituye una parte de los sistemas de ascensores en grupo se analizará en general el manejo de ascensores en grupo.

Existen varios criterios a la hora de elaborar un sistema para administrar las llamadas de hall de un grupo de elevadores de manera eficiente como son: disminución de tiempos de espera y viaje de los usuarios, reducción del consumo de energía del sistema, servicio en función de los patrones de tráfico del edificio, etc. Sin embargo, la minimización de cualquiera de estos criterios resulta un complicado problema debido a que la dinámica del sistema cuenta con una serie de incertidumbres como son [31]:

- No se conoce el tiempo que le tomará a un ascensor atender una llamada de hall ya que éste; está indexado a la posición, dirección y velocidad de las cabinas, el número de pasajeros dentro de cada cabina, y el número de usuarios en espera en cada piso [31].
- El movimiento de un ascensor está completamente determinado por sus llamadas de cabina y hall actuales pero, el programa del controlador de grupo cambia constantemente porque depende de la futura llegada de los pasajeros, que es un proceso de eventos que contiene tres tipos de incertidumbre: la hora de llegada, el piso de la llegada, y el destino final del pasajero [31].
- Si se trata de un sistema dinámico que permite revocar las asignaciones anteriores para reasignarlas a nuevos ascensores un número elevado de llamadas tienen que ser consideradas en un corto período de tiempo [31].

Adicionalmente, se deben considerar las siguientes restricciones inherentes a un elevador [5]:

- El número de pasajeros que puede atender cada ascensor, está limitado a la capacidad máxima de peso que soporte la cabina.

- Cada cabina puede atender únicamente una llamada en cada instante.
- Un ascensor para únicamente en los pisos donde tenga llamadas de cabina o de hall es decir, solo en aquellos pisos donde un usuario requiera subir o bajar.
- Un ascensor siempre atiende sus llamadas de manera secuencial en la dirección del mismo y la última en sentido contrario y no puede saltarse ninguna dirección destino de los pasajeros que lleve a bordo.
- La dirección de viaje de un ascensor no cambia hasta que haya atendido todas sus llamadas de cabina.

### **1.3.1. CRITERIOS DE GESTIÓN PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE GRUPOS DE ASCENSORES**

Los criterios de gestión de los algoritmos empleados para administrar sistemas de grupos de ascensores deben responder a un amplio espectro de necesidades, que corresponden tanto al funcionamiento global de sistema, como al nivel de servicio al usuario.

En cuanto al funcionamiento global del sistema se citan como criterios [5]:

- Minimizar el consumo de energía del sistema.
- Maximizar la capacidad manejada global del grupo de ascensores; es decir el volumen de viajeros transportados.

En cuanto al nivel de servicio ofrecido al usuario [5]:

- Minimizar el tiempo medio de espera de los pasajeros.
- Minimizar el tiempo máximo de espera de los usuarios.
- Minimizar el tiempo medio de viaje de todos los pasajeros.
- Minimizar el tiempo medio de sistema de los usuarios, que incluye la suma de tiempo medio de espera y tiempo medio de viaje.

El programador del controlador de grupo debe por lo tanto, analizar las características y patrones de tráfico del edificio donde se desea implementar un sistema de ascensores en grupo, para poder priorizar el criterio a utilizar.

#### **1.3.1.1. Consumo de energía del sistema**

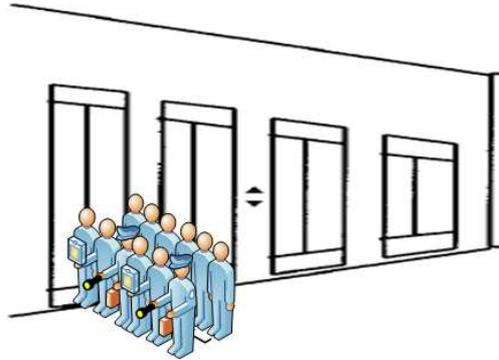
Uno de los principales desafíos de la tecnología actual es desarrollar sistemas que tiendan a la eficiencia energética. Un controlador de grupo diseñado apropiadamente puede contribuir de manera significativa a este fin, asignando las llamadas de hall de modo que se minimice la distancia total que tenga que recorrer cada ascensor del grupo para atender una llamada. Es importante, puntualizar que la minimización del consumo de energía puede incidir en el aumento del tiempo de espera de los usuarios. Es por tanto, responsabilidad del diseñador del controlador de grupo, decidir que es más importante priorizar; el tiempo de espera promedio de los usuarios o el consumo global de energía, en el edificio donde se desea implementar un sistema de ascensores en grupo.

#### **1.3.1.2. Capacidad global manejada por un grupo de elevadores**

El volumen de pasajeros transportados por cada una de las cabinas de un grupo de ascensores puede ser manejado de manera equilibrada y dinámica mediante una planificación de tráfico que implique el análisis y cambio de la distribución de los ascensores en el edificio de acuerdo a los diferentes patrones de tráfico que presente a lo largo del día. Con esto, se busca que el volumen de usuarios del grupo de ascensores sea distribuido de manera uniforme a cada una de los elevadores del grupo y evitar las aglomeraciones en uno solo o en una parte de las cabinas que conforman el sistema.

A menudo, los usuarios de un grupo de ascensores suelen agruparse a la expectativa del ascensor que arribe primero, como se aprecia en la Figura 1.3, y cuando este llega; ingresan en él la máxima cantidad de pasajeros posible,

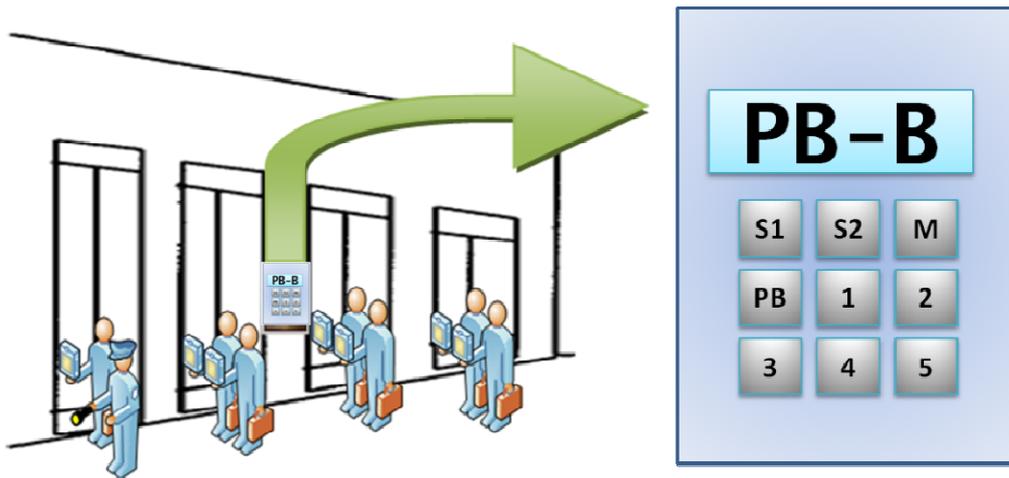
sin importar en ocasiones que su piso destino no esté acorde con la dirección de viaje del elevador provocando un funcionamiento ineficiente del sistema.



**Figura 1.3: Usuarios de un grupo de ascensores agrupados a la espera de uno solo de ellos**

Esta situación puede ser evitada si se dispone de un sistema que le permita al usuario ingresar su piso de destino final a través de un panel operativo ubicado en el hall de cada uno de los pisos que recorren los elevadores, como se presenta en la Figura 1.4, este panel indicará a cada pasajero cual ascensor debe tomar de acuerdo a la petición realizada.

La inclinación hacia un sistema de este tipo debe ser analizada cuidadosamente debido a que si bien permite mejorar enormemente el desempeño de un grupo de ascensores no considera situaciones que pueden retrasar el funcionamiento normal del ascensor, como por ejemplo; que una persona olvide algo en su departamento u oficina y que otra detenga la puerta mientras ésta regresa buscando lo que olvidó, tomando en cuenta que la asignación se realiza el momento mismo de la llamada y se muestra en el panel de hall, el ascensor que debe tomar el pasajero de acuerdo a su petición, la reasignación de llamadas resulta un problema y un pasajero al que se le haya asignado el mismo ascensor en otro piso deberá esperar a pesar de que las condiciones del grupo de elevadores hayan cambiado y exista otro más ocionado para atenderlo; es decir que este método no considera la dinámica del sistema y puede resultar en algunos casos ineficiente.



**Figura 1.4: Usuarios de un grupo de ascensores distribuidos uniformemente**

La capacidad global manejada por un grupo de elevadores, es uno de los criterios más difíciles de optimizar, debido a que cuando un pasajero hace una petición de hall, sea o no que se conozca su piso destino, el número de pasajeros esperando en dicho hall por uno de los elevadores, es incierto ya que; si hay un grupo de personas en un piso que desean subir solo una de ellas presiona el botón para realizar la solicitud deseada, en consecuencia el sistema no puede prever el número de pasajeros en espera. El mismo problema se produce cuando se tiene una botonera de hall que permite ingresar el piso destino del usuario debido a que, si en el hall de un piso hay varias personas que quieren dirigirse al mismo piso, la solicitud es receptada una sola vez, asignando a todas esas personas el mismo elevador independientemente de si sea una o más.

### **1.3.1.3. Tiempo medio de espera de los pasajeros**

Esperar por un elevador es una situación que todos hemos experimentado por ello, el criterio de desempeño habitual que se optimiza al programar controladores de grupo es el tiempo promedio de espera de todos los pasajeros en el sistema, es decir, el período de tiempo desde el momento en que un

pasajero llega y realiza una llamada hasta el momento en que uno de los ascensores del grupo lo recoge.

El tiempo de espera está unido a parámetros como:

- Posición de los ascensores
- Dirección de los ascensores
- Estado de movimiento de los ascensores (aceleración, velocidad, desaceleración)
- Piso de parqueo de los ascensores
- Estado de las puertas (abiertas, abriendo, cerradas, cerrando)
- Tiempo de apertura de puertas
- Tiempo de cerrado de puertas
- Número de llamadas de cabina
- Número de llamadas de hall asignadas
- Número de paradas previas
- Número de ascensores en servicio
- Estado de carga del ascensor
- Reapertura de puertas

Por consiguiente, la reducción del tiempo de espera promedio de los usuarios del sistema debe buscar un método que permita el cálculo del mismo mediante la combinación todos estos factores para que el controlador del grupo asigne cada llamada pendiente al ascensor que presente el menor tiempo para atenderla. Esta asignación debe ser tomada adicionalmente, considerando el total de pasajeros en espera que tiene el sistema de grupo de ascensores a cada instante.

#### **1.3.1.4. Tiempo máximo de espera de los usuarios**

Una opción adicional en el diseño de algoritmos para controladores de grupo es el control para tiempos de espera máximos. Para ello se incorpora una variable

que acumula el tiempo de espera asociado a cada llamada de hall [6]. En caso de que se supere un valor establecido se envía una cabina que se encuentre libre para que tome aquellas llamadas que a pesar de haberse asignado inicialmente a otra cabina no han sido atendidas después del tiempo programado.

Este “tiempo de ayuda” permite evitar al usuario esperar por tiempos muy prolongados cuando el ascensor asignado para atender su llamada rebasa un tiempo máximo determinado para atenderla y el grupo cuenta con ascensores disponibles para tomar esa petición.

Para poner en práctica esta opción de diseño se requiere de un sistema dinámico que permita la reasignación de llamadas, de acuerdo a las condiciones actuales del sistema de control de grupo a cada instante.

#### **1.3.1.5. Patrones de tráfico**

Es muy importante al momento de abordar un estudio sobre transporte vertical establecer el tipo de edificios al que se dirige el sistema (edificios altos o bajos, de uso profesional o vivienda y a las subclases de estos) además de los datos disponibles relativos a la identificación del patrón de tráfico en el edificio, y si este es conocido o es necesario establecerlo [6].

En general, el flujo de tráfico se analiza a fin de determinar el periodo crítico y en que parte del día se encuentra la mayor demanda de usuarios, así las compañías de ascensores pueden estimar primeramente la calidad de servicio que el sistema está en capacidad de prestar y en segundo término la cantidad de servicio que pueden cubrir. Los principales parámetros que intervienen en un análisis de tráfico son la población del edificio que usará el sistema de transporte y los patrones de tráfico del inmueble.

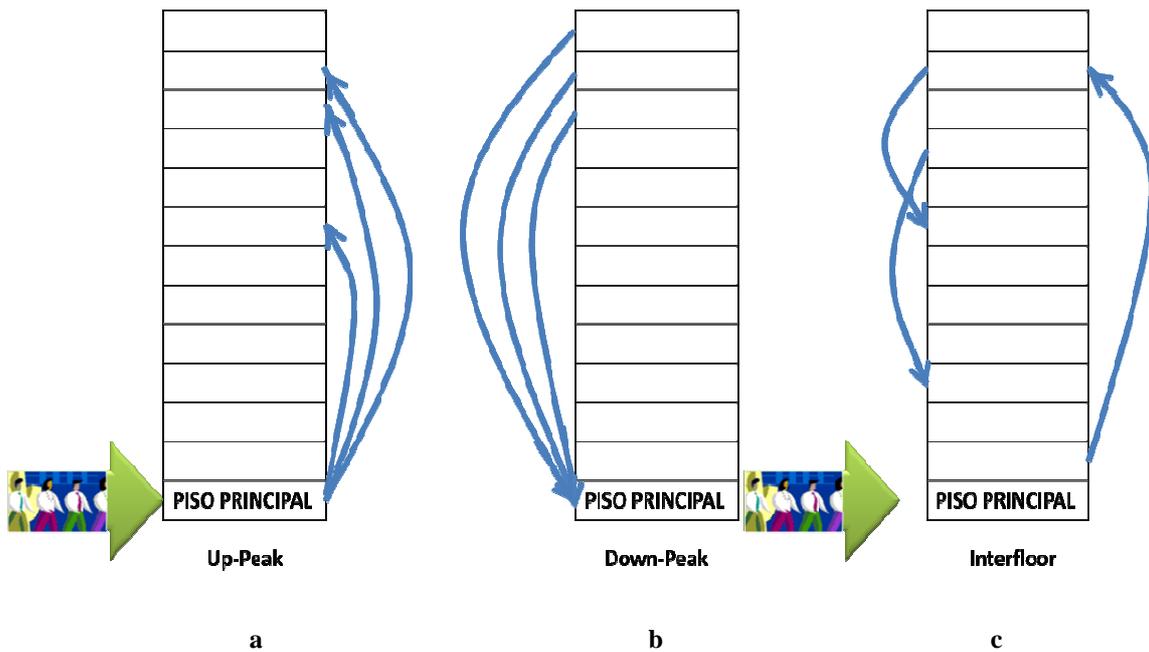


Figura 1.5. Patrones de tráfico tradicionales en un edificio de oficinas [7]

Tradicionalmente se diferencian cuatro patrones de tráfico, de especial interés, según el instante del día que caractericen:

*Up Peak:* se refiere al tramo horario coincidente con el acceso al edificio, y por tanto se producen viajes de subida desde la planta baja (Figura 1.5a) [6].

*Downpeak:* se refiere al tramo horario coincidente con el abandono del edificio, y por tanto se producen viajes de bajada desde las diferentes plantas a la baja [6] (Figura 1.5b).

*Lunchpeak:* se refiere al tramo horario en el que el edificio se abandona para ir a comer, pero también se accede a él tras venir de comer, dándose una mezcla de los patrones *uppeak* y *downpeak* [6].

*Interfloor:* se refiere al resto de tramos horarios donde existe la probabilidad de viajes entre plantas (este patrón sólo se produciría en edificios destinados a uso profesional y en ese tramo horario específico) [6] (Figura 1.5c).

## 1.3.2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA MANEJAR ASCENSORES CONECTADOS EN GRUPO

### 1.3.2.1. Control Convencional

El algoritmo de control convencional sigue el principio de proximidad y debido a la sencillez de su implementación es el más usado en edificaciones residenciales y algunos edificios de oficinas [8].

Al utilizar este algoritmo se tiene, que si dos ascensores compiten por una llamada el que la atienda será aquel que se encuentre más cerca de la misma y que además lleve la misma dirección del pasajero [8], como se muestra en la Figura 1.6. Desde esta perspectiva el criterio de desempeño más importante para el algoritmo de control convencional es el tiempo que el usuario espera para que se atienda su llamada y con base en este criterio busca disminuir los tiempos de espera de los usuarios [8].

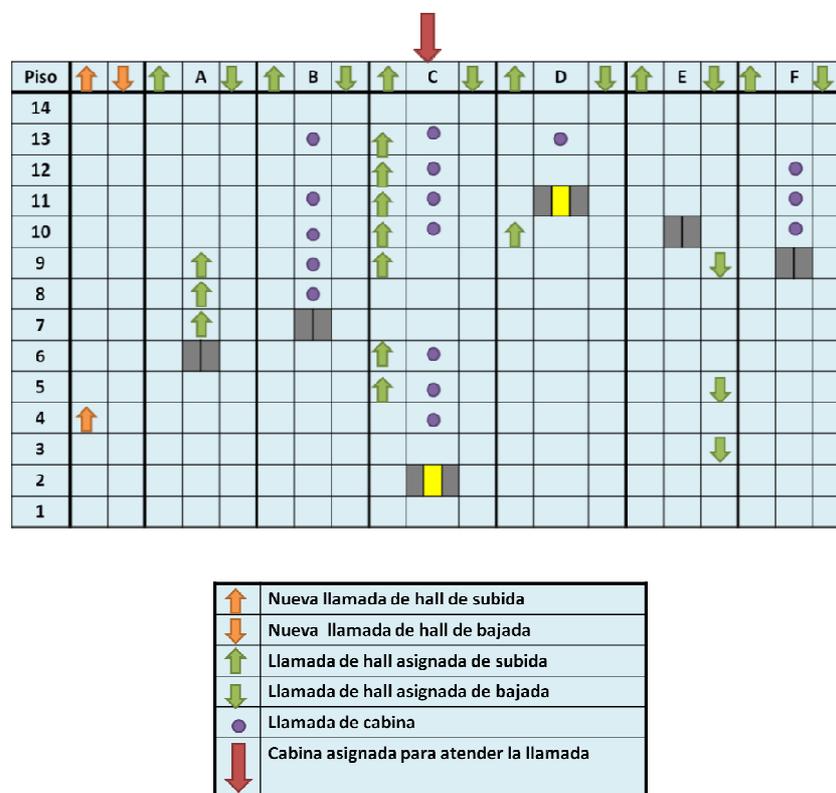


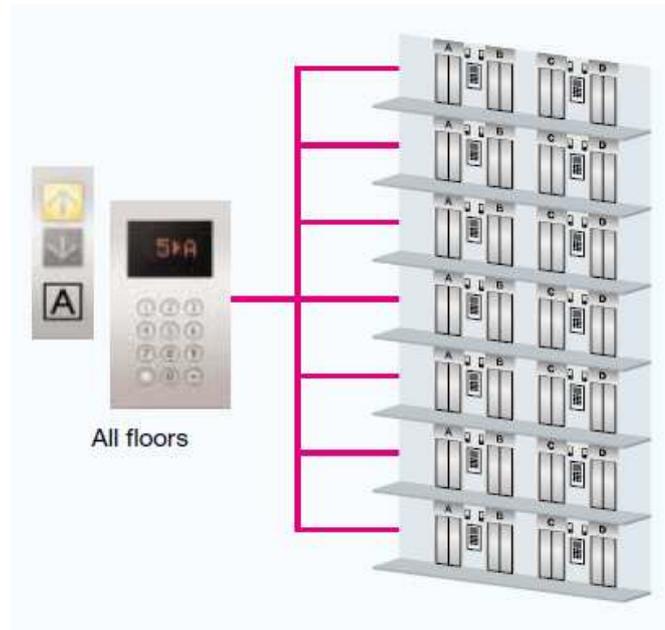
Figura 1.6: Funcionamiento del algoritmo convencional en un sistema de grupo de ascensores

El algoritmo de control convencional es el que se usará en este proyecto debido a que se adapta perfectamente a la dinámica del sistema en estudio, permitiendo la reasignación de llamadas.

### **1.3.2.2. Lógica Difusa**

La lógica de conjuntos difusos o borrosos como su nombre lo indica, trabaja con conjuntos que no tienen límites perfectamente definidos, es decir, la transición entre la pertenencia y no pertenencia de una variable a un conjunto, es gradual [9], [10], [11]. Se caracteriza por las funciones de pertenencia, que dan flexibilidad a la modelación usando expresiones lingüísticas, tales como cerca, lejos, cargado, etc. y aplica reglas de control: si está muy cerca y está poco cargado, si está muy poco congestionado o todas las cabinas están muy lejos, etc.

Un algoritmo basado en lógica difusa para el controlador de un grupo de ascensores busca mejorar el desempeño que se obtiene con un algoritmo de control convencional, mediante la inclusión de varios objetivos que se evalúan simultáneamente como reglas de decisión. Sin embargo, un controlador basado en lógica difusa para un sistema de grupo de elevadores debe conocer el piso origen y el piso destino de la llamada para hacer una estimación más acertada y poder cumplir los objetivos de control [8]. Para obtener el piso destino de la llamada de cada pasajero es necesario colocar en cada piso en donde el usuario llame un ascensor una botonera como la que se indica en la Figura 1.7 para que en ésta se indique el piso hacia el que se dirige. Esta matriz provee de información más exacta al controlador de grupo y permite elevar la eficiencia mediante la agrupación de los pasajeros en los elevadores de acuerdo a su destino; pero también limita la libertad de decisiones puesto que una vez que una cabina ha sido asignada a un usuario el número de la cabina aparece en la terminal ubicada en el hall, haciendo que el usuario se movilice hacia la puerta del elevador que se le ha asignado, lo cual lo vuelve muy inconveniente para reasignar su llamada a otro elevador más tarde.



**Figura 1.7: Matriz de botones en el hall de todos los pisos para conocer el piso destino de los pasajeros [12]**

### 1.3.2.3. Inteligencia Artificial

#### 1.3.2.3.1. Control por red neuronal

Las redes neuronales artificiales son circuitos, algoritmos computacionales o representaciones matemáticas del enorme conjunto de neuronas que forman las redes biológicas neuronales. Las redes neuronales artificiales intentan imitar el proceso de aprendizaje del cerebro humano [13].

Una red neuronal aplicada al sistema de control de un grupo de elevadores funciona de la forma que el estado de cada una de las cabinas es convertido a valores numéricos para usarse como entradas de la red neuronal. Las señales de entrada de la red neuronal son transmitidas capa por capa en la red neuronal de acuerdo a la fuerza de los pesos de conexión hasta alcanzar todas las salidas de las neuronas. En consecuencia, una determinada llamada de hall será asignada al ascensor cuyo valor de activación en la capa de salida sea más grande [14].

El uso de redes neuronales en sistemas de elevadores permite aprender del tráfico del sistema automáticamente por lo que pueden ser empleadas en una amplia variedad de edificios pero, al igual que en un algoritmo difuso, en una red neuronal es necesario conocer el piso destino final del pasajero para mejorar la eficiencia de la asignación.

#### 1.3.2.3.2. Algoritmos genéticos

Un algoritmo genético es una estructura de control que organiza o dirige un conjunto de transformaciones y operaciones, para simular un proceso de evolución en el cual se pueden encontrar soluciones aproximadas a problemas de gran complejidad [15].



**Figura 1.8: Ciclo evolutivo de un algoritmo genético [16]**

Los Algoritmos Genéticos son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin, como se indica en la Figura 1.8. Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas [15].

Un algoritmo genético consiste en una función matemática o una rutina de software que toma como entradas a los ejemplares y retorna como salidas cuáles de ellos deben generar descendencia para la nueva generación [15].

Versiones más complejas de algoritmos genéticos generan un ciclo iterativo que directamente toma a la especie (el total de los ejemplares) y crea una nueva generación que reemplaza a la antigua una cantidad de veces determinada por su propio diseño. Una de sus características principales es la de ir perfeccionando su propia heurística en el proceso de ejecución, por lo que no requiere largos períodos de entrenamiento especializado por parte del ser humano, principal defecto de otros métodos para solucionar problemas, como los Sistemas Expertos [15].

#### **1.3.2.4. Sistemas expertos**

Un "Sistema experto" incluye la materia gris que respalda al Control. Se denomina Sistema Experto porque incorpora el conocimiento práctico y la experiencia de los expertos de control de grupos de ascensores reales, que forman una "Base de datos de conocimiento" almacenada dentro de la memoria del sistema. El objetivo es elevar al máximo la eficacia operativa de cada cabina diseñándola a partir de la Base de datos de conocimientos y aplicando entonces las reglas de decisiones para supervisar y analizar las condiciones de tráfico [17].

Un sistema experto puede complementar sistemas cuya base de control sea la lógica difusa o la inteligencia artificial.

#### **1.3.2.5. Zonificación**

En edificios de gran altura se suele utilizar una estrategia denominada zonificación que consiste en dividir al edificio en zonas. Estas zonas son asignadas a cada uno de los ascensores del grupo de modo que, cada uno se

encarga de atender las llamadas de hall que se producen dentro de su zona y se parkea ahí cuando esté desocupado. La meta de la zonificación es mantener los ascensores razonablemente separados y por consiguiente lograr reducir las aglomeraciones de pasajeros. Esta estrategia es muy robusta en sistemas de tráfico pesado y ofrece mucha flexibilidad [18], [33].

Un ejemplo de zonificación, se puede visibilizar en un edificio de 60 pisos con planta baja y 5 subsuelos, la estrategia de zonificación para esta edificación se podría asumir de modo que, todos atiendan a los subsuelos y PB. Posteriormente la distribución de elevadores si estos fueran igual a 6 se podría efectuar haciendo que, dos de ellos atiendan las llamadas de los pisos del 1 al 20, otros dos las llamadas del 20 al 40 y por último los 2 restantes atenderían las llamadas del 40 al 60.

## CAPÍTULO 2: ARQUITECTURA DEL SISTEMA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

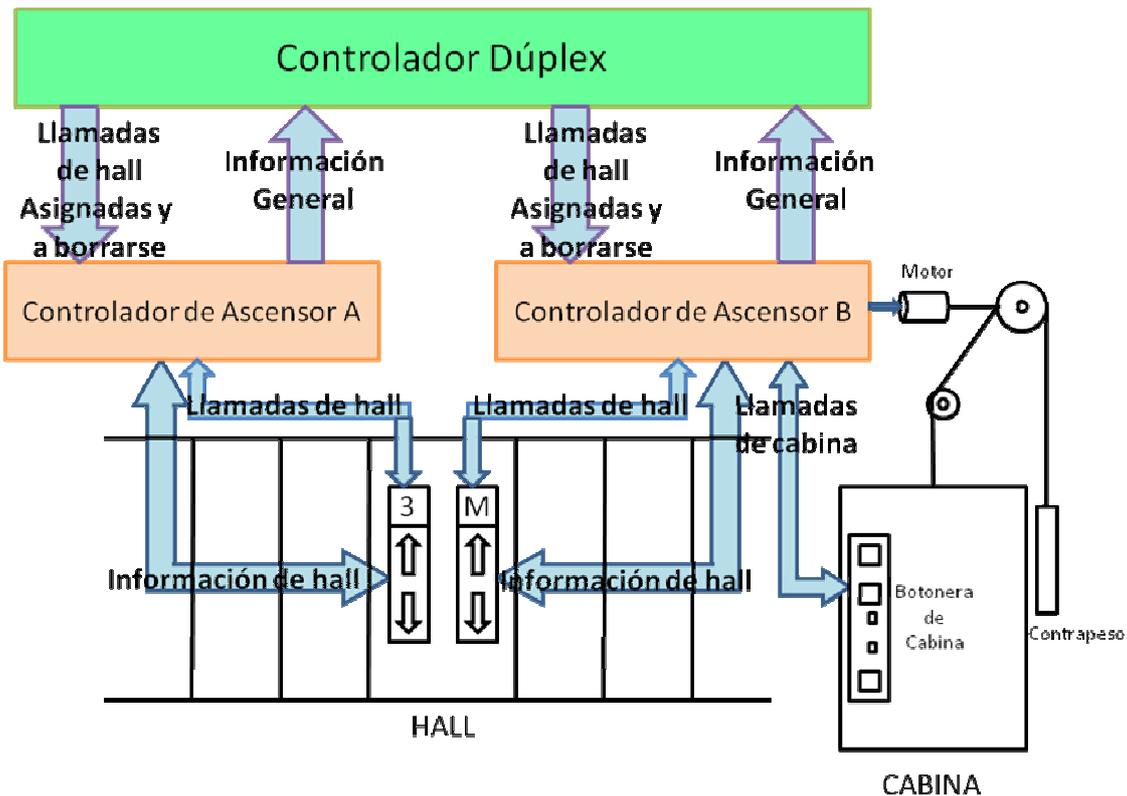


Figura 2.1: Arquitectura de un sistema dúplex de ascensores

El control de los elevadores KEYCO de la empresa I&DE está distribuido en sus componentes; el movimiento de la cabina y las botoneras tienen su propio control microprocesado. El sistema dúplex de elevadores tiene cuatro tareas principales que tienen control propio. Uno de los controladores se encarga del movimiento de los ascensores de un piso a otro, apertura y cerrado de puertas y manejo de los dispositivos periféricos en la cabina, dos se encargan del registro de llamadas, el uno de las de cabina y el otro de las de hall, y por último el controlador de grupo que se encarga de asignar el elevador más apropiado a cada llamada de hall.

La arquitectura del sistema dúplex de los elevadores en estudio tal como se muestra en la Figura 2.1, es la manera de organizar y proveer las relaciones entre los diferentes componentes del sistema (hardware y software).

Los controladores individuales de cada ascensor y el controlador del dúplex están situados en el cuarto de máquinas. El controlador del dúplex administrará las llamadas de hall de los ascensores y decidirá donde debe parar cada una de las cabinas para atender una llamada de hall. Funciones en el interior de cada cabina, tales como, movimiento de la cabina, control de la puerta, y la medición de la carga de la cabina, son manejadas por el control de cada ascensor. Por otro lado, la comunicación entre todos los elementos que forman el sistema se realiza a través de una red CAN (Controller Area Network).

La arquitectura del sistema dúplex de elevadores está diseñada de acuerdo a las siguientes características:

- El sistema consta de módulos cada uno de los cuales trata con una tarea particular en un ambiente local limitado.
- La arquitectura permite la implementación de diferentes módulos progresivamente.
- La relación entre los diferentes módulos y tareas del grupo de elevadores se realiza a través de una red CAN.
- El sistema se ajusta a la ejecución de órdenes de los módulos automáticamente de acuerdo a las diferentes condiciones de trabajo que enfrenta el sistema de grupo de ascensores.
- La interfaz entre todos los módulos que conforman el sistema se realiza mediante el controlador de cada ascensor, que actúa como master ya que; maneja las comunicaciones entre las botoneras de cabina y hall y el controlador de grupo, además interpreta las señales de los todos los sensores y seguridades, y envía las señales al variador de acuerdo a las necesidades de movimiento de la cabina.

Otro aspecto de la arquitectura del grupo de ascensores en cuestión es la compatibilidad entre los distintos componentes y herramientas, lo que permite

añadir, modernizar y cambiar los componentes de acuerdo a las necesidades de mejoramiento o modernización de los sistemas de control o a su vez el desarrollo de nuevos módulos y elementos o mejoras en el programa de control.

## **2.2. SISTEMA BÁSICO DE LA ARQUITECTURA DE HARDWARE DE CONTROL DE UN SISTEMA DÚPLEX DE ASCENSORES**

El análisis de las tareas de control del sistema dúplex de ascensores en estudio permite resaltar los siguientes sistemas de hardware, mismos que se observan en la Figura 2.2:

- Control de grupo
- Control principal de cada ascensor
- Control de botonera de cabina
- Control de botonera de hall
- Variador de velocidad
- Comunicaciones
- Sensores
- Seguridades
- Alimentación
- Señalización
- HMI

El *Sistema de Control de Grupo* del sistema de ascensores del edificio Computec, realizará las tareas de recepción, procesamiento y transmisión de datos. Este sistema generará el algoritmo de control para la asignación de llamadas de hall de acuerdo a la información que reciba del controlador de ambos ascensores y transmitirá los resultados al sistema de control de cada uno de los ellos.

El *Sistema de Control de Cada Ascensor* es sin duda el “cerebro” que comanda y controla todo el funcionamiento de un ascensor. Tiene injerencia en los elementos de seguridad, en la apertura y cierre de puertas, en la interpretación de la información que envían los sensores y consecuentemente en las acciones que corresponden, en la puesta en marcha y detención de la cabina, etc. En definitiva tiene múltiples funciones de accionamiento, puesta en marcha, detención y control de seguridades. Dependiendo del tipo de control, también ejecuta algunas acciones especiales y programables.

Los *Sistemas de Control de Botonera de Cabina y de Botonera de Hall* se encargan de recibir las llamadas de cabina y hall respectivamente, mostrarlas en los displays correspondientes y transmitirlos al sistema de control del ascensor.

El *Variador de Velocidad* como su nombre lo indica, se encarga del control de velocidad del ascensor, para satisfacer requerimientos como [34]:

- Confort de viaje: El movimiento del ascensor debe ser suave con valores aceptables de aceleración, deceleración y límites en el jerk (denominado también impulso, es la derivada de la aceleración con respecto al tiempo) para asegurar la calidad del viaje a los pasajeros transportados [34].
- Alta cadencia de arranques y paradas / hora que imponen límites térmicos a los componentes del sistema de movimiento.
- Precisión y exactitud en la nivelación del ascensor en las distintas paradas con diferentes estados de carga [34].
- Frenado Eléctrico. Dependiendo de las características de la instalación (contrapeso, etc.), dirección de marcha, estado de carga y velocidad el ascensor puede requerir un torque negativo para respetar la curva de viaje; esto significa que la energía mecánica es devuelta desde el ascensor a través del motor, actuando como generador, al sistema de variación de velocidad. Este proceso suele denominarse regeneración de energía. El sistema de control del movimiento debe tener capacidad de manejar y controlar la energía regenerada por el ascensor a fin de asegurar el cumplimiento de las características del viaje y la nivelación

en todo estado de funcionamiento normal del ascensor [34]. En el presente caso, esta energía se disipa en las resistencias de frenado.

El *Sistema de Comunicaciones* permite establecer una comunicación bidireccional entre el sistema de control de cada ascensor con el sistema de control de grupo, el sistema de control de botonera de cabina y el sistema de control de botonera de hall. La comunicación se realiza mediante un controlador CAN ubicado en la tarjeta de control de cada uno de estos sistemas.

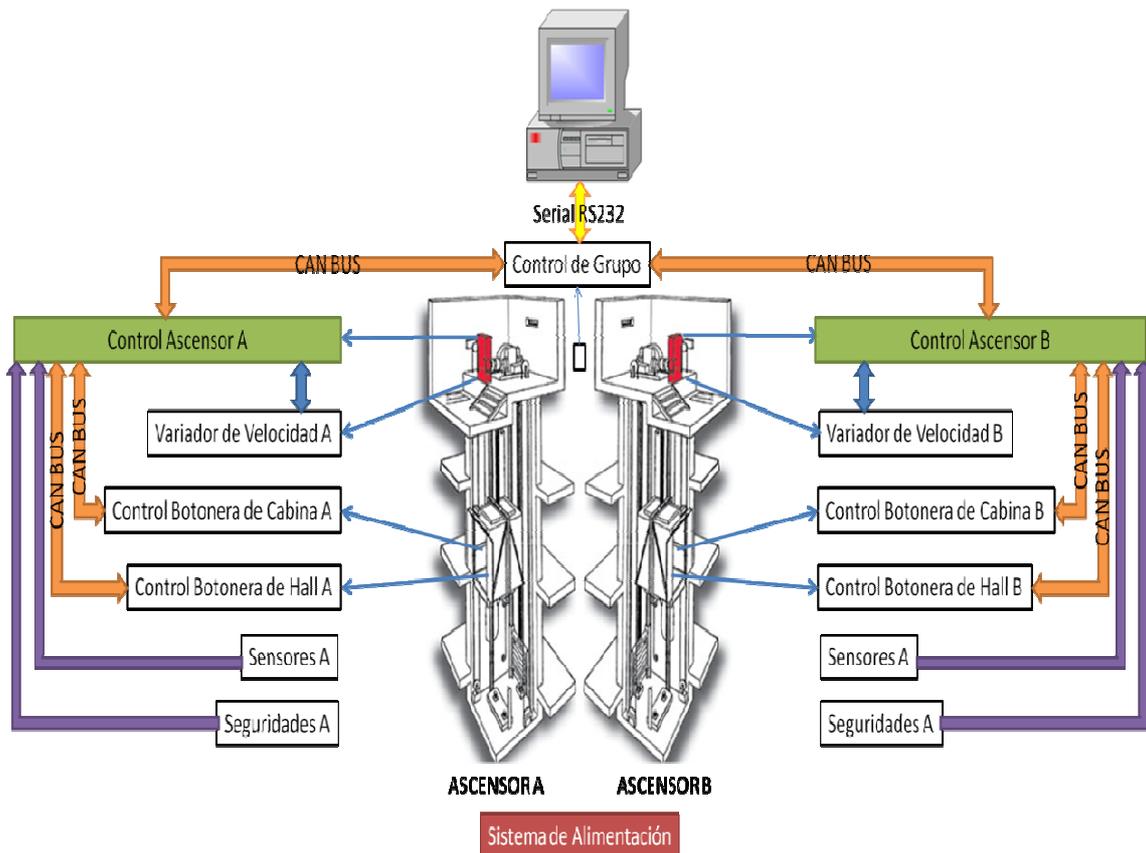
Los *Sensores de un Ascensor* proporcionan información acerca de la posición del ascensor (sensor de piso y encoder), peso dentro de la cabina (sensor de peso), estado de las puertas (fines de carrera); además se utilizan sensores de presencia para saber si hay personas ingresando a la cabina. La información de estos sensores es recibida e interpretada por el sistema de control de cada ascensor.

El *Sistema de Seguridades* está formado por un conjunto de elementos destinados a actuar sólo en emergencias, es decir, cuando otros componentes (los de acción permanente e imprescindibles para el uso) por alguna razón fallan y ponen en peligro al equipo y a los usuarios [28]. Las seguridades son administradas por el sistema de control de cada ascensor y están configuradas como falla segura.

El *Sistema de Alimentación* provee de energía a todos los elementos de hardware. Cabe resaltar que no todos los elementos trabajan con el mismo tipo y nivel de voltaje.

El *Sistema de Señalización* está formado por una serie de elementos como displays, diodos LED, paneles, etc.; que permiten una apreciación visual acerca del funcionamiento del sistema para que en caso de producirse un daño pueda ser rastreado de una manera más efectiva.

*HMI* es el sistema que permite el interfaz entre la persona y el sistema dúplex de ascensores. Este permite observar el comportamiento del sistema y cargar las condiciones iniciales necesarias para el funcionamiento del mismo.



**Figura 2.2: Sistemas Básicos de Hardware de un Sistema Dúplex de Ascensores**

### 2.3. SISTEMA DE CONTROL DEL DÚPLEX

El sistema de control del dúplex visto de una manera genérica será un controlador que se encargue del procesamiento de datos, razón por la cual cuenta con: una fuente recepción de datos, un dispositivo de procesamiento de datos y una fuente de transmisión de datos. La Figura 2.3 muestra una foto de la vista frontal del controlador del dúplex de los ascensores KEYCO de la empresa I&DE, en cuyo hardware se implementará el algoritmo de control.

La fuente de recepción de datos del controlador del dúplex provendrá de los controladores de cada uno de los ascensores, la información que se receptorá estará relacionada principalmente con la posición de cada ascensor, el estado y dirección de movimiento de los mismos, estado de las puertas y de la carga dentro de la cabina, etc. Esta información será recibida por el controlador del sistema dúplex por medio de la red CAN del sistema.

El procesamiento de datos será realizado por el microcontrolador AT89S8253. Básicamente la función del microcontrolador será recibir los datos del CANbus, aplicar el algoritmo de asignación de llamadas de acuerdo a las condiciones actuales de cada uno de los ascensores y enviar los resultados por el CANbus.

La transmisión de datos se realizará al controlador de cada ascensor para que estos ejecuten las acciones de control pertinentes. La información que se transmitirá estará relacionada con las llamadas que deberá atender cada ascensor, de subida y de bajada; piso del otro ascensor del dúplex; llamadas pendientes del sistema tanto de subida como de bajada y las llamadas que han sido atendidas y que deben ser borradas del sistema.

Los dispositivos que permitirán la conexión del controlador del dúplex a la red CAN son el controlador SJA1000T y el transceptor 82C250. Además, es importante señalar que la tarjeta de control del sistema dúplex cuenta con dos nodos CAN, uno por cada ascensor.



**Figura 2.3: Vista Frontal del Controlador Dúplex**

### **2.3.1. PLATAFORMA CPU**

El núcleo del sistema de control del dúplex será la unidad central de procesamiento (CPU). Esta llevará la carga computacional del sistema. La CPU se utilizará para recibir los datos, ejecutar el algoritmo de control que permitirá la generación de las máscaras correspondientes a las llamadas que debe atender cada ascensor y enviar estas máscaras a los sistemas de control de cada ascensor. El módulo de la CPU deberá cumplir con los siguientes requisitos, necesarios para esta aplicación:

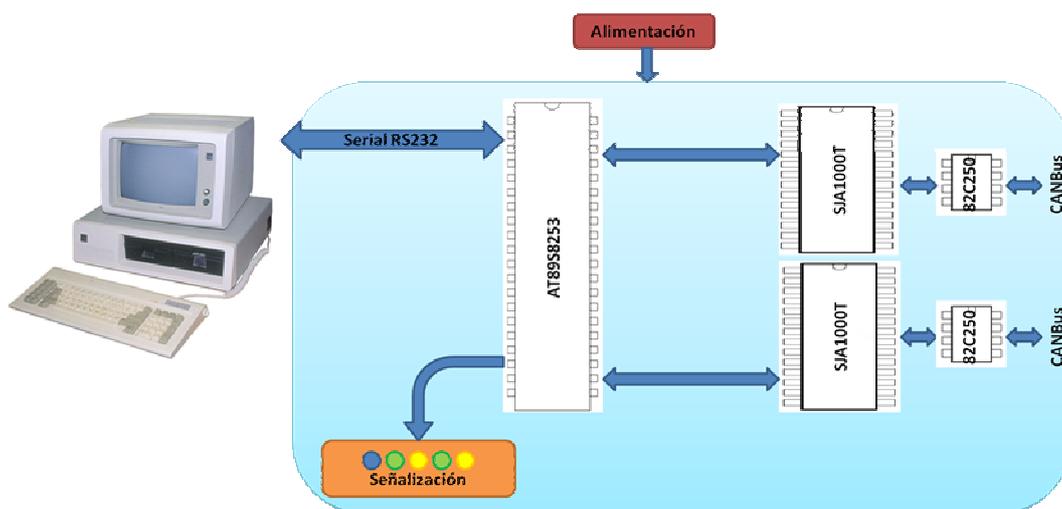
- Tener una velocidad suficiente para procesar de manera eficiente su carga computacional.
- Tener una interfaz de red para el intercambio de datos con el módulo de control de cada ascensor.
- Tener una interfaz serial para la transmisión de datos al HMI.
- Ser compatible con gran parte de sistemas operativos y entornos de programación.
- Ser pequeña y ligera.
- Ser diseñada de modo que no sea necesario cambiar de manera frecuente su parte física (hardware), en comparación con el software que podrá ser fácilmente creado, modificado o borrado, durante el proceso de diseño y pruebas.

#### **2.3.1.1. Esquema General**

El objetivo principal del sistema de control del dúplex será asignar las llamadas de hall que debe atender cada ascensor dependiendo de sus condiciones presentes. En general, el sistema de control del dúplex debería ser capaz de generar una serie de máscaras que indiquen qué llamadas de hall debe atender cada ascensor de acuerdo a los datos recibidos y enviar estas máscaras al controlador de cada ascensor. Por lo tanto, la arquitectura básica del controlador del sistema dúplex de ascensores contiene:

- Un elemento de control
- Dispositivos que permitan la interfaz con la red CAN de cada elevador
- Una interfaz serial para la comunicación con la HMI
- Señalización
- Alimentación

La Figura 2.4 presenta el esquema general del controlador del dúplex cuyo diagrama de conexiones se puede revisar en el Anexo 2.



**Figura 2.4: Plataforma CPU del Controlador del Dúplex**

#### 2.3.1.1.1. Elemento de control principal (Microcontrolador AT89S8253)

El corazón del controlador dúplex será el microcontrolador AT89S8253, cuyas características se detallan a continuación [19]:

- Compatible con los productos MCS® -51
- 12K-bytes de memoria flash programable
  - Interfaz serial SPI para descargar el programa
  - Soporta 10000 ciclos de escritura/borrado
- 2K-Bytes de memoria de datos EEPROM
  - Soporta 100000 ciclos de escritura/borrado
- Rango de operación de 2.7V a 5.5V

- Operación completamente estática de 0 Hz a 24 MHz (en los modos x1 y x2)
- Tres niveles de bloqueo de la memoria de programa
- 256 x 8 bits de RAM interna
- 32 líneas de Entrada / salida programables
- Tres Timer/Counters de 16 bits
- Nueve fuentes de interrupción
- Puerto serial UART mejorado con detección de errores de trama y reconocimiento automático de dirección
- Interfaz serial SPI mejorada (doble buffer de escritura / lectura)
- Watchdog Timer programable
- Doble apuntador de datos
- Power-on reset interno
- Bandera de apagado

En la Figura 2.5 se muestra de manera general la arquitectura del microcontrolador AT89S8253 y en la Figura 2.6 la distribución de pines y el encapsulamiento usado para esta aplicación

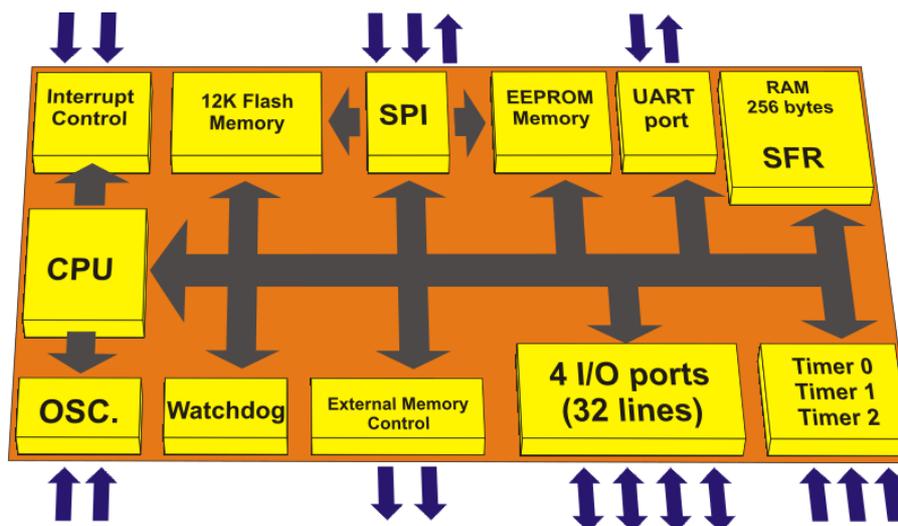


Figura 2.5: Diagrama de bloques del microcontrolador AT89S8253 [20]

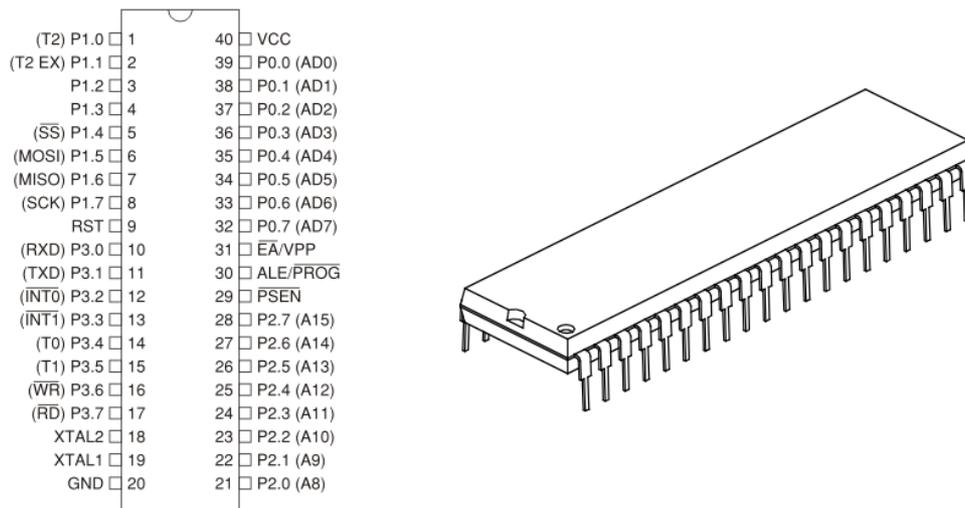


Figura 2.6: Distribución de pines y encapsulamiento del microcontrolador AT89S8253 [19]

### 2.3.1.1.2. Organización de la memoria del microcontrolador

#### 2.3.1.1.2.1. Memoria de programa

La memoria de programa tiene una capacidad de 12K-bytes, es solo de lectura y está diseñada con tecnología FLASH. Esta memoria puede ser escrita y borrada a través de la interfaz serial SPI. Si es necesario, es posible añadir una memoria ROM externa de 52K-bytes como se observa en la Figura 2.7 [21].

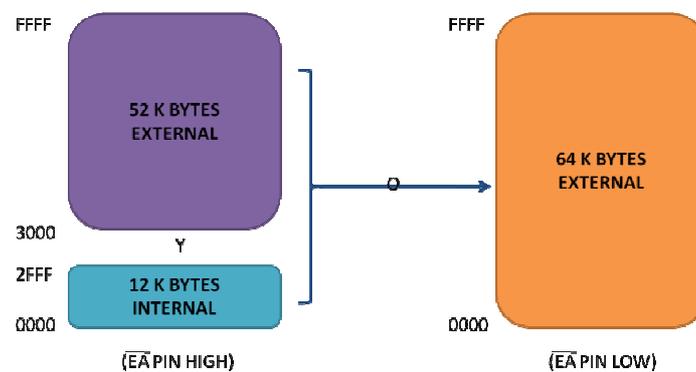


Figura 2.7: Memoria de programa [21]

### 2.3.1.1.2.2. Memoria de datos

La memoria de datos consiste de [21]:

- 256 bytes de RAM interna
- 128 registros para funciones especiales
- 2K bytes de memoria EEPROM
- 64K bytes opcionales de memoria externa

El acceso a la memoria de datos se puede realizar de dos maneras; mediante direccionamiento directo o direccionamiento indirecto [21]. La Figura 2.8 muestra el mapa de la memoria de datos y el tipo de direccionamiento en cada caso.

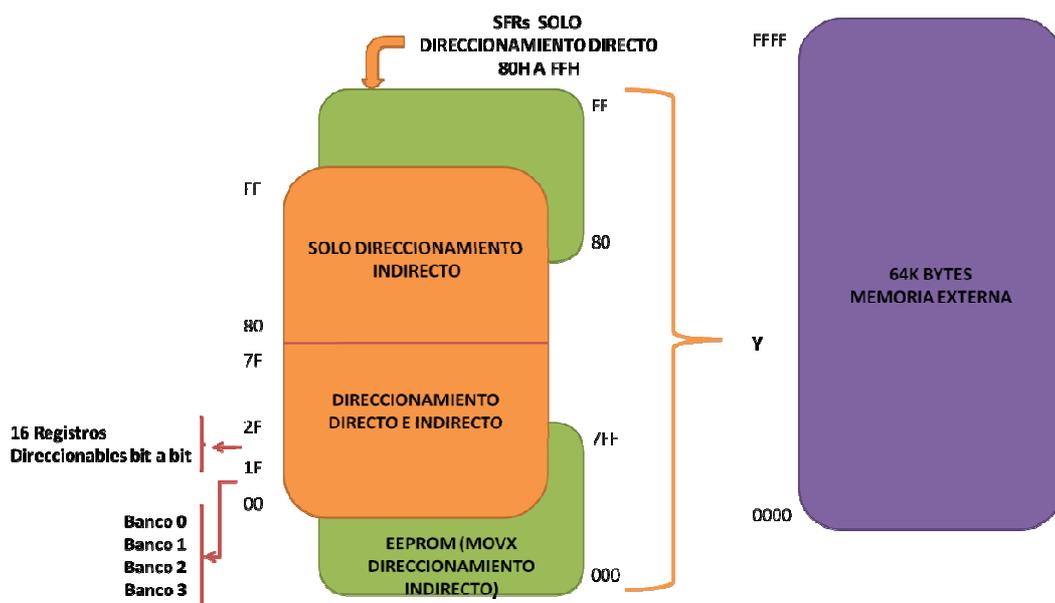


Figura 2.8: Memoria de datos y tipo de direccionamiento [21]

### 2.3.1.2. Arquitectura de comunicación con la red CAN

La arquitectura de hardware está caracterizada por sus componentes y las conexiones entre esos componentes, por ello es necesario seleccionar un bus de red apropiado para proveer la comunicación entre los distintos elementos de

la arquitectura de control, de modo que satisfagan las siguientes características: la comunicación entre los diferentes componentes debe tener suficiente ancho de banda para que el procesamiento de los datos y la transmisión de los mismos, se realicen en tiempo real; debe existir la capacidad de reconocer un error en la transmisión y el número de nodos de soporte debe ser suficiente. Para un sistema de ascensores, deben considerarse además la facilidad de cableado.

Los ascensores KEYCO de la empresa I&DE trabajan con el protocolo CAN ya que se adapta a las necesidades y requerimientos particulares de los mismos

#### *2.3.1.2.1. Protocolo CAN*

Controller Area Network (CAN) es un protocolo de comunicaciones seriales desarrollado por Bosch para el intercambio de información entre unidades de control electrónicas de un automóvil. Una red CAN, como se muestra en la figura 2.9, tiene capacidades multimaestro, es decir, varios nodos CAN pueden intentar transmitir datos en cualquier momento. Consecuentemente, en CAN, pueden darse intentos de transmisiones simultáneas provenientes de varios nodos. Cada mensaje lleva un identificador que establece un sistema de prioridad: el identificador del nodo de mayor prioridad obtendrá el acceso al bus y el resto de los nodos (con prioridad menor) esperarán. El identificador es un número contenido en un campo particular del mensaje CAN y determina la prioridad del mensaje: a mayor prioridad, más rápido es el acceso al bus. El bus CAN no necesita direccionar los nodos de manera convencional. Los mensajes se envían a todos los nodos CAN. Cada uno de ellos decide, en base al identificador recibido, si el mensaje es de él y si debe procesarlo [22], [23], [24].

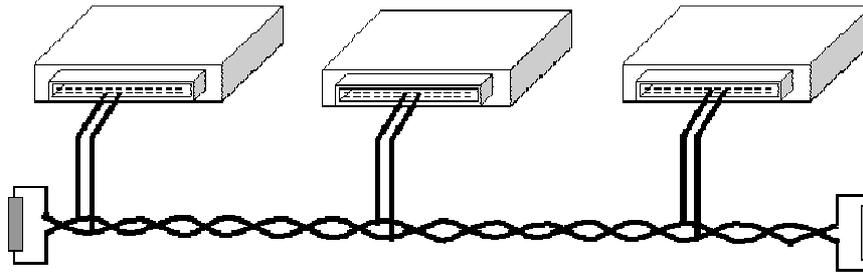


Figura 2.9: Bus CAN [22]

La especificación de CAN se divide en dos partes llamadas “A” y “B”. La primera, contiene la especificación de mensajes estándar, definiendo un identificador de 11 bits. La segunda, describe los mensajes estándar y los extendidos. Estos últimos permiten una extensión del identificador a 29 bits [22].

Adicionalmente, CAN adopta un modelo de capas derivado del modelo de referencia ISO/OSI, Figura 2.10, limitándose a la capa de enlace de datos y la capa física [22].

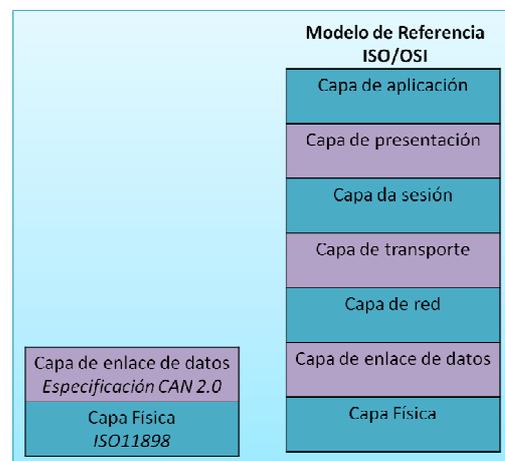
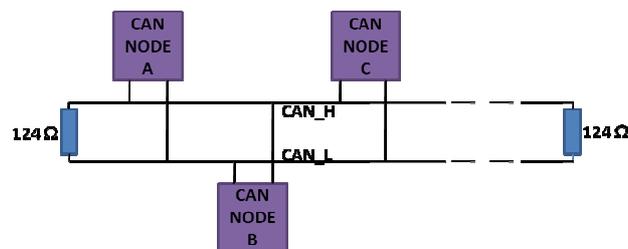


Figura 2.10: Protocolo CAN y el modelo de referencia ISO/OSI

#### 2.3.1.2.1.1. Capa Física del CAN

El medio físico que se usa normalmente para implementar redes CAN es una línea de bus con dos cables de conducción diferenciados, con retorno. Los

cables se llaman CAN\_H y CAN\_L, de acuerdo con la polaridad de la diferencia del voltaje entre ellos. El bus CAN debe también terminar en ambos extremos con resistencias de un valor recomendado de  $124\Omega$ , como se muestra en la Figura 2.11 [22].



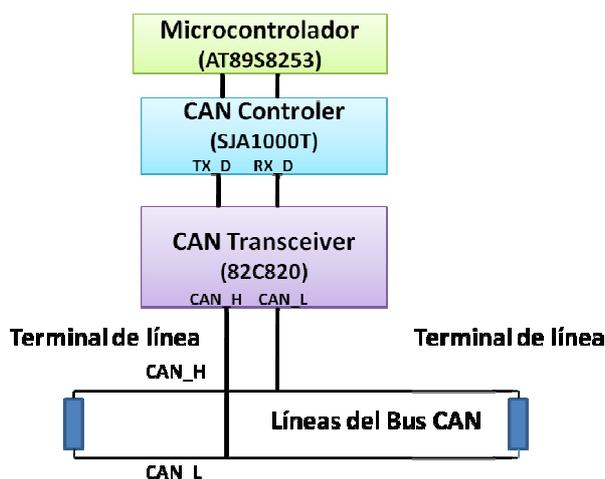
**Figura 2.11: Diagrama de bloques de una red CAN**

La representación de los bits que se usa para transmitir mensajes es la codificación NRZ (non-return-to-zero), que garantiza una eficiencia máxima. Sin embargo, la necesidad de transiciones frecuentes en el bus (para mantener la sincronización), hace necesaria la implementación de un mecanismo de relleno de bits. Dicho mecanismo consiste en enviar bits de relleno intercalados después de cinco bits consecutivos con la misma polaridad (es decir, cinco 1's o cinco 0's). El bit de relleno tiene polaridad opuesta, para forzar una transición en el bus (por ejemplo, cinco 1's irían seguidos por un 0). El receptor elimina los bits de relleno antes de procesar el mensaje. Este mecanismo se usa también para control de errores [22].

#### 2.3.1.2.1.1.1. Arquitectura de un nodo CAN

Generalmente cada nodo CAN está dividido en diferentes bloques funcionales, como se muestra en la figura 2.12. La conexión a las líneas del bus del CAN se realiza usualmente con un *CAN Transceiver* que se encarga de controlar el nivel lógico de las señales del controlador CAN en los niveles físicos del bus y viceversa. El nivel superior es un *Controlador CAN* que implementa

completamente el protocolo CAN. Finalmente, todas las funciones del CAN son controladas por el microcontrolador que es responsable de la inicialización, comunicación, proceso de datos y otras tareas para controlar la implementación del protocolo CAN [23].



**Figura 2.12: Conexión Física del CAN acorde con la ISO 11898**

La conexión de un controlador CAN al bus CAN debe hacerse usando un transceiver CAN que responda a la norma ISO11898. La conexión entre el controlador CAN y el transceiver puede ser directa o usando un aislamiento óptico. La conexión física del nodo CAN de controlador del sistema dúplex de ascensores en cuestión se realiza en forma directa y acorde a la Figura 2.12 [22].

#### 2.3.1.2.1.1.1.1. SJA1000

Una red CAN tiene como base el chip del CAN, que se encarga de la aplicación del protocolo CAN. El controlador de comunicaciones CAN independiente SJA1000 de Philips, que es el que se usará en este proyecto, está estructurado como se indica en la Figura 2.13.

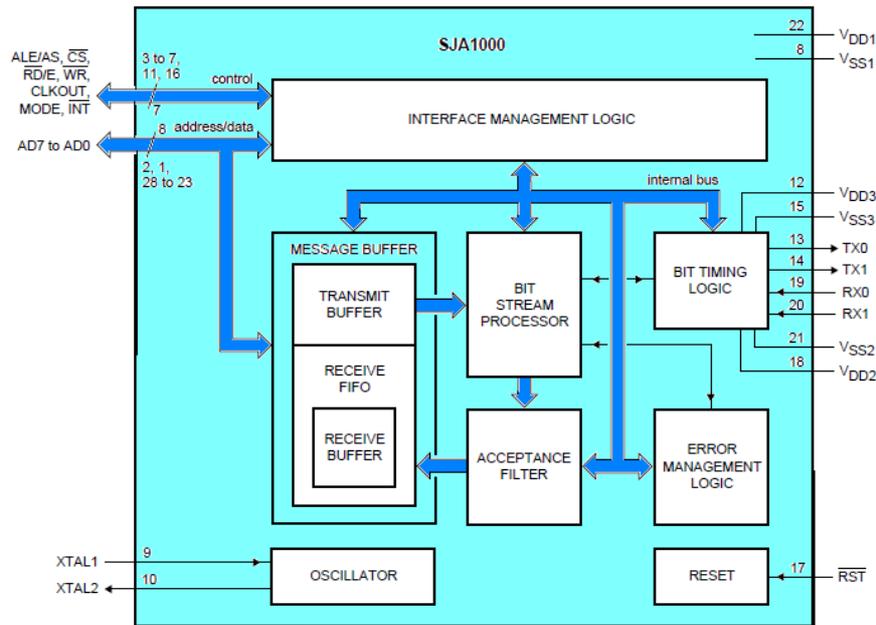


Figura 2.13: Diagrama de bloques del SJA1000 [25]

Los bloques funcionales realizan las siguientes tareas:

- El *Interface Management Logic (IML)* interpreta los comandos de la CPU, controla el direccionamiento de los registros del CAN y provee información de interrupciones y estado al microcontrolador principal [25].
- El *Bit Stream Processor (BSP)* es una secuencia que controla el flujo de datos entre el buffer transmisor, el RXFIFO y el bus del CAN. Este también lleva a cabo la detección de error, arbitraje, relleno y manejo de errores en el bus del CAN [25].
- El *Error Management Logic* recibe los mensajes de error del procesador del flujo de bits y, como respuesta, envía información sobre el estado de error a dicho procesador y al IML [25].
- El *Bit Timing Logic (BTL)* determina la temporización de los bits y mantiene el controlador CAN sincronizado con los extremos del flujo de bits en el bus. Monitorea el bus a través de un comparador de entrada diferencial y determina las temporizaciones de bit relacionadas con el bus serie. El BTL sincroniza una transición al comienzo de la trama y resincroniza las siguientes durante la recepción de dicha trama. El BTL también proporciona segmentos de tiempo programables para

compensar los retardos de propagación y los desplazamientos de fase [25].

- El *Acceptance Filter (ACF)* compara el identificador recibido con el registro de filtro de información y decide si el mensaje debe ser aceptado o no. En el caso de que la prueba de aceptación sea positiva, el mensaje completo es guardado en el RXFIFO [25].
- El *Oscillator* se usa únicamente para obtener una frecuencia de reloj apropiada para el controlador CAN basada en la frecuencia de un oscilador externo [25].
- El *Transmit Buffer (TXB)* es una interfaz entre el CPU y el procesador de flujo (BSP) que es capaz de guardar un mensaje completo para la transmisión sobre una red CAN. El buffer tiene una longitud de 13 bytes [25].
- El *Receive Buffer (RXB, RXFIFO)* es una interfaz entre el filtro de aceptación y el CPU que almacena los mensajes recibidos y aceptados del bus del CAN. El buffer receptor (RXB) representa una ventana de 13 bytes accesibles del CPU del receptor FIFO (RXFIFO), el cual tiene una longitud total de 64 bytes [25].

#### 2.3.1.2.1.1.1.2. 82C250

El transmisor 82C250 básicamente provee una interface entre el protocolo del controlador y la línea física de transmisión y está diseñado para transmitir datos con una velocidad de 1Mbit/s sobre dos líneas diferenciales de voltaje como se describe en el estándar ISO 11898 [22] (Figura 2.14).



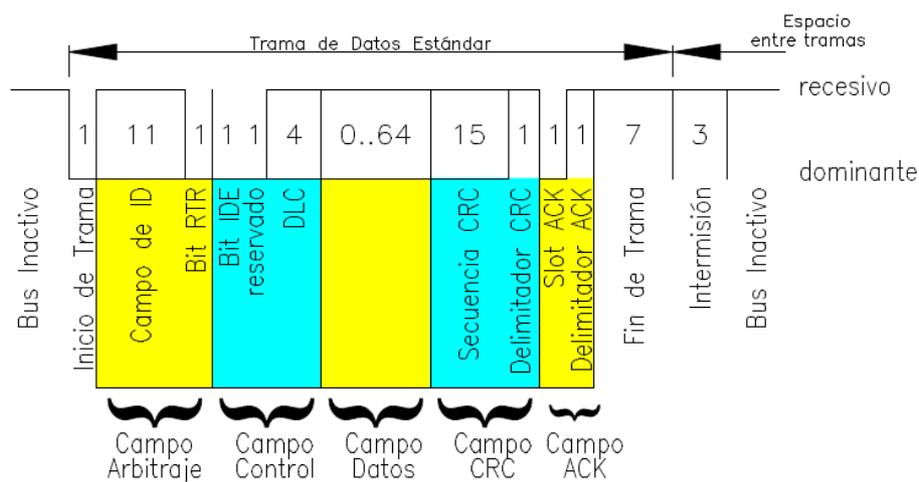
**Figura 2.14: Niveles nominales de voltaje de acuerdo a la ISO 11898 [24]**

### 2.3.1.2.1.2. Capa de Enlace de datos del CAN

La capa de enlace de datos puede dividirse en dos subcapas: control de acceso al medio (MAC) y control de enlace lógico (LLC). El MAC es responsable de determinar a qué nodo de la red se le asigna el control del bus para la transmisión de mensajes. El LLC asegura que las capas superiores de la red tengan un interfaz independiente de las capas inferiores. Es decir, esta subcapa debe asegurar que la capa física y la MAC sean transparentes para las superiores. En la práctica, esto significa que LLC es responsable de detectar y corregir errores cuando se intercambian datos a través del bus, es decir, implementa un mecanismo de transmisión de errores y seguridad [22].

#### 2.3.1.2.1.2.1. Formato de la trama

Para poder realizar sus tareas, el nivel de enlace de datos CAN reúne los datos en tramas de datos como se muestra en las Figura 2.15 para que sean transmitidos.



<b>ID</b>	<b>Identificador</b>	<b>RTR</b>	<b>Petición de Transmisión Remota</b>
<b>IDE</b>	<b>Identificador de Extensión</b>	<b>DLC</b>	<b>Código de Longitud de Datos</b>
<b>CRC</b>	<b>Código de Redundancia Cíclica</b>	<b>ACK</b>	<b>Acuse de recibo</b>

Figura 2.15: Formato Estándar de trama de datos [24]

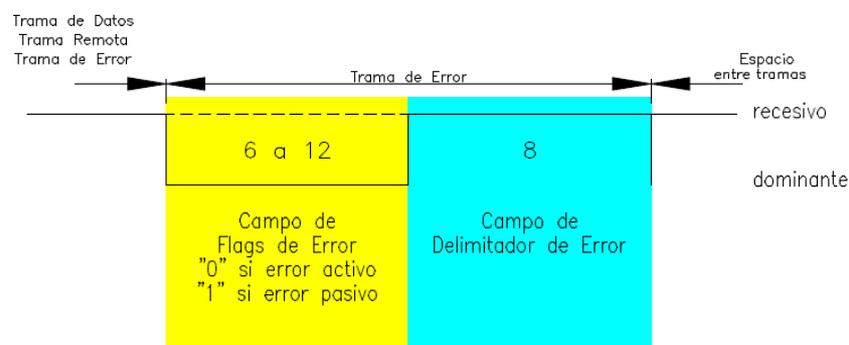
La trama de datos CAN, está formada por los siguientes campos:

- *Inicio de trama (SOF)*: Este campo está compuesto por un solo bit de sintonización dominante [22].
- *Campo de arbitraje*: Tiene dos componentes. El primero es un identificador de 11 bits, que establece la prioridad del mensaje y su identidad. El segundo componente es el bit Petición de Transmisión Remota (RTR), el cual, si tiene un dominante indica que la trama contiene datos, y si es un recesivo, indica una trama remota. Las tramas remotas son exactamente como las tramas de datos excepto que no llevan datos y se usan para responder a la transmisión de tramas de datos con el mismo identificador [22].
- *Campo de Control*: Este campo tiene tres componentes. El primero es el bit Identificador de Extensión (IDE), que contiene un recesivo e indica la transmisión de mensajes con identificadores de 29 bits, como en la especificación CAN 2.0 – Parte B. Si el bit IDE contiene un dominante significa que es un estándar de identificador de 11 bits. El segundo componente es un bit reservado (r0), que podrá usarse en versiones futuras del CAN. El último componente es un Código de Longitud de Datos (DLC), que mantiene el contador de bytes de datos del mensaje. El campo DLC puede tener valores entre 0 y 8, indicando el número de bytes de datos de la trama [22].
- *Campo de Datos*: Es el campo en el que se envían los bytes de datos y puede almacenar entre 0 y 8 bytes [22].
- *Campo de Código de Redundancia Cíclica (CRC)*: Se usa para controlar los errores y contiene un CRC de 15 bits seguido por un delimitador recesivo [22].
- *Campo de Acuse de Recibo*: Este campo se utiliza para asegurar que otro nodo(s) ha recibido un mensaje correctamente. La recepción del mensaje es confirmada insertando un bit dominante en el bit que está en primera posición dentro de este campo, que siempre se transmite como un recesivo pero se espera que el transmisor lo detecte como dominante. Si el nodo receptor no rellena el slot ack, que es como se llama, con un bit dominante, el transmisor sabrá que el mensaje no se

ha recibido correctamente, y terminará con la transmisión. El bit que está en segunda posición en este campo es un delimitador recesivo [22].

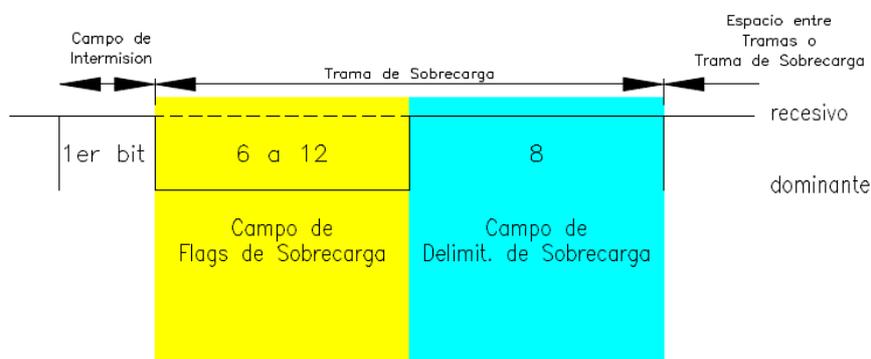
- *Fin de Trama:* Se compone de 7 bits recesivos [22].

Además de las tramas de datos y las remotas, el protocolo CAN también utiliza tramas de error y tramas de sobrecarga, como se muestra en la Figura 2.16 y 2.17. Las tramas de error se componen de 6 bits consecutivos de igual polaridad [22].



**Figura 2.16: Trama de Error [24]**

Un receptor puede usar las tramas de sobrecarga para retrasar la transmisión de las tramas de datos o remotas, cuando no está preparado para recibirlas [22].



**Figura 2.17: Trama de Sobrecarga [24]**

Todas las tramas CAN van seguidas al menos por 3 bits recesivos. Esto se denomina campo de intermisión. Después de dicho período, puede iniciarse una nueva transmisión en el bus [22].

#### *2.3.1.2.1.2.2. Filtrado de mensajes*

Cuando se transmite una trama de datos en el bus, no se direcciona ninguna estación. En lugar de esto, a cada mensaje se le asigna un identificador único de 11 bits en el campo Arbitraje. Si un nodo desea transmitir información, simplemente pasa los datos y el identificador a su controlador CAN y establece la relevancia de la petición de transmisión. El controlador dará formato a los contenidos del mensaje y transmitirá los datos en el formato de la trama CAN. Una vez que el nodo tiene acceso al bus y transmite su mensaje, el resto de los nodos se transforman en receptores. Una vez que el nodo tiene acceso al bus y transmite su mensaje, el resto de los nodos se transforman en receptores. Una vez recibido el mensaje correctamente, los nodos realizan un test de aceptación para determinar si los datos son relevantes para el nodo en cuestión. Este proceso se denomina filtrado de mensajes [22].

#### *2.3.1.2.1.2.3. Arbitraje del bus*

El identificador de un mensaje CAN también define la prioridad de dicho mensaje y es la base para el mecanismo de control de acceso al medio. El modo de operar del MAC es el siguiente [22]:

- Cuando un dispositivo detecta que el bus está libre para transmitir, comienza a enviar un mensaje [22].
- Durante la transmisión, el dispositivo mantiene el bus monitorizado, controlando si este responde a su envío [22].
- Si durante la transmisión del campo Arbitraje el nodo intenta enviar un bit recesivo pero detecta un dominante en el bus, para la transmisión y

espera que el bus esté libre de nuevo para volver a comenzar el proceso. Hay que resaltar que si se detecta un error en un bit fuera del campo Arbitraje, o dentro de él mientras se transmite un bit dominante, entonces el bit se considerará erróneo y el nodo utilizará los mecanismos de señalización de error del CAN para terminar con la transmisión. Una excepción a esta regla es, por supuesto, el Slot de acuse de recibo en el campo Ack., donde el transmisor envía un bit recesivo y espera detectar un dominante como confirmación [22].

#### 2.3.1.2.1.2.4. Manejo de errores

Además del MAC, el nivel de enlace de datos (DLL) también es el de enlace responsable para el control de enlace lógico (LLC), donde se proporciona un mecanismo de transmisión confiable por el DLL del CAN, a través de la implementación de una serie de mecanismo de detección de errores, que son los siguientes [22]:

- *Error de bit*: un nodo que después de transmitir el campo de arbitraje aún tiene el control del medio, se mantendrá monitorizando el bus, controlando si se responde correctamente a la transmisión. Esto permite al transmisor la detección de errores globales del bus y errores locales de transmisión. Existen, por supuesto, excepciones a esta regla, como la transmisión de un bit recesivo y la detección de uno dominante ambos en el campo de arbitraje o en el ack [22], [24].
- *Error de relleno de bit*: el relleno se utiliza para asegurar que ocurra un número mínimo de transiciones en el bus, para propósitos de sincronización. Esta propiedad también se usa para el control de errores de transmisión: cuando un receptor detecta seis bits iguales consecutivos, sabe que debe haber ocurrido un error de relleno de bits [22], [24]
- *Error de código de redundancia cíclica*: se produce cuando no coinciden el código de redundancia cíclica (CRC) calculado por el transmisor y el

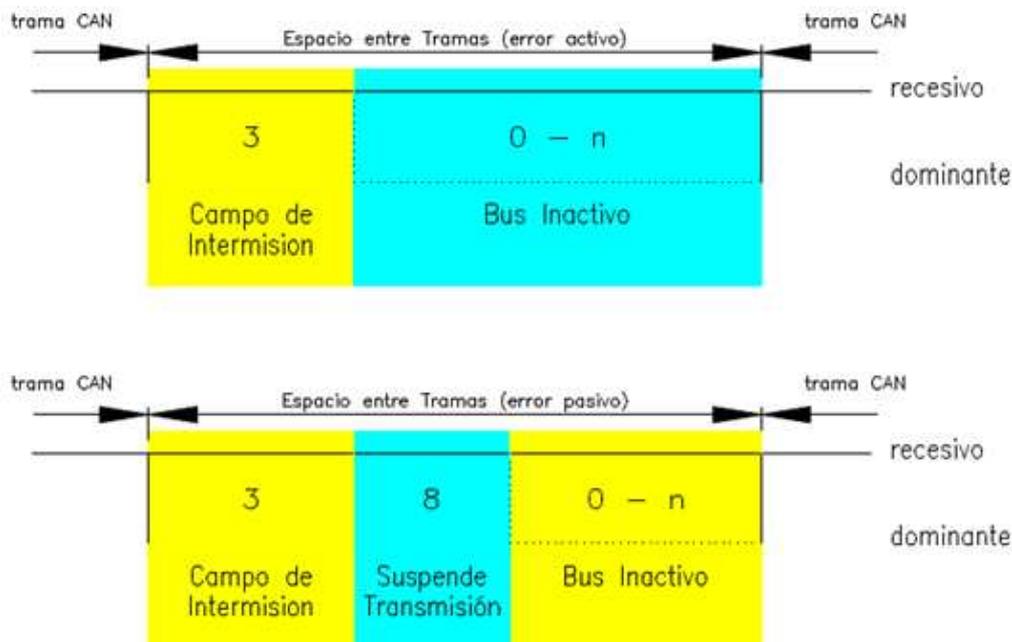
calculado por el receptor. El nodo receptor descarta la trama y transmite una trama de error. Sólo realizado por nodo receptor [22], [24].

- *Error de formato:* existe un mecanismo en CAN que verifica las estructuras de la trama de transmisión, comprobando los campos de bits que contiene con respecto a un formato y un tamaño de trama prefijados [22], [24].
- *Error de reconocimiento:* todos los receptores confirman los mensajes introduciendo un bit dominante en el slot ack del campo ack del mensaje. Si esto no ocurre, significará que ha ocurrido un error de transmisión y que ningún nodo ha recibido el mensaje correctamente. Este error es detectado por el transmisor [22], [24].

Un nodo CAN que detecta un error de transmisión puede terminar con la transmisión enviando una trama de error a los otros nodos del bus. El tipo de trama de error (activo o pasivo, Figura 2.18), depende del estado de error del dispositivo. De hecho, con respecto al estado de error, un dispositivo puede estar en uno de estos tres estados [22], [24]:

- *Error activo:* el dispositivo está completamente seguro de que ha ocurrido un error y que este error no es por su culpa. En este estado, los errores se señalizan usando las banderas de error activo. Una trama de error activo se compone de seis bits dominantes para que cualquier transmisión en el bus sea interrumpida; violando la regla de relleno de bits, haciendo que otros nodos no acepten mensajes erróneos [22], [24].
- *Error pasivo:* cuando un dispositivo detecta un error, sospecha de que la fuente del error debe ser local. Por esta razón los errores se señalizan usando las banderas de error pasivo. Como estas banderas están compuestas de seis bits recesivos, la retransmisión es generalmente finalizada si el dispositivo es el transmisor del mensaje o si es el receptor único [22], [24].
- *Bus-off:* el dispositivo cree que es la causa del error, es decir, que no es capaz de comunicarse correctamente. Por tanto, el nodo error deja de participar en la comunicación para no entorpecer a los otros en el bus.

Este estado hace que los nodos erróneos no inunden el bus y permite el funcionamiento normal del resto [22], [24].



**Figura 2.18: Errores Activo y Pasivo [24]**

Para determinar en qué estado de error está un nodo, CAN especifica que cada unidad debe implementar dos contadores de error: uno para los errores de transmisión y otros para los de recepción. Estos contadores trabajan bajo un algoritmo complejo, en resumen, sus contadores incrementan cuando se detectan errores y decrecientan cuando se transmite un mensaje satisfactoriamente. Cuando un dispositivo se reinicia, empieza a trabajar en el modo de error activo. Cuando empiezan a ocurrir errores, el contador de errores incrementa y ocasionalmente alcanzan un punto en el que pasan al estado de error pasivo. Si los errores persisten, los contadores de error continuarán incrementándose hasta que el nodo se apague, entrando en el estado de bus-off [22].

Si no funciona este mecanismo, es decir, las unidades CAN quedan en el estado de error activo sin tener en cuenta el número de errores detectados, podría ocurrir pérdida de mensajes, es decir, si un nodo erróneo asume

incorrectamente que todos los mensajes en el bus son erróneos. Por esto, este mecanismo se llama propiedad de confinamiento de errores. El sistema de confinamiento de errores se incluyó en el CAN con la intención de hacer a las estaciones capaces de reconocer sus propios defectos y posiblemente entrar en un modo de operación donde la red no fuese afectada por ellos [22].

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

La clave de diseño de un algoritmo de control para un grupo de elevadores es transformar la función objetivo en módulos aditivos para facilitar su procesamiento, es decir descomponer el problema en subproblemas que puedan ser independientemente resueltos usando un método de programación dinámica.

El algoritmo de control para el sistema dúplex de elevadores del Edificio Computec se desarrollará en base a los módulos que se muestran a continuación:

- Comunicación con el Bus CAN
- Algoritmo base para asignar las llamadas de hall del sistema
- Algoritmo para el tiempo de ayuda
- Comunicación serial RS232 con HMI

Estos módulos se enlazarán de manera coordinada en el lazo de control principal (Figura 3.1), para dar una solución óptima al problema de modo que cumpla las siguientes características:

- Tener una estructura adecuada para garantizar la funcionalidad del sistema. tomando en cuenta la dinámica y comportamiento general del mismo.

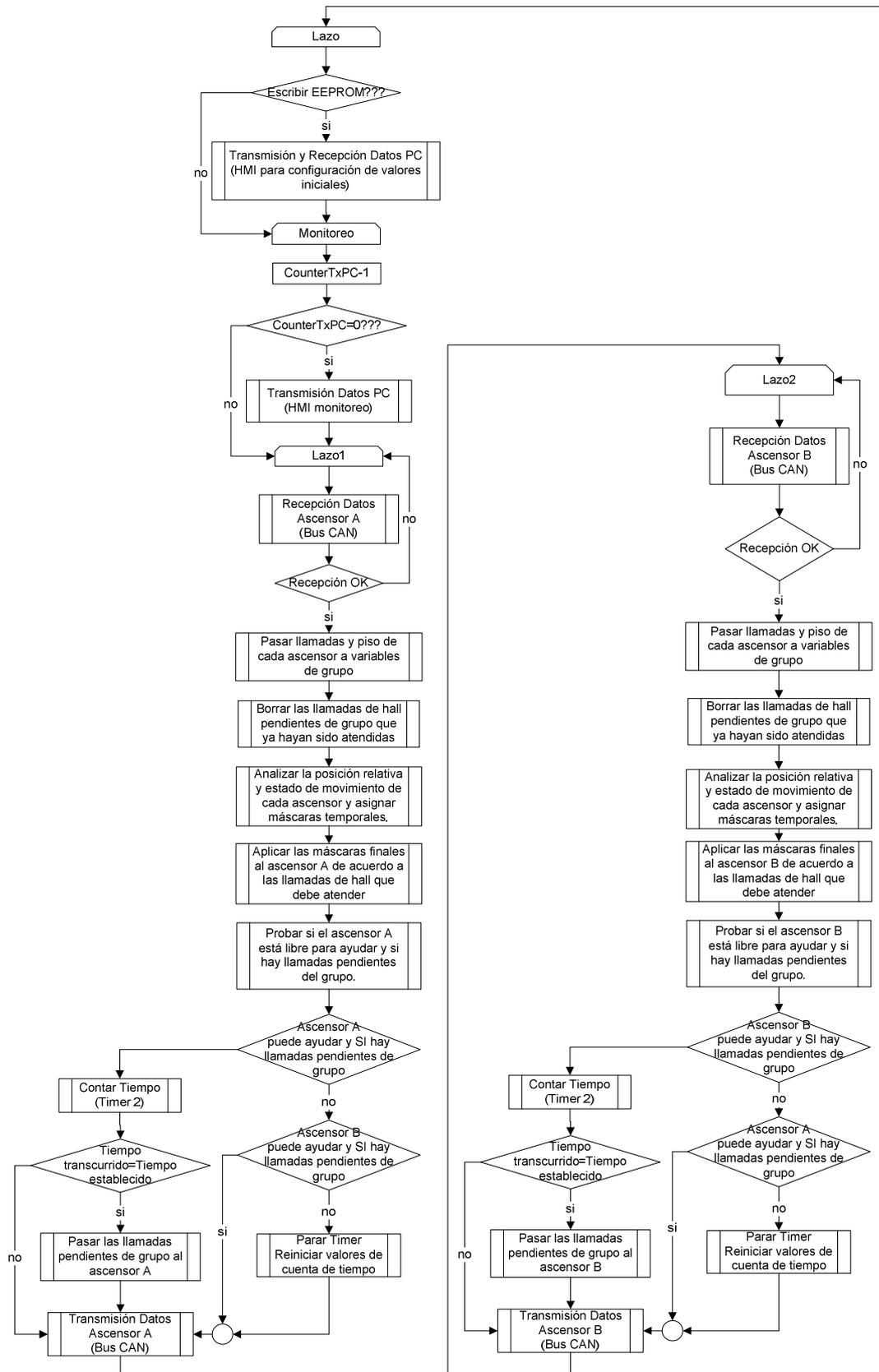


Figura 3.1: Diagrama de Flujo del Lazo Principal del Algoritmo de Control del Sistema Dúplex de Ascensores

- Satisfacer las condiciones de funcionamiento y proveer total funcionalidad en la atención de llamadas de hall.
- Dadas las condiciones variables en el comportamiento del sistema, permitir la reasignación de llamadas para garantizar su eficiencia, rentabilidad y seguridad.
- Ser flexible y fácilmente expandible para futuras modificaciones.

### 3.2. DISEÑO DE ETAPA DE COMUNICACIÓN CON EL BUS CAN

La comunicación del controlador del sistema dúplex con el controlador individual de cada ascensor deberá proveer el intercambio de datos entre los mismos lo que implica, tanto la recepción de la información necesaria de cada uno de los elevadores para la asignación de llamadas como la transmisión de las máscaras que indicarán las llamadas que deberán atender, Figura 3.2.

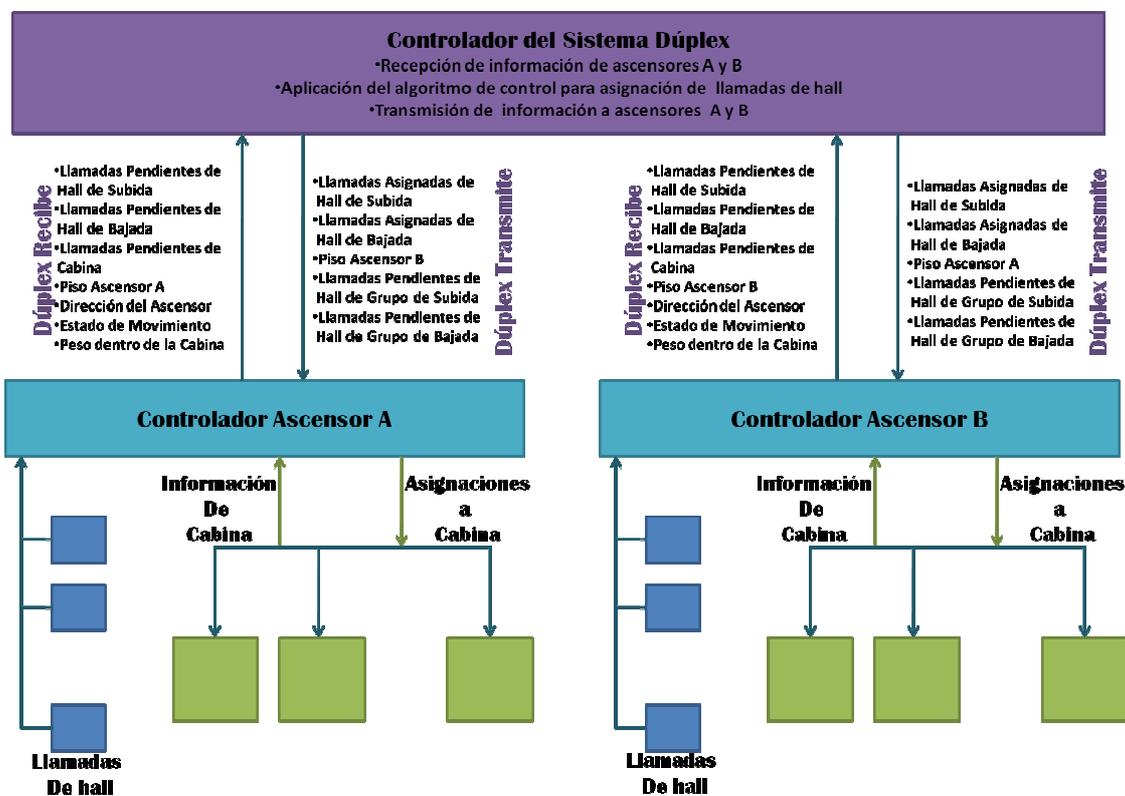


Figura 3.2: Información que se Intercambia a través de la red CAN entre el Controlador del Sistema Dúplex y el Controlador Individual de cada Ascensor

La comunicación con el Bus CAN se establecerá desde el microcontrolador AT89S8253, el cual comandará las siguientes tareas:

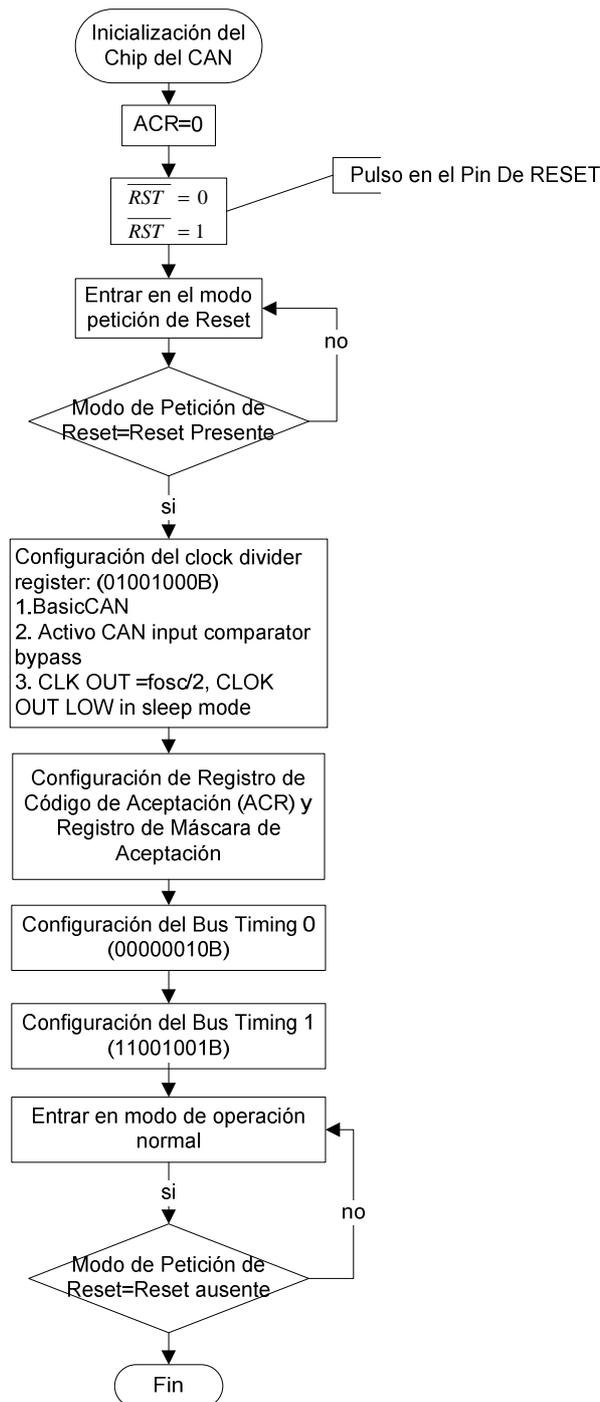
- Aplicación del reset y encendido del controlador del CAN SJA1000.
- Configuración de líneas de control para la comunicación con el chip del CAN, SJA1000.
- Inicialización del chip del CAN.
- Proceso de comunicación (transmisión y recepción) con el SJA1000.

El chip del CAN, SJA1000T; permite dos modos de operación:

- BasicCAN: es el modo de operación por defecto del SJA1000T y el que se usará en este proyecto. En esta implementación el controlador CAN está restringido a un único buffer de mensajes y el microcontrolador es quien lleva el peso de las tareas.
- PeliCAN: este modo permite la implementación de la especificación CAN 2.0B con un identificador de 29 bits.

### **3.2.1. INICIALIZACIÓN DEL SJA1000T**

La inicialización del chip del CAN se realizará de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 3.3:

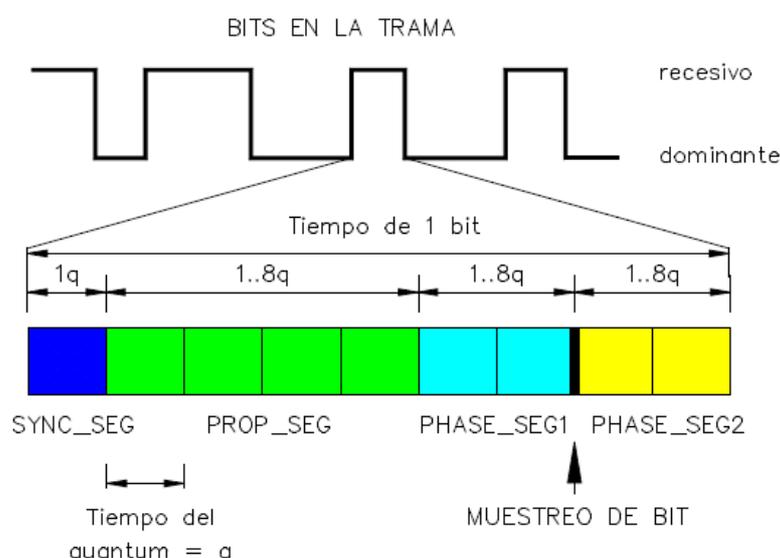


**Figura 3.2: Diagrama de Flujo de la Inicialización del SJA1000T**

La velocidad nominal del bus para la comunicación del controlador del sistema dúplex con los controladores de cada ascensor se establecerá en 125 [Kbps] con un muestreo del bus de 3 veces. Esto se realizará mediante la configuración de los registros de temporización lo cual requiere de la comprensión de los siguientes conceptos:

- Velocidad nominal de bit: es básicamente el número de bits por segundo que corresponde a la velocidad de transmisión deseada [22].
- Tiempo nominal de bit: se define como  $1/\text{Velocidad Nominal de bit}$ . La configuración de la temporización de los bits de una implementación CAN se define en términos de este parámetro [22].
- Quantum de tiempo: unidad fija de tiempo derivada de un periodo oscilador. En implementaciones CAN habrá una escala programable entre 1 y 32 por el cual el quantum se programará de un Quantum de Tiempo Mínimo hasta el valor de 32 veces el Quantum de Tiempo Mínimo [22].

El proceso de programar una velocidad de transmisión determinada consiste en establecer la duración del quantum de tiempo y, consecuentemente, la duración del tiempo nominal del bit, que se basa en el quantum [22]. La estructura del parámetro de tiempo nominal de bit se define en la especificación CAN como un conjunto de segmentos de tiempo, tal como se muestra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3: Estructura de los Parámetros del Tiempo de Bit [24]**

La parte del tiempo de bit SYNC\_SEG se usa para sincronizar los diferentes relojes en los nodos conectados al bus, y donde se espera que ocurra la transición entre el bit previo y el actual. El PROP\_SEG cuenta los retrasos de propagación en el bus. Por último, los segmentos PHASE\_SEG1 y PHASE\_SEG2 pueden ajustarse automáticamente por el controlador CAN para compensar errores de sincronización, dentro de ciertos límites especificados por el programador [22].

Al programar la longitud de los segmentos de tiempo, se puede establecer el valor deseado de la longitud total del tiempo nominal de bit (en el valor que corresponda a la velocidad nominal de bit deseada). Además, el punto de muestra puede situarse en diferentes posiciones en el tiempo de bit. La especificación CAN sitúa los siguientes límites en las longitudes de los segmentos [22], [24]:

- El SYNC\_SEG debe tener siempre una longitud de 1 quantum de tiempo [22], [24].
- El PROP\_SEG puede programarse para tener una longitud de entre 1 y 8 quantum de tiempo [22], [24].
- El PHASE\_SEG1 puede programarse para tener una longitud de entre 1 y 8 quantum de tiempo [22], [24].
- EL PHASE\_SEG2 debe ser igual al máximo de PHASE\_SEG1 y el tiempo de procesamiento de la información de la implementación CAN. Esto también nos indica que el tiempo de procesamiento de la información debe ser menor que dos quantum de tiempo [22], [24].

La configuración de la temporización del bit en el controlador CAN, SJA1000T, se realizará programando los siguientes campos de bit en los registros de temporización:

- *Baud Rate Prescaler (BRP)*: este parámetro permite establecer el quantum de tiempo y se configura en el Bus Timing Register 0 (BTR0) [25].

El quantum de tiempo (q), se establecerá en 500 [ns] para ello; se configurará el valor 00010 en los bits 0 a 5 del Bus Timing Register 0 (BTR0)

$$q = 2 \times t_{CLK} \times (32 \times BTR.5 + 16 \times BTR.4 + 8 \times BTR.3 + 4 \times BTR.2 + 2 \times BTR.1 + BTR.0 + 1)$$

$$q = 2 \times \frac{1}{f_{KTAL}} \times (2 \times BTR.1 + 1)$$

$$q = 2 \times \frac{1}{12} \times (2 + 1) [\mu s]$$

$$q = 500 [ns]$$

- *Synchronization Jump Width (SJW)*: este parámetro establece el máximo quantum de tiempo que puede insertarse o eliminarse por el controlador para mantener la sincronización [25].

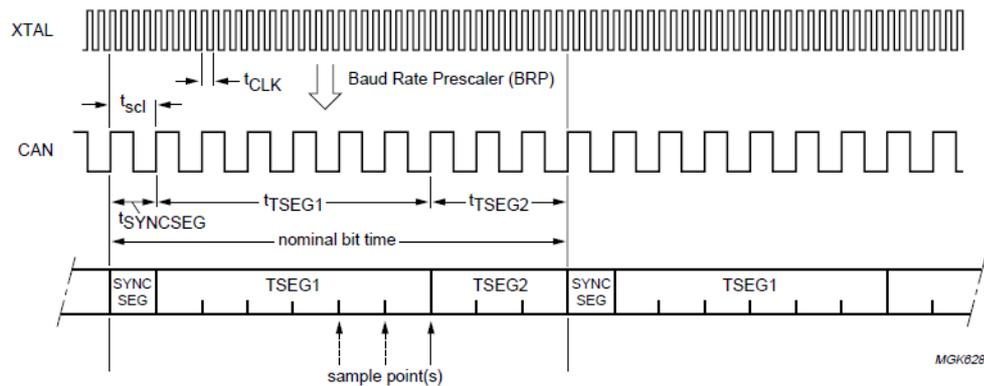
Este valor se establecerá en cero introduciendo ceros en los bits 6 y 7 del BTR0.

$$t_{SJW} = q \times (2 \times SJW.1 + SJW.0 + 1)$$

$$t_{SJW} = 0$$

- *Time Segment before Sample Point (TSEG1)*: engloba el PROP\_SEG y el PHASE\_SEG1. Puede tomar un valor comprendido entre 2 y 15, indicando TSEG1+1 quantum de tiempo antes del punto de muestra (no incluye el SYNC\_SEG) [25].
- *Time Segment after Sample Point (TSEG2)* – equivale al PHASE\_SEG2. Puede tomar valores entre 1 y 7, indicando TSEG2+1 quantum de tiempo después del punto de muestra [25]

El TSEG1 y TSEG2 determinan el número de ciclos del reloj por período de bit y la localización del punto de muestreo. Estos valores se establecen en el Bus Timing Register 1 (BTR1) el cual se configurará en 11001001, el bit más significativo de este registro indica que el bus se muestreará 3 veces.



Possible values are BRP = 000001, TSEG1 = 0101 and TSEG2 = 010.

Figura 3.4: Estructura general de un período de bit [25]

$$t_{SYNCSEG} = 1 \times q$$

$$t_{SYNCSEG} = 500[ns]$$

$$t_{TSEG1} = q \times (8 \times TSEG1.3 + 4 \times TSEG1.2 + 2 \times TSEG1.1 + TSEG1.0 + 1)$$

$$t_{TSEG1} = 500[ns] \times (8 + 1 + 1)$$

$$t_{TSEG1} = 5[\mu s]$$

$$t_{TSEG2} = q \times (4 \times TSEG2.2 + 2 \times TSEG2.1 + TSEG2.0 + 1)$$

$$t_{TSEG2} = 500[ns] \times (4 + 1)$$

$$t_{TSEG2} = 2.5[\mu s]$$

Como consecuencia la velocidad nominal de bit será:

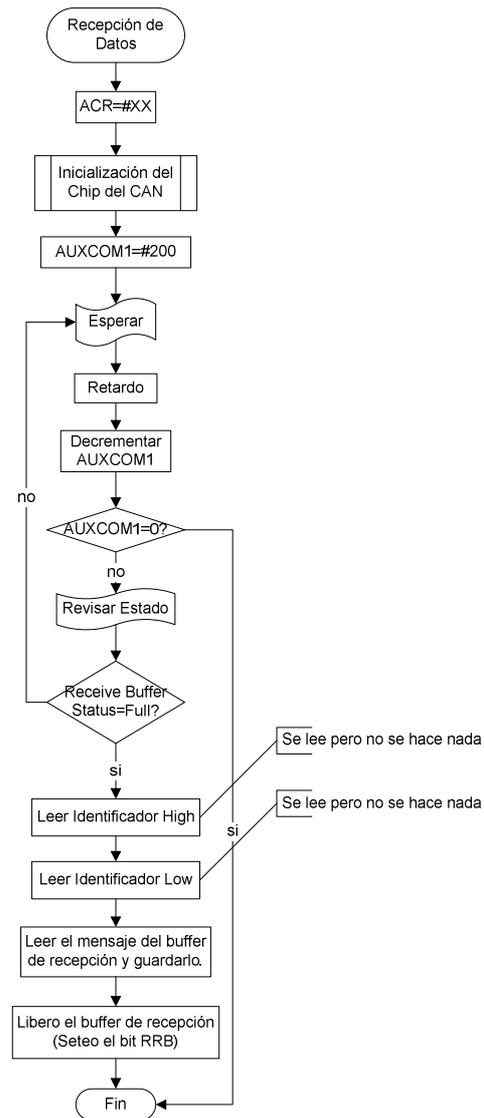
$$\text{Velocidad Nominal de Bit} = \frac{1}{t_{SYNCSEG} + t_{TSEG1} + t_{TSEG2}}$$

$$\text{Velocidad Nominal de Bit} = \frac{1}{500[\text{ns}] + 5[\mu\text{s}] + 2.5[\mu\text{s}]}$$

$$\text{Velocidad Nominal de Bit} = 125[\text{kbps}]$$

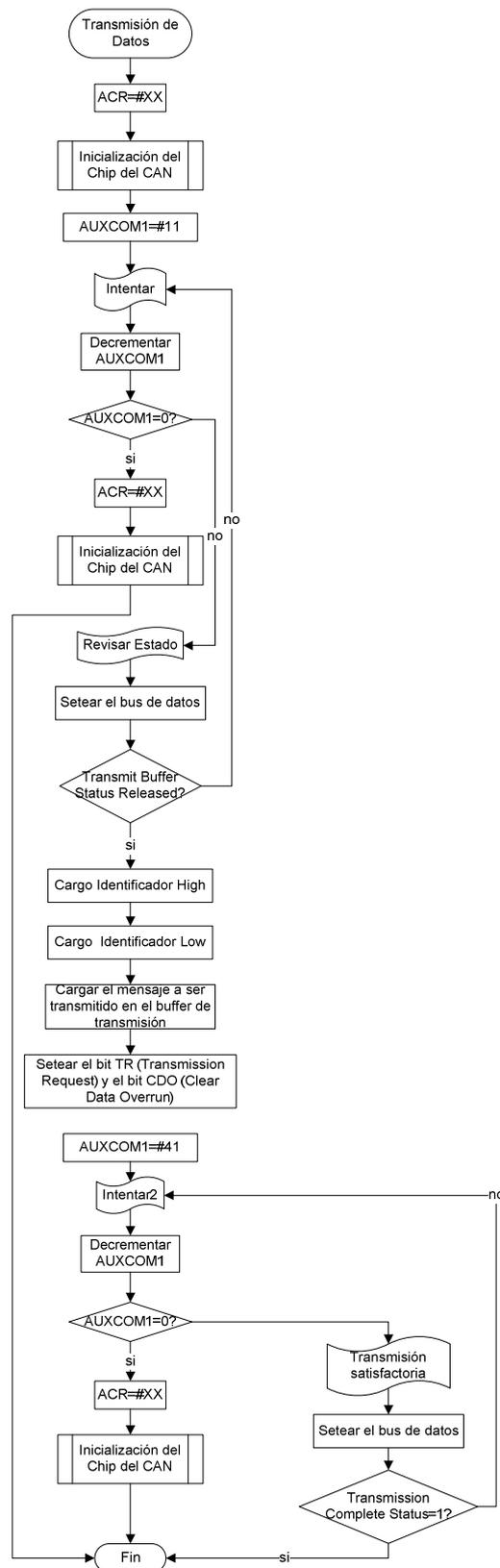
### 3.2.2. PROCESO DE COMUNICACIÓN

El intercambio de datos entre el controlador del sistema dúplex de ascensores y el controlador individual de cada ascensor deberá realizarse de modo que la información sea entendible tanto para el transmisor como para receptor, con el fin de que ésta pueda ser utilizada de manera apropiada y así ejercer las acciones de control pertinentes. Para ello es necesario coordinar la información que se vaya a transmitir y recibir de un controlador a otro, de modo que el número de bytes a transmitir sea igual al número de bytes que se espera recibir y viceversa; además es importante que el Registro de Código de Aceptación (ACR) coincida con identificador de cada trama recibida.



**Figura 3.4: Diagrama de Flujo para la Recepción de un Mensaje del Bus CAN**

La Figura 3.4 muestra el diagrama de flujo para la recepción de datos y la Figura 3.5 el Diagrama de flujo para la transmisión de datos en el Bus CAN.



**Figura 3.5: Diagrama de Flujo para la Transmisión de un Mensaje a través del Bus CAN**

En cada trama CAN es posible enviar hasta 8 Bytes en el campo de datos. Es importante resaltar que el SJA1000T aparece ante el microcontrolador

AT89S8253 como un dispositivo de memoria externa que permite ser leído y escrito.

El sistema dúplex de ascensores será diseñado para ser usado en edificios de hasta veinticuatro pisos razón por la cual el manejo de las llamadas se realizará utilizando 3 registros de ocho bits cada uno. A continuación se detalla la información que recibirá el controlador dúplex del controlador de cada ascensor.

### ***INFORMACIÓN RECIBIDA POR EL CONTROLADOR DEL SISTEMA DÚPLEX DESDE EL CONTROLADOR DEL ASCENSOR A***

#### ***Primera Trama***

- *ESUB1A*: Llamadas de hall de subida registradas en el ascensor A en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *ESUB2A*: Llamadas de hall de subida registradas en el ascensor A en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *ESUB3A*: Llamadas de hall de subida registradas en el ascensor A en la zona3 (pisos del 17 al 24).
- *EBAJ1A*: Llamadas de hall de bajada registradas en el ascensor A en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *EBAJ2A*: Llamadas de hall de bajada registradas en el ascensor A en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *EBAJ3A*: Llamadas de hall de bajada registradas en el ascensor A en la zona3 (pisos del 17 al 24).
- *PISOGRUPRXA*: Este registro contiene el piso del ascensor en A e información acerca de si se debe borrar una llamada de subida o de bajada del registro de llamadas pendientes. La Figura 3.6 muestra la composición de este registro.

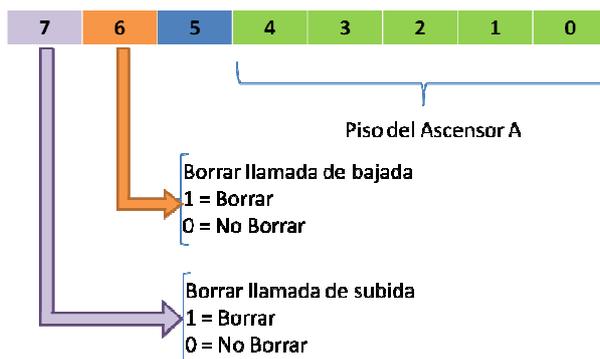


Figura 3.6: Detalle de Bits del Registro PISOGRUPRXA

- *BYTE42A*: El detalle de este registro se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.7: Detalle de Bits del Registro BYTE42A

**ZeroGA:** Si es igual a 1 indica que el ascensor A está parado

**FullLoadGA:**

**ABA:** Si es igual a 1 indica que el ascensor A tiene dirección de bajada.

**ASA:** Si es igual a 1 indica que el ascensor A tiene dirección de subida.

**ParqueoA:** Si es igual a uno indica que el ascensor está parqueado en la planta principal.

**ParandoA:** Este bit se setea cuando empieza la desaceleración hasta que acaba el tiempo de puerta abierta momento en el cual vuelve a cero.

**TPAA:** Este bit se setea desde que la puerta se empieza a abrir hasta que ésta está totalmente abierta y ha transcurrido el tiempo de transferencia, que es el tiempo en el cual se considera que una llamada ha sido atendida.

**ReapA:** Si es igual a 1 indica que hay reapertura de puertas en el ascensor A.

### Segunda Trama

- ECAB1A: Llamadas cabina registradas en el ascensor A en la zona1 (pisos del 1 al 8).

- ECAB2A: Llamadas cabina registradas en el ascensor A en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- ECAB3A: Llamadas cabina registradas en el ascensor A en la zona3 (pisos del 17 al 24).
- BYTE45A: El detalle de este registro se muestra en la Figura 3.8.

7	6	5	4	3	2	1	0
FullOPenA	FullLoadA	OverLoadA	T7A	T6A	KeepDownA	FrontDoorA	DriverA

Figura 3.8: Detalle de Bits del Registro BYTE45A

**DriverA:** No se usa.

**FrontDoorA:** No se usa.

**KeepDownA:** No se usa.

**T6A:** No se usa.

**T7A:** No se usa.

**OverLoadA:** Si es igual a uno indica que la carga dentro de cabina es mayor o igual a 110%.

**FullLoadA:** Si es igual a uno indica que la carga dentro de cabina está completa; es decir es igual al 90%.

**FullOpenA:** Si es igual a cero indica que la puerta está totalmente abierta.

## INFORMACIÓN RECIBIDA POR EL CONTROLADOR DEL SISTEMA DÚPLEX DESDE EL CONTROLADOR DEL ASCENSOR B

### *Primera Trama*

- *ESUB1B:* Llamadas de hall de subida registradas en el ascensor B en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *ESUB2B:* Llamadas de hall de subida registradas en el ascensor B en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *ESUB3B:* Llamadas de hall de subida registradas en el ascensor B en la zona3 (pisos del 17 al 24).

- *EBAJ1B*: Llamadas de hall de bajada registradas en el ascensor B en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *EBAJ2B*: Llamadas de hall de bajada registradas en el ascensor B en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *EBAJ3B*: Llamadas de hall de bajada registradas en el ascensor B en la zona3 (pisos del 17 al 24).
- *PISOGRUPRxB*: Este registro contiene el piso del ascensor en B e información acerca de si se debe borrar una llamada de subida o de bajada del registro de llamadas pendientes. La Figura 3.9 muestra la composición de este registro.

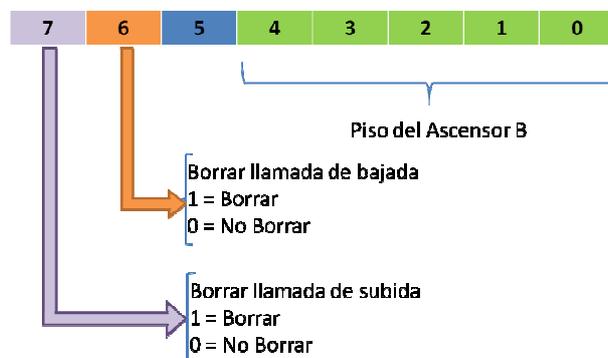


Figura 3.9: Detalle de Bits del Registro PISOGRUPRxB

- *BYTE42B*: El detalle de este registro se muestra en la Figura 3.10.

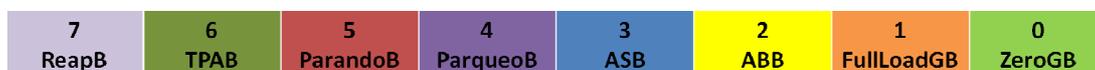


Figura 3.10: Detalle de Bits del Registro BYTE42B

**ZeroGB:** Si es igual a 1 indica que el ascensor B está parado

**FullLoadGB:**

**ABB:** Si es igual a 1 indica que el ascensor B tiene dirección de bajada.

**ASB:** Si es igual a 1 indica que el ascensor B tiene dirección de subida.

**ParqueoB:** Si es igual a uno indica que el ascensor está parqueado en la planta principal.

**ParandoB:** Este bit se setea cuando empieza la desaceleración hasta que acaba el tiempo de puerta abierta momento en el cual vuelve a cero.

**TPAB:** Este bit se setea desde que la puerta se empieza a abrir hasta que ésta está totalmente abierta y ha transcurrido el tiempo de transferencia, que es el tiempo en el cual se considera que una llamada ha sido atendida.

**ReapB:** Si es igual a 1 indica que hay reapertura de puertas en el ascensor B.

### Segunda Trama

- *ECAB1B:* Llamadas cabina registradas en el ascensor B en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *ECAB2B:* Llamadas cabina registradas en el ascensor B en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *ECAB3B:* Llamadas cabina registradas en el ascensor B en la zona3 (pisos del 17 al 24).
- *BYTE45B:* El detalle de este registro se muestra en la Figura 3.11.



Figura 3.11: Detalle de Bits del Registro BYTE45B

**DriverB:** No se usa.

**FrontDoorB:** No se usa.

**KeepDownB:** No se usa.

**T6B:** No se usa.

**T7B:** No se usa.

**OverLoadB:** Si es igual a uno indica que la carga dentro de cabina es mayor o igual a 110%.

**FullLoadB:** Si es igual a uno indica que la carga dentro de cabina está completa; es decir es igual al 90%.

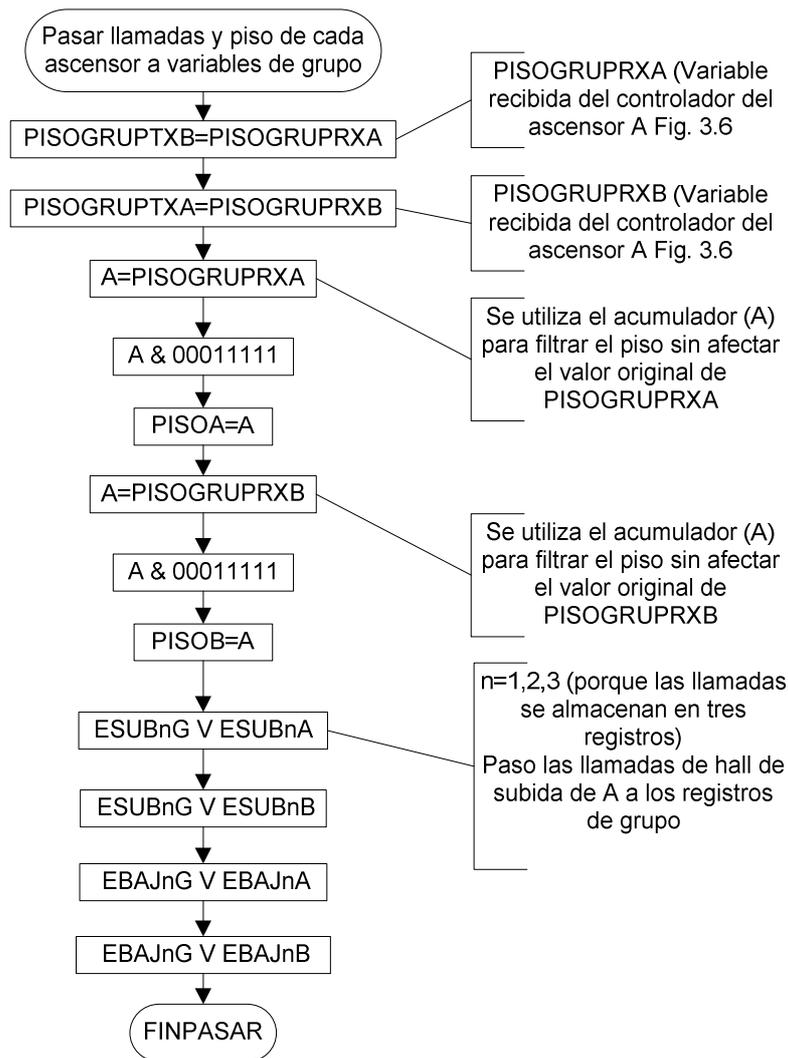
**FullOpenB:** Si es igual a cero indica que la puerta está totalmente abierta.

### 3.2.3. PASO Y BORRADO DE LLAMADAS

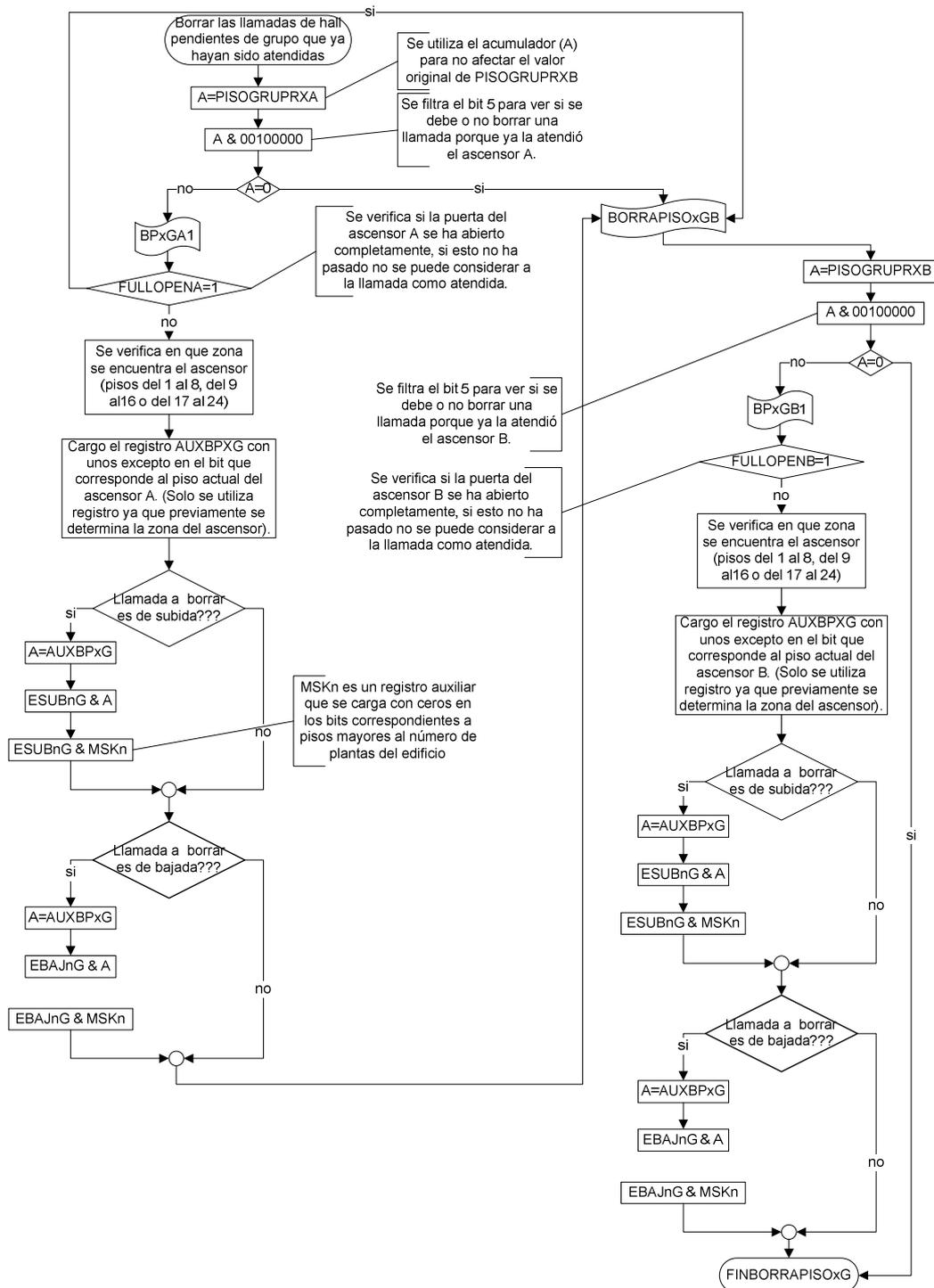
Luego de que la recepción de datos se complete satisfactoriamente se procederá a pasar las llamadas de hall de cada uno de los elevadores a los registros de llamadas pendientes del grupo (*ESUB1G*, *ESUB2G*, *ESUB3G*, *EBAJ1G*, *EBAJ2G*, *EBAJ3G*) mediante el uso de operaciones OR. Asimismo, el piso de cada ascensor se almacenará en las variables *PISOGRUPTX* y *PISOGRUPTXB*. Finalmente, se filtrará el piso de cada ascensor y se guardará en los registros *PISOA* y *PISOB* para facilidad de su uso debido a que, las variables que el controlador del dúplex recibirá con esta información contendrán datos adicionales como se en las Figuras 3.6 y 3.9.

Una vez que las llamadas y el piso de cada ascensor se hayan pasado a las variables deseadas, se procederá a borrar las llamadas de hall que ya hayan sido atendidas, de los registros que contengan las llamadas pendientes del grupo, además se deberán limpiar los bits de éstos registros que correspondan a los pisos superiores al número de pisos del ascensor por motivos de seguridad.

Tanto el paso, como el borrado de llamadas se realizan en dos subrutinas diferentes como se muestran en los diagramas de flujo de las Figuras 3.12 y 3.13.



**Figura 3.12: Diagrama de flujo de la subrutina que permite el paso de llamadas de hall de cada ascensor a los registro de grupo**



**Figura 3.12: Diagrama de flujo de la subrutina que permite borrar las llamadas de hall que ya han sido atendidas de los registros de grupo**

Los registros que contienen las llamadas pendientes del grupo se transmitirán del controlador del dúplex al controlador de cada ascensor junto con los registros que contienen las asignaciones de hall como se indica a continuación.

## INFORMACIÓN TRANSMITIDA POR EL CONTROLADOR DEL SISTEMA DÚPLEX AL CONTROLADOR DEL ASCENSOR A

### Primera Trama

- *MSKSUB1A*: Llamadas de hall de subida del grupo en la zona1 (pisos del 1 al 8) asignadas al ascensor A.
- *MSKSUB2A*: Llamadas de hall de subida del grupo en la zona2 (pisos del 9 al 16) asignadas al ascensor A.
- *MSKSUB3A*: Llamadas de hall de subida del grupo en la zona3 (pisos del 17 al 24) asignadas al ascensor A.
- *MSKBAJ1A*: Llamadas de hall de bajada del grupo en la zona1 (pisos del 1 al 8) asignadas al ascensor A.
- *MSKBAJ2A*: Llamadas de hall de bajada del grupo en la zona2 (pisos del 9 al 16) asignadas al ascensor A.
- *MSKBAJ3A*: Llamadas de hall de bajada del grupo en la zona3 (pisos del 17 al 24) asignadas al ascensor A.
- *PISOGRUPTXA*: Este registro contiene el piso del ascensor en B e información acerca de si se debe borrar una llamada de subida o de bajada del registro de llamadas pendientes. La Figura 3.12 muestra la composición de este registro.

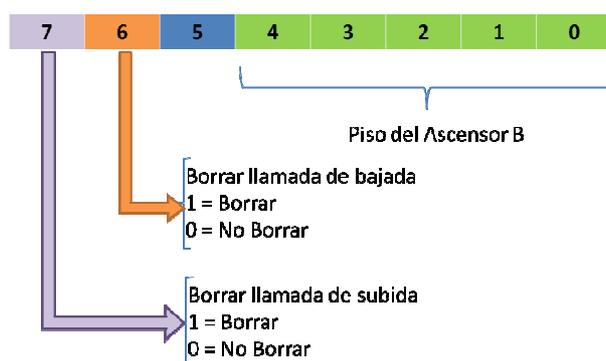


Figura 3.12: Detalle de Bits del Registro PISOGRUPTXA

### **Segunda Trama**

- *ESUB1G*: Llamadas de hall de subida del grupo registradas en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *ESUB2G*: Llamadas de hall de subida del grupo registradas en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *ESUB3G*: Llamadas de hall de subida del grupo registradas en la zona3 (pisos del 17 al 24).
- *EBAJ1G*: Llamadas de hall de bajada del grupo registradas en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *EBAJ2G*: Llamadas de hall de bajada del grupo registradas en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *EBAJ3G*: Llamadas de hall de bajada del grupo registradas en la zona3 (pisos del 17 al 24).

### **INFORMACIÓN TRANSMITIDA POR EL CONTROLADOR DEL SISTEMA DÚPLEX AL CONTROLADOR DEL ASCENSOR B**

#### **Primera Trama**

- *MSKSUB1B*: Llamadas de hall de subida del grupo en la zona1 (pisos del 1 al 8) asignadas al ascensor B.
- *MSKSUB2B*: Llamadas de hall de subida del grupo en la zona2 (pisos del 9 al 16) asignadas al ascensor B.
- *MSKSUB3B*: Llamadas de hall de subida del grupo en la zona3 (pisos del 17 al 24) asignadas al ascensor B.
- *MSKBAJ1B*: Llamadas de hall de bajada del grupo en la zona1 (pisos del 1 al 8) asignadas al ascensor B.
- *MSKBAJ2B*: Llamadas de hall de bajada del grupo en la zona2 (pisos del 9 al 16) asignadas al ascensor B.
- *MSKBAJ3B*: Llamadas de hall de bajada del grupo en la zona3 (pisos del 17 al 24) asignadas al ascensor B.
- *PISOGRUPTXB*: Este registro contiene el piso del ascensor en B e información acerca de si se debe borrar una llamada de subida o de

bajada del registro de llamadas pendientes. La Figura 3.13 muestra la composición de este registro.

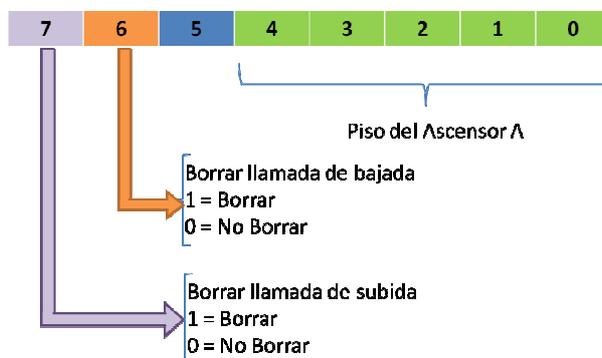


Figura 3.13: Detalle de Bits del Registro PISOGRUPTXA

### Segunda Trama

- *ESUB1G*: Llamadas de hall de subida del grupo registradas en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *ESUB2G*: Llamadas de hall de subida del grupo registradas en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *ESUB3G*: Llamadas de hall de subida del grupo registradas en la zona3 (pisos del 17 al 24).
- *EBAJ1G*: Llamadas de hall de bajada del grupo registradas en la zona1 (pisos del 1 al 8).
- *EBAJ2G*: Llamadas de hall de bajada del grupo registradas en la zona2 (pisos del 9 al 16).
- *EBAJ3G*: Llamadas de hall de bajada del grupo registradas en la zona3 (pisos del 17 al 24).

La forma en que se generará el contenido de los registros *MSKSUB1A*, *MSKSUB2A*, *MSKSUB3A*, *MSKBAJ1A*, *MSKBAJ2A*, *MSKBAJ3A*, *MSKSUB1B*, *MSKSUB2B*, *MSKSUB3B*, *MSKBAJ1B*, *MSKBAJ2B* y *MSKBAJ3B*; se detallará en el siguiente punto de este capítulo.

### **3.3. DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL PARA LA ASIGNACIÓN DE LLAMADAS DE HALL**

El algoritmo de control para el sistema dúplex utilizará la información recibida de cada uno de los elevadores para analizar cuál de ellos es el más óptimo para atender una determinada llamada de hall para ello, se diseñará de acuerdo a las siguientes características:

- La base del algoritmo será el principio de proximidad según el cual si dos ascensores compiten por una llamada el que la atienda será el que se encuentre más cerca y lleve la misma dirección del pasajero.
- Las llamadas de hall serán atendidas de manera secuencial de acuerdo a la dirección del elevador. Por consiguiente, los ascensores no aceptarán llamadas de hall en la dirección contraria a la de viaje. Es importante mencionar que un ascensor no cambiará de dirección mientras lleve pasajeros a bordo, es decir, hasta que no haya servido a todos los pasajeros.
- El principal criterio de optimización del algoritmo será el tiempo de espera de los usuarios.
- El algoritmo será flexible a la reasignación de llamadas acorde con las nuevas condiciones que se presenten debido a la dinámica y comportamiento variables del sistema.
- El algoritmo será diseñado de tal forma que el sistema de cumpla con los requerimientos de un sistema de tiempo real por consiguiente, tanto la toma de decisiones como, la comunicación deberán realizarse en tiempo real.

En ocasiones existe confusión a la hora de definir un sistema de tiempo real. Por lo tanto, a continuación se van a introducir las definiciones sobre las cuales se va a trabajar.

## **SISTEMA DE TIEMPO REAL**

Un sistema de tiempo real, es un sistema en el que es significativo el tiempo en el que se producen sus acciones, es decir es aquel cuyo funcionamiento correcto depende de que sus salidas lleguen a tiempo. Para ello es necesario que el sistema interactúe activamente con el entorno cuya dinámica debe ser conocida en relación con sus entradas, salidas y restricciones temporales, para darle un funcionamiento de acuerdo con los conceptos de predictibilidad, estabilidad, controlabilidad y alcanzabilidad. Esto significa que no es suficiente que las acciones del sistema sean correctas lógicamente, sino que, además, deben producirse dentro de un intervalo de tiempo determinado, que en este caso es el periodo de muestreo establecido.

Este periodo depende de la variable a ser monitoreada, por ejemplo muestrear cada 6 meses la evolución de una estrella estelar cumple con los requisitos anteriores, lo que implica que tiempo real no es sinónimo de tiempos de muestreo extremadamente cortos como [ns] o [ms]. El período de muestreo se puede determinar con el teorema de Nyquist.

Los principales requisitos que debe cumplir un sistema en tiempo real son:

- Interacción con el mundo real (proceso físico a controlar).
- Emisión de respuestas correctas
- Cumplimiento de restricciones temporales.

En función de los requisitos de tiempo real que se imponen a un sistema, estos pueden clasificarse como:

- Críticos o “Hard Real Time Systems”: El tiempo de respuesta se debe garantizar a toda costa, ya que una respuesta tardía puede tener consecuencias fatales.
- Esenciales o “Soft Real Time Systems”: Sistemas con restricciones de tiempo, en los cuales una respuesta fuera de periodo no tiene consecuencias fatales para el sistema.

- Adaptativos: La calidad de la respuesta obtenida depende del tiempo disponible para su cálculo, adaptándose así a la carga del sistema.
- No esenciales: Tareas sin restricciones temporales.

En el caso del sistema descrito en este proyecto, se implementará un “Hard Real Time System” debido a que si bien el incumplimiento de una acción no necesariamente significa un funcionamiento incorrecto, puede incidir en la degradación de la calidad de servicio. Para ello se establecerá un lazo infinito donde se evalúen unas tras otras las entradas correspondientes a los eventos externos y se las atienda rápidamente. Los eventos externos que no puedan esperar, irán colgados de una interrupción.

### **3.3.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO DEL EDIFICIO COMPUTEC**

Cuando de tráfico se trata, cada edificio merece un servicio personalizado. Por consiguiente, a continuación se realizará una proyección de tráfico del edificio COMPUTEC.

#### **DATOS DEL EDIFICIO**

<i>Nombre:</i>	COMPUTEC
<i>Dirección:</i>	Avenida Gran Colombia 1573 y Queseras del Medio, Diagonal al Hospital Militar.
<i>Clasificación:</i>	Oficinas (Consultorios Médicos)
<i>Número de ascensores:</i>	Dos
<i>Capacidad de cada ascensor:</i>	Ocho pasajeros (550 [Kg])
<i>Número de pisos:</i>	Diez
<i>Denominación de pisos:</i>	S2, S1, M, PB, 1, 2, 3, 4, 5, 6
<i>Áreas de acceso restringido ascensor A:</i>	Una en M

<i>Áreas de acceso restringido ascensor B:</i>	Ninguna
<i>Velocidad nominal (<math>V_n</math>):</i>	1 [m/s]
<i>Aceleración:</i>	0,6 [m/s]
<i>Altura entre pisos (<math>e_p</math>):</i>	3 [m]
<i>Recorrido en metros:</i>	30 [m]
<i>Tiempo de apertura de puertas:</i>	3.9 [s]

**POBLACIÓN TOTAL ESTIMADA (B):** Es el total estimado de personas que requieren el transporte vertical [26].

<b>Piso</b>	<b>Área Neta (Ocupable) [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Factor de Ocupación [26] [m<sup>2</sup>/persona]</b>	<b>Población por Piso [Personas]</b>
S2	-	-	-
S1	-	-	-
M	-	-	-
PB	-	-	-
1	420	8	52
2	420	8	52
3	420	8	52
4	420	8	52
5	420	8	52
6	420	8	52
<b>TOTAL</b>	<b>2520</b>		<b>312</b>

En consecuencia la población total estimada según la norma CONVENIN serían 312 personas, pero considerando que el número de consultorios por planta que se tienen en el edificio Computec es doce y asumiendo tres personas por consultorio se tendría una población estimada de 216 personas.

**PERSONAS POR VIAJE ( $P_V$ ):** Es el número probable de pasajeros que un ascensor transportará a los pisos ubicados sobre la planta principal en un viaje completo y se determina según la siguiente fórmula [26]:

$$P_V = \text{entero de } \left( \frac{3.2}{P} + 0.7P + 0.5 \right) [26]$$

Donde P es la capacidad del ascensor, por lo tanto:

$$P_V = \text{entero de } \left( \frac{3.2}{8} + 0.7 \times 8 + 0.5 \right)$$

$$P_V = \text{entero de } (6.5)$$

En consecuencia el número de personas por viaje es igual a 7.

**PARADAS PROBABLES ( $n_p$ ):** Es el número probable de veces que un ascensor se detendrá durante su viaje ascendente, en los pisos ubicados sobre la planta principal en un viaje completo y se calcula según la siguiente fórmula [26]:

$$n_p = n_s \left[ 1 - \left( \frac{n_s - 1}{n_s} \right)^{P_V} \right] [26]$$

Donde  $n_s$  es el número de pisos servidos por encima de la planta principal, por lo tanto:

$$n_p = 6 \left[ 1 - \left( \frac{6 - 1}{6} \right)^7 \right]$$

$$n_p = 4.33$$

**RECORRIDO PROBABLE ( $h_p$ ):** Es el número probable de pisos sobre la planta principal que atenderá el ascensor en un viaje completo. Su valor es igual a [26]:

$$h_p = n_s - \left[ \frac{1^{P_V} + 2^{P_V} + 3^{P_V} + \dots + (n_s - 1)^{P_V}}{n_s^{P_V}} \right] [26]$$

$$h_p = 6 - \left[ \frac{1^7 + 2^7 + 3^7 + 4^7 + 5^7}{6^7} \right] [26]$$

$$h_p = 5.65$$

**$T_p$ :** Es el tiempo por parada necesario para aceleración, desaceleración, nivelación, liberación, acción de frenos y retardo por reapertura expresado en segundos [26].

$$T_p = 10[s] \text{ Según Tabla de la Norma CONVENIN [26]}$$

**TIEMPO DE VIAJE COMPLETO (TVC):** Es el tiempo empleado por un ascensor en salir de la planta principal, atender las plantas principales y regresar a la planta principal [26]. A pesar de que existe un piso que no será atendido por los dos ascensores el tiempo de viaje completo se calculará como si los dos ascensores sirvieran los mismos pisos. Esto se realizará debido a que el piso en cuestión es el M.

$$TVC = \frac{2h_p \times e_p}{V_n} + (n_p + 1) \times T_p + 3.5P_v [26]$$

$$TVC = \frac{2 \times 5.65 \times 3}{1} + (4.33 + 1) \times 10 + 3.5 \times 7$$

$$TVC = 111.7[s]$$

**$TA$ :** Es el tiempo adicional por servicio a subsuelos, expresado en segundos. De acuerdo a la norma CONVENIN el tiempo adicional para este tipo de edificación es el 10% del TVC por cada subsuelo [26]. Para el caso del edificio COMPUTEC se considerará también a M dentro de este cálculo.

$$TA = \frac{111.7 \times 10 \times 3}{100}$$

$$TA = 33.51[s]$$

**TIEMPO TOTAL DE VIAJE (TTV):** Es la suma del tiempo de viaje completo (TVC) más el tiempo adicional (TA) [26].

$$TTV = TVC + TA [26]$$

$$TTV = 145.21[s]$$

**CAPACIDAD DE TRANSPORTE (C):** Número de pasajeros que un ascensor o grupo de ascensores es capaz de transportar en un período de 5 minutos, y que usualmente se expresa como un porcentaje de la población a servir y viene expresada por la fórmula [26]:

$$C = \frac{300 \times F_p \times Z \times 100}{TTV \times B} [26]$$

Donde Z es el número de ascensores del edificio, por lo tanto:

$$C = \frac{300 \times 7 \times 2 \times 100}{145.21 \times 216}$$

$$C = 13.39\%$$

**INTERVALO PROBABLE (I):** Es el tiempo transcurrido entre el arranque consecutivo de cabinas, medido desde la planta principal y el momento pico de tráfico ascendente. Se determina mediante la fórmula [26]:

$$I = \frac{TTV}{Z}$$

$$I = \frac{145.21}{2}$$

$$I = 72.605[s]$$

En conclusión la capacidad de transporte del edificio Computec cumple con la norma CONVENIN que indica que para este tipo de edificios debería ser mayor al 13%, entre tanto que el intervalo probable excede en 17 [s] del máximo establecido, por ello es importante optimizar el funcionamiento del sistema mediante la asignación efectiva de las llamadas de hall.

### **3.3.2. ASIGNACIÓN DE LLAMADAS**

El despacho de llamadas hall en el sistema dúplex de elevadores de este proyecto se realizará de modo que, las peticiones de hall nuevas y pendientes se asignen o reasignen correspondientemente, cada vez que se ejecute el lazo principal del programa, al ascensor cuya distancia relativa sea la más corta con respecto a la llamada.

El despacho de llamadas no se realizará en función de las nuevas llamadas que ingresan al sistema o de las pendientes que tenga el mismo, sino que primeramente se analizará el estado de movimiento y dirección de cada uno de los ascensores y en función de estos parámetros se generarán unas máscaras que contengan unos en los bits correspondientes a los pisos cuyas llamadas de hall puedan ser atendidas por cada elevador debido a las condiciones presentes en dicho instante. Posteriormente, puesto que se conoce la dirección (subida o bajada) de cada solicitud de hall, las máscaras generadas serán filtradas con las llamadas de hall del sistema, nuevas o pendientes, y finalmente serán enviadas al controlador de cada uno de los ascensores.

Para la generación de las máscaras que indicarán las llamadas que puede atender cada ascensor, se analizará en primera instancia la posición relativa de cada uno con respecto al otro, como se indica a continuación:

- Posición de A igual a posición de B, cuando ambos ascensores estén en el mismo piso.
- Posición de A mayor a posición de B, cuando A se encuentre en uno o más pisos arriba de B.

- Posición de B mayor a posición de A, cuando B se encuentre en uno o más pisos arriba de A.

Subsiguientemente, para todos los casos que se muestran arriba, se analizará el estado y dirección de movimiento de cada ascensor, para determinar en cuál de las condiciones que se indican en la tabla 3.1, se encuentra el sistema.

		A		
		Sube	Baja	Parado
B	Sube	A sube y B sube	A baja y B sube	A parado y B sube
	Baja	A sube y B baja	A baja y B baja	A parado y B baja
	Parado	A sube y B parado	A baja y B parado	A parado y B parado

**Tabla 3.1: Combinaciones de movimiento posibles que se pueden dar entre los ascensores del sistema dúplex.**

A continuación se analizará cada uno de los veintisiete casos resultantes de manera independiente, considerando si existen o no llamadas de cabina o llamadas de hall en la dirección actual del ascensor, como se muestra en la Tabla 3.2.

		A	
		Si tiene llamadas de cabina	No tiene llamadas de cabina
B	Si tiene llamadas de cabina	A y B tienen llamadas de cabina	B tiene llamadas de cabina pero A no.
	No tiene llamadas de cabina	A tiene llamadas de cabina pero B no.	Ni A ni B tienen llamadas de cabina.

**Tabla 3.2: Combinaciones posibles considerando si los ascensores del sistema dúplex tienen o no llamadas de cabina.**

En el caso de que un elevador tuviere llamadas de cabina, éste no podrá cambiar su dirección hasta éstas hayan sido atendidas en su totalidad; lo que implica que dicho ascensor solo podrá atender las llamadas de hall que estén en su dirección de movimiento.

Por el contrario, si un elevador no tiene llamadas de cabina, tendrán prioridad las llamadas de hall más cercanas y que estén en la dirección de movimiento del mismo para finalmente, considerarse las llamadas que no estén en la misma dirección de movimiento del elevador o a su vez aquellas que a pesar de estar más cercanas al otro elevador del grupo no pueden ser atendidas por éste.

Inicialmente, las asignaciones se efectuarán en bloques de acuerdo al estado de cada elevador, determinado previamente, y se almacenarán en registros provisionales cuyo contenido se genera como se detalla a continuación.

## **PISO DE "A" IGUAL A PISO DE "B"**

### **1. A sube y B sube**

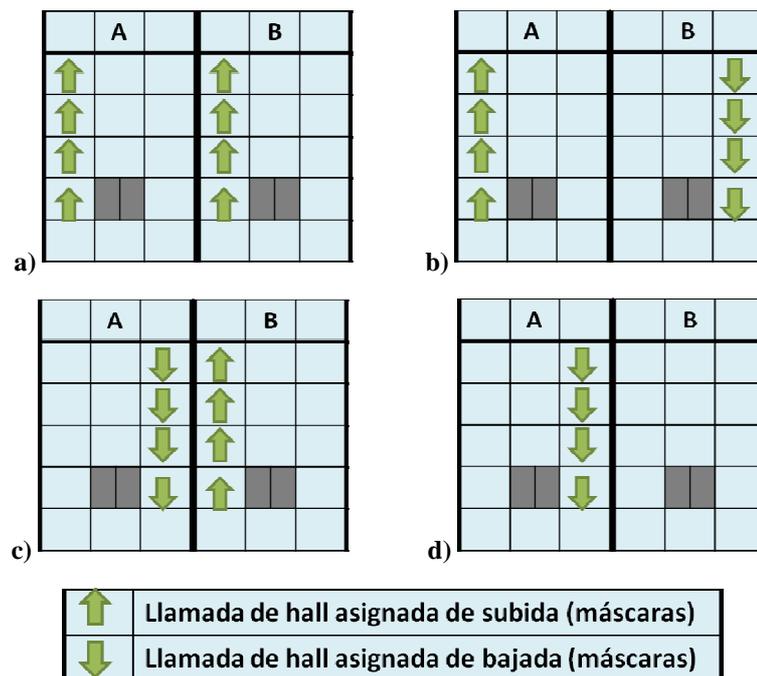


Figura 3.14: Máscaras asignadas en caso de que los dos ascensores suban

#### **a. A y B tienen llamadas de cabina**

Si tanto A como B tienen llamadas de cabina y están subiendo cada uno atenderá las llamadas de hall de subida que estén en su recorrido, dado que en este caso las llamadas de hall serán las

mismas para ambos elevadores, cada una será atendida por el ascensor que llegue primero, luego ésta será borrada del registro de llamadas pendientes, la Figura 3.14 a) muestra las máscaras que se generarán en este caso.

**b. A tiene llamadas de cabina pero B no**

Si A tiene llamadas de cabina pero B no, dado que ambos están subiendo y están en el mismo piso; se asignarán a A las llamadas de hall de subida que estén en su recorrido y a B las de bajada que se encuentren en pisos superiores a su piso actual incluido éste, como se muestra en la Figura 3.14 b).

**c. B tiene llamadas de cabina pero A no**

Si B tiene llamadas de cabina pero A no, dado que ambos están subiendo y están en el mismo piso; se asignarán a B las llamadas de hall de subida que estén en su recorrido y a A las de bajada que se encuentren en pisos superiores a su piso actual incluido éste, como se observa en la Figura 3.14 c).

**d. Ni A ni B tienen llamadas de cabina**

Si ninguno de los dos ascensores tiene llamadas de cabina y en vista de que los dos están subiendo se probará primeramente si hay llamadas de hall de subida nuevas o pendientes en pisos superiores; si no hay se asignarán las llamadas de bajada que haya en pisos superiores a uno de los dos ascensores y al otro se le generarán máscaras con ceros en todos sus registros, como se indica en la Figura 3.14 d). Si, si hubieren llamadas de hall de subida en pisos superiores se procederá como se explica en el literal a).

**2. A sube y B baja**

**a. A y B tienen llamadas de cabina**

Si tanto A como B tienen llamadas de cabina cada cual se encargará de atender las llamadas de hall que están en su

recorrido y lleven su misma dirección, como se indica en la Figura 3.15 a).

**b. A tiene llamadas de cabina pero B no**

Si A tiene llamadas de cabina y está subiendo, únicamente se encargará de atender las llamadas de hall de subida que estén en su recorrido, entretanto como B está bajando se procederá a analizar primeramente si hay llamadas de hall de bajada en pisos menores a su piso actual incluido éste, si es que si existieren, se le asignarán estas llamadas, como se observa en la Figura 3.15 a); caso contrario se asignarán al ascensor B las llamadas de subida que se encuentren en los pisos menores o iguales a su piso actual, como se ilustra en la Figura 3.15 b).

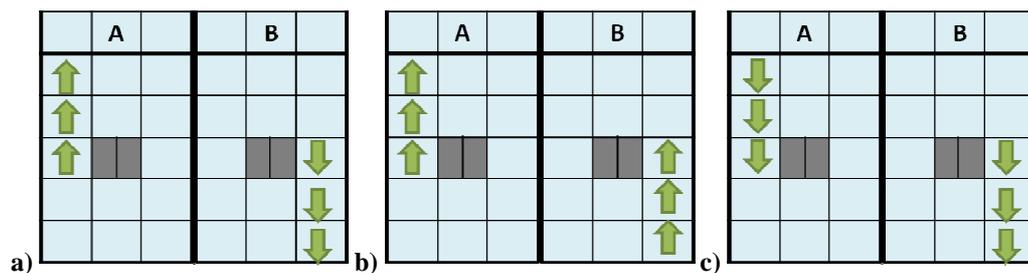


Figura 3.15: Máscaras asignadas en caso de que A suba y B baje

**c. B tiene llamadas de cabina pero A no**

Si B tiene llamadas de cabina y está bajando, únicamente se encargará de atender las llamadas de hall de bajada que estén en su recorrido, entretanto como A está subiendo se procederá a analizar primeramente si hay llamadas de hall de subida en pisos mayores a su piso actual incluido éste, si es que si existieren, se le asignarán estas llamadas, tal como se muestra en la Figura 3.15 a); caso contrario se asignarán al ascensor A las llamadas de bajada que se encuentren en pisos mayores o iguales a su piso actual, como se muestra en la Figura 3.15 c).

**d. Ni A ni B tienen llamadas de cabina**

Como ninguno de los ascensores tiene llamadas de cabina pero los dos tienen dirección, se analizará primero si existen llamadas de hall en su dirección actual de movimiento, si es que si existieren, se les asignarán estas llamadas; caso contrario se les asignarán aquellas llamadas que estén en su trayectoria y tengan dirección contraria.

**3. A sube y B parado**

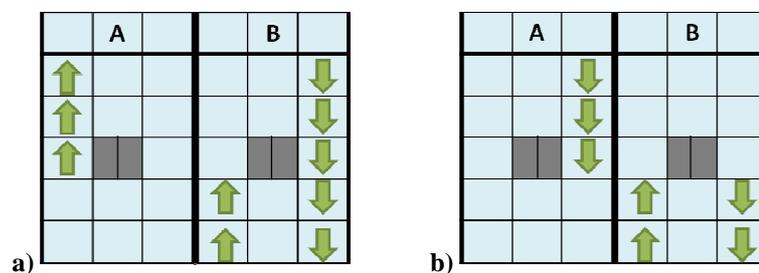


Figura 3.16: Máscaras asignadas en caso de que A suba y B parado

**a. A tiene llamadas de cabina**

Debido a que A tiene llamadas de cabina, se le asignarán únicamente las llamadas de hall de subida que estén en su trayectoria, B por el contrario; podría atender cualquier llamada de bajada o aquellas llamadas de subida que no pueden ser cubiertas por A, como se aprecia en la Figura 3.16 a).

**b. A no tiene llamadas de cabina**

Puesto que A no tiene llamadas de cabina pero tiene dirección de subida, se analizará en primera instancia si existen llamadas de hall de subida en los pisos superiores o en el piso actual, si sí existieren, se procederá de igual manera a la que se explica en el literal a); de lo contrario se le asignarán a A las llamadas de hall de bajada que se encuentren en los pisos mayores o iguales a su piso actual y a B se le asignarán las llamadas de subida y de

bajada de los pisos menores a su piso actual, como se observa en la Figura 3.16 b).

#### 4. A baja y B sube

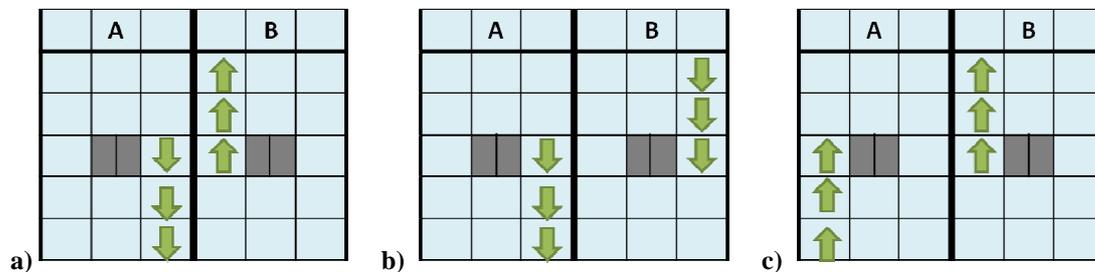


Figura 3.17: Máscaras asignadas en caso de que A baja y B sube

##### a. A y B tienen llamadas de cabina

Si tanto A como B tienen llamadas de cabina cada cual se encargará de atender las llamadas de hall que estén en su recorrido y lleven su misma dirección, como se ilustra en la Figura 3.17 a).

##### b. A tiene llamadas de cabina pero B no

Si A tiene llamadas de cabina y está bajando entonces, únicamente se encargará de atender las llamadas de hall de bajada que estén en su recorrido, entretanto como B está subiendo se procederá a analizar primeramente si hay llamadas de hall de subida en pisos mayores a su piso actual incluido éste, si es que si existieren se le asignarán estas llamadas, tal como se muestra en la Figura 3.17 a); caso contrario se asignarán al ascensor B las llamadas de bajada que se encuentren en pisos mayores o iguales a su piso actual, como se aprecia en la Figura 3.17 b).

##### c. B tiene llamadas de cabina pero A no

Si B tiene llamadas de cabina y está subiendo entonces, únicamente se encargará de atender las llamadas de hall de subida que estén en su recorrido, entretanto como A está bajando

se procederá a analizar primeramente si hay llamadas de hall de bajada en pisos menores a su piso actual incluido éste, si es que si existieren, se le asignarán estas llamadas, como se indica en la Figura 3.17 a); caso contrario se asignarán al ascensor A las llamadas de subida que se encuentren desde su piso actual hasta el primero, como se muestra en la Figura 3.17 c).

**d. Ni A ni B tienen llamadas de cabina**

Como ninguno de los ascensores tiene llamadas de cabina pero los dos tienen dirección se analizará primeramente si existen llamadas de hall en su dirección actual de movimiento, si es que si existieren, se les asignarán estas llamadas; caso contrario se les asignarán aquellas llamadas que estén en su trayectoria y tengan dirección contraria.

**5. A baja y B baja**

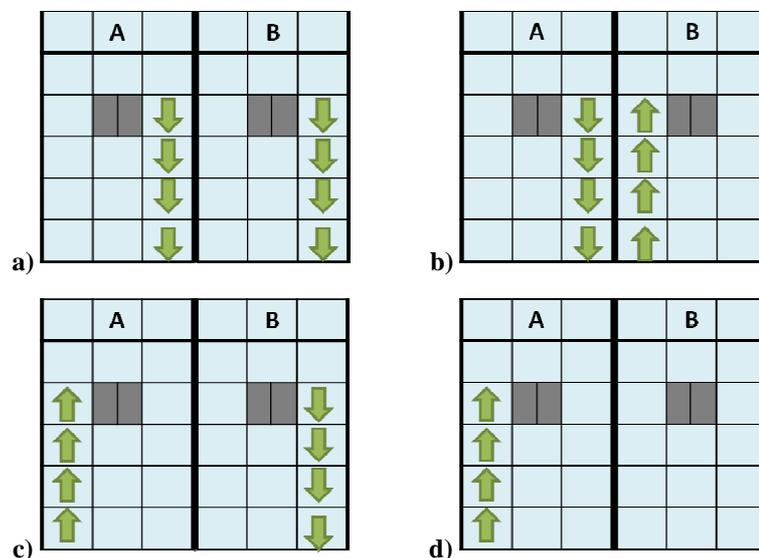


Figura 3.18: Máscaras asignadas en caso de que A baja y B baja

**a. A y B tienen llamadas de cabina**

Si tanto A como B tienen llamadas de cabina y están bajando cada uno atenderá las llamadas de hall de bajada que estén en su

recorrido, dado que en este caso las llamadas de hall van a ser las mismas para ambos elevadores; cada llamada de hall será atendida por el ascensor que llegue primero; luego ésta será borrada del registro de llamadas pendientes, la Figura 3.18 a) muestra las máscaras que se generan en este caso.

**b. A tiene llamadas de cabina pero B no**

Si A tiene llamadas de cabina pero B no, dado que ambos están bajando y están en el mismo piso; se asignarán a A las llamadas de hall de bajada que estén en su recorrido y a B las de subida que se encuentren en pisos menores a su piso actual incluido éste, como se observa en la Figura 3.18 b).

**c. B tiene llamadas de cabina pero A no**

Si B tiene llamadas de cabina pero A no, dado que ambos están bajando y están en el mismo piso; se asignarán a B las llamadas de hall de bajada que estén en su recorrido y a A las de subida que se encuentren en pisos menores a su piso actual incluido éste, como se indica en la Figura 3.18 c).

**d. Ni A ni B tienen llamadas de cabina**

Si ninguno de los dos ascensores tiene llamadas de cabina y en vista de que los dos están bajando se probará primeramente si hay llamadas de hall de bajada nuevas o pendientes en pisos menores o iguales; si no hay se asignarán las llamadas de subida que haya éstos pisos a uno de los dos ascensores y al otro se le generarán máscaras con ceros en todos sus registros, como se presenta en la Figura 3.18 d). En el caso de haber llamadas de hall de subida en los pisos analizados, a uno de los ascensores se le asignarán éstas llamadas y al otro las de subida de los pisos de menores al piso actual incluido éste, como se indica en la Figura 3.18 b).

## 6. A baja y B parado

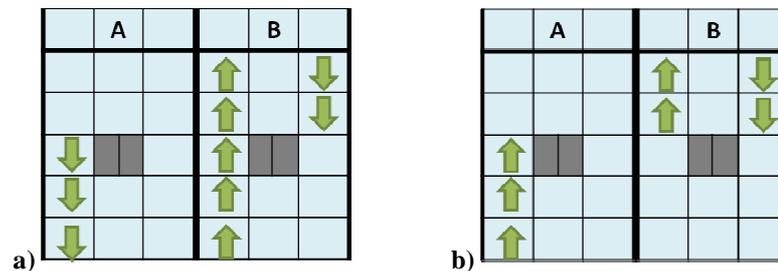


Figura 3.19: Máscaras asignadas en caso de que A baja y B parado

### a. A tiene llamadas de cabina

Debido a que A tiene llamadas de cabina, se le asignarán únicamente las llamadas de hall de bajada que estén en su trayectoria, B por el contrario; podría atender cualquier llamada de subida o aquellas llamadas de bajada que no pueden ser cubiertas por A, como se aprecia en la Figura 3.19 a).

### b. A no tiene llamadas de cabina

Puesto que A no tiene llamadas de cabina pero tiene dirección de bajada, se analizará en primera instancia si existen llamadas de hall de bajada en los pisos inferiores o en el piso actual, si sí existieren, se procederá de igual manera a la que se explica en el literal a); de lo contrario se asignarán a A las llamadas de hall de subida que se encuentren en los pisos menores o iguales a su piso actual y a B las llamadas de subida y de bajada de los pisos mayores a su piso actual, tal como se indica en la Figura 3.19 b).

## 7. A parado y B sube

### a. B tiene llamadas de cabina

Debido a que B tiene llamadas de cabina, se le asignarán únicamente las llamadas de hall de subida que estén en su trayectoria, A por el contrario; podrá atender cualquier llamada de bajada o aquellas llamadas de subida que no pueden ser cubiertas por B.

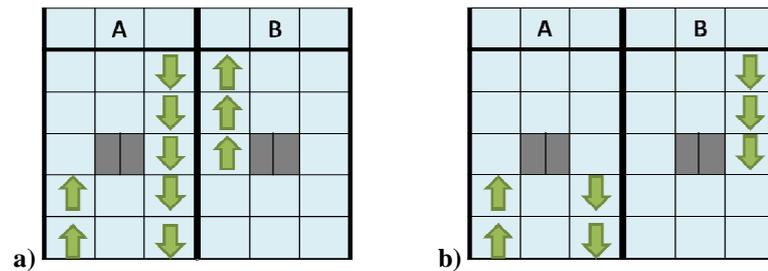


Figura 3.20: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B sube

### b. B no tiene llamadas de cabina

Puesto que B no tiene llamadas de cabina pero tiene dirección de subida, se analizará en primera instancia si existen llamadas de hall de subida en los pisos superiores o en el piso actual, si sí existieren, se procederá de igual manera a la que se explica en el literal a); de lo contrario se le asignarán a B las llamadas de hall de bajada que se encuentren en los pisos mayores o iguales a su piso actual y a A las llamadas de subida y de bajada de los pisos menores a su piso actual.

## 8. A parado y B baja

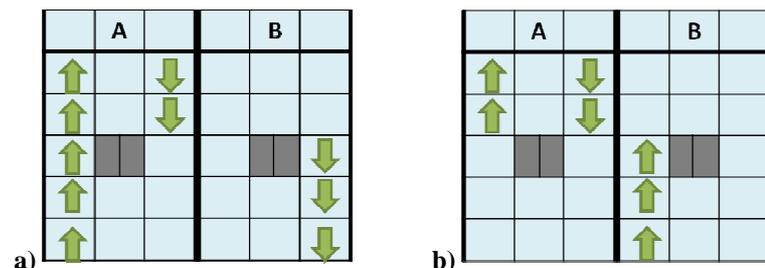


Figura 3.21: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B baja

### a. B tiene llamadas de cabina

Debido a que B tiene llamadas de cabina, se le asignarán únicamente las llamadas de hall de subida que estén en su trayectoria, A por el contrario; podrá atender cualquier llamada de subida o aquellas llamadas de bajada que no pueden ser cubiertas por B, como se indica en la Figura 3.21 a).

**b. B no tiene llamadas de cabina**

Puesto que B no tiene llamadas de cabina pero tiene dirección de bajada, se analizará en primera instancia si existen llamadas de hall de bajada en los pisos inferiores o en el piso actual, si sí existieren, se procederá de igual manera a la que se explica en el literal a); de lo contrario se le asignarán a B las llamadas de hall de subida que se encuentren en los pisos menores o iguales a su piso actual y a A se le asignarán las llamadas de subida y de bajada de los pisos mayores a su piso actual, tal como se observa en la Figura 3.21 b).

**9. A parado y B parado**

Dado que ambos ascensores están parados en el mismo piso A podrá atender cualquier llamada de subida que se presente en el sistema y B cualquier llamada de bajada, como se muestra en la Figura 3.22.

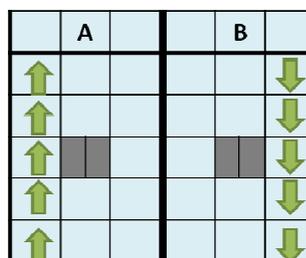


Figura 3.22: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B parado

**PISO DE "A" MAYOR A PISO DE "B"**

**10. A sube y B sube**

**a. A y B tienen llamadas de cabina**

En vista de que tanto A como B están subiendo y tienen llamadas de cabina; se asignarán a A las llamadas de subida que estén en su recorrido y a B las llamadas de subida que se encuentren

desde su piso actual hasta un piso menor al piso de A, como lo muestra la Figura 3.23 a).

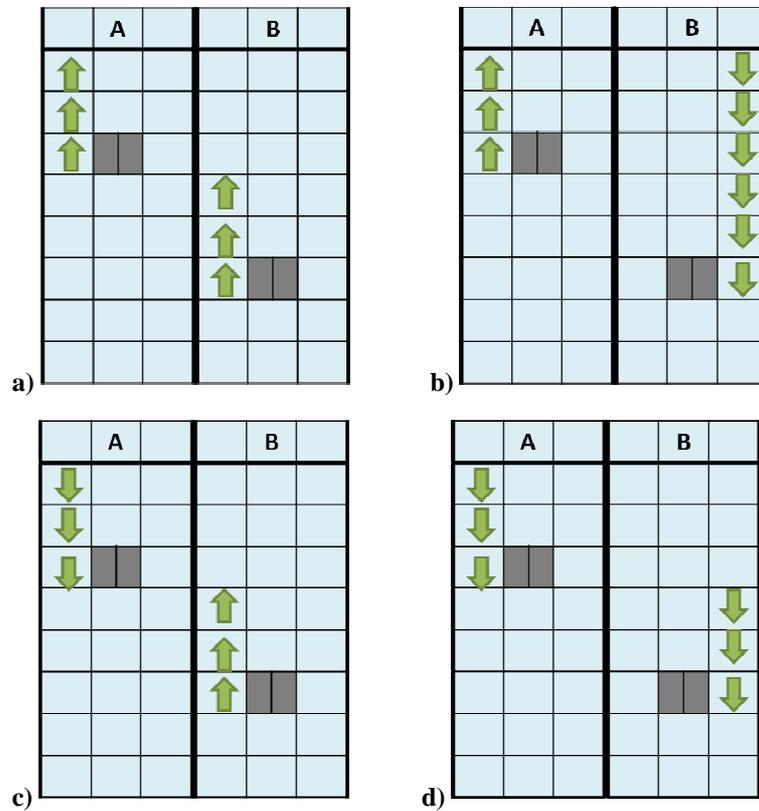


Figura 3.23: Máscaras asignadas en caso de que A sube y B sube

**b. A tiene llamadas de cabina pero B no**

Dado que A está subiendo y tiene llamadas de cabina; se le asignarán a A las llamadas de subida que se encuentren en su recorrido; entretanto debido a que B está subiendo se analizará primeramente si existen llamadas de subida en la zona comprendida entre su piso y un piso menor al de A, si sí existieren; se le asignarán éstas llamadas, como se observa en la Figura 3.23 a); caso contrario se asignarán a B las llamadas de bajada desde su piso en adelante (mayores), como se indica en la Figura 3.23 b).

**c. *B tiene llamadas de cabina pero A no***

Debido a que B está subiendo y tiene llamadas de cabina; se le asignarán las llamadas de subida que se encuentren en la zona comprendida entre su piso y un piso menor al de A; mientras que para B se analizará primeramente si hay llamadas de subida mayores o iguales a su piso actual, si sí existieren; se le asignarán éstas llamadas, como se aprecia en la Figura 3.23 a); caso contrario se le asignarán a A las llamadas de bajada de esta zona, como se presenta en Figura 3.23 c).

**d. *Ni A ni B tienen llamadas de cabina***

Si ninguno de los dos tiene llamadas de cabina pero ambos están subiendo, se analizará primeramente si existen llamadas de subida en los pisos comprendidos en la región desde el piso de A en adelante (mayores); si sí existieren, se le asignarán éstas llamadas al ascensor A y se procederá a analizar si existen llamadas de subida en la zona comprendida entre el piso de B y un piso menor al de A; si sí existieren, se le asignarán éstas llamadas a B, como se observa en la Figura 3.23 a); caso contrario, se asignarán a B las llamadas de bajada que se encuentran en los pisos mayores o iguales a su piso actual, como se muestra en la Figura 3.23 b).

En caso de que no existiesen llamadas de subida en los pisos comprendidos en la región desde el piso de A en adelante (mayores), se le asignarán a A las llamadas de bajada de ésta zona. Posteriormente se analizará si existen llamadas de subida en la zona comprendida entre el piso de B y un piso menor al de A; si sí existieren, se le asignarán éstas llamadas a B, como se aprecia en la Figura 3.23 c); caso contrario, se asignarán a B las llamadas de bajada de la zona descrita, como se observa en la Figura 3.23 d).

### 11. A sube y B baja

Bajo esta condición se procederá de igual manera que cuando los ascensores están en el mismo piso y A sube y B baja (revisar página 58).

### 12. A sube y B parado

Bajo esta condición se procederá de igual manera que cuando los ascensores están en el mismo piso y A sube y B parado (revisar página 59).

### 13. A baja y B sube

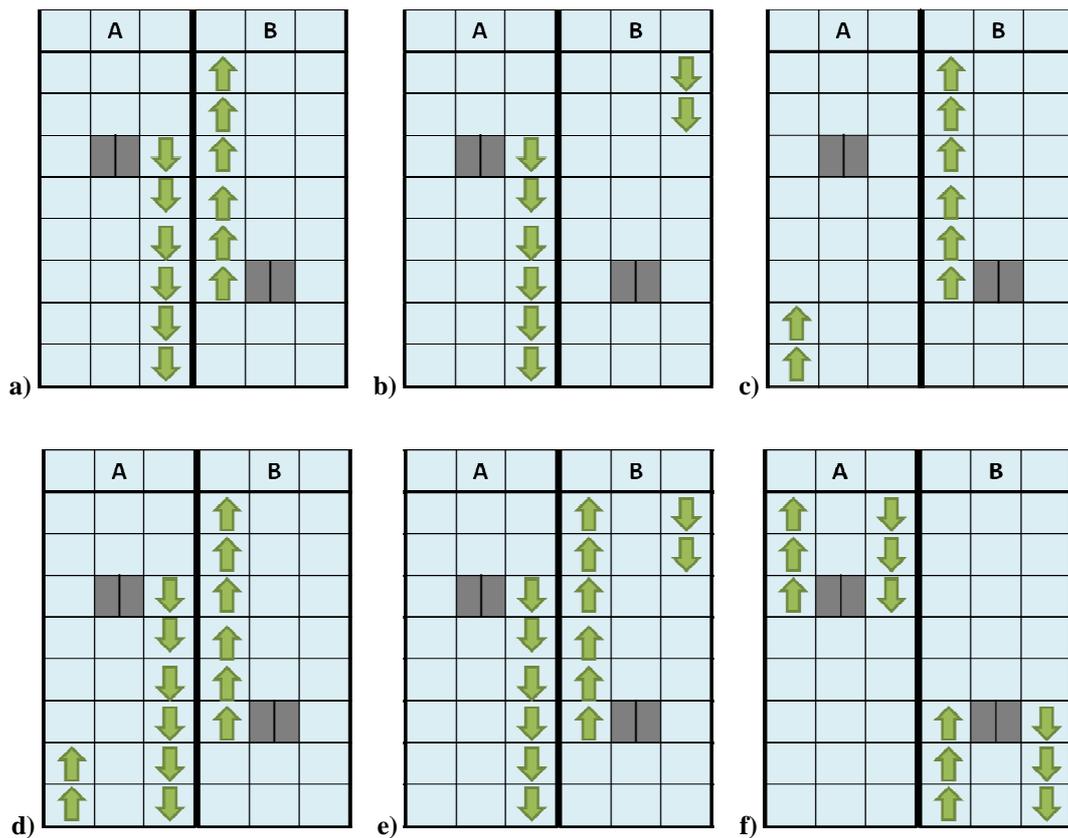


Figura 3.24: Máscaras asignadas en caso de que A baja y B sube

**a. A y B tienen llamadas de cabina**

Si tanto A como B tienen llamadas de cabina cada cual se encargará de atender las llamadas de hall que están en su recorrido y lleven su misma dirección, como se presenta en la Figura 3.24 a).

**b. A tiene llamadas de cabina pero B no**

Si A tiene llamadas de cabina y está bajando entonces, únicamente se encargará de atender las llamadas de hall de bajada que estén en su recorrido, entretanto como B está subiendo se procederá a analizar primeramente si hay llamadas de hall de subida en pisos mayores al piso actual de B incluido éste, si es que si existiesen, se le asignarán estas llamadas, como se muestra en la Figura 3.24 a); caso contrario se asignarán al ascensor B las llamadas de bajada que se encuentren en pisos mayores al piso de A, como se observa en la Figura 3.24 b).

**c. B tiene llamadas de cabina pero A no**

Si B tiene llamadas de cabina y está subiendo entonces, únicamente se encargará de atender las llamadas de hall de subida que estén en su recorrido, entretanto como A está bajando se procederá a analizar primeramente si hay llamadas de hall de bajada en pisos menores a su piso actual incluido éste, si es que si existiesen, se le asignarán estas llamadas, como se indica en la Figura 3.24 a); caso contrario se asignarán al ascensor A las llamadas de subida que se encuentren en los pisos menores al piso de B, como se muestra en la Figura 3.24 c).

**d. Ni A ni B tienen llamadas de cabina**

Si ninguno de los dos tiene llamadas de cabina, primeramente se analizará si existen llamadas de subida y bajada en los pisos comprendidos entre el piso en el que se encuentra el ascensor A y el piso en el que se encuentra el ascensor B.

***i. Si hay llamadas de subida y de bajada entre los pisos actuales de A y B***

Bajo esta condición cada ascensor se encargará de atender las llamadas de hall que estén en su recorrido y lleven su misma dirección (Figura 3.24 a)).

***ii. Hay llamadas de subida pero no de bajada entre los pisos actuales de A y B***

En este caso B se encargará de atender las llamadas de hall de subida desde su piso en adelante (mayores) y a A se le asignarán las llamadas de hall de bajada menores a su piso actual incluido éste y las de subida que se encuentren en los pisos menores al piso de B (Figura 3.24 d)).

***iii. Hay llamadas de bajada pero no de subida entre los pisos actuales de A y B***

En este caso A se encargará de atender las llamadas de hall de bajada en la zona comprendida desde su piso hacia abajo y a B se le asignarán las llamadas de subida desde su piso en adelante (mayores) y las de bajada de los pisos mayores al de A (Figura 3.24 e)).

***iv. No hay llamadas de subida ni de bajada en entre los pisos actuales de A y B***

Si no existieren llamadas de subida ni de bajada en los pisos que se encuentran entre los pisos actuales de A y B, se le asignarán a A las llamadas de subida y bajada de los pisos mayores o iguales a su piso actual, y a B las llamadas de subida y bajada de los pisos menores o iguales a su piso actual, lo que implicará el cambio de dirección de ambos ascensores (Figura 3.24 f)).

### 14.A baja y B baja

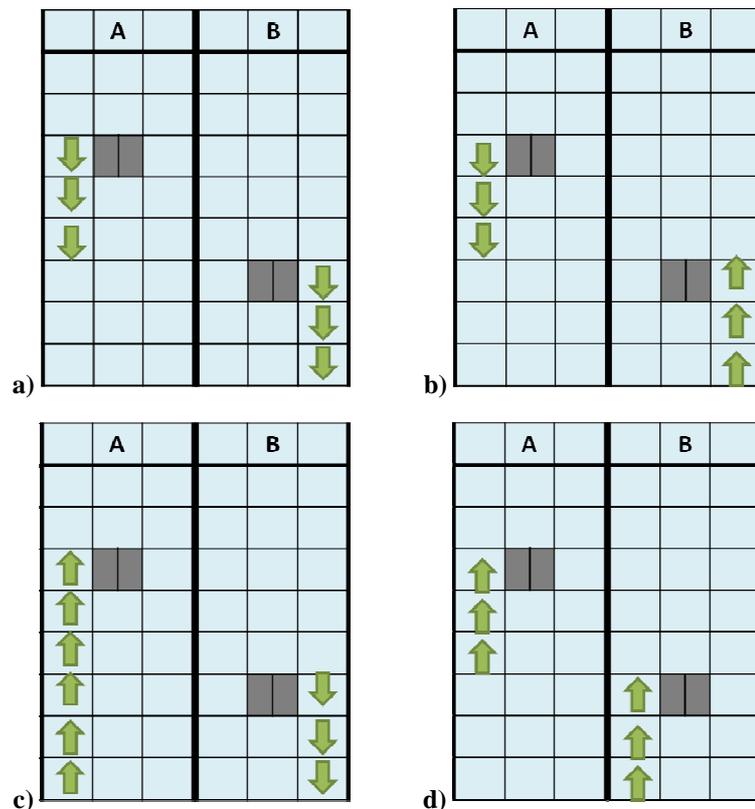


Figura 3.25: Máscaras asignadas en caso de que A baja y B baja

#### a. A y B tienen llamadas de cabina

En vista de que tanto A como B están bajando y tienen llamadas de cabina; se asignarán a B las llamadas de bajada que estén en su recorrido y a A las llamadas de bajada que se encuentren desde su piso actual hasta un piso mayor al piso de B, como se observa en la Figura 3.25 a).

#### b. A tiene llamadas de cabina pero B no

Dado que A tiene llamadas de cabina se encargará de atender las llamadas de hall de bajada que se encuentren desde su piso actual hasta un piso mayor al piso de B. En vista de que B está bajando, se probará primeramente si existen llamadas de bajada en su recorrido, si sí existieren, se le asignarán éstas llamadas, como se aprecia en la Figura 3.25 a), caso contrario se asignarán a B las llamadas de subida que se encuentren en las zona

comprendida desde su piso actual hasta el primero, como se indica en la Figura 3.25 b).

**c. *B tiene llamadas de cabina pero A no***

Debido a que B está bajando y tiene llamadas de cabina; se le asignarán las llamadas de bajada que se encuentren en su recorrido; entretanto dado que A está también bajando se analizará primeramente si existen llamadas de bajada en la zona comprendida entre su piso y un piso mayor al de B, si sí existieren, se le asignarán éstas llamadas, como lo presenta la Figura 3.25 a); caso contrario se asignarán a A las llamadas de subida desde su piso en adelante (menores), como se muestra en la Figura 3.25 c).

**d. *Ni A ni B tienen llamadas de cabina***

Si ninguno de los dos tiene llamadas de cabina pero ambos están bajando, se analizará primeramente si existen llamadas de bajada en los pisos comprendidos en la región desde el piso de B en adelante (menores); si sí existen, se le asignarán éstas llamadas al ascensor B y se procederá a analizar si existen llamadas de bajada en la zona comprendida entre el piso de A y un piso mayor al de B; si sí existieren, se le asignarán éstas llamadas a A, como se indica en la Figura 3.25 a); caso contrario, se asignarán a A las llamadas de subida que se encuentren en los pisos menores o iguales a su piso actual, como se observa en la Figura 3.25 c).

En caso de que no existiesen llamadas de bajada en los pisos comprendidos en la región desde el piso de B en adelante (menores), se le asignarán a B las llamadas de subida de ésta zona. Posteriormente se analizará si existen llamadas de bajada en la zona comprendida entre el piso de A y un piso mayor al de B; si sí existieren, se le asignarán éstas llamadas a A, como se muestra en la Figura 3.25 b); caso contrario, se asignarán a A las llamadas de subida de la zona descrita, como se indica en la Figura 3.25 d).

### 15.A baja y B parado

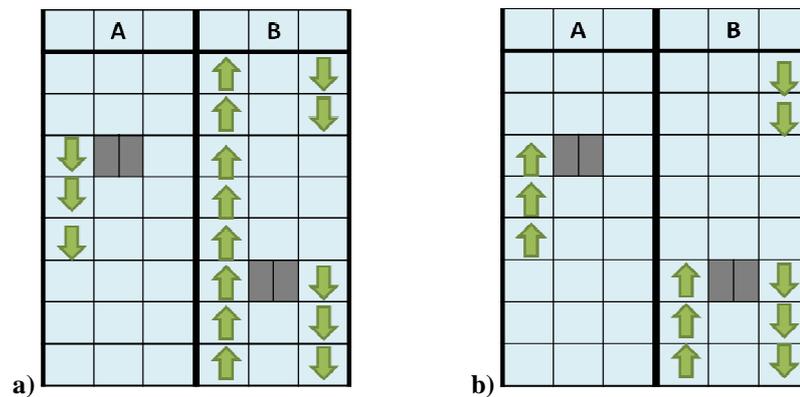


Figura 3.26: Máscaras asignadas en caso de que A baja y B parado

#### a. A tiene llamadas de cabina

Debido a que A tiene llamadas de cabina, se le asignarán únicamente las llamadas de hall de bajada que estén en su trayectoria hasta un piso mayor al de B, B por el contrario; podrá atender cualquier llamada de subida o aquellas llamadas de bajada que no pueden ser cubiertas por A; es decir la de los pisos mayores al piso de A y también las de bajada comprendidas desde su piso actual hasta el primero, como se muestra en la Figura 3.26 a).

#### b. A no tiene llamadas de cabina

Puesto que A no tiene llamadas de cabina pero tiene dirección de bajada, se analizará en primera instancia si existen llamadas de hall de bajada en los pisos inferiores hasta un piso mayor al piso actual de B, si sí existieren, se procede de igual manera que la que se explica en el literal a); de lo contrario se le asignarán a A las llamadas de hall de subida que se encuentren en los pisos menores o iguales a su piso actual hasta un piso mayor que el piso actual de A y a B se le asignarán las llamadas de subida y de bajada de los pisos menores o iguales a su piso actual además de las llamadas de bajada de los pisos mayores al piso de A, como se observa en la Figura 3.26 b).

## 16.A parado y B sube

### a. B tiene llamadas de cabina

Debido a que B tiene llamadas de cabina, se le asignarán únicamente las llamadas de hall de subida que estén en su trayectoria hasta un piso menor al de A, A por el contrario; podrá atender cualquier llamada de bajada o aquellas llamadas de subida que no puedan ser cubiertas por B; es decir las de los pisos menores al piso de B y también las de subida mayores o iguales a su piso actual, como lo indica la Figura 3.27 a).

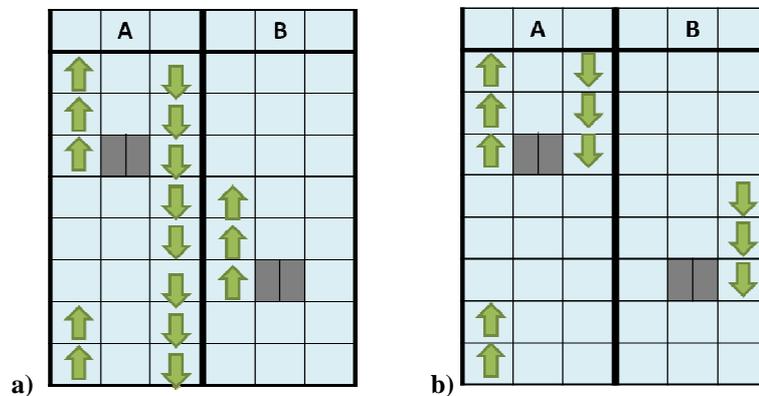


Figura 3.27: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B sube

### b. B no tiene llamadas de cabina

Puesto que B no tiene llamadas de cabina pero tiene dirección de subida, se analizará en primera instancia si existen llamadas de hall de subida en los pisos superiores hasta un piso menor al piso actual de A, si sí existieren, se procederá de igual manera que la que se explica en el literal a); de lo contrario se le asignarán a B las llamadas de hall de bajada que se encuentren en los pisos mayores o iguales a su piso actual hasta un piso menor que el piso actual de A y a A se le asignarán las llamadas de subida y de bajada de los pisos mayores o iguales a su piso actual además de las llamadas de subida de los pisos menores al piso de B, como se observa en la Figura 3.27 b).

### 17.A parado y B baja

Bajo esta condición se procederá de igual manera que cuando los ascensores están en el mismo piso y A parado y B baja (revisar página 63).

### 18.A parado y B parado

#### a. Piso de A igual a un piso mayor al de B

Si A se encuentra un piso arriba de B, al ascensor A se le asignarán las llamadas de subida y de bajada de los pisos mayores o iguales a su piso actual y B las llamadas de subida y de bajada de los pisos menores o iguales a su piso actual, tal como se muestra en la Figura 3.28.

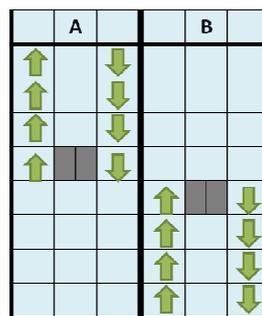


Figura 3.28: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B parado y piso de A igual a un piso mayor al de B

#### b. Piso de A igual a dos pisos mayor al piso de B

En este caso se procederá de igual manera a la descrita en el literal a) considerando que una solicitud de hall que se produzca en el piso que se encuentra entre los dos ascensores, “piso intermedio”, se procesará como se muestra en la Figura 3.29, es decir que; si la llamada de hall que se produce en el piso intermedio es de subida esta será asignada al ascensor B y si es de bajada será asignada al ascensor A.

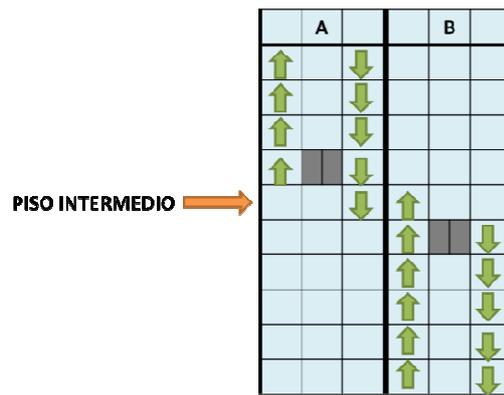


Figura 3.29: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B parado y piso de A igual a dos pisos mayor al piso de B

**c. Número de pisos entre A y B par**

En este caso se dividirá el número de pisos que existan entre los dos ascensores y se procederá como se muestra en la Figura 3.30, es decir las llamadas de subida y de bajada de la mitad superior de esta zona se asignarán al ascensor A y las llamadas de subida y de bajada de la mitad inferior se asignarán al ascensor B, para los demás pisos se procederá como se explica en el literal a).

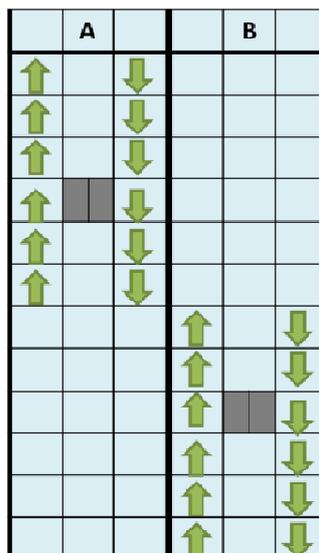
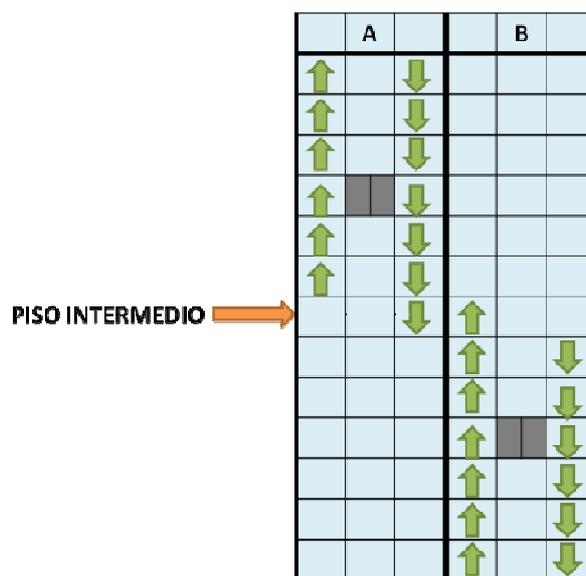


Figura 3.30: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B parado y número de pisos entre A y B par

**d. Número de pisos entre A y B impar**



**Figura 3.31: Máscaras asignadas en caso de que A parado y B parado y número de pisos entre A y B impar**

En este caso se procederá como se explicó el literal c) y el piso intermedio se procesará como se explicó en el literal d).

**PISO DE “B” MAYOR A PISO DE “A”**

Cuando el piso del ascensor B sea mayor al del ascensor A se procederá de manera análoga que cuando el piso del ascensor A es mayor al piso del ascensor B.

Luego de que se generen las máscaras que indican cuáles son las posibles zonas o llamadas que podría cubrir cada ascensor del sistema; en virtud de su posición, estado de movimiento y llamadas de cabina y de hall asignadas, se procederá a hacer una operación lógica “AND” entre las máscaras y las llamadas de hall nuevas o pendientes que tenga el sistema en ese momento. Asimismo, se limpiarán los bits que correspondan a los pisos mayores al número de plantas del edificio y el resultado final se almacenará en seis registros (*MSKSUB1B*, *MSKSUB2B*, *MSKSUB3B*, *MSKBAJ1B*, *MSKBAJ2B* y *MSKBAJ3B*), tres por cada ascensor, que contendrán las asignaciones de hall

finales que posteriormente se enviarán a las tarjetas de control de cada uno de los elevadores.

Un aspecto especial que tendrá que considerarse en el Edificio Computec está relacionada con el área de acceso restringido que aplica a uno solo de los ascensores, debido a que en el piso denominado “M” no existe puerta de acceso al hall para el ascensor B por esta razón, se tendrá que programar que las llamadas que se produzcan en este piso sean ignoradas por el ascensor B y sean atendidas únicamente por el A. Esta consideración se deberá asumir al momento de armar las máscaras que contengan las asignaciones de hall finales, antes de que sean enviadas a los controladores de cada elevador.

### **3.3.3. DISEÑO DEL ALGORITMO PARA TIEMPO DE AYUDA**

En ocasiones los pasajeros suelen retrasar el curso normal del ascensor, mediante el impedimento de cierre de las puertas del mismo, ya sea presionando el botón de abrir puertas lo que conlleva a una reapertura de las mismas, o parándose entre ellas, lo cual es detectado por el sensor de presencia que se encuentra instalado en las puertas del elevador y cuya función es impedir que éstas se cierren por seguridad de las personas o cosas que estén ingresando o saliendo del elevador. Cualquiera que sea el caso, este retraso perjudica a otros usuarios del sistema a los cuales se les ha asignado éste ascensor, por ello en el diseño del algoritmo que se presenta en este proyecto se implementará un “tiempo de ayuda” cuya función y descripción se explican a continuación.

Como ya se mencionó anteriormente, el principal criterio que se busca optimizar en el algoritmo del presente trabajo, es el tiempo de espera de los usuarios. El tiempo de ayuda contribuirá a éste fin debido a que, permitirá que uno de los ascensores del sistema tome las llamadas que se han asignado al otro ascensor y que han demorado mucho en atenderse, es importante mencionar que un ascensor podrá “ayudar” únicamente si está libre; es decir, si no tiene ninguna llamada de cabina o de hall pendientes en su registro.

El tiempo de ayuda se diseñará mediante la utilización del Timer 2 del microcontrolador AT89S8253. A continuación se describe brevemente este Timer y su configuración para esta aplicación.

### 3.3.3.1. Timer 2

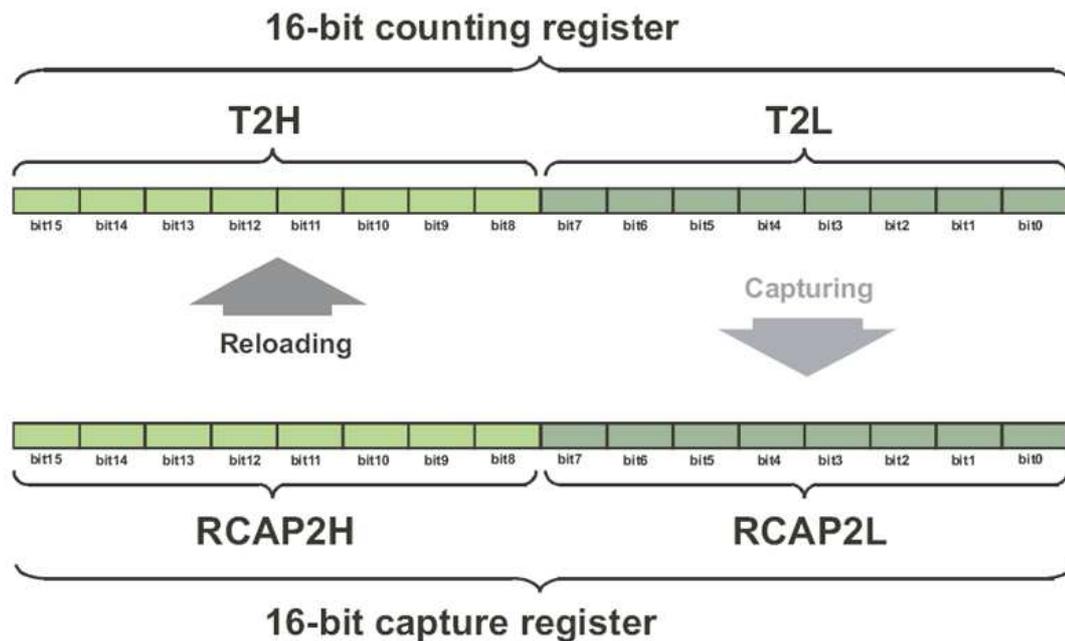


Figura 3.32: Registros del Timer 2 [20]

El Timer 2 es un temporizador/contador de 16 bits que consta de cuatro registros, como se muestra en la Figura 3.32. Dos de ellos, TH2 y TL2, están conectados en serie, con el fin de formar un registro de 16 bits de longitud. Los otros dos registros RCAP2H y RCAP2L, están de igual manera conectados en serie y operan como registros de captura es decir; que son usados para guardar temporalmente el contenido de los registro contadores. RCAP2H y RCAP2L también se utilizan para almacenar los valores de recarga de los registro contadores. El timer 2 puede operar ya sea como temporizador o como contador de eventos [20].

### **Registro de control del Timer 2 (T2CON)**

Tal como se muestra en la Figura 3.33, este registro contiene los bits de control para la operación del Timer 2.



**Figura 3.33: Registro de control del Timer 2 [20]**

**TF2:** Este bit es automáticamente seteado cuando se produce un desbordamiento del Timer 2. Con el fin de detectar el próximo desbordamiento, éste bit debe ser limpiado dentro del programa. Si los bits RCLK y TCLK están seteados, el desbordamiento no tiene efecto en el bit TF2 [21].

**EXF2:** Este bit es automáticamente seteado cuando una captura o recarga es causada por una transición negativa en el pin T2EX. Ésta genera una interrupción (si está habilitada), a menos que el bit DCEN del registro T2MOD esté seteado. El bit EXF2 debe ser limpiado dentro del programa [21].

**RCLK:** Es el bit de recepción del reloj e indica que timer va a ser usado como receptor del reloj para el puerto serial [21]

- **1** - T2 es usado como receptor del reloj para el puerto serial [21].
- **0** - T1 es usado como receptor del reloj para el puerto serial [21].

**TCLK:** Es el bit de transmisión del reloj e indica que timer va a ser usado como transmisor del reloj para el puerto serial [21]:

- **1** - T2 es usado como transmisor del reloj para el puerto serial [21].
- **0** - T1 es usado como transmisor del reloj para el puerto serial [21].

**EXEN2:** Es el bit de habilitación externa del Timer 2 y es usado para incluir el pin T2EX en la operación del Timer [21]:



Para esta aplicación el registro T2CON se configurará como un temporizador de 16 bits con autorecarga cuyo bit de arranque se seteará cada vez que se requiera y se limpiará terminada o suspendida la aplicación deseada, la Figura 3.34 muestra este modo de funcionamiento. Adicionalmente, como se requiere que mientras se cuenta el tiempo de ayuda el programa siga desarrollándose, en cada desbordamiento del timer se entrará en una rutina de interrupción, en consecuencia al momento de arrancar el timer habilitará también la interrupción del timer 2 y las interrupciones globales del registro de interrupciones.

Cada vez que se desborde el timer 2 se contará aproximadamente 0,1066650390625 [s].

$$t = \frac{1}{f_{xtal}} \times 12 \times 65535$$

$$t = \frac{1}{7372800[Hz]} \times 12 \times 65535$$

$$t = 0,1066650390625 [s]$$

Como este tiempo resulta todavía muy pequeño se utilizarán cuatro registros auxiliares que se decrementarán cada vez que se entre en la rutina de interrupción por el desbordamiento del Timer 2, esto permitirá contar un tiempo de ayuda que puede escogerse desde cero hasta aproximadamente un minuto y cuarenta y nueve segundos.

La determinación de si un ascensor puede ayudar o no y la consecuente activación del timer 2 y generación de máscaras que indican cuáles son las llamadas de hall que debe tomar el ascensor que va a ayudar, se realizará dentro del lazo principal del programa como lo indica la Figura 3.1 de la página 36.

A continuación la Figura 3.35 muestra un la sección del lazo principal en la cual se verifica si el ascensor A puede ayudar o no y como se procede posteriormente (el tiempo de ayuda del ascensor B se procesa de la misma manera).

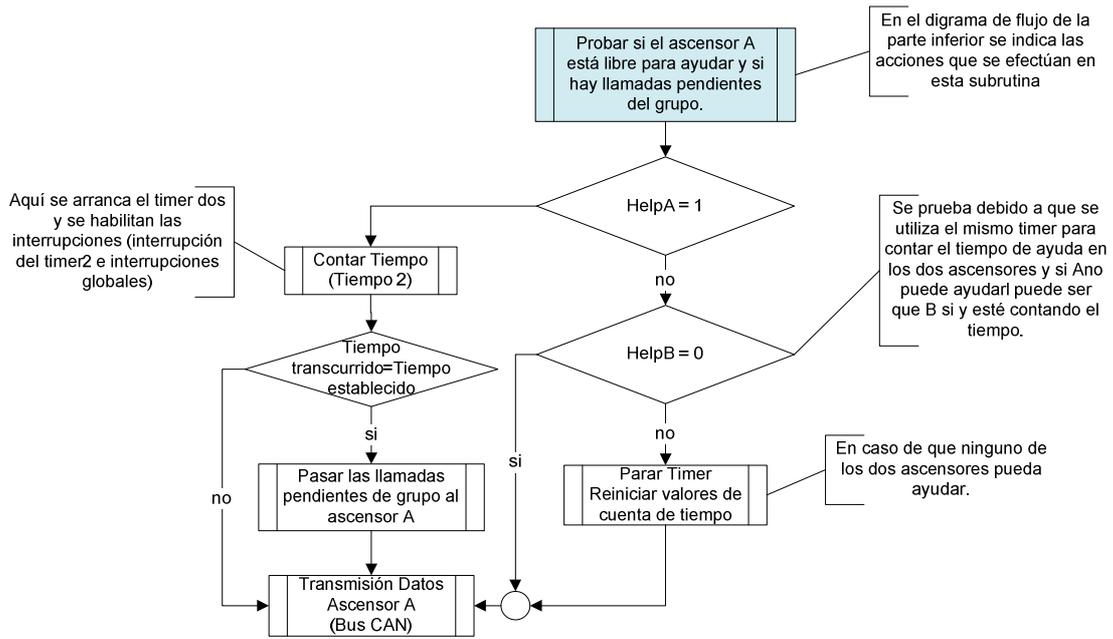


Figura 3.35 a): Sección del lazo principal en la que se verifica si el ascensor A puede ayudar o no

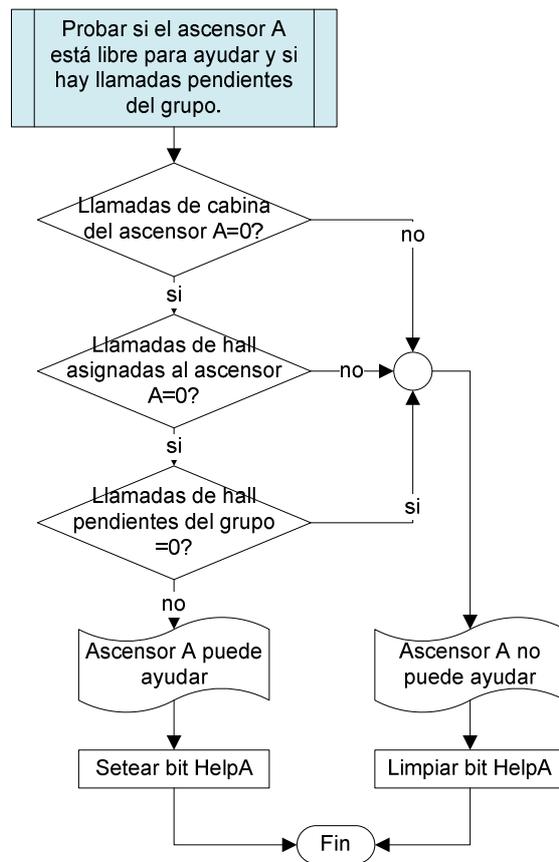


Figura 3.35 b): Diagrama de Flujo de la subrutina en la que se decide si un ascensor puede ayudar

o no

Como se puede observar en la Figura 3.35 un ascensor podrá ayudar solamente si no tiene llamadas de cabina o de hall que atender y si además existen llamadas pendientes del grupo que aún no han sido atendidas por el otro ascensor. Por otra parte, es importante señalar que el tiempo que se contará es el tiempo que un ascensor está libre mientras existen todavía llamadas pendientes del grupo; es decir, no se contará el tiempo que un pasajero gasta en esperar un ascensor. Por consiguiente, si mientras se está contando el tiempo de ayuda se le asignan llamadas al ascensor que se encontraba libre se limpiará el timer 2 y se reiniciarán los registros auxiliares que ayudan al conteo del tiempo, hasta que nuevamente uno de los ascensores quede libre.

## **CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Cuando se diseña un software que va a ser usado en diferentes ambientes o condiciones de trabajo, es necesario el desarrollo de otro software que permita la adaptación del primero a cada uno de estos ambientes o condiciones; ya que algunas de sus características pueden diferir por encima del hecho de que en todos se realice básicamente la misma función.

El controlador del sistema dúplex de ascensores podrá ser implementado en edificios de hasta veinticuatro pisos, lo que no necesariamente implica que todos los edificios tengan dichas características; por ello es necesario, al momento de la instalación, configurar ciertas condiciones iniciales como son:

- Número de pisos del edificio
- Áreas de acceso restringido (si las hay)
- Duración del tiempo de ayuda

Estos ajustes se realizarán a través del software de soporte o HMI (Human-Machine Interface) desarrollado en LabVIEW que permitirá, mediante comunicación serial RS232, enviar estos datos al microcontrolador para almacenarlos en la memoria EEPROM del mismo.

Adicionalmente, para monitorear el funcionamiento del algoritmo de control del sistema dúplex de ascensores; se diseñará una segunda HMI, que permite supervisar las siguientes variables:

- Piso actual de cada elevador
- Llamadas de hall pendientes del grupo
- Llamadas de cabina de cada ascensor

- Llamadas de hall asignadas a cada ascensor

## 4.2. HMI

El HMI es un módulo que proveerá la interacción entre el operador y el sistema dúplex de ascensores. Este interfaz contendrá representaciones gráficas que permitan:

- Entrada de datos al sistema, con lo cual el usuario podrá manipularlo para establecer las condiciones iniciales de funcionamiento.
- Salida de datos, con lo cual el sistema mostrará al usuario los datos que se recibieron, lo que permite verificar si son correctos, en un caso, o su dinámica de funcionamiento actual, en otro.

La Figura 4.1 muestra un diagrama que muestra la arquitectura de los HMI.

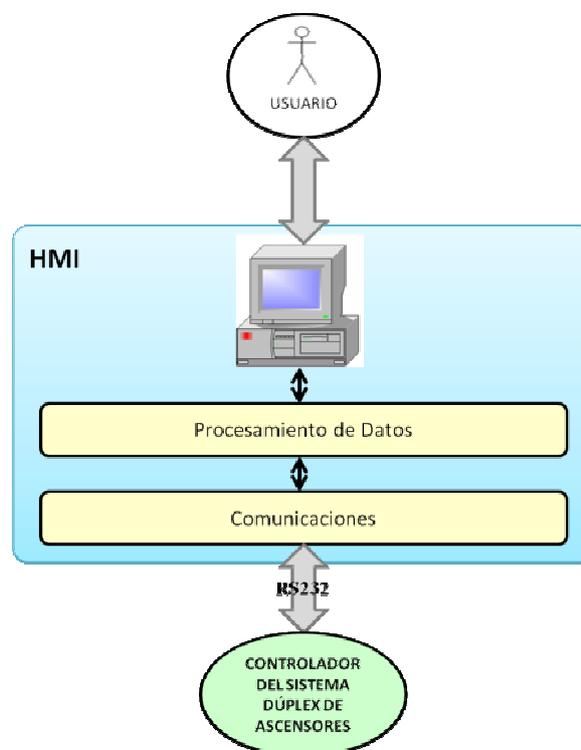


Figura 4.1: Arquitectura del HMI

Los HMI para el sistema del presente proyecto estarán compuestos por dos tipos de variables de acuerdo a su funcionalidad:

- Indicadores, los cuales mostrarán continuamente el estado de los parámetros clave del sistema de control, como por ejemplo estado de llamadas de cabina o de hall.
- Controles, los cuales permitirán la interacción del operador con el sistema dúplex de elevadores. Estos consistirán de diferentes conjuntos de comandos pre-programados los cuales serán enviados al sistema dúplex de ascensores con el fin de modificar sus parámetros de funcionamiento actual, como son: máximo número de pisos, áreas de acceso restringido y duración del tiempo de ayuda.

El HMI que permitirá el monitoreo del sistema estará formado únicamente por indicadores.

#### **4.2.1. DISEÑO DE LA COMUNICACIÓN ENTRE EL HMI Y EL CONTROLADOR DEL SISTEMA DÚPLEX DE ASCENSORES**

La comunicación que se utilizará para el intercambio de datos entre el HMI y el sistema del controlador dúplex de ascensores es la comunicación serial RS-232, modo asíncrono con detección de errores por el método del checksum que se basa en la transmisión, al final del mensaje, de un byte cuyo valor sea el complemento a dos de la suma de todos los caracteres que han sido transmitidos en el mensaje. El receptor implementará una rutina que sume todos los bytes de datos recibidos excepto el último, obtendrá el complemento a dos del resultado para finalmente comparar este valor con el último byte recibido, si la recepción del mensaje ha sido correcta ambos valores deben ser iguales.

El interfaz serial RS-232 es una de las técnicas más populares para transmitir datos digitales sobre un medio físico. Es un tipo de comunicación punto a

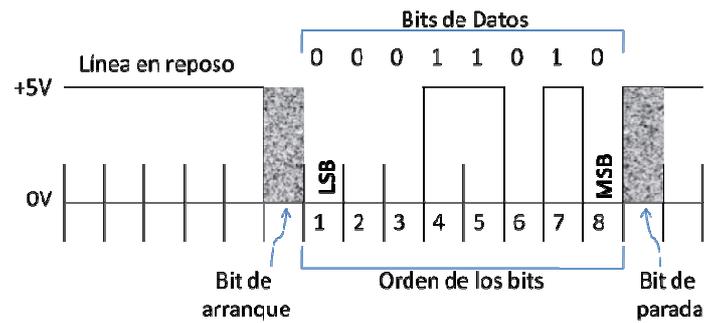
punto; es decir, debe haber un transmisor y un receptor, y se utiliza para distancias de comunicación cortas (máximo 15 [m]) [27].

Existen dos formas de comunicación serial: sincrónica y asincrónica. En la comunicación sincrónica, además de una línea sobre la que se transfieren los datos, se necesita otra que contenga los pulsos de reloj que indiquen cuando un dato es válido; la duración del bit está determinada por la duración del pulso de sincronismo. En la comunicación asincrónica, los pulsos del reloj no son necesarios y se acude a otros mecanismos para realizar la lectura/escritura de los datos [28].

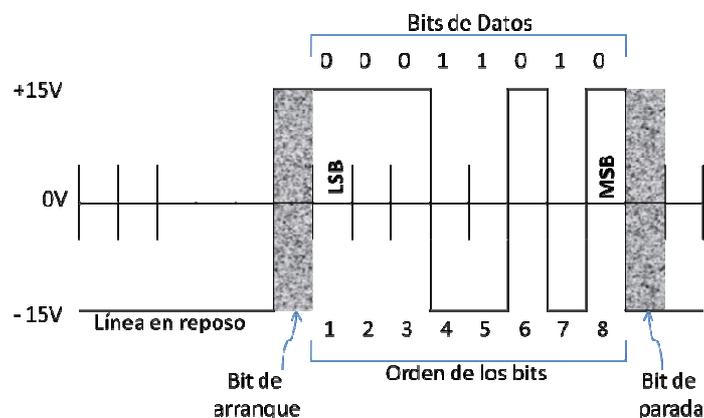
La figura 4.2 muestra la estructura de un carácter que se transmite asincrónicamente.

Normalmente, cuando no se realiza ninguna transferencia de datos, la línea del transmisor es pasiva y permanece en un estado alto. Cuando se va a enviar un dato, el emisor coloca la línea en bajo durante el tiempo de un bit (bit de arranque) y a continuación, empieza a transmitir con el mismo intervalo de tiempo, los bits correspondientes al dato (que pueden ser 7 u 8 bits), empezando por el menos significativo y terminando con el más significativo; al finalizar se agrega el bit de paridad, si es que está activada esta opción; y los bits de parada, que pueden ser 1 ó 2, en los cuales la línea regresa a un estado alto. Al concluir esta operación el transmisor está preparado para emitir el siguiente dato [28].

Dado que el receptor no está sincronizado con el transmisor desconoce cuándo va a recibir los datos. La transición de alto a bajo en la línea del transmisor activa al receptor y éste genera un conteo de tiempo de tal manera que realiza una lectura de la línea, medio bit después del evento; si la lectura realizada es un estado alto, asume que la transición ocurrida fue ocasionada por ruido en la línea, si por el contrario es un estado bajo, considera como válida la transición y empieza a realizar lecturas secuenciales a intervalos de un bit, hasta conformar el dato recibido [28].



a) Transmisión en TTL



b) Transmisión en RS-232

Figura 4.2: Estructura de un dato que se transmite serialmente

El receptor puede tomar el bit de paridad para determinar la existencia o no de errores y realizar las acciones correspondientes, al igual que los bits de parada para situaciones similares [28].

Dado que los niveles de voltaje en el estándar RS-232 son diferentes a los niveles TTL como se muestra en la Figura 4.3, es necesario realizar un circuito que permita la conversión entre estos dos niveles. Para ello se ha utilizado el circuito integrado MAX232 que es un convertor de nivel TTL/RS-232, como se muestra en la Figura 4.4

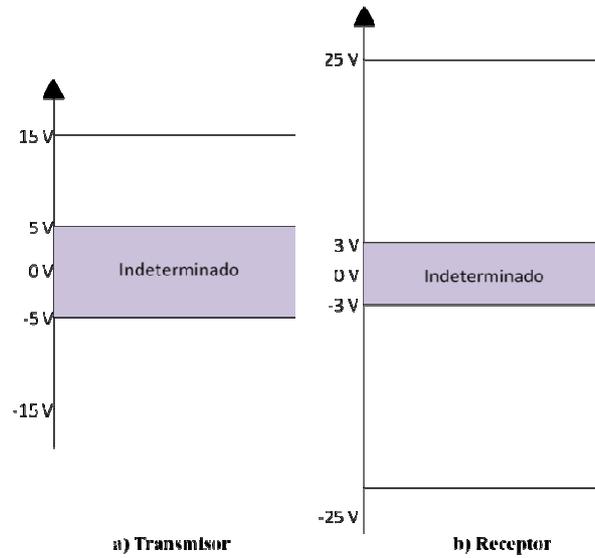


Figura 4.3: Niveles de Voltaje RS-232

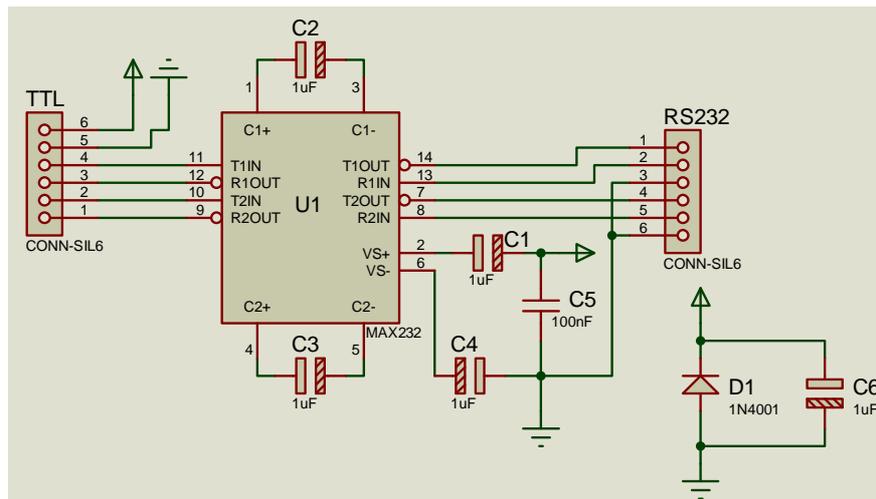


Figura 4.4: Circuito para la conversión entre los niveles TTL y RS-232 [29]

Para la transmisión de datos desde el controlador del sistema dúplex de ascensores al HMI lo que se hará es colocar el dato que se desea transmitir en el buffer serial como lo muestra el diagrama de flujo de la Figura 4.5.

De igual manera, para la recepción de los datos que permitirán la configuración de las condiciones iniciales desde el HMI hacia el controlador del sistema dúplex de ascensores, será necesario implementar una subrutina en el microcontrolador del dúplex, de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 4.6.

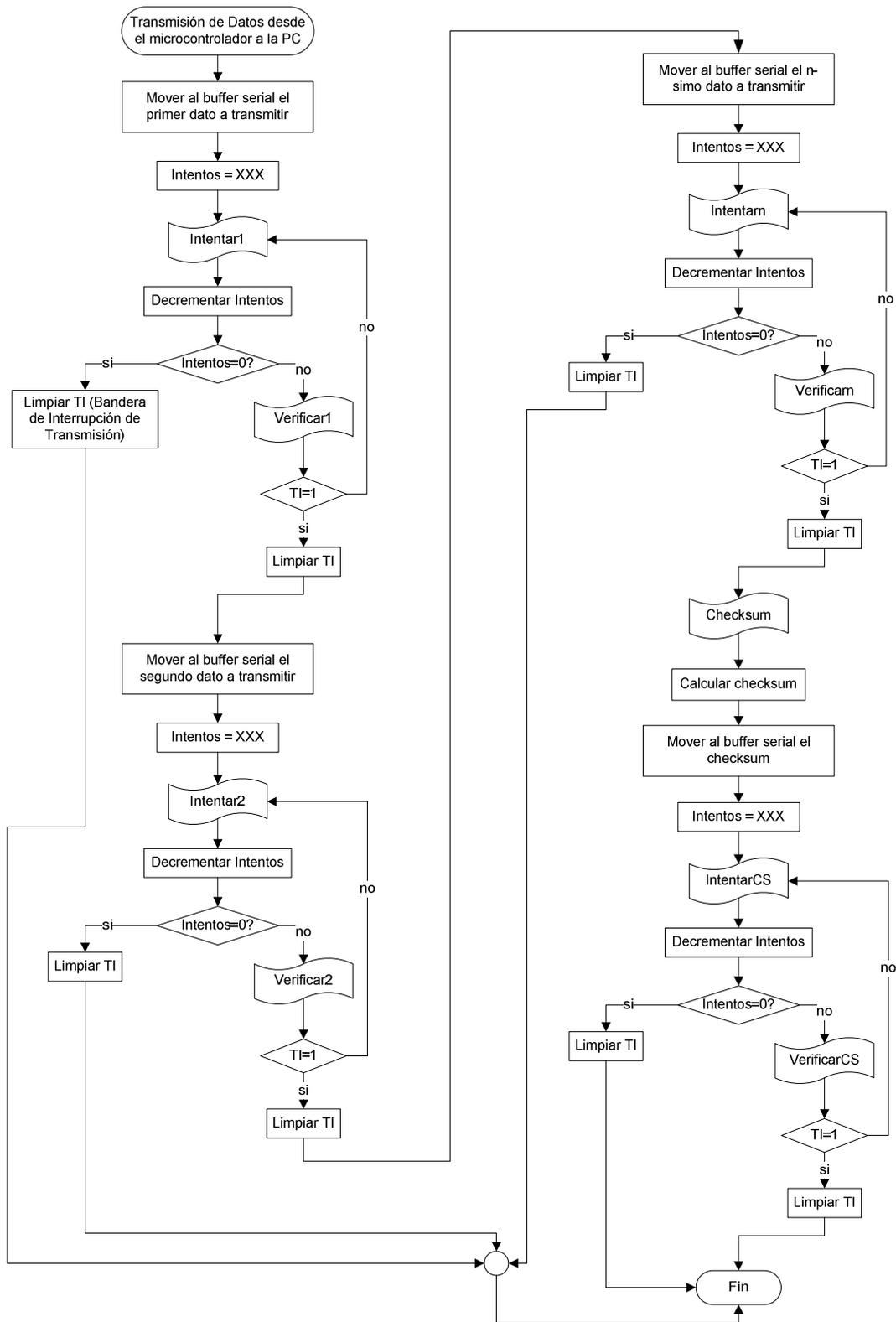
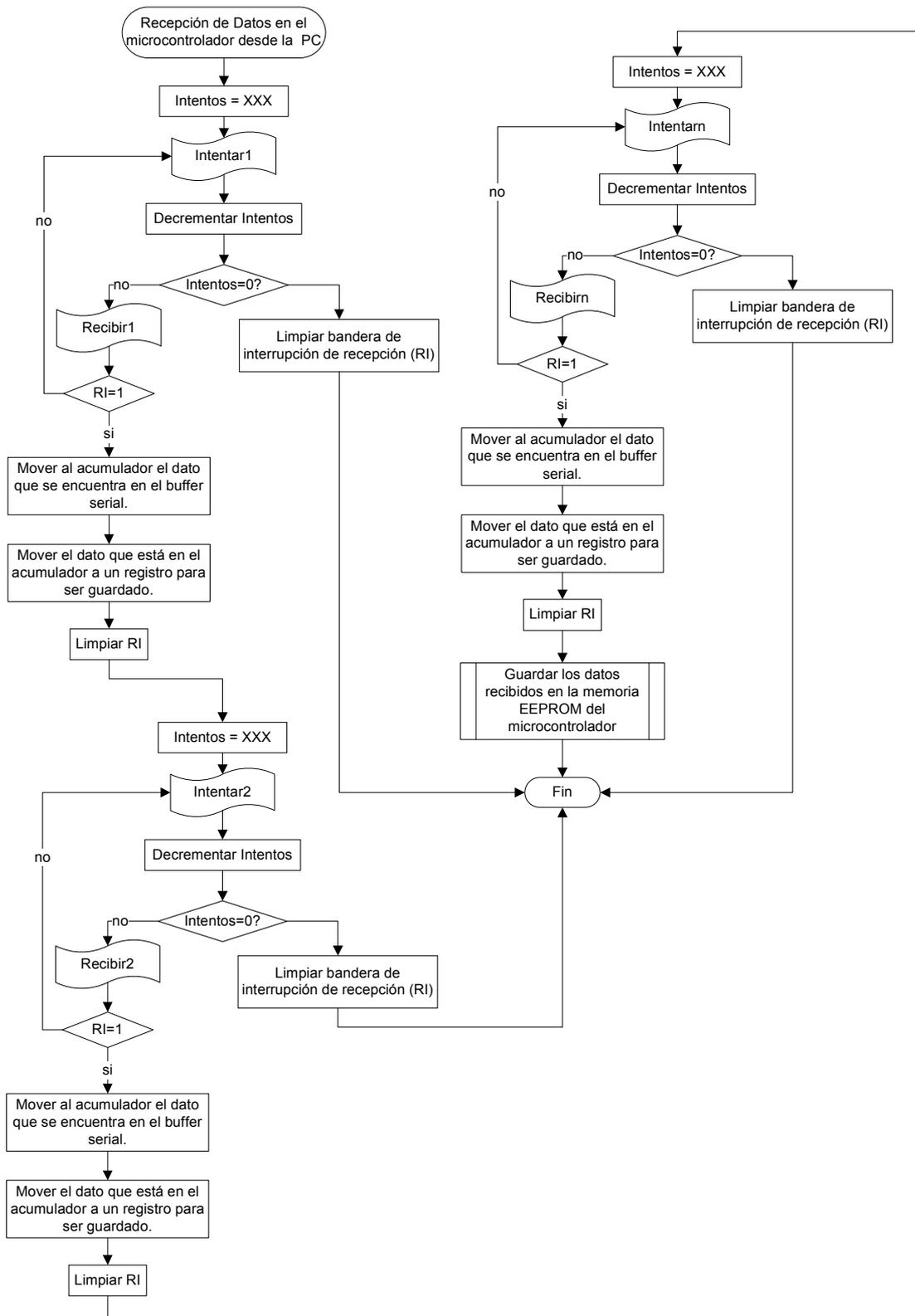


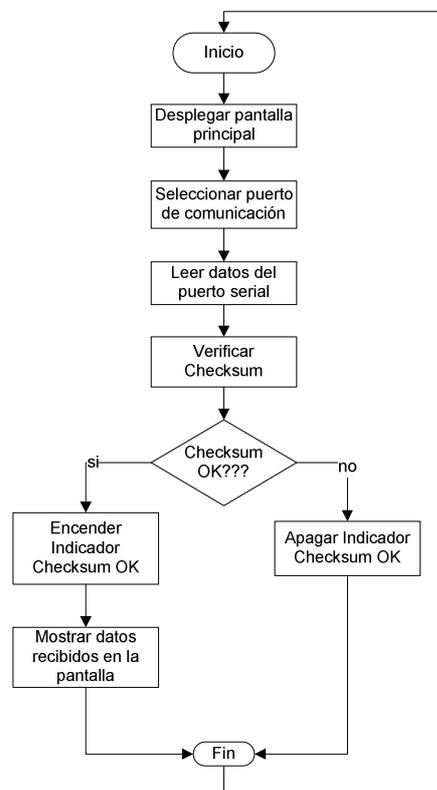
Figura 4.5: Diagrama de Flujo para la transmisión de datos desde el microcontrolador del sistema dúplex de ascensores al HMI



**Figura 4.6: Diagrama de Flujo para la recepción en el microcontrolador del sistema dúplex de ascensores desde el HMI**

La programación de las HMI se realizará en el programa LabVIEW de la National Instruments ya que, debido a su entorno gráfico permite crear aplicaciones flexibles y escalables.

El diagrama de flujo de la Figura 4.7 muestra el funcionamiento básico de la HMI que permite el monitoreo de sistema y la Figura 4.8 el panel frontal de la misma. Básicamente, esta HMI se encargará de la adquisición de datos del controlador dúplex, a través del puerto serial, para posteriormente desplegarlos en la pantalla principal misma que deberá estar organizada de una manera clara para que sea entendida fácilmente por el operador.



**Figura 4.7: Diagrama de Flujo del funcionamiento de la HMI que permite el monitoreo del sistema dúplex**

EL HMI de monitoreo permitirá la visualización de las siguientes variables del sistema: llamadas de cabina de cada uno de los ascensores, llamadas de hall asignadas tanto al elevador A como al B, llamadas pendientes del grupo y piso actual de las cabinas

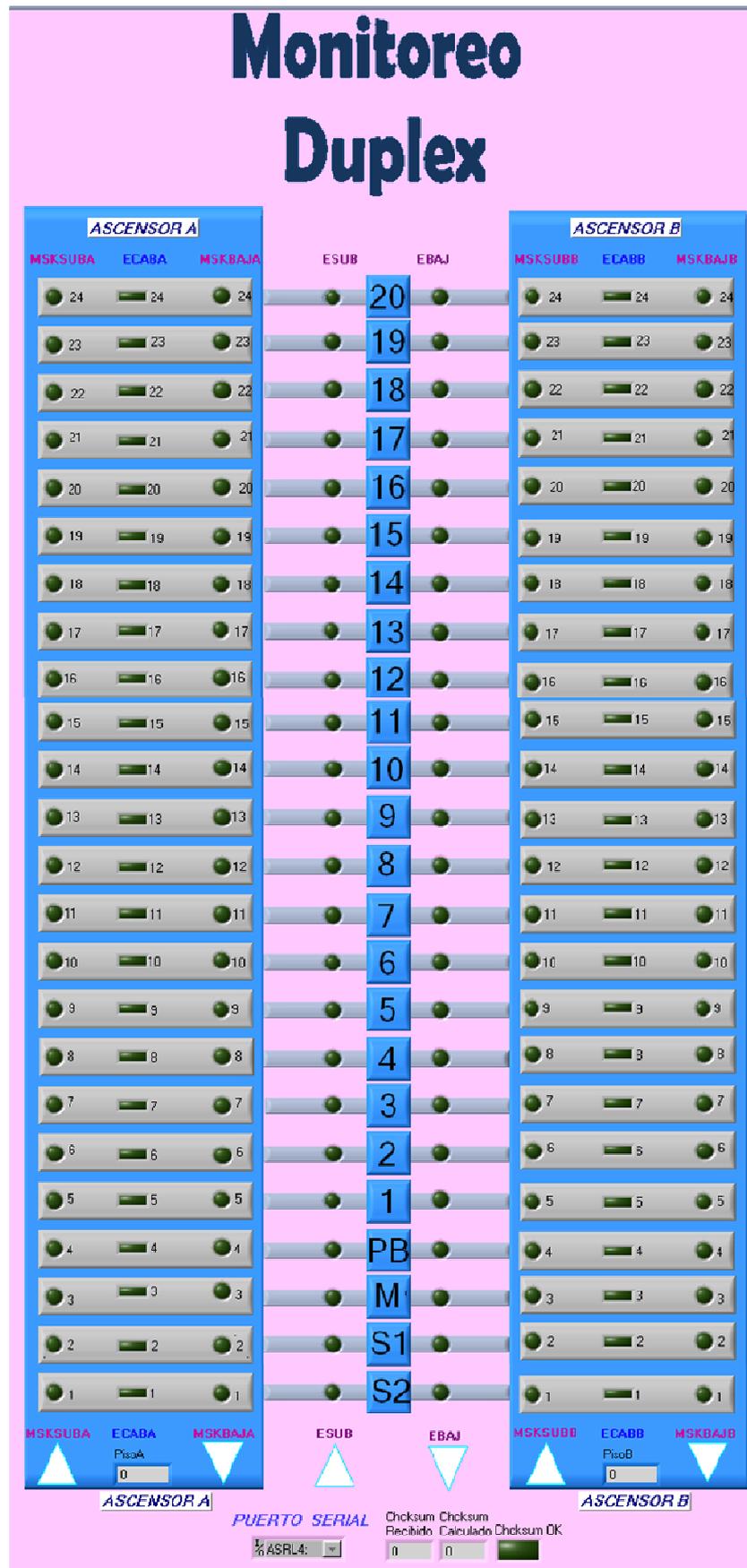
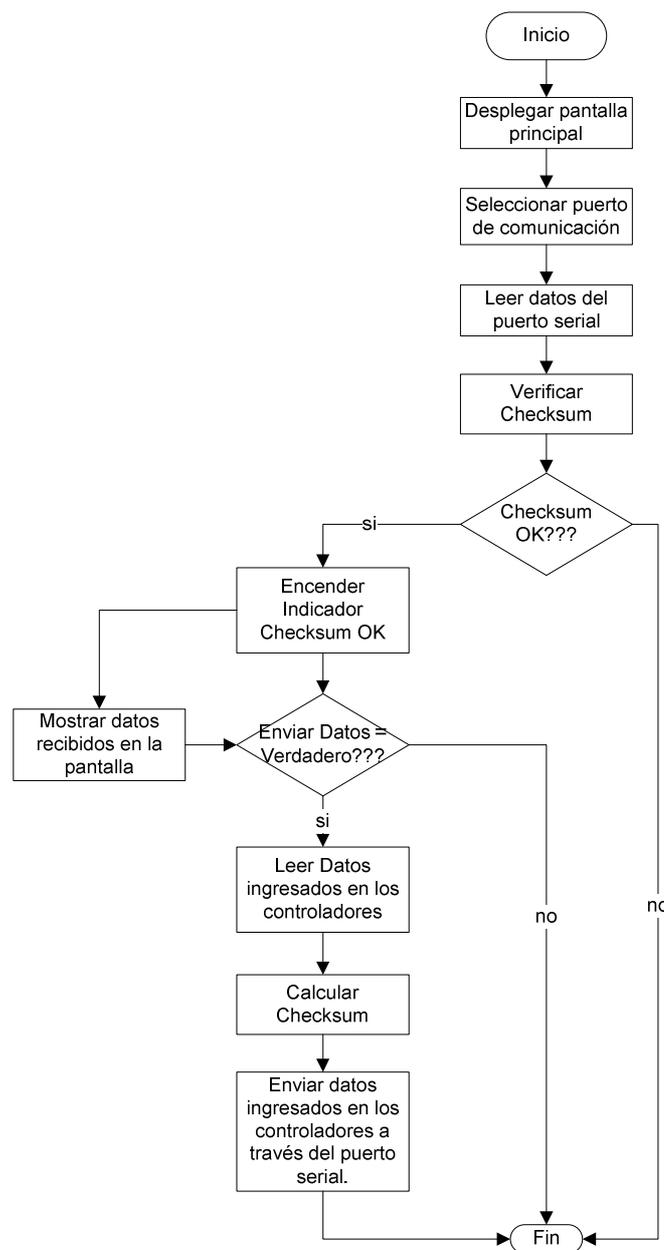
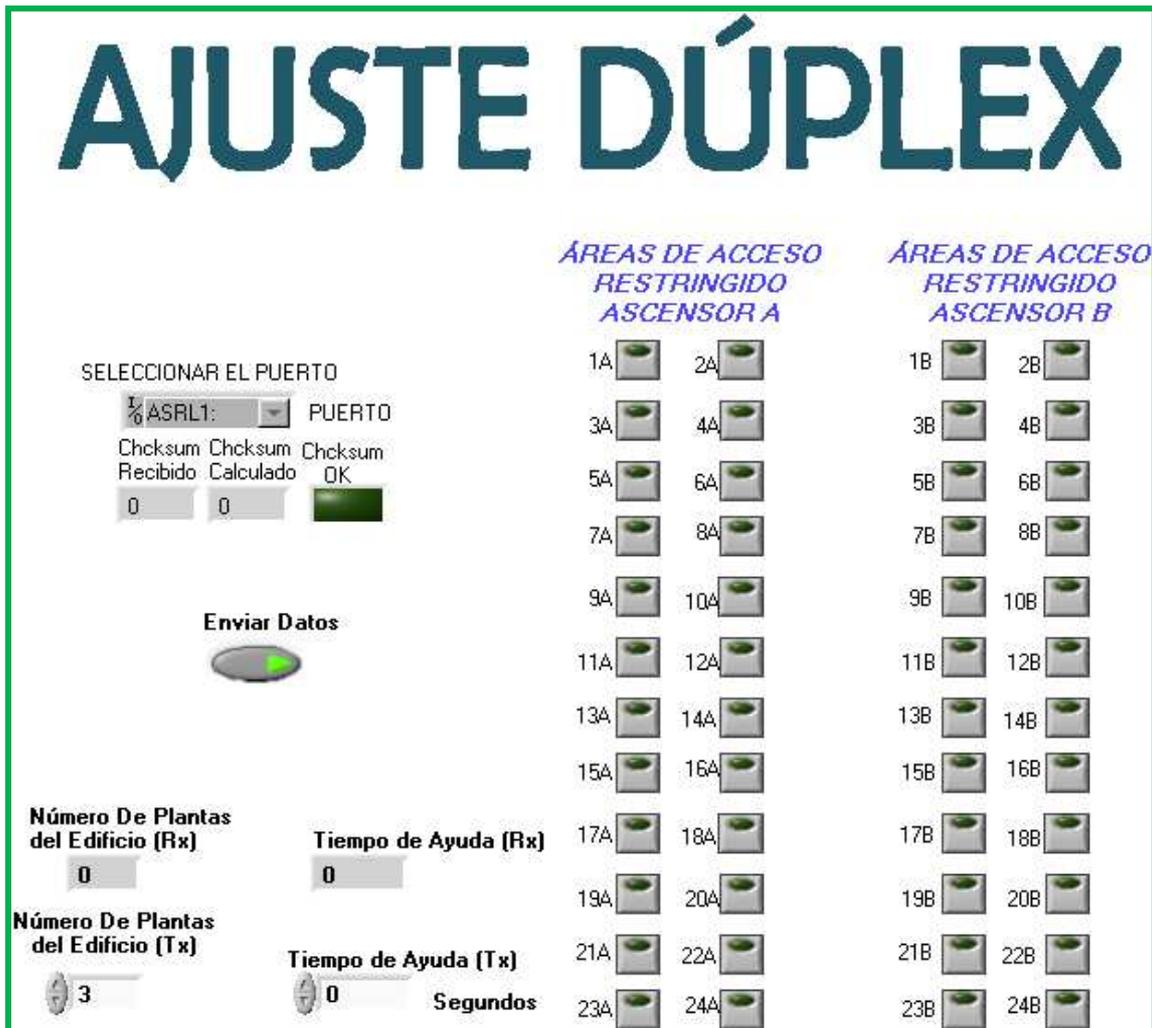


Figura 4.8: Presentación de HMI que permite el monitoreo del sistema dúplex de ascensores

Por otro lado el funcionamiento de la HMI que permitirá el ajuste de las condiciones iniciales del controlador dúplex se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 4.9 y el panel frontal del mismo en la Figura 4.10. Los datos que se reciban desde el controlador del sistema dúplex servirán para verificar que las condiciones establecidas, se hayan grabado correctamente en la memoria EEPROM del mismo. Por otro lado, los datos que se transmitirán al controlador del dúplex serán ingresados por el operador a través de los controladores del panel frontal.



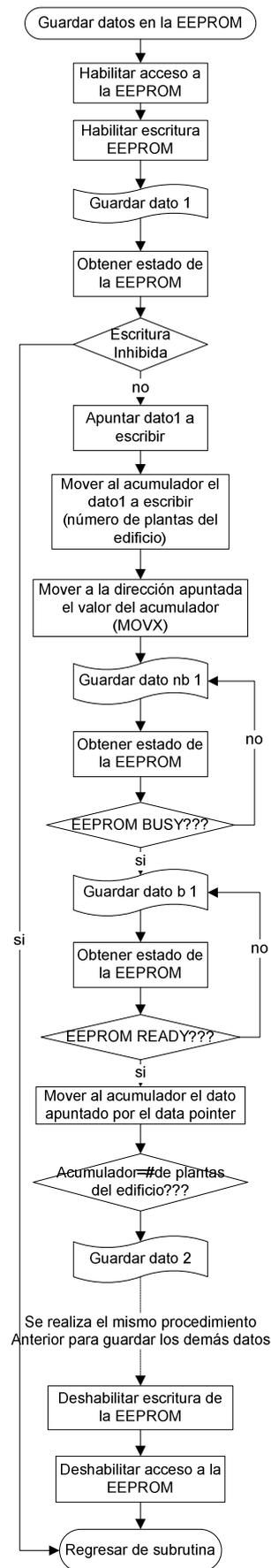
**Figura 4.9: Diagrama de Flujo para el ajuste de las condiciones iniciales del sistema dúplex de ascensores desde el HMI**



**Figura 4.10: Presentación de HMI que permite la configuración de las condiciones iniciales de funcionamiento del controlador dúplex**

Una vez que los datos se reciban correctamente en el microcontrolador se procederá a almacenarlos en la memoria EEPROM del mismo, tal como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 4.11.

Los datos que se almacenarán en la EEPROM son: número de plantas del edificio, áreas de acceso restringido del ascensor A, áreas de acceso restringido del ascensor B, y el valor que se carga en los registros auxiliares que sirven para contar el tiempo de ayuda.



**Figura 4.11: Subrutina para guardar datos en la EEPROM**

## **CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS**

### **5.1. INTRODUCCIÓN**

Con el fin de efectuar las pruebas y el análisis de resultados correspondientes, fue necesario realizar primero la implementación e integración del sistema; es decir la materialización de las ideas de control, Hardware y Software, presentadas en capítulos anteriores, como componentes electrónicos físicos y programas de software, con el fin de obtener un sistema completamente operable lo que equivale, a un sistema dúplex de ascensores con un controlador capaz de asignar sus llamadas de hall de manera eficiente.

La arquitectura de Hardware, componentes distribución y enlaces físicos, constituían una plataforma existente dentro del sistema. Por consiguiente, este proyecto se dedicó a la creación e implementación del algoritmo de control para el sistema, en base y mediante la adaptación al Hardware disponible.

La implementación de la arquitectura de Software se realizó mediante un programa que permite ejecutar las interfaces de comunicación, tanto con el bus CAN como con el HMI; y contiene además, el algoritmo de control para la asignación de las llamadas de hall que ingresan al sistema.

El programa a través del cual se ejecuta el algoritmo de control del sistema dúplex de ascensores y la comunicación entre los diferentes componentes del mismo, se implementó y probó de manera modular, con el fin de facilitar la detección y corrección de errores o fallas, y garantizar de este modo, un funcionamiento correcto del sistema en conjunto. Los módulos principales en los que se divide el programa y el orden en que implementaron se muestran a continuación:

- Comunicación con el bus CAN
- Algoritmo base para la asignación de llamadas de hall
- Algoritmo para el tiempo de ayuda

- HMI

## 5.2. COMUNICACIÓN CON EL BUS CAN

La comunicación con el bus CAN del sistema es una de las fases primordiales en la arquitectura de software del controlador del sistema dúplex de ascensores ya que permite tanto la recepción de datos para la aplicación del algoritmo de control, como la transmisión de los resultados de la aplicación del algoritmo, indicando que llamadas debe atender cada uno de los elevadores.

Debido a que en el edificio Computec los ascensores del sistema cuentan con una botonera de hall independiente en todos los pisos, se pudo probar la etapa de comunicación mediante una rutina que permite pasar las llamadas de hall de cada uno de los ascensores a unas variables de grupo que posteriormente son transmitidas a los dos elevadores. Si la comunicación es correcta la llamada de hall receptada de un ascensor se ve reflejada en las dos botoneras de hall del piso en que se efectuó. Figura 5.1.

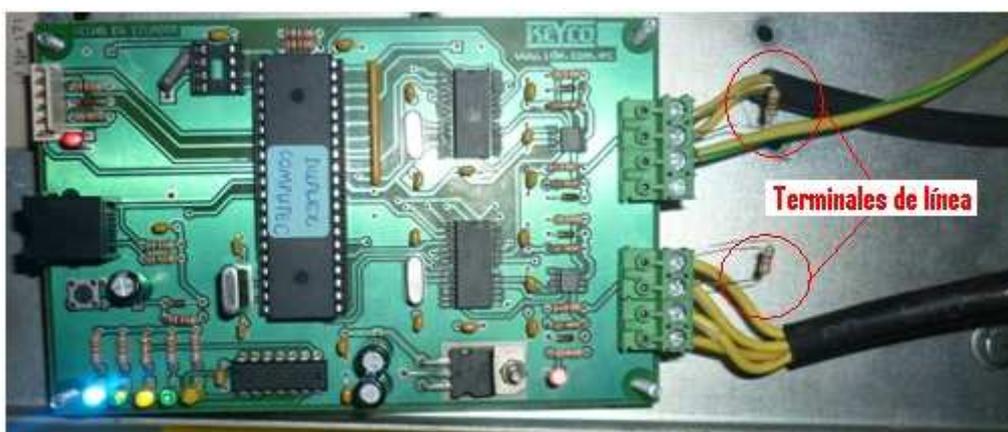


Figura 5.1: Prueba de comunicación con el bus CAN

Puesto que en un principio no había sincronismo en la comunicación del controlador del sistema dúplex con los controladores individuales de cada uno de los ascensores, se empleó un osciloscopio para sincronizar los tiempos de transmisión y recepción entre ellos.

La comunicación con el bus CAN en el programa de todos los controladores está en el lazo principal, y dado a que no todos se demoran lo mismo en completarlo; fue necesaria la adición de algunos retardos en las subrutinas de comunicación debido a que los desfases que había provocaban fallos en la lectura de datos y consecuentemente en el funcionamiento del sistema. La duración que debían tener estos retardos se midió con el osciloscopio haciendo que cambie el estado de un pin al inicio y fin de la rutina de recepción de uno de los microcontroladores para compararla con las tramas de transmisión del otro.

Adicionalmente, fue necesaria la adición de dos resistencias de 470  $[\Omega]$ , al extremo del bus CAN en el lado del controlador del dúplex (Figura 5.2), cuyo objetivo es adecuar el funcionamiento del sistema impidiendo fenómenos de reflexión (datos devueltos en forma de eco de los extremos de los cables) que pueden perturbar el mensaje o falsificarlo [36]. El valor de estos elementos se obtuvo de forma empírica considerando las longitudes de los cables, el número de unidades de control abonadas y teniendo en cuenta que la impedancia de la red debe ser aproximadamente igual a 50  $[\Omega]$ .



**Figura 5.2:** Terminales de línea en el lado del controlador dúplex

Finalmente, se obtuvo una comunicación rápida y confiable, que satisface perfectamente los requerimientos del sistema.

### **5.3. ALGORITMO BASE PARA LA ASIGNACIÓN DE LLAMADAS DE HALL**

Una vez verificado el correcto funcionamiento de la comunicación en sus etapas tanto de transmisión como de recepción, se procedió a probar tanto el algoritmo base para de asignación de llamadas hall como el borrado de las mismas de los registros de llamadas pendientes cuando ya hayan sido atendidas, por uno de los dos elevadores. El borrado de las peticiones servidas es de gran importancia ya que si no se efectúa o se lo hace de manera incorrecta puede desembocar en que ambos ascensores atiendan todas las peticiones que ingresen al sistema o que a su vez algunas de ellas nunca sean atendidas.

#### **5.3.1. PRUEBAS Y CORRECCIONES**

La prueba del algoritmo base para la asignación de llamadas de hall se realizó evaluando cada una de las condiciones establecidas, teniendo que realizarse una serie de modificaciones al diseño original para conseguir el funcionamiento deseado.

Inicialmente se desarrolló un algoritmo considerando el sistema como un conjunto de eventos discretos que eran analizados independientemente y al final se encadenaban por medio de operaciones AND y OR para determinar las llamadas que debía atender cada elevador. Este algoritmo resultó ineficiente ya que el análisis de cada ascensor y cada condición separadamente desembocaba en que al final todas o la mayoría de las llamadas de hall eran asignadas a ambos elevadores.

En virtud de esto, se optó por cambiar la estrategia de control, a la que se detalla en el capítulo tres, cuyas condiciones fueron evaluadas en un ambiente controlado (sin usuarios dentro del edificio). La prueba individual de cada condición condujo a que en algunos casos las operaciones matemáticas tuvieran que multiplicarse por diez para obtener el resultado deseado ya que, al ser la resolución del microcontrolador de 8 bits algunas operaciones se limitan.

Otras consideraciones que debieron tomarse en cuenta con respecto al funcionamiento general del sistema y que salieron a la luz durante el proceso de prueba del algoritmo son:

- A un elevador debe asignársele siempre la llamada de hall del piso en el que se encuentre y que lleve su misma dirección. En un principio si un ascensor estaba moviéndose, sólo se le asignaban las llamadas mayores o menores a su piso actual, dependiendo de sus condiciones en dicho instante; esto conducía al problema que se explica en el siguiente ejemplo: Si los ascensores del sistema estaban parados en diferentes pisos y se producía una petición de hall en una planta mayor a la de ambos, el ascensor que tomaba la llamada inicialmente, era el que estaba más cerca, pero cuando éste cruzaba la barrera de la RM indicando que ha alcanzado el piso de la petición, inmediatamente ésta solicitud era reasignada al otro elevador, conduciendo al hecho de que al final los dos ascensores atendían la llamada.

El hecho de que se le asigne a cada elevador la llamada de su piso actual implica que ésta debe esperar a que la cabina correspondiente entre en otro piso para poder ser reasignada es decir, que si un ascensor empezó a moverse para atender peticiones de cabina o de hall en otros pisos y en ese instante, se realiza una llamada de hall en la planta en la que el sistema considera aún su piso actual, la solicitud realizada seguirá como pendiente sin ser considerada por el otro elevador hasta que el piso del primero cambie para el sistema.

- Una llamada de hall debe considerarse atendida cuando uno de los ascensores llegue al piso de su petición y además haya abierto completamente sus puertas, en un comienzo sólo se tomó en cuenta que el ascensor llegue al piso de la solicitud de hall para borrarla del registro de llamadas pendientes, sin embargo; se producía un problema cuando el elevador entraba en una condición denominada de ahorro, en la cual sus puerta se cierran y las luces al interior de la cabina se apagan, después de transcurrido un tiempo en el que el ascensor ha estado parado sin ninguna llamada que atender. El inconveniente que se suscitaba era el siguiente, como el ascensor estaba parado en el piso en el que se hacía la petición de hall el sistema la borraba inmediatamente de su registro de llamadas pendientes antes de que las puertas se abran y se haya hecho efectiva la atención de la misma.
- El número de pisos del edificio debe tenerse en cuenta tanto en las llamadas que se asignan a cada uno de los elevadores, como en las variables de grupo que se generan y se envían a los mismos.

Como ya se indicó previamente, el tratamiento de llamadas, se realiza originalmente como para una edificación de veinticuatro pisos y en vista de que el número de pisos de Computec es diez, las llamadas que se generen, en el proceso de aplicación del algoritmo, en los pisos desde el once hasta el veinticuatro deben ser borradas.

En la etapa inicial del diseño del algoritmo se tuvo presente únicamente que, no deben asignarse llamadas en los pisos mayores al número de pisos de la edificación, por lo que éstas eran borradas de los registros de asignación de cada elevador, pero no se realizó el mismo procedimiento con los registros que contenían las llamadas pendientes del grupo, lo que llevaba a que se generen llamadas en pisos mayores al número de plantas real, provocando que ambos elevadores se estanquen en el último piso con dirección de subida.

- Otra corrección que tuvo que realizarse está relacionada con la prioridad que tienen las llamadas de cabina, que en un principio fue asumida de manera errónea. Inicialmente, se consideraba que las llamadas de cabina eran prioritarias sobre cualquier llamada de hall, esto es verdadero sólo si un pasajero no realiza llamadas en sentido contrario a la dirección de movimiento que lleve el ascensor en ese instante, por ejemplo; supongamos que un ascensor está bajando debido a que está atendiendo peticiones de cabina, en tal situación las únicas llamadas de hall que puede atender son aquellas que estén en su recorrido y tengan su misma dirección, un usuario ubicado en el hall de un piso que coincide con el destino de uno de los pasajeros al interior de cabina, realiza una llamada de subida, el momento en que el ascensor alcanza ese piso, el usuario ingresa a la cabina del mismo y efectúa una llamada de cabina a un piso mayor al actual, puesto que en el programa del ejemplo las peticiones de cabina tienen ventaja sobre las de hall, el sistema hace que éste elevador atienda todas las llamadas de cabina que están en su recorrido e inmediatamente invierta su dirección de movimiento para atender la que está en dirección opuesta, perjudicando a otros usuarios que están esperando en el hall de pisos inferiores. Este problema se corrigió haciendo que el sistema atienda primeramente todas las llamadas que están en su recorrido, sean éstas de cabina o de hall.

### **5.3.2. RESULTADOS**

El desempeño del algoritmo se probó dentro de un ambiente controlado obteniéndose los siguientes resultados:

- Se logró una reducción en los tiempos medios de espera y viaje de los pasajeros, en relación al funcionamiento independiente de cada elevador, ya que el algoritmo de control permite una distribución apropiada de los ascensores de acuerdo al estado de sus llamadas.

- Se obtuvo un considerable ahorro de energía debido a que cuando los ascensores funcionaban de manera independiente los usuarios llamaban a los dos al mismo tiempo a la espera de que alguno los atienda más rápido, esto conducía al hecho de ambos elevadores atendían todas las llamadas de hall, lo que indudablemente desembocaba en desperdicios de energía. La implementación del controlador dúplex evita esto ya que independientemente de que se llame a una o ambas cabinas, sólo una se encarga de atender cada una de las peticiones de hall.
- Dado que se conoce la dirección de viaje a cada petición de hall (subida o bajada), éstas se procesan en bloques obteniéndose un procesamiento rápido y óptimo de las órdenes.
- El sistema permitió la reasignación de llamadas cuando cambiaron las condiciones del sistema debido a su dinámica variable, lo que incide en el aumento de su rendimiento.
- Se obtuvo un funcionamiento correcto en el área de acceso restringido para el ascensor B, donde las llamadas de hall que se producen son atendidas solamente por el ascensor A.

#### **5.4. ALGORITMOS PARA EL TIEMPO DE AYUDA**

Una característica muy común que se presenta en el uso de un elevador, es que en ocasiones los pasajeros retrasan el curso normal de la cabina, obligando a la puerta a permanecer abierta (bajo esta condición el ascensor no se mueve), afectando directamente a aquellos usuarios que esperan en el hall de otros pisos. Esto puede ser mejorado si se cuenta con un sistema con dos o más elevadores.

El tiempo de ayuda en el Edificio Computec, está diseñado de tal forma que cuando se produce una situación como la descrita anteriormente, o cuando uno de los ascensores del sistema tiene muchas llamadas y no alcanza a

atenderlas; se analiza si el otro ascensor del sistema está libre y se espera un tiempo programado, transcurrido el cual si un elevador continúa libre y el otro todavía no ha cubierto todas sus solicitudes de hall, estas se asignan al primero.

Este algoritmo resulta muy útil desde el punto de vista de optimización del tiempo de espera de los usuarios puesto que evita que estos esperen por tiempos demasiado prolongados por un elevador.

## **5.5. HMI**

### **5.5.1. HMI PARA EL MONITOREO DEL SISTEMA**

Para el funcionamiento de éste HMI se probó en primera instancia que muestre en tiempo real el estado de las variables del sistema y que éstas sean correctas, al principio se obtuvo retardos considerables en los cambios de estado de los indicadores debido al asincronismo de la comunicación, para ello se tuvo que hacer que el controlador del dúplex envíe los datos a la HMI cada cierto número de veces que pase por el lazo principal.

### **5.5.2. HMI PARA LA CONFIGURACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES DEL CONTROLADOR DÚPLEX**

La configuración de las condiciones iniciales es de gran importancia para el correcto funcionamiento del sistema. Con esta HMI se pudieron leer los valores de la EEPROM del microcontrolador para verificar si son correspondientes con las características de la edificación. Dado que en principio la EEPROM no tenía ningún valor esta HMI permitió el ingreso de los valores deseados, para luego enviarlos al microcontrolador a través del puerto serial. Con el fin de verificar que los datos enviados se grabaron correctamente en la memoria EEPROM, se

procedió a leerla y luego a enviar los valores leídos a la HMI para que sean desplegados en su pantalla principal donde se pudo compararlos con los transmitidos originalmente.

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- Como muchas de las industrias, la industria de los elevadores se ve enfrentada a continuos retos, uno de ellos y quizá el más importante es establecer una estrategia de control que permita el transporte eficiente de sus usuarios, esto implica determinar el número de elevadores y la maniobra de control que se adapte a sus características de tráfico y logre la optimización de los recursos, sean éstos de tiempo o de energía. Cuando se tiene un grupo de elevadores el logro de este objetivo implica la implementación de un controlador adicional que se encargue de la administración de las llamadas de hall del sistema.
- Pese a que las investigaciones en el campo del manejo de ascensores en grupo son amplias, la aplicación de las mismas en sistemas reales es escasa, técnicas de control como lógica difusa e inteligencia artificial pueden resultar muy sofisticadas pero no siempre son las más apropiadas porque a más de encarecer el costo del sistema puede presentar limitaciones que le resten funcionalidad al mismo, por el contrario los sistemas de control convencional son los más implementados debido a su bajo costo.
- El protocolo de comunicación CAN es perfectamente aplicable a sistemas de transporte vertical; los cuales precisan de un control con tiempo real distribuido y escaso flujo de datos. Además, CAN permite simplificar y economizar la tarea de comunicar los diferentes subsistemas de control de un sistema de elevadores sobre un bus común.

- En la planificación de sistemas de elevadores, características como: número, tamaño y rendimiento de los ascensores, están determinados básicamente por dos parámetros, la capacidad de manejo (up-peak) y el intervalo probable. En sistemas de grupos de elevadores; dúplex, triplex, etc., la capacidad de manejo debe ser buena y el intervalo probable corto. El intervalo probable es un parámetro poco entendible, por lo que conceptos como tiempos de espera y viaje son más usados regularmente y se constituyen en los criterios más importantes a optimizar desde el punto de vista de los usuarios de estos tipos sistemas.
- El algoritmo diseñado en este proyecto cumple con los requerimientos de un sistema de tiempo real, ya que su análisis en bloques de condiciones permite realizar la gestión de tareas en tiempos convenientes garantizando la funcionalidad total del sistema.
- El algoritmo diseñado resulta una muy buena opción cuando se trata de optimizar tiempos de servicio (espera y viaje). Es importante mencionar que la optimización de algunos parámetros puede incidir de manera negativa sobre otros debido a la estrecha relación que mantienen.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Un sistema de ascensores es uno de los ejemplos más visibles de máquinas interactuando con humanos y por ello, es aconsejable que la estrategia de control del mismo esté diseñada de modo que satisfaga de la mejor manera sus requerimientos. El requisito más importante para los usuarios de un sistema de elevadores es el tiempo que deben invertir para transportarse de un piso a otro. Por ello, los principales criterios que deben considerarse al desarrollar la estrategia de control para un grupo de elevadores son el tiempo de espera y viaje de los usuarios.

- Puesto que en nuestro medio no existe una cultura sobre el uso adecuado de un elevador o sistema de elevadores, sería recomendable que en una reunión se capacite sobre este tema a los usuarios mostrando adicionalmente que el uso inapropiado de este tipo de sistemas de transporte, le resta eficiencia al sistema perjudicando a todos los usuarios del mismo.
- La arquitectura de hardware, software y la infraestructura de comunicaciones son los principales componentes del sistema de control para un grupo de ascensores. Por lo tanto, debe considerarse en su diseño la modularidad y apertura para futuras modificaciones que permitan el mejoramiento del mismo, ya sea por el desarrollo de nuevas técnicas de control o por cambio de condiciones de trabajo.
- El tráfico de un edificio es como la huella digital del mismo por lo tanto, es muy importante durante la ejecución de un proyecto de transporte vertical, realizar un estudio de tráfico considerando las características generales y específicas del edificio; para determinar de esta forma el número de elevadores y la estrategia de control que conduzca de mejor manera a la movilización eficiente de los usuarios dentro de la edificación.
- Dado que existen muchos métodos de control que pueden utilizarse para una misma aplicación, es recomendable analizar con cuidado los pros y contras de cada uno de acuerdo a las necesidades y características generales y específicas del sistema que se desea controlar, para elegir la opción que pueda ofrecer la mayor eficiencia y optimización de los recursos. Es necesario además considerar que el comportamiento humano es muy variable y no es posible tener un sistema ideal que se adapte a todas las condiciones.
- Es aconsejable que la velocidad de procesamiento y comunicación de un sistema de control sea establecida de acuerdo a la aplicación que se

desea realizar, teniendo en cuenta que velocidades mayores no necesariamente implican mayor calidad de funcionamiento, a muy altas frecuencias los sistemas se vuelven más sensibles al ruido. Por consiguiente, lo que se debe buscar en un sistema de control no es velocidad sino que sus salidas lleguen correctamente y a tiempo.

- La necesidad de transportes verticales eficientes en nuestra ciudad aumenta día a día sobre todo, porque el elevado crecimiento poblacional de la misma conlleva a que cada vez se construyan más y más edificios de gran altura. Por ello, es importante que se ahonden las investigaciones en este tema con el fin de desarrollar nuevos métodos de control o mejorar los ya existentes.

## Referencias Bibliográficas:

[1] THE NEW YORKER. Up and then down.

[http://www.newyorker.com/reporting/2008/04/21/080421fa\\_fact\\_paumgarten](http://www.newyorker.com/reporting/2008/04/21/080421fa_fact_paumgarten)

[2] MUNDO ASCENSOR. <http://www.mundoascensor.es/>

[3] OTIS Elevator. Análisis de Tráfico

[4] YANG, Suying; TAI, Jianzhe; SHAO, Cheng. Dynamic Partition of Elevator Group Control System with Destination Floor Guidance in Uppeak Traffic. Journal of Computers. Vol. 4. No. 1. January 2009

[5] CORTÉS, Pablo; LARRAÑETA, Juan; ONIEVA, Luis; MUÑUZURI, Jesús; GUADIX, José. Algoritmos para la Asignación de Llamadas en Sistemas de Tráfico Vertical Selectivo en Bajada. V Congreso de Ingeniería de Organización. Valladolid. 4-5 Septiembre 2003.

[6] CORTÉS, Pablo; LARRAÑETA, Juan, ONIEVA, Luis, MUÑUZURI, Jesús, FERNÁNDEZ DE CABO, Ignacio. Algoritmos para la Optimización en Sistemas de Transporte Vertical. II Conferencia de Ingeniería de Organización. Vigo. 5-6 Septiembre 2002.

[7] SIIKONEN, Marja-Liisa. Elevator Group Control with Artificial Intelligence. KONE Corporation. Helsinki, Finland. Octubre 1997.

[8] ROSSO MATEUS, Andrés Enrique; SORIANO, José Jairo. Sistema de Control Inteligente para un grupo de Elevadores. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 18-2, pp. 117-130. Bogotá. Diciembre 2008.

[9] PASSINO, Kevin; YURKOVICH, Stephen. Fuzzy Logic. Addison-Wesley. 1998.

[10] DUARTE, Oscar G. Sistemas de Lógica Difusa – Fundamentos

[11] SALAS, Rodrigo. Lógica Difusa. Valparaíso, Chile.

[12] MITSUBISHI ELECTRIC GROUP CONTROL SYSTEM. ΣAI-2200C. Artificial Intelligence System.

**[13]** BASOGAIN OLABE, Jabier. Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones. Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao.

**[14]** HO, Yuan-Wei; FU, Li-CHen. Dynamic Scheduling Approach to Group Control of Elevator Systems with Learning Ability. International Conference on Robotics & Automation. San Francisco, CA. April 2000.

**[15]** ANÓNIMO. Algoritmos Genéticos.

<http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html>

**[16]** SCHIAFFINO, Silvia. Inteligencia Artificial.

[http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/optia/public\\_html/clase5.pdf](http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/optia/public_html/clase5.pdf)

**[17]** CASTILLO, Enrique; GUTIÉRREZ, José Manuel; HADI, Ali S. Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas.

**[18]** DE BOER, Jasper. Routing of two elevators. BMI paper.

**[19]** ATMEL. 8-bit Microcontroller with 12K Bytes Flash and 2K Bytes EEPROM. AT89S8253

**[20]** MIKROELEKTRONIKA. Architecture and programming of 8051 MCU's

<http://www.mikroe.com/eng/chapters/view/67/chapter-4-at89s8253>

microcontroller/

**[21]** ATMEL. Flash Microcontrollers AT89S8253, Primer Application Note

**[22]** BASANTE, María Morelo. Bus CAN, Diseño de Sistemas Críticos.

**[23]** NANGIA, Shreyas; AGRAWAL, Arun; GUPTA, Mohit. CAN Bus.

**[24]** Laboratorio de Automatización II. UNQ. Protocolo CAN.

**[25]** SJA1000. Stand-alone CAN controller. Datasheet.

**[26]** NORMA VENEZOLANA, COVENIN 621-3:1997. Código Nacional para Ascensores de Pasajeros. Parte 3: Tráfico Vertical. Segunda Revisión

**[27]** ANÓNIMO. La comunicación serie.

<http://perso.wanadoo.es/pictob/comserie.htm>

**[28]** NEMESYS. RS232 Interface.

[http://www.cetoni.de/service/downloads/Manuals/neMESYS\\_RS232\\_Interface\\_en.pdf](http://www.cetoni.de/service/downloads/Manuals/neMESYS_RS232_Interface_en.pdf)

**[29]** ÁVILA ALTERACH, Gonzalo. Convertir señales RS232 a TTL con MAX232. <http://gزالoprgm.com.ar/rs232ttl>

**[30]** KOEHLER, Jana; OTTIGER, Daniel. An AI-based Approach to Destination Control in Elevators. Schindler Lifts Ltd.

**[31]** NIKOVSKI, Daniel; BRAND, Mattew. Decision Theoretic Group Elevator Scheduling. Mitsubishi Electric Research Laboratories. June 2003.

**[32]** TAK, Mathews; N. Raghavan. Vertical Transportation Configuration – Design Approach and Traffic Analysis Theory.

**[33]** SENEVIRATHNA, T. K. W.; EKANAYAKE, H.; DE ZOYSA, T. N. K. Intelligent Elevator Group Control System. University of Colombo School of Computing. Colombo, Sri Lanka.

**[34]** LIFT CONTROLS. Control de velocidad VVVF y VVCD.

<http://www.liftcontrols.com.mx/control4.php>

**[35]** REVISTA DEL ASCENSOR. Partes del ascensor.

<http://www.revdelascensor.com/partes-del-ascensor/>

**[36]** SCRIBD. CAN Bus Bosch.

<http://es.scribd.com/doc/38197938/7305395-CAN-Bus-Bosch>