

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE
LLAMADA, VISUALIZACIÓN Y COMUNICACIÓN PARA
ASCENSORES**

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

Luis Francisco Gonzales Miranda

Asesor: Laureano Rodríguez Polo

LIMA – PERÚ

2018



DEDICATORIA

A mi madre Myrna y padre Luis por su cariño y soporte desde que nací.

A mis hermanos Juan, Luis y Milagros por los gratos momentos de alegría.

A mis sobrinos Santiago y Gabriel por ser un motor para seguir mejorando.

A toda mi familia entera por estar presente en todo momento desde pequeño cuando los necesité en cada paso y tropiezo que haya tenido así como estar presente en los pequeños éxitos que me tocó vivir durante mi infancia.



AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Laureano Rodríguez por la confianza e incentivar mi labor académica y profesional.

A mis jurados y profesores Javier Chang y Willie Carrera por su tiempo, correcciones y enseñanzas.

A mis amigos Armando, Paul, Juan, Bernardo, Víctor y Arturo por el ánimo y palabras para seguir creciendo.

Resumen

En la actualidad cada vez más sistemas de ascensores son instalados en complejos habitacionales, edificios empresariales, centros comerciales y hospitales para facilitar el traslado de personas y cargas entre niveles. Desde su invención en el siglo XIX, la mecánica y el control de estos sistemas han ido evolucionando conforme a los avances de la tecnología. Los dispositivos de llamada exterior y los indicadores externos forman la parte del sistema de control que sirve de interfaz al usuario. En los sistemas tradicionales, estos dispositivos se comunican con cableado en paralelo hasta llegar al cuarto de máquinas. En los sistemas modernos esta comunicación se realiza mediante comunicación serial la cual requiere menor cantidad de cables y logística asociada en su instalación.

En el mercado peruano existen empresas de ascensores que siguen con el sistema paralelo tradicional y quedan imposibilitados de usar accesorios modernos de otros fabricantes por restricciones comerciales. Dada la competitividad y diferenciación en productos de alta gama, existe una necesidad en las empresas tradicionales para contar con elementos que las hagan atractivas en este segmento. El objetivo de esta tesis es diseñar e implementar accesorios modernos y adaptables que ayuden a las empresas peruanas del rubro de ascensores a ser más competitivas frente a las grandes empresas internacionales.

Los objetivos específicos de la presente tesis son los siguientes: Desarrollar un producto atractivo para ascensores que consiga destacarlo en el mercado; obtener un dispositivo robusto y que soporte maniobras inadecuadas; emplear comunicación serial para reducir el número de cables usados por el sistema tradicional, y contar con un equipo adaptable a los sistemas tradicionales existentes en el mercado peruano a un costo competitivo.

Tabla de contenidos

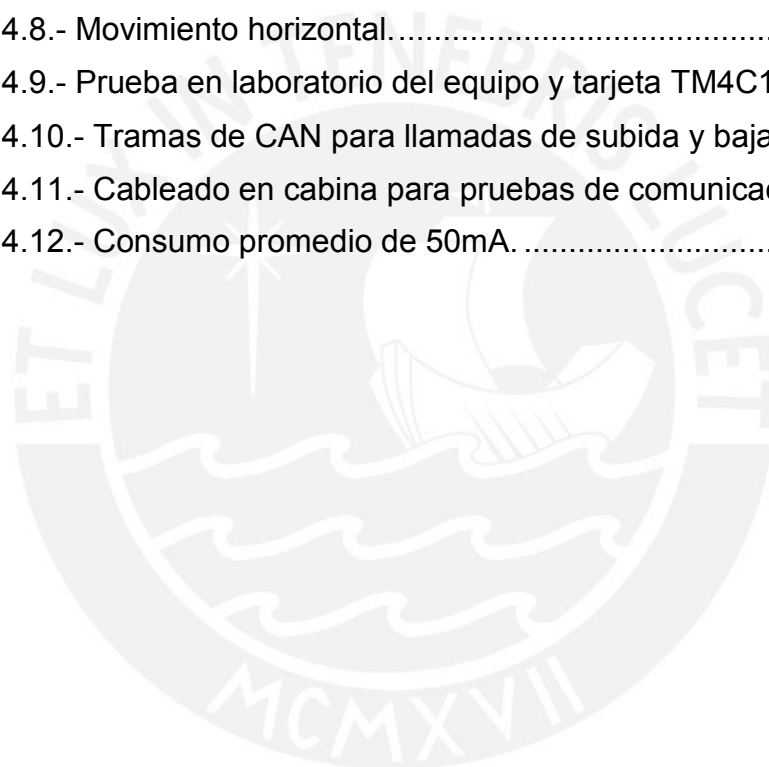
Índice de figuras.....	iv
Índice de tablas.....	vii
Glosario de términos.....	viii
Introducción	1
CAPÍTULO 1: Análisis de la problemática	2
1.1. Introducción	2
1.2. Problemática.....	6
1.3. Objetivo.....	7
CAPÍTULO 2: Estado de la investigación	9
2.1. Introducción	9
2.2. Tecnologías para el desarrollo del producto	9
2.3. Accesorios en el mercado.....	27
CAPÍTULO 3: Diseño electrónico de la solución: Software Y hardware	30
3.1. Requerimientos del Dispositivo.....	30
3.2. Arquitectura de la solución en el sistema de elevación	30
3.3. Diseño de hardware y selección de componentes.....	33
3.4. Diseño de firmware.....	58
3.5. Especificaciones finales.....	65
CAPÍTULO 4: Pruebas y resultados	67
4.1 Etapa de pruebas	67
4.2. Resumen de Costos	77
Conclusiones	80
Recomendaciones	81
Bibliografía	82

Índice de figuras

Figura 1.1.- Elevador propulsado y controlado por personas.	2
Figura 1.2.- Elevador a vapor controlado mediante botones por pasajeros... ..	2
Figura 1.3.- Componentes de los sistemas de elevación.....	3
Figura 1.4.- Esquema de conexión en un sistema tradicional.....	5
Figura 2.1.- Elementos del sistema a desarrollar.....	10
Figura 2.2.- Diagrama de bloques del dispositivo de piso.....	10
Figura 2.3.- Funcionamiento del sensor resistivo de 4 hilos.	11
Figura 2.4.- Partes y funcionamiento del sensor capacitivo de superficie....	12
Figura 2.5.- Funcionamiento del sensor de capacitancia proyectada.	13
Figura 2.6.- Partes del sensado tradicional infrarrojo.....	14
Figura 2.7.- Elementos del sistema de reconocimiento de gestos.	14
Figura 2.8.- Sensores de gestos de Microchip y Proyecto Soli.	15
Figura 2.9.- Indicadores en ascensores antiguos.	16
Figura 2.10.- Visores externos y en cabina marca Mitsubishi.	16
Figura 2.11.- Aviso luminoso con leds de agujero pasante.....	17
Figura 2.12.- Módulos leds smd para pantallas.	17
Figura 2.13.- Estructura básica de una molécula simple OLED.....	18
Figura 2.14.- Capas de un elemento de la matriz en pantalla ELD.....	19
Figura 2.15.- Elementos que conforman los pixeles de una pantalla FED... ..	19
Figura 2.16.- Fases de paso y ocultamiento frente al paso de la luz.	20
Figura 2.17.- Componentes de una pantalla LCD TFT.	21
Figura 2.18.- Capas del modelo OSI cubiertas por el estándar CAN.....	24
Figura 2.19.- Proceso de arbitraje en el CAN BUS.	25
Figura 2.20.- Niveles eléctricos en el estándar ISO 11898-2.....	26
Figura 2.21.- Opción de la familia 5500 de Schindler.	28
Figura 2.22.- Opciones de la familia NexWay de Mitsubishi.	28
Figura 2.23.- Visores Genemek y Elevator Equipment Limited.....	28
Figura 2.24.- Opción de dispositivos de llamada en Schindler 3300.....	28
Figura 2.25.- Sistema de pre-asignación en OTIS Gen2 Premium.	28
Figura 2.26.- Botoneras Genemek y Elevator Equipment Limited.	28
Figura 2.27.- L lámparas de dirección de la familia NexWay de Mitsubishi. ..	28

Figura 2.28.- Lámparas de dirección en los elevadores Kone.	28
Figura 2.29.- Pantallas táctiles de la empresa canadiense "Touch to Go"...	29
Figura 3.1.- Esquema de la solución propuesta.	31
Figura 3.2.- Diagrama de bloques del dispositivo de piso.	31
Figura 3.3.- Diagrama de bloques del dispositivo interfaz.	32
Figura 3.4.- Diagrama de conexiones de la pantalla LCD-TFT.	34
Figura 3.5.- Diagrama de conexiones del sensor de gestos.	36
Figura 3.6.- Formato de la trama con datos de rangos.	36
Figura 3.7.- Diagrama de conexiones del integrado de comunicación CAN.	38
Figura 3.8.- Consumo del bloque de sensado.	41
Figura 3.9.- Consumo del bloque de visualización.	41
Figura 3.10.- Consumo del bloque de procesamiento.	41
Figura 3.11.- Consumo del bloque de comunicación.	41
Figura 3.12.- Circuito esquemático del dispositivo de piso.	44
Figura 3.13.- Capa superior del circuito impreso - dispositivo de piso.	45
Figura 3.14.- Capa inferior del circuito impreso - dispositivo de piso.	45
Figura 3.15.- Circuito impreso ensamblado.	46
Figura 3.16.- Circuito empleado con referencias y resumen de cálculos.	48
Figura 3.17.- Esquema de conexión de las botoneras mecánicas.	49
Figura 3.18.- Esquema de conexión con adaptación por transistores.	50
Figura 3.19.- Diagrama de bloques del controlador de lado bajo L9823.	51
Figura 3.20.- Circuito esquemático del dispositivo de interfaz.	55
Figura 3.21.- Capa superior del circuito impreso - dispositivo de interfaz.	56
Figura 3.22.- Capa inferior del circuito impreso - dispositivo de interfaz.	57
Figura 3.23.- Circuito impreso ensamblado - dispositivo de interfaz.	58
Figura 3.24.- Funciones de cada bloque y dirección de datos.	58
Figura 3.25.- Diagrama de flujo del lazo principal - dispositivo de piso.	59
Figura 3.26.- Segmento de inicialización de dispositivo de piso.	61
Figura 3.27.- Segmento de procesamiento CAN del dispositivo de piso.	61
Figura 3.28.- Formato de tramas de recepción CAN.	61
Figura 3.29.- Procesamiento de datos desde el sensor de gestos.	62
Figura 3.30.- Presentación de datos en la pantalla TFT.	63
Figura 3.31.- Diagrama de flujo del lazo principal - dispositivo interfaz.	63
Figura 3.32.- Funciones del dispositivo de interfaz.	64

Figura 3.33.- Segmento de comunicación - dispositivo interfaz.....	65
Figura 3.34.- Segmento de actualización de GPIOs y bidireccionales.....	65
Figura 4.1.- Gráficos indicadores de estado de llamada, piso y detección. .	69
Figura 4.2.- Gráficos de estado de llamada de cabina activo.	69
Figura 4.3.- Gráfico en desplazamiento hacia arriba.	69
Figura 4.4.- Zonas identificadas respecto al centro del módulo.....	70
Figura 4.5.- Movimiento tipo I.....	71
Figura 4.6.- Movimiento tipo II.....	71
Figura 4.7.- Movimientos tipo III.....	71
Figura 4.8.- Movimiento horizontal.....	71
Figura 4.9.- Prueba en laboratorio del equipo y tarjeta TM4C1294.	73
Figura 4.10.- Tramas de CAN para llamadas de subida y bajada.....	73
Figura 4.11.- Cableado en cabina para pruebas de comunicación CAN.	74
Figura 4.12.- Consumo promedio de 50mA.....	77



Índice de tablas

Tabla 3.1.- Opciones para el bloque de visualización.....	33
Tabla 3.2.- Características de la pantalla 2.4" - ili9341.....	34
Tabla 3.3.- Opciones de compra para el bloque de sensor de gestos.....	35
Tabla 3.4.- Opciones para el bloque de comunicación serial CAN.....	37
Tabla 3.5.- Requerimientos de interfaces.....	38
Tabla 3.6.- Opciones para el bloque unidad de control.....	39
Tabla 3.7.- Consumo de bloques en dispositivo de piso.....	40
Tabla 3.8.- Opciones para el bloque de alimentación.....	42
Tabla 3.9.- Componentes y/o circuitos complementarios.....	43
Tabla 3.10.- Opciones para bloque de entrada aisladas.....	47
Tabla 3.11.- Opciones de controladores de lado bajo.....	52
Tabla 3.12.- Opciones de aisladores digitales.....	53
Tabla 3.13.- Consumo de elementos considerados en el lado de control....	54
Tabla 3.14.- Consumo de elementos considerados en el lado de campo....	54
Tabla 4.1.- Tabla de indicadores gráficos.....	68
Tabla 4.2.- Tabla de pruebas en pórtico del ascensor de pabellón O.....	75
Tabla 4.3.- Tabla de pruebas en pórtico del ascensor de Humanidades.....	76
Tabla 4.4.- Tabla resumen de costos por cableado convencional.....	78
Tabla 4.5.- Tabla resumen de costos por cableado en serie.....	78

Glosario de términos

- Agujero pasante:** Tecnología de fabricación de componentes electrónicos cuyo soporte mecánico en el circuito impreso son postes metálicos que atraviesan agujeros de la placa sobre la que se montan.
- SMD:** Tecnología de fabricación de componentes electrónicos cuyo soporte mecánico en el circuito impreso es mediante conectores metálicos que descansan sobre la superficie de la placa electrónica.
- OSI:** Siglas en inglés del Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (Open System Interconnection)
- EN:** Siglas en inglés de la Norma Europea (Europe Normative or Standard)
- RNE:** Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú
- CNE:** Código Nacional de Electricidad del Perú
- CAN:** Siglas en inglés de la Red de Área de Control (Controller Area Network)
- TFT:** Siglas en inglés de la tecnología de Capa Delgada de Transistores (Thin Film Transistor)

Introducción

El mercado de ascensores en el Perú está en constante desarrollo dado el aumento de construcciones de edificios domiciliarios, privados empresariales, centros comerciales y entidades públicas. Esta demanda acarrea una constante evolución de los productos relacionados a los sistemas de elevación. Uno de los dispositivos con más atractivo visual son las interfaces con los usuarios: las botoneras, indicadores de dirección de movimiento de cabina y visor con número de piso actual de la cabina.

Dado que el factor de diferenciación de un producto es importante en el mercado, en la presente tesis se plantea el desarrollo e implementación de un dispositivo que integre las funciones de llamado de cabina y presentación de indicadores al usuario con comunicación serial.

En el primer capítulo trataremos los conceptos básicos de un sistema de ascensores, la problemática en el Perú así como los objetivos principales. En el segundo capítulo presentaremos las tecnologías más usadas para el desarrollo de nuestro dispositivo así como productos similares de otros fabricantes. En el tercer capítulo se resumirá el proceso de diseño del firmware y hardware de nuestro equipo. En el cuarto capítulo se describen las pruebas y resultados realizados con nuestro prototipo en distintos escenarios.

CAPÍTULO 1: Análisis de la problemática

1.1. Introducción

1.1.1. Antecedentes

Los sistemas de elevación vertical para cargas y personas han sido desarrollados desde la antigüedad para construcciones como las pirámides en Egipto. El primer mecanismo documentado fue en el año 236 A.C. ideado por Arquímedes en la antigua Grecia y usado en el imperio romano [1]. Estos equipos usaban como fuentes motrices a humanos o animales. Los momentos y lugares en los que se debía detener, subir o bajar eran maniobrados por personas. Estos operadores fueron el primer sistema de control de elevadores como se puede observar en la figura 1.1.



Figura 1.1.- Elevador propulsado y controlado por personas.
Fuente [2]



Figura 1.2.- Elevador a vapor controlado mediante botones por pasajeros.
Fuente [2]

La siguiente generación de ascensores es la que usó como fuente de energía la fuerza hidráulica o vapor para impulsar pistones que se encontraban debajo de una cabina. Debido a que se conocía cómo controlar estos fluidos es que mediante su expulsión o inyección se elevaba, bajaba o equilibraba la plataforma. Este conocimiento permitió usar un sistema en el que los pasajeros consiguiesen controlar el movimiento con botones instalados internamente a la cabina o plataforma como puede observarse en la figura 1.2.[2]

En el siglo XIX, un nuevo sistema de seguridad inventado por Elisha Otis contra caídas en caso de rotura de cables significó una revolución en la seguridad, lo cual

aumentó la confianza y tuvo como consecuencia la masificación de ascensores. En este mismo siglo, la energía eléctrica significó una nueva fuerza motriz con los motores eléctricos además de nuevas posibilidades para el control de los mismos. En 1880, Werner Von Siemens presentó el primer elevador eléctrico en una feria en Mannheim. [3] El uso de electricidad permitió la mejora constante del control de motores así como los elementos asociados.

En la presente tesis se desarrollará un dispositivo del sub-sistema de control por lo que se describirán los elementos que componen el sistema de ascensores.

1.1.2. Descripción

De acuerdo a la norma EN81-20:2014, con referencia a las normas EN81-1 y EN81-2:1998, se identifican dos tipos de ascensores: Sistemas de tracción eléctricos y los Sistemas de empuje hidráulico. [4] Estos sistemas se diferencian en el tipo de mecanismo usado para el movimiento de la cabina. El primero usa motores eléctricos que izan o sostienen los cables anclados a la cabina mientras que el segundo usa pistones que empujan o retienen la base de la cabina. Si bien el mecanismo de movimiento es distinto, el sistema de control de ambos usa señales eléctricas. Ambos usan dispositivos de llamado de cabina y visualización de piso actual de cabina.

Los principales componentes de un sistema de ascensores son resumidos en la figura 1.3:

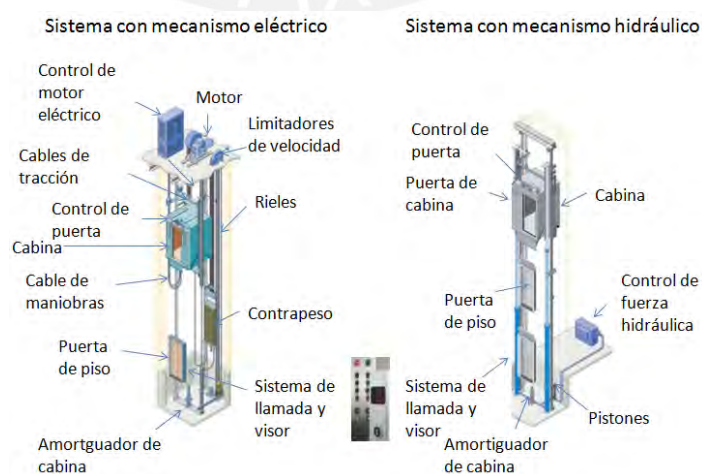


Figura 1.3.- Componentes de los sistemas de elevación.
Fuente: [5]

La botonera y visor en cada piso son interfaces con el usuario que interactúan con la unidad central de control. Prestaremos mayor atención a estos accesorios describiéndolos a continuación:

A. Botones de llamada en sala

Estos botones están ubicados en el marco de la puerta en cada piso y sirven para solicitar que la cabina se detenga en dicho piso. Según la norma A.120 del Reglamento Nacional de Edificaciones, esta botonera debe ubicarse entre los 90 a 135cm desde el piso. [6]

B. Indicadores de posición

Este visor está ubicado en el marco de la puerta de piso del ascensor. Su función es presentar el piso actual en el que se encuentra la cabina.

C. Comunicación entre pisos al control central

En los sistemas convencionales, cada botón de llamada y visor externo instalados en cada piso posee un par de cables que viajan en paralelo hasta la unidad central de control junto con los cables de otros pisos en un esquema representado en la figura 1.4. En sistemas modernos, esta comunicación es serial mediante un sólo par de cables que recorren todos los pisos.

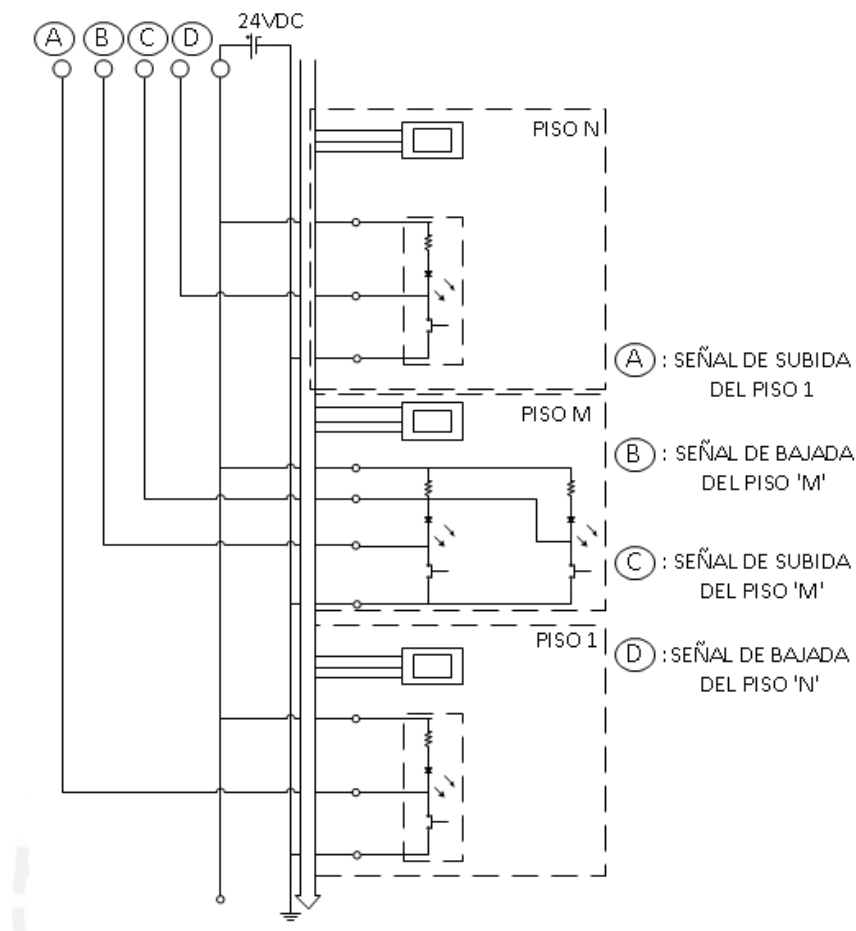


Figura 1.4.- Esquema de conexión en un sistema tradicional.
Fuente: Propia

D. Unidad de control central

Este dispositivo está ubicado en el tablero de control del sistema de elevación. Su función principal es administrar el movimiento de la cabina evaluando las condiciones de seguridad, los llamados en cada piso, las solicitudes de la botonera interna, los sensores de posición y en algunos casos optimiza el tiempo de viaje en sistema de ascensores de múltiples cabinas. Este equipo envía el dato de posición de cabina a los visores internos y externos.

Situación actual del mercado de ascensores en el Perú

En el Perú, las normas para la planificación, dimensionamiento, instalación y mantenimiento de ascensores se encuentran en el "Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE" [6] y "Código Nacional de Electricidad - CNE". [7]

El RNE establece como norma la instalación de ascensores en edificios habitacionales con una altura superior a 12 metros (art. 30 Norma A.010) y en hospitales de más de un piso [art. 14 Norma A.050].

El CNE en su Sección 200 establece los valores de corriente máximos, frecuencias de operación y dimensión de conductores así como cubiertas de los mismos en la instalación de ascensores.

Estos documentos fueron revisados para conocer la normativa relacionada a las características que deben cumplir los dispositivos electrónicos de nuestra solución .

El mercado de los ascensores está enmarcado en el sector de construcción peruano el cual ha crecido desde el año 2011 tanto en la división inmobiliaria, edificios empresariales y complejos comerciales. Al año se instalan mil quinientos ascensores en el Perú según declaraciones del gerente general del Grupo Trianon, Luis Zwiebach, al diario Gestión. [8]

Durante la elaboración de la presente tesis se verificó la existencia de 41 empresas que se dedican al rubro de instalación, modernización, mantenimiento y reparación de ascensores. [9] De estas, existen cinco grandes empresas que tienen representación de firmas líderes internacionalmente: Otis (Ascensores S.A.) [10], Schindler (Schindler Perú SAC) [11], Mitsubishi (Trianon) [12], Kone (Ascensores GS&F) [13] y Thyssenkrupp (Thyssenkrupp Elevadores SAC). [14] Las otras 36 empresas peruanas usan componentes de las grandes firmas o fabrican elementos compatibles. Este acceso indirecto hace que lleguen con un sobre cargo en precios y a una menor gama de opciones.

1.2. Problemática

El problema al cual se enfrentan las empresas peruanas dedicadas al mantenimiento de ascensores es la falta de acceso a dispositivos con mejores prestaciones desarrollados por los grandes fabricantes.

De la situación del mercado de ascensores en el Perú podemos identificar los siguientes problemas específicos:

1.2.1. Durabilidad limitada de botoneras

Tomando como referencias las garantías usuales de venta de ascensores, todo el sistema de elevación, incluidas las botoneras, tiene una vida útil de 5 años. [15] Las interfaces táctiles y sin contacto no tienen la fricción mecánica de los botones tradicionales lo cual ofrece una mayor durabilidad. [16][17]

1.2.2. Pocas opciones de accesorios atractivos a los usuarios

Partiendo de que cada gran fabricante posee departamentos de Investigación y Desarrollo (I&D) para obtener productos que le ofrezcan ventajas competitivas, estos sólo sirven a una familia de soluciones propietaria y generalmente son estándares cerrados. Debido a esto, muchas empresas peruanas no tienen acceso a productos con mejores prestaciones a precios accesibles. Esta estrategia ya fue penalizada en España como caso de competencia desleal a las empresas Zardoya Otis, Schindler, Eninter e Imem. [18][19]

1.2.3. Gran cantidad de cables de comunicación en el sistema convencional

Los sistemas tradicionales usan el sistema de comunicación paralelo, donde la gran cantidad de cables requerido hace que la instalación se vuelva dificultosa y costosa además implica mayor tiempo y personal. En contraste la instalación del cableado de un sistema de comunicación serial es más sencilla, económica y robusta. [20]

1.2.4. Foco infección en hospitales

Los botones de ascensores en hospitales pueden ser focos infecciosos debido al uso de los elevadores por parte del personal médico y pacientes. Este problema fue documentado en un estudio financiado por el " Canadian Institutes of Health Research". [21]

1.3. Objetivo

El objetivo general es proponer una solución a los problemas identificados mediante un producto que integre las funciones de visualización y llamado de cabina con comunicación serial.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a) Integrar las funciones del visor externo y botonera externa por piso en un sólo dispositivo.
- b) Conseguir mayor durabilidad frente a los sistemas de llamado convencionales al prescindir de partes mecánicas.
- c) Ofrecer pantallas con la capacidad de ser personalizables para cada cliente.

Brindar mayor facilidad de instalación de accesorios externos frente a los sistemas de cableado en paralelo.



CAPÍTULO 2: Estado de la investigación

2.1. Introducción

2.1.1. Presentación del asunto de estudio

Frente a lo limitado de la durabilidad de los botones mecánicos, lo poco atractivos de los visores externos y lo engorroso de la instalación [20], los grandes fabricantes han desarrollado soluciones a estos problemas. Estas nuevas prestaciones han sido introducidas en productos que ofrecen beneficios al instalador, comodidad al usuario y mayores plazos para reemplazar elementos al administrador del edificio.

En la primera parte de este capítulo se realizará un bosquejo del dispositivo a desarrollar. En la segunda parte se revisarán las tecnologías disponibles para su implementación. Finalmente en la tercera parte se presentarán los dispositivos ofrecidos en catálogos de los grandes fabricantes.

2.2. Tecnologías para el desarrollo del producto

2.2.1. Esquema de solución

El dispositivo a desarrollar en esta tesis integrará las funciones de visualización externa y llamado de cabina en una sola interfaz que usará comunicación serial con los otros elementos del sistema.

Las funciones de visualización, llamado de cabina y comunicación son desarrolladas por módulos internos del dispositivo los cuales interactúan entre sí por lo que existe un módulo de control central del dispositivo [20]. Dado que los módulos internos del equipo requieren ser energizados, deberá existir un módulo capaz de entregar los niveles de tensión adecuados a cada componente.

Nuestro dispositivo se comunicará con un adaptador de comunicación serial a paralelo ubicado en el cuarto de máquinas como representaremos en la figura 2.1:

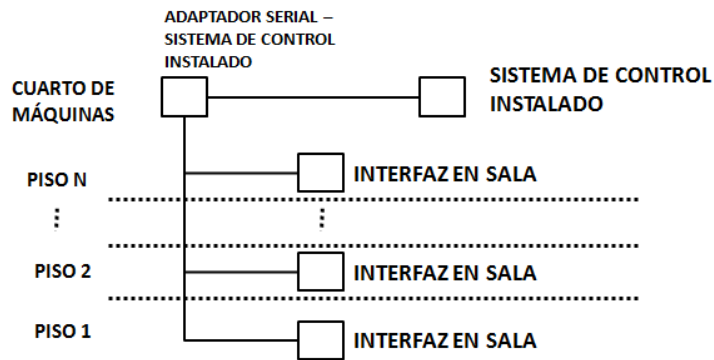


Figura 2.1.- Elementos del sistema a desarrollar.
Fuente: Propia

El dispositivo principal a desarrollar en esta tesis es la interfaz de sala en cada piso. Este dispositivo puede ser representado mediante el siguiente diagrama de bloques:



Figura 2.2.- Diagrama de bloques del dispositivo de piso.
Fuente: Propia

A continuación describiremos las tecnologías más usadas para la interfaz de entrada, visualización y comunicación serial:

2.2.2. Bloque de Interfaz de Entrada: Tecnologías de sensado táctil y gestos

A. Definición

Los sensores táctiles son transductores capaces de transformar en señales eléctricas algún parámetro físico generado por contacto. De estas señales se puede extraer el dato de posición del punto de toque. En el mercado existen sensores táctiles resistivos, capacitivos, acústicos[22], ópticos[23][24] e infra-rojos.

Por otro lado, los sensores de gestos son dispositivos capaces de identificar señas de alguna parte del cuerpo las cuales sirven como datos de entrada a un sistema. Este sistema reemplaza desplazamientos o rotaciones de componentes mecánicos por reconocimiento de movimientos o posiciones sin contacto.

B. Tipos

B1. Sensores Resistivos

Los sensores resistivos basan su funcionamiento en la generación de resistencias proporcionales al punto de contacto entre dos placas flexibles muy delgadas que son colocadas sobre un vidrio o superficie que sirva de soporte. [25] En la figura 2.3 podemos observar el principio de funcionamiento:

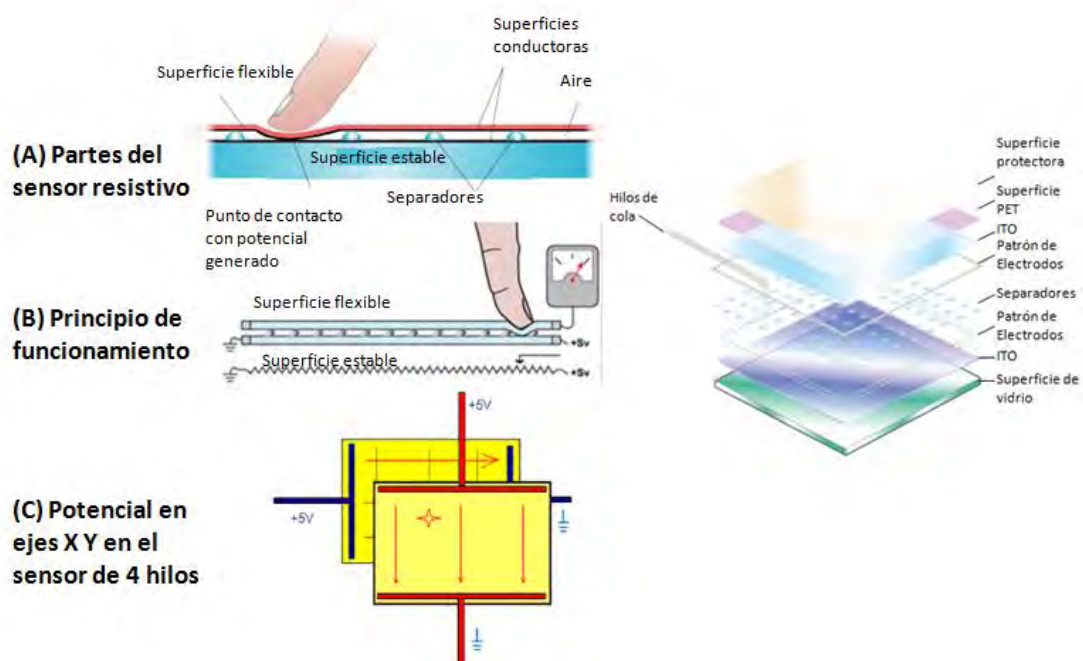


Figura 2.3.- Funcionamiento del sensor resistivo de 4 hilos.

Fuente: [25] [26]

B2. Sensores Capacitivos

Este tipo de sensores basa su funcionamiento en el cambio de corriente en el caso de los sensores capacitivos superficiales mientras que el cambio de capacitancia en el caso de los capacitancia proyectada cuando se produce contacto en el área de sentido. [22]

Existen dos tipos de sensores capacitivos que explicaremos a continuación:

i. Sensores Capacitivos Superficiales

Estos sensores capacitivos poseen electrodos posicionados en las cuatro esquinas de la superficie de sentido. Estos electrodos generan un campo uniforme sobre toda el área de interés. Al entrar en contacto con este campo eléctrico un cuerpo con conexión a tierra se produce una variación de la corriente demandada por cada electrodo. Esta corriente es inversamente proporcional a la distancia del punto de contacto con las cuatro esquinas. Con la información de variación de corriente un controlador es capaz de calcular el punto de contacto sobre la superficie. [27] En la figura 2.4 podemos observar el principio de funcionamiento:

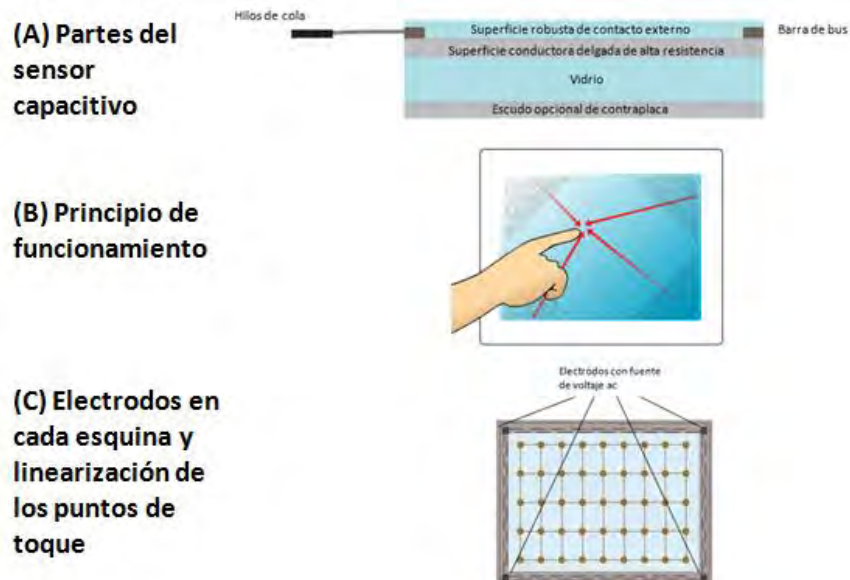


Figura 2.4.- Partes y funcionamiento del sensor capacitivo de superficie
Fuente: [26][28][29]

ii. Sensores de Capacitancia Proyectada

Los sensores de capacitancia proyectada poseen un arreglo de electrodos en toda la superficie de sensado. En cada electrodo de esta matriz se detecta la variación de capacitancia. Esta detección por electrodo permite el reconocimiento de toques múltiples en la superficie. En la figura 2.5 podemos observar el principio de funcionamiento:

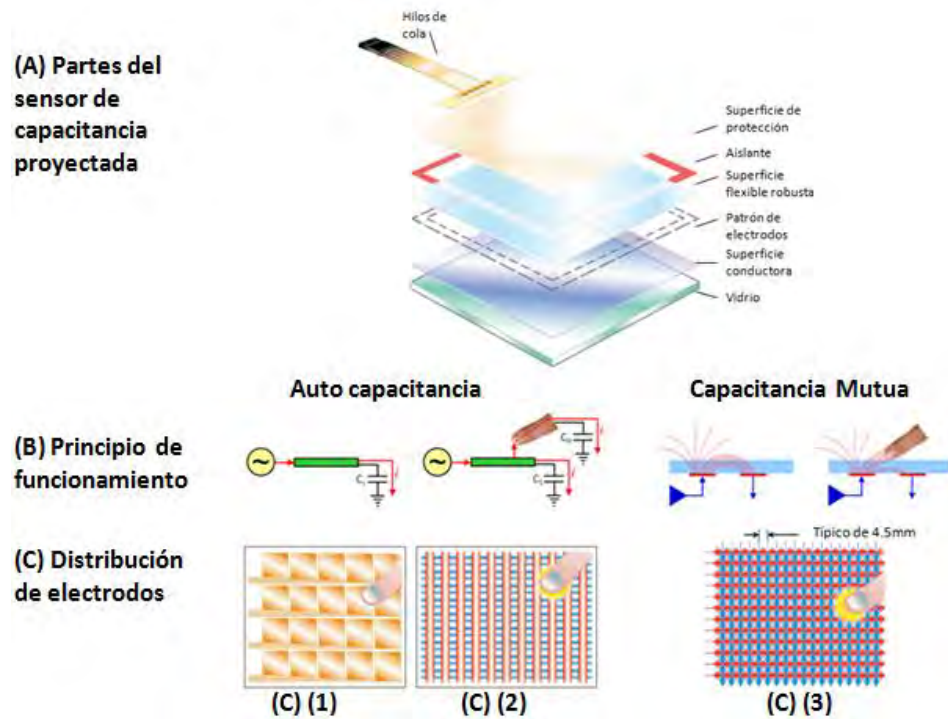


Figura 2.5.- Funcionamiento del sensor de capacitancia proyectada.
Fuente: [22] [26][30]

B3. Sensores infra rojos tradicionales

Esta clase de sensores basa su funcionamiento en la detección de interrupciones de haces de luz infrarroja. Para esta detección se usa un arreglo de emisores y receptores IR en todo el marco de la superficie de detección. Estos arreglos usan distintos patrones de distribución y diferente clases de leds emisores. En su forma más tradicional se usa un patrón en el que emisores y receptores se encuentran alineados uno frente al otro tanto en el eje "X" como en el eje "Y". [24] En la figura 2.6 se observa el principio de funcionamiento:

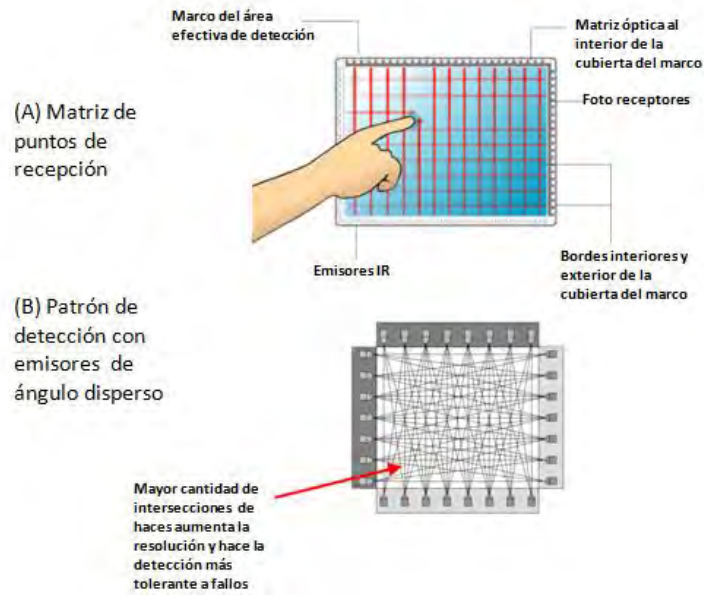


Figura 2.6.- Partes del sensorado tradicional infrarrojo.
Fuente: [22]

B4. Sensores de gestos

Los sensores de gestos son interfaces de usuario sin contacto que ofrecen una gran versatilidad y formas más intuitivas de interactuar con los sistemas. [17] Esta clase de sensores puede ser entendido dentro de un "Sistema de Reconocimiento de Gestos" [31] cuyos elementos pueden observarse en la figura 2.7:

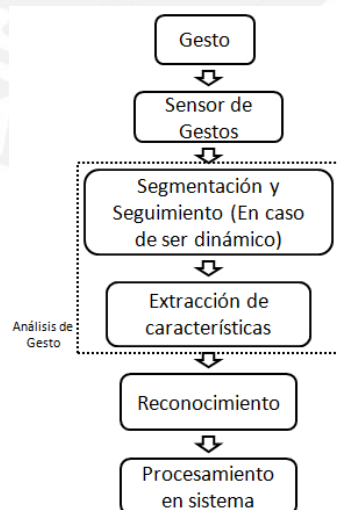


Figura 2.7.- Elementos del sistema de reconocimiento de gestos.
Fuente: [31]

Un gesto se define como una posición o movimiento interpretable como comando y un sensor de gestos como el dispositivo de conversión de los parámetros físicos a datos digitales. La segmentación es la discriminación del gesto entre el fondo. El seguimiento es la localización del objeto en diferentes capturas. La extracción de características se entiende como el conjunto de parámetros que debe cumplir un objeto de interés para ser identificado como tal. Estos parámetros extraídos son recogidos y acumulados para su posterior reconocimiento y procesamiento. El reconocimiento es un algoritmo de clasificación de los datos extraídos dentro de un diccionario de gestos. El procesamiento es la acción particular dentro del sistema luego de reconocer el gesto.

El sensor de gestos puede reconocer los parámetros físicos mediante diversos medios: ópticos mediante cámaras[31], acústicos, magnéticos, eléctricos, mecánicos[32], radio frecuencia[33] u ópticos infra-rojos[34]. La selección de un tipo en particular depende del ambiente y características del usuario como posición de la parte a ser reconocida o de las propiedades como recubrimiento, guantes o colores particulares.

Estos sensores brindan una mayor naturalidad en la interacción hombre - máquina además al usar una mica protectora se puede convertir en un dispositivo anti-vandalismo.

Diseñadores y fabricantes como Microchip [35], AMS [17], Avago [36] y Google-ATAP [33] han desarrollado módulos o circuitos integrados para el sensado de gestos como puede observarse en la figura 2.8.



Figura 2.8.- Sensores de gestos de Microchip y Proyecto Soli.
Fuente: [35] [33]

2.2.3. Bloque de Visualización: Tecnologías de visualización

A. Definición

Las tecnologías de visualización de datos tienen como fin ser un medio de comunicación humano - máquina. En la actualidad existen diversas tecnologías en el campo de la electrónica que se disputan por brindar las mejores prestaciones en calidad de imagen y energía. [37]

La presentación del piso actual de cabina se ha realizado de distintas formas como iluminando lámparas detrás de plantillas en metal o vinilos con los bordes de los números como vemos en la figura 2.9. Con el advenimiento de tecnologías que permiten presentar caracteres en formatos más pequeños y con una mejor estética es que los fabricantes han ido migrando a matrices leds, pantallas lcd, oleds o tft-lcd.



Figura 2.9.- Indicadores en ascensores antiguos.
Fuente: Propia

Las nuevas prestaciones como calidad de imagen y tamaño de estas tecnologías han permitido el desarrollo de productos que brinden no sólo el piso actual de cabina sino la presentación de información como se puede apreciar en la figura 2.10:



Figura 2.10.- Visores externos y en cabina marca Mitsubishi.
Fuente: [38]

B. Tipos

B1. LED

En 1962, Nick Holonyak Jr. consiguió inventar el primer diodo emisor de luz (light emitting diode - LED) [39]. Este es un dispositivo compuesto por semiconductores que tiene la propiedad de emitir ondas en el espectro visible cuando una corriente eléctrica cruza el componente en el sentido directo de polarización del diodo.

La luz se produce por la recombinación de electrones y agujeros de los materiales tipos p y n. Una condición necesaria para que estos saltos produzcan luz visible es que la diferencia energética entre la banda de energía del electrón y la banda de energía del agujero corresponda a longitudes de ondas en el espectro superior al infra rojo. [40]

Existen distintos sub-tipos de pantallas basadas en la tecnología LED:

i. Matrices de leds discretos

Los leds son utilizados para la construcción de arreglos que conforman módulos. Para esto se usan leds discretos de agujero pasante o de montaje superficial (SMD) como los observados en la figura 2.11. Los de agujero pasante son usados para avisos luminosos en exteriores con mensajes alfanuméricos mientras que los SMD para mensajes que pueden incluir imágenes como en la figura 2.12. [37]



Figura 2.11.- Aviso luminoso con leds de agujero pasante.
Fuente: [40]



Figura 2.12.- Módulos leds smd para pantallas.
Fuente: [41]

ii. OLED

En 1987, Ching W. Tang y Steven Van Slyke descubrieron la luminiscencia en diodos emisores de luz orgánicos (OLEDs) cuando trabajaban para los laboratorios de Kodak [42]. El principio de funcionamiento es el mismo que de los leds discretos, esto es, emisión de un fotón por la recombinación de electrones-huecos. En la figura 2.13 podemos observar la estructura de una unidad básica OLED.

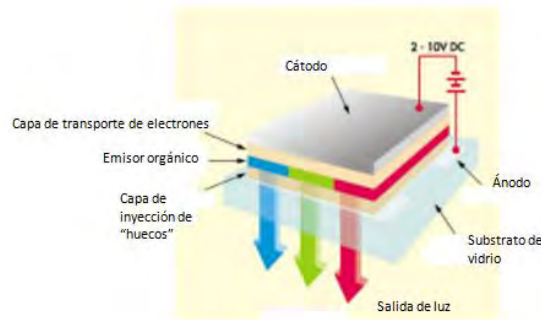


Figura 2.13.- Estructura básica de una molécula simple OLED.
Fuente: [43]

iii. Nano cristales

Los nano cristales LEDs son estructuras similares a los OLEDs pero que son formados con compuestos inorgánicos cuya ventaja es que produce luz por luminiscencia por lo que no necesita luz de fondo. [44] En la feria de Electrónica de Consumo (CES) del 2012 y 2015 fueron presentados televisores basados en tecnología de nano-cristales por Sony y Samsung respectivamente [45].

B2. ELD

La tecnología de electroluminiscencia (Electroluminescent Display - ELD) fue desarrollada desde 1936 con la acuñación del término por Georges Distrau y cuyo primer producto práctico fue inventado por Toshio Inoguchi en 1974 [46]. Esta tecnología genera luz a partir de la luminiscencia producida por un campo eléctrico. En un display bajo esta tecnología se usa un arreglo de electrodos los cuales poseen capas internas de aisladores y una capa de fósforo. Los electrodos aceleran a los electrones a velocidades balísticas que impactan en el centro de luminiscencia los cuales emiten fotones generados por el re-establecimiento a un estado de energía menor de un electrón en la capa del centro de luminiscencia que previamente fue ionizado o excitado por el electrón que impactó previamente. [47] Las capas de un elemento de este tipo de pantallas se observa en la figura 2.14.

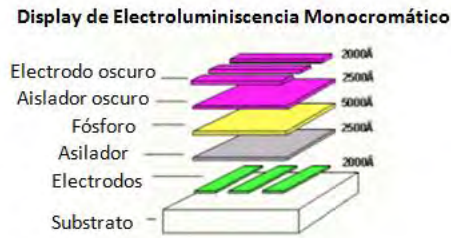


Figura 2.14.- Capas de un elemento de la matriz en pantalla ELD.
 Fuente: [47]

B3. FED

Las pantallas de emisión de campo (Field Emission Display - FED) fueron desarrolladas en 1968 por Charles A. Spindt. Estas pantallas usan conos de emisión de electrones que impactan en capas de fósforo. El principio de funcionamiento es la luminiscencia producida por el impacto de electrones con capas de fósforo que recubren un vidrio [48]. Una pantalla está formada por millones de pixeles que poseen los colores básicos rojo, azul y verde. Cada color es un sub-píxel el cual está compuesto por una capa substrato, cátodos que poseen diminutos cañones emisores de electrones, un aislante, un separador, una capa de fósforo, un ánodo transparente y finalmente el vidrio contenedor de las capas inferiores. [43] La estructura de un píxel y sub-píxel se puede observar en la figura 2.15.

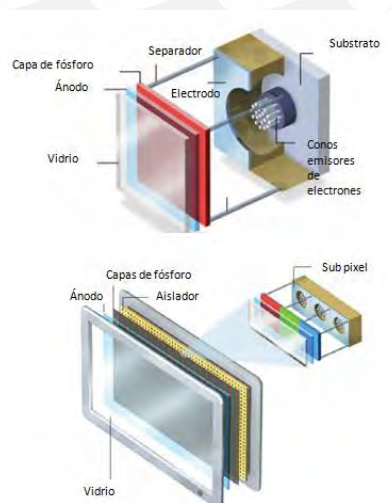


Figura 2.15.- Elementos que conforman los pixeles de una pantalla FED.
 Fuente: [43]

B4. LCD

La propiedad fundamental de los cristales líquidos es el paso u obstrucción de la luz. Esta propiedad fue descubierta por Friedrich Reinitzer en 1888 al estudiar un compuesto orgánico formado por colesterol y benzoato. El término fue acuñado por Otto Lehman en 1889 quien verificó esta propiedad en su propio laboratorio. El primer prototipo de pantalla de cristales líquidos (Liquid Crystal Display - LCD) fue en 1968 bajo el equipo de G.H. Heilmeier en los Laboratorio de RCA [49].

El comportamiento de un cristal líquido que permite el paso u ocultamiento de luz se basa en el alineamiento de las moléculas cuando entra en contacto con capas polarizadoras y cómo las mismas moléculas cambian su orientación frente a un campo eléctrico. Las fases del cambio de orientación de estas partículas se observa en la figura 2.16.

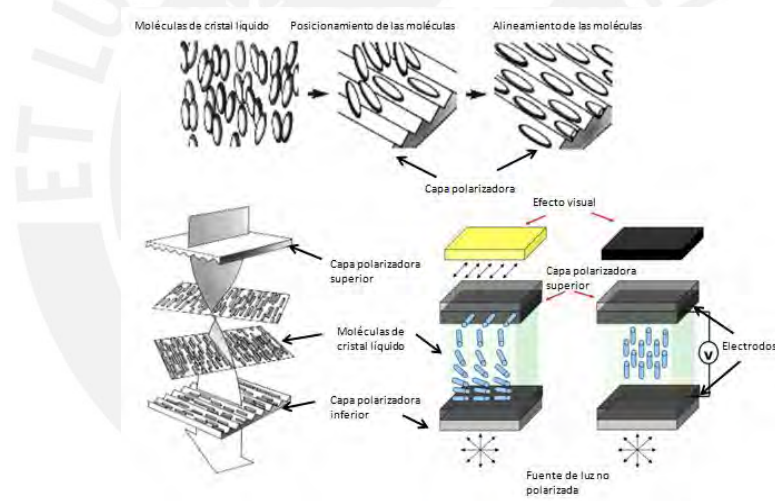


Figura 2.16.- Fases de paso y ocultamiento frente al paso de la luz.

Fuente: [49]

La forma en la que se asocian y activan las celdas básicas para producir pantallas se puede dar en forma pasiva o activa. Las matrices de celdas que usan electrodos conectados a las intersecciones de M filas y N columnas son las llamadas matrices pasivas. Las matrices que usan interruptores por cada celda son las llamadas matrices activas. Estas matrices activas se implementan usando capas delgadas de transistores (Thin Film Transistors - TFT) o usando capas delgadas de diodos (Thin Film Diode - TFD). Las capas usadas en una pantalla LCD-TFT se pueden observar en la figura 2.17.

En la fabricación de pantallas comerciales cada celda es asociada a un color y la agrupación de los tres colores básicos forma un pixel. Por esta razón existe una capa adicional con los filtros de colores y capas adicionales para acondicionar la luz de fondo.

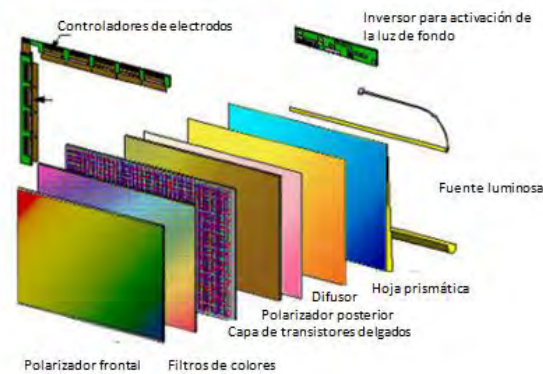


Figura 2.17.- Componentes de una pantalla LCD TFT.
Fuente: [49]

2.2.4. Módulo de comunicación serial: Estándares de comunicación serial

A. Introducción

La comunicación serial se define como aquel proceso digital que transmite un dato a la vez. [50] Esto permite que un dato de "n" bits pueda ser transmitido usando uno o dos cables de cobre o un canal radioeléctrico.

Esta clase de comunicación brinda las siguientes ventajas:

- a) Evita la interferencia entre señales cercanas en paralelo. [51]
- b) Menor costo y tiempo de instalación de cables frente al paralelo.

Para la comunicación entre dispositivos existen estándares eléctricos como el RS-232, USB, RS-485, Ethernet o CAN entre los más usados. Estos definen entre sus especificaciones las topologías de cableado, número máximo de dispositivos, rangos de tensión reconocidos como cero o uno lógico, distancias máximas alcanzadas por cada velocidad de transmisión, niveles aceptados en el modo común así como tensiones máximas y mínimas de protección. Estas características corresponden a la capa 1 del modelo OSI [52].

En esta sección describiremos los estándares de comunicación entre dispositivos que podrían ser usados en nuestra aplicación. Los requisitos a cumplir en nuestra aplicación son los siguientes:

- a) Enlace entre múltiples dispositivos
- b) Mínimo cableado
- c) Cubrir distancias de hasta 300 metros
- d) Económico

Considerando los requisitos dejamos de lado el protocolo USB pues su distancia máxima es de 5 metros, la fibra óptica por ser más costoso que sus pares de cobre y debido a que no necesitamos adaptarnos a protocolos por encima de la capa física descartamos a Profibus o similares.

Como referencia de comunicación usada en productos de elevación comerciales, se conoce que Thyssenkrupp usa el protocolo CAN [53].

Con lo antes descrito pasaremos a tratar de forma breve algunos estándares asíncronos que podrían ser seleccionados en nuestro diseño:

B. Tipos

B1. Estándar RS-485

Este estándar (Recommended Standard - RS) fue aprobado por la Asociación de Industrias Electrónicas (Electronic Industries Association - EIA) en 1983 [61]. En 1998 fue revisado por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (Telecommunication Industries Association - TIA) y se convirtió en el estándar "ANSI TIA/EIA-485-A" [54]. En 1987 y 1993 la ISO lo cubrió en su estándar ISO/IEC 8482/1993(E). [55]

Las principales características de este estándar son las siguientes [56][57]:

- a) Alcanza distancias de hasta 1200m.
- b) Comunicación bidireccional sobre un sólo par de cobre.
- c) Transmisión de señal en líneas diferenciales para incrementar inmunidad al ruido.
- d) Hasta 32 pares de transmisores y receptores pueden ser conectados al mismo bus.
- e) La tasa máxima de transferencia es de 10Mbps.
- f) La mínima diferencia de tensión a la salida de un transmisor es de 1.5V.
- g) La mínima diferencia de tensión detectable en un receptor es de 200mV.

El hecho de definir a la señal en forma diferencial y darle un rango mínimo de detección hace que pueda ser instalado en ambientes agresivos o de mucho ruido como los industriales. [50] [53][56][58]

Este estándar es una opción de capa 1 en los protocolos industriales de comunicación como Modbus, Profibus, Interbus y BACNet [56].

B2. Estándar CAN (Controller Area Network)

Este estándar fue desarrollado por la compañía Robert Bosch GmbH en 1986 como solución propietaria a las complicaciones de cantidad, peso y costo del cableado paralelo. Posteriormente la Organización Internacional de Estándares (International Standards Organization - ISO) definió las versiones abiertas ISO 11519-1:1994 a 125kbps e ISO 11898 - 1993 a 1Mbps con identificador de 11 bits y la ISO 11898 - 1995 con identificador de 29 bits.

El estándar ISO 11898 se encarga de las dos primeras capas: la física y la de enlace de datos según modelo OSI como se representa en la figura 2.18:

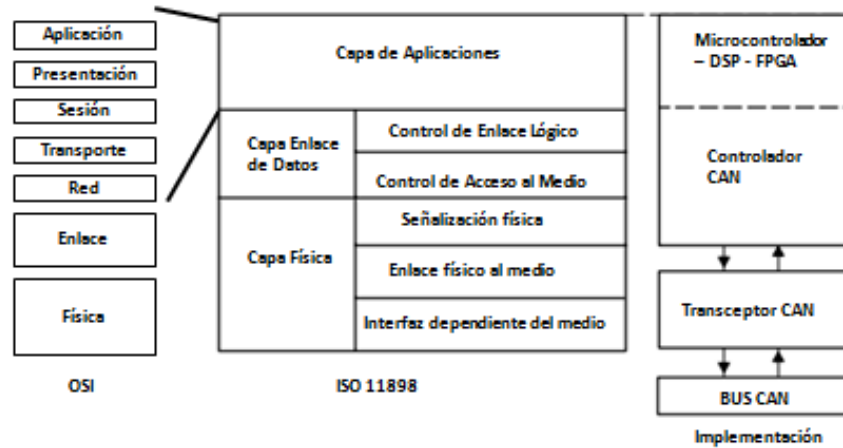


Figura 2.18.- Capas del modelo OSI cubiertas por el estándar CAN.
Fuente: [59]

En el mercado existen chips con sólo la función de la capa 1 (e.g. MCP2551), otros con sólo la función de la capa 2 (e.g. MCP2515) y otros que integran ambas capas de CAN (e.g. HI-3110). Algunos microcontroladores poseen un controlador CAN como periférico y sólo precisan de un chip de capa 1 CAN adicional. [60] Existen integrados de capa 1 que tienen un costo por debajo de un dólar. [61][62]

Las características definidas por este estándar son las siguientes [63]:

- a) La ISO 11898 definió una distancia máxima de 40 metros.
- b) La tasa máxima de transferencia es de 1Mbps.
- c) El tipo de cables y conectores no está estandarizado por lo que usualmente se usan pares de cobre con conectores RJ-45 o conectores db-9.
- d) La señal viaja en líneas balanceadas (diferenciales).
- e) Es half-duplex. [64]
- f) Verifica si el canal de comunicación está disponible antes de una transmisión mediante la técnica de detección de portadora ("Carrier Sense Multiple Access with Carrier Detection and arbitration message priority - CSMA/CD-AMP").
- g) Se define un nivel de tensión dominante, '0' lógico, y uno subordinado , '1' lógico.

h) En caso de colisión, el mensaje de mayor prioridad es el que toma control del bus.

La presencia de los niveles de tensión dominante y recesivo en cada nodo y los presentes en el bus son parte del proceso de arbitraje. Este proceso es no destructivo para el mensaje de mayor prioridad pues este se sigue transmitiendo pero sí destruye a los de menor categoría. Este proceso está representando en la figura 2.19:

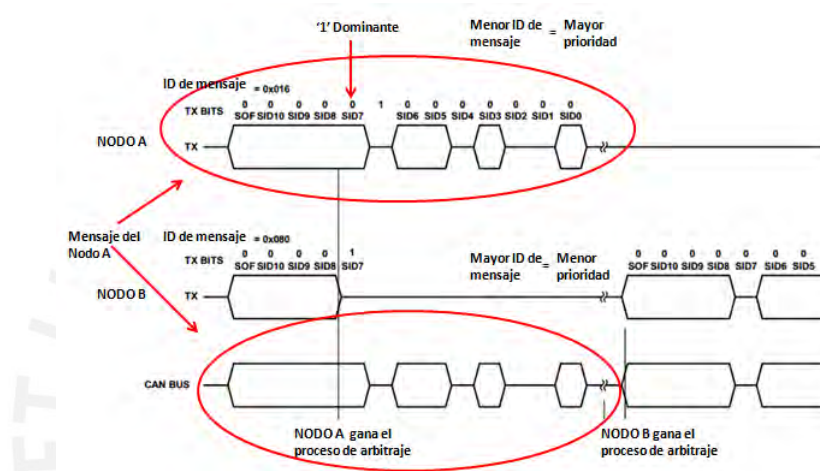


Figura 2.19.- Proceso de arbitraje en el CAN BUS.
Fuente: [65]

El proceso de arbitraje en cada nodo está continuamente analizando los bits en el CAN bus y detecta si otro nodo ha ganado el arbitraje.

i) Las características eléctricas del medio físico definidas en el ISO 11898-2 son resumidas en la figura 2.20 a continuación:

Parámetros	min	max	uni
Tensión DC en las líneas CANH y CANL	-3	+32	V
Tensión soportable en CANH y CANL	-150	+100	V
Tensión de modo común en el bus	-2.0	+7.0	V
Tensión de salida recesiva	+2.0	+3.0	V
Tensión de salida diferencial en estado recesivo	-500	+50	mV
Resistencia en la entrada para el modo diferencial	10	100	k Ω
Resistencia en la entrada para el modo común	5.0	50	k Ω
Tensión diferencial en estado dominante	+1.5	+3.0	V
Tensión de salida en estado dominante (CANH)	+2.75	+4.50	V
Tensión de salida en estado dominante (CANL)	+0.50	+2.25	V
Salida de corriente		100	mA

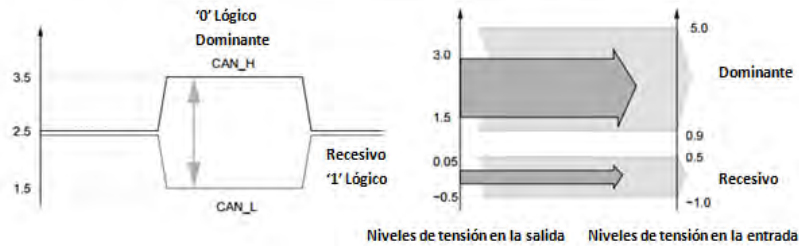


Figura 2.20.- Niveles eléctricos en el estándar ISO 11898-2.
Fuente: [66][67]

Como parte de la segunda capa del modelo OSI, este estándar define el formato de trama a transmitir, método de arbitraje y mecanismos de reconocimiento de errores.

Los mecanismos de control de errores usados en CAN son la detección de coherencia entre bit transmitido y leído; verificación de bits de relleno para evitar más de 5 bits iguales consecutivos; verificación de campo CRC; verificación de bits fijos como los dominantes al inicio y RTR; y la verificación de acuse de respuesta por los nodos que recibieron la trama dominante ("acknowledge"). [65] [66] [67] [68]

En base a CAN se han definidos otros estándares industriales que añaden más especificaciones en las capas superiores del modelo OSI. Estándares como DeviceNet, CANopen, ControlNet, Profibus-PA, TTCAN y SDS pueden basar sus dos primeras capas en CAN.

B3. Estándar Ethernet

Este estándar fue desarrollado desde 1973 a 1975 por Robert Metcalfe en los laboratorios Xerox y publicado en el volumen 19 de "Communications of the ACM" por Metcalfe y David R. Boggs [69].

Dado que los controladores de interfaz Ethernet deben ser compatibles con las primeras versiones del 802.3, se citarán las características técnicas de la versión 10BASE-T:

- a) La distancia máxima entre dos nodos (elemento de red) por un par trenzado de cobre sin enmallado es de 100 metros en el 10BASE-T. En los estándares Ethernet v.2 y 10BASE5 y 10BASE2 la distancia máxima es de 500 metros [70].
- b) La velocidad máxima es de 10Mbps en 10BASE-T.
- c) La codificación usada en 10BASE-T es Manchester con un nivel DC de 0 a 2.5VDC para la línea positiva y de 0 a -2.5VDC para la línea negativa.
- d) Los canales de transmisión y recepción viajan en dos pares hilos diferenciales independientes en modo full-duplex.
- e) El cableado en 10BASE-T es el UTP ("Unshielded Twisted Pair") categoría 3 con conectores RJ-45. El estándar en el orden de cada hilo sigue la norma EIA/TIA-568.
- f) El acceso al medio en modo half duplex o topología bus usa CSMA/CD. Este método está en permanente escucha de las líneas de recepción y si existe una portadora en las líneas espera a que esté libre para iniciar la transmisión.

En base a Ethernet se han definido estándares industriales como PROFINET, EtherNet/IP, EtherCAT, MODBUS-IDA, Ethernet Powerlink, etc. los cuales definen las capas superiores para la comunicación en este tipo de redes. [71]

2.2.5. Bloque de Control General y Alimentación

El módulo de control se encargará del manejo de los periféricos como pantalla e interfaz táctil. El módulo de alimentación se encargará de proporcionar la tensión requerida por los otros módulos. Estos módulos se tratarán en el capítulo 3 de diseño e implementación.

2.3. Accesorios en el mercado

Los dispositivos de interfaz con el usuario son presentados en los catálogos de cada nueva familia de ascensores de distintos fabricantes. Estas opciones son el

estado del arte de los productos finales por lo que es importante su revisión. A continuación presentaremos desde la figura 2.21 a la figura 2.29 algunos dispositivos de diferentes fabricantes que resaltan por su diseño enfocado al estilo, tecnología usada o nuevas prestaciones:

2.3.1. Visores Externos



Figura 2.21.- Opción de la familia 5500 de Schindler.
Fuente: [71]



Figura 2.22.- Opciones de la familia NexWay de Mitsubishi.
Fuente: [72]



Figura 2.23.- Visores Genemek y Elevator Equipment Limited.
Fuente: [73][74]

2.3.2. Dispositivo de llamada de cabina



Figura 2.24.- Opción de dispositivos de llamada en Schindler 3300.
Fuente: [75]



Figura 2.25.- Sistema de pre-assignación en OTIS Gen2 Premium.
Fuente: [76]



Figura 2.26.- Botoneras Genemek y Elevator Equipment Limited.
Fuente: [73][74]

2.3.3. Visualizadores de dirección en sala



Figura 2.27.- Lámparas de dirección de la familia NexWay de Mitsubishi.
Fuente [72]

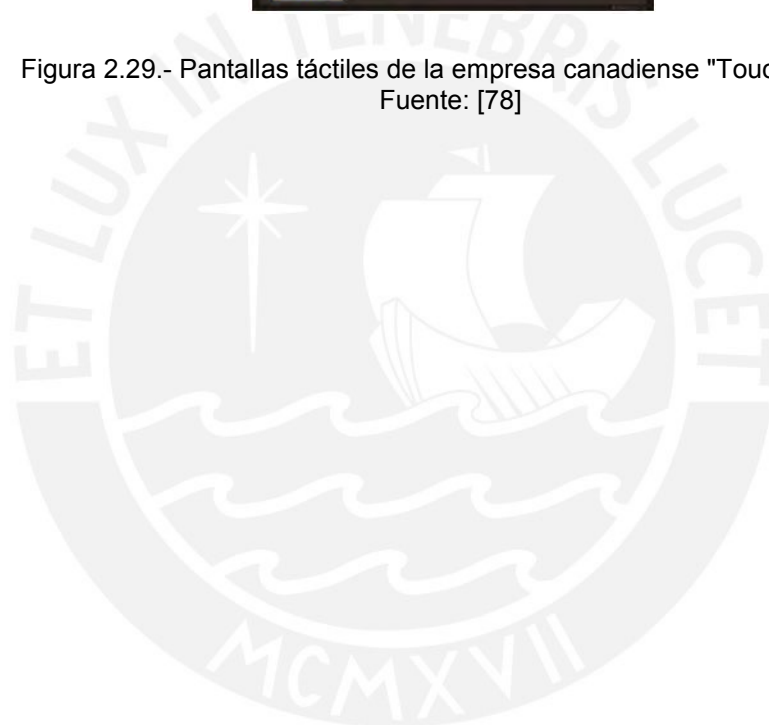


Figura 2.28.- Lámparas de dirección en los elevadores Kone.
Fuente: [77]

2.3.4. Botonera táctil en cabina con información de destino



Figura 2.29.- Pantallas táctiles de la empresa canadiense "Touch to Go".
Fuente: [78]



CAPÍTULO 3: Diseño electrónico de la solución: Software Y hardware

3.1. Requerimientos del Dispositivo

3.1.1. Requerimientos

En base a los objetivos propuestos y revisión de tecnologías en los capítulos 1 y 2 se identificaron los siguientes requerimientos:

Dispositivo en piso:

- Pantalla gráfica con capacidad de presentar imágenes a colores
- Información con el número de piso actual de cabina
- Información con flecha de sentido de viaje de cabina
- Información de llamada de subida o bajada registrada
- Capacidad de llamada de cabina para subida o bajada
- Conexión en serie con otros elementos del sistema

Interfaz en cuarto de máquina:

- Conexión en serie con los dispositivos de piso
- Compatible con control de sistema con entradas/salidas en paralelo

3.2. Arquitectura de la solución en el sistema de elevación

En el esquema de solución está propuesto en la figura 3.1 se identifican dos clases de dispositivos necesarios: dispositivos de piso y dispositivo de interfaz con el controlador paralelo convencional.

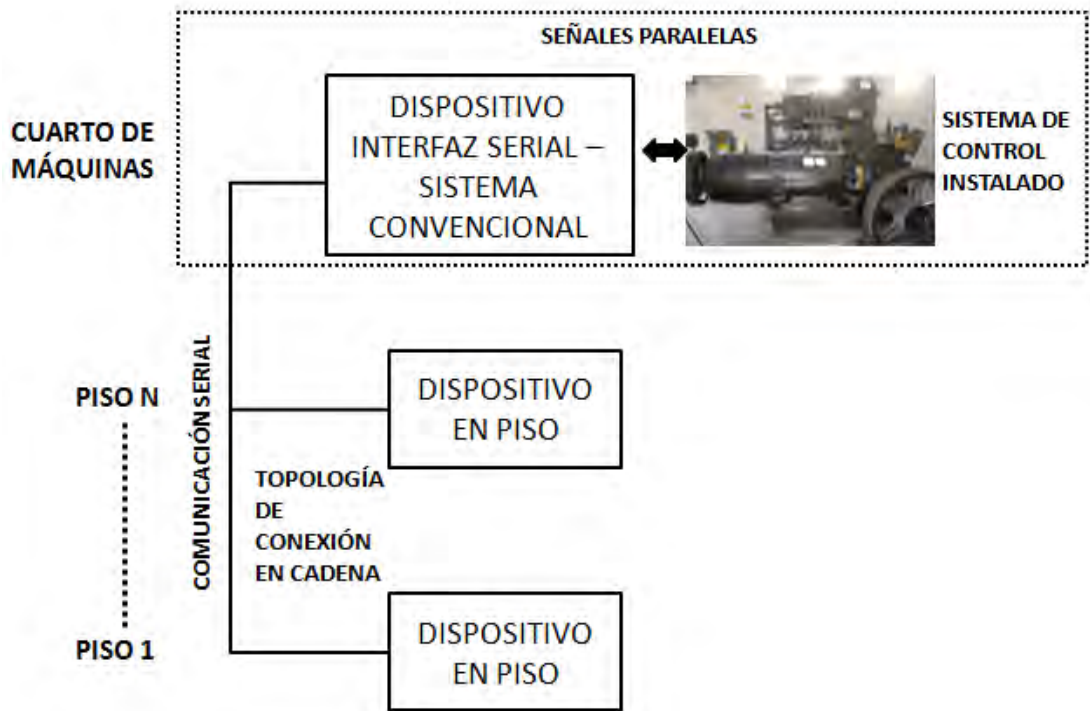


Figura 3.1.- Esquema de la solución propuesta.
Fuente: Propia

Los dispositivos en piso poseen bloques funcionales de interacción con los usuarios y un bloque de comunicación serial. El diagrama de bloques está ilustrado en la figura 3.2.



Figura 3.2.- Diagrama de bloques del dispositivo de piso.
Fuente: Propia

Por otro lado, el dispositivo de interfaz con el sistema convencional transfiere los mensajes de comunicación serial a señales paralelas. Este dispositivo posee las siguientes funciones:

- Recibir las llamadas de cada dispositivo de piso y trasladar esa orden a la salida respectiva con los niveles eléctricos requeridos por el sistema convencional.
- Monitorear el estado de las bidireccionales del sistema convencional y transmitir su estado hacia el dispositivo de piso como confirmación de llamada en cola o atendida.
- Acondicionar los niveles eléctricos e interpretar las salidas del sistema convencional con información de piso, flecha de subida, flecha de bajada o estado de mantenimiento y transmitir estos datos a todos los dispositivos de piso.

Los niveles eléctricos del sistema convencional (24VDC) están por encima de los utilizados por las unidades de control digitales (3.3VDC o 5VDC). Por esto se requiere de elementos que realicen el acondicionamiento de señal. Este incluye un paso de nivel de tensión y un aislamiento eléctrico con la unidad de procesos.

Considerando todo lo anterior observamos en la figura 3.3 el diagrama de bloques de este dispositivo de interfaz con el controlador convencional:

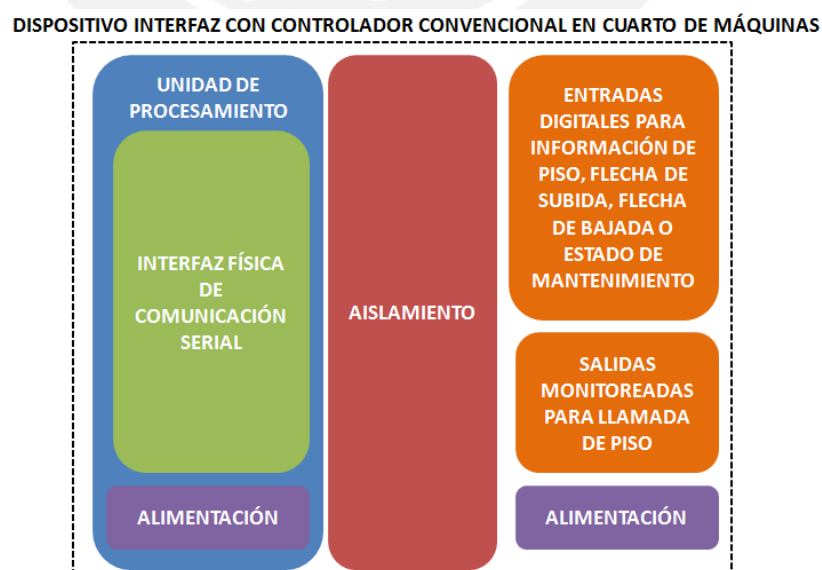


Figura 3.3.- Diagrama de bloques del dispositivo interfaz.
Fuente: Propia

3.3. Diseño de hardware y selección de componentes

3.3.1. Dispositivo en piso

A. Bloque de visualización

Los requerimientos de este bloque son los siguientes:

- Pantalla gráfica con capacidad de presentar imágenes a colores
- Tamaño mínimo de 2.2 "
- Calidad mínima QVGA
- Será una ventaja la disponibilidad en el mercado local

Fabricantes como Mitsubishi, Otis y Touch-to-Go ofrecen pantallas con las mejores prestaciones de calidad de imagen basados en tecnología LCD-TFT. La siguiente tabla mostrará las opciones consideradas para este bloque:

Tabla 3.1.- Opciones para el bloque de visualización.

N°	Nombre	Tipo de Compra	Tamaño	Resolución	Interfaz	Precio (USD)
1	LCD-TFT 3.2" - Creen (HVGA)	Nacional - Paruro	3.2"	480x920	Paralelo	18.51
2	Color 2.4" TFT LCD Módulo display con táctil	Importación - BuyDisplay	2.4"	240x320	SPI	6.99
3	LCD-TFT 2.4" - ili9341 (QVGA)	Nacional - Paruro	2.4"	240x320	SPI	10.80
4	NHD-2.4-240320CF-CSXN#-F	Importación - Mouser	2.4"	240x320	Paralelo	16.51

Fuente: Propia

Considerando los requerimientos de calidad gráfica, tamaño mínimo ofrecido por otras marcas de ascensores, precio, tipo de compra, documentación del controlador [79] y conocimiento técnico de programación del periférico se eligió la opción 3 debido a su disponibilidad en el mercado local y ejemplos de configuración ofrecidos por el fabricante.

Las características técnicas del módulo seleccionado son resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 3.2.- Características de la pantalla 2.4" - ili9341.

Característica	Valor
Tensión de alimentación	3.3VDC
Consumo	40mA (máx.)
Interfaz de configuración	SPI (4)+Líneas de control
Velocidad Máxima SPI	10MHz
Pines de Control	2 (RST, D/C)
Cantidad de píxeles	240x320

Fuente: Propia

El módulo seleccionado ofrece la capacidad de una conexión directa a pines de un microcontrolador de 3.3VDC tal como se muestra en la figura 3.4:

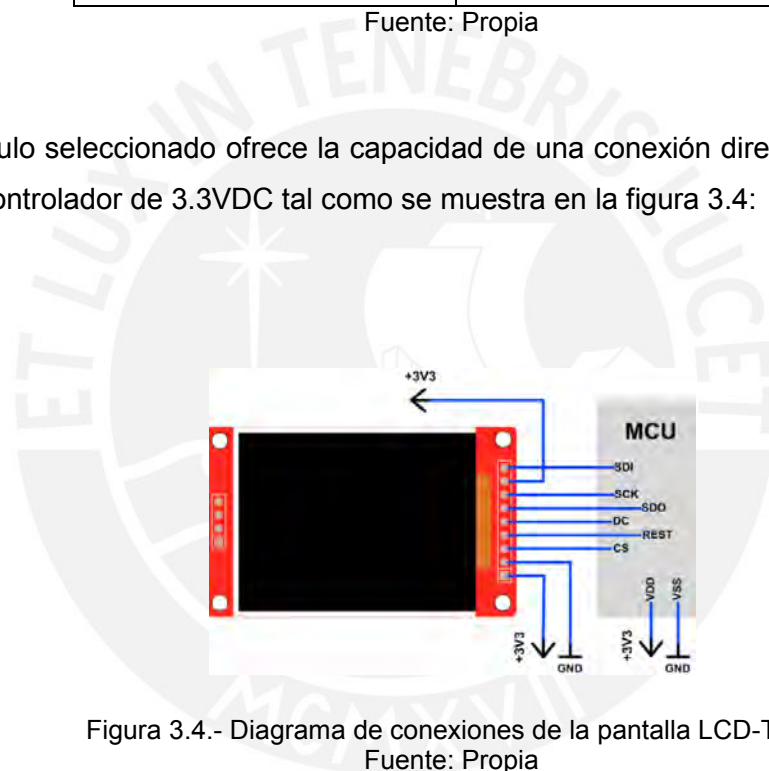


Figura 3.4.- Diagrama de conexiones de la pantalla LCD-TFT.
Fuente: Propia

B. Bloque de sensor de gestos

Los requerimientos de este bloque son los siguientes:

- Capacidad de reconocer gestos en un rango entre 2cm a 4cm
- Reconocer por lo menos 2 gestos: llamada arriba y llamada abajo
- Dimensiones no mayores al largo de una pantalla de 2.2"
- Disponibilidad en el mercado local será una ventaja

Los módulos encontrados en distribuidores de USA con documentación disponible son resumidos en la tabla 3.3 a continuación:

Tabla 3.3.- Opciones de compra para el bloque de sensor de gestos.

N°	Nombre	Tipo de Compra	Interfaz	Dimensiones (cm)	Precio (USD)
1	APDS 9960	Importación - Mouser	I2C	1.5 x 1.5	14.95
2	ZX Distance and Gesture Sensor	Importación - Digikey con disponibilidad local	UART - I2C	5.5 x 2.5	24.95
3	MGC3130 - MIKROE1723	Importación - Digikey	I2C	15.6 x 10.8	43.73
4	FDC1004 - FDC1004EVM	Importación - Digikey	USB	1.5 x 7.8	30.11
5	ADUX1020 - EVAL - SDP - ND	Importación - Digikey	USB	5.2 x 5.2	132.09

Fuente: Propia

Las opciones presentadas son tarjetas de evaluación de circuitos integrados con capacidad de reconocimiento de gestos. Estas tarjetas permiten probar la tecnología para un posterior desarrollo de productos.

Dado que este dispositivo será instalado en los alojamientos de los pórticos ya existentes, el espacio ocupado es una de las características a considerar. Las dimensiones máximas del bloque de sensor no deben superar los 5x10cm por lo que las opciones 3, 4 y 5 fueron descartadas al observar sus medidas.

El módulo seleccionado fue el número 2 pues cumple con las dimensiones de una botonera, posee documentación técnica libre, está disponible en el mercado local y ofrece una interfaz de comunicación muy usada como es la UART.

El módulo ofrece conexión directa a los pines de comunicación UART de un microcontrolador de 3.3VDC tal como muestra en la figura 3.5 a continuación:

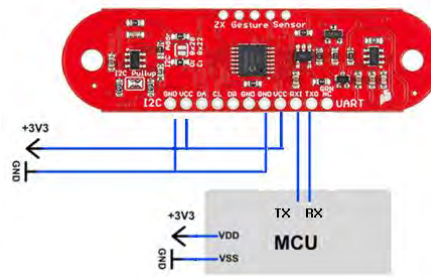


Figura 3.5.- Diagrama de conexiones del sensor de gestos.
Fuente: Propia

Este dispositivo posee dos emisores infra-rojos ubicados a los extremos y un sensor óptico infra-rojo en su parte central. El microcontrolador de este módulo activa un emisor a la vez y arroja un valor entre 0 a 240 respecto a la posición del objeto al emisor activo. Por ejemplo, si un objeto se encuentra dentro del rango de detección del emisor '1' pero fuera del rango del emisor '2', los valores obtenidos podrán ser de 50 para el emisor '1' y 0 para el emisor '2'. Si el objeto se acerca al emisor '1', los nuevos valores serán 100 para el emisor '1' y permanecerá en 0 para el emisor '2'. El formato de la trama antes descrita se muestra en la figura 3.6:

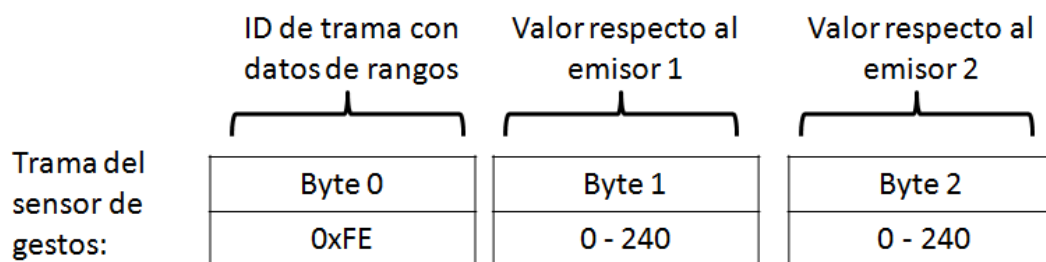


Figura 3.6.- Formato de la trama con datos de rangos.
Fuente: Propia

C. Bloque de comunicación serial

Los requerimientos de este bloque son los siguientes:

- Permita la conexión de múltiples dispositivos en el mismo bus.
- Permita recorridos de cable de hasta 300 metros
- Cableado económico

De las características observadas en la sección 2.2.4, la interfaz CAN fue usada desde su nacimiento en sistemas de control de ascensores [80] por Kone, identificada como estándar de comunicación en ascensores inteligentes [81] y

usada por fabricantes internacionales como Thyssenkrup [53] y MP. Estos hechos fueron tomados en cuenta en la selección de este estándar de comunicación para este bloque.

Las opciones de compra evaluadas se presentan en la tabla 3.4:

Tabla 3.4.- Opciones para el bloque de comunicación serial CAN.

N°	Nombre	Tipo de Compra	Descripción	Alimentación	Precio (USD)
1	CAN Bus Shield	Importación	Módulo MCP2551 + MCP2515 de interfaz SPI	5 VDC	24.95
2	CAN Bus Shield para Arduino	Nacional	Módulo MCP2515 + MCP 2551 de interfaz SPI	5 VDC	25.00
3	MCP 2551	Nacional	Interfaz física hacia controlador CAN	5VDC	3.00
4	MCP 2562	Importación	Interfaz física hacia controlador CAN	3.3~5VDC	1.07
5	TLE6250	Importación	Interfaz física hacia controlador CAN	3.3~5VDC	1.39

Fuente: Propia

La operación del bloque de comunicación serial consta de una interfaz física y de un controlador de capa 2. Esta capa de enlace será brindada por un microcontrolador que posea este periférico. El integrado seleccionado para brindar la interfaz física es el MCP2551. Este fue elegido por la documentación disponible, tarjetas de evaluación que usaron este chip, costo así como por su disponibilidad en el mercado nacional.

La conexión con un microcontrolador se muestra en la figura 3.7:

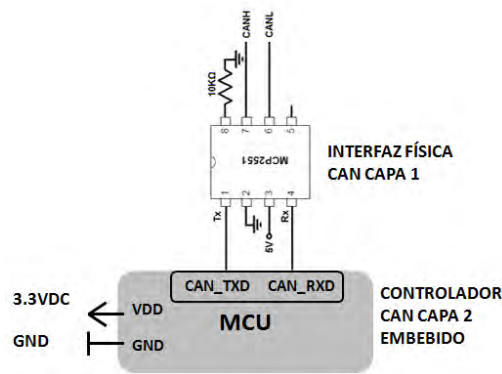


Figura 3.7.- Diagrama de conexiones del integrado de comunicación CAN.

Fuente: Propia

D. Bloque de unidad de control

Para la selección de este módulo se debe recopilar las interfaces de los módulos previamente seleccionados. En la tabla 3.5 presentamos los requerimientos por cada bloque:

Tabla 3.5.- Requerimientos de interfaces.

Bloque	Interfaz y GPIOs	Observación
Visualización	SPI (SCLK-CS-MISO-MOSI)+RESET+C/D	Periodo mínimo de escritura SPI = 100ns
Sensor de Gestos	UART (TX+RX)	Velocidad = 115200bps
Comunicación Serial	CAN (TXD+RXD)	Velocidad = 120000bps

Fuente: Propia

Se observa que la frecuencia máxima de transferencia es 10MHz. Esta velocidad es requerida por el SPI de la pantalla. Esto implica una frecuencia mínima de CPU de por lo menos el doble [82], 20MHz.

Las opciones de componentes para esta unidad son los microcontroladores, microprocesadores y FPGAs. Los posibles módulos y circuitos integrados se resumen en la tabla 3.6:

Tabla 3.6.- Opciones para el bloque unidad de control.

N°	Nombre	Tiempo Real	Experiencia requerida	Documentación disponible	Tiempo de Desarrollo	Costo (USD)
1	Spartan6 XC6SLX9- 3TQG144C	Sí	Alta	Alta	Alto	18.13
2	Raspberry- Pi3	No	Media	Baja	Medio	40.00
3	BeagleBone Black	Sí (PRU)	Media	Baja	Medio / Alto	56.25
4	Tiva TM4C123G	Sí	Baja	Alta	Medio	13.49
5	STM32F429 - Discovery	Sí	Baja	Baja	Alto	29.90
6	STM32F746 - Discovery	Sí	Baja	Baja	Alto	56.25

Fuente: Propia

Todos los componentes de la tabla poseen los requerimientos de número de GPIOs, velocidad de CPU y periféricos. La Spartan6 requiere la descripción en HDL o una IP de este controlador CAN. Los FPGAs poseen mejores prestaciones de procesamiento en paralelo pero el tiempo de desarrollo es alto a comparación del uso de periféricos integrados en un microcontrolador o microprocesador. Los microprocesadores ARM de una RaspberryPi3 o Beaglebone Black no poseen documentación o ejemplos disponibles de del controlador CAN embebido por lo que el tiempo de desarrollo se califica como medio a alto. Los microcontroladores de arquitectura ARM Cortex 4 o superior poseen los periféricos y velocidad requerida para manejo de pantallas LCD-TFT a un menor precio, una mayor documentación y disponibilidad en el mercado nacional. Debido a la experiencia de desarrollo en la placa de evaluación TM4C123 este fue el módulo seleccionado.

La tarjeta TM4C123 de evaluación posee las características requeridas de memoria (256KB-FLASH, 32KB-SRAM y 2KB-EEPROM); velocidad de reloj de CPU (80MHz); herramientas libre de programación (Code Composer IDE); librerías y proyectos de código abierto (Tivaware); documentación; precio; y disponibilidad en el mercado local.

E. Bloque de alimentación

Este bloque se seleccionó en base a los consumos de los bloques anteriores. En las figuras 3.8 a 3.11 se muestran las pruebas realizadas. La tabla 3.7 presenta los consumos considerados:

Tabla 3.7.- Consumo de bloques en dispositivo de piso.

Bloque	Consumo (mA)	Observación
Procesamiento - TM4C123GXL	73.50	Medición realizada en pruebas con firmware operando. Vin esperado de este bloque 5VDC.
Sensor de Gestos - ZX Gesture Sensor	27.77	Consumo medido con alimentación de 3.3VDC. Regulador lineal del TM4C123GXL.
Visualización - TFT LCD ILI9341	37.78	Consumo medido con alimentación de 5VDC
Comunicación - MCP2551 - I/P	75.00	Consumo en el peor de los casos según hoja técnica con una tensión de entrada de 5VDC
Total	208.05	
Factor de Seguridad + 0.5	312.08	Factor de seguridad usual junto a los +0.25 y +1. En el caso de considerar el +1 resultaría en 416mA
Selección	350 - 500	Búsqueda de componentes en este rango de capacidad de corriente

Fuente: Propia



Figura 3.8.- Consumo del bloque de sensado.
Fuente: Propia



Figura 3.9.- Consumo del bloque de visualización.
Fuente: Propia



Figura 3.10.- Consumo del bloque de procesamiento.
Fuente: Propia

2.2 DC Characteristics

DC Specifications			Electrical Characteristics:			
			Industrial (I): T _{AMB} = -40°C to +85°C V _{DD} = 4.5V to 5.5V			
			Extended (E): T _{AMB} = -40°C to +125°C V _{DD} = 4.5V to 5.5V			
Param No.	Sym	Characteristic	Min	Max	Units	Conditions
Supply						
D1			—	75	mA	Dominant: V _{IxD} = 0.8V; V _{DD}
D2			—	10	mA	Recessive: V _{IxD} = +2V; R _S = 47 kW
D3	I _{DD}	Supply Current	—	365	μA	-40°C ≤ T _{AMB} ≤ +85°C, Standby; (Note 2)
			—	465	μA	-40°C ≤ T _{AMB} ≤ +125°C, Standby; (Note 2)

Figura 3.11.- Consumo del bloque de comunicación.
Fuente: [61]

La tabla anterior resume la corriente esperada para el consumo total y la tensión de salida requerida por los módulos. Otro factor a considerar es la tensión disponible en un sistema de elevación. La alimentación disponible en un tablero de control puede ser de 110VAC, 220AVC, 12VDC y 24VDC [83][84][85]. Estos valores de tensión de entrada determinan el parámetro de V_{in} del componente a seleccionar. Para nuestro escenario de pruebas seleccionaremos el caso de 24VDC pues es lo más usual en los tableros observados en campo. Esta selección de tensión de entrada y conociendo que la tensión de salida es de 5VDC nos presenta una caída de tensión de 19VDC.

En el mercado se pueden obtener dos tipos de componentes electrónicos para regulación de voltaje: reguladores lineales y reguladores conmutados.

Los reguladores lineales se basan en un sistema de control realimentado en el que se va controlando el paso de corriente en un elemento activo [86]. La potencia disipada en este tipo de regulador es calculada por la caída de tensión multiplicada por la corriente consumida. Esta potencia disipada no debe sobrepasar la soportada por su empaque. Para esto se considera la temperatura máxima de operación, temperatura del ambiente y la resistencia térmica del componente.

Los reguladores conmutados basan su funcionamiento en la apertura y cierre de un transistor de paso el cual carga un condensador que trabaja junto a un inductor para mantener su tensión de salida. En este tipo de reguladores la potencia disipada es mínima pues en la fase de cierre del transistor la diferencia de tensión es mínima y en el estado de corte del transistor la corriente es mínima [87].

La característica de disipación o eficiencia es la que determinó en nuestro caso la selección del tipo de regulador conmutado.

Algunas opciones de fuentes conmutadas encontradas en distribuidores extranjeros se presentan en la tabla 3.8:

Tabla 3.8.- Opciones para el bloque de alimentación.

N°	Nombre	Rango de tensión de entrada (V)	Tensión de salida (V)	Corriente máxima de salida (A)	Eficiencia (%)	Costo (USD)
1	R-78E5.0-0.5	7 - 28	5	0.5	82 - 92	2.70
2	R-785.0-0.5	6.5 - 32	5	0.5	86 - 94	6.81
3	P7805-Q24-S5-S	6.5 - 32	5	0.5	94	4.94
4	LM2596	4.7 - 37	Ajustable	3	73	2.00

Fuente: Propia

Para la búsqueda de estas opciones se consideraron los requerimientos de tensión de entrada, tensión de salida, eficiencia y corriente de carga. Otros factores fueron el empaque, experiencia previa y disponibilidad en el mercado nacional. Las tres primeras opciones fueron encontradas en un distribuidor local y la cuarta es un módulo muy común en el mercado local. La última opción si bien es la más popular

en el mercado local, el espacio ocupado es de aproximadamente 2 x 4 cm por lo que fue descartado. Los 3 primeros poseen un empaque SIP de sólo 1 x 0.7 cm por lo que ocuparían un menor espacio en el circuito impreso. El R-78E5.0-0.5 fue seleccionado dada la referencia de uso en otros proyectos y su menor costo.

F. Integración de bloques y diseño de circuito impreso

Dado que todos los circuitos integrados y módulos fueron seleccionados se procedió al estudio de componentes de desacoplo y protección ante cortos, sobre voltajes, ruido y señales de comunicación usadas. La arquitectura y componentes usados para estos circuitos se encuentran en las mismas hojas técnicas, notas de aplicaciones, tutoriales así como en los esquemáticos de las tarjetas de evaluación de los integrados seleccionados. Los criterios usados se resumen en la tabla 3.9:

Tabla 3.9.- Componentes y/o circuitos complementarios.

Bloque	Circuito o Componente	Criterio de selección
Alimentación	Fusible o PTC	Corriente de trabajo y voltaje en corto
Alimentación	Varistor	Voltaje de trabajo y voltaje de enclavamiento
Alimentación	Filtro Pi	Circuito y componentes de la hoja técnica
Comunicación	Condensador en línea de recepción	Condensador y valor recomendado por el fabricante
Comunicación	Varistores en líneas CAN	Elementos de protección contra sobre voltajes por descarga eléctrica (ESD)
Comunicación	Resistencia de terminación	Resistencia recomendada por el estándar de impedancia de líneas CAN
Todos	Condensadores de desacoplo	Valores típicos usados de 100nF y 10uF para circuitos integrados y 100uF a la salida y entrada del regulador principal

Fuente: Propia

En la figura 3.12 se muestra el diagrama esquemático final:

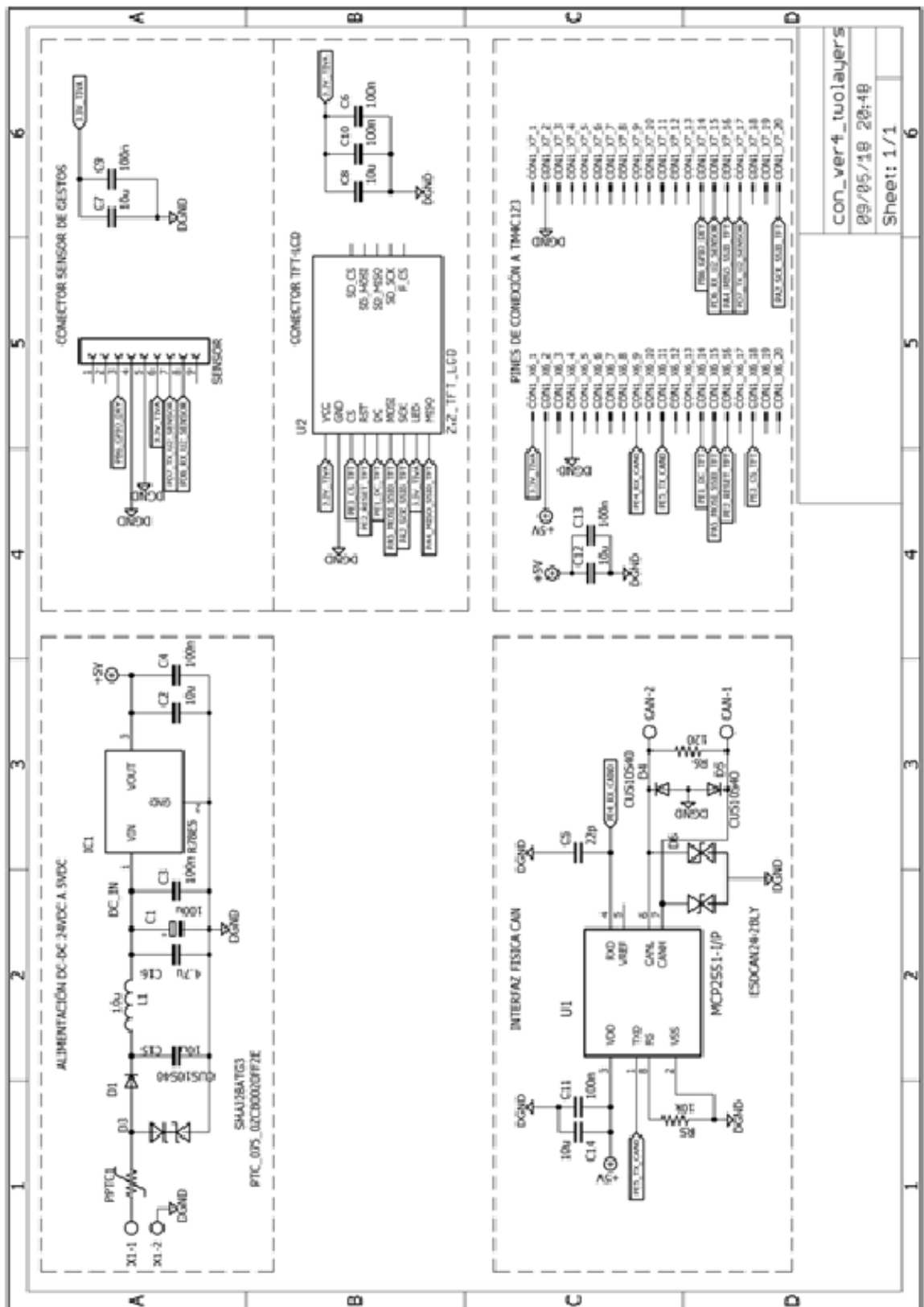


Figura 3.12.- Circuito esquemático del dispositivo de piso.
Fuente: Propia

Para el circuito impreso se siguieron las recomendaciones de ubicación de componentes, longitud y ángulo de líneas de conexión, ancho de pistas y facilidad en el ensamblaje. El resultado se presenta en las figuras 3.13, 3.14 y el circuito impreso ensamblado en la figura 3.15:

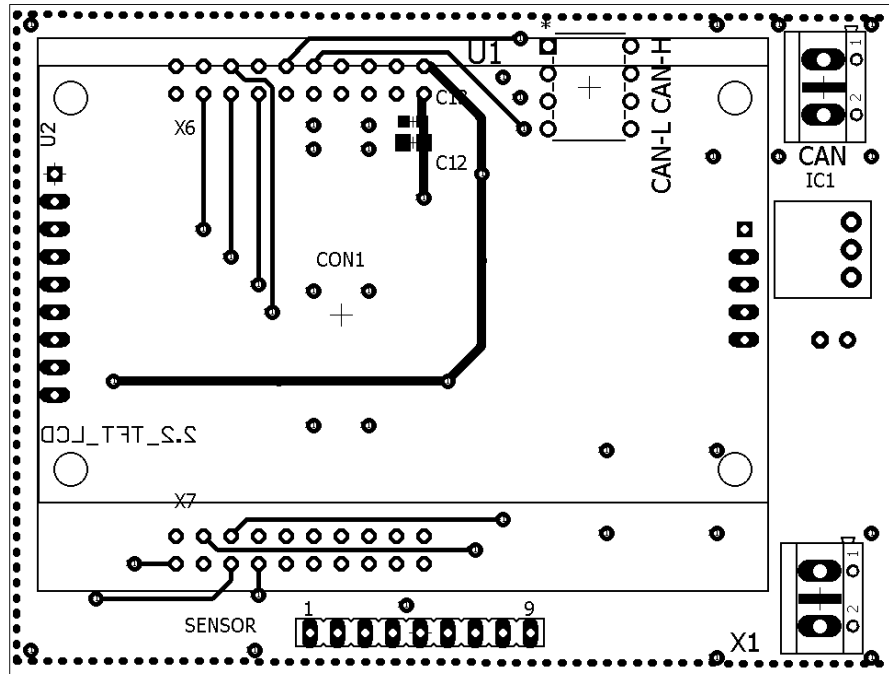


Figura 3.13.- Capa superior del circuito impreso - dispositivo de piso.
Fuente: Propia

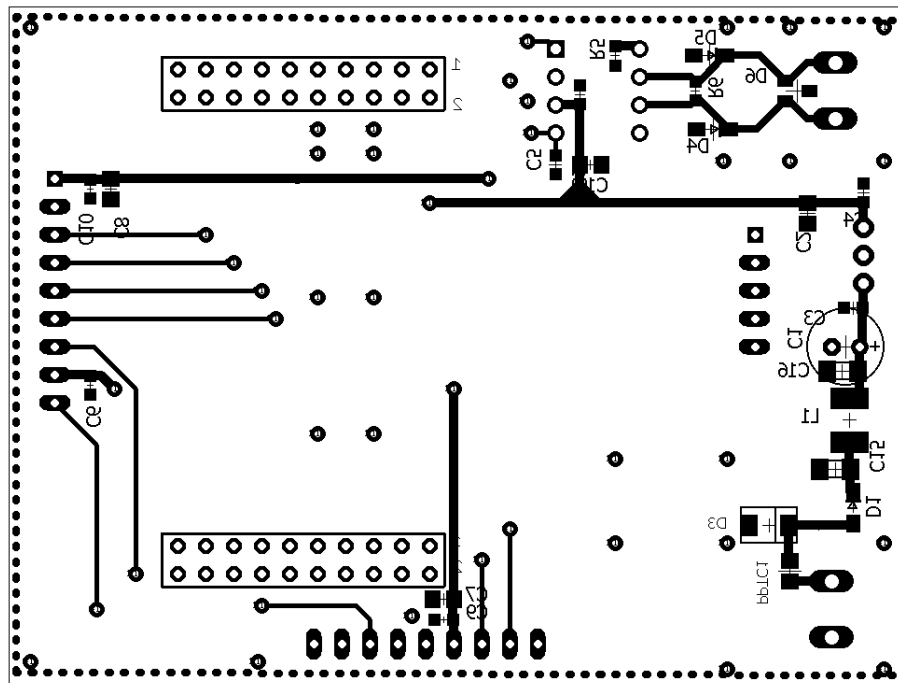


Figura 3.14.- Capa inferior del circuito impreso - dispositivo de piso.
Fuente: Propia

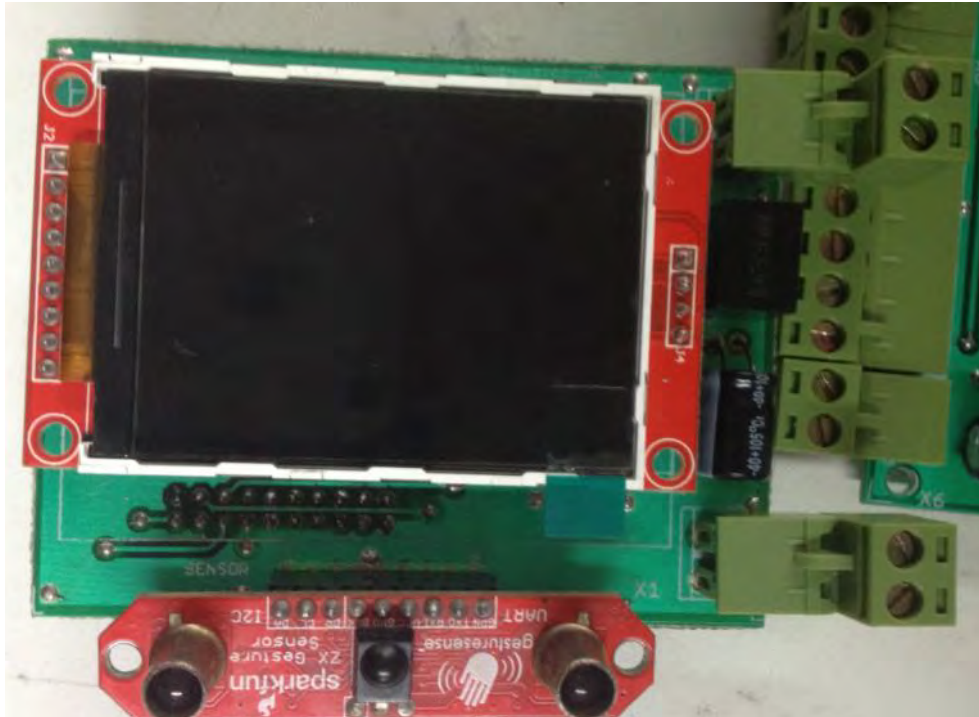


Figura 3.15.- Circuito impreso ensamblado.
Fuente: Propia

3.3.2. Dispositivo interfaz con sistema convencional

A. Bloque de entradas digitales con información de piso, flecha subida, flecha bajada y estado de mantenimiento

Dado que el sistema convencional envía la información a los dispositivos de piso mediante niveles de tensión de 24VDC o 0VDC, el dispositivo interfaz debe recibir esta data en entradas discretas. Si bien los valores nominales son solo 24VDC o 0VDC, en la práctica se puede observar hasta un offset de 5VDC por lo que se tendrá en cuenta este caso en el diseño y selección del circuito de interfaz.

Con el fin de evitar posibles efectos de ruido por conmutación de relés electromecánicos o lazos de tierra se aislará la parte de control. Los componentes usados para este fin son los opto-acopladores o los aisladores digitales. La tabla 3.10 presenta los posibles circuitos integrados a seleccionar para este bloque:

Tabla 3.10.- Opciones para bloque de entrada aisladas.

N°	Nombre	Dimensiones	Observaciones	Experiencia con componente	Precio (USD)
1	TLP293-4(MBGBTPE	4.55mm x 10.33mm	Empaque con 4 opto acopladores.	Uso previo	1.51
2	Si8380P-IU	6mm x 8.66mm	Aislador digital de 8 entradas.	Ninguna.	2.75
3	Si8710AC-B-IS	6.1mm x 9.40mm	Aislador digital de 1 entrada	Uso previo	0.92
4	TPC817S1D RAG	4.5mm x 6.40mm	Empaque con 1 sólo optoacoplador	Uso previo	0.43
5	SN65HVS880PWP	4.5mm x 9.80mm	8 entradas digitales con salida SPI. Requiere de aislador digital como ISO7141CCDBQR	Ninguna	5.32 + 4.56

Fuente: Propia

El componente SN65HVS880 ofrece ventajas de protección a las entradas, capacidad de alimentación con 24VDC, baja cantidad de pines para su interfaz pero presenta otros puntos en contra: requiere de otro elemento para su aislamiento y requiere de importación por lo cual se descarta en esta aplicación. Los elementos TPC817 así como Si871 son buenas opciones pero el espacio ocupado se multiplica por cada entrada debido a lo cual fueron descartados. El que se ajusta a un criterio de menores dimensiones es el Si8380 pues ofrece 8 entradas con el aislamiento requerido así como baja cantidad de componentes externos pero requiere importación. El que mejor se ajusta a la disponibilidad, experiencia previa y dimensiones es el TLP293-4 al agrupar 4 optoacopladores en un sólo empaque.

Para solucionar los problemas de desviación de tensión ("offset") y tensión externa se usará la siguiente arquitectura:

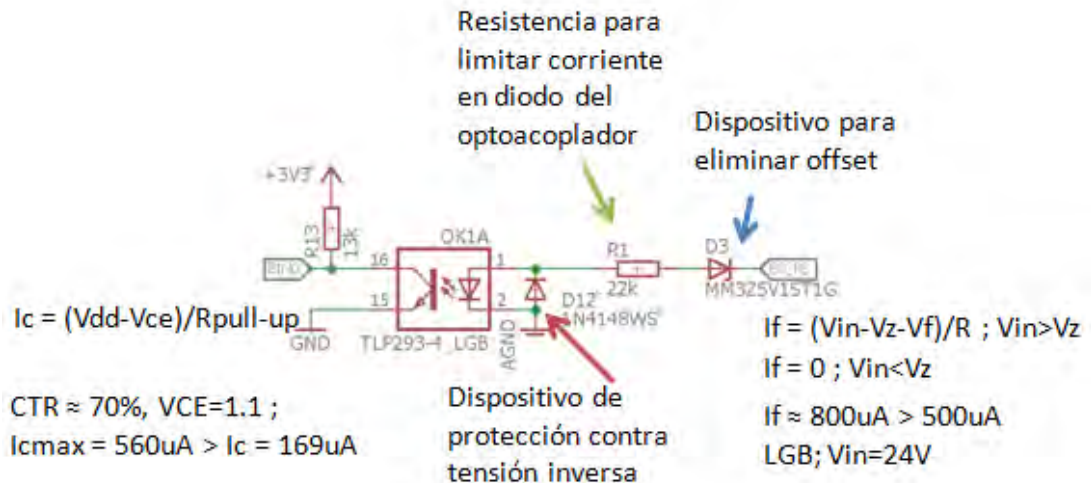


Figura 3.16.- Circuito empleado con referencias y resumen de cálculos.
 Fuente: Propia

El primer dispositivo de entrada será un Zener. Este cumple la función de despreciar posibles desplazamientos de tensión cuando debiera ser un cero lógico. Debido a pruebas en campo se verificó que este desplazamiento puede ser de hasta 5VDC, se seleccionará un diodo Zener de 5.1VDC. El siguiente elemento es la resistencia para limitar la corriente del diodo emisor en el optoacoplador. Para la selección de esta resistencia se requiere superar la corriente de "If" típica para el TLP293-4LGB de 500uA. Para esto se resuelve la ecuación II de la figura 3.16. Esta corriente "If" debe superar la corriente "Ic" de la ecuación I para asegurar la saturación del foto transistor del optoacoplador. Teniendo en cuenta la relación de transferencia CTR del TLP y la resistencia de "pull-up" del microcontrolador TM4C123 se observa que el "Ic_máximo" ofrecido por el optoacoplador es mayor al "Ic" requerido del lado del microcontrolador.

B. Bloque de salidas monitoreadas para llamadas de piso

El esquema de conexión de las botoneras mecánicas lo podemos observar en la figura 3.17 a continuación:

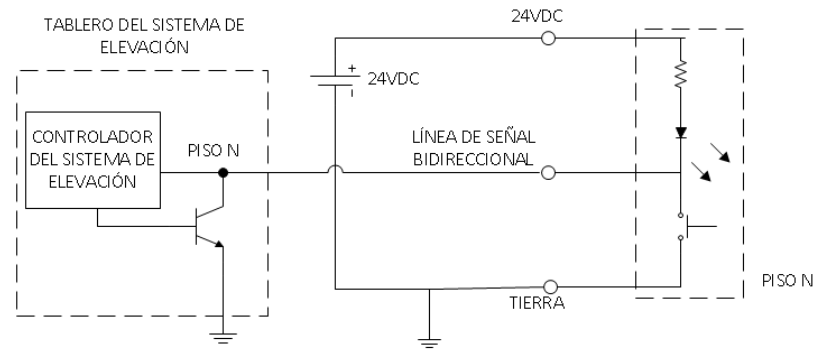


Figura 3.17.- Esquema de conexión de las botoneras mecánicas.
Fuente: Propia

El estado inicial es con el botón sin presionar y la lámpara apagada. Al presionar el botón mecánico se cierra el circuito de la lámpara y se envía a tierra la línea de señal bidireccional conectada al controlador del sistema de elevación. Los efectos son el encendido de la lámpara como indicador de llamada de cabina y el reconocimiento de llamada de cabina por parte del controlador de elevación. La lámpara permanece encendida incluso después de haber soltado el botón hasta que la cabina llegue al piso que lo llamó.

Esto se debe a que el controlador del sistema de elevación una vez que ha reconocido el cierre de circuito, envía una señal de saturación al transistor o cierre de relé para mantener esta línea bidireccional a tierra. Sólo después que el controlador del sistema de elevación reconoce que la cabina llegó al piso que lo llamó, regresa a estado de corte al transistor o a estado abierto del relé. Una vez abierto el circuito de la lámpara esta se apaga y regresa al estado inicial.

Dado que nuestro propósito es reemplazar tanto el botón mecánico como lámpara indicadora, se requiere tener el mismo efecto de conexión a tierra y a la vez conocer cuándo el controlador del sistema de elevación liberó dicha línea bidireccional. Emular la conexión a tierra es posible mediante el uso de conexión al colector o drenador de un transistor u optoacoplador y el control de estado conectado a un pin de salida del microcontrolador. Por otro lado, para conocer el estado de dicha línea se puede conectar esta a un segundo transistor u optoacoplador cuya contraparte se conecte a un pin de entrada del microcontrolador. Esta opción es representada en la figura 3.18:

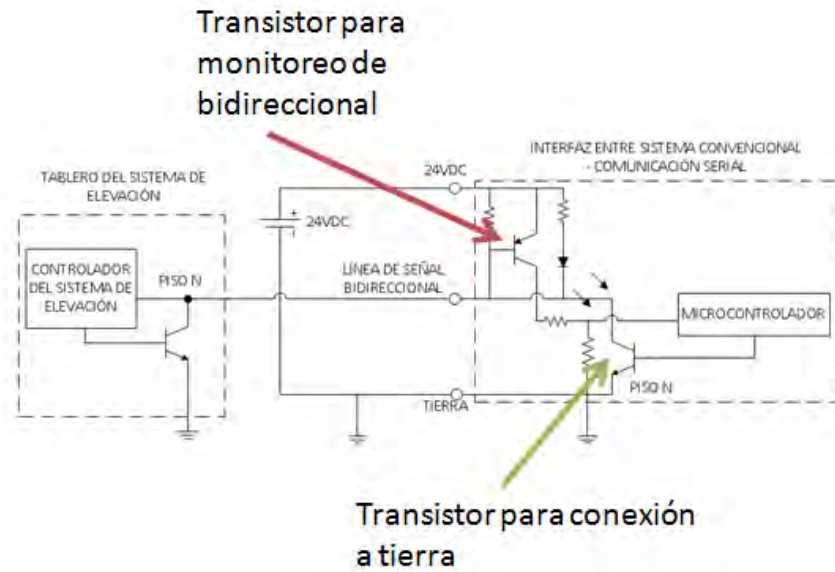


Figura 3.18.- Esquema de conexión con adaptación por transistores.
Fuente: Propia

Otra forma de emular el efecto de conexión a tierra de una línea y monitorear el estado de esta línea se puede conseguir mediante dispositivos conocidos como controladores de lado bajo. Existen circuitos integrados que agrupan transistores de lado bajo que poseen la funcionalidad de monitoreo de estado de sus salidas. Otra ventaja de estos chips es que permite el control y lectura de dichos estados mediante una interfaz serial como SPI lo cual reduce el número de pines necesarios en el microcontrolador. El diagrama de bloques de estos controladores de lado bajo se representan en la figura 3.19:

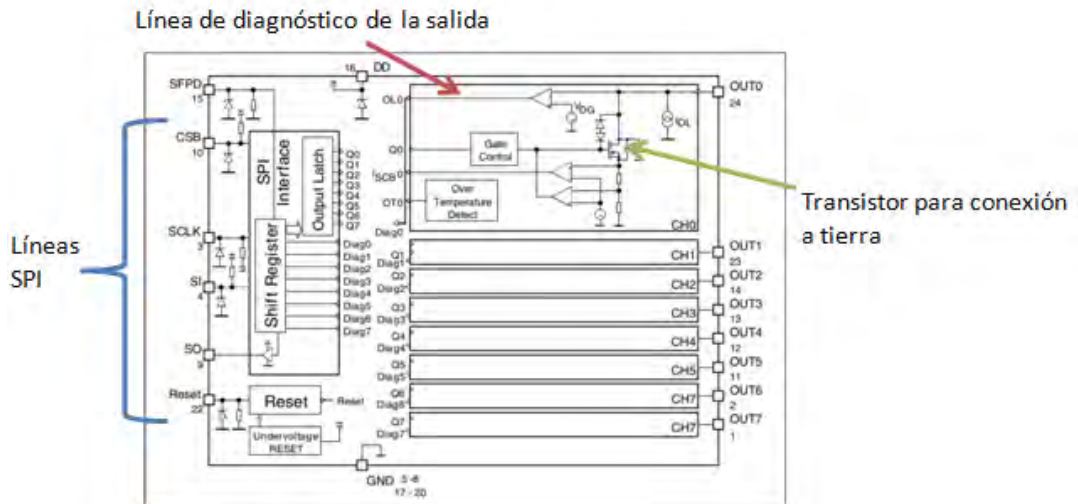


Figura 3.19.- Diagrama de bloques del controlador de lado bajo L9823.
Fuente: ST Microelectronics

Los controladores de lado bajo y alto ocupan un espacio reducido al agrupar varias salidas en un sólo empaque, ofrece la capacidad de monitoreo y posee una interfaz serial SPI de comunicación con el microcontrolador. Para nuestra aplicación se requirió de 24 salidas por lo que se seleccionó este tipo de integrados. Dado que la botonera conecta hacia tierra la línea en estado cerrado, el controlador a seleccionar debe ser uno de lado bajo. Otro requerimiento es que sus salidas en estado abierto puedan soportar 24VDC. La tabla 3.11 presenta algunos de los posibles circuitos integrados a seleccionar:

Tabla 3.11.- Opciones de controladores de lado bajo.

N°	Nombre	Corriente máxima en sus salidas	Observaciones	Experiencia con el componente	Precio (USD)
1	TLE7240SLXUMA1	210mA	Soporta hasta 41VDC en los MOSFET de salida. SPI con palabras de 16 bits.	Ninguna	3.45
2	TLE8108EMXUMA1	400mA	Soporta hasta 41VDC en los MOSFET de salida. SPI con palabras de 16 bits.	Ninguna	3.52
3	E-L9823013TR	125mA / Protección Programable	Soporta hasta 45VDC en los MOSFET de salida. SPI con palabras de 8 bits.	Uso previo	3.55
4	DRV8860APWR	200mA	Soporta hasta 40VDC en los MOSFET de salida. SPI con palabras de 8 bits.	Ninguna	3.60

Fuente: Propia

Todos estos componentes cumplen los requerimientos. El integrado E-LP9823 fue seleccionado debido a la experiencia y disponibilidad en un distribuidor local.

Para obtener el aislamiento y evitar problemas de ruido en el lado del microcontrolador se decidió buscar aisladores digitales especiales para SPI como sugieren las notas de aplicaciones[88][89]. La tabla 3.12 presenta algunos de los posibles componentes a seleccionar:

Tabla 3.12.- Opciones de aisladores digitales.

N°	Nombre	Entradas lado 1 / Entradas lado 2	Empaque	Experiencia con componente	Precio (USD)
1	SI8661BC-B-IS1	5/1	16-SOIC	Uso previo	4.06
2	ISO7141CCDBQ	3/1	16-SSOP	Ninguna	5.32
3	ISO7142CCDBQR	2/2	16-SSOP	Ninguna	4.56
4	MAX14850AEE+	4/4	16-SSOP	Ninguna	3.24
5	SI8641BB-B.IS1	3/1	16-SOIC	Uso previo	2.51
6	SI8640BB-B-IS1	4/0	16-SOIC	Uso previo	2.51

Fuente: Propia

Debido a que se usarán 3 controladores de lado bajo, se requerirá 1 línea de entrada del lado de campo (MISO) y 6 líneas de entrada del lado del control (SCK, MOSI, CS1, CS2, CS3, RESET). Dado que el componente más cercano a satisfacer en un sólo empaque estos requerimientos es el SI8661, se seleccionó este y se usará un optoacoplador del mercado local para la línea restante.

C. Bloque de comunicación serial, control y alimentación

Los requerimientos de comunicación serial, control y alimentación son similares a los del dispositivo en pórtico por lo que se seleccionarán los mismos componentes para esta interfaz.

Debido a que se diseñará la tarjeta con lados de control y campo aislados, se requerirán alimentaciones independientes para cada lado. El resumen de consumo de corriente de cada lado se presenta en las tablas 3.13 y 3.14:

Tabla 3.13.- Consumo de elementos considerados en el lado de control.

Bloque	Consumo (mA)	Observación
Procesamiento - TM4C123GXL	115.00	Consumo considerando el firmware programado.
Consumo del lado de microcontrolador - SI8661	11.10	Consumo medido con alimentación de 3.3VDC. Estos 3.3VDC se obtendrán del regulador lineal del TM4C123GXL.
Comunicación - MCP2551 - I/P	75.00	Consumo en el peor de los casos según hoja técnica con una tensión de entrada de 5VDC
Total	201.10	
Factor de Seguridad + 0.25	251.375	Por debajo de los 500mA máximos que el regulador R78E5-0.5

Fuente: Propia

Tabla 3.14.- Consumo de elementos considerados en el lado de campo.

Bloque	Consumo (mA)	Observación
L9823L	18.00	
Consumo del lado de campo - SI8661	8.5	
Total	26.50	
Factor de Seguridad + 0.5	33.125	Por debajo de los 500mA máximos que el regulador R78E5-0.5

Fuente: Propia

Para el lado de campo se analizaron opciones como fuentes conmutadas o reguladores lineales pero requieren mayor cantidad de componentes adicionales, mayor espacio en PCB y mayor trabajo de ensamblaje por lo que se seleccionó el mismo regulador de tipo conmutado usado para el dispositivo de pórtico lo cual trae ventajas al momento de importar en cantidades mayores a 10 y posibilidad de reemplazo en caso de fallo.

G. Integración de bloques y diseño de circuito impreso

Los criterios usados para el diseño de circuito impreso son los mismos que el dispositivo de pórtico. Para esta tarjeta se procurará mantener la distancia máxima entre las tierras del lado del microcontrolador y del lado de campo. Esto se determina por la separación de pines de los dispositivos de aislamiento en cada uno de sus lados. El circuito esquemático y circuito impreso son presentados en las

figuras 3.20, 3.21 y 3.22 mientras que en la figura 3.23 se presentan las tarjetas fabricadas:

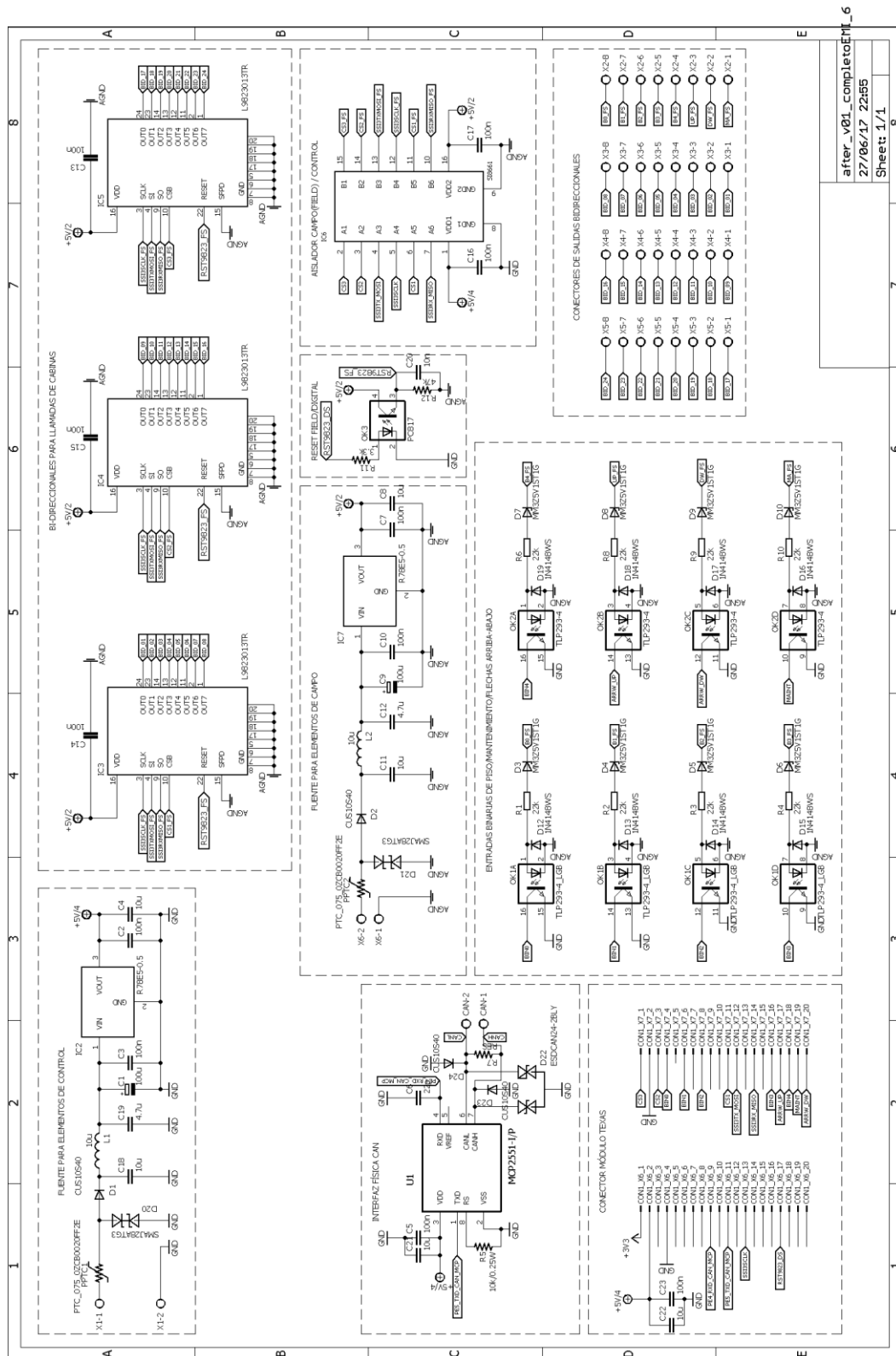


Figura 3.20.- Circuito esquemático del dispositivo de interfaz.
Fuente: Propia

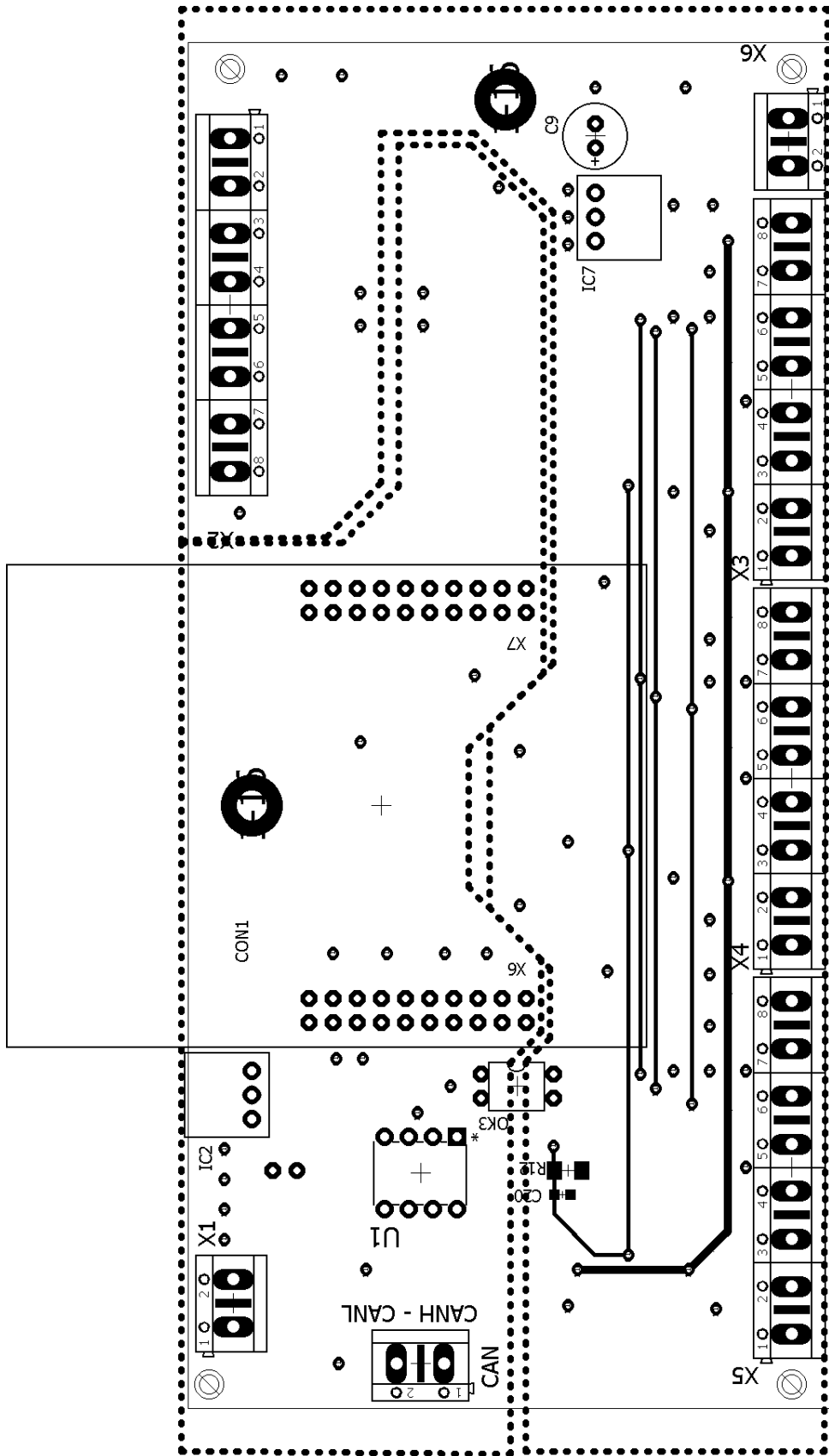


Figura 3.21.- Capa superior del circuito impreso - dispositivo de interfaz.
Fuente: Propia

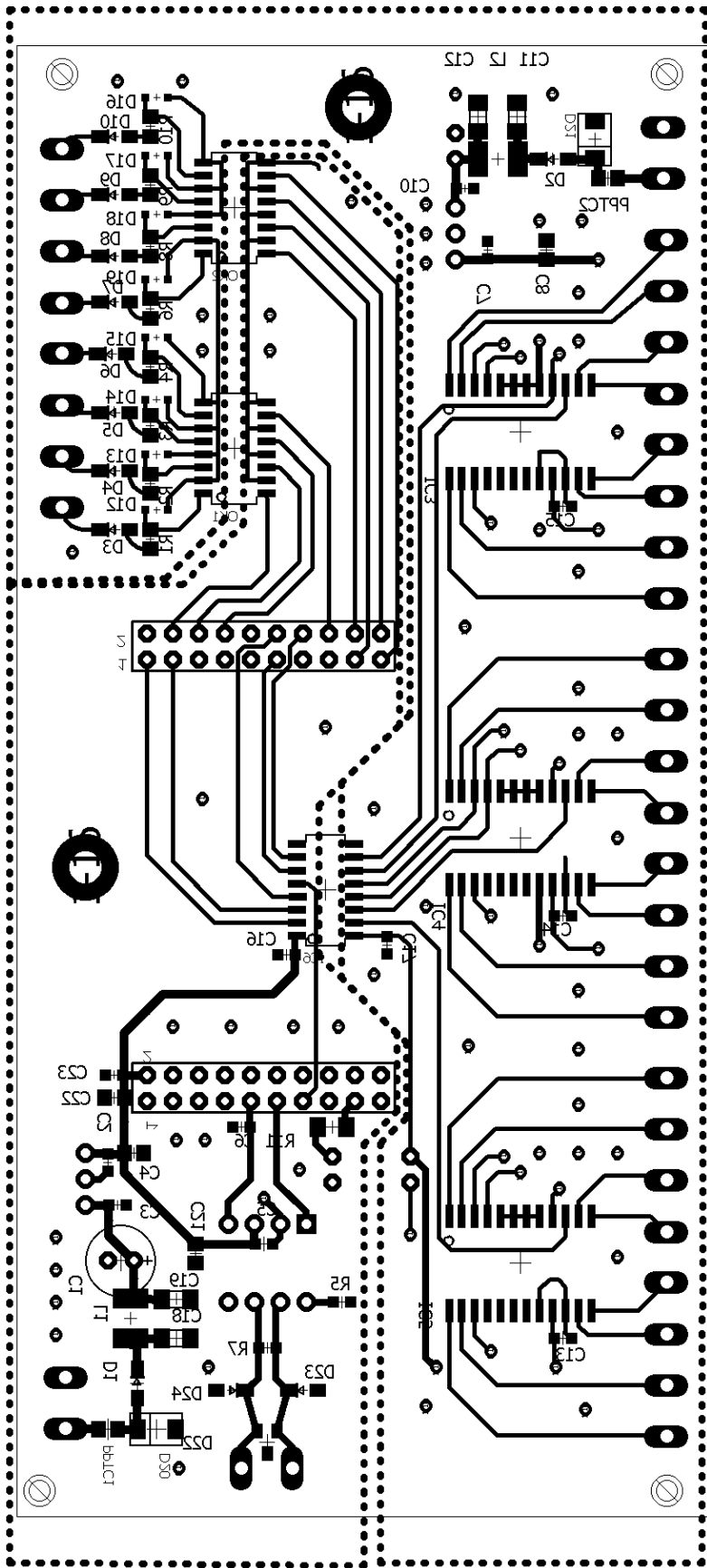


Figura 3.22.- Capa inferior del circuito impreso - dispositivo de interfaz.
Fuente: Propia

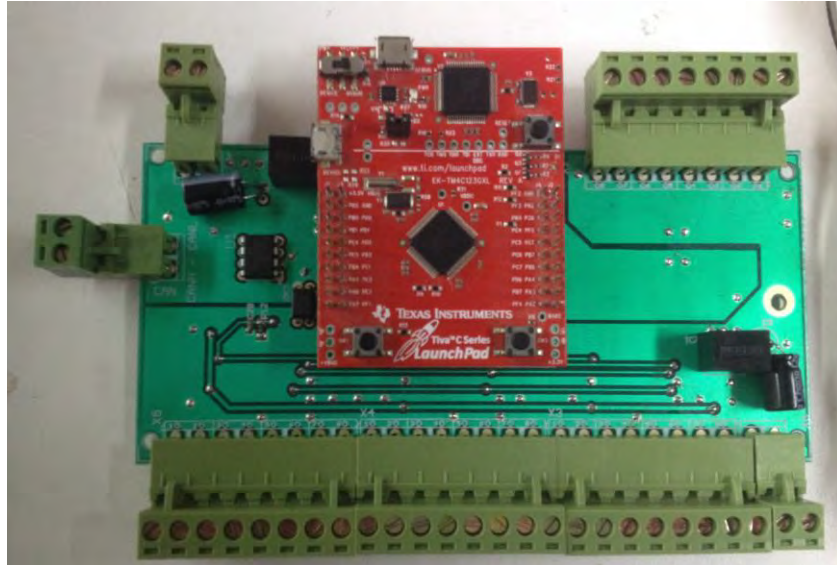


Figura 3.23.- Circuito impreso ensamblado - dispositivo de interfaz.
Fuente: Propia

3.4. Diseño de firmware

3.4.1. Dispositivo en piso

Este dispositivo tiene la función de presentar la información visual al usuario del ascensor, recibir las llamadas de subida o bajada y comunicar los datos hacia y desde la interfaz con el sistema convencional. Las funciones específicas a desarrollar en el firmware son las siguientes:

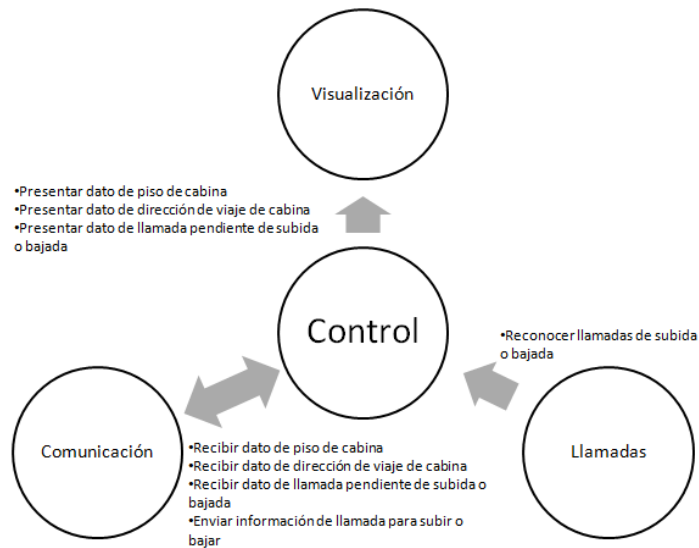


Figura 3.24.- Funciones de cada bloque y dirección de datos.
Fuente: Propia

Como se observa en la figura 3.24, el microcontrolador se encargará de manejar los flujos de datos de cada bloque. El firmware será desarrollado bajo el diagrama de flujo de la figura 3.25. La primera división del programa es una secuencia de tareas en el lazo principal y dos segmentos independientes: interrupciones. Estos sirven para atender eventos asíncronos del sensor de gestos y recepción de mensajes en el bus CAN.

La interrupción asociada al sensor de gestos es lanzada en cada recepción de bytes en el UART2. Con el fin de evitar posibles retrasos perceptibles por el usuario, el único fin de estas líneas de código será la de almacenar los bytes recibidos en un buffer circular el cual será posteriormente procesado en el lazo principal.

La interrupción asociada a la comunicación en el bus CAN es lanzada al detectarse un cambio en alguno de los registros del periférico CAN. El fin de esta interrupción es capturar el mensaje recibido para su posterior procesamiento en el lazo principal. Debido a que la causa puede ser diversa, el primer paso es discriminar la causa por recepción y si es así almacenar en un buffer esta trama.

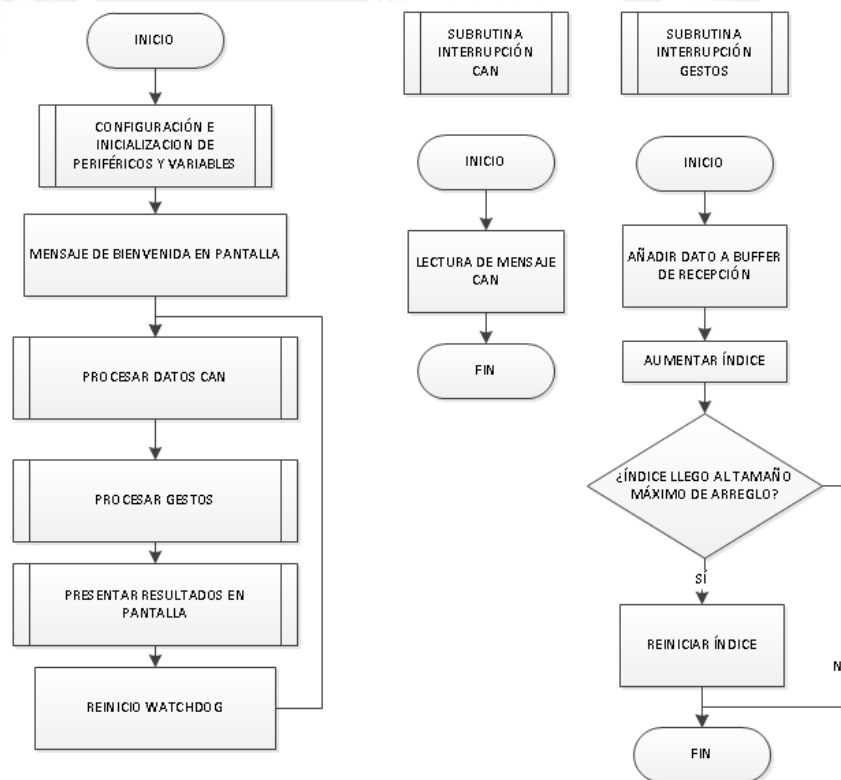
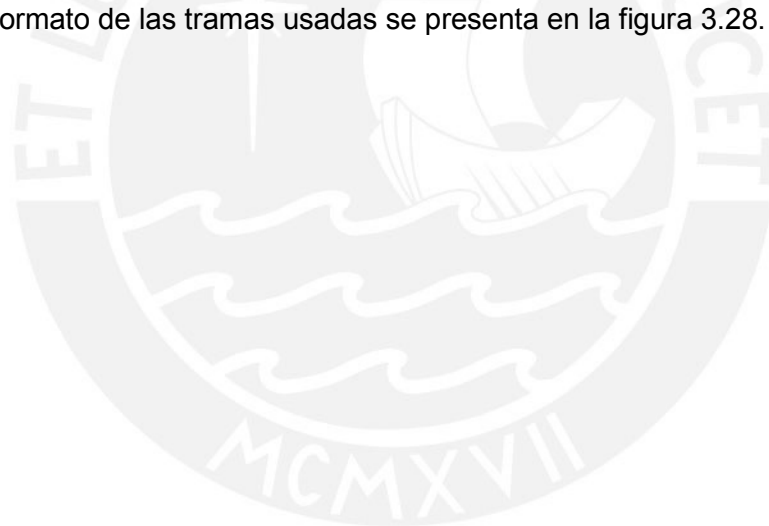


Figura 3.25.- Diagrama de flujo del lazo principal - dispositivo de piso.
Fuente: Propia

La pantalla TFT requiere una secuencia de parámetros de inicialización para ser usado posteriormente. Esta secuencia ingresa los parámetros relacionados con el control de energía, estado de operación, corrección gamma, tasa de cuadros, control de acceso a la memoria, control del display y paso a modo activo. Estos comandos están en las especificaciones [90] y los valores ingresados fueron tomados de proyectos de referencia. [91]

El segmento de procesamiento de datos CAN se encarga del envío de alguna llamada de subida o bajada reconocida por el sensor de gestos, obtener los datos de cabina como piso actual, dirección de movimiento, estado de mantenimiento y el estado de la llamada pendiente. Para esta tarea se trabaja con banderas de llamadas pendientes. Para obtener los datos de las cadenas recibidas se empieza por reconocer el tipo de trama en el primer byte recibido para luego separar por campos cada grupo de bytes. Los pasos del diagrama de flujo de este segmento así como el formato de cada trama se encuentran en las figuras 3.26 y 3.27 mientras que el formato de las tramas usadas se presenta en la figura 3.28.



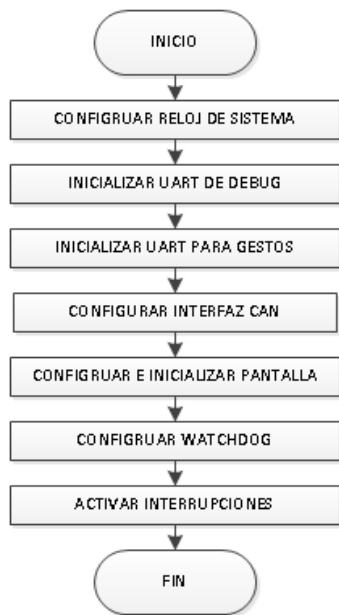
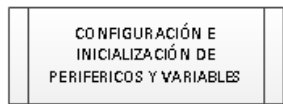


Figura 3.26.- Segmento de inicialización de dispositivo de piso.
Fuente: Propia

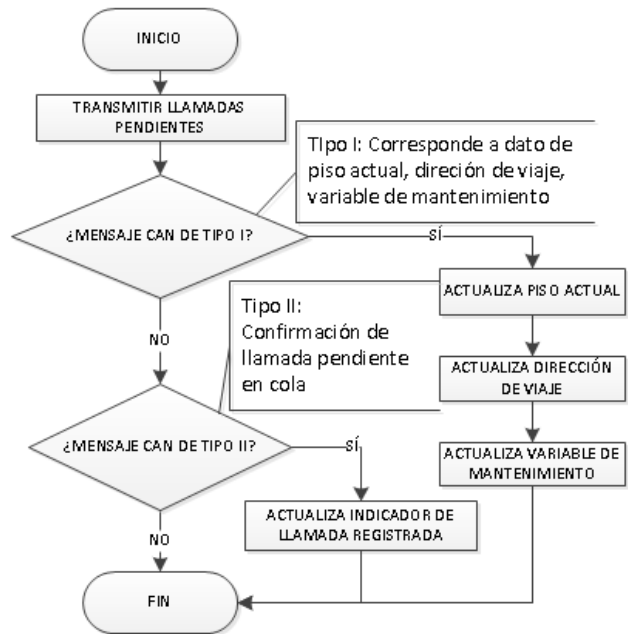


Figura 3.27.- Segmento de procesamiento CAN del dispositivo de piso.
Fuente: Propia

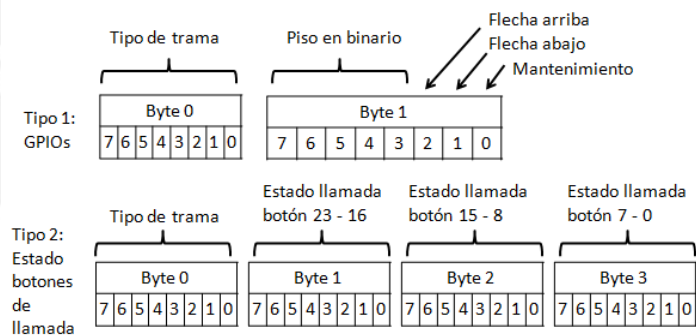


Figura 3.28.- Formato de tramas de recepción CAN.
Fuente: Propia

La siguiente tarea es el procesamiento de datos obtenidos desde el sensor de gestos. Estos datos son captados en la interfaz UART2 del microcontrolador. El sensor envía distintos tipos de datos y eventos. Los datos filtrados serán los de posición en el eje Z, de distancias relativas respecto a los dos leds emisores de IR y de salida de rango de objeto. La identificación de estos comandos se realiza identificando el tipo de trama enviada y leyendo los bytes siguientes. El formato de cada tipo se encuentra en la referencia. [92] Para identificar el tipo de trama se

evalúa que el valor sea mayor a 0xF0. El diagrama de flujo de esta etapa se resume en la figura 3.29.

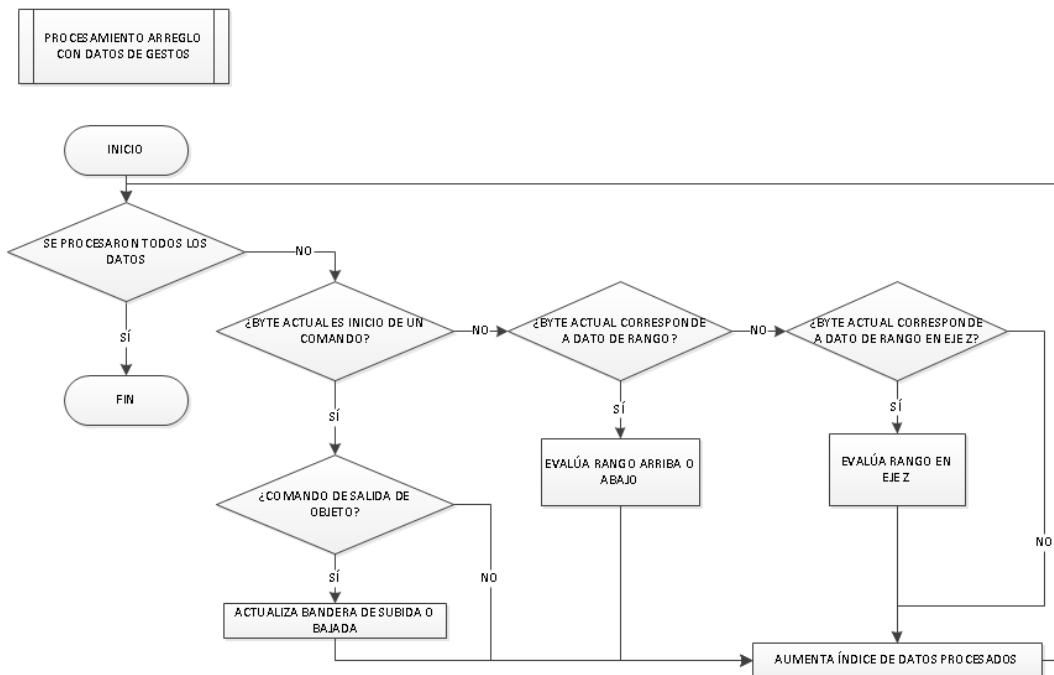


Figura 3.29.- Procesamiento de datos desde el sensor de gestos.
Fuente: Propia

Luego de procesar los datos se realiza la presentación en la pantalla TFT. Esta tarea toma las banderas y resultados anteriores para mostrar los indicadores adecuados. En el caso de la información de piso y flecha arriba o abajo se apunta al inicio de la tabla con valores de color de cada pixel para mostrar el número o flecha deseada. En el caso de la flecha se activa un comando para desplazamiento de pixeles en el área de dibujo deseado. Para el indicador de llamada se cambia el color de fondo de una mitad del área de dibujo del número de piso: mitad superior verde para indicar llamada de subida o mitad inferior verde para indicar llamada de bajada. En el caso de llamada atendida se regresa a un fondo negro el área de número de piso. El diagrama de bloques de este sub-proceso se representa en la figura 3.30.



Figura 3.30.- Presentación de datos en la pantalla TFT.
Fuente: Propia

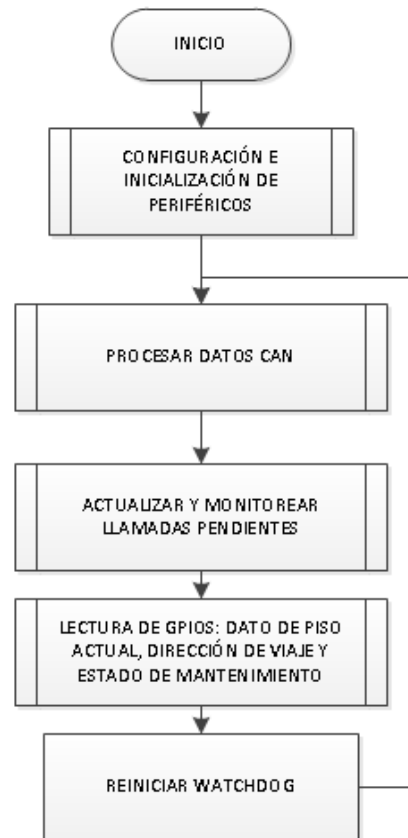


Figura 3.31.- Diagrama de flujo del lazo principal - dispositivo interfaz.
Fuente: Propia

3.4.2. Dispositivo interfaz con sistema convencional

Las funciones de este dispositivo son leer los datos del sistema convencional y emular el efecto de las botoneras de llamada de subida o bajada de cada piso. Estas funciones están representadas en la figura 3.32. En esta se observa la dirección de datos al bloque principal de control así como la interacción con el sistema convencional.

Las tareas en el programa principal del microcontrolador se encargarán de la configuración de periféricos usados, del monitoreo de GPIOs configurados como entradas con los datos de piso, dirección de movimiento, estado de mantenimiento, emulación de llamadas desde dispositivos de piso así como el monitoreo del estado de las bidireccionales. El diagrama de flujo implementado se presenta en la figura 3.31.

El primer segmento de código se encargará del procesamiento de mensajes recibidos y de enviar los mensajes con datos obtenidos del sistema convencional. Los mensajes recibidos serán los que se enviarán a las bidireccionales del sistema convencional. Las tareas ejecutadas en este subproceso están representadas en el diagrama de flujo de la figura 3.33.

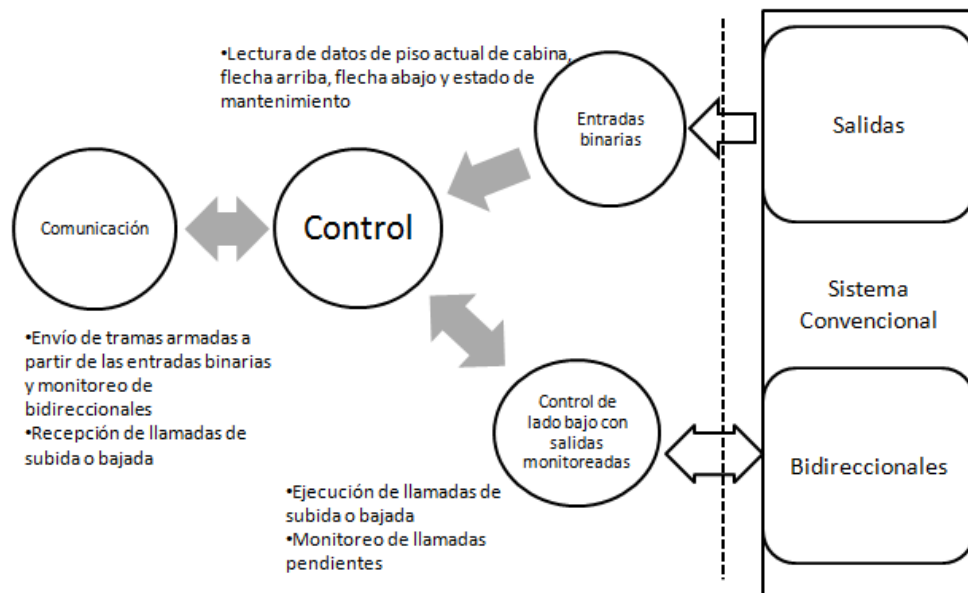


Figura 3.32.- Funciones del dispositivo de interfaz.
Fuente: Propia

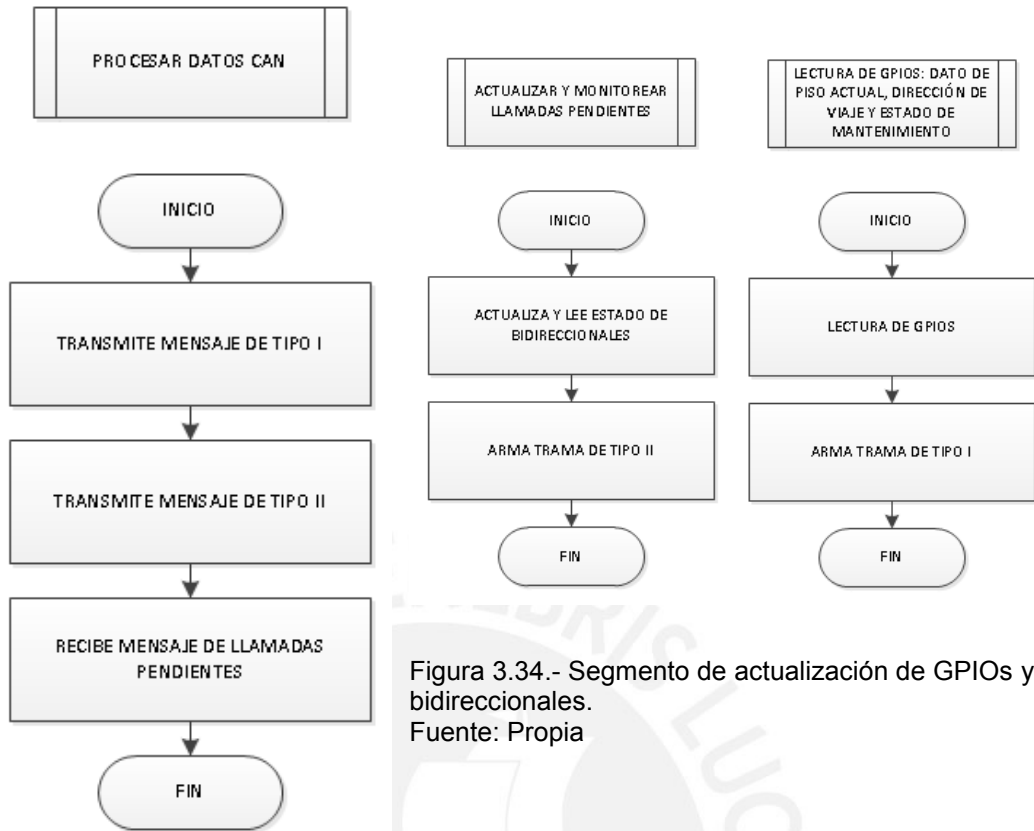


Figura 3.34.- Segmento de actualización de GPIOs y bidireccionales.
Fuente: Propia

Figura 3.33.- Segmento de comunicación - dispositivo interfaz.
Fuente: Propia

Los dos subprocesos del lazo principal se encargan de la lectura de GPIOs y comunicación SPI encargado de controlar/monitorear las bidireccionales. La escritura y monitoreo son realizadas en una sola operación de transferencia SPI. Dado que cada controlador de lado bajo posee 8 salidas, se realizan 3 transferencias para actualizar/monitorear las 24 bidireccionales. Luego de obtener los datos, el siguiente paso es armar las tramas con la cabecera correspondiente a cada tipo de paquete. Los pasos seguidos en cada subproceso son resumidos en la figura 3.34.

3.5. Especificaciones finales

En base a las características técnicas de los elementos del sistema se tienen las siguientes especificaciones:

Dispositivo en piso:

- Pantalla gráfica con capacidad de presentar hasta 65536 colores
- Tamaño mínimo de pantalla de 2.2"
- Sensor de gestos de subida y bajada
- Protocolo CAN de comunicación serial a 120000bps
- Alimentación de 24VDC
- Capacidad de operación en ambientes con ruido electromagnético presente en las líneas de alimentación

Interfaz en cuarto de máquina:

- Protocolo CAN de comunicación serial a 115200kbps
- Entradas de 0-24VDC para información de piso, flechas de sentido y mantenimiento desde el sistema de control paralelo convencional
- Salidas monitoreadas compatibles con el circuito de la figura 1.4 para las llamadas de piso desde el sistema de control convencional paralelo
- Alimentación de 24VDC
- Capacidad de operación en ambientes con ruido electromagnético presente en las líneas de alimentación y entradas/salidas

CAPÍTULO 4: Pruebas y resultados

4.1 Etapa de pruebas

En el desarrollo de los dispositivos se verificó el funcionamiento de cada tarjeta y cada segmento de código implementado. Luego de validar cada etapa en laboratorio se realizaron pruebas en un sistema de elevación convencional con comunicación CAN en un ambiente real y la respuesta del dispositivo de piso en pórticos reales.

A continuación se resumirán las pruebas realizadas y sus resultados:

4.1.1. Pruebas de pantalla: Dibujo de números y figuras

La pantalla se colocó con el lado de menor longitud paralelo al piso. De esta forma se obtiene más espacio vertical para los gráficos de llamada para subida o bajada. Se decidió un fondo negro para dar mayor contraste a los colores claros que se usarán para los otros gráficos.

Los gráficos en pantalla y sus funciones se resumen en la tabla 4.1:

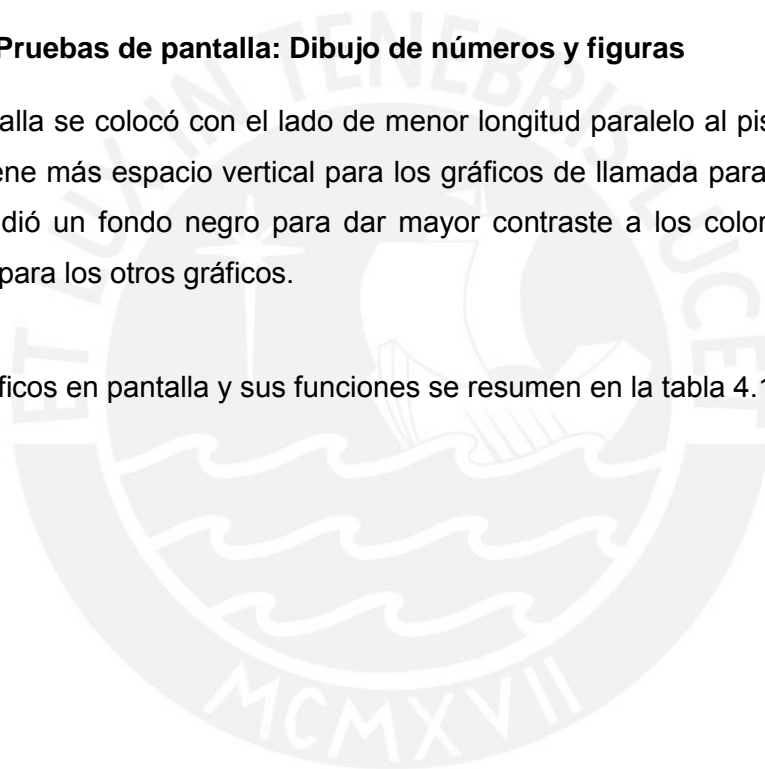


Tabla 4.1.- Tabla de indicadores gráficos.

Indicador	Gráfico
Piso en el que se encuentra la cabina	Número o letra en posición central de color blanco
Llamada de subida	Flecha hacia arriba en posición superior central de color rojo tenue en estado inactivo y verde claro en estado activo
Llamada de bajada	Flecha hacia abajo en posición inferior central de color rojo tenue en estado inactivo y verde claro en estado activo
Dirección de movimiento de cabina	Efecto de subida o bajada de número central en correspondencia con el movimiento de cabina
Detección de objeto	Círculo de radio de 5 píxeles de color sólido verde

Fuente: Propia

Se consiguieron representar los gráficos y números mostrados en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3:



Figura 4.1.- Gráficos indicadores de estado de llamada, piso y detección.
Fuente: Propia

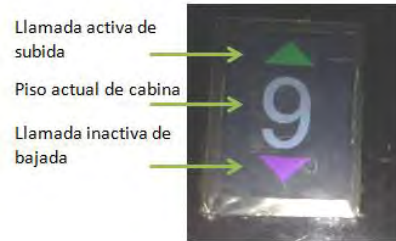


Figura 4.2.- Gráficos de estado de llamada de cabina activo.
Fuente: Propia



Figura 4.3.- Gráfico en desplazamiento hacia arriba.
Fuente: Propia

4.1.2. Reconocimiento de gestos: Filtrado de tramas y discernimiento de llamadas intencionales

Estas pruebas tuvieron como objetivo constatar el reconocimiento de gestos para llamadas de subidas y llamadas de bajada. El primer paso consistió en obtener las tramas de interés: filtrado de tramas. Estas corresponden a los rangos de de arriba o abajo y al rango Z. Esto se corroboró observando los puntos analizados por cada etapa que contengan la cabecera esperada y contenido del mensaje con valores esperados.

El siguiente paso durante las pruebas con usuarios fue identificar las siguientes necesidades:

- Mostrar indicador de detección de objeto para movimientos lentos.
- Ignorar objetos o señas a una distancia por encima de los 5cm.
- Ignorar movimientos horizontales.
- Ignorar movimientos no intencionales.
- Distintos tipos de gestos de llamada.

Respecto a los tipos de gestos, antes de estos ensayos se indicó a los usuarios que el equipo funcionaba en base a desplazamientos de la mano hacia arriba o hacia

abajo. Con sólo esta indicación se identificaron tres tipos de movimientos realizados intuitivamente:

- Tipo I: Movimiento desde abajo de la pantalla hacia encima de esta para llamada de subida o viceversa para llamada de bajada. Este movimiento tarda aproximadamente un segundo.
- Tipo II: Movimiento desde el centro de la pantalla hacia encima de esta para llamada de subida o del centro para abajo para llamada de bajada con duración debajo del segundo, movimiento rápido.
- Tipo III: Movimiento desde el centro de la pantalla hacia encima de esta para llamada subida o viceversa para llamada de bajada con duración por encima del segundo, movimiento lento.

En base a estos movimientos se identificaron zonas del objeto respecto al centro del sensor mostradas en la figura 4.4:

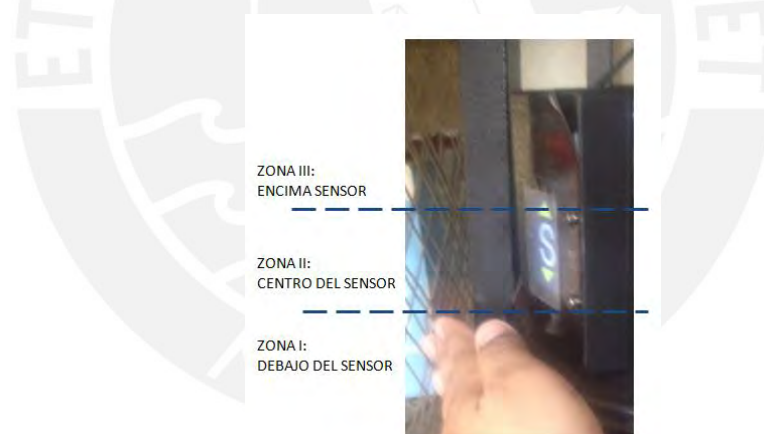


Figura 4.4.- Zonas identificadas respecto al centro del módulo.
Fuente: Propia

Para implementar el algoritmo de discriminación de gestos se requirió cuantificar y graficar lo captado por el módulo de gestos. Los patrones obtenidos son presentados en las figuras 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 en los cuales se observa en el eje X el número de muestra y en el eje Y se muestran los valores sensados correspondientes a cada zona vertical. Cabe precisar que valores más bajos corresponden a distancias más alejadas respecto a uno de los lados mientras que valores más altos a posiciones más cercanas al lado respectivo.

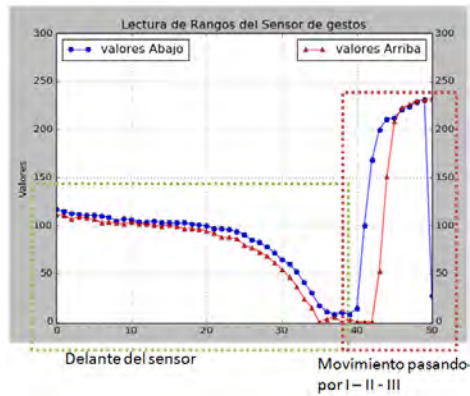


Figura 4.5.- Movimiento tipo I.
Fuente: Propia

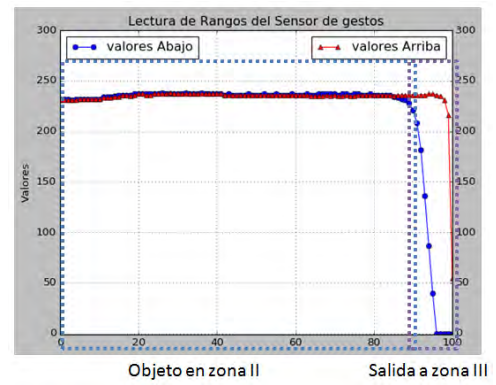


Figura 4.6.- Movimiento tipo II.
Fuente: Propia

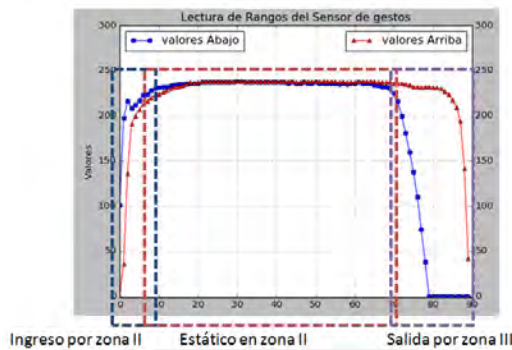


Figura 4.7.- Movimientos tipo III.
Fuente: Propia

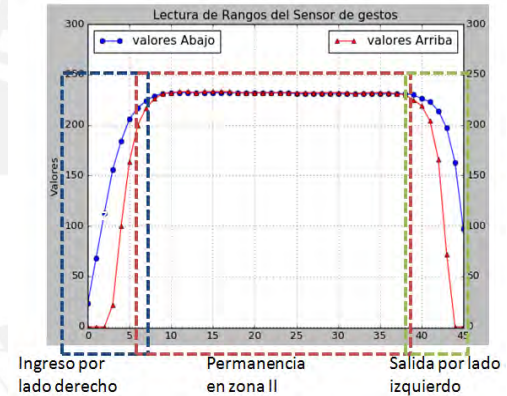


Figura 4.8.- Movimiento horizontal.
Fuente: Propia

Los puntos graficados se relacionan a la cercanía o lejanía respecto a uno de los lados del sensor: lado inferior (valores abajo) o lado superior (valores arriba) en cada muestra tomada. Valores más altos implican un objeto más cercano al lado respectivo. Por ejemplo se puede observar en la figura 4.5 que la detección del objeto es semejante respecto a ambos lados, pero cuando se acerca la mano hacia el lado inferior, los valores respectivos suben primero a comparación a los valores del lado superior. Cuando la mano se encuentra en la zona central, los valores de ambos lados son altos. Por otro lado, cuando la mano se encuentra saliendo por el lado superior, los que descienden primero son los valores correspondientes al lado inferior mientras que los valores de lado superior siguen en valores altos.

En base a las gráficas se realizaron las siguientes observaciones para la implementación del nuevo algoritmo de reconocimiento:

- La presencia de un objeto lejano emite datos por debajo de 100 como se observa en la primera parte de la figura 4.5.
- El movimiento vertical desde zona I a zona III se distingue de falsas detecciones en que existe al menos dos puntos muy diferenciados en el ingreso del objeto y una permanencia corta en zona II como se observa en la figura 4.5 contrastada a la figura 4.8 que muestra una permanencia en zona II con más muestras.
- El movimiento desde la zona I a la zona II presentan valores muy diferenciados el lado superior y lado inferior.
- Existen casos de movimientos horizontales cuyos valores de lado superior y abajo son similares en el ingreso pero se diferencian en la cantidad de tiempo en la zona II.
- La salida e ingreso de un objeto en movimiento horizontal presenta valores muy cercanos.
- La salida de un objeto en un movimiento vertical rápido desde zona I a zona III puede presentar sólo un par de puntos válidos con valores muy diferenciados.
- Los movimientos de tipo I y II presentan mayor cantidad de puntos diferenciados en la salida que en un movimiento horizontal.

El algoritmo implementado en el capítulo 3 ignoraba los movimientos horizontales e incluía los casos de movimientos tipo II y III pero ignoraba el tipo I. Con las gráficas y observaciones a partir de estas se implementó un nuevo algoritmo para cubrir el tipo I con los siguientes pasos:

- Discretizar valores a '0' y '1'. Esto se consigue con un umbral por encima de cierto valor definido en las pruebas, alrededor de 110.
- Diferenciar estados del sensor: libre, subida, mantenimiento en zona II, bajada y espera para el siguiente gesto.
- Conteo de puntos y tiempo en cada estado.
- Para el caso del movimiento tipo I se debe cumplir lo siguiente: pasar por las 3 regiones identificadas en la figura 4.4; no permanecer por encima de 5 puntos

en la zona II y existir dos o más puntos en la zona entrante diferentes luego de la discretización.

4.1.3. Comunicación CAN: Envío de tramas a 120kbps

Se corroboró el envío de tramas CAN tanto para los gestos de subida y bajada como se observa en las siguientes imágenes:



Figura 4.9.- Prueba en laboratorio del equipo y tarjeta TM4C1294.
Fuente: Propia



Figura 4.10.- Tramas de CAN para llamadas de subida y bajada.
Fuente: Propia

Las pruebas de esta comunicación arrojaron que la necesidad de activar la capacidad de buffer. Este es de tipo FIFO con hasta 10 objetos tipo CAN. Esto fue necesario para no perder algún paquete en la recepción y evitar que el transmisor quede en un envío constante de tramas debido a la no recepción de acuse de respuesta ('ACK').

Este bloque de comunicación fue corroborado en un ambiente real en el edificio de Consultas Externas del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen. La longitud del cable viajero desde el tablero en el cuarto de máquinas hasta el sótano 1 es de

aproximadamente 20 metros. Estas pruebas consistieron en obtener los datos de piso actual de cabina, dirección de viaje y peso en cabina.



Figura 4.11.- Cableado en cabina para pruebas de comunicación CAN.
Fuente: Propia

4.1.4. Pruebas en pórticos de ascensores

Estas pruebas tuvieron como objetivo comprobar el funcionamiento del equipo en ubicaciones reales en el pórtico de ascensores, visibilidad de gráficos e indicadores y reacción del sensor a diferentes condiciones de luz y horarios.



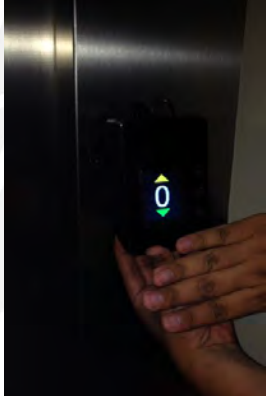
En el siguiente cuadro se presenta el resumen de las pruebas y resultados en las tablas 4.2 y 4.3:

Tabla 4.2.- Tabla de pruebas en pórtico del ascensor de pabellón O.

Locación	Condición de prueba	Resultado	Imagen
Pórtico del ascensor de Ingeniería Industrial	Luz natural alrededor de las 11:30 am	Usuario informa cierta dificultad en visibilidad.	
Pórtico del ascensor de Ingeniería Industrial	Luz natural alrededor de las 4 pm	Usuario informa comodidad visual. Gesto reconocido exitosamente	
Pórtico del ascensor de Ingeniería Industrial	Luz artificial alrededor de las 8pm	Usuario informa comodidad visual. Gesto reconocido exitosamente	

Fuente: Propia

Tabla 4.3.- Tabla de pruebas en pórtico del ascensor de Humanidades.

Locación	Condición de prueba	Resultado	Imagen
Pórtico del ascensor de Pabellón H	Luz natural alrededor de las 11:50 am	Usuario informa comodidad visual. Gesto reconocido exitosamente.	
Pórtico del ascensor de Pabellón H	Luz artificial alrededor de las 5pm	Usuario informa comodidad visual. Gesto reconocido exitosamente.	
Pórtico del ascensor de Pabellón H	Luz artificial alrededor de las 9pm	Usuario informa comodidad visual. Gesto reconocido exitosamente.	

Fuente: Propia

4.1.5. Prueba de consumo

Esta prueba consistió en verificar el consumo y condición de funcionamiento durante más de 24 horas consecutivas. Para esto se usó una fuente inteligente programable la cual muestra el consumo promedio a un nivel de tensión definido.

El consumo promedio mostrado es 49.42mA medido en el multímetro BK Precision tal como observamos en la siguiente figura:



Figura 4.12.- Consumo promedio de 50mA.
Fuente: Propia

4.2. Resumen de Costos

El precio de venta del equipo y el costo adicional de cables para la instalación en un edificio de 10 pisos se resume en la tabla 4.4:

Tabla 4.4.- Tabla resumen de costos por cableado convencional.

Elemento	Precio x 10 (USD)	Comentarios
Componentes electrónicos	109.90	El detalle está en el Anexo de BOM
Tarjeta en fabricante nacional	106.00	Precio por unidad
Sensor de gestos	249.50	Precio por unidad
Pantalla TFT LCD	134.90	Precio por unidad
Soldado y ensamblaje	33.30	Mano de obra nacional
Utilidad	148.70	20% del costo de producto
Cables	60.00	4x30m de cable calibre AWG 18
Total	842.30	

Fuente: Propia

Dado que el equipo desarrollado reúne las funciones de la botonera, visor de piso y flecha así como influye en la cantidad de cables usados, se resume en la tabla 4.5 los precios de venta de estos equipos:

Tabla 4.5.- Tabla resumen de costos por cableado en serie.

Elemento	Precio x 10 (USD)	Comentarios
Botonera con luz de fondo	90.90	Dos unidades por piso
Visor de flecha en matriz de puntos	300.00	Precio en mercado local
Visor de piso en matriz de puntos	300.00	Precio en mercado local
Cables	315.00	10x30m + 2x165m de cable calibre AWG 18
Total	1005.90	

Fuente: Propia

En esta comparación se nota la influencia del ahorro en cableado de comunicación en paralelo frente a un cableado de comunicación serial. El menor costo de instalación y mejores prestaciones hacen una alternativa viable a nuestro producto.



Conclusiones

1. Se consiguió integrar en un sólo equipo la funcionalidad de visualización de piso actual de cabina, indicadores de llamadas de subida y bajada así como dirección de movimiento de la cabina; y la funcionalidad de llamada de subida y bajada mediante gestos con comunicación serial hacia el dispositivo de interfaz en el cuarto de máquinas.
2. El módulo de gestos ZX de XYZ Interactive implementó las fases de manejo de hardware, discriminación del objeto respecto al fondo y la digitalización por lo que facilitó el desarrollo de esta clase de sensores.
3. El manejo del display TFT - LCD nos brinda la capacidad de adaptarnos a los requerimientos de cada cliente.
4. El sensor de gestos seleccionado y la forma de análisis utilizado nos brinda la capacidad de diferenciar gestos en distintas condiciones de iluminación.
5. El costo de componentes en distribuidor y considerando ensamblaje nacional es de aproximadamente 75 dólares y en cantidades de 1000 el costo desciende a 59 dólares aproximadamente.
6. Pruebas en campo demostraron que el protocolo CAN es capaz de soportar ambientes ruidosos y distancias de más de 20 metros que recorren 6 pisos de un centro de salud local.
7. El uso de un microcontrolador ARM de alto desempeño con controlador CAN embebido permitió el desarrollo eficiente de la comunicación serial.

Recomendaciones

1. Si se desea reducir el tamaño y costo del equipo es recomendable continuar con el desarrollo de la tarjeta usando directamente el microcontrolador ARM de Texas Instruments o STMicroelectronics, utilizar pantallas LCD con conectores FPC e integrar el circuito y lógica del sensor XYZ Interactive en una sola tarjeta.
2. Reemplazar el módulo de sensor XYZ Interactive basado en IR por otra clase de sensores de gestos con menores dimensiones y precios. Posibles alternativas son las que usan medios ópticos desarrolladas por AMS o las basadas en RF desarrolladas por Soli. El fin es mejorar la precisión en el reconocimiento de gestos o ampliar los tipos de gestos reconocidos.
3. Realizar pruebas en campo con un gran número de usuarios en ambientes reales para verificar si la interfaz es lo suficientemente intuitiva.
4. En caso se requiera compatibilidad de equipo a sistemas ya instalados con comunicación CAN que trabajan a velocidades por debajo de los 16kbps, se recomienda usar chips de capa física sin detección de bajas velocidades como el TLE6250 de Infineon.
5. En ambientes que se presenten dificultad visual, se sugiere acondicionar un alojamiento mecánico que provea sombra a la pantalla.

Bibliografía

[1] Mitsubishi

2005 History of the elevator

<http://www.mitsubishielectric.com/elevator/overview/elevators/history.html>

[Consultado en Septiembre del 2015]

[2] Columbia Elevator

2001 Elevator History

<http://www.columbiaelevator.com/main/elevator-history/>

[Consultado en Septiembre del 2015]

[3] SIEMENS

2010 Siemens History

https://www.siemens.com/history/en/news/1043_elevator.htm

[Consultado en Septiembre del 2015]

[4] British Standard Publication

2015 Safety rules for the construction and Installation of lift - Lifts for the transport of person and goods. BS EN 81-20: 2014

[5] Addinger, Wolfgang

2015 New Standard EN 81-20 / EN 81-50 Basic and Component Information

http://www.asansoristanbul.com/files/2015_Sunumlar/W_Addinger.pdf

[Consultado en Octubre del 2015]

[6] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Perú.

2006 Reglamento Nacional de Edificaciones 2006

[7] Ministerio de Energía y Minas

2006 Código Nacional de Electricidad - Utilización. Perú.

[8] Zwiebach, Luis

2015 "Ascensores: Trianon señala que en el Perú se demandan cerca de 1500 elevadores al año. Diario Gestión, 16 de Junio del 2015"

<http://gestion.pe/empresas/ascensorestrianon-senala-que-peru-se-demandan-cerca-1500-levadores-al-ano-2134800>

[Consultado en Septiembre del 2015]

[9] Páginas Amarillas del Perú

2015 Resultados de búsqueda de ascensores en Páginas Amarillas

<http://www.paginasamarillas.com.pe/b/ascensores/>

[Consultado en Septiembre del 2015]

[10] OTIS

2007 "Contacts: PERU/LIMA"

<http://www.otis.com/site/cl/pages/peru.aspx>

[Consultado en Octubre del 2015]

[11] Schindler

2015 "Schindler Perú"

<http://www.schindler.com/pe/internet/es/sobre-schindler-peru.html>

[Consultado en Octubre del 2015]

[12] Grupo Trianon

2015 "Empresa"

<http://www.grupotrianon.com/#!quienes-somos/c1pb8>

[Consultado en Octubre del 2015]

[13] Ascensores GS&F SAC

2012 "Perfil de la empresa"

<http://es.slideshare.net/SandroGonzales2/contrato-kone-proyecto-clinica-virgen-del-pilar1>

[Consultado en Octubre del 2015]

[14] Ascensores Thyssenkrupp

2012 "Contrato para el servicio de mantenimiento preventivo y correctivo de ascensores marca Thyssenkrupp de la corte Suprema y del edificio Puno Carabaya"

https://historico.pj.gob.pe/imagen/documentos/..%5C..%5CCorteSuprema%5CGerenciaGeneral%5Cdocumentos%5CContrato_0032-2011-GG-PJ.pdf

[Consultado en Octubre del 2015]

- [15] Universidad Nacional del Centro del Perú
2005 "Contrato N°022-2005-OGAS-UNCP-Adquisición de Ascensores para el Pabellón de Administración y Gobierno de la UNCP"
http://doc.seace.gob.pe/mon/docs/procesos/2005/001899/000423_LP-3-2005-UNCP-CONTRATO%20U%20ORDEN%20DE%20COMPRA%20O%20DE%20SERVICIO.doc
[Consultado 11-09-2015]
- [16] Cypress.
2007 Getting in touch with Designing Capacitive Sensing Interface. USA.
- [17] Dan Jacobs.
2014 Gesture Sensors Revolutionize User Interface Control. AMS Technical Article. Austria.
- [18] CityLift Ascensores
2013 LA COMISIÓN NACIONAL DE LA COMPETENCIAL MULTA CON CASI 5 MILLONES A VARIAS EMPRESAS DE ASCENSORES POR COMPETENCIA DESLEAL.
<https://cityliftascensores.com/la-comision-nacional-de-la-competencia-multa-con-casi-5-millones-varias-empresas-de-ascensores-por-competencia-desleal/>
[Consultado el 05-03-2018]
- [19] Consejo. Sala de Competencia
2017 Resolución de Ejecución de Sentencia (Expte. VS/0410/12, ASCENSORES-2, empresa ASCENSORES ENINTER, S.L.) . Consejo de Ejecución de Sentencia. Madrid, España
- [20] Huseinbegovic, Senad; Sead, Kreso; Tanovic, Omer
2009 Design and Implementation of the CAN Based Elevator Control System. Information, Communication and Automation Technologies in XXII International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies, ICAT 2009, Bosnia.

[21] Christopher E. Kandel, Andrew E. Simor, Donald A. Redelmeier
2014 Elevator buttons as unrecognized sources of bacterial colonization in hospitals.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4242253/>

[Consultado el 05-03-2018]

[22] Geoff Walker

2014 Touch Technologies Tutorial

http://www.walkermobile.com/Touch_Technologies_Tutorial_Latest_Version.pdf

[Consultado el 11-12-2015]

[23] Geoff Walker

2011 Camera - Based Optical Touch Technology

http://www.walkermobile.com/March_2011_ID_Camera_Based_Optical_Touch.pdf

[Consultado el 11-12-2015]

[24] Philip Irri, Julian Lindblad

2014 A study of ambient light -independent multi-touch acquisition and interaction methods for in-cell optical touch screen. Sweden.

[25] Elo Touch Systems Touch Technologies.

2014 Compare all resistive touch technologies

http://www.elotouch.com/Technologies/compare_resist.asp

[Consultado el 13-09-2015]

[26] 3M Touch Systems.

2009 Technology comparison: Resistive and Surface capacitive.

<http://multimedia.3m.com/mws/media/605295O/techbrief-sctvsresistive.pdf>

[Consultado el 13-09-2015]

[27] 3M Touch Systems

2012 Surface Capacitive

http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/TouchTopics/Home/Technologies/Commercial/SurfaceCapacitive/

[Consultado el 11-12-2015]

[28] Carl Bauman

2007 How to Select a Surface-Capacitive Touch-Screen Controller

http://www.walkermobile.com/December_2007_ID_Selecting_Surface_Capacitive_Touch_Screen_Controller.pdf

[Consultado el 11-12-2015]

[29] Elo Touch

2014 How a Surface Capacitive Touchscreen Works

<http://www.elotouch.com/Technologies/SurfaceCapacitive/howitworks.asp>

[Consultado el 11-12-2015]

[30] 3M Touch Systems

2011 Projected Capacitive Technology

http://solutions.3m.co.uk/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1332776667000&locale=en_US&assetType=MMM_Image&assetId=1319224170371&blobAttribute=ImageFile

[Consultado el 11-12-2015]

[31] Berman. Sigal and Stern. Helman

2012 Sensors for Gesture Recognition Systems in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews, Vol.42, No.3

[32] Chen. Xiang and others

2007 Hand Gesture Recognition Research Based on Surface EMG Sensors and 2D-accelerometers in 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers, Boston, USA

[33] Advanced Technology and Project Group - ATAP

2016 Project Soli.

<https://atap.google.com/soli/>

[Consultado el 11-02-2016]

[34] Chuang. Cheng-Ta, Chang. Tom, Jau. Pei-Hung, Chang. Fan-Ren

2014 Touchless Positioning System Using Infrared LED Sensors in IEEE International Conference on System Science and Engineering(ICSSE), China

[35] Microchip Technology Incorporated
2015 Touch and 3D Gesture Control, USA

[36] Avago Technologies
2015 APDS-9960, Digital Proximity, Ambient Light, RGB and Gesture Sensor
<http://www.avagotech.com/products/optical-sensors/integrated-ambient-light-and-proximity-sensors/apds-9960>
[Consultado el 03-02-2016]

[37] John Kumar Jupalli
2010 Energy efficient LED display. USA.

[38] Mitsubishi Electric Corporation
2011 Information display
<http://www.mitsubishielectric.com/elevator/products/basic/elevators/lcd/pdf/catalog.pdf>
[Consultado el 11-12-2015]

[39] Rachel Courtland
2014 No Nobel for the father of the LED, Spectrum IEEE
<http://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/devices/no-nobel-for-the-father-of-the-led>
[Consultado el 11-12-2015]

[40] Delphi Display Systems
2008 Comparison of LCD and LED Display Technology for QSR Drive-Thru Order Confirmation Applications

[41] Live Dots
2014 Product catalogue, Barco
http://www.barco.com/Downloads/liveDots/LED_Product_Catalog.pdf
[Consultado el 11-12-2015]

[42] Tsujimura, Takatoshi
2012 OLED Display: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, Inc.
USA, New Jersey

[43] Gurski, Jeremy; Ming, Lee

2005 Display technology Overview

<http://educyclopedia.karadimov.info/library/Display%20Technology%20Overview.pdf>

[Consultado el 11-12-2015]

[44] Greenwald, Will

2012 Sony's Crystal LED joins Samsung and LG's OLED as 55-inch Display Tech of the Future

<http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2398732,00.asp>

[Consultado el 11-12-2015]

[45] Clauser, Grant

2015 More 4K Ultra HD TV, OLED and Nano Crystal Coming to 2015 TV

<http://www.electronichouse.com/daily/smart-tv/4k-ultra-hd-tv-oled-nano-crystals-coming-2015-tvs/>

[Consultado el 11-12-2015]

[46] Edison Tech Center

2013 Electroluminescent Lamps

<http://www.edisontechcenter.org/electroluminescent.html>

[Consultado el 11-12-2015]

[47] Hart, Jeffrey; Lenway, Stefanie; Murtha, Thomas

1999 A History of Electroluminescent Displays

<http://www.indiana.edu/~hightech/fpd/papers/ELDs.html>

[Consultado el 11-12-2015]

[48] Hart, Jeffrey; Lenway, Stefanie; Murtha, Thomas

1999 A History of Field Emission Displays

<http://www.indiana.edu/~hightech/fpd/papers/FEDs.PDF>

[Consultado el 11-12-2015]

[49] Koide, Naoyuki

2014 The Liquid Crystal Display Story. Springer. Japan, Tokyo.

[50] Axelson, Jan

2007 The Serial Port Complete. Lakeview Research LLC, Madison. USA.

[51] Clauser, Grant

2005 Comunicaciones Industriales para la integración de dispositivos y sistemas abiertos

http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1113/JAI05_15-02-Ppal.pdf

[Consultado el 11-12-2015]

[52] Cisco Systems Inc.

1998 Internetworking Basics

<http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/fund/ith/ith01gb.htm>

[Consultado el 11-12-2015]

[53] Thyssenkrupp Elevator Americas

2002 Controller / Selector Module. Classroom on Demand.

<https://www.thyssenkruppelevator.com/webapps/classroom-on-demand/LessonViewer.aspx?lesson=16406>

[Consultado el 11-12-2015]

[54] Goldie, John

1996 Ten Ways to Bulletproof RS-485 Interfaces. National Semiconductor Application Note 1057

ftp://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/national/_appNotes/AN-1057.pdf

[Consultado el 11-12-2015]

[55] ISO/IEC

1993 Information Technology - Telecommunication exchange between systems - Twisted pair multipoint interconnections

https://prod.nais.nasa.gov/eps/eps_data/133352-SOL-001-008.pdf

[Consultado el 11-12-2015]

[56] Marais, Hein

2008 RS-485/RS-422 Circuit Implementation Guide, Application Note AN-960, Analog Devices

<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-960.pdf>

[Consultado el 11-12-2015]

[57] Kugelstadt, Thomas

2008 The RS-485 Design Guide, Application Report SLLA272B, Texas Instruments

<http://www.ti.com/lit/an/slla272b/slla272b.pdf>

[Consultado el 11-12-2015]

[58] Perrin, Bob

1999 The Art and Science of RS-485. Circuit Cellar

<http://www2.htw-dresden.de/~huhle/ArtScienceRS485.pdf>

[Consultado el 11-12-2015]

[59] Corrigan, Steven

2002 Introduction to the Controller Area Network (CAN), SLOA101, Texas Instruments

[http://abe-](http://abe-research.illinois.edu/Faculty/grift/ABE425_2016/Lectures/Literature/IntroductionToTheControllerAreaNetwork(CAN).pdf)

[research.illinois.edu/Faculty/grift/ABE425_2016/Lectures/Literature/IntroductionToTheControllerAreaNetwork\(CAN\).pdf](http://abe-research.illinois.edu/Faculty/grift/ABE425_2016/Lectures/Literature/IntroductionToTheControllerAreaNetwork(CAN).pdf)

[Consultado el 11-12-2015]

[60] CANSIA

2015 CAN Implementation

<http://www.inp.nsk.su/~kozak/canbus/canimpl.pdf>

[Consultado el 11-12-2015]

[61] Digi-Key Electronic

2015 Microchip MCP2561

<http://www.digikey.com/product-detail/en/MCP2561-E%2FSN/MCP2561-E%2FSN-ND/4079961>

[Consultado el 11-12-2015]

[62] Digi-Key Electronic

2015 Microchip MCP2551

<http://www.digikey.com/product-detail/en/MCP2551-I%2FSN/MCP2551-I%2FSN-ND/509452>

[Consultado el 11-12-2015]

[63] Corrigan, Steve

2008 Introduction to the Controller Area Network (CAN), SLOA101A, Application Report, Texas Instruments

<http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf>

[Consultado el 11-12-2015]

[64] Technical Staff - Texas Instruments

2009 Comparing Bus Solutions, SLLA067B, Texas Instruments Incorporated, Texas, USA

[65] Waterson, Conal

2012 Controller Area Network (CAN) Implementation Guide, Application Note AN-1123, Analogue Devices

<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1123.pdf>

[Consultado el 11-12-2015]

[66] Tolentino, Darwin

2012 Simple Circuit Provides Adjustable CAN-level Differential-Output Signal, Analogue Dialog, Analogue Devices

http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/46-04/adjustable_can_level.html

[Consultado el 11-12-2015]

[67] Di Natale, Marco

2008 Understanding and using the Controller Area Network. Analogue Dialog.

http://inst.cs.berkeley.edu/~ee249/fa08/Lectures/handout_canbus2.pdf

[Consultado el 11-12-2015]

[68] Potiron, Jean; Weiland, Jochen

2006 CANOpen Physical & Cabling Guide. CANOpen Working Group. Schneider Electric.

<http://www2.schneider->

[electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/166000/FA166951/es_ES/CANopenPhysicalCablingGuide%20V02_00.pdf](http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/166000/FA166951/es_ES/CANopenPhysicalCablingGuide%20V02_00.pdf)

[Consultado el 11-12-2015]

- [69] Metcalfe, Robert M.; Boggs, David R
1976 Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks. Xerox Palo Alto Research Center. Comm. ACM , Vol. 19, no. 7, pp. 395-404
[Consultado el 11-12-2015]
- [70] Spurgeon, Charles; Zimmerman, Joann
2014 Ethernet: The Definitive Guide. O'Reilly Media. USA.
[Consultado el 11-12-2015]
- [71] Dietrich, Ronald
2004 Industrial Ethernet...from the office to the Machine worldwide, Harting Electric.
- [72] Mitsubishi Electric Corporation
2015 NexWay
<http://www.mitsubishielectric.com/elevator/products/basic/elevators/nexway/pdf/catalog.pdf>
[Consultado el 11-09-2015]
- [73] Genemek
2016 2016 Product Catalogue. Estambul. Turquía.
<http://www.genemek.com/Catalogue/Genemek2016.pdf>
[Consultado el 21-03-2016]
- [74] Elevator Equipment Limited
2011 Elevator Equipment Limited. Issue 4.. Leicester. Inglaterra.
<http://www.elevatorequipment.co.uk/files/ww/elevator%20equipment%20catalogue.pdf>
[Consultado el 21-03-2016]
- [75] Schindler
2015 Schindler 3300
http://www.schindler.com/content/lt/internet/lt/judejimo-sprendimai/produktai/liftai/schindler3300/_jcr_content/rightPar/downloadlist_5530/downloadList/94_1371648500554.download.asset.94_1371648500554/schindler-3300-elevator-product-brochure.pdf
[Consultado el 11-09-2015]

[76] OTIS

2014 OTIS Gen2 Premier, USA

http://www.otis.com/site/ie/OT_DL_Documents/OT_DL_DownloadCenter/Gen2%C2%AE%20Premier/Gen2%C2%AE%20Premier.pdf

[Consultado el 11-09-2015]

[77] Kone

2016 Kone Design Collection. Korea.

<http://cdn.kone.com/www.kone.us/Images/kone-design-collection.pdf?v=8>

[Consultado el 21-03-2016]

[78] Touch to Go Technologies

2013 Elevator Touch Screen Systems 2013 Product Catalog, Canada

http://touchtogo.ca/documents/Touch-To-Go_Technologies_2013_Catalog_20130404_web.pdf

[Consultado el 21-03-2016]

[79] a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K Color Specification

n.d. ILI Technology Corp., Jhubey City, Taiwan

[80] CANCia

2017 History of CAN Technology

<https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>

[Consultado el 16-08-2017]

[81] Marja-Liisa Siikonen

2017 Planning and Control Models for Elevators in High-Rise Buildings

<http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/rsii97b.pdf/>

[Consultado el 11-12-2015]

[82] Texas Instruments

2014 Tiva TM4C123GH6PM Microcontroller - Datasheet. Texas Instruments Incorporated. Texas, USA

- [83] Technical Staff - Monarch Control Technology Corp.
2013 Nice 3000 User Manual. Suzhou Monarch Control Technology Co. China
- [84] Technical Staff Verex Technology
2002 Monitor ISM Elevator Control Package. Verex Technolgy. Canada
- [85] Technical Staff Cansec Systems
2015 H1000 Elevator Control. Installation Guide. Cansec System Ltd. Canada.
- [86] Chester Simpson
2011 Linear and Switching Voltage Regulator Fundamentals. SNVA558. Texas Instruments. Texas, USA
- [87] John Spencer and Eugene J. Tobaben
2003 Designing Switching Voltage Regulators with TL497A. SLVA143. Texas Instruments. Texas, USA
- [88] Texas Instruments
2014 Low Side 0.5-A, 8-Ch Digital Output Module for PLC. TIDU470. Texas Instruments. Texas, USA
- [89] Anatoly Andrushevich
2016 Industrial Micro PLC Solutions. Maxim Integrated.
- [90] Ili Technology Corp.
2015 a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K Color - Specification. Hsinchu Country 302, Taiwan.
- [91] Turjaso Pine1
2015 Initializing ILI9341 based Color TFT with TM4C123 using SPI and GPIO.
https://e2e.ti.com/support/microcontrollers/tiva_arm/f/908/p/471799/1698985
[Consultado el 15-12-2015]
- [92] XYZ Interactive Technologies Inc.
2008 XYZ Interactive Technologies, ZX Sparkfun Sensor Datasheet. Canada