

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PRÁCTICA SUPERVISADA PARA OPTAR
AL GRADO DE BACHILLERATO EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO DE SOLICITUD DE
REPUESTOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS
MEDIANTE UN CONTROL DE APERTURA DE
PUERTAS, DISPENSADO ELECTROMECAÁNICO
Y REGISTRO DE ACTIVIDAD PARA EL
DEPARTAMENTO DE CR DCG DE INTEL PARA
EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2019**

**Sustentante:
Jorge Madrigal Chacón**

**Tutor:
Ing. José Alejandro Rojas López**

Octubre, 2019

Carta del Tutor



CARTA DEL TUTOR

San José, 20 de Octubre del 2019

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **Jorge Arturo Madrigal Chacón**, cédula de identidad número **1 1290 0616**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"Desarrollo de un sistema automatizado de solicitud de repuestos y dispositivos electrónicos mediante un control de apertura de puertas, dispensado electromecánico y registro de actividad para el departamento de CR DCG de Intel para el segundo semestre del 2019."**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	20
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	18
Total:		100	94

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Jose Alejandro Rojas López
Cédula de Identidad: 1 1079 0035
Carné Colegio Profesional: N° IEL-15888

Carta del Lector



CARTA DEL LECTOR

San José, 5 de noviembre del 2019

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Jorge Arturo Madrigal Chacón, cédula de identidad número 1-1290-0616, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado *"Desarrollo de un sistema automatizado de solicitud de repuestos y dispositivos electrónicos mediante un control de apertura de puertas, dispensado electromecánico y registro de actividad para el departamento de CR DCG de Intel para el segundo semestre del 2019"*, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

JORGE
VILLALOBOS
CASCANTE
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por JORGE VILLALOBOS
CASCANTE (FIRMA)
Fecha: 2019.11.05
180506-0690'

Ing. Jorge Villalobos Cascante
Cédula de identidad: 1-1185-0467
Carné colegio profesional: IEL-22656

Carta del Filólogo

CARTA DE REVISIÓN DEL FILÓLOGO

San José, 18 de noviembre del 2019.

SEÑORES
UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Estimados señores:

Hago constar que he revisado la práctica supervisada para optar al grado de BACHILLERATO en INGENIERÍA ELECTRÓNICA, del estudiante JORGE MADRIGAL CHACÓN, denominado DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SOLICITUD DE REPUESTOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE UN CONTROL DE APERTURA DE PUERTAS, DISPENSADO ELECTROMECAÁNICO Y REGISTRO DE ACTIVIDAD PARA EL DEPARTAMENTO DE CR DCG DE INTEL PARA EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2019.

He revisado errores gramaticales, de puntuación, ortográficos y de estilo que se manifiestan en el documento escrito, y verificado que estos fueron corregidos por el autor.

Con base en lo anterior, se considera que dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos por la UNIVERSIDAD para ser presentado como requerimiento final de graduación.

Atentamente,


Dr. Bolívar Bolaños Calvo.

Carné: 2 949

Colegio de Licenciados y Profesores

Carta de Autorización al CENIT

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 18 de noviembre del 2019.

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito Jorge Arturo Madrigal Chacón con número de identificación 1-1290-0616 autor del trabajo de graduación titulado DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SOLICITUD DE REPUESTOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE UN CONTROL DE APERTURA DE PUERTAS, DISPENSADO ELECTROMECAÁNICO Y REGISTRO DE ACTIVIDAD PARA EL DEPARTAMENTO DE CR DCG DE INTEL PARA EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2019 presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Electrónica; sí autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,



1 1290 0616
Firma y Documento de Identidad

Declaración Jurada

DECLARACIÓN JURADA

Yo Jorge Arturo Madrigal Chacón, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1 1290 0616, egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar que por medio de este acto y debidamente apercebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de graduación para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SOLICITUD DE REPUESTOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE UN CONTROL DE APERTURA DE PUERTAS, DISPENSADO ELECTROMECAÁNICO Y REGISTRO DE ACTIVIDAD PARA EL DEPARTAMENTO DE CR DCG DE INTEL PARA EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2019, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de derechos de Autor y Derechos Conexos, número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Heredia, a los 21 días del mes de octubre del año dos mil diecinueve.



Firma del estudiante.

1 1290 0616
Cédula.

Carta de aceptación de la empresa

DocuSign Envelope ID: 935923DF-AFA6-4C79-B299-23EB2A1C793



Srs. Universidad Hispanoamericana

La misma es generada con fin de afirmar que el proyecto del Sr. Jorge Madrigal Chacón, con nombre: DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SOLICITUD DE REPUESTOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE UN CONTROL DE APERTURA DE PUERTAS, DISPENSADO ELECTROMECAÁNICO Y REGISTRO DE ACTIVIDAD PARA EL DEPARTAMENTO DE CR DCG DE INTEL PARA EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2019, fue desarrollado y entregado satisfactoriamente al departamento de DCG (Data Center Group por sus siglas en Inglés), cabe recalcar que el proyecto sobrepasa las expectativas de lo solicitado en diseño, funcionamiento y eficiencia, permitiendo administrar de manera óptima los inventarios de repuesto de nuestro departamento así como la reducción en más de 30 horas hombre en la realización de dichos inventarios.

Agradeciendo de antemano por la implementación de este proyecto en nuestro departamento y agradeciendo a la Universidad Hispanoamericana y en especial al Sr. Jorge Madrigal Chacón.

Se despide.

Luis J. Quirós Chaves
Data Center Group Supervisor
Intel Costa Rica 
luis.quirós.chaves@intel.com
Tel. 8813 9405

DocuSigned by:

FDBDE10609703

DocuSign Envelope ID: 935923DF-AFA6-4C79-B299-23EB2A1C793

Agradecimiento

A todos los familiares y amigos que se interesaron en escuchar mis ideas sobre este proyecto, en especial a mi esposa Lucía, quién fue mi apoyo durante la etapa universitaria y también desde el inicio de este último proceso.

También a mis compañeros de trabajo que hicieron crecer el proyecto con sus ideas y realimentación, en especial a Luis Quirós por el soporte durante todo el desarrollo de este proyecto de graduación.

Al profesor tutor Ing. José Rojas López por su guía para la elaboración de la investigación y este documento escrito.

Índice general

Carta del Tutor.....	ii
Carta del Lector	iii
Carta del Filólogo	iv
Carta de Autorización al CENIT	v
Declaración Jurada.....	vi
Carta de aceptación de la empresa	vii
Agradecimiento.....	viii
Índice general.....	ix
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xiii
Lista de Abreviaturas.....	xiv
Introducción.....	xvi
CAPÍTULO I	17
PROBLEMA DEL PROYECTO.....	17
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	18
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa	18
1.1.2 Justificación del problema.....	20
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.3.1 Objetivo general	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	24
1.4.1 Alcances.....	24
1.4.2 Limitaciones.....	25
CAPÍTULO II	28
MARCO TEÓRICO.....	28
2.1 MARCO CONCEPTUAL	29
2.1.1 Microprocesadores.	29
2.1.2 Protocolo I ² C.....	32
2.1.3 Wi-Fi.....	35

2.1.4 Sensor huella digital.	37
2.1.5 Sensor de distancia ultrasónico.	38
2.1.6 Servomotores	39
2.1.7 Relevadores	41
2.1.8 Pantalla de Cristal Líquido	42
2.1.9 Teclado matricial	43
2.1.11 Fuente de alimentación.....	44
2.1.12 Cortadora de Acrílico	45
2.1.13 Impresora 3D.....	45
2.1.14 Base de datos.....	47
CAPÍTULO III	48
MARCO METODOLÓGICO.....	48
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.1.1 Finalidad.....	49
3.1.2 Dimensión temporal.....	51
3.1.3 Marco de la investigación	52
3.1.4 Naturaleza.	53
3.1.5 Carácter.....	54
3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	55
3.2.1 Fuentes primarias.....	56
3.2.2 Fuentes secundarias	56
3.2.3 Sujetos de información	56
3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS	57
3.3.1 Observación	58
3.3.2 Entrevista.	58
3.3.2 Experimentación.....	59
3.4 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	61
CAPÍTULO IV	65
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACION ACTUAL	65
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	66
4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	69
4.2.1 Observación	69

4.2.2 Entrevista	70
4.3 PROPUESTA DEL PROYECTO	71
CAPÍTULO V	75
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO	75
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	76
5.2 DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	77
5.2.1 Etapa de sensores.....	77
5.2.2 Etapa de potencia.....	87
5.2.3 Etapa de control	95
5.2.4 Etapa de comunicación.	112
5.3 IMPLEMETACIÓN DEL SISTEMA	117
5.4 ANÁLISIS DE COSTOS	124
CAPÍTULO VI	129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
6.1 CONCLUSIONES.	130
6.2 RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA.....	134
Referencias Bibliográficas.....	135
ANEXOS	137
Lista de Anexos.01. Cronograma del Proyecto y Trabajo Escrito.....	138

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama causa – efecto.	21
Figura 2. Raspberry PI 3 Modelo B.	31
Figura 3. Comportamiento de SCL y SDA durante una trasmisión.	34
Figura 4. Pasos de intercambio de información en I ² C.....	35
Figura 5. Sensor de huella digital.....	37
Figura 6. Sensor de distancia ultrasónico, modelo HC-SR05.	39
Figura 7. Modulación por ancho de pulso en un servomotor.....	40
Figura 8. Módulo de relevadores de 4 canales.....	42

Figura 9. Pantalla de cristal líquido.	43
Figura 10. Teclado matricial 3 x 4.	44
Figura 11. Marcado, Grabado y Corte con láser.	45
Figura 12. Impresora 3D.	46
Figura 13. Diagramas de cronograma del Proyecto.	64
Figura 14. Hoja de control de repuestos.	66
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso actual.	68
Figura 16. Diagrama de bloques del prototipo propuesto.	72
Figura 17. Diagrama de flujo con la propuesta implementada.	74
Figura 18. Prototipo inicial para la propuesta del proyecto.	76
Figura 19. Conexiones del Raspberry PI 3B con el HC-SR05.	79
Figura 20. Código de programación del sensor ultrasónico para CR DCG.	80
Figura 21. Circuito electrónico de pruebas para el sensor ultrasónico.	81
Figura 22. Conexiones del Raspberry Pi y el sensor de huella digital.	82
Figura 23. Código de programación para agregar una huella digital en CR DCG.	84
Figura 24. Código de programación para borrar una huella digital en CR DCG.	85
Figura 25. Código de programación para acceso al sistema de CR DCG.	86
Figura 26. Circuito electrónico de pruebas para el sensor de huella digital.	87
Figura 27. Fuente conmutada de V_{CD}	88
Figura 28. Matriz de relevadores para las cerraduras electromagnéticas.	90
Figura 29. Código de programación de la matriz de relevadores para CR DCG.	92
Figura 30. Circuito electrónico de pruebas para la matriz de relevadores.	93
Figura 31. Conexiones del Raspberry Pi con el LCD.	95
Figura 32. Código de programación del LCD para CR DCG.	96
Figura 33. Circuito electrónico de pruebas para el LCD.	97
Figura 34. Conexiones del teclado matricial al Raspberry Pi.	98
Figura 35. Código de programación del teclado matricial para CR DCG.	99
Figura 36. Circuito electrónico de pruebas para el teclado matricial.	101
Figura 37. Pines de direccionamiento del PCF8574.	102
Figura 38. Conexiones del Raspberry Pi, PCF8574 y módulo de relevadores.	104
Figura 39. Código de programación del PCF8574 para CR DCG.	105

Figura 40. Circuito electrónico de pruebas del PCF8574.	106
Figura 41. Conexiones del Raspberry Pi con el SG92R.	107
Figura 42. Código de programación del SG92R para CR DCG.	108
Figura 43. Circuito electrónico de pruebas del SG92R.	110
Figura 44. Código de programación del archivo CSV para CR DCG.	111
Figura 45. Información de archivo CSV en dos programas diferentes.	112
Figura 46. Verificación de funcionamiento de Apache, PHP y MySQL.	115
Figura 47. Topología de conexión de switch KVM.	116
Figura 48. Diagrama de Flujo de la programación final del sistema para CR DCG.	117
Figura 49. Gabinete utilizado para desarrollo del sistema.	119
Figura 50. Objetos creados en impresión 3D.	120
Figura 51. Caja principal y de control para CR DCG.	121
Figura 52. Cavidades modificadas del gabinete.	122
Figura 53. Base de datos para la administración de repuestos de CR DCG.	123

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones técnicas del Raspberry PI 3B.	32
Tabla 2. Estándares IEEE 802.11.	36
Tabla 3. Sujetos de Información.	57
Tabla 4. Variables de la investigación.	60
Tabla 5. Diseño de la investigación.	62
Tabla 6. Tabla comparativa de configuraciones de relevadores.	91
Tabla 7. Posiciones del gabinete, direccionamientos de PCF8574 y sus puertos.	94
Tabla 8. Configuración del direccionamiento del PCF8574.	103
Tabla 9. Costos de materiales utilizados.	124
Tabla 10. Costos de implementación del sistema.	126
Tabla 11. Costo total de la implementación del sistema.	127
Tabla 12. Análisis costo-beneficio del proyecto.	128

Lista de Abreviaturas

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

ACK: Acknowledgement (Reconocimiento).

ALU: Arithmetic Logic Unit (Unidad Lógica Aritmética).

BLE: Bluetooth Low Energy (Bluetooth de Baja Energía).

CIM: Computer Interface Module (Módulo de Interfaz de Computadora).

CPU: Central Processing Unit (Unidad de Procesamiento Central).

CR DCG: Costa Rica Data Center Group (Grupo de Centro de Datos de Costa Rica).

CSI: Camera Serial Interface (Interfaz en Serie de Cámara).

CSV: Comma-Separated Values (Valores Separados por Comas).

DBMS: Database Management Systems (Sistemas de Gestión de Bases de Datos).

DCG: Data Center Group (Grupo de Centro de Datos).

DSI: Display Serial Interface (Interfaz en Serie de Monitor).

DSP: Digital Signal Processing (Procesamiento de Señales Digitales).

GND: Ground (Tierra).

GPIO: General Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General).

GPU: Graphics Processing Unit (Unidad de Procesamiento Gráfico).

HDMI: High Definition Multimedia Interface (Interfaz Multimedia de Alta Definición).

HDD: Hard Disk Drive (Disco Duro).

I²C: Inter-Integrated Circuit (Circuito Inter-Integrado).

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).

KVM: Keyboard Video Mouse (Teclado Vídeo Ratón).

LAN: Local Area Network (Red de Área Local).

LAMP: Linux, Apache, MYSQL y PHP.

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación).

LCD: Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido).

NC: Normally Closed (Normalmente Cerrado).

NO: Normally Open (Normalmente Abierto).

PLA: Polylactic Acid (Ácido Poliláctico)

PWM: Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulsos).

R/W: Read/Write (Lectura/Escritura).

RAM: Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).

RFID: Radio Frequency Identification (Identificación por Radio Frecuencia).

Rx: Recepción.

SCL: Serial Clock (Reloj en Serie).

SDA: Serial Data (Datos en Serie).

SDRAM: Synchronous Dynamic Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio Dinámico Síncrono).

SSD: Solid State Drive (Disco de Estado Sólido).

T_x: Transmisión.

V_{ac}: Voltaje de Corriente Alterna.

V_{cc}: Voltaje de Corriente Continua.

V_{cd}: Voltaje de Corriente Directa.

UART: Asynchronous Receiver-Transmitter (Transmisor - Receptor Asíncrono Universal).

UTP: Unshielded twisted Pair (Par Trenzado sin Apantallar)

USB: Universal Serial Bus (Bus en Serie Universal).

Wi-Fi: Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica).

Introducción

Como resultado de las constantes diferencias entre las cantidades físicas y las registradas en el sistema, en los inventarios que se realizan de manera mensual en el departamento CR DCG; y con el riesgo latente de desabastecimiento de repuestos y/o dispositivos electrónicos necesarios para la atención técnica de plataformas de validación que aseguren la continuidad del negocio, es necesario tomar alguna medida alternativa que evite la situación expuesta anteriormente.

El desarrollo del trabajo a continuación tendrá un enfoque especial en una propuesta con elementos tecnológicos, que integre la necesidad de realizar la tarea de inventariado mensual, pero que, a la vez, permita hacerlo de una manera eficiente para optimizar los recursos de la empresa.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa

Intel es una compañía estadounidense fabricante de circuitos integrados, dispositivos electrónicos, productos de conectividad y en la actualidad también está dedicada al área de servicios. Esta empresa se funda en julio de 1968 bajo el nombre de Integrated Electronics Corporation, sus fundadores son R. Noyce y G. Moore.

En Costa Rica, la compañía se establece en el año 1997 en la provincia de Heredia, donde inicia operaciones como una fábrica de manufactura, encargada del ensamble y prueba de grandes cantidades de microprocesadores y chipsets. En el transcurso de los años diversifica sus actividades y empieza también a proveer servicios.

A inicios del año 2014 Intel decide trasladar las operaciones de la fábrica de manufactura a sus similares en el continente asiático. Al año siguiente, inicia el reto de establecer un laboratorio en Costa Rica en el que se prueban dispositivos y software, para posteriormente ser producidos en masa en sus diferentes plantas de manufactura ubicadas en distintas partes del mundo.

A mediados del año 2015, inicia operaciones el departamento Costa Rica Data Center Group (CR DCG), ubicado dentro del laboratorio mencionado en el párrafo anterior. Este pequeño departamento es, por decirlo de alguna manera, una extensión del laboratorio ubicado en Polonia, el cual por motivos de crecimiento decide

implementar un laboratorio remoto. Los equipos físicamente se encuentran en Costa Rica, pero los ingenieros desarrollan y validan sus pruebas de software desde Polonia.

Como su nombre lo indica, CR DCG es un centro de procesamiento de datos, donde los recursos informáticos se concentran con el fin de ahorrar espacio físico. Dentro de un centro de datos existen equipos como computadoras, servidores, switches, racks, dispositivos periféricos de computadoras, plataformas de validación, herramientas, entre otros.

Como consecuencia del exitoso resultado de la primera fase de instalación de los equipos de prueba del departamento, se logró atraer e instalar tres fases adicionales, inclusive hasta existen planes de nuevas fases futuras. Cada uno de estos proyectos están conformados por equipos de pruebas que provienen y son utilizados principalmente desde Polonia y de los Estados Unidos de América. Además CR DCG ha logrado colaborar con el desarrollo de pruebas especiales remotas por parte de ingenieros desde diferentes países como México e India.

Actualmente el departamento está conformado por cinco técnicos, quienes fueron colaboradores de la planta de manufactura que operó entre 1997 y 2014, por tanto tienen amplia experiencia en la empresa. Además de sus labores de soporte técnico también tienen labores de carácter administrativo como lo son el control de inventario de repuestos y de activos del departamento.

En síntesis, se puede afirmar que la función primordial de los técnicos que colaboran en CR DCG es mantener las condiciones y equipos necesarios para el óptimo desempeño de las pruebas remotas que se realicen; así como también hacer

la solicitud de compra o envío de dispositivos antes de llegar al punto de desabastecimiento de estos.

1.1.2 Justificación del problema

Desde que CR DCG inicia su primera fase de instalación, se recibió gran cantidad de repuestos para las plataformas por parte del laboratorio de Polonia. Algunos de los materiales recibidos son: equipos electrónicos, cables de red, adaptadores y microprocesadores, los cuales fueron ubicados en gabinetes para su debido almacenamiento.

El crecimiento de la cantidad plataformas de validación en el departamento y el aumento en la demanda de instalación de nuevos dispositivos en dichas plataformas como tarjetas de red, discos duros, discos de estado sólido, memorias de acceso aleatorio (Random Access Memory, RAM), tarjetas madre, entre otras, traen como resultado falta de control y desabastecimiento de repuestos.

En el año 2016, se decide crear una página de excel, para que el personal técnico haga el reporte de los repuestos que toma de los gabinetes e indique la utilización de este; a su vez se busca con esta página llevar el control de las cantidades de inventario. A principio de cada mes se hace un inventario de todos los gabinetes, en la mayoría de las ocasiones se encuentran diferencias entre las cantidades físicas y las cantidades del inventario.

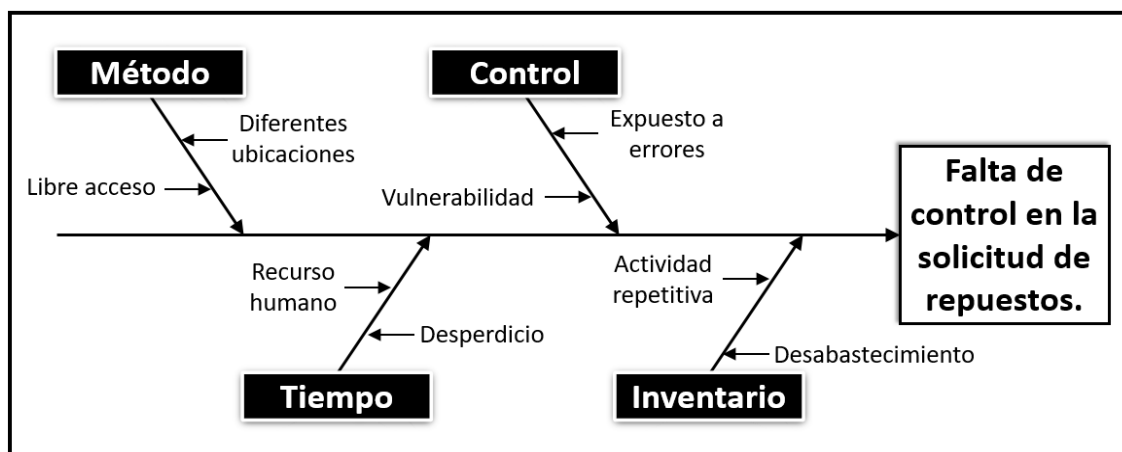
Por tanto, aunque existe un sistema de control en la solicitud de repuestos, éste es vulnerable pues debe ser completado manualmente. En este departamento no es

viable encargar el acceso a los repuestos a una sola persona, pues CR DCG trabaja tanto en turno diurno como nocturno y las asistencias a las plataformas de validación deben ser atendidas a la brevedad posible.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Existe un problema de falta de control y seguimiento en la utilización de repuestos tomados de los gabinetes, lo cual podría provocar que las asistencias solicitadas a las plataformas de validación por parte de los ingenieros demoren o no logren ser completadas. La Figura 1 expone diagrama causa-efecto de la situación detectada.

Figura 1. Diagrama causa – efecto.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Existen cuatro principales variables que se explican a continuación y son los factores por analizar como producto de la problemática:

- Método:** La manera de solicitar repuestos que se utiliza actualmente consta de verificar la ubicación de estos en una base de datos, pues se encuentran

almacenados en distintos puntos del departamento; el técnico debe tomarlos del gabinete correspondiente para ser instalados según fue solicitado. Todos los técnicos deben tener libre acceso de tomar los repuestos durante las veinticuatro horas del día, inclusive los fines de semana.

- b) **Control:** Existe una página de control pero es el mismo solicitante de los repuestos quien debe llenarla, podría omitir u olvidar completar este requisito. Con el sistema actual hasta es posible solicitar repuestos a nombre de otro colaborador por error pues no hay un método de verificación de credenciales.
- c) **Tiempo:** A principio de cada mes se hace un inventario de las cantidades físicas de los repuestos, la actividad se realiza en conjunto por dos técnicos. Se dura aproximadamente doce horas, pero en realidad el tiempo que se desperdicia en la actividad es treinta y seis horas laborales mensuales; pues uno de los técnicos es del turno nocturno y debe ausentarse dos noches para poder trabajar durante el turno diurno en la actividad. Todo lo anterior deriva en un faltante de recurso humano para las tareas técnicas pendientes.
- d) **Inventario:** Es una tarea repetitiva que se realiza en los primeros días de cada mes; sin embargo, es necesaria para evitar un desabastecimiento y tomar acciones, de compra o solicitud, para hacer frente a las asistencias técnicas.

Es necesario implementar una solución que permita seguir cumpliendo con excelencia el trabajo que se realiza y que a la vez cuide los recursos de la empresa. Ante la situación expuesta es inevitable que surja la interrogante siguiente:

¿Cuál será la mejor manera de diseñar e implementar un sistema a partir de dispositivos electrónicos que sea capaz de automatizar y controlar el proceso de solicitud de repuestos y registrar la actividad en el departamento CR DCG de Intel durante el segundo semestre del 2019?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema automatizado de solicitud de repuestos y dispositivos electrónicos periféricos mediante un control de apertura de puertas de gabinetes, dispensado electromecánico y registro de actividad para el departamento CR DCG de Intel para el segundo semestre del 2019.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las necesidades de CR DCG en cuanto al control de los repuestos y dispositivos periféricos que se tienen bajo inventario.
- Estudiar los diferentes recursos tecnológicos para determinar los elementos que logren dar solución al problema satisfaciendo conjuntamente las necesidades del departamento y de los colaboradores.
- Diseñar un prototipo para el control de solicitud de repuestos integrando los dispositivos previamente evaluados.
- Construir el sistema que fue diseñado para el control de entrega y registro de las solicitudes de repuestos en CR DCG.

- Fabricar una base de datos para acceder la información registrada de los repuestos solicitados por el usuario del sistema.
- Evaluar la puesta en marcha del dispositivo, funcionalidad de sus dispensadores, puertas y registro de las solicitudes de los usuarios.
- Analizar el costo – beneficio de la puesta en funcionamiento del proyecto de solicitud de repuestos.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

El proyecto propuesto para solucionar el problema que se tiene en CR DCG se enfoca en repuestos electrónicos, tales como tarjetas electrónicas y otros dispositivos como memorias RAM, discos duros (Hard Disk Drive, HDD), unidades de estado sólido (Solid State Drive, SSD), tarjetas de video, entre otros.

El proyecto podría ser modificado y ampliado para otras necesidades que se tienen en el departamento, por ejemplo inventario de alto valor al que solo debe tener acceso personal autorizado y que, en la actualidad, se encuentran con mecanismos de cierre mecánicos.

Para la puesta en marcha del proyecto, se tiene a disposición un gabinete metálico, al cual se le deben colocar puertas en acrílico, hacer modificaciones para hacer uso

de la máxima capacidad de espacio y diseñar piezas que serán elaboradas con la ayuda de impresoras en 3 dimensiones (3D).

Por tanto todas estas modificaciones al gabinete serán diseñadas pensando en las dimensiones de los repuestos mencionados en el párrafo anterior y en caso de querer usar el sistema para repuestos diferentes deberá tomarse las precauciones técnicas de caso.

En el sistema a desarrollar en este proyecto, será integrando un sistema donde el usuario debe hacer comprobación de credenciales, además se indicará la fecha y hora exacta de la solicitud de repuesto con el fin de capturar la información y que la persona encargada del inventario determine si es necesario hacer alguna solicitud de compra o evalúe cual repuesto tiene mayor consumo en determinada cantidad de tiempo.

Como parte complementaria de este proyecto se hará entrega de un manual con la información que el autor considere necesaria para el departamento. El documento contendrá la lista de todos los materiales utilizados y los modelos específicos.

También se incluirá explicaciones de la programación, esto con la finalidad que el encargado de inventario pueda hacer modificaciones a los accesos de los usuarios y también sea capaz de soportar el mantenimiento correctivo del sistema.

1.4.2 Limitaciones

El sistema por desarrollar constará de un registro de actividades de solicitud de repuestos por parte de los usuarios, información a la cual podrá accederse por medio de la red. Lo anterior tiene una fuerte dependencia de proveedores de servicios

externos, de la disponibilidad de sus servicios y del correcto uso que se tenga del usuario y la contraseña que serán configurados.

Así mismo, para acceder a la información, es necesaria una conexión a internet que debe proveer el departamento de Tecnologías de la Información de la empresa, la cual designará una cuenta para tener acceso a internet por medio de una red inalámbrica segura y estable.

Debido a la confiabilidad de la red que suministra energía eléctrica a CR DCG y por solicitud del encargado del departamento, este proyecto no contempla el diseño de ningún sistema de respaldo en caso de que sea interrumpido el fluido eléctrico de forma inesperada. Si esto sucediera, el programa deberá ser iniciado por el encargado del inventario pues es quien contará con el acceso protegido por contraseña, lo cual podría generar un atraso de doce horas en la atención de alguna asistencia técnica.

Al tener un presupuesto específico y limitado debe hacerse uso del mismo de una manera responsable y no serán instalados dispositivos que por la naturaleza de sus funciones puedan ser sustituidos por otros de menor costo, pero que cumplan con la función requerida; sin embargo el autor hará las recomendaciones correspondientes de cuáles pueden ser mejoras por tomar en cuenta para futuros proyectos.

En caso de que el sistema a implementar requiera monitor, teclado y mouse, se utilizará un dispositivo emulador, en el departamento se utilizan uno conocido como KVM (Keyboard Video Mouse) y será responsabilidad del departamento tener un canal dedicado para tener acceso remoto al sistema operativo que lo controle, vía por la cual

también se harán las consultas respectivas a la base de datos por parte del encargado de inventarios así como las modificaciones o ajustes al programa.

Es importante mencionar que el departamento asume la responsabilidad de conseguir todos los materiales necesarios para la implementación del sistema, y por el proceso de compra se pueden sufrir retrasos si los materiales necesarios no se consiguieran con un proveedor local.

Lo anterior tendría como resultado que el encargado del proyecto haga las conexiones y deje las previstas necesarias tanto en hardware como software, pero quedando demostrada la funcionabilidad del proyecto y adquiriendo el compromiso de instalar posteriormente los componentes faltantes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo describe los conceptos, característica e información de los dispositivos tecnológicos que serán integrados para lograr la automatización de entrega de repuestos y deducción de base de datos.

2.1.1 Microprocesadores.

Según la arquitectura de John Von Neumann en 1945, un computador consta de los componentes principales: procesador central, memoria central, unidades de entrada/salida, y la memoria externa (Viso & Peláez, 2007). El microprocesador es un circuito integrado formado por millones de transistores y su arquitectura interna está compuesta por: registros, unidad aritmético-lógica (Arithmetic Logic Unit, ALU), interconexiones del CPU (Central Process Unit, CPU) y unidad de control.

El microprocesador es la parte más importante del computador u ordenador y se encarga de resolver operaciones lógicas y aritméticas para la ejecución de un programa mediante un proceso llamado ciclo de instrucción, definido por la secuencia: búsqueda, decodificación y ejecución. Los programas son básicamente un conjunto ciclos de instrucciones, en un sistema de numeración binario, almacenados en una memoria. Los programas pueden ser tareas básicas o sistemas operativos

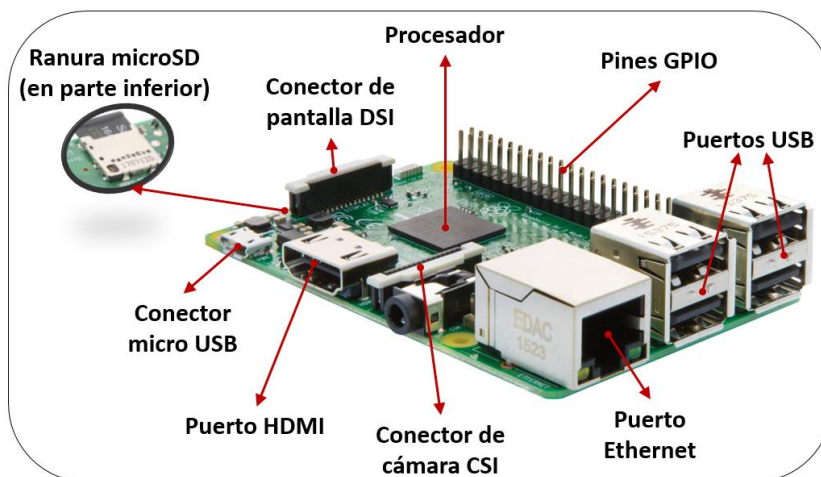
Dentro de los ordenadores modernos de bajo costo se encuentra el Raspberry Pi, desarrollado por una fundación de caridad llamada Raspberry Pi Foundation con sede en Reino Unido, y tiene como meta principal promover reforzar las habilidades informáticas en los niños (Cox & Lawrence, 2018).

Esta placa, es capaz de soportar la conexión de un monitor de computadora, teclado, mouse, unidad de almacenamiento, cámara y otros dispositivos por medio del puerto USB (Universal Serial Bus). Además, tiene la capacidad de ejecutar todo tipo de funciones que puede una computadora convencional, desde navegación por internet, juegos en línea, procesamiento de texto, hojas de cálculo, reproducción de vídeos en alta definición y juegos de vídeo. Sin embargo también provee la capacidad de promover y mejorar las habilidades de programación en lenguajes como Python y Scratch.

Raspberry PI utiliza software libre y de código abierto llamado Raspbian, el cual está optimizado para su hardware; es una distribución del sistema operativo GNU/Linux. Actualmente, existen dos versiones: Raspbian Pixel y Raspbian Lite. Para el proyecto se utilizará la versión Pixel, el cual es caracterizado por su sencillez y su moderna interfaz amigable con el usuario.

La tarjeta electrónica incluye los componentes de la arquitectura básica que definió Von Neumann: CPU, memoria RAM, puerto de interfaz multimedia en alta definición (High Definition Multimedia Interface, HDMI), unidad de procesamiento gráfico (Graphics Processing Unit, GPU), puertos USB, Ethernet, puertos de entrada y salida de propósito general (General Purpose Input/Output, GPIO). La *Figura 2* muestra la ubicación física de los componentes en la placa y los puertos mencionados anteriormente en una placa Raspberry PI (Raspberry Pi Foundation).

Figura 2. Raspberry PI 3 Modelo B.



Fuente: Elaboración propia del autor.

La Tabla 1 describe con detalles técnicos las características del modelo Raspberry Pi 3 Model B, el cual integra características que son compatibles con línea de desarrollo del sistema que desea implementarse en CR DCG. A continuación algunas de las características específicas de este modelo particular.

- Conectividad a la red inalámbrica (Wireless Fidelity, Wi-Fi).
- Protocolos de comunicación circuito inter-integrado (Inter Integrated Circuits, I²C).
- Puerto HDMI.
- Capacidad del procesamiento de datos del CPU.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del Raspberry PI 3B.

Especificaciones de Raspberry PI 3 Modelo B	
Procesador:	Broadcom BCM2837, 64 bit @ 1.2GHz.
Memoria:	SDRAM (1GB).
Conectividad:	<ul style="list-style-type: none"> ● 2.4 GHz y 5GHz LAN inalámbrico (IEEE 802.11.b/g/n/ac). ● Bluetooth 4.2 BLE. ● Gigabit Ethernet sobre USB 2.0. ● 4 puertos USB 2.0.
Entradas/Salidas:	40 pines GPIO.
Audio y Vídeo:	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 puerto HDMI. ● Puerto de cámara CSI. ● Puerto de monitor DSI.
Almacenamiento:	Puerto Micro SD.
Potencia de entrada:	5V / 2.5 A (micro USB).

Fuente: Elaboración propia del autor.

2.1.2 Protocolo I²C

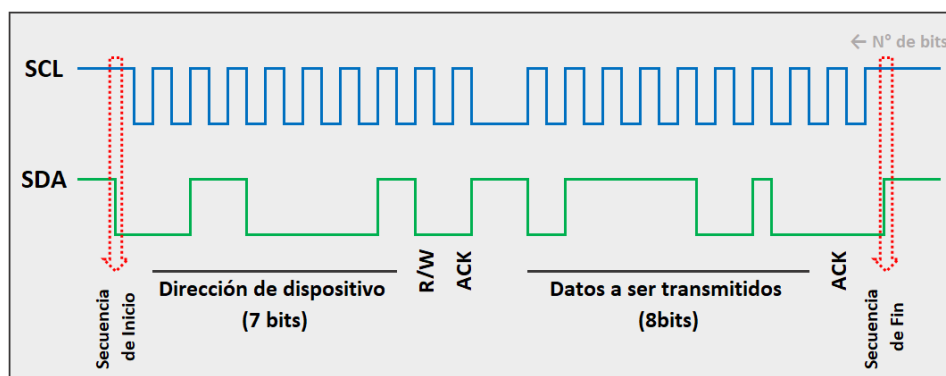
Es un sistema de interconexión desarrollado por la compañía tecnológica Philips hace más de treinta y cinco años, que busca simplificar el intercambio de datos entre el CPU y los dispositivos periféricos. En la actualidad, está destinado a permitir que múltiples circuitos catalogados como esclavos se comuniquen con uno o más circuitos maestros usando solo dos líneas de interconexión y logrando una tasa estándar de transferencia de información de 100 Kbps (Grupo de Robótica Educativa UAH).

Para lograr una mejor comprensión de este protocolo es importante explicar los siguientes conceptos:

- Maestro: dispositivo encargado de iniciar y terminar transferencia, generar señales por medio de la línea serial de reloj (Serial Clock, SCL) y, además, transferir datos por la línea serial de datos (Serial Data, SDA).
- Esclavo: dispositivo direccionado por un maestro.
- SDA: línea dedicada a la transmisión de datos entre maestro y esclavos.
- SCL: línea dedicada para transmisión de señales del reloj entre maestro y esclavos.
- Bus inactivo: tanto SDA como SCL se encuentran inactivas, ambas con estado lógico alto.
- Secuencia de inicio: Condición creada por el maestro para el inicio de transmisión de datos. Se logra haciendo que la SDA cambie a un estado lógico bajo mientras que la línea de reloj se mantiene en un estado lógico alto, tal y como lo muestra la Figura 3.
- Secuencia de fin: al igual que la secuencia de inicio, es una condición generada por el maestro para culminar la transmisión de datos. Para que ocurra la SDA debe cambiar a un estado lógico alto, mientras que la SCL se encuentra en alto (ver Figura 3).
- ACK (Acknowledgement): es una señal de reconocimiento, un nivel lógico bajo en SDA durante el noveno pulso de SCL indicando que ha recibido el dato.

- Lectura/Escritura (Read/Write, R/W): es el bit menos significativo del byte de dirección, si el estado lógico es bajo el maestro escribirá información en el esclavo, caso contrario la leerá.

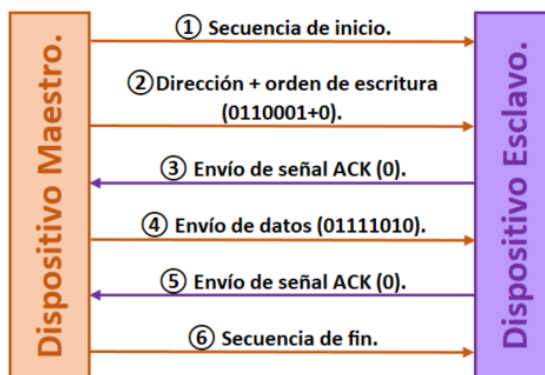
Figura 3. Comportamiento de SCL y SDA durante una transmisión.



Fuente: Elaboración propia del autor.

El envío de la información consta de dos datos de ocho bits cada uno, el primero contiene 7 bits con la dirección del dispositivo esclavo más un bit que declara la condición de lectura o escritura, la dirección está dada por el fabricante del dispositivo y, en algunos casos, puede ser modificada. El segundo dato contiene la información que se desea transmitir. Para visualizar el proceso completo de intercambio de información y basado en los datos mostrados en la figura anterior, se desarrolla la Figura 4 con el detalle de las funciones que ejecutan tanto el maestro como el esclavo (Grupo de Robótica Educativa UAH).

Figura 4. Pasos de intercambio de información en I²C.



Fuente: Elaboración propia del autor.

2.1.3 Wi-Fi.

Es una tecnología de radiotransmisión basada en un conjunto de estándares para permitir las comunicaciones seguras y a alta velocidad entre una amplia variedad de dispositivos digitales. Los dispositivos pueden establecer comunicación a distintas distancias, puede ser segura o abierta y hasta de acceso libre. Dada su facilidad de operación es una tecnología de uso común en los dispositivos populares.

La tecnología Wi-Fi es usada para conectar dispositivos a un enrutador (router) o a algún otro punto de acceso, y éste último proveerá la conexión directa a internet o alguna LAN. Wi-Fi usa ondas de radio para la transmitir información entre dos o más dispositivos a frecuencias específicas definidas en un estándar, las más comunes son 2.4 GHz y 5GHz (Digital Trends).

Cada una de las frecuencias tiene un número de canales, en los cuales los dispositivos inalámbricos pueden operar, esto con el fin de evitar interrupciones por tráfico de datos en la red. Típicamente la distancia máxima de conexión es 100 metros,

sin embargo es común usar un rango de 10-35 metros debido a que paredes y otros materiales debilitan la señal (Digital Trends). Conforme sea más alta la frecuencia de operación, los rangos de distancia efectivos son más cortos.

Los estándares IEEE 802.11 determinan las especificaciones técnicas de rendimiento, alcance inalámbrico y frecuencias de operación. Los estándares incluyen una familia de especificaciones que comenzó en la década de 1990 y continúa creciendo en la actualidad. La Tabla 2 muestra los cuatro estándares compatibles con Raspberry Pi 3 Modelo B.

Tabla 2. Estándares IEEE 802.11.

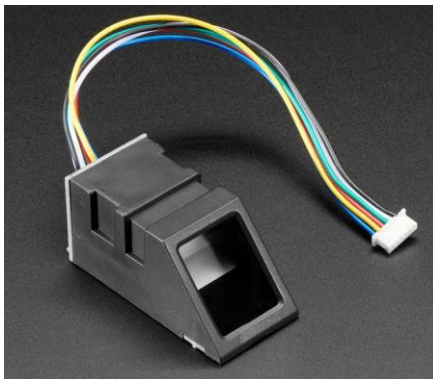
Estándar	Año de aprobación	Velocidad máxima de transmisión	Banda de Frecuencia	Ancho de Banda	Rango de Operación (interiores)
IEEE 802.11b	1999	11 Mbps	2,4 GHz	20 MHz	35 m
IEEE 802.11g	2003	54 Mbps	2,4 GHz	20 MHz	38 m
IEEE 802.11n	2009	600 Mbps	2,4 / 5 GHz	20 / 40 MHz	70 m
IEEE 802.11ac	2013	7 000 Mbps	5 GHz	20 / 40 / 80 / 160 MHz	100 m

Fuente: Elaboración propia del autor.

2.1.4 Sensor huella digital.

Este sensor es el encargado de comprobar las credenciales que tienen los usuarios del proyecto mediante la detección y verificación de la característica biométrica. Previamente se debe guardar las huellas dactilares en una memoria interna, se les asigna un número de identificación y posteriormente se inicia una secuencia de lectura y comparación de las imágenes registradas para ejecutar acciones basadas en el resultado del programa creado (Adafruit). La Figura 5 muestra el aspecto físico del módulo que será implementado.

Figura 5. Sensor de huella digital.



Fuente: <https://www.adafruit.com/product/751>

Este módulo hace el proceso de verificación de la huella dactilar por medio de un procesador digital de señales (Digital Signal Processor, DSP), el cual posee un conjunto de instrucciones para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad. Otras características técnicas relevantes del sensor son:

- Capacidad de almacenamiento de 162 huellas en una memoria integrada.

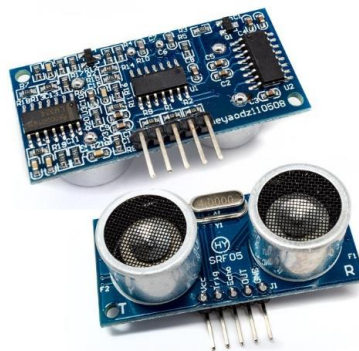
- Los valores de potencia de operación son: 3, 6 VDC – 6 VDC / 150 mA.
- El tiempo de reconocimiento de imagen es menor a un segundo.
- Posee un LED para indicar el momento de toma de imágenes en busca de huellas dactilares.
- Utiliza únicamente cuatro líneas de conexión eléctrica con el dispositivo que lo gobierna: V_{CC} , GND, transmisión (Tx) y recepción (Rx).

2.1.5 Sensor de distancia ultrasónico.

Para el proyecto se usará el modelo HC-SR05, este modelo es capaz de detectar objetos y medir la distancia a la que se encuentra, en un rango de distancia limitado. Su funcionamiento en resumen es enviar impulsos ultrasónicos inaudibles hasta que alcancen un obstáculo, el reflejo del sonido sea captado por un receptor incorporado del módulo y la electrónica integrada, en conjunto con la programación, se encarga de dar un valor de medición.

El sensor de distancia ultrasónico posee unos dispositivos de aspecto cilíndrico, como lo muestra la Figura 6, uno de ellos es un transmisor y uno receptor de ondas. El pin llamado TRIGGER da un pulso de 10 μ s, es el tiempo suficiente del envío del pulso sónico de 8 ciclos (a 40 KHz), posteriormente el pin ECHO espera el rebote de las ondas emitidas. Luego el dispositivo de control, mediante una programación en lenguaje informático, hace el cálculo matemático de las ondas sonoras, tomando en cuenta variables como la velocidad del sonido, tiempo de viaje de las ondas tanto de ida al objeto como de regreso.

Figura 6. Sensor de distancia ultrasónico, modelo HC-SR05.



Fuente: <https://www.crcibernetica.com/hc-sr05-ultrasonic-distance-sensor/>

Las características técnicas más relevantes del HC-SR05 para la implementación de este proyecto son las siguientes:

- Valores de operación: 5 V_{DC} / 2 mA, lo cual lo hace ideal para operar con el Raspberry PI 3B.
- Frecuencia de sonido emitido 40 KHz, lo cual lo hace inaudible para el ser humano que tiene capacidad para escuchar entre 20 Hz – 20 KHz.
- El rango de distancias es de 2 cm – 4.5 m, con un ángulo de medición aproximado de 15°.
- La resolución o precisión de la medida es 0.3 cm.
- Aunque el módulo tiene un conector de 5 pines, solo se usan 4: V_{CC}, GND, Trigger y Echo.

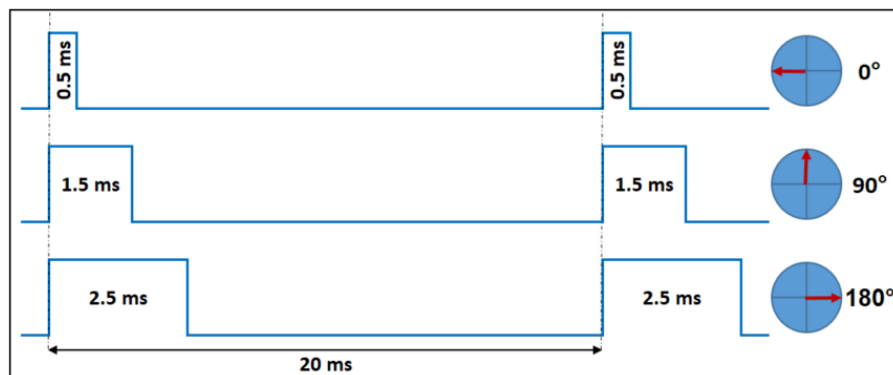
2.1.6 Servomotores

Son dispositivos electromecánicos que están conformados por cuatro partes principales:

- Motor eléctrico: brinda movilidad al servomotor, según se polarice la conexión así será el sentido del giro.
- Engranajes: encargados de reducir la velocidad de giro del motor pero incrementando la capacidad de torque.
- Tarjeta de control: placa electrónica que mediante la retroalimentación reduce el error de posición.
- Terminales de conexión: cuentan con tres cables, dos de ellos son para alimentación y el tercero es para control.

El servomotor logra ubicarse en cualquier posición angular dentro de su rango de operación, generalmente son diseñados para operar en un rango de 180° . La posición angular la determina la señal de control está definida por modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation, PWM). La mayoría de los servomotores trabajan con frecuencia de 50 Hz (20 ms). La Figura 7 muestra como varía la posición angular de un servomotor según se modifique el ancho de pulso en la señal de control (Corona, Abarca & Mares, 2014).

Figura 7. Modulación por ancho de pulso en un servomotor.



Fuente: Elaboración propia del autor.

2.1.7 Relevadores

Son dispositivos electromecánicos que se comporta como un interruptor y puede ser controlado eléctricamente. Su funcionamiento está basado en el fenómeno electromagnético, cuando se energiza una bobina induce un campo magnético haciendo que el núcleo de hierro actúe como un electroimán que atrae un balancín. El movimiento del balancín es el que hace el trabajo de interruptor, abre o cierra un circuito, según sea configurado. Las configuraciones son normalmente abiertas (Normally Open, NO) y normalmente cerradas (Normally Closed, NC).

Los relevadores tienen como gran ventaja la completa separación eléctrica entre la etapa de control y la etapa de potencia. Por tanto con pequeñas tensiones de control se pueden manejar altos voltajes o en su defecto elevadas potencias; es por esto que son utilizados como sistemas de control de cargas inductivas o cargas resistivas. En este proyecto, los relevadores serán utilizados como sistemas de control de una cerradura electromagnética (carga inductiva).

Para poder operar correctamente, las cerraduras electromagnéticas mencionadas en el párrafo anterior requieren 12 V_{CD} y 2 A, estos valores no pueden ser entregados directamente por el Raspberry Pi, sin embargo si es capaz de entregar el pulso para la etapa de control. Con respecto a la etapa de potencia, se instalará una fuente de poder externa que cumpla con los requerimientos de las cerraduras y una configuración normalmente abierta.

Los relevadores por utilizar en este proyecto son placas modulares diseñadas para trabajar con microprocesadores, estas placas son de cuatro y ocho canales. La ventaja

de estos módulos es que la activación de la bobina del relevador solo requiere 5 V_{CD} y 20 mA., mientras que la etapa de potencia máxima para corriente directa es 30 V_{CD} y 10 A. La Figura 8 muestra uno de los módulos de relevadores que se instalarán en el proyecto, existen en el mercado de cuatro, ocho y dieciséis canales.

Figura 8. Módulo de relevadores de 4 canales.



Fuente: Elaboración propia del autor.

2.1.8 Pantalla de Cristal Líquido

Ampliamente conocido como pantalla de cristal líquido (Liquid Crystal Display, LCD). Utilizando las propiedades de la luz polarizada y filtros, el LCD convierte las señales eléctricas provenientes del microcontrolador u ordenador, en caracteres que sean entendible para un usuario, según determine el autor del código programable. Se puede visualizar datos de sensores o de carácter informativo.

Figura 9. Pantalla de cristal líquido.



Fuente: <https://www.crcibernetica.com/20x4-lcd-with-i2c-blue/>

Para el proyecto se usará un LCD de 20 x 4, lo que indica es que se puede mostrar 20 columnas y 4 filas de caracteres, lo cual es suficientemente amplio para desplegar información y directrices del programa dirigidas al usuario del sistema. Dentro de sus características más relevantes es que opera con 5 VDC, su compatibilidad con I²C y además tiene ajuste de contraste, para mejorar la visibilidad según el lugar físico donde se ubique. En la Figura 9 se ejemplifica la capacidad de texto que tiene el LCD a utilizar en el sistema para CR DCG.

2.1.9 Teclado matricial

Se usará un teclado de 3 x 4, estilo telefónico de 3 filas y 4 columnas. Cada botón trabaja como un pulsador cerrando el contacto que se cruza entre fila y columna, lo cual será interpretado por el programa que lo ejecute. Por ser este dispositivo un teclado matricial, solo requiere de 7 terminales, una por cada columna y una por cada fila, lo anterior tiene como gran ventaja el no utilizar un GPIO por cada pulsador.

La Figura 10 muestra el teclado que se usará para el proyecto, se utilizará para seleccionar el código del repuesto deseado; también es importante destacar que

aunque en la imagen se puede ver 9 terminales de conexión, las dos ubicadas en los extremos (izquierda y derecha) no tienen ninguna conexión con algún circuito interno del dispositivo y por tanto no serán utilizadas.

Figura 10. Teclado matricial 3 x 4.



Fuente: <https://www.crcibernetica.com/keypad-12-button/>

2.1.11 Fuente de alimentación

Es utilizado para alimentar circuitos electrónicos que no pueden ser conectados directamente a la red eléctrica convencional 110 V / 220 V. El proceso inicia con un transformador para reducir la tensión eléctrica de la red, luego se rectifica la señal para obtener semiciclos de la misma polaridad y posteriormente filtra la señal para obtener una señal de corriente directa lo más definida y estable posible.

Para el proyecto se necesita una fuente de alimentación de 12 V_{DC} y 2 A, esto para poder operar la apertura de las cerraduras electromagnéticas que serán instaladas en el gabinete, pues el Raspberry Pi no es capaz de entregar el voltaje ni la corriente requerida por estos dispositivos de cierre.

2.1.12 Cortadora de Acrílico

En el proyecto deben crearse las puertas del gabinete y para duplicar la capacidad de almacenaje, deben crearse bases en acrílico. Según sean programados los parámetros del software, el rayo incidente sobre la superficie puede cortar, grabar o marcar, como lo muestra la Figura 11.

Figura 11. Marcado, Grabado y Corte con láser.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Un rayo láser es una amplificación de luz por emisión estimulada de radiación (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, LÁSER). Un corte caliente es capaz de derretirlo o vaporizarlo generando el corte de la pieza. Láser es un proceso de separación térmica, cuando el rayo influye sobre el material y dadas las características del rayo, puede cortarse con precisión figuras geométricas de cualquier forma y no hay necesidad de procedimientos posteriores como lijado de bordes.

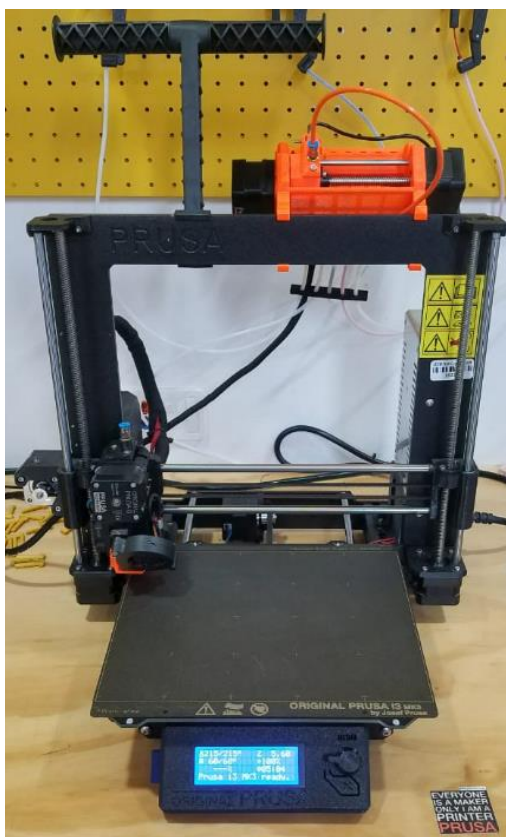
2.1.13 Impresora 3D.

Dispositivo con la capacidad de crear cuerpos tridimensionales mediante el proceso de adición de capas de un filamento. Es posible reproducir o fabricar un objeto sólido

y resistente sin necesidad de un molde físico. Las impresoras más económicas y populares del mercado utilizan el ácido poliláctico (Polylactic Acid, PLA) en filamentos termoplásticos (Tecnología & Informática). Es necesario diseñar en un software de modelado en 3D.

Para el proyecto deben diseñarse unas bases para adaptar las cerraduras electromagnéticas al gabinete. Se utilizará una impresora PRUSA i3 MK3S, la cual se muestra en la Figura 12, y el filamento por utilizar es el PLA.

Figura 12. Impresora 3D.



Fuente: Elaboración propia del autor.

2.1.14 Base de datos

Es un conjunto de información que se encuentra agrupada o estructurada, para que puedan ser recolectados y accedidos por los usuarios y sistemas de información de un departamento. Las bases de datos se componen de tablas que almacenan los datos, compuestas por filas y columnas. Las columnas guardan la información sobre cada elemento que desea guardarse en la tabla y cada fila conforma un registro (Pérez, 2007).

Las bases de datos son el producto de la necesidad del ser humano de preservar la información para poder accederla cuando lo requiera. Los Sistemas de Gestión de Bases de Datos (Database Management Systems, DBMS) son los encargados del manejo de la información, permitiendo el almacenamiento de forma ordenada y la rápida recuperación de la información. Un ejemplo de una base de datos es el registro de las transacciones realizadas con una tarjeta de crédito, las cuales crean registros que se almacenan en la base de datos del proveedor de servicios bancarios.

Para acceder a la información que se colecte del sistema, va a crearse un servidor web, esto para facilitar el trabajo de inventario al administrador de inventarios y existen sistemas de código libre que permiten desarrollar el sistema de consulta sin tener que hacer pagos por licencias. Esto es posible con el aprovechamiento de la capacidad de procesamiento del microprocesador a utilizar, además su compatibilidad con bases de datos robustas como MySQL.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se puede decir que “la investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (Tamayo, 2003, p.37). Basado en lo anterior se entiende que la investigación de este proyecto está basada en el método científico, para obtener suficiente información y brindar soluciones reales y eficientes que logren automatizar el proceso de solicitud de repuestos y se reduzca el tiempo que se invierte en hacer inventario mensualmente.

3.1.1 Finalidad

Existen múltiples clasificaciones para las investigaciones, aunque no existe ninguna clasificación rigurosa y que cada autor está en la libertad de clasificar su investigación, según su propio criterio, se sugiere una propuesta de clasificación basada en formas y niveles (Muñoz, 2011). Haciendo una clasificación de acuerdo con el origen de la investigación, se tienen cinco tipos de tesis diferentes.

El primer tipo de tesis es de investigación básica. Muñoz (2011) afirma: “Su finalidad es tratar de analizar y explicar hechos, generar conocimiento para desarrollar nuevas teorías, reforzar, rechazar o modificar teorías ya existentes, y así incrementar los conocimientos científicos o filosóficos sin tratar de contrastarlos con algún aspecto práctico” (p.25). Su único propósito es desarrollar conocimiento científico pero sin fines de lucro.

En la lista de clasificación según el origen, el segundo tipo de tesis es la investigación tecnológica.

Las tesis de investigación tecnológica aplican un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, que sirven para diseñar y construir objetos que ayudarán a satisfacer las necesidades o los deseos de la sociedad. Su propósito final es la mejora de la calidad de vida, la comodidad y el bienestar de la sociedad, por conducto de la innovación tecnológica, la ciencia aplicada y las disciplinas de ingeniería y las áreas similares. (Muñoz, 2011, p.26)

El tercer tipo de tesis es denominado investigación aplicada. En su libro Muñoz (2011) dice: “Se caracteriza por aplicar los conocimientos que surgen de la investigación pura para resolver problemas de carácter práctico, empírico y tecnológico para el avance y beneficio de los sectores productivos de bienes y servicios de la sociedad” (p.26).

La tesis de investigación educativa es el número cuatro de la lista. Muñoz (2011) la define como:

La investigación educativa es el conjunto de actividades profesionales que realiza un grupo colegiado de investigadores, docentes, pasantes, estudiantes y especialistas en diversas áreas y campos temáticos de una comunidad académica para estudiar objetos y fenómenos relacionados con el campo de la educación. (p.26)

Como número cinco y final de la clasificación de acuerdo con el origen de la investigación, se explica la tesis de investigación de caso práctico.

Las tesis identificadas como investigación de caso práctico serán los trabajos de investigación en los que el estudiante que la realiza, propone el estudio, análisis y desarrollo de una práctica o caso real, generalmente relacionado con su práctica profesional. Para ello, se apoya en los métodos, procedimientos e instrumentos formales de una metodología de investigación específica dentro de su disciplina, para plantear la problemática, recopilar y analizar la información, y presentar las conclusiones, corroboradas dentro de un ambiente real de trabajo, el de su tesis. Con ello, el autor de la tesis también intenta comprobar la aplicabilidad de sus estudios en un campo específico. (Muñoz, 2011, p.27)

Con base en las citas anteriores, se concluye que esta investigación tiene una finalidad de caso práctico, pues se presenta un caso real que surge de un problema cotidiano en el departamento CR DCG; además el autor de la investigación plantea formalmente la problemática y presentará las respectivas conclusiones dentro del ambiente real del trabajo.

3.1.2 Dimensión temporal

En la investigación no experimental (el investigador no manipula las variables que desea estudiar) se puede clasificar según el número de momentos o puntos en el tiempo en el cual se recolectan los datos; por tanto los diseños no experimentales se clasifican como transeccionales o longitudinales (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

La investigación transeccional también es conocida como transversal. “Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” (Hernández *et al.*, 2014, p. 154). Es un momento único de una situación que se presentó y se hizo la toma de datos en ese momento específicamente.

En contraparte, la investigación longitudinal o evolutiva colecta información de las variables a investigar a través del paso del tiempo. Hernández *et al.* (2014) expone: “Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano” (p.159).

Haciendo un análisis de ambas clasificaciones expuestas, se determina que la dimensión temporal de esta investigación es evolutiva, pues se hizo una toma de datos de las variables de la problemática durante meses anteriores al inicio del proyecto y además se continuará con la recolección de información durante el segundo semestre del 2019.

3.1.3 Marco de la investigación

El marco de la investigación puede ser de tres diferentes tipos: mega, macro y micro, se clasifica según el alcance e impacto en el medio en el cual sea desarrollado.

El marco mega de una investigación abarca a todas las empresas de medios similares donde se ejecute la investigación. El marco macro apunta a la empresa o institución en la cual se hará la investigación, incluyendo todos los diferentes

departamentos en los cuales se subdivide. Y, por último, el marco micro contempla un área o departamento de la empresa, abarcando un proceso específico.

La investigación del presente proyecto se establece como nivel micro, pues solo impactará al departamento CR DCG, su proceso de solicitud de repuestos y concierne tan solo a los pocos colaboradores que posee el departamento.

3.1.4 Naturaleza.

Las investigaciones se pueden clasificar de acuerdo con su enfoque, establecida por la necesidad de relacionar el trabajo con la información que se obtuvo para la investigación (Muñoz, 2011). La naturaleza de la investigación puede ser cualitativa o cuantitativa.

En la investigación de naturaleza cuantitativa tiene características medibles y numéricas. “Se parte de una premisa: la investigación cuantitativa es seria y elegante; los datos cuantitativos permiten hacer tablas y gráficas que ilustran adecuadamente un fenómeno” (del Cid, Méndez y Sandoval, 2011, p.23). Las bases de las diferentes ramas de la ingeniería se han construido cuantificando datos.

El trabajo con este tipo de investigación requiere de un método formal (método científico de investigación) que se inicia con el planteamiento de un problema de estudio delimitado y concreto, apoyado en un marco teórico que sirve de referencia para plantear una hipótesis (el supuesto a demostrar). (Muñoz, 2011, p.21)

En contraparte, la investigación con enfoque cualitativo no busca la cuantificación de la información sino la comprensión de fenómenos o comportamientos. Con la intención de explicar el enfoque cualitativo, Muñoz (2011) afirma:

Tesis cuya investigación se fundamenta más en estudios descriptivos, interpretativos e inductivos, los cuales se utilizan para analizar una realidad social al amparo de un enfoque subjetivo. Su objetivo es explorar, entender, interpretar y describir el comportamiento de la realidad en estudio, no necesariamente para comprobarla. No incluye datos numéricos, ya que se detiene a analizar puntos de vista, emociones, experiencias y otros aspectos no cuantificables. (p.22)

Este proyecto enfoca su investigación de forma cuantitativa, pues se plantea un problema con datos numéricos, se trabajará con lenguajes de programación basados en fórmulas y cálculos matemáticos; además al finalizar se hará un análisis de datos del funcionamiento del sistema y su respectiva viabilidad.

3.1.5 Carácter

El carácter o alcance de la investigación ayuda al autor a plantear el problema, elegir métodos de investigación, en el análisis e interpretación de toda la información para formular las conclusiones. Existen investigaciones con carácter: explicativo, descriptivo, narrativo, documental, experimental, exploratorio, confrontativo, interpretativo y argumentativo (Muñoz, 2011). De los nueve alcances mencionados, es importante profundizar en la investigación de carácter experimental.

El objetivo de estas tesis es reproducir un fenómeno dentro de un ambiente específico de pruebas e ir modificando diferentes elementos para observar qué sucede con el fenómeno. Desde luego, todo esto se realiza mediante un método formal de investigación con manipulación de variables experimentales en condiciones rigurosamente controladas para simular las posibles condiciones a las que se enfrentará el objeto de estudio. A estos experimentos también se les denomina pruebas de laboratorio, pruebas controladas o experimentaciones. A partir de los resultados obtenidos en cada observación se obtiene la información valiosa para elaborar la tesis. (Muñoz, 2011, p.23)

El trabajo de investigación en el departamento CR DCG cumple con características de carácter experimental. Se debe estudiar, desarrollar e implementar un sistema con componentes electrónicos y mecánicos con los cuales se deben hacer pruebas y simulaciones para alcanzar resultados que puedan brindar solución a la problemática planteada.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Basándose en los objetivos planteados para la investigación, se debe analizar el tipo de información que se desea obtener. Las fuentes de información pueden ser personas o documentos, y debe saberse determinar cómo encontrarlos.

3.2.1 Fuentes primarias

Según Cid *et al.* (2011): “Las fuentes primarias de información son las que proporcionan información de primera mano, son fuentes directas” (p.84).

Basado la declaración anterior, este proyecto busca la información de primera mano en libros y manuales técnicos, además se complementará haciendo entrevistas al personal del departamento donde se desea implementar una mejora al sistema actual.

3.2.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias según Cid *et al.* (2011): “...se refieren a información obtenida de datos generados con anterioridad, es decir, no se llega directamente a los hechos, sino que se les estudia por medio través de lo que otros han escrito” (p. 86). Por tanto información obtenida de investigaciones publicadas en revistas, libros, documentales e Internet son consideradas como fuentes secundarias y el autor de una investigación puede aprovecharlas, pero tiene la responsabilidad de evaluar la veracidad de estas.

3.2.3 Sujetos de información

De acuerdo con Cid *et al.* (2011): “Cuando las fuentes de información son personas se les llama sujetos de investigación” (p.85).

La Tabla 3 muestra cuales son los sujetos de información del departamento CR DCG y su relación con la investigación. Todos ellos aportarán información relevante para dar la mejor solución al problema planteado.

Tabla 3. Sujetos de Información.

Puesto Laboral	Cargo en el departamento	Actividades relacionadas con el tema de investigación
Técnico Electrónico	Coordinador de Área	<ul style="list-style-type: none"> ● Solicitar aprobación de presupuesto para realizar compras de repuestos. ● Cotizar y comprar los repuestos requeridos por el personal técnico.
Técnico Electrónico	Control de Inventarios	<ul style="list-style-type: none"> ● Asegurar que existan cantidades de repuestos necesarias según la demanda. ● Verificar que las cantidades físicas coincidan con las cantidades de repuestos del sistema. ● Informar al coordinador cuando se requiera hacer compras por desabastecimiento.
Técnico Electrónico	Otros cargos	<ul style="list-style-type: none"> ● Solicitar los repuestos según las necesidades del ingeniero.

Fuente: Elaboración propia del autor.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

Los instrumentos de investigación son todas las técnicas y herramientas de las que dispone el autor de una investigación para obtener datos que requiera para su investigación, aplicando la observación, experimentación y, en algunos casos, ambas.

3.3.1 Observación

Para poner en práctica esta técnica el investigador debe acercarse al lugar en el cual se encuentra la problemática, inclusive podría participar de la actividad en estudio. Esta técnica es definida por Arias (2012) como:

La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos. (p.69)

También Muñoz (2011) tiene su propia definición: “Es la obtención de información a partir de un seguimiento sistemático del hecho o fenómeno en estudio, dentro de su propio medio, con la finalidad de identificar y estudiar su conducta y características” (p.119).

3.3.2 Entrevista.

Esta técnica se usa como complemento de la observación. La entrevista indaga en detalles más profundos que otras técnicas, pues permite al entrevistado expresar la información que considera importante para la investigación. Para Arias (2012): “...es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida” (p.73).

3.3.2 Experimentación

Es el estudio de un fenómeno sometido a condiciones especiales conforme a las necesidades del investigador. Durante la experimentación, el fenómeno bajo estudio es susceptible de sufrir modificaciones en sus variables, con el propósito de estudiar sus conductas, comportamientos y características. (Muñoz, 2011, p.119)

3.4 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Son todas aquellas características propensas a sufrir cambios. Las variables de investigación se encuentran implícitas en la pregunta generada en el planteamiento del problema. Una definición más amplia la aporta Muñoz (2011), quien define:

Junto con la formulación de la hipótesis también se establecen las variables de estudio, que propiamente son aquellos fenómenos, características, cualidades, atributos, rasgos o propiedades que se estudian y cuya variación es susceptible de medición, en tanto que adoptan diferentes valores, magnitudes o intensidades. Sin embargo, también existen cualidades y atributos de difícil medición, que no por ello deben dejar de considerarse como variables en el estudio. (p.80)

Las variables toman mayor valor cuando pueden relacionarse con otras variables (Hernández *et al.*, 2014). Con la intención de facilitar la relación de las variables de estudio con los objetivos específicos planteados para la elaboración del presente proyecto, se crea la *Tabla 4*.

Tabla 4. Variables de la investigación.

Objetivo Específico	Variable	Definición
Identificar las necesidades del CR DCG en cuanto al control de los repuestos y dispositivos periféricos que se tienen bajo inventario.	Necesidades de control.	Elementos a considerar para mejorar el control actual.
Estudiar los diferentes recursos tecnológicos para determinar los elementos que logren dar solución al problema satisfaciendo conjuntamente las necesidades del departamento y de los colaboradores.	Diferentes tecnologías disponibles.	La escogencia de los mejores recursos para desarrollar el proyecto.
Diseñar un prototipo para el control de solicitud de repuestos integrando los dispositivos previamente evaluados.	Diseño del prototipo.	Confección de un modelo físico del sistema a ser implementado.
Construir el sistema que fue diseñado para el control de entrega y registro de las solicitudes de repuestos en CR DCG.	Construcción del sistema de control.	Elaboración física del dispositivo a implementar.
Fabricar una base de datos para acceder la información registrada de los repuestos solicitados por el usuario del sistema.	Confección de base de datos.	Gestar un sistema que colecte la información de las solicitudes de repuestos.
Evaluar la puesta en marcha del dispositivo, funcionalidad de sus dispensadores, puertas y registro de las solicitudes de los usuarios.	Funcionamiento del proyecto.	Valoración del funcionamiento de los dispositivos implementados.
Analizar el costo – beneficio de la puesta en funcionamiento del proyecto de solicitud de repuestos.	Viabilidad del proyecto.	Balance de la factibilidad de la implementación del sistema.

Fuente: Elaboración propia del autor.

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es el plan que desea ejecutarse para poder responder la pregunta del problema planteado, basado en toda la información obtenida y documentada anteriormente mediante la definición de los objetivos, alcances, limitaciones y variables de la investigación. Para Niño (2011):

... el diseño se puede interpretar de una de las dos maneras: en un sentido amplio, y en un sentido específico. En el sentido amplio, diseño equivale a la concepción de un plan que cubra *todo el proceso de investigación*, en sus diversas etapas y actividades comprendidas, desde que se delimita el tema y se formula el problema hasta cuando se determinan las técnicas, instrumentos y criterios de análisis...
(p.53)

Por tanto para tener una visualización completa del diseño de la investigación se diseña la Tabla 5, la misma contiene la información relevante de cómo se desarrollará la estrategia, con el uso de métodos, técnicas y herramientas para alcanzar los objetivos previamente establecidos en el capítulo II de este trabajo escrito.

De manera paralela se crean líneas del tiempo, mostradas en la Figura 13, donde puede leerse de manera gráfica los cronogramas creados, con la información de la distribución del tiempo para las fases correspondientes del trabajo escrito, para el diseño del prototipo y también de la implementación física del sistema que brindará solución a la problemática planteada anteriormente en este trabajo escrito. Se adjunta el cronograma de trabajo en el Anexo 01.

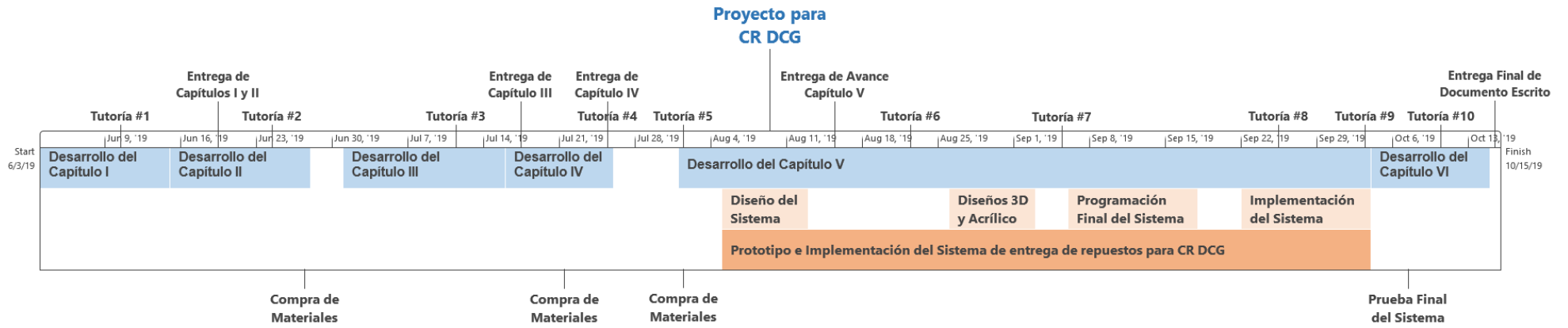
Tabla 5. Diseño de la investigación.

Pregunta de la Investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de Investigación	Técnicas y Herramientas
¿Cuál será la mejor manera de diseñar e implementar un sistema a partir de dispositivos electrónicos que sea capaz de automatizar y controlar el proceso de solicitud de repuestos y registrar la actividad en el departamento CR DCG de Intel durante el segundo semestre del 2019?	Desarrollar un sistema automatizado de solicitud de repuestos y dispositivos electrónicos periféricos mediante un control de apertura de puertas de gabinetes, dispensado electromecánico y registro de actividad para el departamento CR DCG de Intel para el segundo semestre del 2019.	Identificar las necesidades del CR DCG en cuanto al control de los repuestos y dispositivos periféricos que se tienen bajo inventario.	Necesidades de control.	Inductivo.	Observación. Entrevista.
		Estudiar los diferentes recursos tecnológicos para determinar los elementos que logren dar solución al problema satisfaciendo conjuntamente las necesidades del departamento y de los colaboradores.	Diferentes tecnologías disponibles.	Analítico.	Análisis. Entrevista. Experimentación.
		Diseñar un prototipo para el control de solicitud de repuestos integrando los dispositivos previamente evaluados.	Diseño del prototipo.	Experimental.	Experimentación.

Pregunta de la Investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de Investigación	Técnicas y Herramientas
		Construir el sistema que fue diseñado para el control de entrega y registro de las solicitudes de repuestos en CR DCG.	Construcción del sistema de control.	Experimental.	Experimentación.
		Fabricar una base de datos para acceder a la información registrada de los repuestos solicitados por el usuario del sistema.	Confección de base de datos	Experimental.	Experimentación.
		Evaluar la puesta en marcha del dispositivo, funcionabilidad de sus dispensadores, puertas y registro de las solicitudes de los usuarios	Funcionamiento del proyecto.	Experimental.	Experimentación.
		Analizar el costo – beneficio de la puesta en funcionamiento del proyecto de solicitud de repuestos.	Viabilidad del proyecto.	Sintético.	Síntesis.

Fuente: Elaboración propia del autor.

Figura 13. Diagramas de cronograma del Proyecto.



Fuente: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACION ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

Actualmente CR DCG trabaja bajo la modalidad de solicitud de asistencias técnicas a las plataformas por medio de un sistema de tiquetes electrónicos, los cuales son creados por el ingeniero a cargo de la plataforma de prueba. Cada tiquete detalla la información de la plataforma y el repuesto que es necesario instalar.

Una vez el tiquete es aceptado por el técnico, se consulta un archivo de control de inventarios, mostrado en la Figura 14, para conocer la ubicación específica, características y cantidad física de los repuestos. En caso de tener en existencia el repuesto necesario, se procede a completar la información requerida para que la hoja de control haga el rebajo de las cantidades de inventario. Se captura el nombre del técnico que solicita el repuesto, la fecha y hora de dicha solicitud.

Figura 14. Hoja de control de repuestos.

The screenshot shows the 'Inventory Tracking' application interface. It features a dark blue background with white text and form elements. At the top left is the DCG logo (Data Center Group Costa Rica). The main title 'Inventory Tracking' is centered at the top. Below the title, there are several input fields: 'Date' (with a value of 7/17/2019 3:10), 'Name', 'Location', 'Code', 'QTY', and 'Comments'. To the right of these fields are several small icons representing different hardware components. In the bottom left, there is a 'Search for' section with a 'NO CHOICE' message and a magnifying glass icon. In the bottom center, there is a 'Qty to Return' field and a green 'RETURN TO STOCK' button. In the bottom right, there is a '2018' logo and a shopping cart icon. A 'NO IMAGE' placeholder is visible in the top right corner.

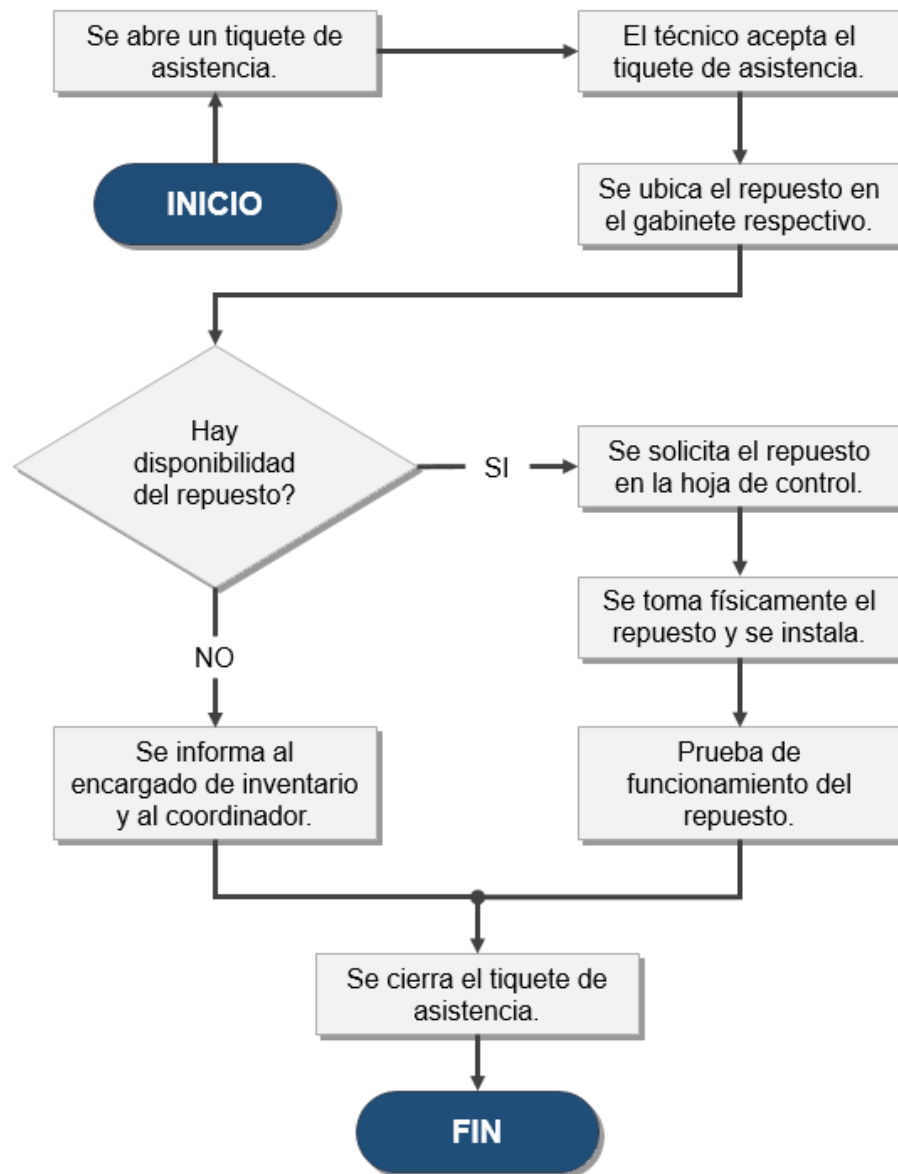
Fuente: Departamento CR DCG.

En caso de no tener cantidades solicitadas disponibles en el inventario, se debe informar tanto al encargado de repuestos como al coordinador del departamento, para que se proceda a hacer la solicitud a otro departamento o gestionar la compra.

Seguidamente el técnico toma físicamente el repuesto de uno de los múltiples gabinetes de almacenamiento, y procede con la instalación en la plataforma solicitada y una vez que hace las conexiones, configuraciones y pruebas respectivas; procede a cerrar el tiquete para de esta forma el ingeniero tenga conocimiento del trabajo realizado.

Todo el proceso que se ha descrito en los párrafos anteriores se plasma en la Figura 15 mediante un diagrama de flujo.

Figura 15. Diagrama de flujo del proceso actual.



Fuente: Elaboración propia del autor.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.2.1 Observación

Para sacar provecho a la herramienta de observación, se crea una ficha de observación para tomar nota de las distintas variables que inciden en que el proceso de solicitud de repuestos actual sea deficiente en el departamento CR DCG, el documento se encuentra en el Anexo 2 de este trabajo escrito.

Dentro de las variables importantes se encuentra que la distancia entre la estación de trabajo del técnico y los gabinetes de almacenamiento de los repuestos es 30 metros. El técnico no tiene certeza si físicamente el repuesto con las características requeridas está físicamente disponible en el gabinete, por tanto inicialmente se dirige hasta la zona de almacenamiento de repuestos, verifica la existencia de los mismos, los toma y los instala en la plataforma en asistencia. Posterior a la asistencia, se dirige a su estación de trabajo para hacer el rebajo del repuesto en la hoja de control actual, y este último paso es el paso que puede omitir pues tiene otros procesos en espera.

Además se nota que los repuestos están almacenados en más de un gabinete, por lo que es necesario hacer una ubicación previa de los repuestos para no tener que abrir el candado de cada uno de los gabinetes. El departamento si cuenta con buena rotulación para encontrar el repuesto, pero la ubicación solo la obtiene haciendo uso de la hoja de control existente. Importante hay que recalcar que todo el personal tiene acceso físico a la totalidad de los repuestos, por tanto completar la hoja de control resulta más una formalidad que un deber.

Una asistencia a la plataforma generalmente excede una hora de tiempo pues aparte de la instalación del repuesto, se deben hacer pruebas de funcionamiento. Al hacer varias asistencias simultáneamente, resulta difícil al final de la jornada laboral documentar todos los procedimientos y repuestos utilizados en todas las asistencias.

4.2.2 Entrevista

Para fortalecer los datos obtenidos a partir de la observación del procedimiento, se hace una entrevista grupal con los colaboradores del departamento. El documento escrito de la entrevista de este proyecto se encuentra en el Anexo 3. A continuación se hace un resumen de las respuestas obtenidas en una reunión como parte de la entrevista, donde participaron todos integrantes del grupo y las repuestas documentadas según la opinión general.

El sistema actual de control tiene como ventaja una tabla que indica la ubicación exacta del repuesto que se busca; además es accesible las 24 horas del día. Una desventaja es la vulnerabilidad control de las solicitudes y además que se pueden cometer errores como solicitar un repuesto a nombre de otro compañero. Un inconveniente adicional es que se usa un archivo compartido, si algún usuario por error lo deja abierto, nadie más puede completar y salvar los datos necesarios.

Durante la entrevista se confirma con datos la necesidad de establecer un control robusto, pues el departamento cuenta con 63 tipos distintos de repuestos que se desean controlar y la suma total de los mismos es de 824, estos datos se obtienen del inventario realizado en el mes de julio. Realizar el inventario completo tiene una duración de 12 horas mensuales y la labor se realiza entre 2 colaboradores.

Es importante mantener un inventario real de los repuestos disponibles para tener una alerta temprana de desabastecimiento y solicitar el presupuesto o el envío de más dispositivos, puesto que algunos de ellos no se consiguen en el mercado nacional y su llegada al departamento podría demorar más de una semana. El valor económico de los repuestos es diferente, existen repuestos que exceden los \$300 y esa es una buena razón para tener un control robusto sobre los mismos.

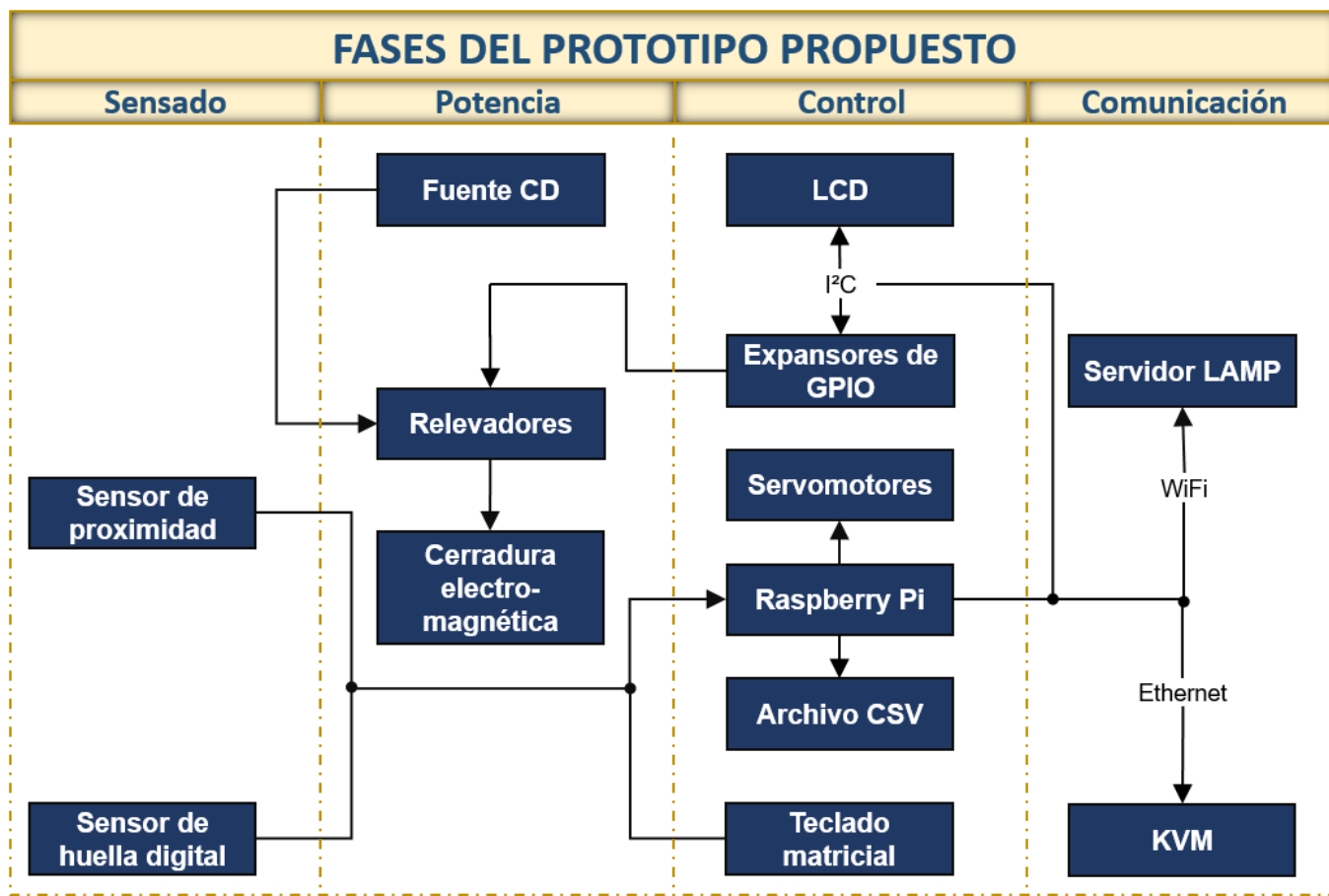
4.3 PROPUESTA DEL PROYECTO

La Figura 16 muestra el prototipo propuesto para optimizar el control de los repuestos en CR DCG, con una visualización por bloques. El diagrama del sistema se encuentra dividido en cuatro diferentes etapas según la función que desempeñe.

La propuesta consta inicialmente con una solicitud de acceso al sistema mediante una comprobación de credenciales de usuario, utilizando un sensor de huellas digitales, las cuales previamente han sido grabadas en memoria.

Con este procedimiento se evita errores en los registros de la solicitud de cada usuario, pues es imposible hacer una solicitud a nombre de otro usuario. Se agregan dispositivos de interacción con el usuario, entre ellos la pantalla LCD, que será programada para desplegar información de cada uno de los pasos que debe seguir el usuario.

Figura 16. Diagrama de bloques del prototipo propuesto.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Otro dispositivo de interacción es el teclado matricial, le indicará al Raspberry Pi que repuesto desea solicitar el usuario y según sea la elección el sistema tiene dos métodos de entrega: por medio de la apertura de una puerta o por dispensado del repuesto. Para la apertura de puerta se envía una señal a los relevadores correspondientes para cerrar el circuito que permita desactivar la cerradura electromagnética habilitando el acceso del usuario al repuesto. Por contraparte, en el método de dispensado por gravedad, el programa indicará el giro de un servomotor y la comprobación del si el artículo fue entregado será tarea del sensor de proximidad.

Dada la gran cantidad de clases de repuestos se necesita aumentar la cantidad de GPIOs disponibles, por tanto se debe hacer uso de expansores que sean capaces de establecer comunicación por medio del protocolo I²C manejando la parte de control de los relevadores para poder abrir los sistemas de cierre electromagnético, que por sus requerimientos de potencia necesitarán una fuente externa de corriente directa, pues el Raspberry Pi no tiene la capacidad en cuanto a potencia para poder operarlos.

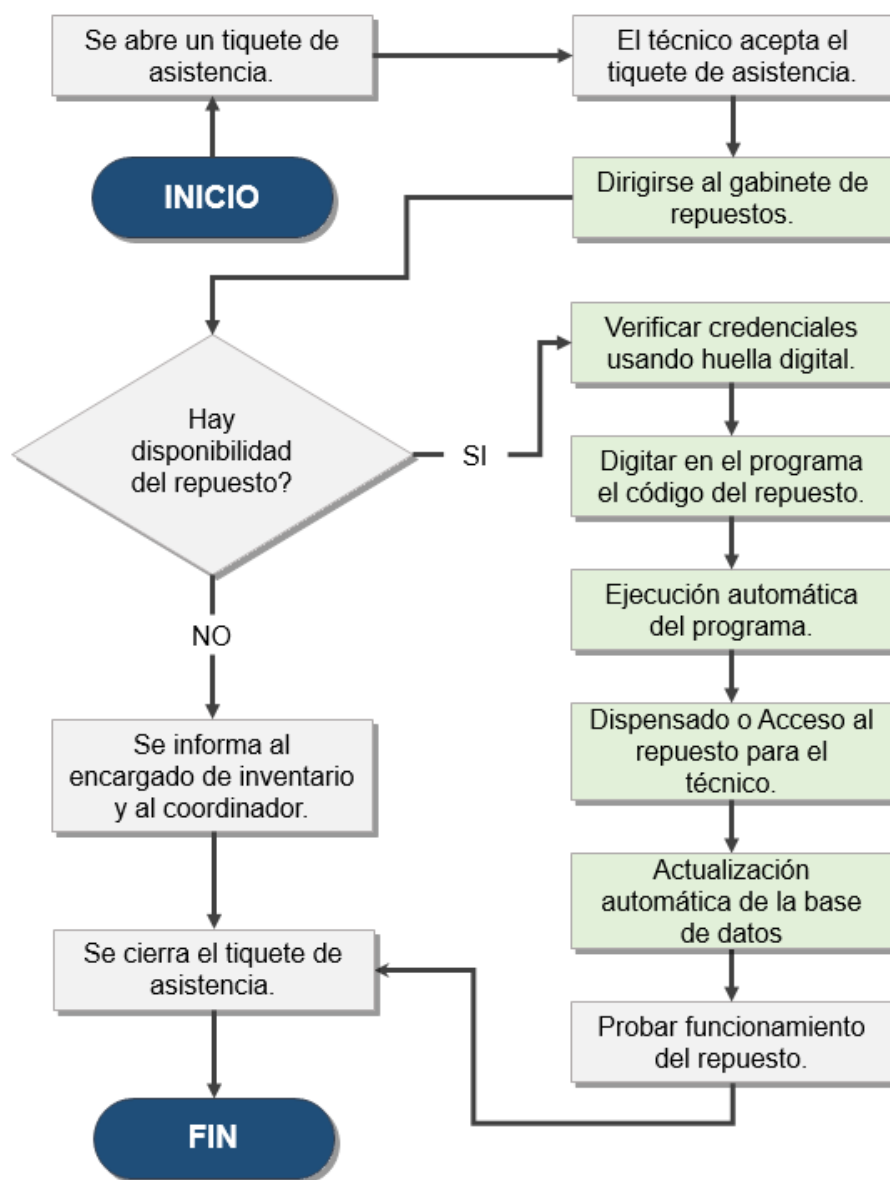
El Raspberry Pi será programado para ser usado como una base de datos y de esta forma dar trazabilidad a los repuestos solicitados en un período de tiempo determinado, por ejemplo en un mes. La interacción con la parte gráfica de la base de datos será responsabilidad del técnico encargado del control de inventarios. El acceso se hará por medio del dispositivo llamado KVM, con el cual se logra conexión remota desde la estación de trabajo del técnico y la conexión física entre el Raspberry Pi y el KVM es a través de un cable de red RJ45.

Para complementar la información que brindará la base de datos, será posible programar alertas vía correo electrónico para indicar alguna necesidad especial, las cuales serán definidas por el encargado de inventario según considere necesario. Para lograr el envío de la alerta por correo electrónico será necesario establecer una conexión del Raspberry Pi a internet por medio de WiFi.

La Figura 17 muestra un diagrama de flujo con la descripción de los procesos agregados después de la implementación de la propuesta a CR DCG para solucionar su problemática. Es un diagrama similar al mostrado en la figura 15 del proceso actual, los procesos añadidos o modificados se muestran en color verde claro. El objetivo

principal del diagrama mostrado a continuación es que se comprenda de una manera más sencilla el prototipo planteado.

Figura 17. Diagrama de flujo con la propuesta implementada.



Fuente: Elaboración propia del autor.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta para mejorar el control de los repuestos que se solicitan para atender solicitudes de atención en los equipos que operan en CR DCG fue hecha al coordinador del departamento, explicando el funcionamiento de los principales componentes del sistema, los materiales necesarios para implementar el proyecto, la inversión económica que representa el sistema, así como los beneficios que brindará a la empresa la construcción del sistema.

Con la intención de demostrar el correcto funcionamiento del sistema que será implementado, se utiliza el prototipo expuesto en la Figura 18, creado con anterioridad por el autor, el cual utiliza componentes similares en aspecto, pero equivalentes en funcionamiento a los que se solicita para crear el prototipo final del proyecto.

Figura 18. Prototipo inicial para la propuesta del proyecto.



Fuente: Elaboración propia del autor.

El prototipo inicial trabaja con un Raspberry Pi 3B+, sensor ultrasónico, pantalla LCD, teclado matricial, servomotores, sensor de huella digital, entre otros. Además el prototipo opera con una etapa de dispensado y verificación electromecánica y apertura de puertas, por supuesto a menor escala que pretende implementarse en CR DCG, pero que excede las expectativas básicas de la demostración del sistema.

5.2 DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Esta sección detalla el prototipo final, la funcionabilidad de cada uno de sus respectivos componentes, características físicas, datos técnicos, conexiones eléctricas requeridas y la debida programación individual de los elementos utilizados (en los casos requeridos).

La construcción del prototipo final será realizada por etapa, correspondientes a las fases descritas en la última sección del capítulo anterior de este documento, a saber: etapa de sensado, etapa de potencia, etapa de control y etapa de comunicación.

5.2.1 Etapa de sensores

Es la etapa encargada de capturar variables externas del sistema y que sean utilizadas según se programe el microprocesador. La variable en este proyecto son las huellas digitales, que según sea el caso, provee o deniega acceso de personal a las opciones de solicitud de repuestos.

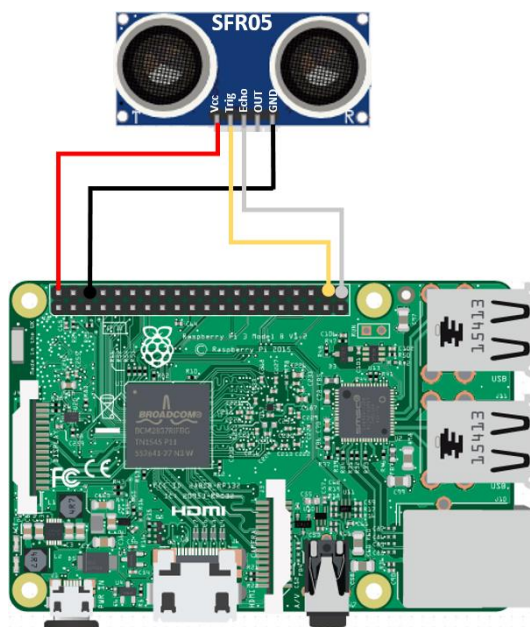
En otro contexto, se encuentran los sensores ultrasónicos que operan obteniendo valores de distancia en determinadas cavidades en momentos específicos para verificar que el dispensado de ciertos repuestos culminó de forma exitosa o en su defecto hubo un error a la hora de entregar el repuesto. Seguidamente se expone ambos sensores y su utilidad.

5.2.1.1 Sensor ultrasónico.

Es un sensor especialmente utilizado en la medición de distancias o en la detección de objetos en un rango determinado. Para este proyecto se utiliza el modelo HC-SR05 el cual opera con $5 V_{DC}$ y 2 mA, ambos entregados por la tarjeta Raspberry Pi. Además el rango de distancias medibles está entre los 2 cm – 4,5 m, con un ángulo de medición aproximado de 15° y una precisión de $\pm 3\text{mm}$. Estas características lo hacen ideal para el proyecto, será utilizado en el método de entrega denominado como dispensado por gravedad. Es el encargado de verificar, en cada cavidad, que el repuesto fue correctamente dispensado por sistema.

Para la implementación del hardware es necesario hacer 4 conexiones con el Raspberry Pi. Como lo muestra la Figura 19, dos conexiones están dedicadas a alimentación eléctrica ($5V_{DC}$ y GND), las dos restantes son los pines Trigger y el Echo conectados a los pines físicos de la tarjeta 38 y 40, respectivamente. Configurando el pin Trigger como salida, se pone en alto por durante $10 \mu\text{s}$, tiempo suficiente para el envío del pulso sónico de 8 ciclos, a una frecuencia de 40 KHz. La onda viaja por el aire y al rebotar en un objeto vuelve al sensor ultrasónico por medio del pin Echo que es previamente configurado como pin de entrada del Raspberry Pi.

Figura 19. Conexiones del Raspberry PI 3B con el HC-SR05.



Fuente: Elaboración propia del autor.

En el programa es necesario declarar dos variables importantes: duración y distancia. Ambas variables se encuentran estrechamente relacionadas por la fórmula: $d = v \cdot t$ (donde d = distancia, v = velocidad y t = tiempo). Para calcular la distancia a la que se encuentra el objeto se divide entre dos la duración del pulso enviado por Trigger, pues este hace un viaje de ida y vuelta. Con respecto a la duración, se toma en cuenta el tiempo inicial (momento en el que se envía por Trigger) y el tiempo final (momento en el que se recibe por Echo), por tanto la variable duración se define con la fórmula: duración = tiempo final – tiempo inicial.

En la Figura 20 se puede observar el código de programación desarrollado para implementar el sensor ultrasónico, con gran cantidad de comentarios para un mejor entendimiento del programa. Durante el proceso de programación es importante tener

presente que la velocidad del pulso emitido por el Trigger viaja a la velocidad del sonido que es aproximadamente 343,2 m/s. Dado que el autor requiere el cálculo de las distancias en centímetros, se hace la conversión de la velocidad del sonido, dando como resultado 34 320 cm/s que es usado en la línea 24 de programación. Además, en la línea 25 se hace la configuración respectiva para obtener la medida solo con los dos decimales más significativos.

Figura 20. Código de programación del sensor ultrasónico para CR DCG.

```

1 |     ## Programacion del sensor ultrasonico para proyecto CRDCG ##
2 |
3 | import RPi.GPIO as GPIO
4 | import time
5 | GPIO.setmode(GPIO.BOARD) #configuracion por numeracion fisica del Raspberry
6 | TRIG = 38 #pin fisico #38
7 | ECHO = 40 #pin fisico #40
8 | GPIO.setwarnings(False)
9 | GPIO.setup(TRIG,GPIO.OUT) #declaracion de TRIG como salida
10 | GPIO.setup(ECHO,GPIO.IN) #declaracion de ECHO como entrada
11 |
12 | try:
13 |     while True:
14 |         time.sleep(0.5) #tiempo entre cada lectura (en segundos)
15 |         GPIO.output(TRIG, True) #pone en alto el pin Trigger
16 |         time.sleep(0.00001) #envio de pulso de 10 microsegundos
17 |         GPIO.output(TRIG, False) #pone en bajo pin Trigger
18 |         while GPIO.input(ECHO)==0: #Echo no ha recibido pulso
19 |             tiempo_inicio=time.time() #variable de tiempo de inicio
20 |         while GPIO.input(ECHO)==1: #Echo recibio pulso
21 |             tiempo_final=time.time() #variable de tiempo final
22 |         duracion = tiempo_final - tiempo_inicio #ecuacion para duracion
23 |         duracion = duracion/2 #dividido entre dos, es solo viaje de ida del pulso
24 |         distancia = duracion * 34320 #calculo de distancia usando velocidad del sonido
25 |         distancia = round(distancia,2) #para pover lectura con solo 2 decimales
26 |         print "distancia:",distancia,"cm" #imprime distancia en terminal
27 |
28 | except KeyboardInterrupt:
29 |     GPIO.cleanup()
30 | GPIO.cleanup()

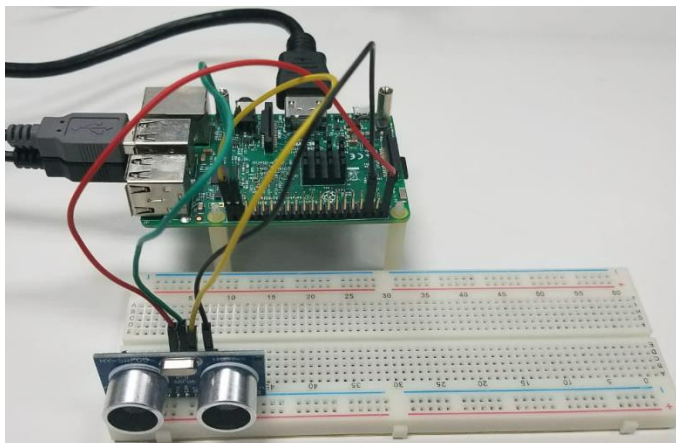
```

Fuente: Elaboración propia del autor.

Con la finalidad de evaluar el correcto funcionamiento de las conexiones del hardware, trabajando en conjunto con el código de programación, se crea un circuito electrónico de prueba, mostrado en la Figura 21. Se utilizaron varios objetos de

materiales como plástico y cartón para probar que la distancia desplegada en el terminal del Raspberry Pi coincidiera con la magnitud física de medida en centímetros.

Figura 21. Circuito electrónico de pruebas para el sensor ultrasónico.



Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.1.2 Sensor de huellas digitales

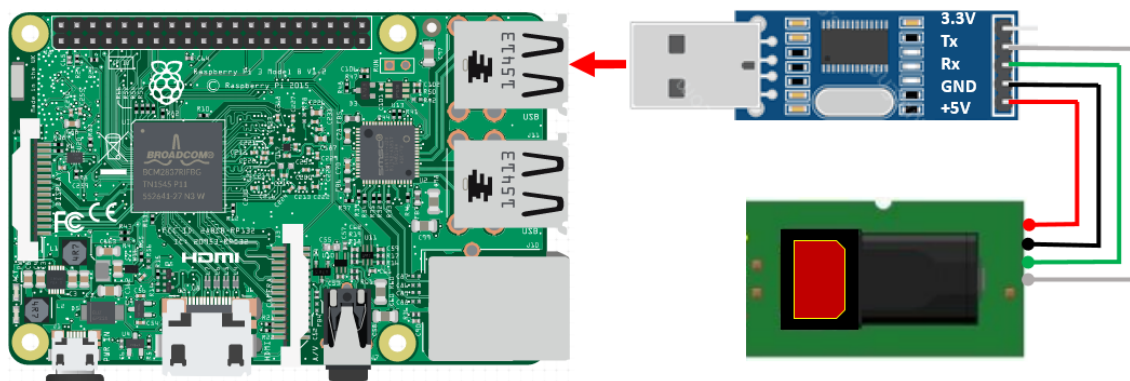
Como método de ingreso al sistema de solicitud de repuestos se decide utilizar un medio de confirmación biométrico. Se decide el uso de este dispositivo pues a diferencia de un código o un gafete con algún chip de identificación por radiofrecuencia (Radio Frequency Identification, RFID), la huella digital el usuario siempre la lleva consigo, además su patrón difícilmente varíe en el largo plazo, y no se debe recordar ninguna contraseña ni portar ningún dispositivo. En caso de requerir agregar más usuarios al sistema (la capacidad máxima son 240 usuarios), no es necesario hacer una inversión económica como sí sucedería con la compra de gafetes.

Los sensores de huella digital se controlan por medio de una conexión serie con el microprocesador, para este sensor debe utilizarse el puerto UART. En el Raspberry Pi

3 Model B, los pines físicos utilizados para recepción y transmisión de datos son el #8 y 10, respectivamente (también conocidos como GPIO14 y GPIO15). Para el implementar el proyecto, se utilizará un convertidor USB a puerto serial (TTL), con las terminales necesarias para conectar el sensor de huella digital, y no es necesario la utilización de los GPIOs nombrados anteriormente.

La conexión de hardware entre el Raspberry Pi, el convertidor USB - TTL y el sensor de huella digital se muestra en la Figura 22, utilizando 4 líneas eléctricas de conexión, a saber: 5 V_{DC}, GND Tx y Rx.

Figura 22. Conexiones del Raspberry Pi y el sensor de huella digital.



Fuente: Elaboración propia de huella digital.

Existen librerías creadas para trabajar con la programación, en este caso se utiliza una llamada PyFingerprint. Como se mencionó en el marco teórico, el sensor de huellas digitales almacena las imágenes en una memoria interna del dispositivo, nunca en la memoria del Raspberry Pi. Se hace la modificación de 2 programas incluidos en la librería, para que sean utilizados únicamente por el administrador del sistema. Para agregar un usuario al sistema, se debe correr el comando en la terminal del Raspberry

Para ejecutar el programa `python huellaagregarcrdcg.py` y en caso contrario debe correr el comando `sudo python huellaborrarcrdcg.py` para eliminarla de la memoria del sensor.

El programa para agregar a la memoria una huella, disponible en la Figura 23, debe inicializar el sensor y posteriormente correr el loop llamado `agregarhuella()` ubicado a partir de la línea 17. En primera instancia se le solicita al usuario colocar un dedo en el cristal del sensor, la imagen es capturada, convertida a caracteres binarios, almacenada en un buffer, se verifica que la huella no esté guardada en la memoria.

Posteriormente se le solicita al usuario colocar el mismo dedo en el cristal, se vuelve a convertir la imagen a caracteres binarios y se almacena la imagen en un buffer diferente. Finalmente, se hace la comparación de ambos buffers, si ambas capturas de imágenes coinciden, se agrega con éxito la huella a la memoria.

Es menester aclarar que la inclusión de una huella en la memoria interna del sensor no da acceso a un usuario al sistema de solicitud de repuestos. Si se desea incluir a una persona como usuario del sistema, el primer paso es capturar su huella digital y posteriormente se debe modificar el código fuente de programación incluyendo la posición de memoria que el sensor le haya asignado al nuevo usuario.

Figura 23. Código de programación para agregar una huella digital en CR DCG.

```

1 |         ## Agregar huella digital CR DCG ##
2 | import time
3 | from pyfingerprint.pyfingerprint import PyFingerprint
4 |
5 | try: # Inicializacion del sensor
6 |     f = PyFingerprint('/dev/ttyUSB0', 57600, 0xFFFFFFFF, 0x00000000)
7 |
8 |     if ( f.verifyPassword() == False ):
9 |         raise ValueError('The given fingerprint sensor password is wrong!')
10 |
11 | except Exception as e:
12 |     print('The fingerprint sensor could not be initialized!')
13 |     print('Exception message: ' + str(e))
14 |     exit(1)
15 | print('Cantidad de huellas almacenadas: ' + str(f.getTemplateCount()) + '/' + str(f.getStorageCapacity()))
16 |
17 | def agregarhuella(): #loop de agregar huella nueva
18 |     print('Por favor coloque un dedo..')
19 |     while ( f.readImage() == False ): # Esperando a agregar una nueva huella
20 |         pass
21 |     f.convertImage(0x01) # Conversion de la huella a caracteres y almacenamiento en charbuffer1
22 |
23 |     # verificacion de huellas anteriormente almacenadas
24 |     result = f.searchTemplate()
25 |     positionNumber = result[0]
26 |
27 |     if ( positionNumber >= 0 ):
28 |         print('Huella previamente almacenada en posicion #' + str(positionNumber))
29 |         exit(0)
30 |     print('Remueva el dedo..')
31 |     time.sleep(2)
32 |     print('Por favor, coloque nuevamente el dedo..')
33 |     while ( f.readImage() == False ):# esperando a que la huella sea leida de nuevo
34 |         pass
35 |     f.convertImage(0x02) # Conversion de la huella a caracteres y almacenamiento en charbuffer2
36 |
37 |     if ( f.compareCharacteristics() == 0 ): # Comparacion de ambos charbuffers
38 |         raise Exception('Lamentablemente las huellas no coincidieron')
39 |     f.createTemplate() ## Creacion de plantilla
40 |     positionNumber = f.storeTemplate() # Salva plantilla en un nueva posicion
41 |     print('Huella agregada con exito en posicion #' + str(positionNumber))
42 |
43 | try:
44 |     while True:
45 |         agregarhuella()
46 |
47 | except Exception as e:
48 |     print('El proceso ha fallado!')
49 |     print('Exception message: ' + str(e))
50 |     exit(1)

```

Fuente: Elaboración propia del autor.

La Figura 24 muestra el código de programación, llamado *huellaborarrcrdcg.py* para borrar huellas de la memoria del sensor. Primeramente, se inicializa el sensor, seguidamente se muestra la cantidad de huellas que han sido almacenadas. El programa solicita que se indique la posición de almacenamiento de la huella que se desea eliminar. Cuando se elimina una huella de la memoria, sí se elimina el acceso al sistema de solicitud de repuestos, porque el código fuente del sistema hace la

comparación contra las posiciones de memoria, y al no existir una posición asignada, el sistema niega el acceso.

Figura 24. Código de programación para borrar una huella digital en CR DCG.

```

1      ## Borrar huella digital CR DCG ##
2  from pyfingerprint.pyfingerprint import PyFingerprint
3
4  try: #Inicializacion del sensor
5      f = PyFingerprint('/dev/ttyUSB0', 57600, 0xFFFFFFFF, 0x00000000)
6
7      if ( f.verifyPassword() == False ):
8          raise ValueError('The given fingerprint sensor password is wrong!')
9
10 except Exception as e:
11     print('The fingerprint sensor could not be initialized!')
12     print('Exception message: ' + str(e))
13     exit(1)
14
15 #muestra informacion de huellas almacenadas
16 print('Cantidad de huellas almacenadas: ' + str(f.getTemplateCount()) + '/' + str(f.getStorageCapacity()))
17
18 try: #loop para borrar huella
19     positionNumber = input('Por favor ingrese la posicion de huella que desea borrar: ')
20     positionNumber = int(positionNumber)
21
22     if ( f.deleteTemplate(positionNumber) == True ):
23         print('Huella borrada exitosamente')
24
25 except Exception as e:
26     print('El proceso ha fallado')
27     print('Exception message: ' + str(e))
28     exit(1)

```

Fuente: Elaboración propia del autor.

Se crea un programa de simulación, disponible en la Figura 25, que sea capaz de garantizar el acceso a una posición específica de memoria admitiéndolo como usuario, otra posición se programa para fungir como administrador del sistema y, por último, el código debe denegar el acceso a las huellas que no hayan sido almacenadas previamente. Lo anterior se logra mediante las sentencias condicionales mostradas entre las líneas #22 y #32, y es posible agregar tantas posiciones como permita la capacidad máxima de memoria de almacenamiento del sensor de huella digital.

Figura 25. Código de programación para acceso al sistema de CR DCG.

```

1 | # Programacion del sensor de huella digital para proyecto CR DCG ##
2 |
3 | import time
4 | import RPi.GPIO as GPIO
5 | from pyfingerprint.pyfingerprint import PyFingerprint
6 | GPIO.setwarnings(False)
7 | f = PyFingerprint('/dev/ttyUSB0', 57600, 0xFFFFFFFF, 0x00000000)
8 |
9 | def HuellaDigital(): # inicializacion del sensor
10 |     if ( f.verifyPassword() == False ):
11 |         raise ValueError('The given fingerprint sensor password is wrong!')
12 |     print('Currently used templates: ' + str(f.getTemplateCount()) + '/' + str(f.getStorageCapacity()))
13 |
14 |
15 |     while ( f.readImage() == False ): # espera de imagen para ser procesada
16 |         pass
17 |     f.convertImage(0x01)
18 |     result = f.searchTemplate()
19 |     positionNumber = result[0]
20 |     accuracyScore = result[1]
21 |
22 |     if ( positionNumber == -1 ): # posicion no utilizada
23 |         print "Huella no coincide con base de datos, intente de nuevo"
24 |         time.sleep(2)
25 |     elif ( positionNumber == 0 ): # posicion de memoria para usuario
26 |         print "Acceso confirmado para Jorge"
27 |         time.sleep(2)
28 |     elif ( positionNumber == 1 ): # posicion de memoria para administrador
29 |         print "Acceso confirmado para Administrador"
30 |     else:
31 |         print "Huella no encontrada, intente de nuevo"
32 |         time.sleep(2)
33 |
34 | try:
35 |     while True:
36 |         HuellaDigital()
37 |
38 | except KeyboardInterrupt: # Interrupcion con ctrl+C
39 |     print("Cleaning up!")

```

Fuente: Elaboración propia del autor.

Una vez creados los 3 programas anteriores, se hace la conexión de los tres dispositivos de hardware. Se ejecuta el programa de inclusión de huellas y el programa de accesos, los resultados de ambos pueden observarse en la Figura 26. Se agregan exitosamente las posiciones de memoria 0 y 1 y se intenta agregar una adicional pero intencionalmente se hace fallar el sistema en ese tercer intento. Durante la ejecución del programa de prueba se ingresa como usuario, como administrador e intencionalmente se coloca un dedo que no sea reconocido para denegar el acceso.

Figura 26. Circuito electrónico de pruebas para el sensor de huella digital.



Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.2 Etapa de potencia

Es la encargada de manejar tanto los voltajes como las corrientes eléctricas que no pueden ser entregados por el Raspberry Pi por medio de sus GPIOs. Uno de los dispositivos que se utilizarán en el proyecto son las cerraduras electromagnéticas, las cuales necesitan para su operación 12 V y 2 A; y servomotores que trabajan con 5 V y 800mA, lo cual hace indispensable la instalación de una fuente de corriente directa externa en el proyecto.

El microprocesador controlará módulos de relevadores que permitirán la entrada en escena de la fuente de corriente directa para que funcionen las bobinas de las

cerraduras electromagnéticas. La fuente V_{DC} también tendrá como carga eléctrica los servomotores. Seguidamente se exponen ambos elementos de la etapa de potencia.

5.2.2.1 Fuente de alimentación

Es la encargada de transformar la corriente alterna proveniente de la red de suministro a uno o varios voltajes de corriente directa. Para este proyecto se utilizará una fuente conmutada que logre convertir en $120 V_{AC}$ a $5 V_{DC}$ y $12 V_{DC}$, necesarios para el funcionamiento de los servomotores y cerraduras electromagnéticas respectivamente. Se considera también que los demás componentes de carga se conecten a la fuente, estos son: pantalla LCD 20 x 4, 3 módulos expansores de GPIOs, 3 módulos de relevadores y 4 sensores ultrasónicos.

Figura 27. Fuente conmutada de V_{CD} .



Fuente: Elaboración propia del autor.

La empresa facilita el uso de una fuente, marca Intel modelo DPS-750 X B A, disponible en la Figura 27. Esta fuente tiene como ventaja sus pequeñas dimensiones (sus medidas son: 22 cm x 7,5 cm x 4 cm), favorable para instalarla junto a todos los componentes en el chasis creado en la impresora 3D. También se obtienen las

magnitudes de voltaje necesarias para los componentes, además de su gran capacidad de potencia de salida, 750 W.

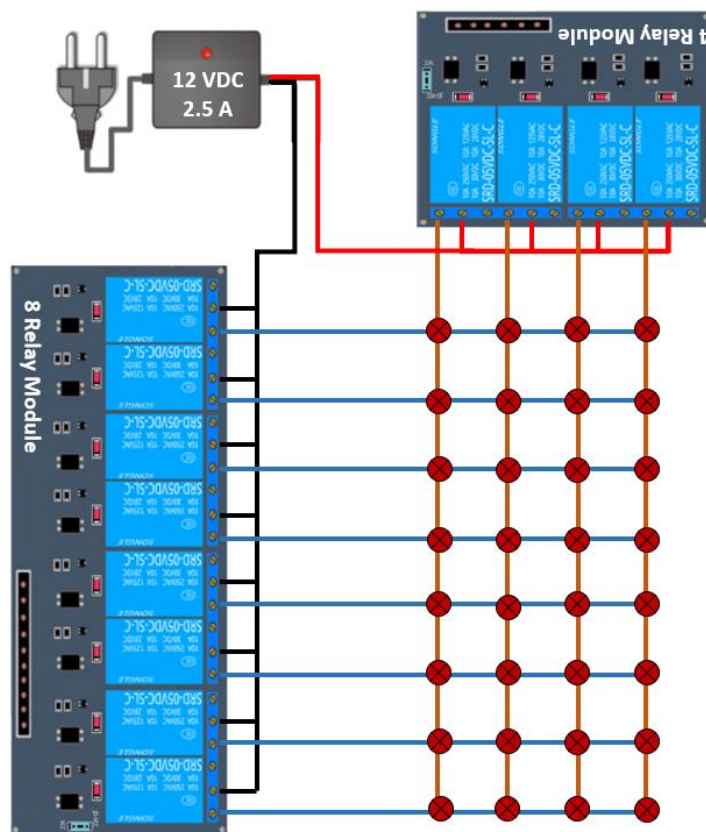
5.2.2.2 Relevadores

El gabinete destinado para el proyecto tendrá 64 cavidades, conformadas por 4 columnas y 16 filas. A cada una de las cavidades se le instalará una cerradura electromagnética con una potencia de operación que el Raspberry Pi no puede soportar, razón por la cual se debe conectar una fuente de poder externa de corriente directa, de 12 V_{DC} y 2,5 A y su respectivo relevador.

Con la intención de optimizar los recursos disponibles se decide crear matriz de relevadores alimentada por una fuente externa de V_{CD}, como la mostrada en la Figura 28. Cada columna del gabinete está gobernada por un relevador que alimenta con +V_{CD} a todas las cerraduras electromagnéticas. De forma similar, cada fila dispone de un relevador, el cual conecta GND en cada cerradura electromagnética perteneciente a esa fila específica. Cuando el programa del sistema de solicitud de repuestos requiere activar una cerradura electromagnética, debe activar 2 relevadores al mismo tiempo, ubicando la columna y fila respectiva para la cavidad seleccionada por el usuario.

Esta matriz de relevadores es funcional pues el código del programa para el proyecto de CR DCG nunca activará más de una cerradura electromagnética en el mismo instante. Si fuera necesario activar más de una cerradura, se debe hacer los cálculos de potencia requeridos para utilizar la fuente externa de V_{CD} apropiada al nuevo diseño.

Figura 28. Matriz de relevadores para las cerraduras electromagnéticas.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Se crea la Tabla 6 basada en un diseño de un gabinete que almacene 64 posiciones (4 columnas y 16 filas). El objetivo es exponer, de una forma comparativa, las ventajas de utilizar un sistema matricial de relevadores versus un sistema convencional, donde cada cerradura es controlada por un relevador. Es importante destacar que en la tabla no se contempla la cantidad de cable requerido en el sistema convencional de conexión de relevadores; esto aumentaría considerablemente el costo económico, la dificultad de instalación, organización del cableado, mantenimiento correctivo en el futuro y el error humano.

Tabla 6. Tabla comparativa de configuraciones de relevadores.

Descripción	Sistema Convencional		Sistema Matricial	
	Cantidades	Precio Total	Cantidades	Precio Total
GPIOs utilizados	64	-	20	-
Módulos de 4 Relevadores	0	€ 0	1	€ 4 651
Módulos de 8 Relevadores	8	€ 53 160	2	€ 13 290
Módulos PCF8574	8	€ 70 536	3	€ 26 451
Precio Total aproximado		€ 123 696		€ 44 392

Fuente: Elaboración propia del autor.

Es necesario crear un código de programación de prueba que demuestre satisfactoriamente que el sistema matricial es viable. Se hace una simulación de la apertura de dos electroválvulas, por tanto solamente se activan 2 relevadores. Para el circuito de pruebas se utilizan 2 módulos PCF8574, con direccionamientos 20h (para los 4 relevadores de las columnas) y 21h (para los 8 relevadores de las filas).

Observando el programa de la Figura 29, en la línea 7 se hace la activación del relevador de la columna 1, utilizando $0x20$ y usando $0xFE$ se pone en high el puerto P0 (conectado al relevador de columna 1). En la línea 8 se activa el relevado de la fila 1, usando $0x21$ y con $0xFE$ se pone en "HIGH" P0 (quien gobierna el relevador de la fila 1). De la misma manera, en las líneas 13 y 14 se encuentran los comandos con las condiciones de activación de los relevadores de columna 1 y fila 2.

Figura 29. Código de programación de la matriz de relevadores para CR DCG.

```

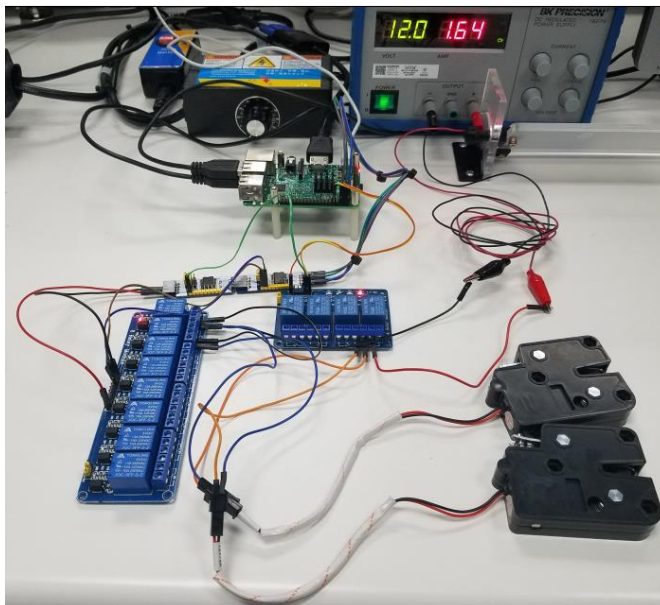
1  ## Programacion de matriz de relevadores CR DCG##
2  from smbus import SMBus
3  import time
4
5  def columna1():
6      bus = SMBus(1)
7      bus.write_byte(0x20, 0xFE) # ON relay Columna 1
8      bus.write_byte(0x21, 0xFE) # ON relay Fila 1
9      time.sleep(1)
10     bus.write_byte(0x20, 0xFF) #apagado de todos los puertos
11     bus.write_byte(0x21, 0xFF) #apagado de todos los puertos
12     time.sleep(1)
13     bus.write_byte(0x20, 0xFE) # ON relay Columna 1
14     bus.write_byte(0x21, 0xFD) # ON relay Fila 2
15     time.sleep(1)
16     bus.write_byte(0x20, 0xFF) #apagado de todos los puertos
17     bus.write_byte(0x21, 0xFF) #apagado de todos los puertos
18     time.sleep(1)
19  try:
20     while True:
21         columna1()
22
23  except KeyboardInterrupt: # Interrupcion con ctrl+C
24     print("Clean")

```

Fuente: Elaboración propia del autor.

Se hacen las conexiones requeridas para ejecutar el programa de pruebas explicado anteriormente para crear el circuito electrónico de pruebas, expuesto en la Figura 30. Se logra capturar el momento de la activación de los relevadores de fila 1 y columna 1. La fuente de poder muestra que la corriente eléctrica necesaria para la operación de la cerradura electromagnética es aproximadamente 1,64 A. Otro punto interesante del circuito de pruebas, fue la modificación del programa de prueba, usando un tiempo de activación de 0.1 s, siendo este suficiente para la apertura de la cerradura.

Figura 30. Circuito electrónico de pruebas para la matriz de relevadores.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Adicionalmente, se crea la Tabla 7, la cual contiene la siguiente información:

- Número de posición del repuesto: se encuentran resaltadas en color verde, son un total de 64. Las posiciones 09 – 12 requieren doble cavidad de espacio para el dispensado electromecánico, por tanto las posiciones 13 – 16 (color gris) no se utilizarán.
- Dirección hexadecimal del PCF8574: para el proyecto se utilizarán 3 módulos PCF8574, con direcciones 20 h (color celeste) para el control de relevadores de columna, 21h (color amarillo) para controlar los relevadores de fila 1 – 8 y 22 h (color naranja) para los relevadores de fila 9 – 16.
- Dirección hexadecimal del puerto: para poner en alto lógico cada uno de los puertos, del P0 – P7, de manera independiente se utilizan las direcciones hexadecimales FE, FD, FB, F7, EF, DF, BF y 7F respectivamente.

Tabla 7. Posiciones del gabinete, direccionamientos de PCF8574 y sus puertos.

Expansor GPIO PCF8574 con dirección 20h								
Expansor GPIO PCF8574 con dirección 21h	21/FE	20/FE	21/FE	20/FD	21/FE	20/FB	21/FE	20/F7
	01		02		03		04	
	21/FD	20/FE	21/FD	20/FD	21/FD	20/FB	21/FD	20/F7
	05		06		07		08	
	21/FB	20/FE	21/FB	20/FD	21/FB	20/FB	21/FB	20/F7
	09		10		11		12	
	21/F7	20/FE	21/F7	20/FD	21/F7	20/FB	21/F7	20/F7
	13		14		15		16	
	21/EF	20/FE	21/EF	20/FD	21/EF	20/FB	21/EF	20/F7
	17		18		19		20	
21/DF	20/FE	21/DF	20/FD	21/DF	20/FB	21/DF	20/F7	
21		22		23		24		
21/BF	20/FE	21/BF	20/FD	21/BF	20/FB	21/BF	20/F7	
25		26		27		28		
21/7F	20/FE	21/7F	20/FD	21/7F	20/FB	21/7F	20/F7	
29		30		31		32		
Expansor GPIO PCF8574 con dirección 22h	22/FE	20/FE	22/FE	20/FD	22/FE	20/FB	22/FE	20/F7
	33		34		35		36	
	22/FD	20/FE	22/FD	20/FD	22/FD	20/FB	22/FD	20/F7
	37		38		39		40	
	22/FB	20/FE	22/FB	20/FD	22/FB	20/FB	22/FB	20/F7
	41		42		43		44	
	22/F7	20/FE	22/F7	20/FD	22/F7	20/FB	22/F7	20/F7
	45		46		47		48	
22/EF	20/FE	22/EF	20/FD	22/EF	20/FB	22/EF	20/F7	
49		50		51		52		
22/DF	20/FE	22/DF	20/FD	22/DF	20/FB	22/DF	20/F7	
53		54		55		56		
22/BF	20/FE	22/BF	20/FD	22/BF	20/FB	22/BF	20/F7	
57		58		59		60		
22/7F	20/FE	22/7F	20/FD	22/7F	20/FB	22/7F	20/F7	
61		62		63		64		

Fuente: Elaboración propia del autor.

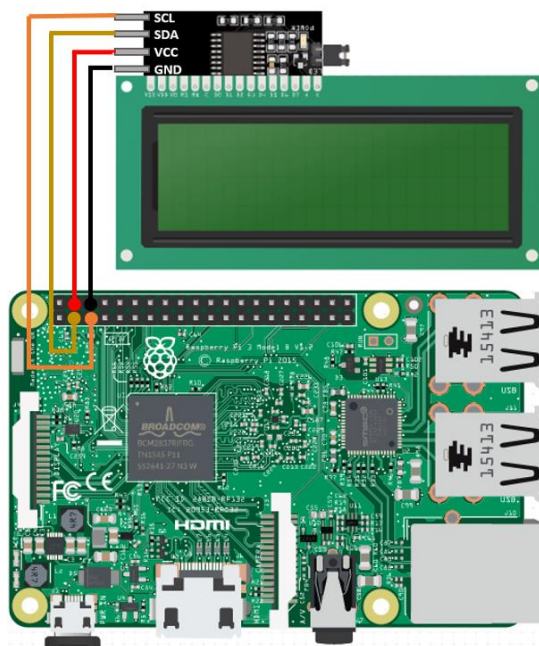
5.2.3 Etapa de control

Es la etapa más grande del proyecto, es la encargada de las conexiones directas con el Raspberry Pi e interconecta dispositivos que tienen interacción con el usuario como lo son la pantalla LCD y el teclado matricial. Seguidamente se expone todos los elementos de la etapa de control.

5.2.3.1 Pantalla de cristal líquido.

Para este proyecto se utiliza la pantalla LCD 20 x 4. Este dispositivo se programará con el objetivo de dar instrucciones claras y específicas al usuario del sistema de repuestos; será usada como guía gráfica para lograr que se obtenga el producto deseado de forma exitosa.

Figura 31. Conexiones del Raspberry Pi con el LCD.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Una de las cualidades más llamativas del LCD escogido es que tiene la capacidad de ser conectado por I²C, necesitando solo dos líneas de comunicación con el Raspberry Pi. La Figura 31 muestra las conexiones eléctricas directas entre ambos módulos de hardware, se utilizan 4 líneas: Vcc, GND, SDA y SCL. Los pines físicos del Raspberry Pi para SDA y SCL son el 3 y el 5, respectivamente.

Figura 32. Código de programación del LCD para CR DCG.

```

1     ## Programacion LCD 20x4 para proyecto CRDCG ##
2 import i2c_lib
3 import lcd20x4
4 import time
5
6 display = lcd20x4.lcd()
7
8
9 def code():
10
11     print "Prueba de LCD para CRDCG"
12     display.lcd_display_string("Este programa es una", 1) # fila 1
13     display.lcd_display_string(" prueba para el ", 2) # fila 2
14     display.lcd_display_string(" proyecto a ser ", 3) # fila 3
15     display.lcd_display_string("implementado en DCG ", 4) # fila 4
16     time.sleep(10) # la informacion se muestra por 10 segundos
17     display.lcd_clear() # se borra el mensaje
18     time.sleep(1) # 1 segundo el LCD permanece sin informacion
19
20 try:
21     while True:
22         code()
23
24 except KeyboardInterrupt:
25     display.lcd_clear()

```

Fuente: Elaboración propia del autor.

Se crea un programa básico para desplegar un mensaje en la pantalla, el cual se muestra en la *Figura 32*. Para facilitar la programación se hace la importación de las librerías llamadas **i2c_lib** y **lcd204** como se muestra en las líneas 2 y 3. Con el comando **display.lcd_display_string(" texto deseado", #)** se le indica al programa en que fila se desea posicionar el texto tal y como lo muestran las líneas 12 - 15 de

este programa de prueba. Si se desea limpiar la información de la pantalla se utiliza el comando **display.lcd_clear()**, tal y como se programó en la línea 17.

Una vez conectado el hardware y creado el código de programación se hace una prueba, como se muestra en la Figura 33, para corroborar el correcto funcionamiento de la iluminación de la pantalla, contraste, caracteres, columnas y filas. También es importante confirmar que el envío de la información se haga correctamente por medio del protocolo I²C, donde la dirección usada para este dispositivo fue la 0x3F y está definida en la librería que fue importada código de prueba.

Figura 33. Circuito electrónico de pruebas para el LCD.



Fuente: Elaboración propia del autor.

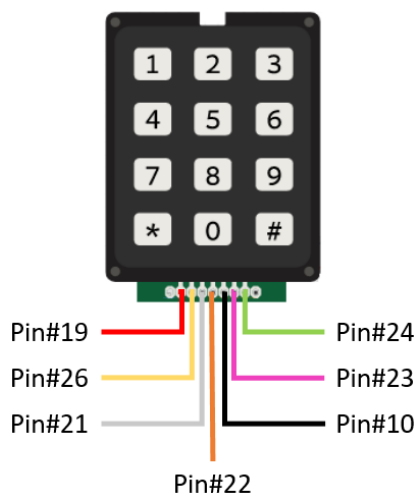
5.2.3.2 Teclado matricial

El gabinete que se destinó para el proyecto debe ser modificado en cuanto a su capacidad original, por tanto tendrá 64 cavidades, donde se colocarán los distintos tipos de repuestos o dispositivos que se desean controlar en el departamento. Cada

una de las cavidades anteriormente mencionadas se encontrará claramente rotulada con un número de dos dígitos, y el usuario del sistema utilizará un teclado matricial para elegir el repuesto deseado según el número que le fue asignado.

El teclado matricial que se utilizará en el proyecto está compuesto por 12 contactos, con 3 columnas y 4 filas. Cada columna y fila se conectan a un GPIO del Raspberry Pi, para la programación se hace uso de la librería **keypad**, donde se hace la definición de los GPIOs a utilizar para cada una de las 7 terminales que tiene el teclado matricial, tal como lo muestra la *Figura 34*, donde se indican las conexiones de acuerdo a la numeración física de los pines del Raspberry Pi.

Figura 34. Conexiones del teclado matricial al Raspberry Pi.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Se hace una programación de prueba, mostrada en la Figura 35, según las necesidades del proyecto de CR DCG. En síntesis se divide el código de programación en 2 procesos, también llamados loops, uno de ellos es el principal y el otro secundario. En la línea #7 da inicio el loop principal, es el encargado de mantener el programa

ejecutándose constantemente aun después de que se haga una solicitud de un repuesto. También es donde se definen dos variables, mostradas en las líneas #9 y #10, serán las que almacenen en memoria el número que el usuario digite y el número que el usuario digite cuando se le solicite una confirmación.

Figura 35. Código de programación del teclado matricial para CR DCG.

```

1 # Programacion teclado 4x3 para proyecto CRDCG ##
2 import time
3 import RPi.GPIO as GPIO
4 from keypad import keypad
5 GPIO.setwarnings(False)
6
7 def saludo(): # Loop principal del programa
8     print "    Bienvenido al programa de solicitud de repuestos"
9     seq1 = [] # declaracion de variable para almacenar un numero de repuesto
10    seq2 = [] # declaracion de variable para almacenar la confirmacion del repuesto
11
12    def numero(): # Loop secundario, para ingresar el numero del repuesto
13        print "    Ingrese el numero del repuesto deseado:"
14        kp = keypad(columnCount = 3)
15        for i in range(2): #bucle "for" para almacenar seq1
16            digit = None
17            while digit == None:
18                digit = kp.getKey()
19                seq1.append(digit)
20                time.sleep(0.5)
21        print "Usted solicito el repuesto en la posicion", seq1
22        time.sleep(1)
23        print "Por favor confirme codigo:"
24        kp = keypad(columnCount = 3)
25        for i in range(2): #bucle "for" para almacenar seq2
26            digit = None
27            while digit == None:
28                digit = kp.getKey()
29                seq2.append(digit)
30                time.sleep(0.5)
31        # inicio de las condiciones de comparacion entre seq1 y seq2 ↓
32        if seq1 == seq2 and seq1 == [0, 1]: #comparacion de variables seq1 y seq2
33            print "Repuesto 01 dispensado"
34            time.sleep(2)
35            saludo() # el programa vuelve a loop principal
36        else: # si las variables seq1 y seq2 son distintas, el programa se reinicia
37            print "Confirmacion incorrecta, intento de nuevo!"
38            time.sleep(2)
39            saludo() # el programa vuelve a loop principal
40    try:
41        while True:
42            numero()
43    except KeyboardInterrupt:
44        print("Cleaning up!")
45
46 try:
47     while True:
48         saludo()
49 except KeyboardInterrupt:
50     print("Cleaning up!")

```

Fuente: Elaboración propia del autor.

El loop secundario da inicio en la línea 12 del programa, consta de dos bucles **for**, uno para cada una de las variables mencionadas en el párrafo anterior. Además, se programan condicionales para las variables, si ambas son iguales el programa indica que se dispensa el producto, pero si el número de solicitud y el de confirmación son diferentes, el programa vuelve al loop principal y se inicia el proceso nuevamente. Para el ejemplo solo se programa el repuesto "01", pero se deben programar toda la numeración correspondiente de los repuestos.

Por último, se hace la integración del hardware y de la programación para depurar errores y verificar el correcto funcionamiento del sistema. Además se solicita a un miembro del departamento ayuda para que interactúe con el sistema y poder obtener su opinión.

En la Figura 36 se puede apreciar la conexión física del hardware, también el correcto funcionamiento del código en la pantalla, se hizo un ejemplo de confirmación acertada y posteriormente un ejemplo de confirmación errónea del número. El programa después de ambos ejemplos continuó con la ejecución del loop principal, a la espera del ingreso de un nuevo número.

Figura 36. Circuito electrónico de pruebas para el teclado matricial.



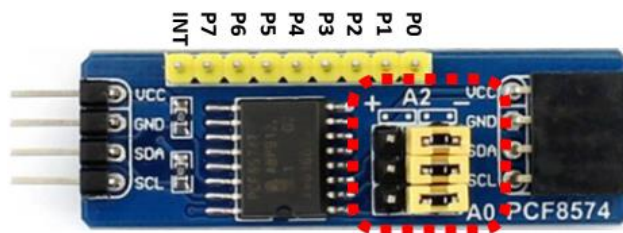
Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.3.3 Expansores de GPIO

Debido a la gran cantidad de puertos GPIOs que el proyecto requiere, se hace insuficiente la cantidad que el Raspberry trae por defecto. Para solucionar este déficit se utilizará un PCF8574, es expansor de entradas y salidas digitales que establece comunicación con el Raspberry Pi por medio del protocolo I²C. Este módulo adiciona 8 GPIOs y por la capacidad de direccionamiento que posee, puede conectarse en cadena 8 módulos, para un total de 64 GPIOs extra.

Cada PCF8574 posee pines de direccionamiento A0, A1 y A2; destacados en la Figura 37, utilizados para diferenciar cada módulo cuando se requiera conectar más de uno con el Raspberry Pi. Si se requiere conocer la dirección hexadecimal se puede utilizar el comando ***sudo i2cdetect -y 1*** en la terminal del Raspberry Pi, donde se desplegará la información de todos los dispositivos conectados vía I²C, pero el PFC8574 siempre estará entre las posiciones 20 h y 27 h. También en la Figura 37 se visualizan los 8 puertos digitales de entrada y salida, identificados como: P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6 y P7.

Figura 37. Pines de direccionamiento del PCF8574.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Para escoger la dirección, se coloca un jumper en cada trío de pines, para definir un 0 se coloca el jumper entre el pin central y el pin negativo, caso contrario se define un 1 con el jumper entre el pin central y el pin positivo. En la figura anterior, la dirección es la numero 20h. La Tabla 8 muestra las ocho diferentes configuraciones posibles para configurar la dirección del módulo. A su vez, la tabla muestra la dirección para la activación (H = High, L = Low) independiente de cada GPIO.

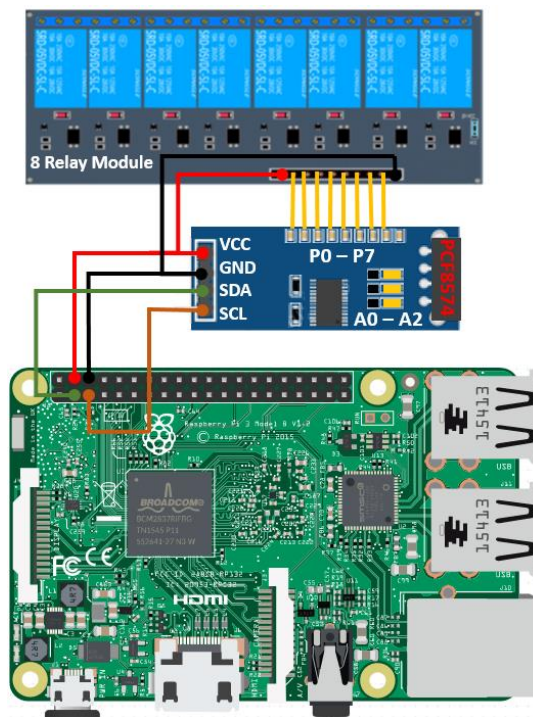
Tabla 8. Configuración del direccionamiento del PCF8574.

Direccionamientos del PCF8574												
Direccionamiento I ² C				Direccionamiento de activación de un puerto								
A2	A1	A0	Dirección	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0	Dirección
0	0	0	20h	H	L	L	L	L	L	L	L	7Fh
0	0	1	21h	L	H	L	L	L	L	L	L	BFh
0	1	0	22h	L	L	H	L	L	L	L	L	DFh
0	1	1	23h	L	L	L	H	L	L	L	L	EFh
1	0	0	24h	L	L	L	L	H	L	L	L	F7h
1	0	1	25h	L	L	L	L	L	H	L	L	FBh
1	1	0	26h	L	L	L	L	L	L	H	L	FDh
1	1	1	27h	L	L	L	L	L	L	L	H	FEh

Fuente: Elaboración propia del autor.

Las conexiones eléctricas entre el PCF8574 y el Raspberry PI son 4 líneas: V_{CC}, GND, SDA y SCL. Para crear un circuito de pruebas para el proyecto se utiliza un módulo expensor de GPIO y un módulo de ocho interconectados de la siguiente forma: cada salida digital del PCF8574 se conecta a un puerto de control de la bobina de un relevador, además de las conexiones de V_{CC} y GND que son de carácter indispensable para operar. Todas las conexiones se presentan en la Figura 38.

Figura 38. Conexiones del Raspberry Pi, PCF8574 y módulo de relevadores.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Se crea un código de programación, presentado en la Figura 39, para constatar la operatividad del hardware y el correcto funcionamiento del direccionamiento explicado en la Tabla 8. Se empieza con todos puertos desactivados (línea 8), luego se mantiene cada puerto encendido durante 1 segundo empezando con P0 hasta llegar a P7 (línea 10 - 24); por último se activan todos los puertos al mismo tiempo durante 1 segundo (línea 26). El PCF8574 será configurado para operar en la dirección 20 h, por lo tanto, cada comando de activación de puertos contiene el código 0x20.

Figura 39. Código de programación del PCF8574 para CR DCG.

```

1 |   ## Programacion expansores GPIO PCF8574 ##
2 | from smbus import SMBus
3 | import time
4 |
5 | def expansorIO():
6 |     bus = SMBus(1)
7 |
8 |     bus.write_byte(0x20, 0xFF) #todos los puertos OFF, FFh
9 |     time.sleep(1)
10 |    bus.write_byte(0x20, 0xFE) #P0 activado, FEh
11 |    time.sleep(1)
12 |    bus.write_byte(0x20, 0xFD) #P1 activado, FDh
13 |    time.sleep(1)
14 |    bus.write_byte(0x20, 0xFB) #P2 activado, FBh
15 |    time.sleep(1)
16 |    bus.write_byte(0x20, 0xF7) #P3 activado, F7h
17 |    time.sleep(1)
18 |    bus.write_byte(0x20, 0xEF) #P4 activado, EFh
19 |    time.sleep(1)
20 |    bus.write_byte(0x20, 0xDF) #P5 activado, DFh
21 |    time.sleep(1)
22 |    bus.write_byte(0x20, 0xBF) #P6 activado, BFh
23 |    time.sleep(1)
24 |    bus.write_byte(0x20, 0x7F) #P7 activado, 7Fh
25 |    time.sleep(1)
26 |    bus.write_byte(0x20, 0x00) #todos los puertos ON, 00h
27 |    time.sleep(1)
28 |
29 | try:
30 |     while True:
31 |         expansorIO()
32 |
33 | except KeyboardInterrupt: # Interrupcion con ctrl+C
34 |     print("Cleaning up!")

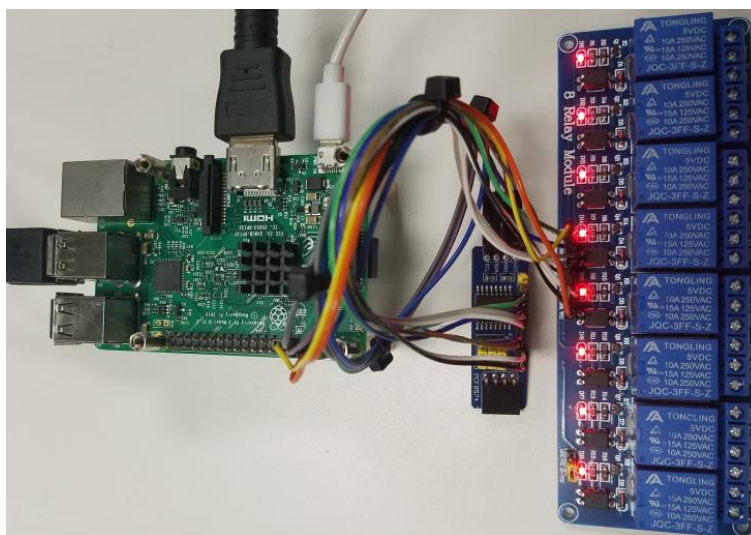
```

Fuente: Elaboración propia del autor.

Una vez creado el código, se realiza la interconexión de los 3 elementos del hardware para crear el circuito electrónico de pruebas para el proyecto del departamento CR DCG. En la Figura 40 se captura el momento exacto de la activación de todos los 8 puertos, que es la dirección 00h, queda claramente en evidencia por los LEDs de color rojo ubicados en el módulo de 8 relevadores. Para el circuito final del

proyecto se debe agregar al menos dos módulos extra de expansores de GPIOs, y se utilizarán para energizar las bobinas de los relevadores y de esta forma cerrar el contacto normalmente abierto, logrando la activación de las cerraduras electromagnéticas.

Figura 40. Circuito electrónico de pruebas del PCF8574.



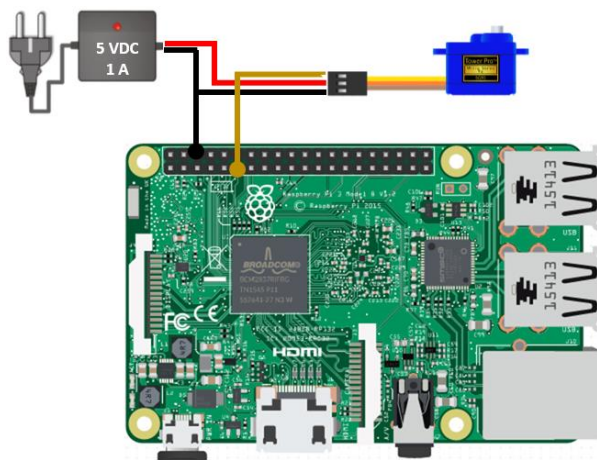
Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.3.4 Servomotores

En la propuesta del proyecto se mencionan los dos métodos de entrega de repuestos por parte del sistema al usuario: por apertura de puertas del gabinete y por dispensado por gravedad. Los servomotores cumplirán una función muy importante en el dispensado de repuestos por gravedad. Los servomotores a utilizar son los Tower Pro SG92R, los cuales pueden operar con 5 V_{DC} y con una corriente aproximada de 800 mA, por lo que se debe usar una fuente externa de corriente directa, tal como se observa en la Figura 41, detalla las conexiones de un servomotor con el Raspberry Pi,

donde es importante acotar que GND de la fuente y del Raspberry Pi deben estar conectadas entre sí.

Figura 41. Conexiones del Raspberry Pi con el SG92R.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Se debe crear diseño para acoplar en el eje del servomotor con el objetivo de colocar repuestos que al caer desde una distancia de pocos centímetros no se dañen, para almacenar más repuestos en una cavidad y de esta manera maximizar la capacidad del gabinete. Se decide utilizar 4 cavidades originales del gabinete, cada una tendrá su propio servomotor y cada uno de estos almacenará 3 repuestos. Sabiendo que la capacidad total de giro servomotores a utilizar es de 180° , se debe programar el servomotor para que opere en 4 posiciones distintas: 0° , 60° , 120° y 180° .

Para crear el código de programación, mostrado en la Figura 42, se debe calcular el ciclo de trabajo de las 4 posiciones mencionadas anteriormente. El servomotor trabaja con PWM, por ser la frecuencia inversamente proporcional al tiempo, si el servomotor trabaja con 50Hz, el tiempo de un ciclo de la onda es de 20 ms. La mayoría

de los servomotores tienen un ciclo de trabajo de entre 1ms – 2ms para girar de 0° a 180°, lo que equivale a un 5% y un 10% respectivamente del ciclo de la onda de 20 ms.

Para el diseño del proyecto se necesita que el servomotor tenga un viraje dextrógiro, por tanto cuando el eje esté girado completamente hacia la izquierda será 0° y cuando se encuentre totalmente a la derecha, será 180°. En la práctica, para ubicar el SG92R en 0° se utiliza un ciclo de trabajo de 2,4 ms y su equivalente es 12% de la longitud de onda, como lo muestra la línea 11 de la Figura 42. Por contraparte, la ubicación del servo en 180° en la práctica es un ciclo de trabajo de 0,8ms, su equivalencia es un 2% de la longitud de onda (línea 20).

Figura 42. Código de programación del SG92R para CR DCG.

```

1 |   ##Programacion del SG92R para CR DCG ##
2 |
3 | import time
4 | import RPi.GPIO as GPIO
5 | GPIO.setwarnings(False)
6 | GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 | GPIO.setup(11, GPIO.OUT)#pin fisico 11 como salida
8 | p = GPIO.PWM(11,50)# pin fisico 11, 50Hz
9 | p.start(12)# se empieza en 12% o 0 grados
10 |
11 | p.ChangeDutyCycle(12)#12% o 0 grados
12 | print"0 grados"
13 | time.sleep(2)
14 | p.ChangeDutyCycle(8.66)#8.66% o 60 grados
15 | print"60 grados"
16 | time.sleep(2)
17 | p.ChangeDutyCycle(5.33)#5.33% o 120 grados
18 | print"120 grados"
19 | time.sleep(2)
20 | p.ChangeDutyCycle(2)#2% o 180 grados
21 | print"180 grados"
22 | time.sleep(2)
23 | p.stop()

```

Fuente: Elaboración propia del autor.

Con los datos del párrafo anterior, se puede utilizar una fórmula que calcule el porcentaje de ciclo de trabajo según el ángulo deseado por el programador. La fórmula inicial es:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{12 - 2}{180 - 0} = \frac{1}{18}$$

Conociendo el valor de la pendiente (m) de la fórmula anterior, se puede despejar y_2 como el valor del ciclo de trabajo deseado por el programador tal y como lo muestra la siguiente fórmula:

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \rightarrow m(x_2 - x_1) = (y_2 - y_1) \rightarrow [m(x_2 - x_1)] + y_1 = y_2$$

Se sustituyen los datos que se conocen según las pruebas prácticas hechas al servomotor como lo son: 2% para 0°, 12% para 180°, el valor de la pendiente (m); y x_2 es la posición deseada en grados, la fórmula con todos los valores a continuación:

$$y_2 = [m(x_2 - x_1)] + y_1 \rightarrow y_2 = \left[\frac{1}{18}(x_2 - 0) + 2 \right] \rightarrow y_2 = \frac{1}{18}x_2 + 2$$

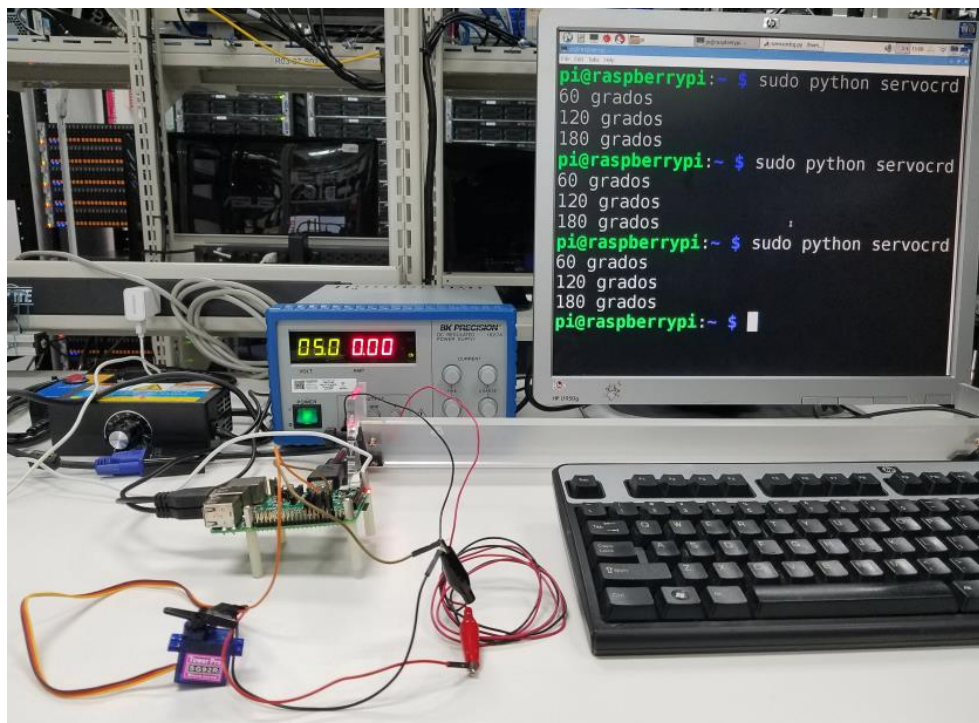
Los ciclos de trabajo, para las posiciones del servomotor en 60° y 120°, son 5.33% y 8.66% respectivamente. Las siguientes 2 fórmulas muestran el cálculo de ambos datos:

$$y_2 = \left[\frac{1}{18}60 + 2 \right] = 5.33$$

$$y_2 = \left[\frac{1}{18}120 + 2 \right] = 8.66$$

Para comprobar que la conexión de SG92R y el programa funcionan correctamente, se crea el circuito electrónico de pruebas, disponible en la Figura 43, donde se utilizó un servomotor conectado a una fuente de poder externa de 5 V_{DC} y con el cable de señal conectado al pin físico 11. Se coloca una pequeña hélice sobre el eje para comprobar que se ejecuten satisfactoriamente las 4 posiciones mencionadas en párrafos anteriores.

Figura 43. Circuito electrónico de pruebas del SG92R.



Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.3.5 Archivo CSV

Una finalidad primordial es crear un sistema de control que sea capaz de proveer información de las solicitudes de repuestos que se han hecho en un tiempo determinado. Por tanto, se requiere crear un programa registre los datos exactos del

usuario que hace uso del sistema, junto con la fecha, hora y repuesto que seleccionó. Se decide utilizar un archivo de texto CSV (Comma-Separated Values), es un formato abierto sencillo para representar datos en forma de tablas, donde las columnas son separadas por una coma y las filas por saltos de línea. Este formato es el más común para importar y exportar en hojas de cálculo y bases de datos

Se adjunta la Figura 44 para explicar el programa que crea o modifica en python un archivo CSV. Inicialmente se deben importar las librerías (líneas 3-5), posteriormente se crea o abre el archivo con el nombre correcto, definiendo qué se desea hacer en el archivo: usando la letra “a” se adjuntan datos en una nueva línea, mientras que usando la letra “w” se escribe la información en una línea borrando los datos que se tengan guardados previamente (líneas 7 y 11).

Figura 44. Código de programación del archivo CSV para CR DCG.

```
1 | ##Programacion del archivo CSV para CR DCG##
2 |
3 | import csv
4 | from datetime import date, datetime
5 | import time
6 |
7 | with open('crdcgcsv.csv', 'w') as csvfile:
8 |     thewriter = csv.writer(csvfile)
9 |     thewriter.writerow(['Usuario', 'Repuesto', 'Fecha y Hora'])
10 |
11 | with open('crdcgcsv.csv', 'a') as csvfile:
12 |     thewriter = csv.writer(csvfile)
13 |     thewriter.writerow(['Usuario ##', 'Disco Duro 500GB', datetime.now().strftime("%d-%m-%Y %H:%M")])
```

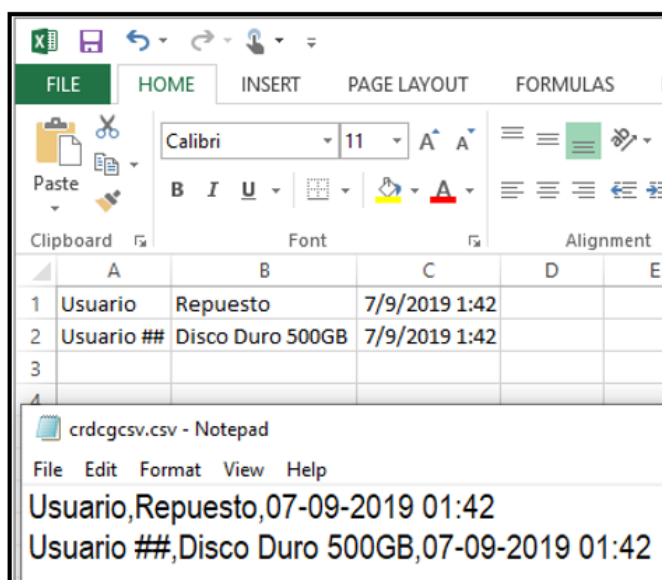
Fuente: Elaboración propia del autor.

Luego se programa escribir una nueva fila en el archivo (líneas 9 y 13), detallando entre paréntesis los datos deseados, separados por coma para crear las columnas, y se usa el comando `datetime.now()`, de la librería `time`, para capturar la fecha y hora,

que en el programa creado para CR DCG se decide que se utilice el formato **DD/MM/YYYY hh:mm**, mediante una cadena o string.

Los archivos en formato CSV pueden ser abiertos en hojas de cálculo o como archivos de texto normal, como se puede observar en la Figura 45, donde el mismo archivo de prueba generado con el código anteriormente explicado, se abre con dos programas distintos, ambos con exactamente la misma información, en el superior de ellos se separa en celdas (filas y columnas) y en programa inferior los datos están separado por comas y saltos de línea.

Figura 45. Información de archivo CSV en dos programas diferentes.



Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.4 Etapa de comunicación.

Permite el acceso a la información de las solicitudes realizadas al administrador o persona encargada del inventario de repuestos en el departamento. El administrador

tiene acceso al sistema operativo del Raspberry Pi por medio del KVM, y acceso a la tabla de registro por medio de un servidor web que utiliza un gestor de base de datos.

5.2.4.1 Servidor LAMP.

Las páginas web dinámicas son generadas de forma activa cada vez que hace una solicitud, que es el caso del sistema a desarrollar en CR DCG. Se desea acceder a los registros creados con el archivo en formato csv. Para lograr crear una página web dinámica se necesita una infraestructura con condiciones especiales, que cumpla con un sistema operativo, un servidor web, un gestor de base de datos y lenguaje de programación; todo esto se logra con un sistema LAMP (Linux, Apache, MYSQL y PHP), que son sistemas aplicados en conjunto.

El funcionamiento es de la siguiente manera: el sistema operativo (Linux) es la base que ejecuta el servidor web (Apache), para interpretar contenidos dinámicos PHP trabaja con el servidor web, este último le envía el código fuente al interprete PHP permitiéndole el acceso a la base de datos (MySQL); el resultado es devuelto al servidor web y este lo muestra al visitante en un navegador de internet.

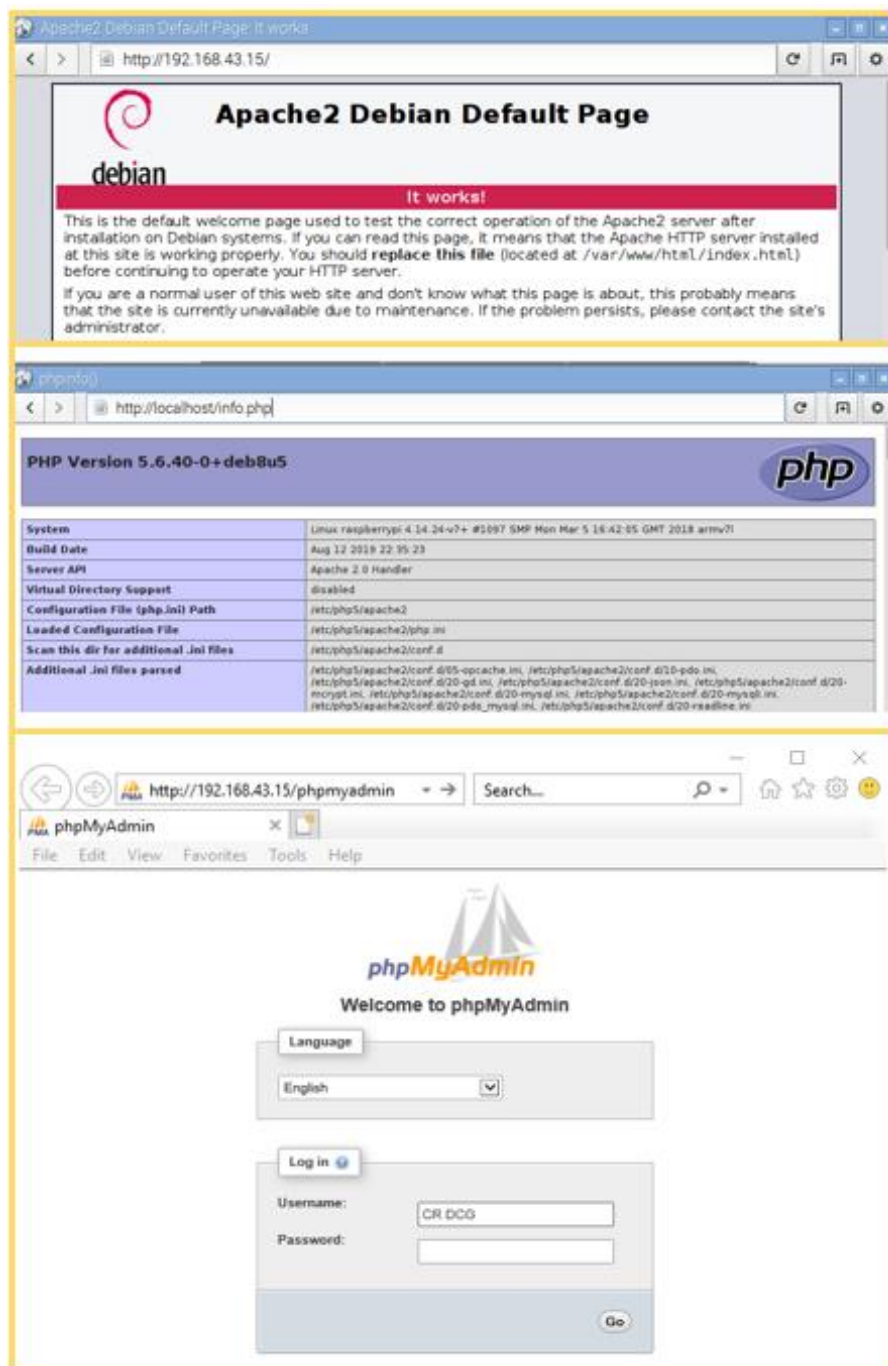
Los siguientes son los pasos de la instalación del servidor LAMP:

1. Descargar el sistema operativo y proceder con la instalación en la tarjeta Raspberry Pi.
2. Asignar una IP estática al Raspberry Pi.
3. Instalar Apache mediante la terminal de programación del Raspberry Pi, ejecutando el comando `sudo apt-get install apache2`, para instalar Apache.

4. Se comprueba la correcta instalación de Apache navegando con la dirección **<http://localhost>** desde el propio Raspberry Pi, como se observa en la imagen superior de la Figura 46.
5. Por medio de la terminal de programación del Raspberry Pi, se instala el lenguaje de programación para crear contenido dinámico, PHP, con el comando `sudo apt-get install php5` y la instalación de paquetes relacionados con el comando `sudo apt-get install libapache2-mod-php5 libapache2-mod-perl2 php5 php5-cli php5-common php5-curl php5-dev php5-gd php5-imagick php5-ldap php5-mhash php5-mysql php5-odbc`.
6. Reiniciar el Raspberry Pi.
7. Comprobar que el PHP funciona, mediante la creación de un fichero con el comando `sudo nano /var/www/html/info.php` y se escribe en el fichero `<?php phpinfo(): ?>` y se salva el archivo.
8. Verificar que PHP funciona correctamente con la dirección **localhost/info.php** en un navegador web del Raspberry Pi, como lo muestra en la imagen central la Figura 46.
9. Instalar el gestor de base de datos, ejecutando `sudo apt-get install mysql-server mysql-client php5-mysql`, reiniciar el Raspberry Pi y ejecutar `sudo service mysql start`.
10. Verificar funcionamiento de MySQL mediante ejecutar en la terminal `mysql -u root -p` y escribiendo la contraseña que se definió durante la instalación de MySQL en el paso anterior.
11. Ir a un navegador web de una computadora que esté en la misma red que el Raspberry Pi y escribir en la barra de navegación la IP definida en el paso

2 seguido de /phpmyadmin; como lo muestra la imagen inferior de la Figura 46, donde se solicitará la comprobación de credenciales.

Figura 46. Verificación de funcionamiento de Apache, PHP y MySQL.

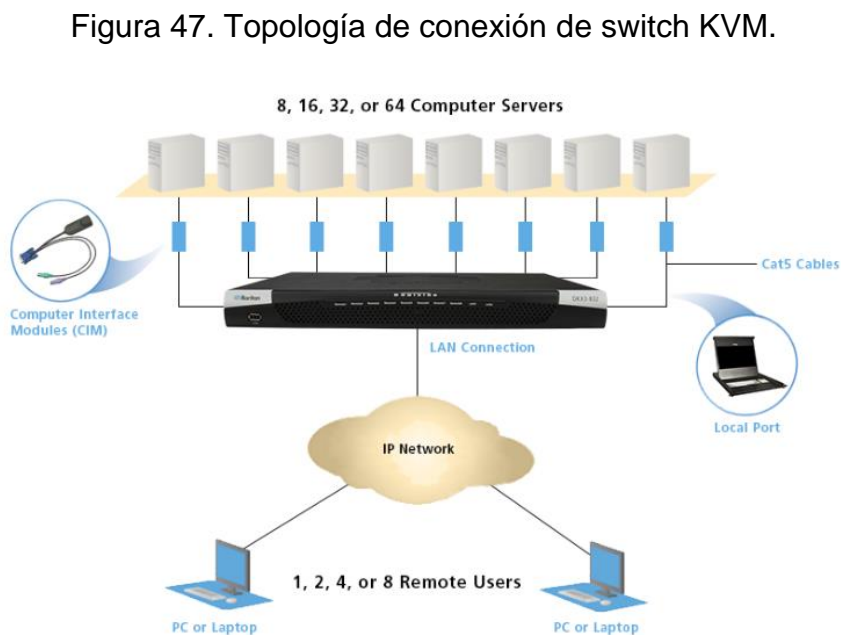


Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.4.2 Switch KVM.

Es un hardware utilizado en los centros de datos, para tener acceso remoto a los servidores emulando el teclado, mouse y monitor de video, todo mediante una conexión de red. La computadora del usuario y el switch KVM se encuentran dentro de la misma red, conectados ya sea por WiFi o por cable de red. Cada servidor está conectado al switch KVM por medio de cable de par trenzado sin apantallar (Unshielded Twisted Pair, UTP) y también es necesario un módulo de interfaz de computadora (Computer Interface Module, CIM) HDMI – RJ45.

La Figura 47 muestra un KVM marca Raritan y la topología de conexión según el modelo, los cuales varían según la capacidad de conexiones de servidores y según la cantidad de usuarios remotos conectados a la vez. Para el proyecto, se usará un puerto disponible del switch KVM más cercano.

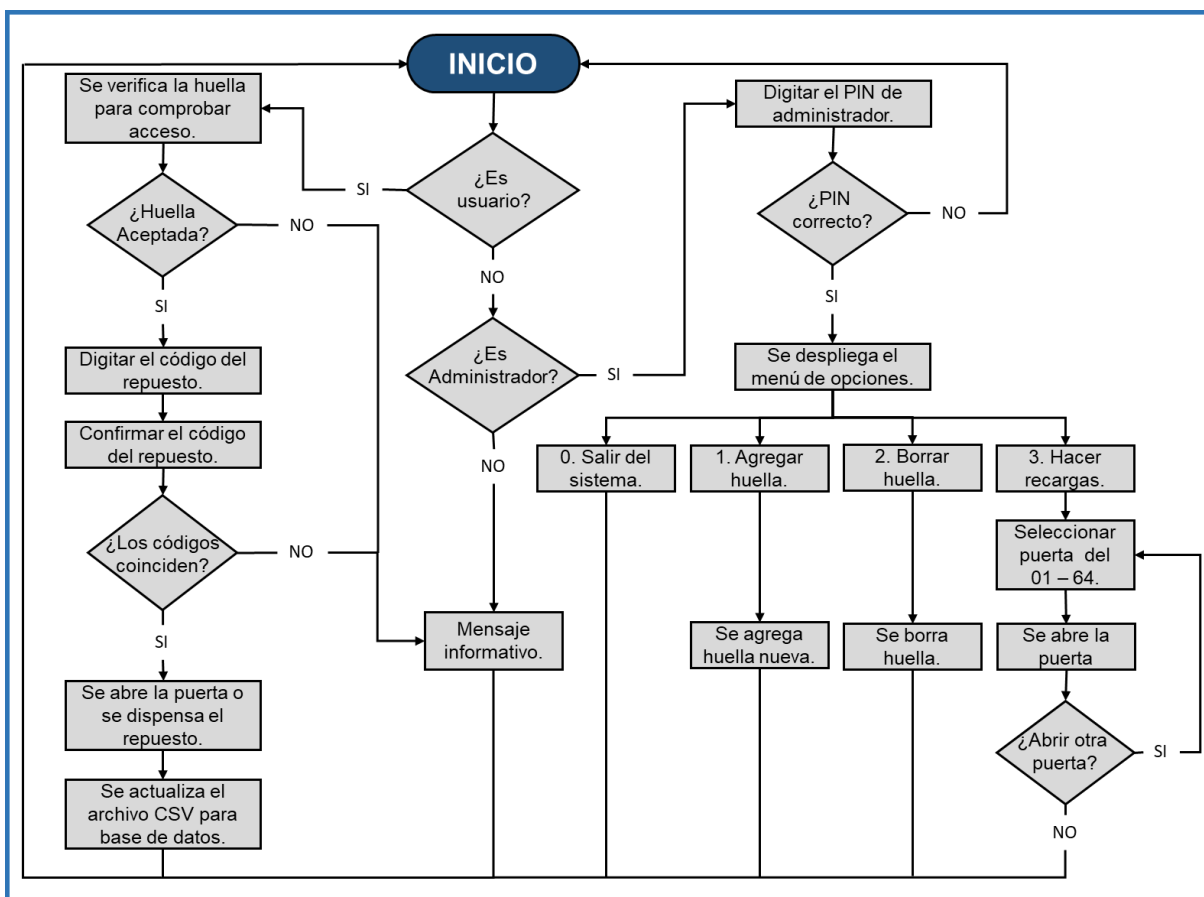


Fuente: <https://www.raritan.com/products/kvm-serial/kvm-over-ip-switches/enterprise-ip-kvm-switch>

5.3 IMPLEMETACIÓN DEL SISTEMA

Basado en el diagrama del prototipo propuesto (figura16) y con los programas de pruebas elaborados y explicados en la sección 5.2, se diseña diagrama de flujo, expuesto en la Figura 48, para la tener un amplio panorama de lo que se debe programar finalmente para poner en funcionamiento el sistema que se implementará en el departamento. En el diagrama se incluyen las funciones del sistema para el usuario, así como las múltiples opciones disponibles para el administrador del sistema utilizando simplemente le teclado matricial y la pantalla LCD.

Figura 48. Diagrama de Flujo de la programación final del sistema para CR DCG.



Fuente: Elaboración propia del autor.

El programa, en su sección para usuario, solicita leer la huella dactilar del dedo índice derecho para compararlo con las huellas almacenadas previamente. En caso de verificar que el usuario está registrado, el sistema le solicita digitar el número de dos dígitos, ubicado en la puerta de cada cavidad del gabinete, del repuesto deseado e inmediatamente solicita digitar la confirmación del número.

Si no coinciden, el sistema despliega en la pantalla un mensaje indicándolo y vuelve al inicio, pero si ambos números coinciden entonces el programa abre la puerta o dispensa el producto, según sea el caso y procede a registrar la actividad en el archivo CSV.

La sección programada para uso del administrador solicita ingresar un PIN de 4 dígitos que funciona como contraseña, una vez se concede el acceso, se despliega un menú de 4 distintas funciones: salir, agregar huella de usuario nuevo, borrar huella de usuario existente o abrir puertas para recargar.

Esta última opción del menú se ejecuta ingresando el número de 2 dígitos que corresponde a cada puerta y es posible seguir abriendo las puertas necesarias hasta que el administrador decida salir del sistema. El programa total de python se adjunta en el Anexo 04.

Para desarrollar la parte física del proyecto, el departamento facilita el gabinete mostrado en la *Figura 49*. Esta estructura metálica, en sus condiciones originales tiene 32 cavidades de almacenamiento, de 20 x 20 x 32 cm cada una. Para duplicar la capacidad de almacenamiento, se agregaron divisiones, hechas en acrílico de 3 mm, de forma horizontal en cada una de las cavidades.

Las dimensiones generales son aproximadamente 188 cm del alto, 91 cm de ancho y 34 cm de profundidad. El gabinete se ubica a 8 metros de las estaciones de trabajo de los colaboradores, en otras palabras estratégicamente en el centro del departamento.

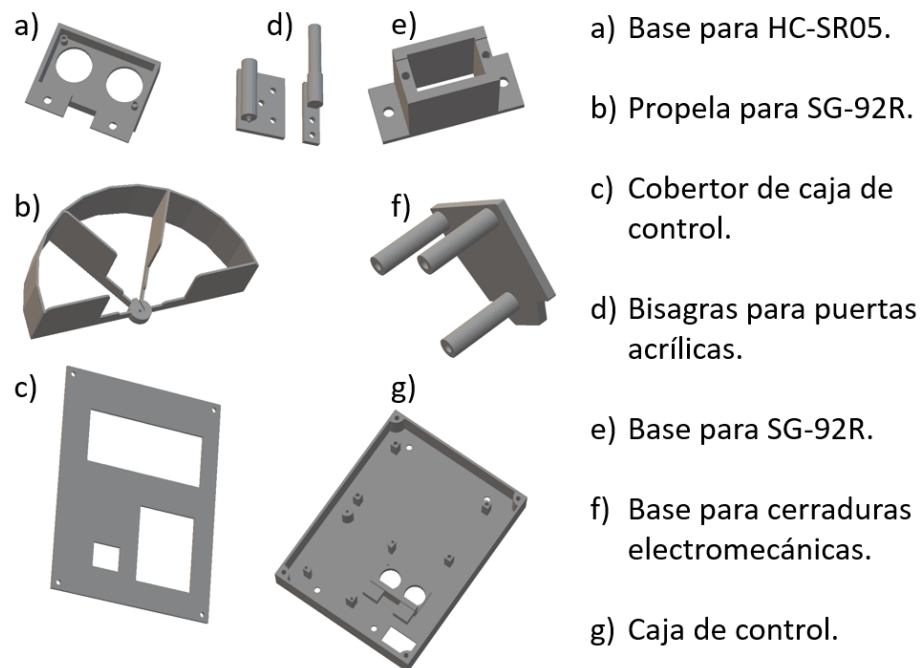
Figura 49. Gabinete utilizado para desarrollo del sistema.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Una vez que se hace la programación completa del sistema y se modifica físicamente el gabinete, se empieza a diseñar los objetos que requieren impresión 3D, los cuales son necesarios para complementar las modificaciones al gabinete original. Se crearon diferentes clases de bases, cajas y cobertores, algunos de ellos mostradas en la Figura 50 para anclar los distintos dispositivos al chasis del gabinete.

Figura 50. Objetos creados en impresión 3D.



Fuente: Elaboración propia del autor.

En la cara lateral del gabinete se instala una caja de control, que contiene los dispositivos de interacción con el usuario. En la parte superior se instala la caja de control, donde se interconectan los demás elementos del sistema.

Entre las principales ventajas de diseñar e imprimir las cajas se puede mencionar que se mantiene el orden del cableado y a su vez la estética del proyecto, sin que éste pierda la funcionalidad, como es evidente en las fotografías de la Figura 51.

Figura 51. Caja principal y de control para CR DCG.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Al mismo tiempo se instalan las divisiones de acrílico en las cavidades, las cerraduras electromagnéticas, puertas y sus respectivas, servomotores, sensores ultrasónicos; a como se detalla en la fotografía de la Figura 52. Adicionalmente, se hacen las conexiones electrónicas requeridas en todo el gabinete para el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 52. Cavidades modificadas del gabinete.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Se instalan todos los elementos del sistema y se comprueba el correcto funcionamiento en cuanto a dispensado electromecánico, apertura de puertas, y registro de las solicitudes de repuestos de los usuarios; entonces se procede a importar el archivo de registro en formato csv en el servidor web del departamento creado por el autor y que es el instrumento de consulta del administrador.

La muestra del proceso de consulta creado para el administrador se detalla en la Figura 53, donde el archivo en formato csv es tabulado de forma automática por el servidor web y se nota con claridad la información necesaria para deducir las cantidades del inventario.

Figura 53. Base de datos para la administración de repuestos de CR DCG.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'mydb'. The current table is 'TABLE 1'. The interface displays a query result with 8 rows. The columns are labeled 'COL 1', 'COL 2', and 'COL 3'. The data in the table is as follows:

COL 1	COL 2	COL 3
Usuar	Repuesto	Fecha y Hora
Jorge	HDD	12-10-2019 12:23
Jorge	Banino	12-10-2019 12:24
Jorge	Memoria	12-10-2019 12:24
Jorge	Banino	12-10-2019 12:29
Jorge	Banino	12-10-2019 14:29
Jorge	Beagle	12-10-2019 14:30
Jorge	Advark	12-10-2019 14:30

The interface also shows a navigation menu on the left with 'Recent' and 'Favorites' tabs. The 'Recent' tab is active, showing a tree view of the database structure: 'information_schema', 'mydb', 'New', and 'TABLE 1'. The 'TABLE 1' is selected. The main area shows a warning message: 'Current selection does not contain a unique column. Grid edit, checkbox,'. Below this, a green message indicates: 'Showing rows 0 - 7 (8 total, Query took 0.0009 seconds.)'. The SQL query is displayed as: 'SELECT * FROM `TABLE 1`'. There are controls for 'Number of rows' (set to 25) and 'Filter rows' (Search this table). At the bottom, there are options for 'Query results operations' including 'Print view', 'Print view (with full texts)', 'Export', and 'Display chart'.

Fuente: Elaboración propia del autor.

Como parte final de la implementación del proyecto, se desarrolla un diagrama electrónico esquemático para futuros mantenimientos del sistema, así como un manual de usuario y administrador, ambos documentos disponibles en los Anexos 5 y 6, respectivamente.

5.4 ANÁLISIS DE COSTOS

El desglose completo de los diferentes materiales necesarios para el diseño, construcción e instalación del sistema automatizado de solicitud de repuestos se muestra en la Tabla 9, además de las cantidades necesarias y el respectivo costo económico de cada material.

Tabla 9. Costos de materiales utilizados.

Artículo	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Pantalla LCD 20 x 4	₡ 8 638	1	₡ 8 638
Teclado matricial	₡ 3 322	1	₡ 3 322
Sensor Ultrasónico HC-SR05	₡ 3 322	4	₡ 13 289
Expansores GPIO PCF8574	₡ 8 817	3	₡ 26 451
Módulo de Relevadores de 4 canales	₡ 4 651	1	₡ 4 651
Módulo de Relevadores de 8 canales	₡ 6 645	2	₡ 13 289
Servomotores SG-92R	₡ 3 322	4	₡ 13 289
Sensor de huella digital	₡ 11 760	1	₡ 11 760
Terminal blocks	₡ 4 351	5	₡ 21 755
Cerraduras electromagnéticas 12 V / 2 A	₡ 5 410	60	₡ 324 600
Raspberry Pi 3B+	₡ 36 544	1	₡ 36 544
Convertidor USB a TTL	₡ 1 328	1	₡ 1 328
Fuente conmutada	₡ 23 50	1	₡ 23 520
Terminales eléctricas (JST-SM de 2 pines)	₡ 248	64	₡ 15 872
Cable 22AWG (en metros)	₡ 235	100	₡ 23 520
Tornillería	₡ 12 775	-	₡ 12 775
Lámina de Acrílico (1.22m x 2.44m x 3mm)	₡ 42 178	4	₡ 168 712
Corte de Piezas en Acrílico	₡ 25 000	-	₡ 25 000
Impresión de modelos en 3D.	₡ 95 500	-	₡ 95 500
Totales	₡ 302 152	-	₡ 843 815

Fuente: Elaboración propia del autor.

Gran cantidad de la inversión en materiales requeridos para el proyecto se hizo por medio de compras a distribuidores locales. Sin embargo, algunos elementos fue necesario importarlos pues no fue posible conseguirlos en tiendas locales, tal como fue el caso de las cerraduras electromagnéticas y los expansores de GPIOs modelo PCF8574.

La implementación de un proyecto de esta magnitud conlleva distintas etapas, como lo son el diseño inicial del sistema, compras de materiales, programación de cada dispositivo electrónico, integración de todos los programas, diseño de partes para instalar el hardware, instalación y pruebas del sistema final, entre otras. Todo lo anteriormente mencionado se contempla en la Tabla 10, donde se describen la cantidad total de horas invertidas en cada etapa y el respectivo costo monetario por hora.

Según la lista de salarios mínimos por ocupación del sector privado para el año 2019, emitida por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS) de Costa Rica (disponible en el Anexo 7 de este documento), se hace el cálculo del costo por hora, utilizando como referencia la ocupación de Bachiller Universitario, el salario mensual asciende a los ₡553 124,45.

Conociendo este monto de salario mensual, se multiplica por los 12 meses del año, se divide entre las 52 semanas anuales y, a su vez, entre las 48 horas máximas de trabajo semanal; obteniendo finalmente un salario de ₡2 659,25 por hora. Se hace el mismo cálculo para obtener el costo del dibujante, con salario mensual de ₡ 349 623, obteniendo por hora aproximado de ₡1 681.

Tabla 10. Costos de implementación del sistema.

Descripción de la actividad	Cantidad de horas	Salario por hora	Costo Total
Diseño del sistema	24	¢2 660	¢ 63 840
Compra de materiales en línea	4	¢2 660	¢ 10 640
Programación del sistema	48	¢2 660	¢ 127 680
Diseño de objetos en 3D	20	¢1 681	¢ 33 620
Diseño de objetos en acrílico	10	¢1 681	¢ 16 810
Instalación del sistema completo	36	¢2 660	¢ 95 760
Prueba final del sistema	2	¢2 660	¢ 5 320
Totales	122	-	¢ 353 670

Fuente: Elaboración propia del autor.

Conociendo los montos totales de inversión mostrados en las dos tablas anteriores, se crea la Tabla 11, la cual presenta la cantidad total de la inversión realizada por CR DCG, para obtener un sistema automatizado de solicitud de repuestos y dispositivos electrónicos. Además del rubro respectivo de ganancia, se fija en un 30% de la suma de costos de materiales y costos de implementación. A partir del 1º. de julio del 2019, entra en marcha la ley de fortalecimiento de las finanzas públicas; según la ley, la prestación de servicios se grava con el Impuesto al Valor Agregado (IVA), correspondiente al 13%, rubro que también se incluye.

Todas las compras de materiales fueron hechas en dólares estadounidenses, se toma como referencia el valor del tipo de cambio de venta en ¢ 588, siendo este el mayor valor de los días de compra de materiales.

Tabla 11. Costo total de la implementación del sistema.

Descripción del costo	Costo Total
Costo de materiales utilizados	₪ 843 815
Costos de implementación	₪ 353 670
Ganancia (30%)	₪ 359 245
Impuesto al valor agregado a la implementación (IVA 13%)	₪ 92 680
Total	₪ 1 649 410

Fuente: Elaboración propia del autor.

Es de suma importancia crear un balance costo-beneficio que permita justificar la inversión realizada y le permita a la empresa y al departamento conocer el tiempo necesario para recuperar la inversión, por tal razón se crea la Tabla 12, donde se ha definido el valor hora-hombre aproximadamente en ₪3 257. Este valor es diferente al calculado anteriormente según la lista de salarios mínimos del Ministerio de Trabajo mencionada en esta misma sección.

Para la creación de la Tabla 12, se contempla el ingreso de un Técnico de Educación Superior en ₪ 451 523,54 como salario base. Sin embargo es necesario adicionar al menos un 50%, este porcentaje es correspondiente a los cálculos de la jornada laboral comprimida nocturna (con sus horas extras fijas) y otros beneficios propios de la empresa que se aplican sobre el salario base.

Tabla 12. Análisis costo-beneficio del proyecto.

Descripción	Costo hora-hombre	Horas por Mes	Costo Total Mensual	Horas por Año	Costo Total Anual
Inventario sin el sistema automatizado	₡ 3 257	36	₡ 117 252	432	₡ 1 407 024
Inventario con el sistema automatizado implementado	₡ 3 257	1	₡ 3 257	12	₡ 39 084
Diferencia anual	-	35	₡ 113 995	420	₡ 1 367 940

Fuente: Elaboración propia del autor.

Después de analizar la tabla anterior, y compararla con los resultados totales de la Tabla 11, se determina que la inversión total hecha por el departamento será recuperada hasta el décimo quinto mes. Existen beneficios paralelos que complementan la justificación del proyecto, como es evitar el extravío de repuestos con valor elevado y la recuperación del personal para elaborar otras tareas de prioridad para CR DCG.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

Una vez finalizado este proyecto de desarrollar un sistema automatizado de solicitud de repuestos y dispositivos electrónicos mediante un control de apertura de puertas, dispensado electromecánico y registro de actividad para el departamento de CR DCG, se concluye lo siguiente:

Se identificaron las necesidades que tenía el departamento mediante la observación directa de los procesos en diferentes atenciones técnicas, incluyendo la manera en que se obtenían los repuestos antes de la implementación del presente proyecto. Fue necesario entender los requerimientos del departamento, pero también incluir en la investigación las necesidades de los colaboradores, mediante conversaciones abiertas, para que ellos puedan desarrollar de manera eficiente sus labores diarias y satisfacer las solicitudes de los clientes internos.

Durante el proceso se hicieron comparaciones entre los dispositivos electrónicos que se podían implementar y adaptar al hardware que provee la empresa, y que estos elementos tuvieran características especiales como lo son: instalación sencilla, precios accesibles, preferiblemente modulares, que se encuentren en el mercado los reemplazos en caso que fallen, y que excedan las expectativas de lo deseado para poder hacer mejoras o expansiones del proyecto en el futuro.

Se elige el Raspberry Pi 3, como parte fundamental y central del proyecto, por su gran capacidad de procesamiento, trabaja con una distribución libre de sistema operativo (Linux basado en Debian), puertos de entrada y salida suficientes para

desarrollar el sistema, integración de protocolos de comunicación como I²C y WiFi; además por ser idóneo para ser utilizado como un servidor web de consulta.

Se creó un diseño, con una maqueta a menor proporción de la idea original, con elementos que permitieran demostrar la funcionabilidad del programa integrando todos los dispositivos electrónicos previamente evaluados y solicitados por el desarrollador del proyecto; a su vez dar uso a las herramientas de la empresa como lo son la impresora 3D y cortadora laser de acrílico; lo anterior en conjunto se evidenció que además dispensar repuestos también es posible capturar las actividades del sistema creado con información relevante como el nombre del usuario, la fecha y hora de la solicitud del repuesto y almacenar esos datos para el uso futuro por parte del administrador de repuestos.

Por medio de un sistema LAMP, se creó una base de datos, que toma como referencia un archivo básico en formato csv y lo muestra en formato de filas y columnas, permitiendo al administrador de repuestos del departamento hacer la consulta en tiempo real, de manera rápida y remota, de los repuestos solicitados en un lapso determinado.

Se evaluó el funcionamiento del sistema con repuestos de dimensiones reales, con diseños de puertas, que el sistema logre abrirlas de manera correcta y sin dificultades, además comprobó que el dispensador electromecánico, en conjunto con el sensor ultrasónico, proporcionan lecturas y movimientos confiables que aseguren la entrega y registro de la actividad del repuesto solicitado por el usuario.

Se analizó el costo-beneficio para el departamento, donde si bien es cierto la inversión es alta, la inversión será recuperada a mediano plazo, esto es entendible y aceptable pues el departamento no realiza ninguna actividad comercial que genere ingresos y el sistema no tenía como objetivo principal generarlos.

Con el desarrollo del sistema se obtuvo beneficios paralelos, como la eliminación del tiempo que se desperdiciaba mes tras mes realizando una actividad repetitiva y que es propensa a errores humanos, como un mal conteo de repuestos. Se puede añadir que se recupera recurso humano, que es valioso y limitado, para ser destinado a labores técnicas propias del departamento y evitando los cambios de horario de noche al día, lo cual genera una ausencia sensible a la cobertura de los clientes del departamento.

Un beneficio adicional es que se logra proteger los activos de la empresa, pues hay un repuesto específico que por su alto valor económico se encuentra etiquetado como activo. Durante una auditoría por parte del gobierno a la empresa, por estar ubicada en zona franca, puede solicitar que se ubique un activo. En caso de no ubicarse representaría una multa económica que debe asumir el departamento.

6.2 RECOMENDACIONES

El departamento, con miras a futuro puede considerar la expansión del sistema a otros gabinetes que contienen otro tipo de dispositivos, y que son catalogados como inventario de alto valor para la empresa. Podría hacer la adición del sistema y que

logre establecer comunicación con el Raspberry Pi por medio de tecnologías como Bluetooth.

Se puede modificar el programa del sistema creado por el autor, para que el administrador tenga opción de abrir con una sola solicitud la totalidad de puertas, o por etapas, de tal forma que no tenga que digitar el código individual de cada puerta que desea abrir para hacer las recargas de repuestos.

El alcance del proyecto implementado solo incluía el registro de actividades para el usuario, pero con modificaciones al sistema también es posible capturar las actividades del administrador si el coordinador del departamento considera que es necesario llevar este tipo de control.

Es posible trabajar en una base de datos robusta, que sea manejada por el servidor web ya desarrollado y que el sistema mejorado haga una deducción automática del inventario principal de los repuestos del departamento; también al modificar el programa puede capturar algún comentario del usuario, como por ejemplo el nombre de la plataforma de validación en la que va a instalarse el repuesto.

Con el objetivo de fortalecer el sistema, se recomienda implementar sistemas de alerta en los repuestos que se consideren necesarios. Se recomienda la notificación por correo electrónico al administrador, aunque se puede valorar la implementación de notificaciones push a un dispositivo móvil.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias Bibliográficas.

Adafuit. (s.f). *Fingerprint Sensor*. **Disponible** en: <https://bit.ly/2CFVjoX>

Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica*. 6ª ed. Caracas: Editorial Episteme, C.A.

Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G. & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y Actuadores Aplicaciones con Arduino*. México: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V. **Disponible** en: <https://bit.ly/33rLmas>

Cox, T. & Lawrence Fernandes, S. (2018). *Raspberry Pi 3 Cookbook for Python Programmers*. 3ª ed. Birmingham: Packt Publishing Ltd. **Disponible** en: <https://bit.ly/2JX4Vj8>

Del Cid, A., Méndez, R. & Sandoval, F. (2011). *Investigación. Fundamentos y Metodología*. 2ª ed. México: Pearson Educación de México, S.A de C.V.

Digital Trends. (s.f.). *What is Wi-Fi? Here's is everything you need to know*. **Disponible** en: <https://bit.ly/2qPegTx>

Grupo de Robótica Educativa UAH. (s.f.). *Expansión de Recursos. El Bus I²C*. **Disponible** en: <https://bit.ly/378coFM>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación (6ta ed)*. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo Elaborar y Asesorar una Investigación de Tesis*. 2ª ed. México: Pearson Educación de México, S.A de C.V.

Niño Rojas, V. (2011). *Metodología de la Investigación. Diseño y Ejecución*. Bogotá: Ediciones de la U.

Pérez Valdés, J. (2007). *¿Qué son las bases de datos?* **Disponible** en:
<https://bit.ly/2ObkcOI>

Raspberry Pi Foundation. (s.f.). *Raspberry Pi 3 Model B*. **Disponible** en:
<https://bit.ly/2CIFC0j>

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la Investigación Científica*. México: Limusa, S.A de C.V.

Tecnología & Informática. (s.f.). *Impresoras 3D ¿Qué son? ¿Cómo funcionan? Todo sobre impresión 3D*. **Disponible** en: <https://bit.ly/2Qqu6ym>

Viso, E. & Peláez, C. (2007). *Introducción a las Ciencias de la Computación con JAVA*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias Circuito Exterior. **Disponible** en: <https://bit.ly/2rmtrE1>

ANEXOS

Lista de Anexos.01. Cronograma del Proyecto y Trabajo Escrito.

02. Ficha de Observación CR DCG.
03. Entrevista Grupal CR DCG.
04. Programa de Repuestos CR DCG.
05. Diagrama Esquemático CR DCG.
06. Manual de Usuario y Administrador CR DCG.
07. Lista de Salarios MTTTS 2019.