

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecatrónico*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SEÑALIZACIÓN ON-OFF CON  
COMUNICACIÓN AL SCADA DE UN SECCIONADOR ELÉCTRICO PARA  
REDUCIR EL TIEMPO DE BÚSQUEDA EN RED DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA"**

**AUTOR:**

EDWIN JOSUÉ ASTUDILLO DELGADO

**TUTOR:**

ING. DIEGO PAUL CHACÓN TROYA, Mdh.

CUENCA – ECUADOR

2021

# CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Edwin Josue Astudillo Delgado con documento de identificación N° 0302397930 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SEÑALIZACIÓN ON-OFF CON COMUNICACIÓN AL SCADA DE UN SECCIONADOR ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE BÚSQUEDA EN RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecatrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2021



---

Edwin Josue Astudillo Delgado

C.I 0302397930

# CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SEÑALIZACIÓN ON-OFF CON COMUNICACIÓN AL SCADA DE UN SECCIONADOR ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE BÚSQUEDA EN RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA”**, realizado por Edwin Josue Astudillo Delgado, obteniendo el *Proyecto Tecnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2021



---

Ing. Diego Paul Chacón Troya, Mdhd.

C.I. 1900268168

# DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Edwin Josue Astudillo Delgado con documento de identificación N° 0302397930, autor del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SEÑALIZACIÓN ON-OFF CON COMUNICACIÓN AL SCADA DE UN SECCIONADOR ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE BÚSQUEDA EN RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA”**, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre del 2021



---

Edwin Josue Astudillo Delgado

C.I 0302397930



# DEDICATORIA

El trabajo de titulación al ser una de las metas mas grandes en la vida del estudiante universitario lo quiero dedicar a todas las personas que me supieron apoyar en cada uno de los peldaños para la culminación de la carrera. En primera instancia quiero agradecer a Dios por saberme guiar, brindarme sabiduría y cubrirme bajo su manto en todo este largo camino. De igual manera quiero dedicar este trabajo a toda mi familia, amigos y conocidos que me dieron fuerzas y ánimos para seguir en el transcurso de este camino. Principalmente a mis padres que han sido lo artífices principales para que me encuentre en este momento de mi vida, que me han sabido inculcar valores y principios fundamentales para lograr metas en mi vida y concluir con este trabajo.

# AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por haberme guiado y protegido en todo este trayecto universitario, A mi familia que con su constante apoyo que me han sabido brindar, me daban fuerzas en cada momento para no desistir y seguir con este camino hasta cumplir mis metas. A mis amigos y compañeros universitarios que con alegrías, tristezas, risas y penas hemos forjado una segunda familia que de igual manera con un constante apoyo y compañerismo estamos en los escalones finales de la carrera siempre unidos y con respeto mutuo. A mis abuelitos y tíos que me brindan de apoyo y sus experiencias para construir metas por cumplir. A mis hermanos y en especial a mis padres que ellos son el pilar fundamental de mi carrera universitaria que con su constante ayuda incondicional, su preocupación y determinación que me dieron ánimos y fuerzas para seguir cada día adelante. A mi tutor del trabajo de titulación y el tutor dentro de la empresa que me brindaron su apoyo y sus conocimientos para concluir con este trabajo.

# RESUMEN

En la actualidad, la necesidad de incorporar y repotenciar elementos de generación eléctrica es de gran interés, a su vez la implementación de elementos que incorporen facilidades y optimicen recursos en el ámbito industrial y empresarial tiende a buscar propuestas innovadoras para mejorar instalaciones previamente disponibles en términos de eficiencia en cuanto a tiempos.

La propuesta de señalización de un seccionador eléctrico busca reducir los tiempos de búsqueda de fallo de seccionadores conectados en la red de distribución eléctrica de media tensión. Para ello la propuesta contempla el diseño y dimensionamiento del mecanismo de señalización de estado de dicho aparato electromecánico colocado en un elemento cerámico del seccionador, así como el protocolo de comunicación M2M con arquitectura de red MODBUS y monitoreo en el sistema SCADA de la Empresa Eléctrica Azogues S.A. a fin de reducir el tiempo de búsqueda por parte del operario en el caso de algún fallo, manteniendo sistemas más eficientes.

Para ello, la configuración y optimización de recursos de la propuesta han sido dimensionados conforme a la operación óptima del sensor de proximidad seleccionado basado en tecnología infrarroja. Con respecto; adicionalmente, el sistema de monitoreo y control se basa en un modelo de monitoreo SCADA a fin de proporcionar una herramienta adicional que se encuentre en la capacidad de asistir en las labores del operario. Con respecto al sistema mecánico referente al acople que proteja al sensor de proximidad de climas a la intemperie incorpora ciertas características en cuanto a la resistividad eléctrica, térmica y mecánica con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento de dicho sensor. Para el algoritmo de control propuesto se ha elaborado una secuencia lógica en la capacidad de responder frente a los cambios de entrada al sistema en este caso la detección de la cuchilla del seccionador eléctrico por medio del sensor y posterior a ello mediante el protocolo M2M se envía un status de entradas digitales discretas que contempla el protocolo MODBUS hacia el sistema SCADA produciendo de esta manera un aviso a los operarios del sensor, así como posibles perturbaciones externas garantizando la que el sistema cue

Como resultado de la propuesta del elemento de señalización ON/OFF fue posible proporcionar una herramienta en la capacidad de innovar en un sistema fiable, eficiente y con las características de dispositivos comerciales similares de costos elevados.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b>	<b>II</b>
<b>DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Glosario</b>	<b>2</b>
<b>3. Problema de estudio</b>	<b>3</b>
3.1. Problema General . . . . .	3
3.2. Problemas Específicos . . . . .	3
3.3. Antecedentes . . . . .	3
3.4. Importancia y alcances . . . . .	4
3.5. Delimitación . . . . .	4
<b>4. Objetivos.</b>	<b>5</b>
4.1. Objetivo General. . . . .	5
4.2. Objetivos Específicos. . . . .	5
<b>5. Marco teórico</b>	<b>5</b>
5.1. Diseño Mecatrónico . . . . .	5
5.2. Seccionador Eléctrico . . . . .	6
5.3. Microcontrolador Arduino . . . . .	7
5.4. Sistema SCADA . . . . .	8
5.5. MODBUS . . . . .	8
5.6. DPN3 . . . . .	9
5.7. IEC 60870-5-104 . . . . .	9
5.8. Carga fotovoltaica y Baterías . . . . .	9

<b>6. Marco Metodológico</b>	<b>10</b>
6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño del prototipo . . . .	10
6.1.1. Medidas del seccionador eléctrico 22kV . . . . .	10
6.1.2. Selección del microcontrolador . . . . .	13
6.1.3. Componentes y materiales a utilizar . . . . .	17
6.1.4. Materiales Adicionales . . . . .	24
6.1.5. Descripción de procesos . . . . .	24
6.2. Diseño de un prototipo de señalización ON-OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico. . . . .	26
6.2.1. Esquema general de funcionamiento . . . . .	28
6.2.2. Esquema electrónico del prototipo . . . . .	29
6.2.3. Programación para la comunicación del microcontrolador hacia el siste- ma SCADA . . . . .	32
6.2.3.1. Ehternet Shield MKR . . . . .	33
6.2.3.2. Arduino IDE 2.0 . . . . .	34
6.2.3.3. ModScan32 . . . . .	37
6.2.3.4. Versiones del protocolo MODBUS . . . . .	39
6.2.3.5. Formato general de las tramas del protocolo MODBUS . . . .	39
6.2.3.6. Input Status(Entradas digitales discretas): . . . . .	42
6.2.3.7. Librerías en Arduino: . . . . .	42
6.2.3.8. Librerías implementadas: . . . . .	43
6.2.3.9. Descripción del código fuente: . . . . .	49
6.2.4. Diseño mecánico del acople del sensor de proximidad . . . . .	61
6.2.4.1. Escaneo de la parte cerámica del seccionador en 3D: . . . .	62
6.2.4.2. Obtención de las medidas del seccionador : . . . . .	69
6.2.4.3. Modelado del acople protector : . . . . .	72
6.3. Construcción del prototipo de señalización de un seccionador eléctrico . . . .	77
6.3.1. Construcción del acople protector . . . . .	77
6.3.1.1. Presupuesto para la impresión del acople: . . . . .	79
6.3.1.2. Elaboración del acople protector: . . . . .	80
6.3.1.3. Rigidez dieléctrica de los materiales: . . . . .	84
6.3.1.4. Posible proceso de producción: . . . . .	87
6.3.2. Implementación del esquema electrónico . . . . .	89
6.3.2.1. Elaboracion de la placa PCB: . . . . .	89
6.3.2.2. Alimentación del prototipo: . . . . .	91

6.3.3. Implementación de la comunicación entre el microcontrolador y el sistema SCADA . . . . .	93
6.3.3.1. Comunicación con las SIM M2M: . . . . .	93
6.3.3.2. Conexión en el sistema SCADA: . . . . .	98
<b>7. Resultados</b>	<b>100</b>
7.1. Diseño mecánico . . . . .	100
7.2. Diseño electrónico . . . . .	102
7.3. Programación . . . . .	102
7.4. Arquitectura . . . . .	103
7.5. Sistema de monitoreo SCADA . . . . .	104
7.6. Estudio financiero . . . . .	105
<b>8. Conclusiones</b>	<b>106</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>107</b>
<b>Anexos</b>	<b>111</b>

## Lista de Tablas

1.	Comparativa de los microcontroladores . . . . .	17
2.	Características del microcontrolador Arduino MKR 1400 GSM (Arduino, 2021)	18
3.	Formato de las tramas en los modos ASCII y RTU . . . . .	40
4.	Tabla referente a las funciones MODBUS y su correspondencia a cada registro	41
5.	Especificaciones del escáner Artec Eva . . . . .	63
6.	Especificaciones del escaner EinScan Pro 2X Plus . . . . .	66
7.	Proforma de StartUPS Labs de las impresiones 3D (Fuente: Autor) . . . . .	79
8.	Propiedades del policarbonato . . . . .	88
9.	Consideraciones de diseño del acople protector . . . . .	101
10.	Presupuesto de a construcción del acople . . . . .	105
11.	Costo de investigación del proyecto . . . . .	105



## Lista de Figuras

1.	Diseño mecatrónico con prototipado virtual . . . . .	6
2.	Ejemplo de un Seccionador eléctrico 22kV (Fuente: Autor) . . . . .	10
3.	Dimensiones de un seccionador cut off de la marca ABB (Promelsa, 2018) . .	11
4.	Partes de un seccionador (Enersis, 2012) . . . . .	12
5.	Partes de un seccionador (Fuente: Autor) . . . . .	13
6.	Circuito Integrado Programable (Inc., 2021) . . . . .	14
7.	Raspberry Pi (Foundation, 2021) . . . . .	14
8.	Arduino PRO (Arduino, 2021) . . . . .	15
9.	Aplicaciones con Arduino PRO (Arduino, 2021) . . . . .	16
10.	Microcontrolador MKR 1400 GSM (Arduino, 2021) . . . . .	18
11.	Sensor Sharp GP2Y0A41 (Naylamp Mechatronics SAC, 2021) . . . . .	19
12.	Funcionamiento sensor de proximidad infrarrojo (Naylamp Mechatronics SAC, 2021) . . . . .	20
13.	SCADA eléctrico (Fernandez, 1993) . . . . .	21
14.	SCADA eléctrico (Schneider Electric, 2014) . . . . .	22
15.	Batería con carga fotovoltaica (Fovino, 2017) . . . . .	24
16.	Procedimiento de señalización de un seccionador (Fuente: Autor) . . . . .	25
17.	Procedimiento de señalización de un seccionador (Fuente: (Karl T. Ulrich, 2020))	26
18.	Esquema de funcionamiento del prototipo (Fuente: Autor) . . . . .	28
19.	Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento del prototipo de señalización (Fuente: Autor) . . . . .	29
20.	Esquema de conexión en el protoboard en el software Fritzing (Fuente: Autor)	31
21.	Esquema electrónico del prototipo (Fuente: Autor) . . . . .	32
22.	Arduino MKR Ethernet Shield (Fuente: (Arduino, 2021) . . . . .	33
23.	Arduino MKR 1400 GSM con EHT Shield (Fuente: Autor) . . . . .	34
24.	Arduino PRO IDE (Fuente: (Team, 2021)) . . . . .	35
25.	Auto-completado de Arduino IDE 2.0 (Fuente: (Team, 2021)) . . . . .	35
26.	Atajos de navegación de Arduino IDE 2.0 (Fuente: (Team, 2021)) . . . . .	36
27.	Depurador en tiempo real de Arduino IDE 2.0 (Fuente: (Team, 2021)) . . . .	36
28.	Programa ModScan32 (Fuente: Autor) . . . . .	38
29.	Comunicación entre maestro y esclavo en MODBUS (Fuente: (Diselecser, 2020))	40
30.	Librería Ethernet en Arduino IDE 2.0 (Fuente: Autor) . . . . .	44
31.	Librería MODBUS en los archivos de la biblioteca de Arduino (Fuente: Autor)	46

32.	Librería MODBUS en el programa Arduino IDE 2.0 (Fuente: Autor) . . . . .	47
33.	Librería MODBUSIP en los archivos de la biblioteca de Arduino (Fuente: Autor)	48
34.	Cambio de código en el MODBUSIP.h de la librería MODBUSIP (Fuente: Autor)	49
35.	Adición de las librerías en el código fuente (Fuente: Autor) . . . . .	49
36.	Definición de las variables de los pines de entradas/salidas así como las variables auxiliares para la conversión de datos (Fuente: Autor) . . . . .	50
37.	Definición de variables booleanas y el direccionamiento de datos dentro de los Input Status (Fuente: Autor) . . . . .	51
38.	Definición de la variable mb en función de MODBUSIP (Fuente: Autor) . . .	51
39.	Función void setup() y velocidad de transmisión de bits (Fuente: Autor) . . .	51
40.	Definición de la MAC y la dirección IP del Shield (Fuente: Autor) . . . . .	52
41.	Símbolo de sistema y el comando ipconfig. (Fuente: Autor) . . . . .	52
42.	Verificación de envió de dirección IP hacia el dispositivo Ethernet Shield (Fuente: Autor) . . . . .	53
43.	Verificación de ping entre el ordenador y el modulo Ethernet Shield (Fuente: Autor) . . . . .	53
44.	Adición de la dirección en el dispositivo dentro de los Input Status y designación de los pines LED (Fuente: Autor) . . . . .	54
45.	Inicio de la función void loop y el código mb.task (Fuente: Autor) . . . . .	55
46.	Conversión de los datos de entrada del sensor hacia centímetros (Fuente: Autor)	55
47.	Condicionales de distancia en el código fuente (Fuente: Autor) . . . . .	57
48.	Visualización del programa ModScan32 y sus variables a modificar (Fuente: Autor) . . . . .	58
49.	Pestaña conexión en el programa Modscan32 (Fuente: Autor) . . . . .	59
50.	Conexión mediante un servidor remoto TCP/IP del microcontrolador hacia el programa ModScan32 (Fuente: Autor) . . . . .	60
51.	Conexión mediante un servidor remoto TCP/IP del microcontrolador hacia el programa ModScan32 (Fuente: Autor) . . . . .	61
52.	Escáner Artec Eva (Fuente: (Artec3D, 2021)) . . . . .	62
53.	Digitalización con el escáner Artec Eva (Fuente: Autor) . . . . .	64
54.	Resultados con el escáner Artec Eva (Fuente: Autor) . . . . .	65
55.	Escaner EinScan Pro 2X Plus (Fuente: Autor) . . . . .	65
56.	Capa de aerosol antireflejante en la parte cerámica del seccionador (Fuente: Autor) . . . . .	67
57.	Proceso de digitalización con el escáner EinScan Pro 2X Plus (Fuente: Autor)	68

58.	Resultados con el escáner EinScan Pro 2X Plus (Fuente: Autor) . . . . .	69
59.	Parte central del seccionador en SolidWorks (Fuente: Autor) . . . . .	70
60.	Medición punto a punto dentro del comando medir en la pestaña calcular (Fuente: Autor) . . . . .	71
61.	Medición punto a punto dentro del comando medir en la pestaña calcular (Fuente: Autor) . . . . .	71
62.	Ubicación del sensor de proximidad con respecto al seccionador (Fuente: Autor)	73
63.	Diseño en anillo del acople protector del sensor de proximidad (Fuente: Autor)	74
64.	Área de paso del cable coaxial RG-316/U proveniente del sensor de proximidad (Fuente: Autor) . . . . .	74
65.	Ranura del elastómero para la impermeabilización del interior del acople protector (Fuente: Autor) . . . . .	75
66.	Acople protector del sensor de proximidad colocado dentro del seccionador (Fuente: Autor) . . . . .	76
67.	Perno allen M5 con su respectiva tuerca para el acople (Fuente: Autor) . . .	76
68.	Impresión 3D vía FDM en la impresora Voladora NX+ (Fuente: Autor) . . .	81
69.	Acoples del sensor de proximidad impresos (Fuente: Autor) . . . . .	82
70.	Pernos allen y sus respectivas tuercas impresos en resina Verowhite (Fuente: Autor) . . . . .	83
71.	Acople protector colocado (Fuente: Autor) . . . . .	84
72.	Representación esquemática de las muestras para examinar la rigidez dieléctrica en las impresiones (Fuente:(Hoff et al., 2018)) . . . . .	85
73.	Gráfica recopilatoria de la rigidez dieléctrica para muestras de PolyJet (VeroBlue y VeroAmber), SLA (WaterShed 11122 y ProtoGen 18420), FDM (ABSM30 y ABS-M30i), y SLS (DuraForm HST y Nylon EX) (1mm de espesor). (Fuente:(Hoff et al., 2018)) . . . . .	86
74.	Proceso de moldeo por inyección. (Fuente:(Cientificos, 2018)) . . . . .	87
75.	Layout PCB para su posterior impresion. (Fuente: Autor) . . . . .	89
76.	Elaboración de un circuito impreso mediante transferencia termica. (Fuente: Autor) . . . . .	90
77.	Elaboración de la placa PCB con sus componentes (Fuente: Autor) . . . . .	90
78.	SIM con conectividad M2M (Fuente: Autor) . . . . .	94
79.	Modem USB GSM ZTE MF636 (Fuente: Autor) . . . . .	94
80.	Interfaz principal de la plataforma KITE (Fuente: Autor) . . . . .	96

81.	Conexión GSM, GPRS e información respectiva de una de las SIM (Fuente: Autor) . . . . .	97
82.	Presencia en la red de una de las SIM (Fuente: Autor) . . . . .	97
83.	Parámetros MODBUS en el sistemas SCADA(Fuente: Autor) . . . . .	98
84.	Configuración de protocolo MODBUS (Fuente: Autor) . . . . .	99
85.	Designación de variables(Fuente: Autor) . . . . .	99
86.	Modificación de parametros de muestreo en MODBUS(Fuente: Autor) . . . .	100
87.	Consideraciones de diseño completas (Fuente: Autor) . . . . .	101
88.	Modelo resultante de la integración de los componentes electrónicos(Fuente: Autor) . . . . .	102
89.	Compilación y memoria disponible dentro del Arduino(Fuente: Autor) . . . .	103
90.	Arquitectura de la conexión entre el microcontrolador y el SCADA(Fuente: Autor) . . . . .	103
91.	Verificación de conexión del protocolo MODBUS dentro del sistema SCADA(Fuente: Autor) . . . . .	104

# 1. Introducción

Un importante campo de aplicación dentro de la ingeniería mecatrónica es la automatización de procesos, dicha automatización comprende una disciplina que permite innovar y a su vez optimizar diversos procesos productivos en industrias por lo que ayuda a mejorar las condiciones de trabajo de los operarios o trabajadores como tal, además que la mecatrónica y su impacto es la sociedad en la actualidad es el veloz desarrollo de tecnologías que permitan solventar problemáticas con el fin de agilizar metodologías y procesos en particular.

En el siguiente documento consta el diseño de un prototipo con señalización al SCADA de un seccionador eléctrico con la finalidad de reducir los tiempos de búsqueda en el caso de fallo de cada uno de ellos. En base a ello se ideó un prototipo que funcione de manera autónoma con una alimentación de una batería con acceso a energía fotovoltaica, dicha monitorización al ser en lugares alejados de las zonas urbanas de la ciudad pretende realizar una comunicación mediante una SIM machine to machine que permita un intercambio de datos por medio del protocolo MODBUS hacia el sistema SCADA de la empresa eléctrica por lo que a su vez en el sistema de control realiza una función de alerta en el caso de cambio de estado en uno de los seccionadores en cuestión notificando a los operarios de turno a que se dirijan a la fuente de desconexión optimizando de esta manera los tiempos de búsqueda así como los reportes de falta de suministro energético de los pobladores a su alrededor de una manera más eficiente y rápida.

Primeramente el procedimiento contempla un estudio del arte acerca de los conocimientos primordiales del tema como tal, consiguiente a ello se busca establecer los parámetros iniciales que conlleva el diseño de un prototipo de señalización de un seccionador eléctrico manifestando de esta manera todos los requerimientos iniciales para un correcto diseño. Después se plantea realizar una propuesta de diseño tomando en cuenta los parámetros iniciales mencionados anteriormente para la posterior construcción del prototipo. Mediante la construcción de este prototipo ha sido verificado un correcto uso de las metodologías en cuanto a su diseño para su futura implementación dentro del campo

## 2. Glosario

**Señalización** Es el conjunto de estímulos que pretenden condicionar, con la antelación mínima necesaria, la actuación de aquel que los recibe frente a unas circunstancias que se pretende resaltar. La forma de percibirlos puede ser generada mediante colores, formas geométricas, emisiones sonoras, luminosas o bien por medio de gestos. (m Universidad de Zaragoza, 2018)

**Prototipo** Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica. (Yong, 2008)

**Seccionador** Se los conoce también con el nombre de separadores o desconectores. Son dispositivos que sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para efectuar maniobras de operación o bien de mantenimiento. La misión de estos aparatos es la de aislar tramos de circuitos de una forma visible. (Nacional, 2015)

**SCADA** Acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención. (Academics, 2014)

## **3. Problema de estudio**

### **3.1. Problema General**

- ¿Es posible diseñar un prototipo de señalización con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico para reducir el tiempo de búsqueda en casos de falla?

### **3.2. Problemas Específicos**

- ¿Se podrá identificar los parámetros iniciales para el diseño de un prototipo de señalización con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico para reducir el tiempo de búsqueda en casos de falla?
- ¿Es posible el diseño de un prototipo de señalización con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico para reducir el tiempo de búsqueda en casos de falla?
- ¿Es factible construir el diseño de un prototipo de señalización con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico para reducir el tiempo de búsqueda en casos de falla?

### **3.3. Antecedentes**

Cuando ocurre un cambio de estado generado por un desperfecto de un seccionador eléctrico existen complicaciones al momento de determinar el dispositivo que falló, los operarios tradicionalmente localizan dichos aparatos mediante la búsqueda en la red de distribución observando todos los seccionadores que se encuentran en los postes de media tensión para determinar cual de todos los elementos presenta una avería, esto representa varias horas de búsqueda debido a la inspección sistemática a lo largo de la red. Generalmente, este tipo de dispositivos no poseen un sistema de un control o monitorización, dicha problemática se presenta en sectores alejados de la zona urbana. Al no tener una señalización de los seccionadores ni algún tipo de comunicación o reporte hacia el sistema de control, el operario de la empresa pierde tiempo sin mencionar que el mal funcionamiento del elemento electromecánico provoca una pérdida de suministro eléctrico a los pobladores cercanos causando malestar y descontento con el proveedor del servicio.

### **3.4. Importancia y alcances**

En la búsqueda de la resolución de este problema se planteó un proyecto que propone el diseño de un prototipo de señalización ON-OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico para reducir el tiempo de búsqueda en red de distribución eléctrica, destinado hacia la Empresa Eléctrica Azogues C.A. con el fin de solventar el paro del suministro energético a los moradores alrededor para que la alerta del mismo sea en el menor tiempo posible, colaborando de esta manera con el tiempo de respuesta de la empresa para rebajar las quejas de la carencia del servicio.

Además de respetar los contratos establecidos con las empresas aledañas donde el servicio energético es de total prioridad en sus distintos procesos, los operarios de la empresa eléctrica agilizan su trabajo debido a la necesidad de solventar el fallo provocado por el seccionador. Una estrategia ideal busca que el operario localice la avería en toda la red de distribución sin la necesidad de realizar inspecciones repetitivas para optimizar el tiempo de reacción por parte de la empresa ante la falla ocasionada.

La energía es el motor que mueve nuestras ciudades, sin ella todo se paraliza y es que la energía guarda estrecha relación con los alimentos, el transporte, la conservación y la realización de distintas actividades como tal. Por ello se puede afirmar que la dependencia que tienen las ciudades hoy del suministro y distribución de energía para su funcionamiento es primordial. Adicionalmente, es de gran importancia acortar el tiempo sin suministro energético ya que esto retrasa la realización de sus actividades, genera inconformidad y descontento con la empresa lo que conlleva hacia reclamos y quejas contra el servicio y la institución.

### **3.5. Delimitación**

El proyecto se enfoca en realizar y emplear un dispositivo en la Empresa Eléctrica Azogues C.A. dentro del departamento de tecnologías en el año 2021, dicho proyecto busca emplear un dispositivo de detección de fallas a lo largo de la red de distribución eléctrica de media tensión en donde estén ubicados seccionadores de 22kV con 150 kVbil y denominación 20910. Además, gracias a las SIM M2M que poseen conectividad GPRS es posible otorgar una conexión a internet en lugares donde no se encuentra una adecuada intensidad de señal por lo que pueden ser colocadas en una gran parte del país. En el caso que otras compañías energéticas requieran del prototipo es posible gestionar un acuerdo en el cual se instale determinado número de unidades funcionales.



## **4. Objetivos.**

### **4.1. Objetivo General.**

- Diseñar y construir un prototipo de señalización ON-OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico. para reducir el tiempo de búsqueda en red de distribución eléctrica.

### **4.2. Objetivos Específicos.**

- Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un prototipo de señalización ON-OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico. para reducir el tiempo de búsqueda en red de distribución eléctrica.
- Proponer el diseño de un prototipo de señalización ON-OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico. para reducir el tiempo de búsqueda en red de distribución eléctrica.
- Construir el diseño de un prototipo de señalización ON-OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico. para reducir el tiempo de búsqueda en red de distribución eléctrica.

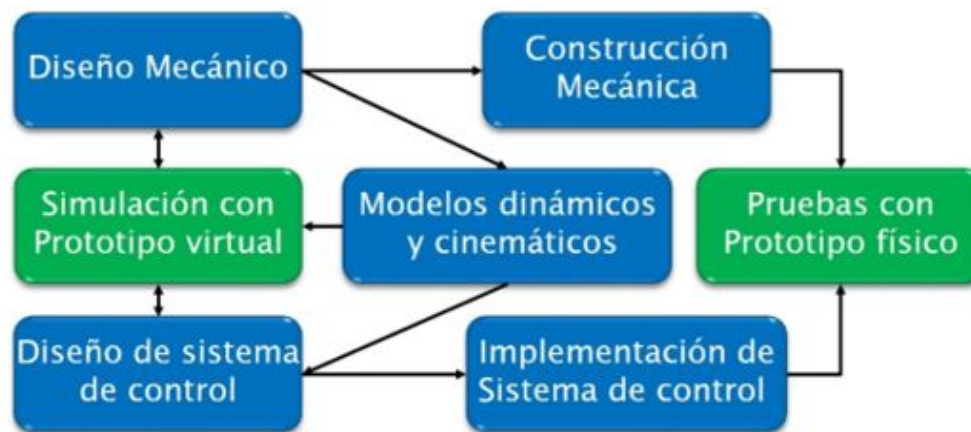
## **5. Marco teórico**

### **5.1. Diseño Mecatrónico**

El diseño de productos innovativos favorece el aumento de aplicaciones mecatrónicas, que une principios mecánicos, electrónicos, y computación para generar productos y sistemas de manufactura más simples, económicos y confiables (de Carvalho, 2021). La elaboración de un prototipo es importante para el desarrollo de un producto, ya que, se puede realizar el análisis del diseño y su funcionalidad frente a diferentes escenarios de trabajo (Ortega, Salazar, Becerra, Valdivia, Leyva, 2018). Según (Lauff, 2018; Radoglou-Grammatikis, 2020), un prototipo se puede definir como un artefacto complejo y dinámico que se acopla a diversas situaciones sociales y físicas que se dan durante el desarrollo del producto. A un prototipo se le puede considerar tanto como herramientas usadas en el proceso de diseño, como actores influyentes que interactúan con situaciones sociales. El prototipado puede ser simultáneamente una de las más importantes y menos formales áreas exploradas durante el diseño (Lauff, 2018).

En una compañía de componentes electrónicos, el proceso de desarrollo de productos incluye un prototipo para realizar los múltiples ensayos técnicos en las placas o dispositivos previo a la producción masiva de los mismos. Los prototipos se pueden definir en físicos y analíticos. Los primeros son tangibles, las características que se pueden percibir de los objetos mediante esta clase de prototipo son materializados para pruebas y experimentación. Los analíticos son aquellos intangibles como modelos matemáticos y modelados virtuales asistidos por computador, donde se pueden determinar parámetros físicos para su desarrollo. Durante el desarrollo de un producto, el diseño se encuentra presente en todo el transcurso del proceso con el fin de alcanzar el objetivo de crear un objeto de óptimas condiciones y que, resuelvan las necesidades presentadas, teniendo buena calidad y competitividad (de Carvalho et al., 2021).

Actualmente, los diseños que se realizan son de tipo concurrente donde, en lugar de un conjunto de procedimientos ordenados, se realiza un diseño multidisciplinario, como se puede observar en la figura 1



**Figura 1:** Diseño mecatrónico con prototipado virtual

## 5.2. Seccionador Eléctrico

Son equipos que se colocan en diferentes puntos de red eléctrica para conectar o desconectar tramos específicos de una instalación, con el fin de realizar maniobras de operación o mantenimiento. Estos dispositivos aíslan partes de circuitos de una forma perceptible. Durante el periodo de desconexión, este componente debe soportar corrientes nominales, sobreintensidades y corrientes de cortocircuito durante un tiempo específico. Además, debe permitir a los operarios maniobrar libremente.

El conocimiento del estado de los seccionadores es primordial para evitar accidentes, daños de equipos, e interrupciones de servicios. La mayoría de estos equipos son operados manualmente, esta información es proveída en reportes por humanos, quienes pueden cometer errores debido a la falta de atención, mala temperatura o condiciones lumínicas desordenado (Nassu, 2018).

### **5.3. Microcontrolador Arduino**

Cuando se revisan las tarjetas de desarrollo utilizadas los campos de la electrónica y automatización a nivel mundial en los recientes años, se puede ver el ascenso de Arduino en términos de costos, accesibilidad, y facilidad de aprendizaje (SÜZEN, 2019). “Arduino es una plataforma de software y hardware libre” (Margolis, 2020) diseñada por la empresa que lleva el mismo nombre. Tiene un entorno diseñado para que sea sencillo de manejar por principiantes que no tienen experiencia en software ni electrónica (Margolis, 2020). Consta de diferentes microcontroladores, módulos y dispositivos electrónicos que permiten a toda la comunidad realizar múltiples proyectos. Con Arduino, se pueden con desarrollar proyectos que reaccionen a señales recibidas por diferentes sensores de luz, sonido, tacto, movimiento, proximidad, entre otros.

Una de sus características sobresalientes es que el hardware no es costoso y además existen múltiples tipos. Cada uno de los proyectos implementados con este tipo de dispositivos varían dependiendo de la aplicación que se vaya a dar, del presupuesto, de la disponibilidad de espacio, complejidad del proyecto, recurso de memoria necesaria, así como la cantidad de entradas o salidas analógicas o digitales requeridas. El software es gratuito, de código abierto y multiplataforma. La comunidad de Arduino es amplia, cada día se desarrollan proyectos en este entorno y son cargados a los diferentes blogs, foros o páginas destinadas a este fin. La combinación de este hardware y software permite el desarrollo de proyectos que permiten medir y controlar lo que se desee.

La principal función de los sistemas de adquisición de datos de energía en una red inteligente incluye la recolección automatizada de información de consumo, monitoreo de medidas online, monitoreo de calidad, publicar información recopilada, monitoreo de mantenimiento y análisis de comportamiento (Zhou, 2017).

Como se puede ver en la investigación de (Lekbich, 2018), la aplicación de Arduino en las redes inteligentes está en aumento debido a la alta compatibilidad con módulos, capaces de medir diferentes variables y reconocer estados de equipos; además con la capacidad de comunicarse mediante el protocolo MODBUS RTU.

## 5.4. Sistema SCADA

Un sistema SCADA es un sistema compuesto de software y hardware que permite la adquisición, supervisión y control de datos en un proceso. Estos sistemas son ampliamente usados para controlar los procesos en las plantas industriales. Constan de sensores para adquirir la información y en actuadores para realizar actividades de control (Fovino, 2009). Estos sistemas constan de los siguientes componentes:

- Operador: Persona encargada de monitorear el sistema y realizar funciones de supervisión en la plata.
- Interfaz humano-máquina (HMI): Sistema que le presenta la información del proceso al operador y permite el control del proceso. El SCADA recopila la información de PLCs y otros controladores mediante la red usando diversos protocolos.
- Unidad terminal maestra (MTU): Este dispositivo maestro recopila la información de los PLCs y actuadores que se encuentran remotos, y los presenta al operador mediante el HMI.
- Unidad terminal remota (RTU): Este equipo funciona como esclavo del maestro. Envía las señales de control a sus actuadores, dependiendo de comandos recibidos del MTU, al mismo que, envía la información adquirida por los sensores.

## 5.5. MODBUS

MODBUS es un protocolo de comunicaciones, tiene una arquitectura maestro-esclavo, o cliente-servidor. Fue diseñado principalmente para comunicación con controladores lógico programables (PLCs). Entre las virtudes de este tipo de protocolo se encuentran: la sencilla implementación y el manejo de datos sin restricciones, además es público. MODBUS entrega una estructura de mensaje que los controladores identificarán y utilizarán, con independencia del tipo de red por la que se comuniquen (Cevallos, 2021).

Las comunicaciones MODBUS pueden realizarse mediante conexiones punto a punto o multipunto, dependiendo si el mensaje es unicast o broadcast. Este protocolo es ideal para un sistema SCADA ya que permite el control y monitoreo de una red de equipos y presentar los resultados a un operario de la industria. MODBUS permite la conexión entre un ordenador de supervisión con la unidad terminal remota en un SCADA.

## 5.6. DNP3

Es un protocolo abierto desarrollado por Harris Control Division a principios de los 1990s, y lanzada a la industria en Noviembre de 1993 (Clarke, 2004). Es el estándar de telecomunicaciones que permite la comunicación entre estaciones maestras, unidades remotas (RTUs) y otros dispositivos electrónicos inteligentes. Una característica fundamental de este protocolo es que es abierto y que ha sido adoptado por un significativo número de fabricantes.

En un sistema SCADA, DNP3 usada el intercambio de mensajes mediante un maestro (MTU) y un diferente esclavo (RTU o PLC) (Radoglou-Grammatikis, 2020). Se puede aplicar en diversas topografías de redes, sean estas punto-punto, multipunto y jerárquico. Además de la comunicación en serie, DNP3 puede operar mediante TCP/IP.

## 5.7. IEC 60870-5-104

Es una parte del protocolo IEC 60870 que aplica para el control remoto de equipos y sistemas con transmisión de información codificada para monitoreo y control desde cualquier parte de los procesos de una industria (Commision, 2006).

Usa TCP/IP en las capas de 1 a 4, para transportarse por redes LAN. Se encargan de llevar la data desde un RTU, IED, Gateway o servidor, hasta el sistema SCADA. Es un protocolo público y dedicado exclusivamente al monitoreo, telecontrol y comunicaciones en sistemas SCADA, generalmente usado en el sector eléctrico en subestaciones y centrales de generación (Jaramillo, 2014).

## 5.8. Carga fotovoltaica y Baterías

El sol es un recurso bastante existente en todo el mundo, se lo puede utilizar para múltiples fines, y entre uno de ellos está la generación eléctrica. El sistema de energías renovables el más confiable, eficiente y económico a nivel mundial es el fotovoltaico (Mohapatra, 2018). Estos sistemas tienen una larga vida, bajo costo de mantenimiento y libre de contaminación. La batería es una de las partes esenciales de un sistema fotovoltaico ya que funciona como una fuente auxiliar.

Una batería es una fuente de energía conformada por una o mas celdas electroquímicas con conexiones externas para alimentar a dispositivos eléctricos. Cuando una batería esta suministrando energía, el terminal positivo es el cátodo y el terminal negativo es el ánodo, su terminal negativo es la fuente de electrones. Cuando una batería se conecta a una carga eléctrica externa ocurre una reacción redox convierte los reactivos de alta energía en productos

de menor energía, y la diferencia de energía libre se envía al circuito externo como energía eléctrica. (Academics, 2018)

## 6. Marco Metodológico

### 6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño del prototipo

#### 6.1.1. Medidas del seccionador eléctrico 22kV

El seccionador también llamado cortacircuito tiene la finalidad de proteger las redes de distribución eléctrica de las sobrecargas y de igual manera las corrientes de cortocircuitos, estos seccionadores están contruidos bajo la normas internacionales vigentes hasta la actualidad provenientes de ANSI C37.41/42 para Estados Unidos y IEC 282-2 para Europa los cuales son los estándares IEEE correspondientes a las especificaciones de los fusibles y accesorios para alto voltaje.

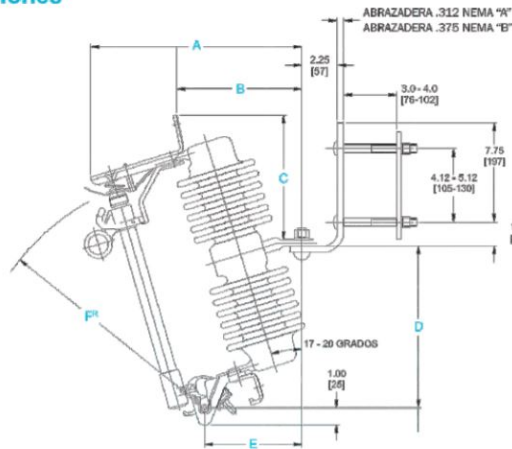


**Figura 2:** Ejemplo de un Seccionador eléctrico 22kV (Fuente: Autor)

Para realizar el acople que haga la función de protección del sensor de proximidad que determinara el estado del seccionador, es necesario obtener de las medidas del mismo para así de esta manera diseñar una protección o carcasa protectora hacia el sensor de proximidad que se ajuste bajo presión o sujeción evitando desperfectos en la medición del estado del seccionador. El desconectador que se utiliza dentro de la empresa eléctrica Azogues es proveniente de la marca ABB modelo 513, en la figura 3 tenemos las dimensiones generales de

los seccionadores cut off de la marca diferenciados generalmente por el nivel de tensión que soportan, las dimensiones que consideramos correspondena 22kV con un BIL de 150kV (se define como BIL o el nivel básico de aislamiento de los equipos eléctricos) correspondientes al nivel de media tensión ocupada en la red de distribución local.

### Dimensiones



### Características del Producto

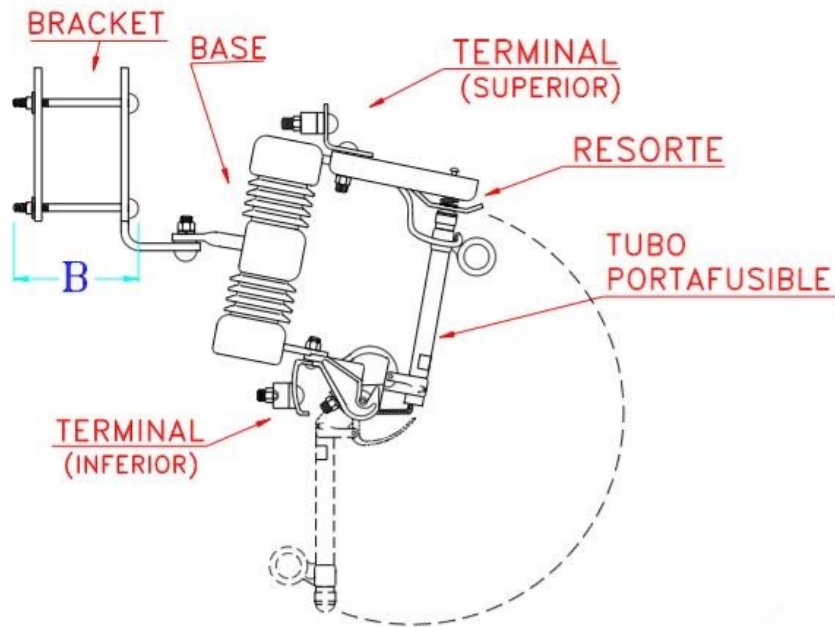
- 15, 27 ó 38 kV
- 110, 125, 150, 180 ó 200 kV BIL
- 100 A, 200 A con fusible
- 300 A, Cuchilla desconectadora
- Disponibles aisladores de porcelana, silicón o concreto de polímero
- Diseño para zona costera
- ECD (Aparato de Control de Emisión)
- Resorte expulsador

COD PROM	Clase (kV)	BIL (kV)	Dimensiones de la Unidad (mm)						Distancia de fuga - porcelana (mm)	Peso de porcelana (Kg)	Distancia de fuga - silicón (mm)	Peso de silicón (Kg)
			A	B	C	D	E	FR				
26304116	15	110	325	186	165	217	168	290	231	6.4	380	4.2
26304118	27	125	338	199	208	260	154	378	325	9.0	480	4.3
26304117	27 ó 38	150	338	199	208	260	154	378	432	12.0	480	4.6
26304119	27 ó 38	150	338	199	208	260	154	378	-	-	599	4.8
26304120	27 ó 38	170	356	216	265	330	134	488	665	16.1	-	-



**Figura 3:** Dimensiones de un seccionador cut off de la marca ABB (Promelsa, 2018)

En la figura 4 es posible observar las partes esenciales que componen un seccionador, la base del seccionador es donde ira colocado el acople que sensorá si el tubo porta-fusible esta en posición que transporta la corriente o esta previo al accionamiento.

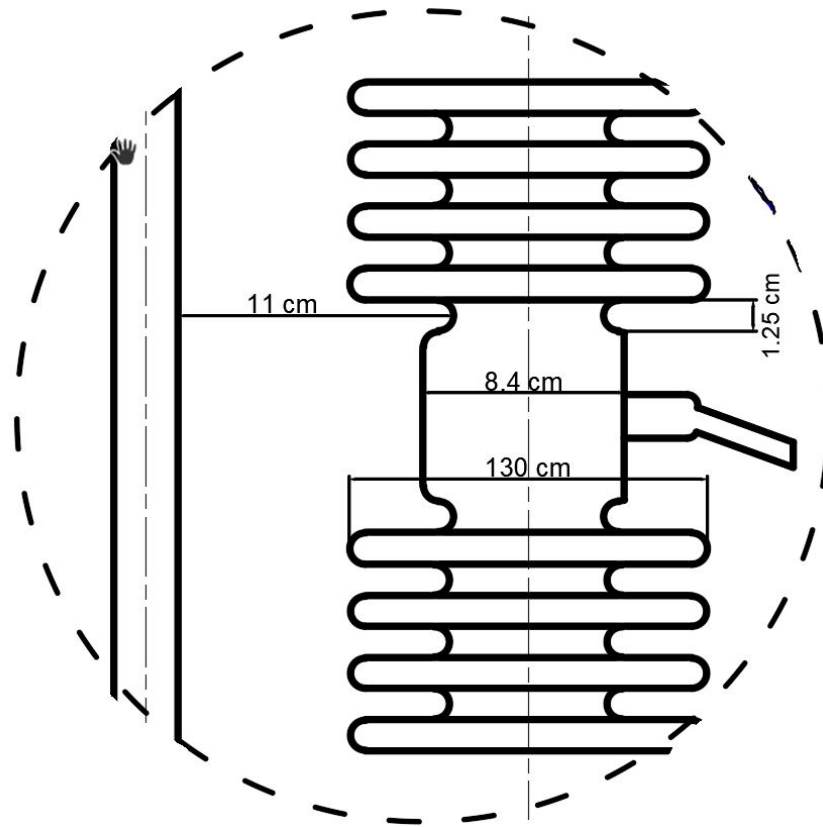


**Figura 4:** Partes de un seccionador (Enersis, 2012)

Al tener las referencias de las medidas generales del seccionador es posible tomar en cuenta como un punto de partida. Sin embargo, en cuanto a la base del mismo, la cobertura cerámica no tiene una referencia en cuanto a sus medidas por lo que se considera el uso de un calibrador para tomar las medidas exactas del seccionador en físico y consiguiente a ello partir en el diseño de un acople o cobertura para los sensores de proximidad infrarrojos. Además, se ha tomado como referencia dichas medidas de la base del seccionador disponible puesto que esa es una medida normalizada la cual se podría utilizar en diversos seccionadores de distintas marcas.

En la figura 5 se puede observar un boceto con las medidas a tomar en consideración para el diseño de la carcasa protectora del sensor de proximidad infrarrojo las cuales se realizaron con el seccionador de 150kV-BIL en físico con la ayuda de un calibrador. Una vez realizado el prototipo se plantea construirlo mediante impresión 3D con un polímero que no afecte su resistencia mecánica o características dieléctricas. Toda la superficie expuesta de los aisladores de porcelana debe cubrirse con un vitrificado de tipo compresión duro, liso, brillante e impermeable a la humedad, que le permita, por medio del lavado natural de las aguas lluvias, mantenerse fácilmente libre de polvo o suciedades residuales ocasionadas por la contaminación ambiental. La superficie total del aislador deberá estar esmaltada y libre de imperfecciones.





**Figura 5:** Partes de un seccionador (Fuente: Autor)

### 6.1.2. Selección del microcontrolador

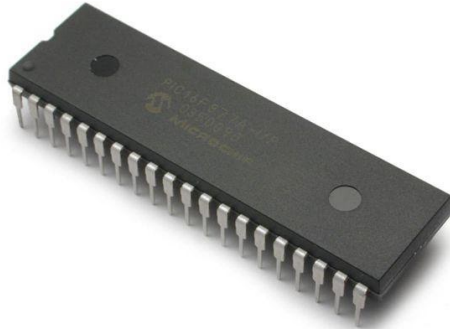
En este apartado ha sido considerado como tentativa 3 opciones para ser seleccionadas en el prototipo de un seccionador.

- **PIC**

Un circuito integrado programable (Programmable Integrated Circuited por sus siglas en Ingles) son los encargados de proporcionar soluciones a una amplia gama en cuanto a necesidades funcionales y rendimiento con herramientas de fácil acceso y utilización. El PIC utilizaba microcódigo simple almacenado en ROM para realizar estas tareas; y aunque el término no se usaba por aquel entonces, se trata de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada 4 ciclos del oscilador. Este se puede programar en ensamblador o en un lenguaje basado en C.

Las PIC producidas por la compañía Microchip Technology Inc. se están abriendo camino en diversas aplicaciones en la actualidad como por ejemplo periféricos de audio y vídeo,

videojuegos, dispositivos médicos avanzados, teléfonos inteligentes y sistemas embebidos entre otros. (Inc., 2021)

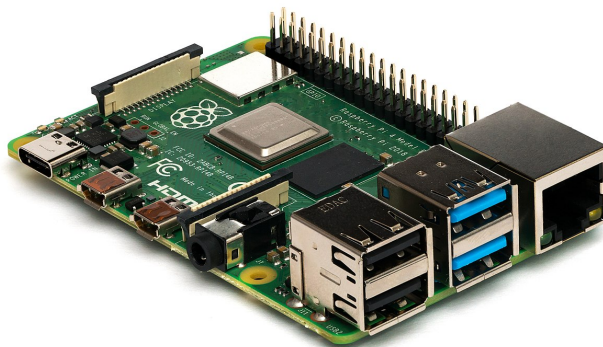


**Figura 6:** Circuito Integrado Programable (Inc., 2021)

## ■ Raspberry Pi

La Raspberry Pi es desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, estos son ordenadores de costo limitado con los que se planea proveer de una manera a accesible la informática a todos los usuarios disponibles

Su software es de código abierto y es basado en GNU/Linux y este puede ser usado con fines académicos o industriales con un costo mas elevado respectivamente, consta con una serie de modelos que con el avance tecnológico ha logrado mejorar sus capacidades en cuanto a la memoria RAM el CPU basado en ARM, consta con una serie de periféricos y demás componentes que lo hacen apto al momento de elaborar proyectos como tal.



**Figura 7:** Raspberry Pi (Foundation, 2021)

Para el uso de estos dispositivos de forma remota como se tiene planteado el proyecto, implementar un modulo adicional que provea a estos 2 dispositivos de una conexión a internet, dicho modulo es un adaptador Kit para Raspberry Pi board a SIM900, que permite a los usuarios conectar fácilmente Raspberry Pi además se extiende la funcionalidad GSM/GPRS para Raspberry Pi y los PIC para lograr características adicionales, tales como recibir y enviar mensajes , teléfono, marcación de llamadas y responder y comunicación de datos GPRS inalámbrico, etc.

Sin mencionar que el coste de un dispositivo como este ronda los 40 dolares que seria un adicional al coste del Raspberry o el PIC que se planea implementar. El modo de comunicación hacia el sistema SCADA de la empresa eléctrica es por MODBUS TCP/IP, por lo que este modulo es necesario para realizar el proyecto en el caso que se opte por cualquiera de los 2 microcontroladores, caso contrario no se podría realizar la comunicación.

En el caso del PIC en cuanto a la obtención de información para el uso de MODBUS TCP/IP para la comunicación de información entre el prototipo y la empresa eléctrica no hay una referencia segura en cuanto a su uso, por lo que implementar por este medio tomaría una duración del proyecto superior al realizar la búsqueda de recursos informáticos para su implementación como tal.

#### ▪ **Arduino PRO**

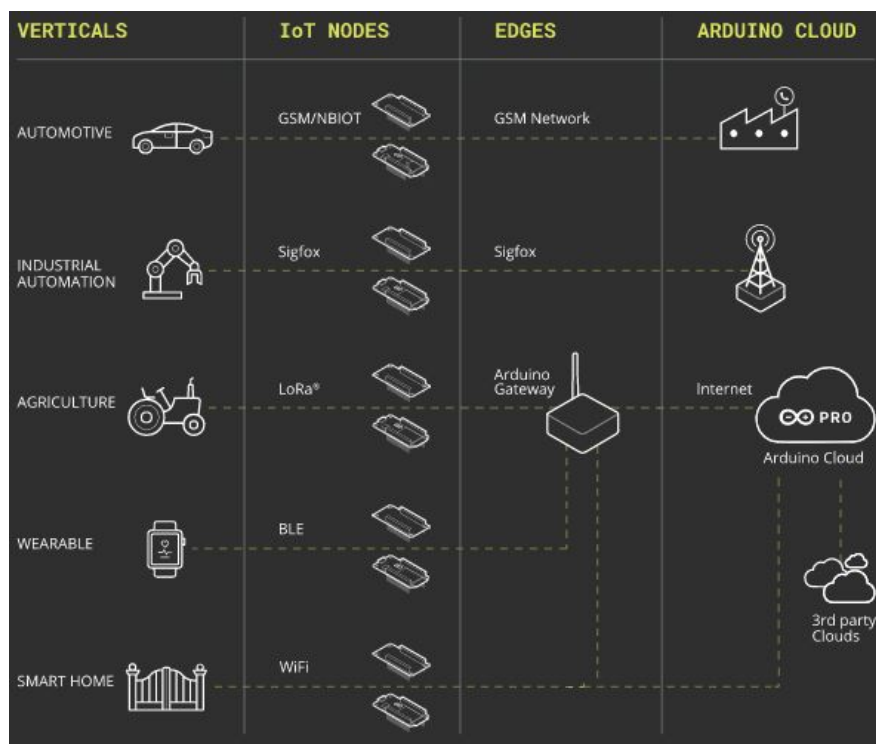
Para las placas de nueva generación, Arduino se ha basado en una experiencia en diseño sin fricciones para permitir a las empresas conectar de forma rápida y segura sensores remotos a la lógica empresarial dentro de una plataforma de desarrollo de aplicaciones de IoT simple.



**Figura 8:** Arduino PRO (Arduino, 2021)

Al ser un software de uso abierto cuenta con una comunidad lider en un apartado de innovación que cuentan con desarrolladores capacitados que las respuestas a las preguntas de la comunidad lo realicen de una forma rápida y asertiva.

Segun (Arduino, 2021) La unidad de procesamiento de esta nueva generación de placas esta basada en los procesadores ARM con tecnología Pelion que provee de soluciones a los usuarios con una integración y una seguridad escalable con un soporte profesional. La comunicación segura está garantizada a través del chip de cifrado Microchip® ECC508. Además de eso, puede encontrar un cargador de batería y un conector para una antena externa para las aplicaciones de IoT de código bajo, que hace posible la transformación digital para las empresas e industrias en pasos simples, realistas y medibles.



**Figura 9:** Aplicaciones con Arduino PRO (Arduino, 2021)

Además consta con el Arduino IoT Cloud, es una plataforma que reúne el desarrollo de dispositivos IoT, la gestión de la conectividad y un creador de aplicaciones IoT en un entorno fácil de usar familiar para millones de usuarios. Crea rápidamente un dispositivo personalizado utilizando una gama de placas Arduino modulares que ofrecen una opción de conectividad integrada que incluye WiFi, Ethernet, LoRa®, Sigfox e IoT móvil (LTE Cat-M y NB-IoT) e incluyen un microcontrolador Arm de 32 bits y Criptoautenticación a bordo de serie.

Todas las placas MKR de la familia Arduino PRO comparten un pinout común para que los desarrolladores cambien fácilmente entre los protocolos de comunicación inalámbrica con cambios mínimos de software y de una manera rentable. Al ofrecer una amplia gama de conectividad son varios los proyectos que se pueden hacer con estas placas. Como se puede observar en la figura son unas de las aplicaciones que se pueden hacer con la gama Arduino PRO.

Para el uso de estas 3 placas realizaremos un cuadro comparativo en el cual determinaremos las características de cada uno además de su funcionabilidad y compatibilidad con la comunicación via SIM M2M a Internet.

**Tabla 1:** Comparativa de los microcontroladores

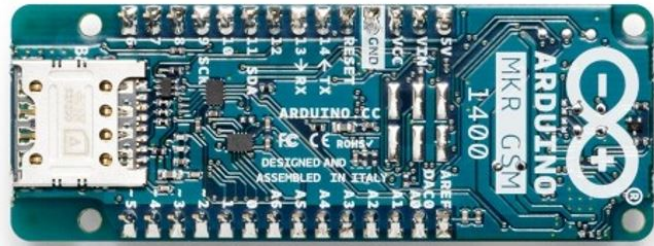
[HTML]FFFFFFMicroControlador	PIC	Raspberry Pi	Arduino PRO
<b>Características</b>			
<i>Lenguajes de Programacion</i>	Ensamblador/C	Python	C y C++
<i>Costo</i>	8\$	70\$	68\$
<i>Compatibilidad de comunicacion con Internet por SIM</i>	No Requiere modulo adicional 40\$	No Requiere modulo adicional 40\$	Si Incorporado
<i>IoT Web Page</i>	No Requiere Programacion	No Requiere Programacion	Si Incorporado
<i>Seguridad en comunicacion de datos</i>	No	No	Chip dedicado para seguridad (Microchip ECC508 cripto chip)
<i>Monitorizacion por celular</i>	No	No	Si via App IoT disponible en iOS y Android
<i>Consumo energetico</i>	Ultra Bajo consumo	Consumo Medio	Bajo consumo (Ultra bajo consumo con Arduino low Power)
<i>Informacion MODBUS TCP/IP</i>	Baja	Media	Alta
<i>Fiabilidad en la Industria</i>	Si	Si	Si

Después de un análisis en la tabla comparativa ha sido posible definir al microcontrolador Arduino como el ideal para este proyecto.

### 6.1.3. Componentes y materiales a utilizar

- **Arduino MKR 1400 GSM**

Esta es una poderosa placa que combina la funcionabilidad de la placa Zero, con su tamaño reducido como se puede apreciar en la Figura 10 conjuntamente con la conectividad global GSM. Es la solución para personas necesitando proyectos IoT (Internet de las cosas, por sus siglas en inglés) con escasa experiencia en redes (Arduino, 2021).



**Figura 10:** Microcontrolador MKR 1400 GSM (Arduino, 2021)

La red GMS/3G cubre el mayor porcentaje de la superficie mundial, haciendo de este tipo de conectividad ampliamente aplicable. Esta placa permite el envío de mensajes de texto de un lado del país al otro, con su implementación.

**Tabla 2:** Características del microcontrolador Arduino MKR 1400 GSM (Arduino, 2021)

Característica	Valor
<i>Microcontrolador</i>	SAMD21 Cortex-M0+ 32-bit low power ARM MCU
<i>Alimentacion placa (USB/Vin)</i>	5V
<i>RadioModulo</i>	u-blox SARA-U201
<i>Elemento de Seguridad</i>	ATECC508 cripto chip
<i>Bateria Soportada</i>	Li-Po de una celda, 3.7V, 2500mAh minimo
<i>Voltaje de funcionamiento</i>	3.3V
<i>Pines digitales I/O</i>	8
<i>Pines PWM</i>	13(0 .. 8, 10, 12, 18 / A3,19 \A4
<i>UART</i>	1
<i>SPI</i>	1
<i>I2C</i>	1
<i>Pines entrada analogica</i>	7 (ADC 8/10/12 bit)
<i>Pines salida analogica</i>	1 (DAC 10 bit)
<i>Interrupciones Externas</i>	8 (0, 1, 4, 5, 6, 7, 8, A1 -or 16-, A2 – or 17)
<i>Corriente DC para I/O Pin</i>	7 mA

<i>Memoria flash</i>	256 kB
<i>SRAM</i>	32 kB
<i>EEPROM</i>	No
<i>Velocidad reloj</i>	32.768 kHz (RTC), 48 MHz
<i>Leds incorporados</i>	6
<i>Ganancia de la antena</i>	2dB
<i>Frecuencia de transporte</i>	GSM 850 MHz, E-GSM 1900 MHz, DCS 1800 MHz, PCS 1900 MHz
<i>Region</i>	Global
<i>SIM Card</i>	MicroSIM
<i>Longitud</i>	67.64 mm
<i>Ancho</i>	25 mm
<i>Peso</i>	32 gr.

- **Sensor de distancia Sharp GP2Y0A41**

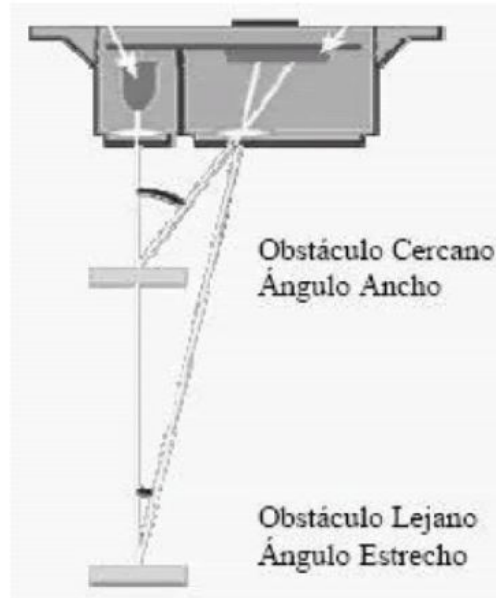
El sensor de distancia Sharp GP2Y0A41 permite obtener la distancia entre el sensor y algún objeto dentro del rango de 4 a 30cm. Integra tres dispositivos: Un diodo emisor de infrarrojos (IRED), un detector sensitivo de posición (PSD) y un circuito procesador de señales.



**Figura 11:** Sensor Sharp GP2Y0A41 (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

El dispositivo entrega una salida en voltaje correspondiente a la distancia de detección. También se puede utilizar como un sensor de proximidad con la ayuda de un

comparador o mediante software. La diferencia en la reflectividad de los materiales, así como la temperatura de funcionamiento, no afectan en gran medida la operación de este sensor debido al método de detección usado basado en triangulación. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)



**Figura 12:** Funcionamiento sensor de proximidad infrarrojo (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

A continuación se detallan las características del sensor de proximidad infrarrojo:

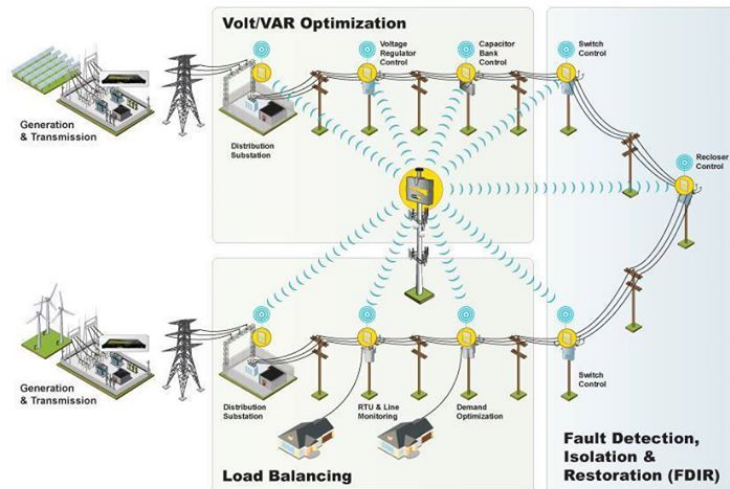
- Distancia de medición: 4cm a 30cm
- Salida: Voltaje Analógico (1V-3.3V)
- Voltaje de alimentación: 4.5V-5.5V DC
- Consumo de corriente promedio: 35mA
- Consumo de energía pico: 200mA
- Frecuencia de actualizaciones: Ciclo 25Hz /40mS
- Ángulo máximo permitido: >40
- Ruido de la salida analógica: <200mV
- Conexión: Conector JST PH de 3 pines (Cable con conector incluido)
- Dimensiones: 44 x 12.9mm x 13.5 mm
- Cable amarillo: Vo (Voltaje de salida)



- Cable negro: GND (Tierra 0V)
- Cable rojo: VCC (+5VDC)

## ■ SCADA Eléctrico

El sistema SCADA ayuda a los operadores a controlar y monitorear todos los aspectos de las redes eléctricas. tanto para generación de potencia, como redes de transmisión y distribución; de modo de optimizar la distribución de energía y minimizar los costos de operación; además son diseñados con una arquitectura abierta, lo que significa que puede crecer si la red se expande. Se incluyen funciones para la planificación de producción, mantenimiento preventivo, aspectos de seguridad, eficiencia en el manejo de las redes, optimización de los costos de operación, etc. (Fernandez, 1993)



**Figura 13:** SCADA eléctrico (Fernandez, 1993)

El sistema SCADA implementado en la empresa eléctrica es proveniente de la compañía Schneider Electric el cual se llama OASyS SCADA. La red dinámica de aplicaciones (DNA) OASyS de Schneider Electric es una solución SCADA en tiempo real que cierra la brecha típica entre una red empresarial y las actividades en el campo, entregando datos en tiempo real para decisiones críticas de negocios y operaciones. OASyS DNA SCADA ofrece muchos beneficios clave como:

- Estandarización: la familia de productos OASyS DNA es compatible con la mayoría de las aplicaciones estándar de la industria y se integra fácilmente con software heredado y de terceros.

- **Fiabilidad:** nuestra tecnología utiliza una estrategia de empuje que transmite automáticamente datos basados en eventos a través de la red del sistema, lo que resulta en una entrega de datos en tiempo real que es rápida y confiable.
- **Longevidad:** entendemos que ha invertido significativamente en sus pantallas, bases de datos, aplicaciones e informes actuales. Nuestros objetivos de migración son minimizar tanto los costos como el impacto operativo al pasar a la solución OASyS DNA.
- **Innovación:** nuestros productos utilizan sistemas operativos y hardware actuales a través de asociaciones con empresas líderes en la industria. (Schneider Electric, 2014)



**Figura 14:** SCADA eléctrico (Schneider Electric, 2014)

Estos SCADA han sido proporcionados por el gobierno de la república del Ecuador, estos están conectados hacia el sistema de control de la corporación eléctrica del Ecuador (CELEC) pero al ser modelos discontinuados la empresa eléctrica se vio en la posición

de adquirir equipos nuevos que a su vez automaticen el proceso de ingreso de datos y lo vuelvan mas eficaz y versátil, pero como dicho sistema SCADA mencionado anteriormente esta conectado a la monitorización de CELEC se adquirieron otros SCADA que a su vez ingresen los datos de la empresa electrica hacia el SCADA anterior de una manera mas rápida optimizando el proceso. dicho SCADA se llama Subnet Solution

SubSTATION Server es una aplicación de software multifunción que realiza la concentración de datos, la traducción de protocolos, la lógica de automatización, la recopilación de archivos de eventos y la conectividad empresarial. SubSTATION Server es una potente solución de integración de subestaciones multifunción que reemplaza los concentradores de datos RTU obsoletos, los procesadores de comunicaciones de relé y otros dispositivos de integración heredados. Ahorre tiempo y dinero en los servicios públicos al eliminar la necesidad de comprar, configurar y mantener varios dispositivos de integración heredados diferentes. Evite las limitaciones de los dispositivos de integración específicos del proveedor de IED con las verdaderas capacidades de integración de múltiples proveedores de SubSTATION Server que admiten una integración completa para prácticamente todos los principales proveedores de IED. Permite a las empresas de servicios públicos sacar más provecho de las inversiones existentes en IED, ayudándolas a evitar actualizaciones y reemplazos innecesarios de IED solo para agregar nuevas funciones de comunicación o seguridad de IED. Ahorre tiempo conduciendo a las subestaciones para comunicarse con los IED: utilice la funcionalidad de acceso remoto seguro de SubSTATION Server (compatible con NERC CIP). Mitigue el efecto de las interrupciones de la subestación con la recopilación automatizada de registros de eventos de relé con acciones de restauración oportunas e informadas.(Subnet Solution, 2016)

#### ■ **Batería con carga fotovoltaica**

Las baterías son dispositivos que almacenan energía eléctrica de forma química (Fovino, 2017). Son utilizadas en dispositivos portátiles, suministros de emergencia, bicicletas eléctricas, vehículos eléctricos y campos solares, especialmente en la energía solar, como uno de las principales fuentes de energía renovable (Fovino, 2017). Entre las baterías más usadas a nivel mundial son las de plomo ácido, litio-ion, níquel-cadmio, híbrida níquel-metal, entre otras.

Un cargador solar usa la energía solar para abastecer de electricidad a un dispositivo o cargar baterías (Pragnesh, 2017). Una serie de paneles solares son instalados en una

ubicación estacionaria y se pueden conectar a un banco de baterías y almacenar energía.



**Figura 15:** Batería con carga fotovoltaica (Fovino, 2017)

La batería seleccionada cuenta con una capacidad de 30000mAh con un panel fotovoltaico que lo carga 1.5W, el calculo del consumo energético del prototipo se lo realizara en el siguiente capitulo cuando este especificado cuanto es el consumo del microcontrolador una vez implementado la comunicación GSM, además del consumo de corriente de la antena así como el número de LEDS y los sensores de proximidad infrarrojos que se planea implementar.

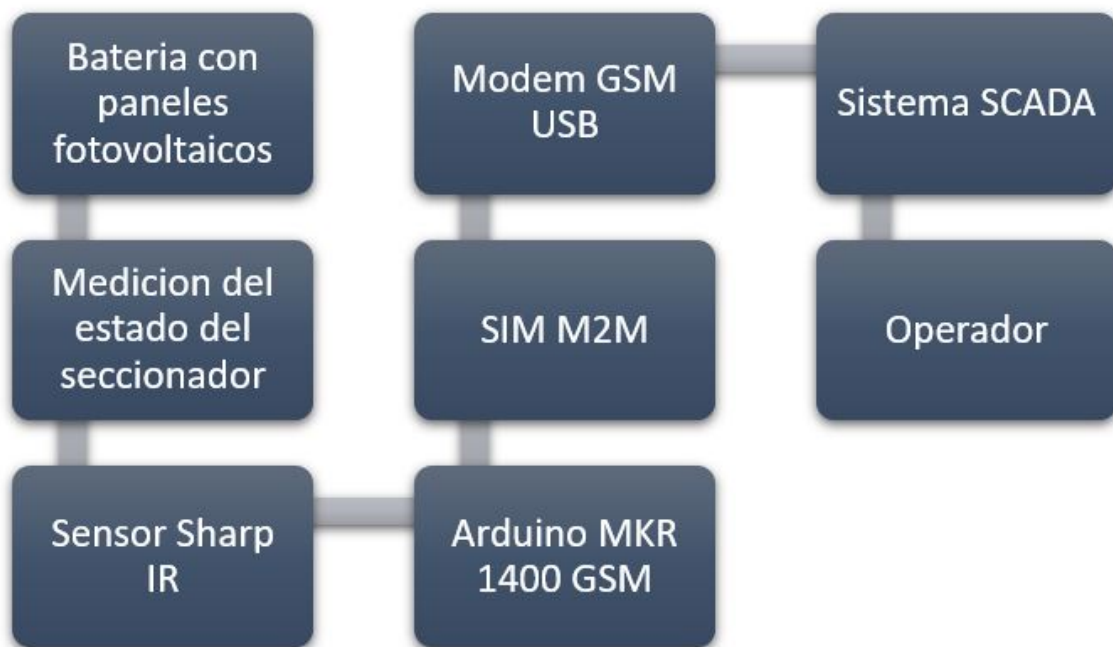
#### **6.1.4. Materiales Adicionales**

- Caja de aislamiento eléctrico,
- Cables de conexión
- Prototipo de un acople al seccionador
- Chip SIM M2M (Machine to machine)
- Antena 2dB de ganancia para Arduino
- Cable coaxial RG-316/U

#### **6.1.5. Descripción de procesos**

El sistema propuesto funciona de la siguiente manera: Primero se alimenta el microcontrolador Arduino MKR 1400 GSM con paneles fotovoltaicos conectados a una batería recargable de Ion-Litio, que a su vez mientras exista recurso solar se carga de manera autónoma; este

microcontrolador se encarga de determinar el estado del seccionador mediante un sensor Sharp IR de medición de distancia que se colocaría en el seccionador mediante la implementación de un diseño de un acople mecánico, y en el caso de un cambio de estado, mediante el modulo GSM incorporado para conexión a internet con un chip SIM M2M (machine to machine) se envía esta información en tiempo real mediante el protocolo MODBUS TCP/IP al sistema SCADA de la Empresa Eléctrica Azogues y notificaría al operario de turno respectivamente. Finalmente un operador de la compañía puede monitorizar y realizar acciones acorde a la alarma establecida conforme los parámetros de la empresa en cuanto a la reparación y mantenimiento de estos desconectadores, optimizando de esta manera el tiempo entre la notificación de la falta de servicio de los pobladores cuyo suministro energético proviene de este desconectador averiado.

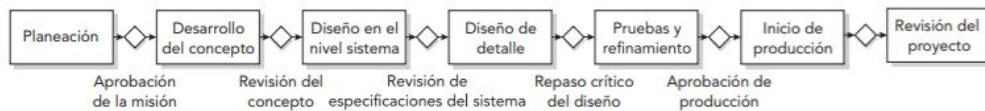


**Figura 16:** Procedimiento de señalización de un seccionador (Fuente: Autor)

## 6.2. Diseño de un prototipo de señalización ON-OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico.

Para iniciar con el diseño se debe tener claro una serie de conceptos sobre los cuales se va a trabajar en este proyecto, para un proceso de diseño exitoso es importante tomar en cuenta varios principios fundamentales que inician desde su concepción, el diseño, su posterior optimización y por ultimo su verificación.

Para ello se ha realizado el proceso de diseño genérico de desarrollo del producto, este es una secuencia de actividades que se llevan a cabo en una empresa para inicializar, diseñar y comercializar un producto.



**Figura 17:** Procedimiento de señalización de un seccionador (Fuente: (Karl T. Ulrich, 2020))

El proceso se inicia con una fase de planeación, que es el vínculo con actividades avanzadas de desarrollo en investigación y tecnología. La salida de la fase de planeación es la declaración de la misión del proyecto, que es la entrada requerida para empezar la fase de investigación del concepto y que sirve como guía para el equipo de desarrollo. La conclusión del proceso de desarrollo del producto es el lanzamiento del producto en sí, en cuyo momento éste queda disponible en el mercado para su adquisición. (Karl T. Ulrich, 2020)

Como podemos observar en la figura 17 necesitamos definir cada uno de los conceptos para comprender lo que conlleva un proceso genérico de desarrollo de un producto y con ello empezar el diseño de nuestro prototipo.

- **Desarrollo de concepto:** Un concepto es una representación de la forma, funcionalidad y las características de un producto, y generalmente se acompaña de un conjunto de detalles, una investigación de artículos competitivos y una vocación financiera del proyecto. En esta etapa se define las necesidades del mercado, se generan y se toman en consideración varias opciones de diseño con diversos conceptos enfocados hacia su desarrollo y pruebas complementarias.
- **Diseño a nivel sistema:** La etapa del diseño a nivel sistema incorpora la definición del diseño del producto y la descomposición del mismo en subsistemas y componentes.

En esta etapa por lo general también se considera todos los planes iniciales así como la salida del producto. La salida de esta fase comúnmente comprende un los planos del artículo, un detalle útil para cada uno de los subsistemas del producto, y un diagrama de flujo preparatorio para su ensamble final.

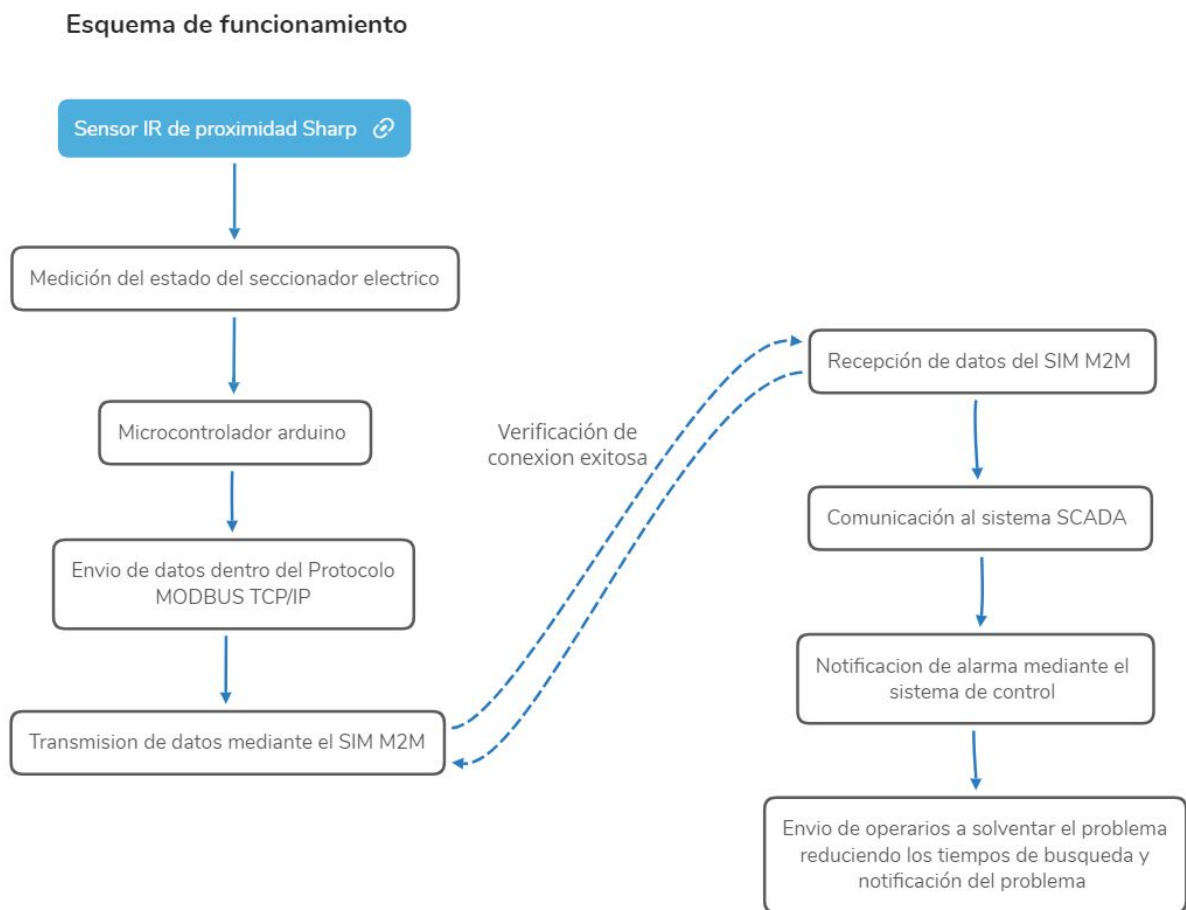
- **Diseño a nivel detalle:** En esta etapa se genera las especificaciones y características completas de el producto tomando en cuenta los materiales, geometría, tolerancias, control, todas las partes que son compradas etc. Además de ello se genera un plan de proceso con método de concepción de las herramientas. Tenemos como resultado todo lo referente a documentación en planos eléctricos, mecánicos y electrónicos así también de la manera de como se genero el producto paso a paso.
- **Pruebas y refinamiento:** Esta etapa comprende la construcción y evaluación de las versiones finales del producto tomando en cuenta varias modificaciones y mejoras que se realizan a lo largo del diseño de sistema y de detalle. Los prototipos se prueban para determinar si el producto funcionará como esta diseñado y si el producto satisface las necesidades clave para lo cual fue construido.
- **Inicio de producción:** En el caso de plantearse un inicio de producción para la creación de dispositivos en mayor cantidad se lo debe realizar efectuando una construcción de los elementos de una manera mas efectiva y rápida, por lo que la manera de manufacturar la protección del sensor en el seccionador se lo realizaría mediante un proceso SAV moldeo por inyección lo cual lo hace mas rápido y menos costoso que un método de impresión 3D si la variable a considerar es la cantidad. La compra de los microcontroladores, baterías y sensores se los haría al mayor de igual manera para abaratar costos.
- **Revisión del proyecto:** Esta revisión incluye una evaluación del proyecto desde las perspectivas tanto comercial como técnica, y tiene la finalidad de identificar formas de mejorar el proceso de desarrollo para proyectos futuros.

Para empezar con el diseño del prototipo de señalización ON-OFF de un seccionador eléctrico analizamos los parámetros iniciales revisados en el capítulo anterior y partimos con un criterio concreto acerca de lo que se planea realizar, en esta etapa se realizara varios diseños en cuanto al marco que corresponde, como lo es un diseño mecánico de un acople del sensor en el seccionador, un diseño electrónico que comprende las conexiones de los sensores hacia el microcontrolador así como los demás elementos que componen el prototipo, los cálculos necesarios para el requerimiento de la batería necesaria para alimentar el sistema así como la

programación implementada para la comunicación del estado del seccionador por medio del protocolo MODBUS hacia el sistema SCADA de la empresa eléctrica.

### 6.2.1. Esquema general de funcionamiento

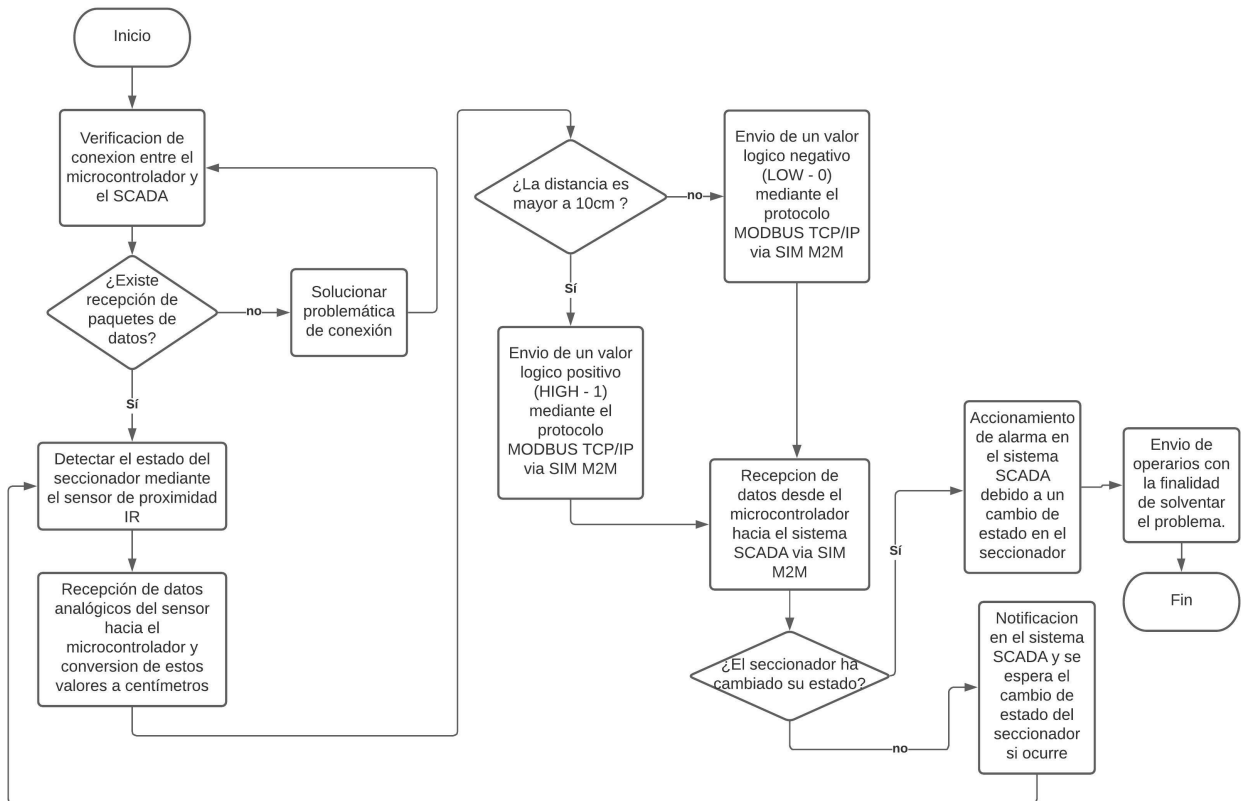
Para el diseño de un prototipo de señalización ON-OFF de un seccionador eléctrico empezamos por la medición de dicho estado si este se encuentra accionado o no, posteriormente dichos datos pasan al microcontrolador que es el encargado de realizar la transmisión de datos por medio de la SIM M2M hacia el SCADA de la empresa eléctrica, este al recibir un cambio de estado se activa una notificación de alarma que mediante los respectivos protocolos de la empresa eléctrica en cuanto a este fallo envía a los operarios a solventar el problema reduciendo los tiempos de búsqueda y también los tiempos de notificación de la falta de servicio.



**Figura 18:** Esquema de funcionamiento del prototipo (Fuente: Autor)



De igual manera para representar la secuencia de actividades que se van a realizar en este proceso de señalización de estado del seccionador es necesario implementar un diagrama de flujo para desarrollar y mejorar la presentación gráfica de un proceso.



**Figura 19:** Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento del prototipo de señalización (Fuente: Autor)

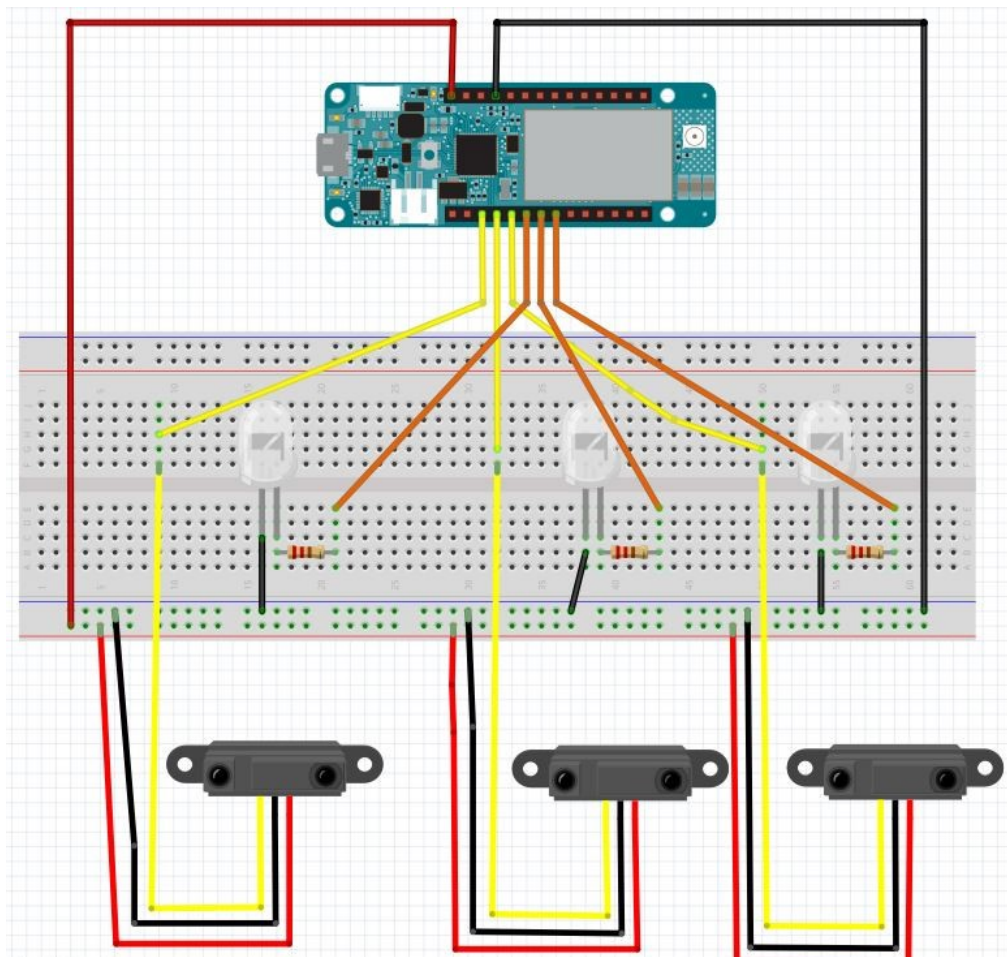
### 6.2.2. Esquema electrónico del prototipo

Para realizar el esquema electrónico del prototipo correspondiente a las conexiones del Arduino ha sido incorporado un programa que entrega el esquema en un protoboard para mostrar sus conexiones así como el esquemático. Dicho programa se llama Fritzing, este un programa libre de automatización de diseño electrónico que busca ayudar a diseñadores para que puedan pasar de prototipos (usando, por ejemplo, placas de pruebas) a productos finales, permite realizar de forma virtual todos los proyectos, dispone de bibliotecas con miles de componentes, placas de conexiones, además de permitir el diseño de esquemas eléctricos es posible diseñar un personalizado PCB.

Primeramente realizamos la conexión dentro de un protoboard en el programa Fritzing como si se estuviera realizando en el entorno real, como se muestra en la figura ?? es la conexión correspondiente al realizar un enlace dentro de un protoboard con todos los componentes, en el que comprende la conexión de los LEDs así como de los sensores de proximidad, la energía va a ser proveniente del microcontrolador que a su vez viene de la alimentación de una batería de 5V.

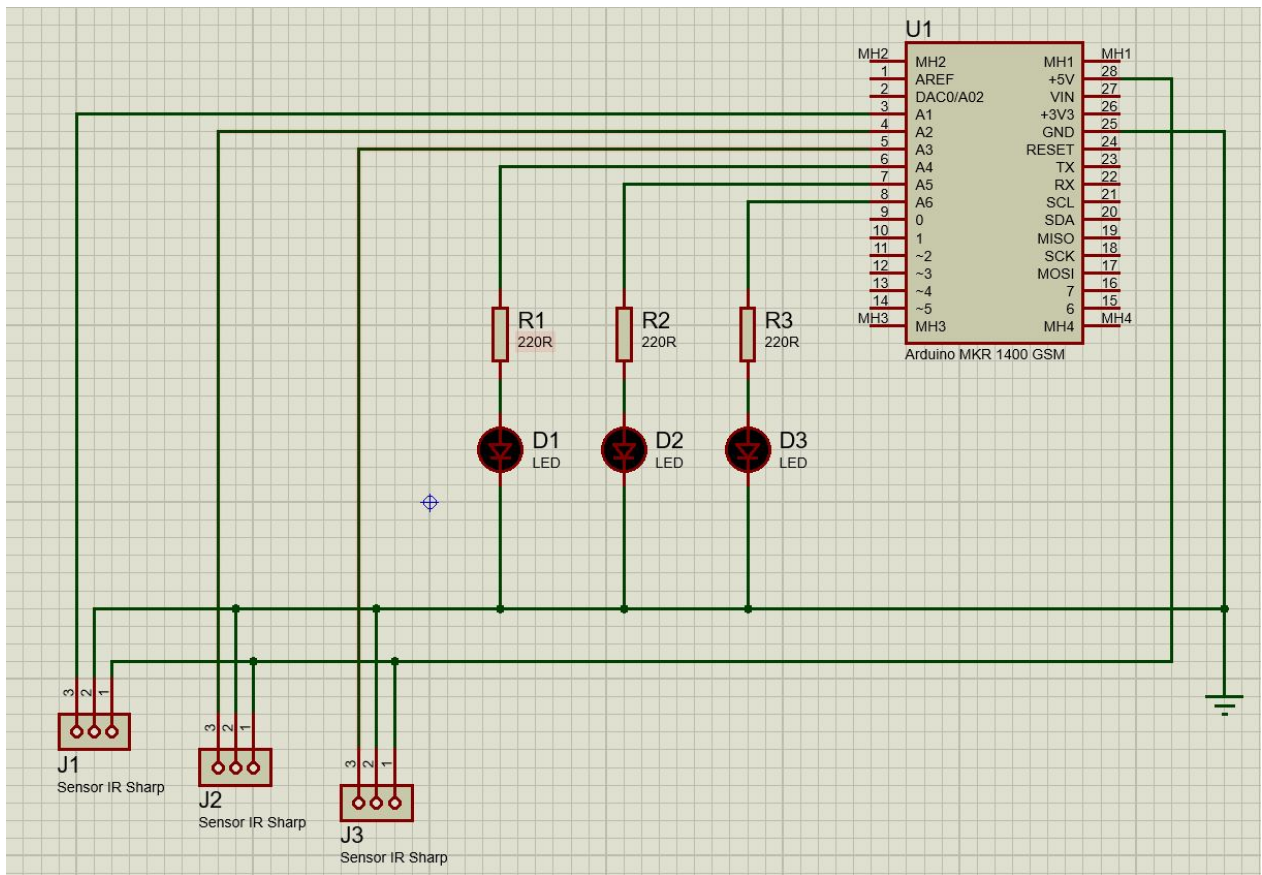
Los componentes utilizados son:

- 3 diodos LEDs
- 3 sensores de proximidad IR Sharp GP2Y0A41
- 3 resistencias de 220 ohms
- 1 placa Arduino MKR 1400 GSM



**Figura 20:** Esquema de conexión en el protoboard en el software Fritzing (Fuente: Autor)

De igual manera se presenta el esquema electrónico de las conexiones del microcontrolador con las simbologías correspondientes de cada componente que se usa en la figura 21, para su implementación se hace uso de un software adicional con el nombre de Proteus v8.10 en el cual podemos realizar también su esquema de conexión así como una placa PCB utilizando la normativa correspondiente. En la sección de implementación se profundizara mas acerca de su construcción.



**Figura 21:** Esquema electrónico del prototipo (Fuente: Autor)

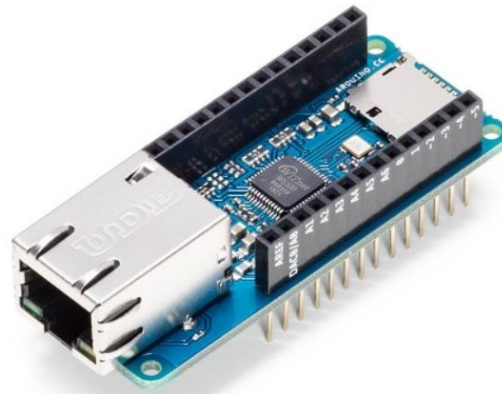
### 6.2.3. Programación para la comunicación del microcontrolador hacia el sistema SCADA

Para la programación respectiva del proyecto la propuesta se ha basado en el protocolo de comunicación MODBUS realizando de esta manera la transmisión de datos desde el sensor que pasa por el microcontrolador y después al sistema SCADA de la empresa eléctrica, la herramienta para solventar la programación es compilador de Arduino IDE 2 implementado para los Arduinos PRO de siguiente generación, este será el software seleccionado para desarrollar todo el programa, además han sido implementadas de una serie de librerías que logren la comunicación esperada.

Para verificar que se este realizando una comunicación MODBUS desde el dispositivo Arduino se hace uso de un modulo adicional para realizar la conexión mediante Ethernet, dicho modulo se llama Ethernet Shield MKR con lo cual se comprueba si es que la transmisión de datos se

realiza de manera continua y efectiva. Dicha transmisión de datos ha sido con el programa ModScan32 configurando una comunicación remota mediante TCP/IP.

**6.2.3.1. Ethernet Shield MKR** La placa Arduino MKR EHT Shield proporciona conexión a internet vía cable mas estable, rápida y segura en lugar de usar Wifi, dicha placa es compatible con toda la generación MKR que necesite explícitamente una conexión Ethernet, esta placa es bastante usada en los dispositivos ubicados en donde el electromagnetismo es una variable a considerar, además de que netamente se requiera un tipo de conexión de esta forma y también de otros requerimientos de seguridad.



**Figura 22:** Arduino MKR Ethernet Shield (Fuente: (Arduino, 2021))

Este Ethernet Shield contiene las siguientes características:

- Conectividad: Ethernet
- Conector: RJ45 hembra
- Voltaje de operación lógico: 3.3V
- Soporta SPI SD card para almacenamiento de datos
- Compatible con Arduino UNO, Mega y MKR

Para conectar a la placa principal Arduino MKR 1400 GSM es simplemente con colocar el Ethernet Shield encima de la placa para validar su conexión como se puede observar en la figura 23.



**Figura 23:** Arduino MKR 1400 GSM con EHT Shield (Fuente: Autor)

Haciendo uso de este modulo adicional se conecta vía cable Ethernet hacia el sistema SCADA con una determinada dirección IP para concretar la conexión MODBUS dentro de los Input Status que posteriormente se profundizara sobre el tema.

**6.2.3.2. Arduino IDE 2.0** Desde el desarrollo del software IDE de Arduino la que es la encargada de programar mas de 1000 placas oficiales y un total de 3000 placas no oficiales, tiene capacidades compatibles con un marco extensible que se basa en paquetes capaces de soportar placas modulares, su capacidad de innovación no se ha detenido.

Si bien el IDE tradicional de Arduino proporciona una interfaz simple y clara que es ideal para los usuarios novatos, los usuarios más avanzados a menudo informan que las capacidades de edición son un poco limitadas en comparación con los editores modernos. Esto incluye funciones como sangría de código, plegado de bloques, corchetes de cierre automático, búsqueda y reemplazo de expresiones regulares, alternancia de comentarios. Además de esto, muchos usuarios han estado solicitando depuración en vivo , es decir, la capacidad de ejecutar código en una placa adjunta y detenerlo en una línea determinada para verificar el contenido de las variables, la memoria y los registros.

En 2019, se anuncio el lanzamiento alfa de un nuevo IDE construido sobre Arduino-cli y basado en una pila de software moderna (Theia y Electron) con el nombre en clave de “Arduino Pro IDE”. El 2020 ha sido un año de desarrollo ajetreado, y un equipo dedicado de

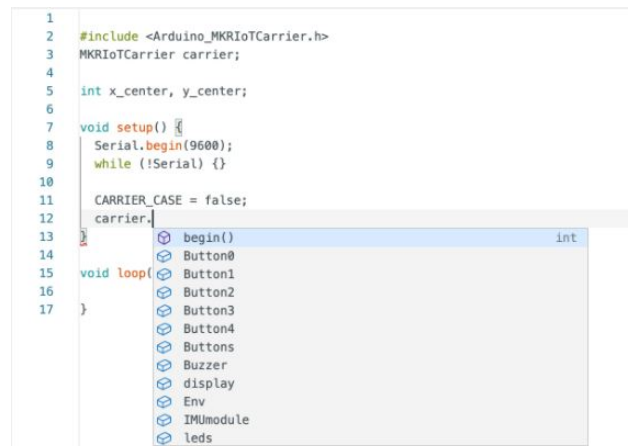
desarrolladores ha estado trabajando entre bastidores para llevar el nuevo IDE de una prueba de concepto a una herramienta completamente funcional. (Team, 2021)



**Figura 24:** Arduino PRO IDE (Fuente: (Team, 2021))

Ahora este es mas conocido como Arduino IDE 2.0, lleva un editor moderno y proporciona una mejor experiencia de usuario en general gracias a una interfaz receptiva y un tiempo de compilación más rápido. Estas son unas características agregadas para el nuevo compilador de Arduino:

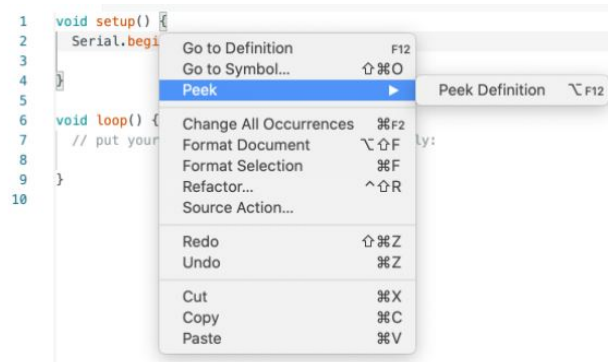
- Mientras escribe, el editor sugiere el autocompletado de variables y funciones de acuerdo con las bibliotecas que incluyó:



**Figura 25:** Auto-completado de Arduino IDE 2.0 (Fuente: (Team, 2021))

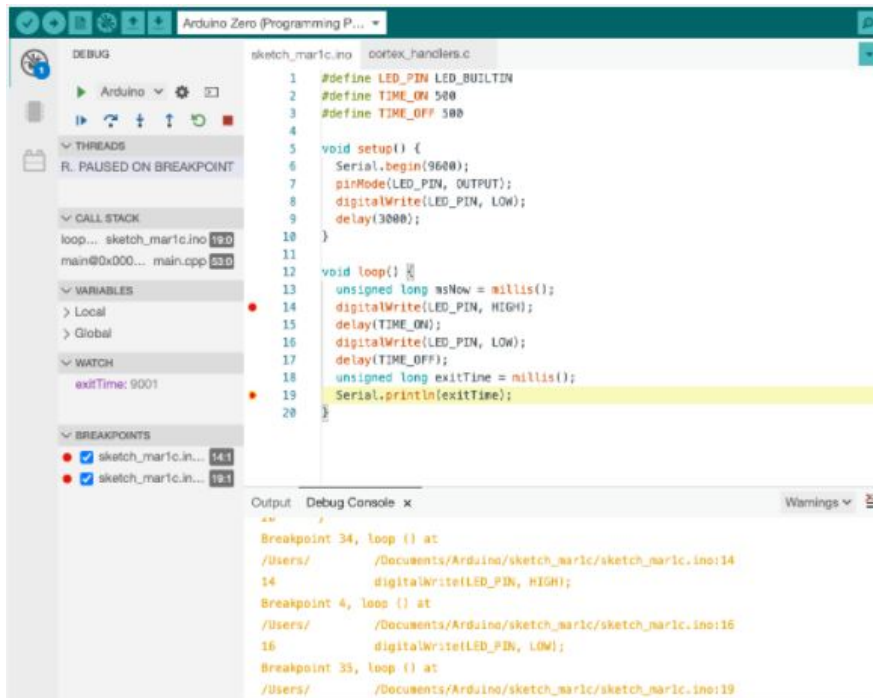
- Al hacer clic con el botón derecho en una variable o función, un menú contextual

proporcionará atajos de navegación para saltar a la línea (y al archivo) donde se declaran:



**Figura 26:** Atajos de navegación de Arduino IDE 2.0 (Fuente: (Team, 2021))

- Un depurador en vivo que le permite ejecutar su código de forma interactiva en una placa e inspeccionar su ejecución sin escribir decenas de declaraciones "Serial.println ()". Simplemente active el panel de depuración, establezca puntos de interrupción donde desee pausar la ejecución e inspeccione el contenido de las variables. Incluso puede cambiar el contenido de las variables sobre la marcha y reanudar la ejecución.



**Figura 27:** Depurador en tiempo real de Arduino IDE 2.0 (Fuente: (Team, 2021))



- El depurador admite todas las placas Arduino en la plataforma SAMD ( familia MKR , Nano 33 IoT , Zero ). Se está implementando la compatibilidad con la plataforma mbed ( Nano 33 BLE , Portenta , Nano RP2040 Connect ), pero podría tardar un poco. Los mantenedores de núcleos Arduino para placas de terceros pueden agregar soporte para la depuración agregando los parámetros de configuración relevantes; viene una guía técnica para esto
- El nuevo IDE se basa en el marco Eclipse Theia, que es un proyecto de código abierto basado en la misma arquitectura que VS Code (protocolo de servidor de idiomas, extensiones, depurador). El front-end está escrito en TypeScript, mientras que la mayor parte del back-end está escrito en Golang.

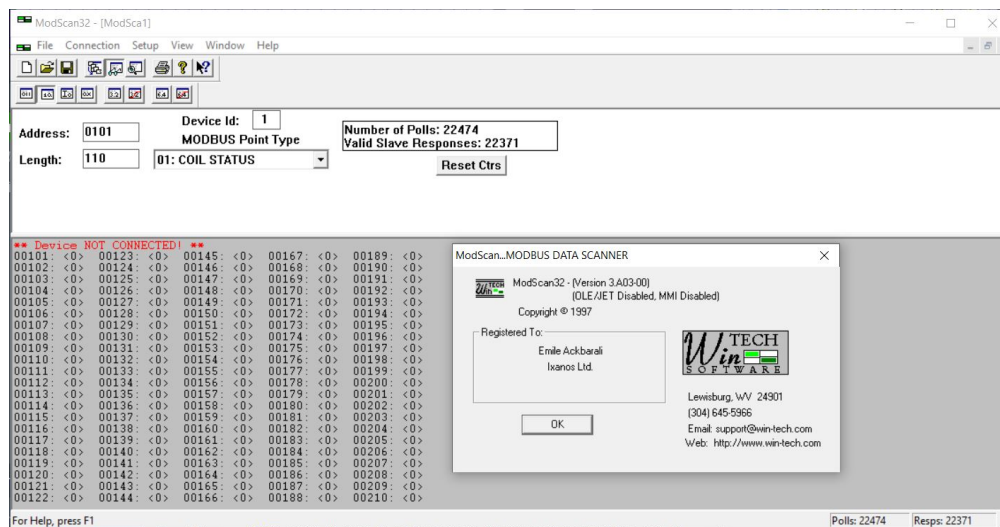
**6.2.3.3. ModScan32** Es una aplicación Win32 que sirve como un dispositivo maestro MODBUS para probar el protocolo y realizar la recopilación de datos MODBUS serie y TCP / IP mediante sondeo a intervalos definidos por el usuario hasta milisegundos . Puede adquirir datos en formatos de punto flotante, decimal sin signo y entero. También admite escrituras de registro. El tiempo de respuesta del esclavo y la demora entre sondeos son seleccionables por el usuario.

Esta diseñada para operar como un dispositivo maestro MODBUS para acceder a puntos de datos en un dispositivo esclavo compatible con PLC conectado. Al igual que su predecesor de 16 bits, ModScan32 está diseñado principalmente como un dispositivo de prueba para la verificación del funcionamiento correcto del protocolo en sistemas nuevos o existentes. Se han incorporado extensiones para permitir la adquisición de datos de terceros a través de las rutinas de Control Automation y / o el motor de base de datos Microsoft Jet. ModScan32 permite abrir varios documentos, cada uno de los cuales escanea activamente una serie de puntos de datos de uno o más esclavos MODBUS conectados.

Tenemos los pros y los contras de este programa:

### **Pros**

- Admite MODBUS / TCP, servidor Telnet remoto (para Ethernet / RS-485 SDA) y una variedad de otros tipos de conexión (incluido Telnet), así como conexiones de puerto serie directo (puerto COM).
- Tiene control de línea de protocolo de enlace opcional que puede ser necesario para los adaptadores RS-232 / RS-485 más antiguos utilizados en puertos serie de PC heredados



**Figura 28:** Programa ModScan32 (Fuente: Autor)

que no manejan el control del controlador de bus RS-485 automáticamente.

- Tiene un modo de visualización de "volcado hexadecimal" que es útil para solucionar problemas de comunicaciones.
- Se puede configurar rápidamente para leer una variedad de registros del mismo tipo (en comparación con el enfoque de Ocean Controls de configurar etiquetas individuales, que es más tedioso y requiere más tiempo). (CCS, 2021)

### Contras

- La selección del tipo de punto de Modscan32 se establece de forma predeterminada en "Estado de la bobina", lo que requiere cambiarlo a "Registro de retención" antes de que se pueda sondear el registro de un medidor WattNode.
- Modscan32 es una herramienta destinada principalmente a ingenieros y personal de TI que están familiarizados con los conceptos básicos de protocolos como MODBUS.
- Poca capacidad de generación de gráficos de tendencias. Difícil de configurar y cambiar. (CCS, 2021)

Gracias a este programa es posible observar si es que la comunicación MODBUS TCP/IP que se esta implementando en el Arduino se realice de manera correcta y respeten los protocolos respectivos.

**6.2.3.4. Versiones del protocolo MODBUS** Existen una variedad de versiones de protocolo MODBUS empezando por los puertos seriales, conexiones Ethernet y también un grupo de protocolos TCP/IP de internet entre los que tenemos:

- **MODBUS RTU:** Es la versión mas usada y comúnmente con mas disponibilidad dentro de MODBUS, hace alusión a una estructura de cliente/servidor o maestro/esclavo, debido a si fácil uso y poco desarrollo se convirtió en un protocolo estándar en la industria. Generalmente este se usa para la conexión de una PC de supervision hacia una unidad remota RTU en los sistemas SCADA.
- **MODBUS ASCII:** Este hace alusión al uso de caracteres ASCII dentro de este protocolo debido a que implementa los checksum de control de redundancia longitudinal.
- **MODBUS TCP/IP:** Este esta enfocado en el campo de la automatización industrial, transmite los datos de cualquier dispositivo que soporte los sockets TCP/IP. Este no requiere de un calculo en la suma del checksum, y se puede conectar mediante el puerto 502.
- **MODBUS UDP:** El uso de MODBUS UDP repercute en varias diferencias acerca del uso en las redes de conexión IP, por lo que si principal beneficio es que elimina los gastos de datos necesarios al implementar una comunicación TCP.
- **MODBUS plus:** Esta versión es proveniente de la compañía Schneider Electric como una versión extendida del protocolo ya que proporciona varias mejoras como por ejemplo las comunicaciones en las redes punto a punto entre clientes, un co-procesador especificado para el protocolo de comunicaciones de propósito general de punto a punto.

**6.2.3.5. Formato general de las tramas del protocolo MODBUS** Un mensaje consiste en una secuencia de caracteres que puedan ser interpretados por el receptor, como se muestra en la figura 29. Esta secuencia de caracteres define la trama. Para sincronizar la trama, los dispositivos receptores monitorizan el intervalo de tiempo transcurrido entre caracteres recibidos. Si se detecta un intervalo mayor que tres veces y media el tiempo necesario para transmitir un carácter, el dispositivo receptor ignora la trama y asume que el siguiente carácter que recibirá será una dirección.

Existen 2 modos de transmisión de datos entre los que podemos observar en la tabla 3



**Figura 29:** Comunicación entre maestro y esclavo en MODBUS (Fuente: (Diselecser, 2020))

**Tabla 3:** Formato de las tramas en los modos ASCII y RTU

Formato de las tramas en modo ASCII					
Comienzo de la trama	Dirección	Función	Datos	Control de errores	Fin de la Trama
:	2 bytes	2 bytes	N x 2 bytes	2 bytes	CR+LF
Formato de las tramas en modo RTU					
Comienzo de la trama	Dirección	Función	Datos	Control de errores	Fin de la Trama
Tiempo de 3 bytes	1 byte	1 byte	N x 1 byte	2 bytes	

- **Dirección:** El campo dirección es el primero de la trama después del tiempo de sincronización. Indica el dispositivo al que va dirigido el mensaje. Cada dispositivo de la red debe tener asignada una dirección única, diferente de cero. Igualmente, cuando un dispositivo responde a un mensaje, debe enviar en primer lugar su dirección para que el máster reconozca la procedencia del mensaje. MODBUS permite enviar mensajes a todos los dispositivos a la vez (broadcast) utilizando para ello la dirección cero.
- **Función:** El campo función indica al dispositivo direccionado qué tipo de función ha de realizar. Estas funciones están definidas en la tabla 4.

**Tabla 4:** Tabla referente a las funciones MODBUS y su correspondencia a cada registro

<b>Tabla de correspondencias de registros MODBUS</b>				
<i>Codigo</i>	<i>Direccion en el dispositivo</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Nombre de la tabla/Funcion</i>	<i>Tipo de acceso</i>
01	1 a 10000	1 bit	Registros de aplicacion digitales (Discrete Outputs Coils)	Lectura y Escritura
02	10001 a 20000	1 bit	Entradas Digitales (Discrete Input Status)	Solo lectura
03	30001 a 40000	2 bytes	Entradas Analogicas (Input register)	Solo lectura
04	40001 a 50000	2 bytes	Salidas Analogicas (Holding Registers)	Lectura y Escritura

En este caso en el proyecto ocupamos el código 02 referente a las entradas digitales o las Input Status con envío de datos de 1 bit, la dirección del dispositivo va desde 10001 a 20000, para ello al programar es necesario ingresar una dirección al dispositivo en el address, se ocupara una dirección de 100 que viene a ser una lectura de datos desde 10101 hasta el 10103 cuando ya este implementado la programación. En el caso que se produzca un cambio en el estado de seccionador el microcontrolador se encarga de enviar un dato booleano ya sea con un valor positivo (ON, TRUE, HIGH) o un valor negativo (OFF, FALSE, LOW) que el sistema SCADA reconoce y en base a los parámetros establecidos determina una alarma que el seccionador esta en funcionamiento o no.

- **Datos:** El campo datos contiene la información necesaria para que los dispositivos puedan ejecutar las funciones solicitadas, o la información enviada por los dispositivos al master como respuesta a una función.
- **Control de errores:** El campo de control de errores es el último de la trama y permite al máster y a los dispositivos detectar errores de transmisión. Ocasionalmente, debido a ruido eléctrico o a interferencias de otra naturaleza, se puede producir alguna modificación en el mensaje mientras se está transmitiendo. El control de errores asegura que los dispositivos receptores o el máster no efectuarán acciones incorrectas debido a una modificación accidental del mensaje. El formato RTU utiliza el control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el ASCII utiliza el control de redundancia longitudinal (CRL) para finalizar la trama de comunicación.

**6.2.3.6. Input Status(Entradas digitales discretas):** Los Input Status se utiliza para el estado ON / OFF de las entradas discretas (DI) del campo o el estado de los dispositivos esclavos. El estado de la entrada está ENCENDIDO o APAGADO, que solo se puede leer. Las direcciones válidas están en el rango de 10001-199999. El mensaje de solicitud especifica la entrada inicial y la cantidad de entradas que se leerán.

Debido a que estamos dentro de las entradas digitales discretas el envío de datos desde el Arduino va a ser un estado ON o OFF, que determina la posición de la cuchilla del seccionador, si la cuchilla esta en posición en favor de la transmisión de corriente va a estar en un estado ON, si es que ocurrió un fallo debido a un corto circuito y la cuchilla esta en posición que no transmite corriente por el mismo entonces el microcontrolador realiza el envío de datos en un estado OFF. El sistema SCADA por medio de los Input Status ubicados en la dirección de 100 a 102 dentro de los 10001 a 19999 disponibles (la dirección exacta dentro del protocolo MODBUS se dará en las direcciones 10101 a la 10103) realizara la detección del estado en el seccionador ya sea 0 o 1, o a su vez un ON o OFF.

**6.2.3.7. Librerías en Arduino:** Las librerías son colecciones de códigos que nos ayudan en la interconexión del Arduino con sensores, módulos electrónicos, pantallas, trabajar con hardware, manipulación de datos entre otros. Las bibliotecas o librerías nos proporcionan una gran funcionalidad para trabajar con los proyectos haciendo uso de códigos adicionales que facilitan la ejecución de una serie de funciones relacionadas entre si.

Dentro del entorno de Arduino se puede ampliar mediante el uso de bibliotecas, al igual que la mayoría de las plataformas de programación. Las bibliotecas proporcionan una funcionalidad adicional para su uso en proyectos cuyas funciones son requeridas.

Las librerías por lo general en Arduino se componen de los siguientes archivos:

- Un archivo .cpp (código fuente de C++).
- Un archivo .h o encabezado de C.
- Un archivo Keywords.txt.
- Directorio de sketch de ejemplo (opcional).
- Archivo de metadatos library.properties

- Archivo readme con información adicional sobre la librería para el desarrollador.

Añadir una librería en Arduino es de suma importancia ya que algunas librerías requieren de modificaciones para que se pueda efectuar el trabajo que se tiene en mente, para ello existen 3 formas de instalar una librería en Arduino que nos sera de gran ayuda al querer utilizar los módulos adicionales o SHIELDS, así como los protocolos de comunicación planteados.

- **1. Instalar una librería desde el “gestor de librerías”:** El gestor de librerías en Arduino es una herramienta de gran ayuda ya que nos permite integrar en nuestra programación ciertas librerías preestablecidas dentro del entorno Arduino, este gestor permite instalar y actualizar las librerías de forma totalmente transparente para el usuario.
- **2. Importar una librería desde archivo ZIP:** Generalmente este método se realiza cuando la librería que estamos buscando no se encuentra dentro del gestor de librerías o dicha librería que se consiguió fue dentro del formato .zip, esto es común cuando se obtienen librerías de terceros o librerías que por lo general están alojadas en repositorios GIT. Dentro del mismo programa Arduino existe una opción dentro de la pestaña programa que es incluir una librería y se selecciona añadir librería.zip, se busca la librería por importar y se selecciona abrir y ya esta disponible para su uso.
- **3. Instalar manualmente la librería:** Este método se realiza cuando ninguno de lo 2 métodos anteriores funciona o simplemente queremos instalar la librería de forma manual. Primeramente se descomprime el zip. de la librería y se busca la carpeta de Arduino, por lo general dicha carpeta se encuentra dentro de la carpeta documentos. Consiguiente a ello buscamos la subcarpeta libraries y se pega el archivo descomprimido en dicha carpeta.

Posteriormente para poder usar la librería se debe colocar en el código fuente, para ello es necesario dirigirse a la pestaña programa, se selecciona en incluir librería y se escoge el nombre de la librería.

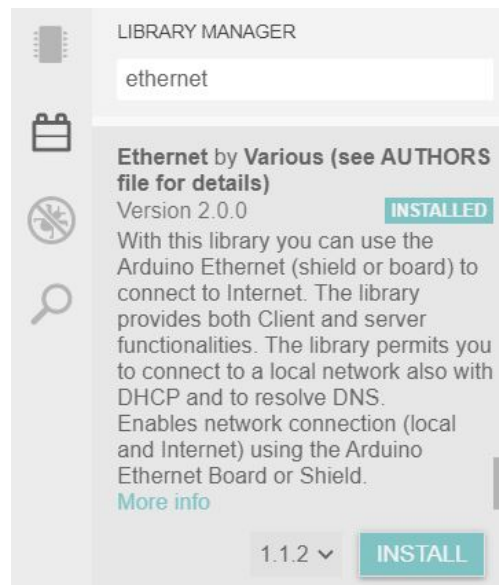
**6.2.3.8. Librerías implementadas:** Una vez que se sabe lo que es una librería dentro del entorno de Arduino, la funcionalidad que tiene al incluirla en nuestro código fuente y la manera de como añadirla en nuestra programación, se determinan las bibliotecas con las que se va a realizar código que sera de ayuda al momento de realizar la comunicación del

protocolo MODBUS con el Ethernet Shield y con el programa de ModScan32 mencionado anteriormente para las respectivas pruebas.

Las librerías son:

- **Ethernet.h:** La librería Ethernet está diseñada para funcionar con Arduino Ethernet Shield, Arduino Ethernet Shield 2, Leonardo Ethernet y cualquier otro dispositivo basado en W5100 / W5200 / W5500. La biblioteca permite que una placa Arduino se conecte a Internet. La placa puede servir como servidor que acepta conexiones entrantes o como cliente que realiza conexiones salientes. La biblioteca admite hasta ocho (W5100 y las placas con  $\leq 2$  kB SRAM están limitadas a cuatro) conexiones simultáneas (entrantes, salientes o una combinación). (SM, 2019)

Es usada para manejar los Ethernet Shield de varias generaciones que utilizan una gama de protocolos TCP/IP y dentro del entorno de Arduino se implementan dentro de la capa o nivel de aplicación que es el séptimo nivel del modelo OSI y el cuarto de la pila TCP/IP



**Figura 30:** Librería Ethernet en Arduino IDE 2.0 (Fuente: Autor)

- **SPI.h:** Esta librería permite al Arduino comunicarse con los dispositivos SPI como un dispositivo maestro. La interfaz de periféricos en serie (SPI) es un protocolo de datos en serie síncrono que utilizan los microcontroladores para comunicarse con uno o más dispositivos periféricos rápidamente en distancias cortas. También se puede utilizar para la comunicación entre dos microcontroladores.



Con una conexión SPI, siempre hay un dispositivo maestro (generalmente un microcontrolador) que controla los dispositivos periféricos. Normalmente, hay tres líneas comunes a todos los dispositivos:

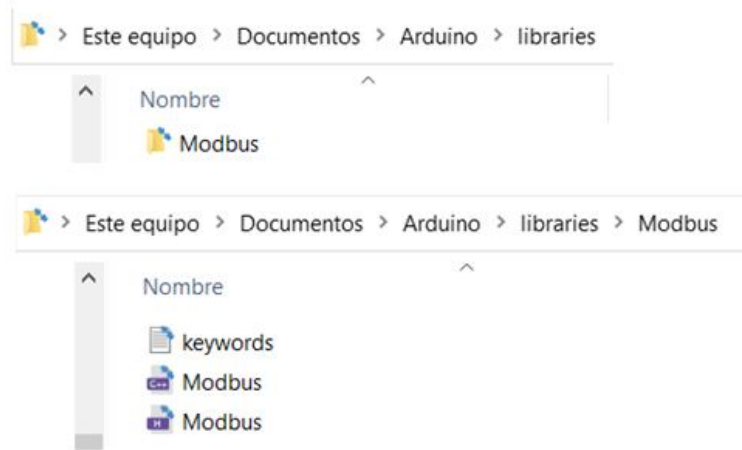
- **MISO** (Master In Slave Out): la línea esclava para enviar datos al maestro,
- **MOSI** (Master Out Slave In): la línea maestra para enviar datos a los periféricos,
- **SCK** (reloj en serie): los pulsos de reloj que sincronizan la transmisión de datos generada por el maestro.
- **SS** (Selección de esclavo): el pin en cada dispositivo que el maestro puede usar para habilitar y deshabilitar dispositivos específicos.

Esta librería ya se encuentra incluida de defecto en el software de Arduino IDE 2.0 por lo que no aparece en las librerías del programa

- **MODBUS.h:** Esta biblioteca permite que los dispositivos Arduino se comuniquen a través del protocolo MODBUS, generalmente este protocolo una el serial RS-232 o RS-485 como una capa física dentro del modelo OSI que se llama MODBUS serial y también tenemos TCP/IP que se conecta vía Ethernet o WiFi y este se conoce como MODBUS IP. En esta versión actual, la biblioteca permite que Arduino funcione como esclavo, admitiendo MODBUS Serial y MODBUS IP.

Aquí tenemos las siguientes características con respecto a su funcionamiento:

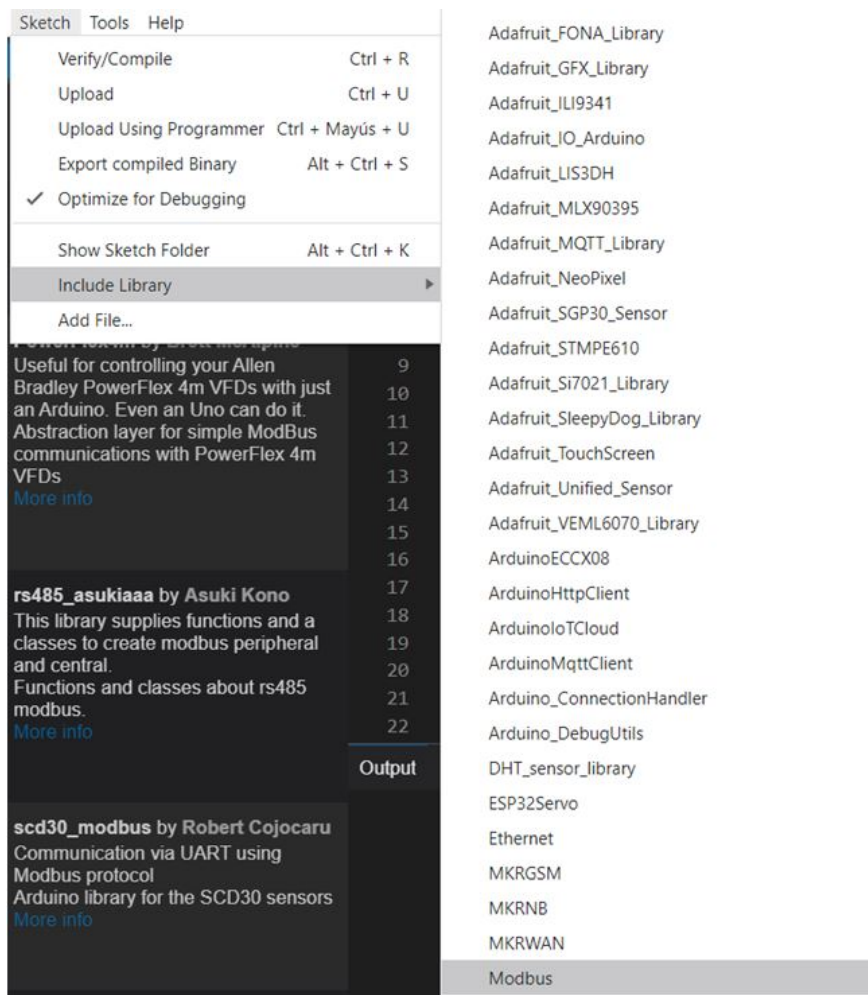
- Funciona como esclavo (modo maestro en desarrollo)
- Admite MODBUS Serial (RS-232 o RS485) y MODBUS IP (TCP)
- Responder mensajes de excepción para todas las funciones compatibles
- Funciones MODBUS compatibles:
  - 0x01 - Leer bobinas (Coils)
  - 0x02 - Leer Input Status (leer entradas discretas)
  - 0x03 - Leer Holding registers (registros de retención)
  - 0x04 - Leer Input registers (Registros de entrada)
  - 0x05 - Escribir una sola bobina (Single coil)
  - 0x06 - Escribir registro único (Single register)
  - 0x0F - Escribir múltiples bobinas (Multiple coils)



**Figura 31:** Librería MODBUS en los archivos de la biblioteca de Arduino (Fuente: Autor)

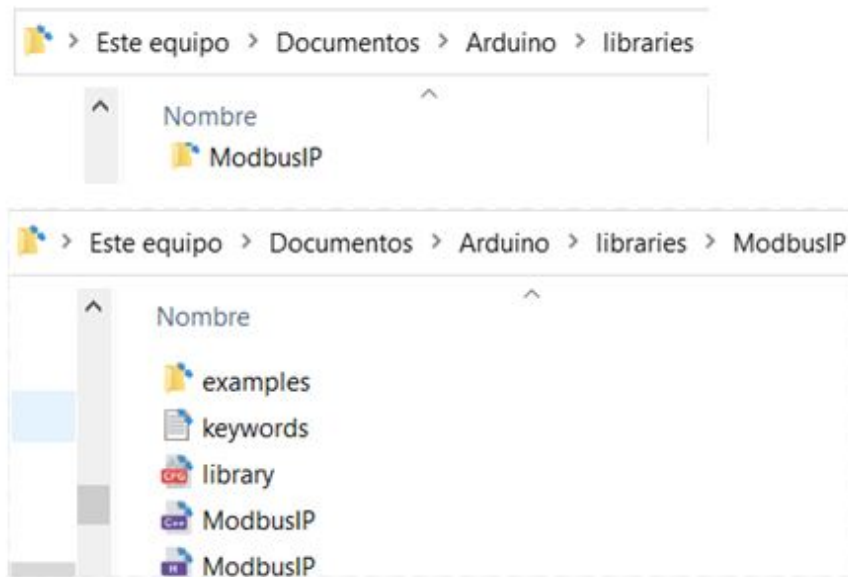
- 0x10 - Escribir varios registros (Multiple registers)

Esta librería se añadió de manera manual por medio de la importación de librerías por zip. en la figura 32 se puede observar que la librería en cuestión se encuentra dentro de la carpeta en donde se encuentran el resto de bibliotecas. Y en la figura 29 se encuentra ya añadida dentro del programa Arduino IDE 2.0



**Figura 32:** Librería MODBUS en el programa Arduino IDE 2.0 (Fuente: Autor)

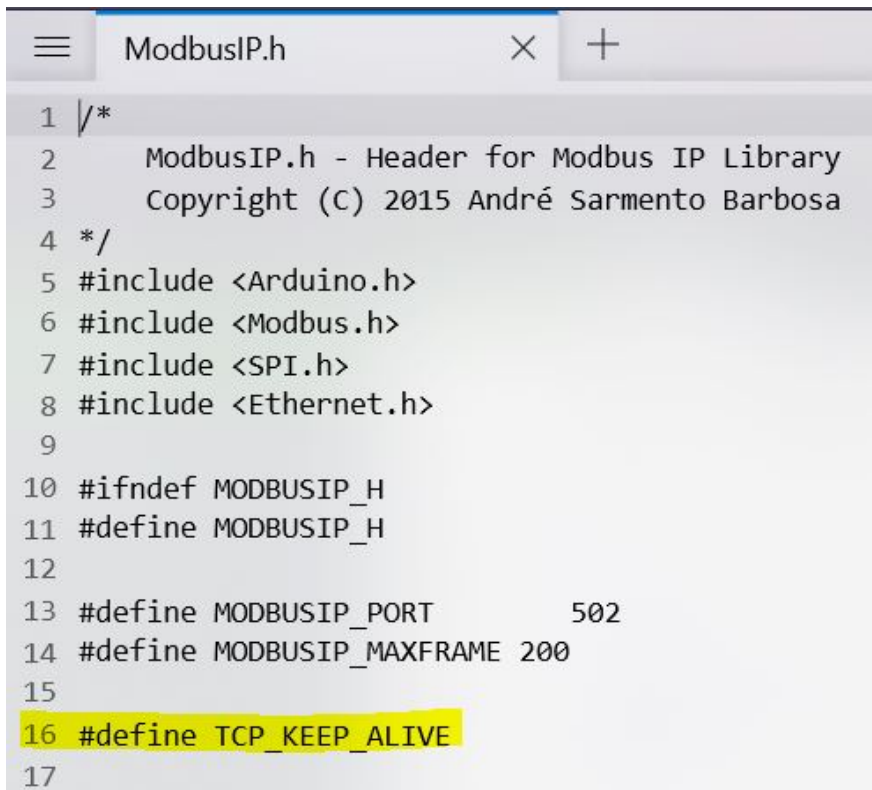
- MODBUSIP.h:** La librería MODBUSIP se basa en la librería MODBUS mencionada anteriormente, sin embargo existen algunos cambios en esta que hacen que tenga un tipo de conexión TCP/IP mediante Ethernet o Wifi, La instalación de esta librería se lo realizo de forma manual debido a que requiere unos cambios en el código de la misma para su correcto funcionamiento como se puede ver en la figura 33.



**Figura 33:** Librería MODBUSIP en los archivos de la biblioteca de Arduino (Fuente: Autor)

Como se puede ver en la figura 33 existen 2 archivos que contienen el código como tal, un archivo es el código en c++ y el otro son los headers en extensión .h . Cuando se usa MODBUS IP, el protocolo de transporte es TCP que usa el puerto 502 por defecto. Ahora, esto se refiere a que la conexión se termina con cada mensaje que fue transmitido, es decir, no es una conexión de tipo keep-alive(mantener a flote).

Debido al proyecto que se tiene, la conexión MODBUS no debe ser interrumpida. Por ello necesitamos una conexión keep-alive para que se este transmitiendo una emisión y recepción de paquetes MODBUS sin interrupciones. Para modificar ello se debe dirigir hacia el header o el archivo .h en la librería MODBUSIP y quitar el comentario en la línea 16 (`#define TCP_KEEP_ALIVE`) como se puede observar en la figura 34

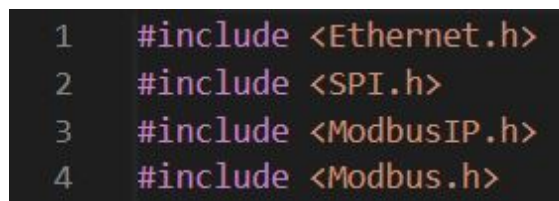


```
1 /*
2     ModbusIP.h - Header for Modbus IP Library
3     Copyright (C) 2015 André Sarmiento Barbosa
4 */
5 #include <Arduino.h>
6 #include <Modbus.h>
7 #include <SPI.h>
8 #include <Ethernet.h>
9
10 #ifndef MODBUSIP_H
11 #define MODBUSIP_H
12
13 #define MODBUSIP_PORT      502
14 #define MODBUSIP_MAXFRAME 200
15
16 #define TCP_KEEP_ALIVE
17
```

**Figura 34:** Cambio de código en el MODBUSIP.h de la librería MODBUSIP (Fuente: Autor)

Una vez añadidas todas las librerías que se van a utilizar para la programación se procede a realizar el código fuente del proyecto.

**6.2.3.9. Descripción del código fuente:** Para empezar con el código fuente en primera instancia se procede a añadir las librerías que nos proporcionan una gran funcionalidad al hacer uso de códigos adicionales para hacer de un proyecto mas sencillo de entender y programar. En la figura 35 se incluyeron las librerías antes mencionadas para el código fuente.



```
1 #include <Ethernet.h>
2 #include <SPI.h>
3 #include <ModbusIP.h>
4 #include <Modbus.h>
```

**Figura 35:** Adición de las librerías en el código fuente (Fuente: Autor)

Consiguiente a ello se definen las variables a implementar a lo largo del proyecto, en la figura 36 se puede ver la definición de los pines del Arduino que van a hacer uso como entrada

de datos analógicos de los sensores así también como la salida hacia los LEDs que indican el cambio del estado correspondiente a su seccionador. Además de ello se definen unas variables que serán de ayuda al momento de realizar la conversión analógica para poder determinar la distancia la cual los sensores de proximidad detectan si la cuchilla se encuentra en posición en favor de la conducción de corriente o no.

```
6  uint8_t sensorPin1 = A1;
7  uint8_t sensorPin2 = A2;
8  uint8_t sensorPin3 = A3; //pines de los sensores
9
10 const int ledPIN1 = A4;
11 const int ledPIN2 = A5; //pines de los leds que indican
12 const int ledPIN3 = A6; // el seccionador con cambio de estado
13
14 float lectura_1;
15 float lectura_2;
16 float lectura_3; //lectura de los sensores
17
18 int Distancia_cm_1;
19 int Distancia_cm_2;
20 int Distancia_cm_3; //conversion de datos de la lectura de los sensores
21
```

**Figura 36:** Definición de las variables de los pines de entradas/salidas así como las variables auxiliares para la conversión de datos (Fuente: Autor)

Una vez definidas las variables iniciales, se usan otras variables que se enfocan en el protocolo de comunicación MODBUS como lo es el direccionamiento de los datos del dispositivo hacia las entradas digitales (Input Status) que van en la dirección 100, 101 y 102 respectivamente lo que en el campo de las entradas digitales los convierte en la dirección 10100, 10101 y 10102 respectivamente debido a que la lectura de un valor digital ya sea alto o bajo se dirigen hacia este. También se definen los booleanos que indican si es que el seccionador se encuentra abierto o cerrado enviando un 0 (false) o 1 (true) hacia la dirección de los datos mencionados anteriormente.

```

22 boolean cerrado=false;
23 boolean abierto=true;// envio de parametros en estado ON y OFF
24
25 const int addressInputStatus1 = 100; // direccionamiento de datos dentro del
26 const int addressInputStatus2 = 101; // dispositivo en los Input Status (entradas
27 const int addressInputStatus3 = 102; // digitales) desde el registro 10100 al 10102

```

**Figura 37:** Definición de variables booleanas y el direccionamiento de datos dentro de los Input Status (Fuente: Autor)

La ultima variable por indicar es la de MODBUSIP mb correspondiente a la librería MODBUSIP que indica el almacenamiento de datos correspondientes a la MAC y la dirección IP dentro de la variable mb, dicha función sera la encargada de inicializar la comunicación Ethernet con los valores que serán cargados después.

```

29 // Inicializamos los parametros para la comunicacion MODBUS
30 //mb es la mac y el ip que definimos al arduino para la comunicacion
31 ModbusIP mb;

```

**Figura 38:** Definición de la variable mb en función de MODBUSIP (Fuente: Autor)

Posteriormente al void setup(), el setup son los parámetros iniciales para el que Arduino ejecute solo una vez en el programa, por lo tanto esta es la primera función que ejecuta el microcontrolador y es en donde se setean las funciones adicionales que va a llevar a cabo el Arduino. El primer comando que se da es el Serial.begin que es aquel que indica al programa que se va a inicializar una comunicación serial, este es necesario que se coloque en esta parte debido a que no se considera algo muy efectivo que se realice algunas veces en el programa principal, con una sola vez ejecutado es correcto. Se coloca dentro de ese comando una velocidad de 9600 baudios se puede observar en la figura 39 que es la velocidad a la que los bits se transmiten.

```

33 void setup() {
34     Serial.begin(9600);
35 }

```

**Figura 39:** Función void setup() y velocidad de transmisión de bits (Fuente: Autor)

En la figura 40 se puede ver 2 matrices en las que se definen la dirección MAC así como la dirección IP que irán establecidas dentro del Ethernet Shield, dichas direcciones se pueden

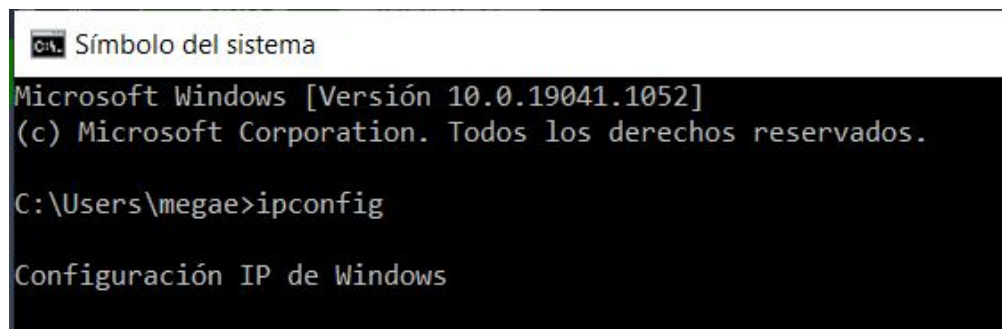


configurar en base hacia donde se realizara la conexión ya sea el ordenador o un sistema SCADA a futuro, una vez determinada la dirección IP y la MAC se llama la función .config hacia la variable mb mencionada anteriormente para que configure y almacene dichos datos para que se pueda efectuar la comunicación MODBUS IP.

```
37 // Definimos la direccion mac (media access control) para el ethernet Shield
38 byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBEDef, 0xEF, 0xFE, 0xED };
39 // Definimos la direccion IP para el modulo Ethernet Shield
40 byte ip[] = { 192, 168, 1, 120 };
41 //Configuramos el MODBUS IP mediante mb
42 mb.config(mac, ip);
43
```

**Figura 40:** Definición de la MAC y la dirección IP del Shield (Fuente: Autor)

Para verificar que se realizo correctamente esta definición de datos en el Ethernet shield se debe conectar la placa hacia el ordenador mediante cable ethernet y nos dirigimos hacia el símbolo de sistema de Windows. Se ingresa el código ipconfig, dicho comando muestra información y todos los datos de la configuración del equipo para el protocolo TCP/IP y sus dispositivos conectados. También permite acondicionar la dirección IP de un adaptador de red y mostrar el contenido de la caché de resolución DNS, así como vaciarla, actualizar y volver a registrar los nombres. En la figura 41 podemos observar el ingreso de dicho código.



```
C:\> Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19041.1052]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\megae>ipconfig

Configuración IP de Windows
```

**Figura 41:** Símbolo de sistema y el comando ipconfig. (Fuente: Autor)

Una vez realizado el comando ipconfig se despliega una lista con todos los adaptadores de red conectados al ordenador, si se tiene conectado la placa debe indicar en el nombre que esta especificado como Ethernet y con la dirección IP que se cargo en el programa Arduino IDE 2.0 con referencia al código fuente, en el caso que no se muestre la misma dirección cargada hay algún fallo en la conexión o en la programación, como se puede en la figura 42 muestra la dirección IPv4 y la configuración respectiva que tiene el adaptador de Ethernet del Shield que se especifico en referencia con la figura 40.



```
Adaptador de Ethernet Ethernet:
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80::3df8:357c:2df4:6da3%13
Dirección IPv4. . . . . : 192.168.1.121
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.1.1
```

**Figura 42:** Verificación de envío de dirección IP hacia el dispositivo Ethernet Shield (Fuente: Autor)

Para verificar que la conexión entre el ordenador y el Ethernet Shield se este realizando de una manera correcta se realiza un ping entre el ordenador y el modulo mediante la dirección IP especificada en la matriz de la figura 40 para verificar si se están recibiendo los paquetes sin novedad alguna. Entonces se ingresa el comando ping 192.168.1.121 para verificar si es que se esta realizando la comunicación de manera exitosa. Como se puede observar en la figura 43 se realiza correctamente el ping para la dirección IP del modulo con 32 bytes de datos con 4 paquetes enviados y recibidos.

```
C:\Users\megae>ping 192.168.1.121

Haciendo ping a 192.168.1.121 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.121: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.121: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.121: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.121: bytes=32 tiempo<1m TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.1.121:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

**Figura 43:** Verificación de ping entre el ordenador y el modulo Ethernet Shield (Fuente: Autor)

Una ves que se verifico la conexión entre el Arduino y el ordenador, se procede a enviar la dirección en el dispositivo dentro de la tabla de las entradas digitales o de las Discrete Input Status que comprende las funciones MODBUS, como se puede observar en la figura 44 se usa del comando add.Ists el cual añade la dirección en la que se va a realizar la lectura de datos, como podemos recordar en la figura 37 añadimos las direcciones 100, 101 y 102 dentro de las entradas digitales discretas. Dicha dirección en esta función va desde 10001 a los 20000 por ello es que añadimos dichas direcciones para que vayan en las 10100, 10101 y 10102

en el registro de los datos MODBUS cuando se requiera su lectura. Adicional en la misma figura definimos la salida de los pines que corresponden a los LEDs que indicaran que seccionador se encuentra abierto en la caja térmica eléctrica, el diseño se presentara mas adelante.

```
44     mb.addIsts(addressInputStatus1);// Aquí añadimos y damos el
45     mb.addIsts(addressInputStatus2);// direccionamiento en los Input
46     mb.addIsts(addressInputStatus3);// Status ya referidos anteriormente
47
48     pinMode(ledPIN1, OUTPUT);
49     pinMode(ledPIN2, OUTPUT);
50     pinMode(ledPIN3, OUTPUT);// definimos como salida los pines de los LEDs
```

**Figura 44:** Adición de la dirección en el dispositivo dentro de los Input Status y designación de los pines LED (Fuente: Autor)

Con ello se cierra el loop setup con las variables y comandos que necesitan ser inicializados una sola vez, ahora pasamos al void loop, un loop significa que es un bucle, una repetición o un lazo, es decir que en este contexto ese programa se ejecutara un número infinito de veces. Tenemos que al momento que se inicializa el Arduino primeramente ejecuta el void setup y después de inicializar todo lo referente a esa función pasa al void setup al bucle o la repetición infinita de la función dentro del programa que se ejecutara hasta que se desconecte la fuente de energía del microcontrolador.

Cuando ya esta implementado el void loop en el algoritmo de programación se realiza lo que se planea ejecutar de forma continua como lo es la lectura de los datos del sensor hacia el microcontrolador y la comunicación MODBUS como tal que se ejecute de forma ininterrumpida. Como es posible observar ver en la figura 45 en la variable mb se ingresa el comando .task, dicho comando envía al cliente Ethernet que el servidor esta disponible, entonces desde ese punto empieza con la emisión y recepción de datos para corroborar que la comunicación se este efectuando de manera continua y sin errores, gracias a este comando se mantiene la comunicación entre el Arduino y el sistema receptor de datos mediante el protocolo MOSBUS TCP/IP.

```

54 void loop() {
55
56     // enviamos los valores actualizados
57
58     mb.task();
59

```

**Figura 45:** Inicio de la función void loop y el código mb.task (Fuente: Autor)

Dentro del bucle infinito es necesario realizar la medición del estado proveniente de los sensores de proximidad infrarrojos, la lectura de estos estados comienzan desde una variable analógica la cual es necesaria una conversión para sacar dicho número en centímetros lo cual que requiere este programa. Para ello se designa una variable auxiliar mencionada anteriormente que comprenda la lectura directamente de los pines que se designaron para la entrada de datos de los sensores y se realiza la conversión respectiva con el fin de determinar la distancia exacta que se encuentra la cuchilla del seccionador hasta su base cerámica. Dichos valores para la conversión que se pueden observar en la figura 46 son provenientes del datasheet del sensor de proximidad Sharp IR GP2Y0A41 el cual se adjuntara como anexo para su revisión en el caso que se quiera. Cabe mencionar que existe una librería proveniente de Sharp la cual solo con colocar el nombre del sensor y hacer el uso de una función de obtener distancia se logra determinar los valores de distancia de una forma mas rápida.

```

60 //Aquí realizamos una conversión desde la entrada analógica
61 // del sensor para definir la distancia en centímetros
62 lectura_1= analogRead(sensorPin1)*0.0048828125;
63 Distancia_cm_1 = 13*pow(lectura_1, -1);
64
65 lectura_2= analogRead(sensorPin2)*0.0048828125;
66 Distancia_cm_2 = 13*pow(lectura_2, -1);
67
68 lectura_3= analogRead(sensorPin3)*0.0048828125;
69 Distancia_cm_3 = 13*pow(lectura_3, -1);
70 delay(1000);

```

**Figura 46:** Conversión de los datos de entrada del sensor hacia centímetros (Fuente: Autor)

Una vez obtenido los datos en centímetros de los seccionadores se determina si es que se encuentran en un estado de abierto o cerrado, para ello se designa la lógica del algoritmo que: si es que la cuchilla se encuentra cerrada los valores en centímetros que perciba el sensor sera de 10cm, si es que el rango de valores del sensor supera los 10cm quiere decir que la cuchilla

no se encuentra en un posicionamiento en favor de la conducción de energía en las líneas de media tensión, lo cual enviara por medio del protocolo MODBUS TCP/IP una salida booleana positiva o un uno lógico lo que quiere decir que se cambio el estado del seccionador y dentro de nuestra caja térmica eléctrica se encenderá un LED que determine cual de los seccionadores se encuentran abiertos. Cabe recalcar que en esta caja térmica eléctrica irán los componentes del prototipo en cuanto a lo que es la batería, el microcontrolador y los LEDs que van a estar numerados determinando cual de los 3 seccionadores colocados cambio su estado, si alguno de estos no se encuentra operativo entonces se encenderá un LED como una alarma señalando cual de los 3 seccionadores dejo de funcionar

En cuanto a la lógica de programación se realiza unos condicionales, si es que la distancia es menor o igual a 10 cm entonces quiere decir que la cuchilla del seccionador se encuentra en un estado que conduce la electricidad, que esta en .°N.º de igual manera el seccionador se encuentra operativo, esto provoca que se envíe dentro de la variable mb hacia la dirección de los Input Status una entrada digital que en este caso es nuestra variable "cerrado" que contiene un booleano false o negativo que viene a ser un 0 lógico. Además de ello se envía una salida hacia el LED que ira ubicado en la caja térmica eléctrica el cual determina el seccionador que se encuentra operativo o no, por lo que en este caso no enciende el LED de aviso debido a que la salida es negativa. Caso contrario si es que la distancia es mayor a 10 cm quiere decir que la cuchilla del seccionador esta inoperativa o sin accionar, entonces se envía dentro de la variable mb a la dirección de los Input Status el booleano ."abierto" que en este caso en un true o un uno lógico. De igual manera como ya se encuentra abierto el seccionador entonces se enciende el LED de aviso dentro de la caja térmica eléctrica que determina cual seccionador cambio su estado.

En la figura 47 se puede observar los condicionales mencionados anteriormente, si la distancia es menor o igual a 10 cm entonces en el ledPIN1 enviamos un LOW, y en la siguiente línea hacemos uso del comando .Ists en la variable mb que envía con la dirección del dispositivo pensionado anteriormente que seria de 100 con un valor booleano false que nos da un valor lógico de 0, Si la distancia es mayor entonces pasa lo contrario, en este caso se enciende el LED de aviso y se envía el valor booleano true que viene a ser un uno lógico. Esto lo repetimos 3 veces debido a que se tiene 3 sensores de proximidad para determinar el estado en los 3 seccionadores ubicados en las líneas de media tensión.

```

72 //En este paso determinamos la distancia de cada uno de los sensores,
73 //Si son mayores a 10 se envia al registro el booleano abierto que
74 //determina un 1 o true y se enciende un led determinando cual de los
75 //3 seccionadores esta abierto. En caso de que sea la distancia
76 //menor a 10 se envia el booleano cerrado y se apaga el led.
77
78   if (Distancia_cm_1<=10){
79     digitalWrite (ledPIN1 , LOW);
80     mb.Ists (addressInputStatus1, cerrado);
81   }
82
83   if (Distancia_cm_1>10){
84     digitalWrite (ledPIN1 , HIGH);
85     mb.Ists (addressInputStatus1, abierto);
86   }

```

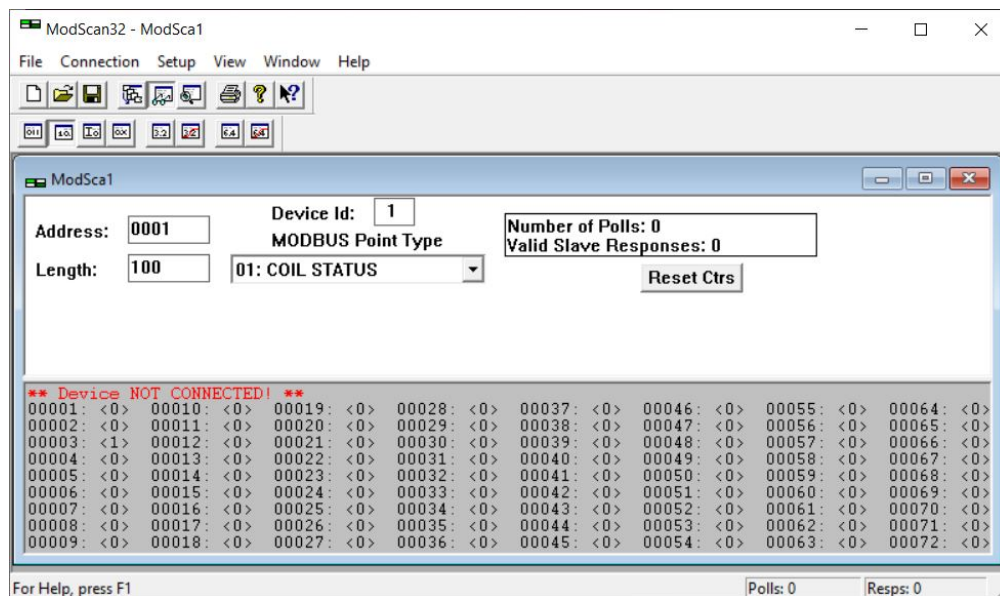
**Figura 47:** Condicionales de distancia en el código fuente (Fuente: Autor)

Para comprobar que se este efectuando la programación de forma correcta se implementa del programa ModScan32 mencionado anteriormente, dicho programa se ejecuta como un receptor de la comunicación MODBUS TCP/IP lo que simularía un sistema SCADA, para ello una vez terminado el programa se compila y se carga placa. Una vez cargado el programa es necesario comprobar que se efectuó una comunicación MODBUS de forma efectiva así mismo como la transmisión de los datos hacia la dirección de los valores de las entradas digitales discretas.

Para ello se ejecuta el programa ModScan32, como es posible en la figura 48 en este programa para efectuar la comunicación MODBUS es necesario configurar una serie de parámetros dentro de: la dirección de los datos, el número de dispositivo, la función a la que pertenece dicha lectura de datos y que tan largos con los datos que se van a mostrar dentro de la tabla MODBUS.

En el programa ModScan32 se debe configurar estas opciones de acuerdo a los parámetros establecidos en la programación del Arduino, a continuación se especificaran los valores que deben ir colocados en el programa de prueba del protocolo de comunicación MODBUS:

- **Address:** En esta casilla se ingresa la dirección del dispositivo que se definio en el código fuente en Arduino, dicha casilla comprende valores desde 0001 hasta 9999 que son direcciones específicas dentro de la función MODBUS que se tenga. La dirección que utilizamos en el código fuente del Arduino es del 100 al 102 correspondiente a 3 entradas digitales discretas, sin embargo este programa tiene un Offset de 1 en las direcciones, por lo que si se especifica una dirección de 100 a 102 con la suma de ese offset en esta



**Figura 48:** Visualización del programa ModScan32 y sus variables a modificar (Fuente: Autor)

pestaña se debe colocar que la lectura de los datos se efectúe desde la dirección 101.

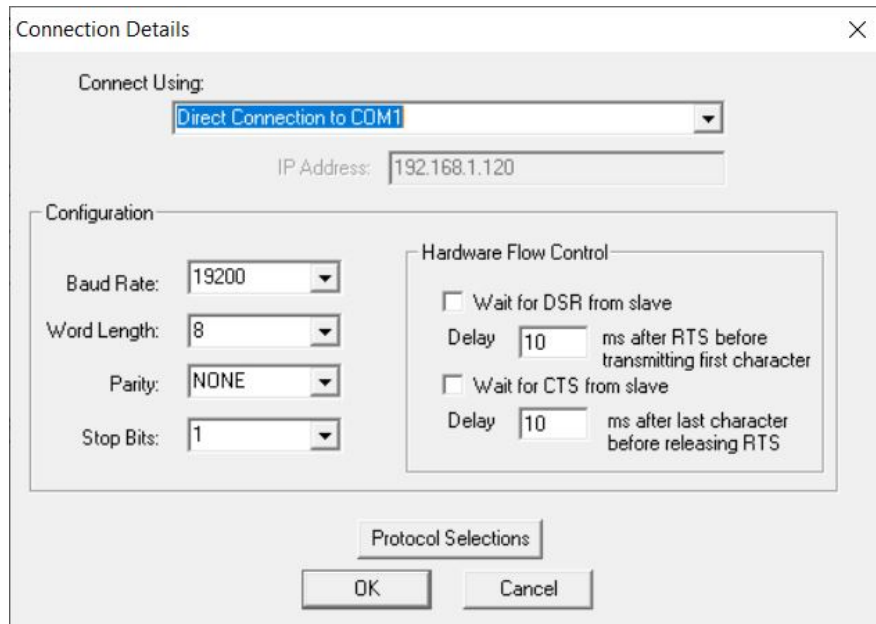
- **Length:** Es la lectura de los valores que se van a leer en la tabla MODBUS, si se tiene una lectura de 100 datos en la matriz que se encuentra debajo se van a presentar los 100 datos provenientes de la longitud establecida, en este caso como se planea la lectura de 3 valores que emite el Arduino entonces colocamos 3.
- **Device id:** Esto se refiere a la identidad del dispositivo, en este caso se ocupa el mismo valor que esta por default que se tiene por número 1, el número máximo son de 502 dispositivos.
- **MODBUS Point Type:** En esta casilla se despliegan las funciones MODBUS que se establecieron en la tabla 4, En este caso al hacer uso de las Entradas digitales discretas o las Input Status seleccionamos el código número 02 lo cual realizara una lectura de valores booleanos que en la tabla de valores nos mostrara solamente un 0 para valores en un estado lógico bajo o low y un 1 para valores en un estado lógico alto o high. Debido a la lógica de programación cuando el seccionador se encuentre operativo nos desplegara un estado lógico bajo o 0, cuando el seccionador se encuentre abierto nos desplegara un estado lógico alto o 1.
- **Number of Polls:** Es el número de encuestas o paquetes enviados hacia el microcontrolador, la funcionalidad de este es enviar datos con el fin que exista una respuesta



para convalidar la transmisión de información por medio de este protocolo. Se muestra el número de encuestas realizadas al Arduino.

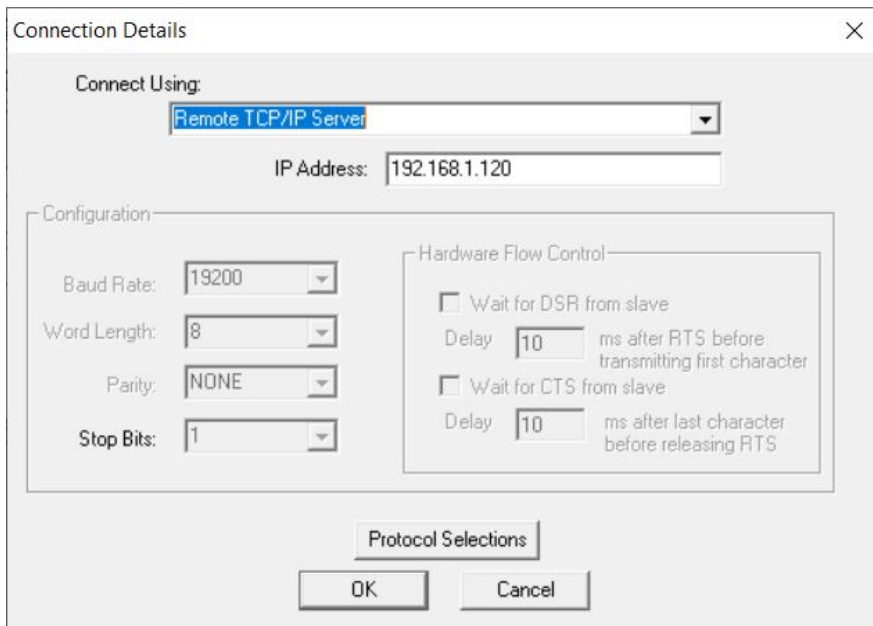
- **Valid Slave Responses:** Como se menciono anteriormente se realizan encuestas o se envía datos hacia el microcontrolador, esta casilla marca las respuestas del microcontrolador, hace alusión a un sistema de emisión y recepción de paquetes que determina que la transmisión de datos se este efectuando correctamente.

Una vez definidos los valores que se colocaran en las casillas para corroborar la comunicación MODBUS se procede hacia la conexión mediante este protocolo con el microcontrolador. Como se puede observar en la figura 50 se ingresa pestaña de los de talles de la conexión, este es el modo de conexión por el cual se va a efectuar la comunicación MODBUS, en este caso se encuentra en una comunicación serial directa hacia el COM1.



**Figura 49:** Pestaña conexión en el programa Modscan32 (Fuente: Autor)

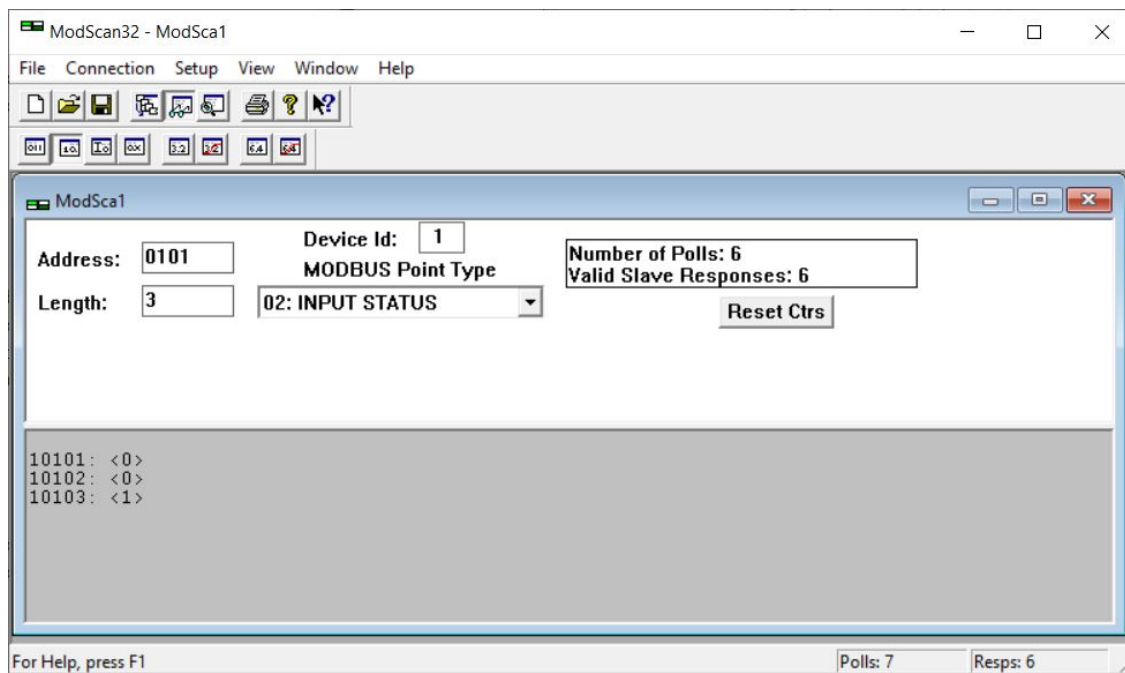
En este caso se determina una conexión usando un servidor remoto TCP/IP como se estaba planteando anteriormente, entonces se designa la dirección IP que se especifico en la programación del Arduino y se realiza la comunicación.



**Figura 50:** Conexión mediante un servidor remoto TCP/IP del microcontrolador hacia el programa ModScan32 (Fuente: Autor)

Efectuados todos los cambios respectivos en este programa como es posible observar en la figura 51 tenemos una conexión del microcontrolador hacia el ordenador por medio del protocolo MODBUS TCP/IP la cual en la función de las entradas digitales discretas esta realizando la lectura de datos que empiezan desde la dirección 101 y con una longitud de 3 valores medidos la conexión se estableció correctamente para los 3 sensores.





**Figura 51:** Conexión mediante un servidor remoto TCP/IP del microcontrolador hacia el programa ModScan32 (Fuente: Autor)

#### 6.2.4. Diseño mecánico del acople del sensor de proximidad

Para empezar con el diseño mecánico de un acople para sujetar el sensor de proximidad colocado en la parte cerámica del seccionador de manera que detecte si la cuchilla esta en posición que conduce la energía eléctrica o no, es necesario obtener las medidas pertinentes de dicha parte cerámica del seccionador con el fin de realizar una estructura firme que proteja del agua y además que no interfiera con las capacidades aislantes del seccionador.

La primera idea que se planteo es buscar dentro de la hoja de datos de los seccionadores ABB de media tensión, sin embargo a pesar de realizar una búsqueda exhaustiva dentro de las paginas web y las bibliotecas de ABB resulta que solamente se encontró las medidas del seccionador en general como se pudo observar en el capítulo anterior, es decir que no hay unas medidas certeras en cuanto a la parte cerámica debido a que en base a sus características, estos seccionadores difieren en su tamaño en comparación con otros.

La segunda idea planteada fue con la ayuda de equipos de medición como los micrómetros, los calibradores entre otros para tratar de determinar las medidas de este seccionador en cuanto a su parte cerámica, pero en el mismo se encuentran unos radios y unos diámetros internos que son complicadas de medir por los equipos de instrumentación por lo que se planteo realizar un escaneo 3D con el fin de determinar estos radios internos y las medidas

con la mejor exactitud posible.

**6.2.4.1. Escaneo de la parte cerámica del seccionador en 3D:** La Universidad Politécnica Salesiana posee varios equipos con los cuales se puede realizar escaneos en tres dimensiones dentro de sus laboratorios, es por esto que se utilizaron distintos equipos para determinar las dimensiones precisas del seccionador. Se usaron 2 equipos con los que se realizó el escaneo.

- **Escáner Artec Eva:** Este escáner 3D de luz estructurada es la elección ideal para hacer un modelo 3D rápido, preciso y con textura de un objeto de tamaño mediano, tal y como los son un busto humano, una rueda de alineación o el sistema de escape de una motocicleta. Escanea de forma rápida, capturando medidas precisas en alta resolución.



**Figura 52:** Escáner Artec Eva (Fuente: (Artec3D, 2021))

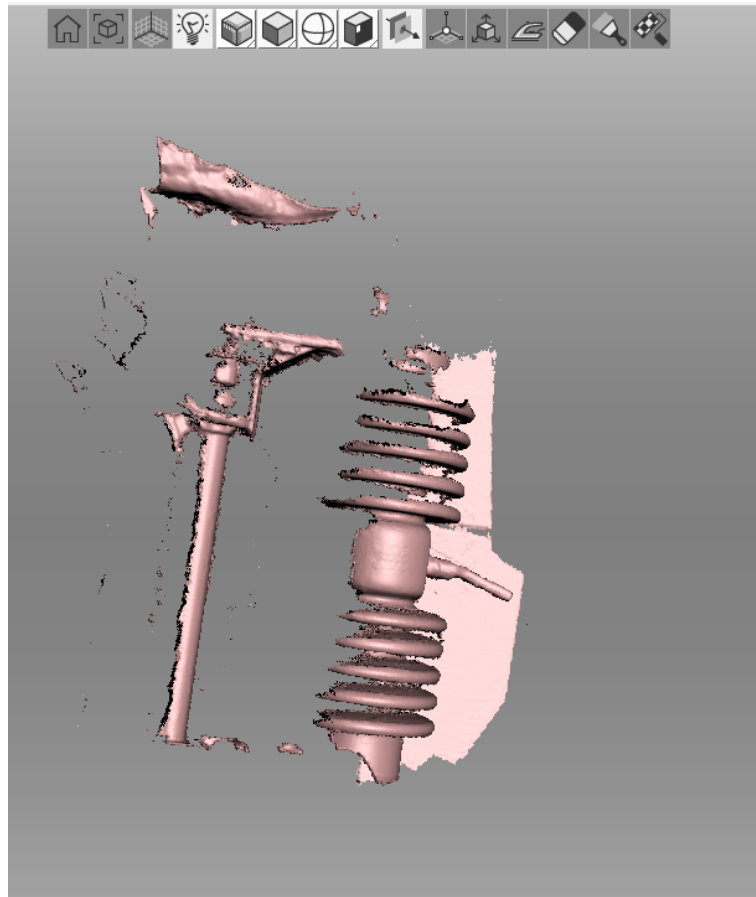
Liviano, rápido y versátil, es el más popular de los escáneres de Artec y líder en el mercado de los escáneres 3D que se sostienen con la mano. Basado en una tecnología de luz estructurada de uso seguro, Eva es una excelente solución global para capturar

objetos de prácticamente cualquier tipo, incluyendo objetos con superficies negras y brillantes. (Artec3D, 2021)

**Tabla 5:** Especificaciones del escáner Artec Eva

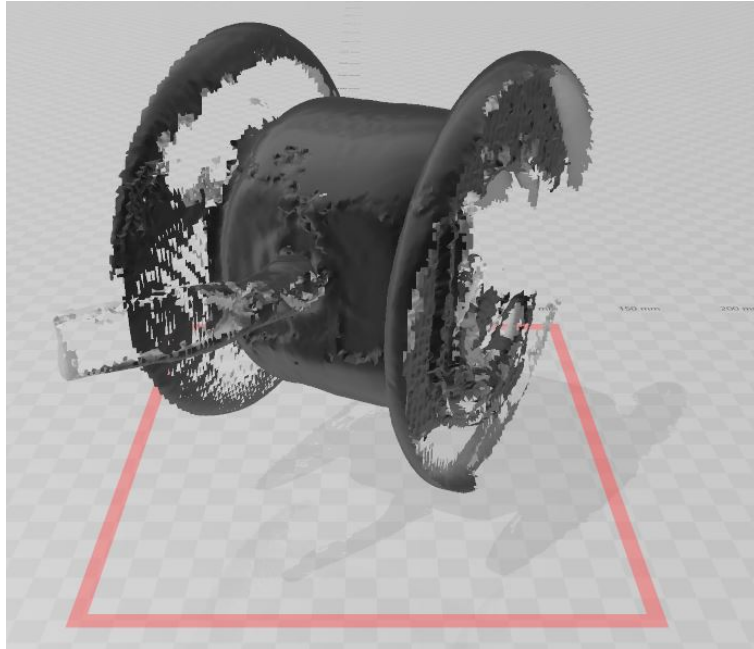
<i>Especificaciones del Artec Eva</i>	
<b>Precisión en 3D</b>	0.1 mm
<b>Resolución en 3D</b>	0.2 mm
<b>Tamaño del objetivo</b>	Desde 10 cm
<b>Escaneo full color</b>	Sí
<b>Escaneo libre de objetivos</b>	Hybrid geometry and color based
<b>Nivel de reconstrucción 3D</b>	16 FPS
<b>Formatos de salida</b>	Todos los formatos reconocidos, incluyendo STL, OBJ, PLY, BTX
<b>Peso del escáner</b>	0.9 kg

- **Digitalización con el Escáner Artec Eva:** En cuanto a la digitalización con este escáner como se puede observar en la figura 53 se realizó el escaneo con este dispositivo. Sin embargo, los resultados no fueron los esperados, la superficie brillante de la parte cerámica del seccionador no permite un escaneo en buenas condiciones, por lo que en el momento de la digitalización no se concreta un modelo sólido dejando varios espacios sin escanear de dicha parte cerámica. El uso de un spray para estos escaneos son necesarios al tener una superficie brillante ya que ayudan a quitar dichos destellos para obtener una superficie uniforme que se puede escanear sin algún percance.



**Figura 53:** Digitalización con el escáner Artec Eva (Fuente: Autor)

- **Resultados con el Escáner Artec Eva:** Los resultados del escaneo realizado su post-procesamiento como se puede observar en la figura 55 no fueron los óptimos debido a que la superficie brillante del elemento cerámica del seccionador no permitió un escaneo de toda la superficie dejando desperfectos y agujeros en el objeto final. Así de esta manera no se puede corroborar que las medidas establecidas en dicho objeto son las reales.



**Figura 54:** Resultados con el escáner Artec Eva (Fuente: Autor)

- **Escáner EinScan Pro 2X Plus:** Este escáner es proveniente de la empresa Shining 3D, es un escáner en tres dimensiones que gracias a su tamaño reducido y su escaso peso hacen que sea un dispositivo portátil. Las características principales de este escáner es su gran precisión, sus acabados con detalles mas finos, ofrece escaneo rápido o en alta definición, su proceso de escaneado puede ser fijo o manual y además con su software mejorado y renovado con una nueva interfaz de usuario permite una mayor velocidad de escaneo además de ofrecer mayor detalle.



**Figura 55:** Escaner EinScan Pro 2X Plus (Fuente: Autor)

**Tabla 6:** Especificaciones del escaner EinScan Pro 2X Plus

Modo de escaneo	Escaneo HD portátil	Escaneo rápido portátil	Escaneo fijo con plataforma giratoria (con complemento: paquete industrial)	Escaneo fijo sin plataforma giratoria (con complemento: paquete industrial)
Exactitud de escaneo	hasta 0,05 mm	hasta 0,1 mm	0,04 mm (precisión de disparo único)	0,04 mm (precisión de disparo único)
Precisión volumétrica	0,3 mm / m (alineación de marcadores)	0,3 mm / m (alineación de marcadores)	/	/
Velocidad de escaneo	20 cuadros / s; 1,100,000 puntos / s; 100 líneas de captura de datos	30 cuadros / s; 1,500,000 puntos / s	Escaneo único 0.5s	Escaneo único 0.5s
Distancia del punto	0,2 mm-3 mm	0,25 mm-3 mm	0,24 milímetros	0,24 milímetros
Rango de escaneo único	208 * 136 mm — 312 * 204 mm			
Profundidad de campo	± 100 mm			
Distancia de trabajo	510 milímetros			
Fuente de luz	LED			
Modo de alineación	Alineación de marcadores	Resaltar alineación, Alineación de Textura Alineación de funciones Alineación híbrida	Objetivos codificados de la plataforma giratoria, función, marcadores, alineación manual	Marcadores, función, alineación manual
Escaneo de textura	No	Sí (con complemento: paquete de colores)	Sí (con complemento: paquete de colores)	Sí (con complemento: paquete de colores)
Operación al aire libre	Instale el refugio o la cubierta para evitar la luz solar directa.			
Objetos especiales para escanear	Para los objetos transparentes, altamente reflectantes o algunos oscuros, rocíe el polvo antes de escanear			
Salida de datos imprimibles	Capaz de exportar modelos 3D herméticos directamente a la impresión 3D			
Formatos de salida	OBJ; STL; ASC; CAPA; P3; 3MF.			
Peso corporal del escáner	1,13 kg (incluye el cable USB3.0)			
SO compatible	Win7; Win8; Win10; (64 bits)			
Configuración recomendada	Tarjeta gráfica: NVIDIA GTX1060 y superior; memoria de video:>4G, procesador: I7-8700, memoria: 32G; interfaz: USB 3.0 de alta velocidad			
Configuración requerida	Tarjeta gráfica: tarjeta Quadro P1000 y superior o NVIDIA GTX660 y superior; procesador: Intel (R) xeon E3-1230, Intel (R) I5-3470, Intel (R) I7-3770; interfaz: USB 3.0 de alta velocidad; memoria: 8G			
<p>1. La precisión volumétrica se refiere a la relación entre la precisión de los datos 3D y el tamaño del objeto; la precisión se reduce en 0,3 mm por 100 cm.</p> <p>2. Esta alineación necesita de la ayuda de Color Pack y requiere una rica información de textura de color en la superficie del objeto</p> <p>3. Seleccione esta alineación cuando escanee objetos con características geométricas ricas en la superficie</p> <p>4. La alineación híbrida significa que la alineación del marcador y la alineación de características se pueden cambiar automáticamente.</p>				

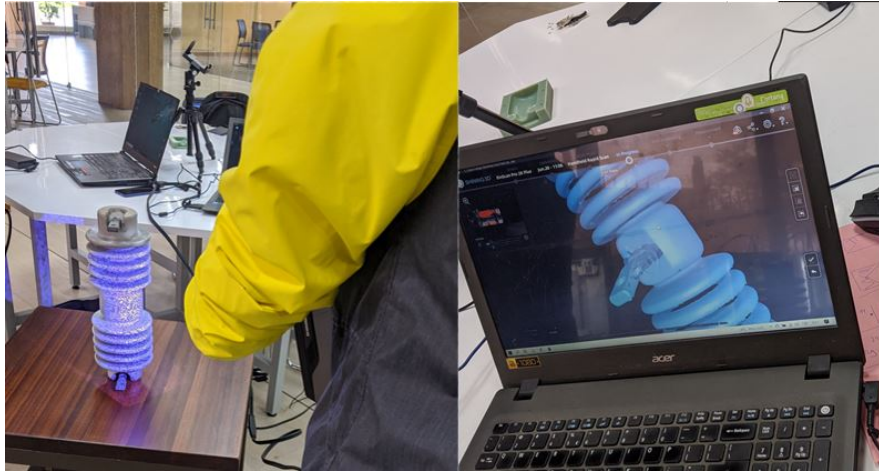
- **Digitalización con el escáner EinScan Pro 2X Plus:** Para la digitalización implementando este escáner se solvento la problemática que se dio con el escáner 3D anterior que es la de la superficie brillante, se hizo uso de un spray que proporciono un recubrimiento de una capa antirreflejante con ciertas cualidades que proveen una cobertura mas uniforme utilizando un material de pulverización debido a las cualidades reflejantes patentadas del aerosol, además debido a su estructura de grano fino es posible aplicar capas del spray con un espesor mínimo (aproximadamente  $2.8 \mu\text{m}$ ). Como se puede observar en la figura 56 tenemos la base cerámica del seccionador colocado una capa de este spray con la finalidad de realizar un mejor escaneo y determinar las medidas que se requieren para su posterior diseño.



**Figura 56:** Capa de aerosol antirreflejante en la parte cerámica del seccionador (Fuente: Autor)

Una vez secado la capa del aerosol aplicado en la parte cerámica del seccionador se prosigue a su digitalización como tal, debido al peso de la cerámica no fue posible colocar en el plato giratorio del escáner, por lo que se realizo un escaneo manual alrededor de la pieza como se puede observar en la figura 57 en la parte derecha. En la parte izquierda se obtuvo la digitalización final de la parte cerámica del seccionador pudiendo observar un gran nivel de detalle en el escaneo.





**Figura 57:** Proceso de digitalización con el escáner EinScan Pro 2X Plus (Fuente: Autor)

- **Resultados con el escáner EinScan Pro 2X Plus:** Como es posible observar en la figura 58 existe un escaneado uniforme de la parte cerámica del seccionador en el centro, la cual es en donde ira colocado nuestro acople protector del sensor de proximidad. Al ser aplicado una capa de spray antirreflejante se observa una mejora notoria en el escaneo ya que no tiene una superficie brillante y pueda ser captado mejor por el escáner. El gran detalle del escaneo permite obtener las medidas del seccionador como tal, dicha obtención se lo realiza con el software SolidWorks 2020 con una herramienta de medición que sera explicado posteriormente. Cabe mencionar que el resultado con este escáner proporciona una superficie similar a un mallado que corresponde a la pieza, si no se escanea con totalidad el objeto este puede quedar como una superficie hueca sin poder convertirla a un solido.





**Figura 58:** Resultados con el escáner EinScan Pro 2X Plus (Fuente: Autor)

**6.2.4.2. Obtención de las medidas del seccionador :** Para obtener las medidas precisas de la parte cerámica del seccionador se realizó un escaneo 3D como tal con la finalidad de obtener los diámetros internos que son difíciles de medir con las herramientas de instrumentación convencionales, en base a ello se partió con el diseño de un acople que proteja al sensor de proximidad de los climas que contempla mantener el sensor en la intemperie. Cabe recalcar que las medidas proporcionadas por el escaneo están dados en milímetros.

El programa que se utilizó para obtener las medidas es SolidWorks 2020, Este es un software de tipo CAD (diseño asistido por computadora) que se utiliza para el modelado y ensamblaje de piezas en 2D y 3D. Dicho software fue creado por la compañía SOLIDWORKS Corp. en el año de 1993 y posteriormente adquirida por Dassault Systems en el año de 1997. Este software ofrece una amplia gama de herramientas con las que se puede crear, simular, gestionar proyectos así como distintos procesos dando paso a una mejor productividad de los diversos recursos de la ingeniería conjuntamente con una constante innovación que

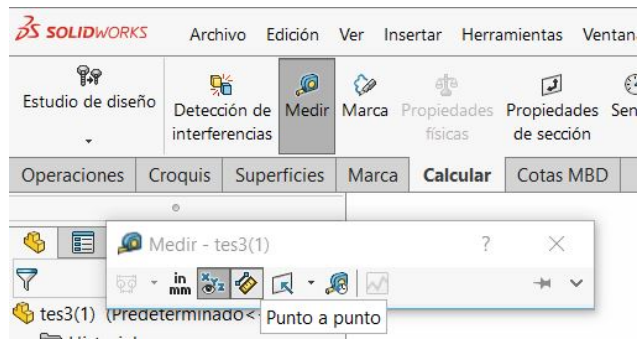
permite diseñar mejores productos de una forma mas rápida y rentable para las organizaciones.

El formato final del archivo que se obtiene en el escaneo 3D es de extensión STL, por lo que el programa de SolidWorks lo reconoce como un Mesh File (archivo de mallado). Una vez abierto dicho archivo se verifica la pieza como tal, al ser un archivo de malla solo reconoce la superficie de este por lo que convertirla en un solido no es posible en este programa. La parte de relevancia para realizar el acople es solamente la parte central del seccionador, por lo que se procede a eliminar los excedentes del escaneo como podemos observar en la figura 59 dejando solamente lo que se va a ocupar.



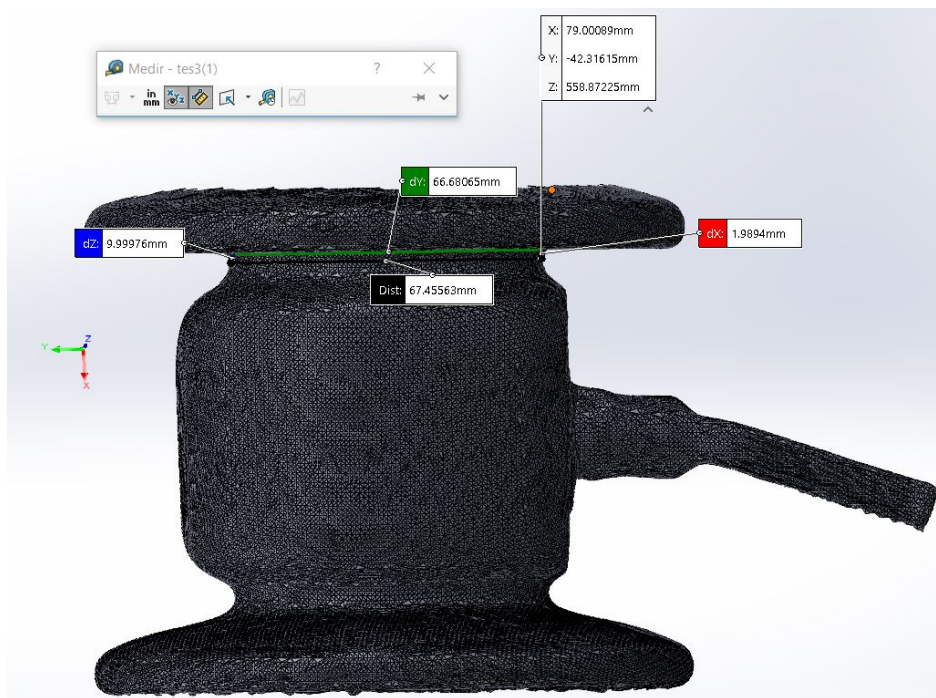
**Figura 59:** Parte central del seccionador en SolidWorks (Fuente: Autor)

Para la medición se ingresa a la barra de administrador de comandos en donde se selecciona a la pestaña calcular. En dicha pestaña se encuentra el comando medir como podemos ver en la figura 60, este es capaz de calcular la distancia de los elementos seleccionados además que puede medir distancias de un punto hacia otro o medir el largo de las aristas de una cierta figura, puede ser en milímetros o pulgadas, mostrar las medidas dentro del eje XYZ, proyectar sobre algún plano, eje o sobre la pantalla y también ver el historial de mediciones realizadas. Se selecciona la medición correspondiente de punto a punto.



**Figura 60:** Medición punto a punto dentro del comando medir en la pestaña calcular (Fuente: Autor)

Una vez seleccionado la medición de punto a punto se procede a colocar los puntos de medición que se quiere obtener las medidas, en este caso fue los diámetros internos de la parte central del seccionador con el fin de determinar las medidas que no se pudieron obtener con las herramientas de instrumentación convencionales. Como es posible observar en la figura 61 se colocan los puntos y se obtienen las medidas además de mostrar sus medidas con respecto a los ejes XYZ.



**Figura 61:** Medición punto a punto dentro del comando medir en la pestaña calcular (Fuente: Autor)

**6.2.4.3. Modelado del acople protector :** Debido a que no es posible realizar un sólido del objeto escaneado por su superficie hueca en los extremos el programa no nos permite convertirlo en un sólido con ningún comando, en vista de eso se procede a tomar las medidas exactas y posterior realizar un sólido en el cual se pueda manipular así como obtener un molde con el que se pueda partir como base para el acople protector del sensor de proximidad.

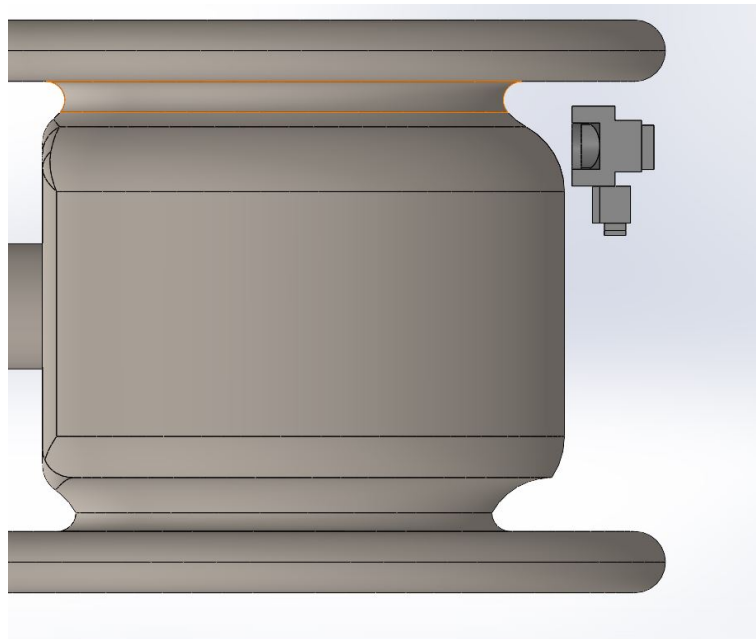
El sensor de proximidad que se está implementando en este proyecto se modela en SolidWorks con las medidas exactas provenientes de su hoja de datos con la finalidad de obtener una referencia clara al momento de realizar el acople protector. Además con el sólido realizado en base a las medidas obtenidas del escaneo 3D se procede a colocarlo como se vería de acuerdo a unas ciertas condiciones de diseño que se deben tomar en consideración y las enumeramos a continuación:

- El diseño debe ser sencillo de colocar en la parte cerámica del seccionador, se busca optimizar el diseño de este acople con la finalidad que sea fácil de colocar en las alturas de los postes de media tensión evitando contratiempos con los operarios. Para llevar a cabo esto se planea un diseño en anillo con dos partes que protejan al sensor en su totalidad y lo impermeabilice. Para que su colocación sea más fácil el sensor de proximidad irá ubicado dentro de una de las partes que componen el anillo, así para que la otra parte restante del anillo la fije en su posición y pueda cumplir su función.
- Para que el sensor de proximidad detecte si es que la cuchilla del seccionador se encuentra en posición en favor de la conducción de la energía su elemento receptor de señal debe estar apuntando directamente hacia la cuchilla. Por ello con el diseño en anillo se coloca el sensor con su elemento receptor de señal perpendicular hacia la cuchilla.
- El cableado del sensor de proximidad hacia el microcontrolador se plantea que sea un cable coaxial con la finalidad de que en el caso que ocurra una gran descarga de energía esta sea llevada hacia la tierra del poste de media tensión de esta manera protegiendo al microcontrolador y sus componentes.
- La parte del diseño en anillo que contenga el sensor de proximidad contará con un agujero en el interior el cual será lo suficientemente ancho para que pase el cable coaxial RG-316/U con 2.5 mm de diámetro hacia el poste.
- El diseño debe ser impermeable contra el agua para el sensor de proximidad, por ello es que se realizaron unas ranuras en las cuales irá colocado un elastómero que impedirá

que el agua ingrese hacia la parte interna del acople protector.

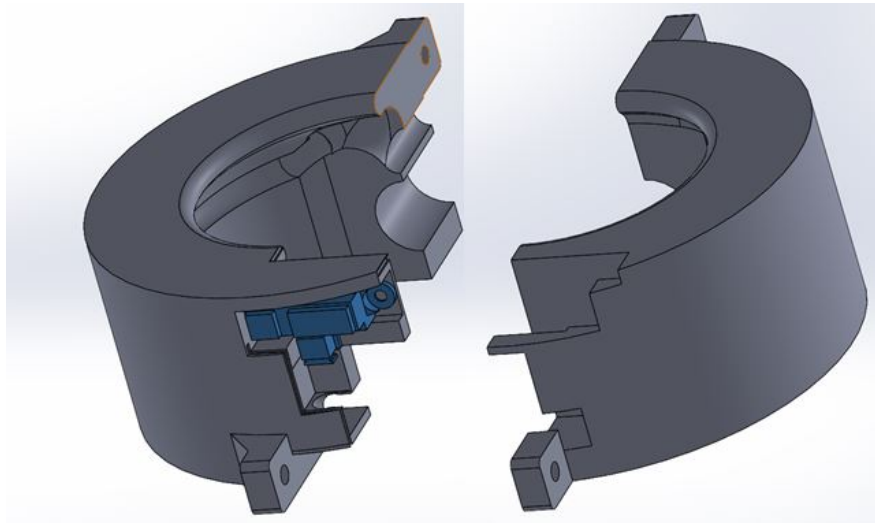
- Para fijar el acople protector del sensor se plantea colocar un perno allen de 5mm en los 2 espacios que se colocaron en el diseño. Se opto por un tornillo allen debido a su método de fijación.

Una vez que se dejaron claras las condiciones de diseño se prosigue con el mismo, como se puede observar en la figura 62 tenemos el elemento central del seccionador así como el sensor de proximidad que debe ir perpendicular hacia la cuchilla del seccionador para que ejecute su función de detección.



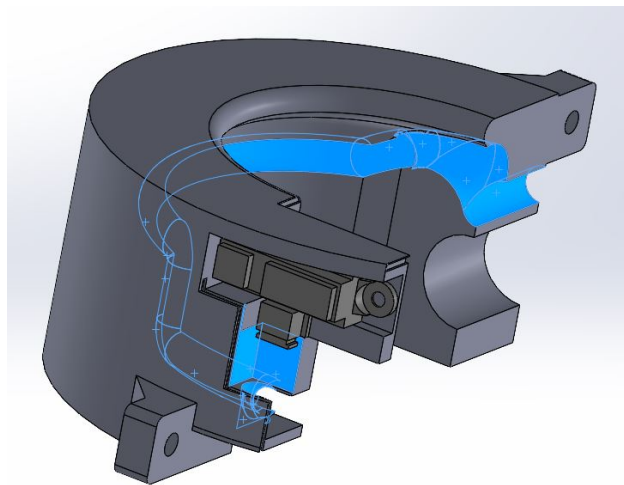
**Figura 62:** Ubicación del sensor de proximidad con respecto al seccionador (Fuente: Autor)

Consiguiente a ello se desarrolla el diseño del acople en forma de anillo. En la parte izquierda de la figura 63 es posible observar en la primera parte del diseño que en efecto contiene al sensor de proximidad. En la parte derecha se encuentra la otra parte del diseño con la cual se busca fijar dicho sensor en el seccionador.



**Figura 63:** Diseño en anillo del acople protector del sensor de proximidad (Fuente: Autor)

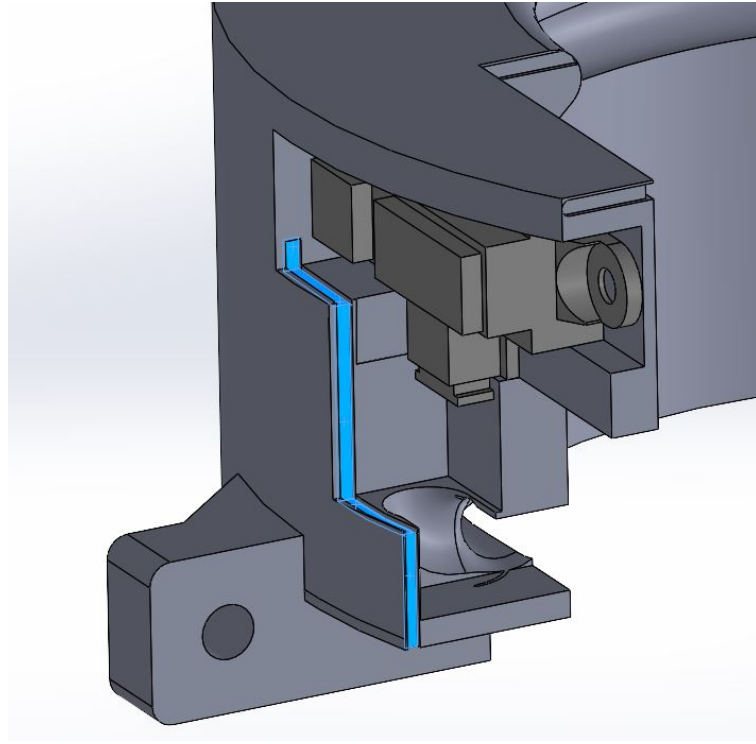
Una vez generado el diseño principal de las 2 partes en una estructura de anillo se sigue con el cableado y la manera de como este pasa en el interior de una de las partes, se debe tomar en consideración que el agujero por donde debe pasar 3 cables coaxiales RG-316/U que tienen 2.5 mm de diámetro debe ser de mayor tamaño por lo que se realizó de 7.9mm, como se puede observar en la figura 64 el cableado pasa por el área resaltada.



**Figura 64:** Área de paso del cable coaxial RG-316/U proveniente del sensor de proximidad (Fuente: Autor)

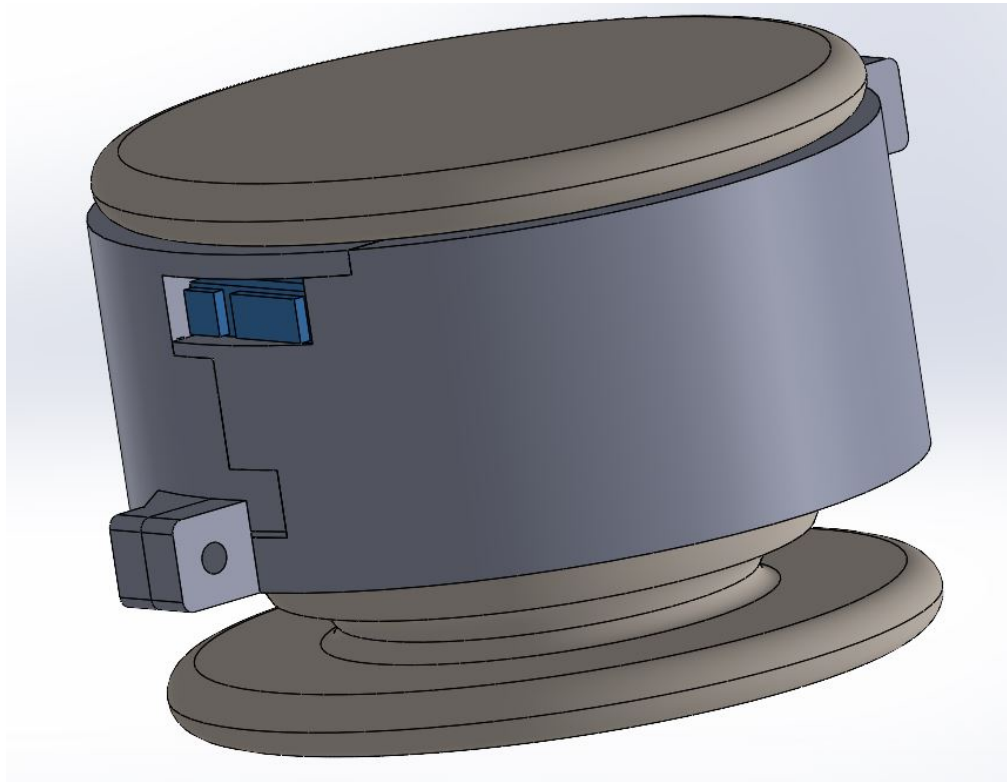


Para impermeabilizar el interior del acople protector se planteo el uso de un elastómero con la finalidad de impedir el paso del agua hacia el sensor de proximidad y evitar contratiempos con el mismo, se realizo una pequeña ranura en el cual se colocara el elastómero como se puede observar en la figura 65



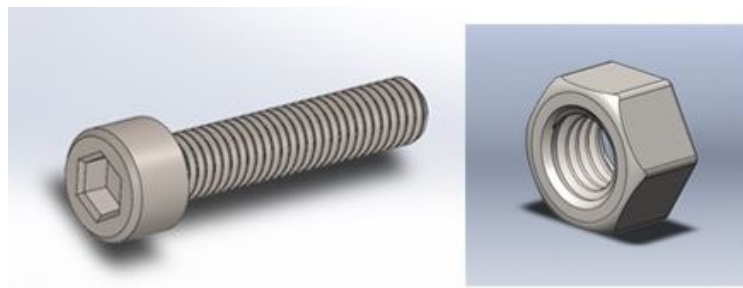
**Figura 65:** Ranura del elastómero para la impermeabilización del interior del acople protector (Fuente: Autor)

Tomando todas las consideraciones anteriores se tiene el acople protector del anillo de proximidad ubicado en la parte cerámica del seccionador con 2 espacios para colocar los tornillos allen de 5mm, como se puede observar en la figura 66 se tiene una referencia de como iría colocado el sensor de proximidad y el acople protector dentro del seccionador como tal.



**Figura 66:** Acople protector del sensor de proximidad colocado dentro del seccionador (Fuente: Autor)

Para la sujeción de este acople protector se ideó de igual manera un proceso de prototipado rápido con el fin de conservar las características dieléctricas de los materiales que será explicado después. El agujero pasante en las 2 partes del acople protector corresponden a un diámetro de 5mm, por lo que se realizó un perno allen M5 con su respectiva tuerca que cumplan la función de fijar estas piezas en su lugar. En la figura 67 se puede observar el diseño del perno así como de su tuerca para que fijen el acople.



**Figura 67:** Perno allen M5 con su respectiva tuerca para el acople (Fuente: Autor)



### 6.3. Construcción del prototipo de señalización de un seccionador eléctrico

La construcción así como la implementación de un proyecto consiste en hacer y ejecutar las actividades descritas a lo largo de su planificación como tal, en esta etapa se ponen a disposición los conceptos y diseños realizados con el fin de obtener el prototipo final lo que compone la meta del proyecto. En este caso la implementación se basa en la construcción del prototipo y a futuro observar su viabilidad para determinar su grado de utilidad y funcionalidad.

#### 6.3.1. Construcción del acople protector

Para su construcción, el diseño final de este acople protector del sensor de proximidad debe tomar unos ciertos parámetros para que este sea funcional, dentro de sus consideraciones de diseño se plantea que dicho acople debe estar a la intemperie, la selección del material de construcción debe estar de acorde a las necesidades del proyecto así como su método de construcción, debe ser fácil de colocar y sus pernos deben ser de un material resistente.

Por ello en los laboratorios de la universidad se presentó la propuesta de construir ahí este acople vía impresión 3D ya sea por el método de modelado por deposición fundida o sino por estereolitografía, estas presentan propiedades y materiales de impresión diferentes las cuales vamos a analizar a continuación:

- **Modelado por deposición fundida (FDM):** Es un proceso de fabricación utilizado para el modelado de prototipos y la producción a pequeña escala. El modelado por deposición fundida utiliza una función aditiva, depositando el material en capas hasta conformar la pieza.

La impresión 3D comienza cuando la máquina alcanza una temperatura alrededor de los 200°C, necesaria para la fusión del material. Entre los materiales de impresión 3D más populares en la deposición por fusión se encuentran el PLA (ácido poliláctico) y el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).

- **Materiales para FDM:** La impresión 3D de deposición fundida es compatible con una amplia variedad de polímeros termoplásticos: PLA y ABS, y también de policarbonato como, PET, PS, ASA, PVA, nylon, ULTEM y muchos filamentos compuestos que estén basados en metal, piedra, madera. Esto ofrece interesantes propiedades mecánicas tales como conductividad, biocompatibilidad, resistencia a temperaturas o condiciones

extremas, por mencionar algunos. Al reemplazar el extrusor de la impresora 3D con un sistema de jeringa, también es posible crear piezas de cerámica, arcilla o materiales alimenticios (como jarabe o chocolate).

#### ■ **FDM – Pros**

- El las tecnología de escritorio más difundida de la industria
- Su mecanismo y utilización es mucho más sencillo
- Los precios de las impresoras 3D son más asequibles

#### ■ **FDM – Contras**

- Requieren una minuciosa calibración para tener modelos con calidad
- Los detalles de impresión suelen ser menos que en el resto de las tecnologías

■ **Estereolitografía (SLA):** Este proceso, conocido como SLA (estereolitografía), utiliza el principio de fotopolimerización para crear modelos 3D a partir de resinas sensible a los rayos UV. Esto se solidifica mediante el paso de un láser capa por capa, dotando con esto de mayor calidad a los modelos hechos con esta tecnologías. Entre los diversos componentes de una máquina de estereolitografía se encuentran una bandeja de resina, una plataforma móvil (eje Z), un sistema de raspado (eje X), un láser UV, óptica de enfoque y un espejo galvanométrico (ejes X e Y). El rayo láser barre la superficie de la resina líquida de acuerdo con el modelo 3D digital suministrado a la impresora. Una vez que la primera capa de material solidificado, la plataforma desciende un nivel, que corresponde al grosor de una capa de impresión, y una nueva sección se solidifica. Hay tantos ciclos de impresión como capas hay para obtener el volumen completo de la pieza.

■ **Materiales para SLA:** Los materiales disponibles para este tipo de prototipado rapido es de: resina tipo ABS, resina estandar/transparente, resina tipo polipropileno, resina FLEX, ACCURA 25-55-60, PEAK, XTREME, BLUESTONE, visijet clear, Epoxi PP entre otros.

#### ■ **SLA – Pros**

- Debido a la calidad de sus modelos esta tecnología puede ser utilizada en múltiples sectores
- Los diferentes tipos de resinas permiten crear modelos con propiedades diferentes, como por ejemplo las resinas castables

- Los modelos creados con esta técnica ofrece mayor precisión y fuerza, con la resina correcta puede aguantar a la intemperie

■ **SLA – Contras**

- Los precios de las impresoras 3D de esta tecnología está fuera de muchos presupuesto
- Se necesitan tener ciertos conocimientos técnicos para la correcta manipulación de las máquinas

**6.3.1.1. Presupuesto para la impresión del acople:** Una vez que ya se determino los pros y contras de cada impresión se procede a analizar la proforma de precios por parte de la Universidad para ver cual es la opción mas oportuna, en base a la tabla 7 se podra observar los precios correspondientes para cada tipo de impresión así como el costo por horas de las máquinas impresoras en el tema de los acoples y los pernos.

**Tabla 7:** Proforma de StartUPS Labs de las impresiones 3D (Fuente: Autor)

[HTML]68CBD0Impresión en FDM														
Impresora	Cantidad	Descripción de Archivos	Horas	Minutos	Material 1	Material 2	M1 (gr)	M2 (gr)	Costo Impresora/h	Costo M1/gr	Costo M2/gr	Subtotal	[HTML]34FF34Datos	[HTML]34FF34Calidad
UM 3	1	Protector base parte 1	19	12	PLA		73		\$1.25	\$0.05	\$-	\$27.65	10	0.1
	1	Protector base parte 2	17	24	PLA		67		\$1.25	\$0.05	\$-	\$25.10	10	0.1
[HTML]FCFF2FTotal												[HTML]FCFF2F\$52.75		
[HTML]68CBD0Impresión en SLA														
Impresora	Cantidad	Descripción de Archivos	Horas	Minutos	Material 1	Material 2	M1 (gr)	M2 (gr)	Costo Impresora/h	Costo M1/gr	Costo M2/gr	Subtotal		
Stratasy	1	Protector base parte 1	13	36	Vero White	Sup705	446	157	\$5.00	\$0.41	\$0.18	\$279.12		
	1	Protector base parte 2	13	26	Vero White	Sup706	409	151	\$5.00	\$0.41	\$0.18	\$262.04		
[HTML]F8FF00Total												[HTML]F8FF00\$541.16		

El proceso de prototipado rápido via SLA para un proyecto que necesita que el objeto se encuentre a la intemperie es la opción mas óptima, siempre cuando se utilice una correcta resina que corrobore dichas características en cuanto a su resistividad térmica, eléctrica y demás aspectos al aire libre. Sin embargo la resina que estaba disponible para este tipo de impresión en los laboratorios de la universidad no cumplía con los requerimientos térmicos sin mencionar que una impresión con este tipo de prototipado rápido resulta casi 10 veces costoso mas que la impresión vía FDM por lo que no resulta viable este método. Si bien, la precisión al utilizar FDM es de buena calidad pero su resistencia térmica no es la óptima para que este mucho tiempo a la exposición del sol se deduce que puede derretir el objeto.

Sin embargo para corroborar que el diseño este realizado de una manera correcta y que cumpla con las condiciones preestablecidas de diseño se opta por este método de impresión. En el caso que se plantee realizar estos acoples protectores para una producción en masa las impresiones 3D no son viables debido a su costo de impresión y de que los materiales son elevados, se especificara mas adelante un proceso de producción adecuado en el caso que se requiera producir en masa estos acoples.

Los pernos se realizaran en un proceso de inyección del material (Material Jetting) con resina foto-curable con el fin de obtener unos elementos relativamente resistentes y con cierta dureza que fijaran a la estructura de anillo en la parte cerámica del seccionador.

**6.3.1.2. Elaboración del acople protector:** Para la construcción del acople protector del sensor de proximidad se convierte diseño antes realizado en el software de SolidWorks hacia una extensión de archivo que sea capaz de ser leído por el software de la impresora 3D. En este caso la impresora 3D que se va a ocupar para la elaboración de los acoples es la Tmaker Voladora NX+, cuenta con varias características tales como lo es sus boquillas intercambiables. su cierre de seguridad, su doble extrusor, su sensor de filamento, sistema de detección de apertura de puerta y su base de impresión de tamaño A4+ con calentamiento ultra-rápido lo que lo hacen una impresora mas robusta y funcional al momento de imprimir cualquier material desarrollado para las impresoras 3D.

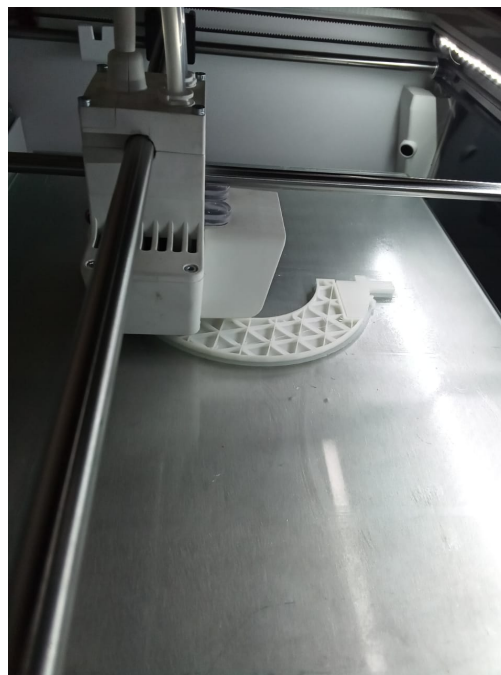
Para la elaboración del acople es necesario conocer las características del material como tal para determinar si es apto. En este caso fue seleccionado el Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) con las siguientes características especificadas en el anexo 3.

Los parámetros de impresión son los siguientes:

- Material: Abs
- Temperatura de material: 245
- Temperatura de cama: 80
- Infill: 20
- Capa superior: 10
- Capa inferior: 3
- Paredes: 3 capas
- Velocidad: 60mm/s
- Soporte: Ángulo 50 grados Tipo grilla
- Brim: 5mm
- Calidad: 0.15mm

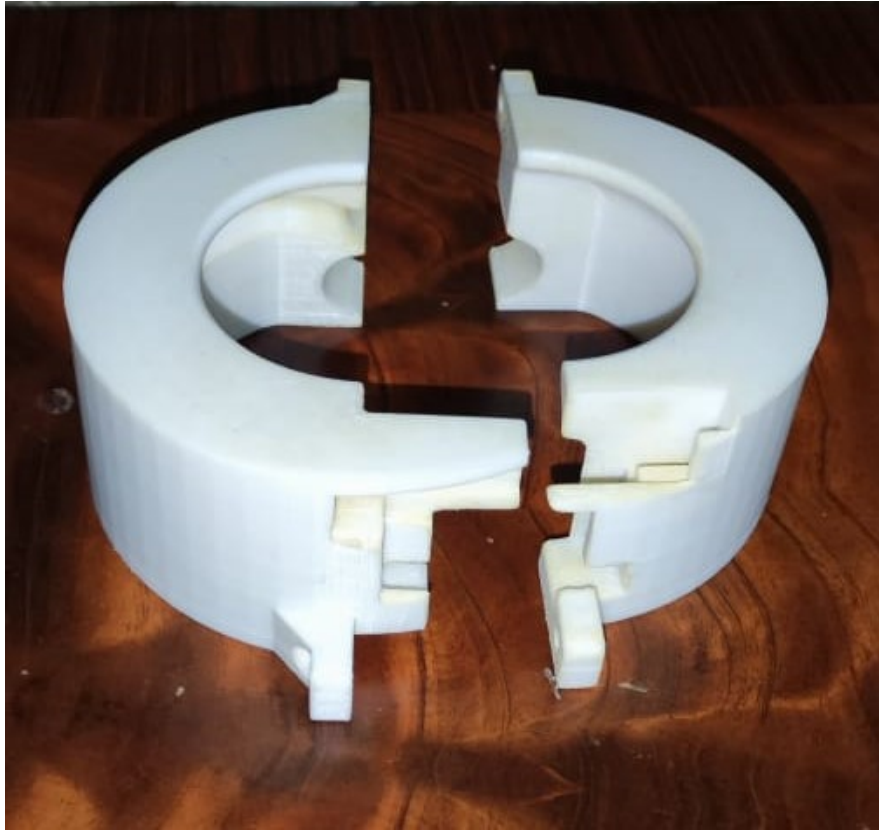
- Tiempo de impresión archivo 1: 14h 25min.
- Cantidad de material archivo 1: 45g
- Tiempo de impresión archivo 2: 14h 40min.
- Cantidad de material archivo 2: 46g

El software que se utilizo para la impresión es el Simplify3D el cual reconoce las piezas como tal en una extensión STL, lo transforma en un código G capaz de ser ejecutado por la impresora, genera las estructuras de soporte para una fácil extracción del material y contiene ciertas herramientas que aseguran una calidad óptima en las impresiones. Como se puede observar en la figura 68 se esta realizando la impresión 3D de la parte 1 del acople protector del sensor de proximidad en la impresora Voladora NX+ utilizando ABS de color blanco.



**Figura 68:** Impresión 3D vía FDM en la impresora Voladora NX+ (Fuente: Autor)

Una vez que tenemos las dos partes de la estructura en anillo del acople protector ya impresas se procede a eliminar el exceso de material de soporte de las piezas, además de ello se eliminan las imperfecciones con una lija para que los soportes puedan encajar correctamente, en la figura 69 es posible observar las piezas ya retiradas el material de soporte y sus imperfecciones.



**Figura 69:** Acoples del sensor de proximidad impresos (Fuente: Autor)

Para la elaboración de los pernos que fijaran a la estructura en anillo antes mencionada esta se va a realizar en la Impresora Stratasys Objet30. El material que se va a utilizar en el proceso de prototipado rápido de Material Jetting es resina blanca (Verowhite), sus propiedades se encuentran especificados en los anexos ANEXOS RESINA BLANCA.

El proceso de impresión por inyección de material (Material Jetting) consiste en la deposición del material en forma de gotas, esto se lo va realizando capa por capa hasta que se logra elaborar la pieza en cuestión. Además de ello el proceso en distintos casos se da en la inyección a chorros de la resina foto-curable y curado con los rayos ultravioletas o se pueden solidificar a temperatura ambiente. Después que se realizó esta impresión se tiene un recubrimiento de un gel alrededor del material que puede ser retirado con agua, como se puede observar en la figura 70 están los pernos allen con sus tuercas respectivas.



**Figura 70:** Pernos allen y sus respectivas tuercas impresos en resina Verowhite (Fuente: Autor)

Para corroborar que el diseño se encuentra realizado correctamente se procede a unir todas las piezas con el fin de observar si se cumplieron las condiciones de diseño, se ingresa el sensor de proximidad dentro de la parte 1 del acople protector, consiguiente a ello colocamos estas piezas en la parte cerámica del seccionador, después la parte 2 del acople protector lo colocamos de igual manera en la cerámica del seccionador y finalmente con los pernos impresos los fijamos para que se queden firmes. En la figura 71 se puede observar el acople protector con el sensor de proximidad colocado dentro de la parte cerámica del seccionador y fijado con los pernos impresos.



**Figura 71:** Acople protector colocado (Fuente: Autor)

**6.3.1.3. Rigidez dieléctrica de los materiales:** Al manejar un voltaje considerablemente alto se debe tomar en cuenta la rigidez dieléctrica de los materiales con los cuales se está construyendo principalmente el acople del sensor de proximidad. La rigidez dieléctrica es la máxima tensión que puede soportar un aislante antes de convertirse en un conductor o antes de que se llegue a perforar, también es conocido como un valor límite de la intensidad del campo eléctrico en donde un material pierde sus propiedades aislantes y pasa a ser un conductor.

La normativa que se está utilizando para la denominación de la rigidez dieléctrica de los materiales que se están ocupando es la ASTM D149. A esta normativa se le conoce como un método de prueba estándar para voltaje de ruptura dieléctrica y rigidez dieléctrica de materiales aislantes eléctricos sólidos a frecuencias comerciales de energía. Las pruebas que se realizan con este documento como base sirven para proporcionar la información requerida con la finalidad de verificar la idoneidad de cierto material en una aplicación específica, con

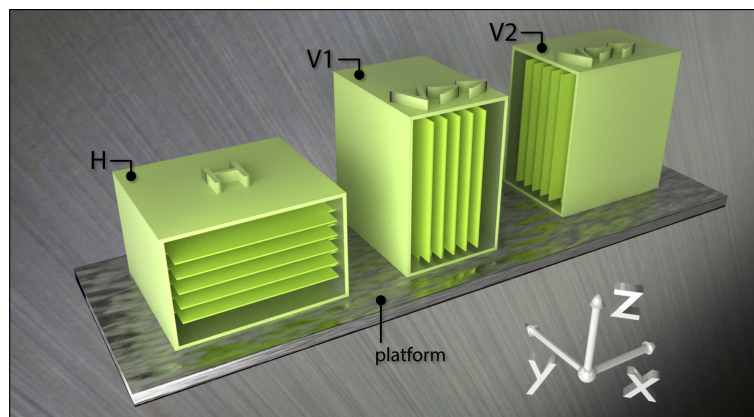


lo que sirve para corroborar ciertas características en cuanto a su fabricación, situaciones ambientales, variables de procesamiento así como las desviaciones o cambios que ocurran en sus propiedades.

En un artículo científico publicado en la revista de manufactura aditiva, referente a: La heterogeneidad de rigidez dieléctrica asociada con la orientación de impresión en materiales poliméricos fabricados de forma aditiva en el año 2018, se realizó un estudio acerca de la relación entre la rigidez dieléctrica de ciertos polímeros y su método de impresión con la orientación en su proceso de fabricación.

En esta investigación se analizan varios procesos de manufactura aditiva entre los que tenemos: Inyección de polímero (Polyjet), estereolitografía (SLA), Modelado por deposición fundida (FDM) y sintetizado selectivo por laser (SLS) en donde cada proceso se examinara su anisotropía (propiedades del material sujetas a cambios en relación al análisis su dirección) en base a su respectivo material.

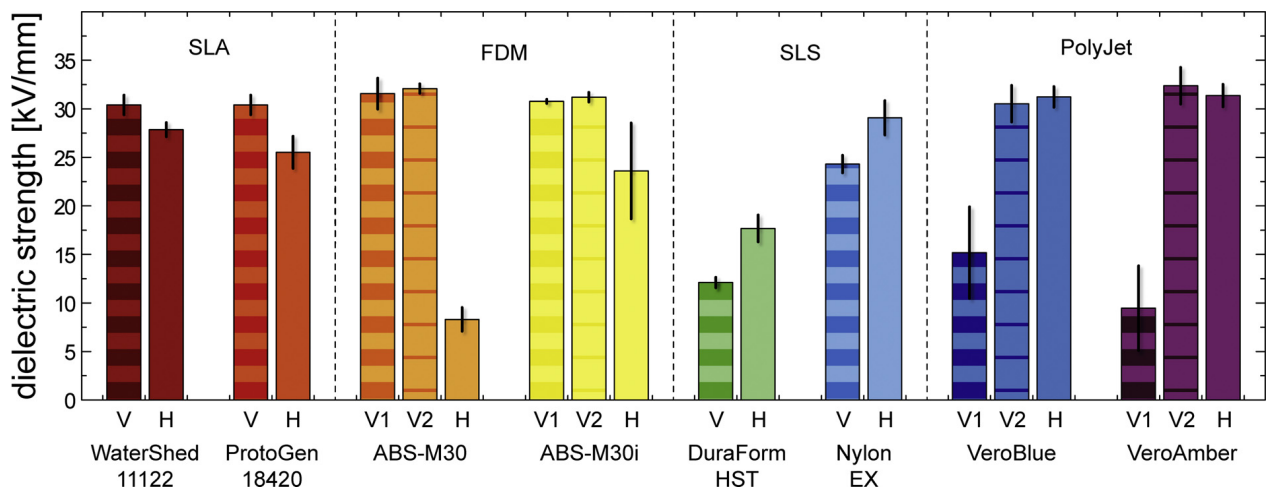
Para las pruebas respectivas en donde se examinara su anisotropía, el proceso de fabricación para las pruebas esta dado de diferentes formas dependiendo de la dirección disponible por el método de impresión de los que realizaran estos análisis. Como se puede observar en la figura 72 estan designadas las direcciones en las cuales se realizaron las impresiones, en donde se denomina la letra H son para muestras impresas horizontalmente a lo largo del eje X, en donde se denomina con la letra V son para impresiones verticalmente alineadas en este caso solamente para los métodos SLA y SLS debido a su forma de impresión. Por otro lado para los demás métodos de impresión para que sus muestras estén verticalmente alineadas se coloca cada superficie alineada perpendicularmente con su plataforma de construcción o paralela a la dirección de su cabezal de impresión, estos se denominan V1 y V2 respectivamente.



**Figura 72:** Representación esquemática de las muestras para examinar la rigidez dieléctrica en las impresiones (Fuente:(Hoff et al., 2018))

Para las pruebas dieléctricas el ambiente se acondiciona por 40 horas a una temperatura de 23 grados celsius con un 50% de humedad. Estos parámetros corresponden a la normativa ASTM D149-09 (2013) para pruebas de rigidez dieléctrica de acuerdo al párrafo 12.2.1 correspondiente al método 'A' para pruebas que son las pruebas de corto tiempo. usando electrodos de 2.54cm de acero inoxidable.

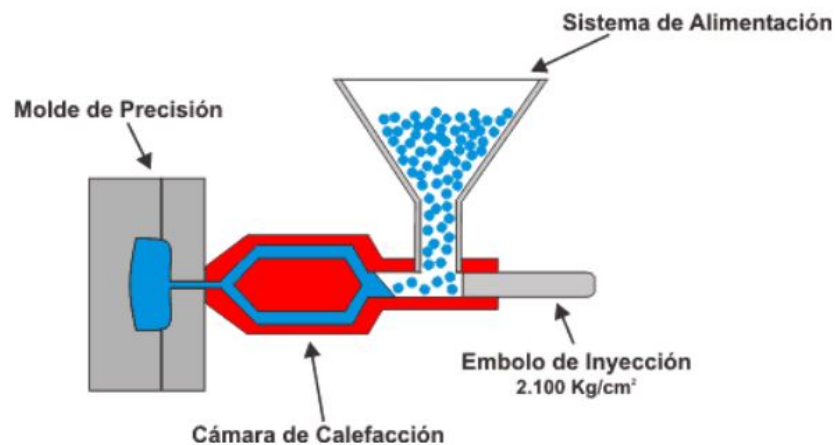
Los resultados como es posible observar en la figura 73 de las diversas pruebas que se realizaron tomando en cuenta la similitud de los materiales que se ocuparon en este proyecto en la impresión del acople con la del artículo científico es posible determinar que la rigidez dieléctrica depende de ciertos grados de la orientación de la impresión así también como el material que se uso y su forma de manufactura aditiva. En los análisis realizados con el método de impresión de FDM al utilizar el material de ABS se tiene un alrededor de 31 a 32 kV/mm cuando la orientación de la impresión es de forma vertical y el método de impresión de Polyjet con las resinas de la gama Vero se obtiene como resultado que cuando la impresión se realiza de forma horizontal y de forma vertical paralelo a la dirección del cabezal de impresión se tiene una rigidez dieléctrica entre 30 y 32 kV/mm.



**Figura 73:** Gráfica recopilatoria de la rigidez dieléctrica para muestras de PolyJet (VeroBlue y VeroAmber), SLA (WaterShed 11122 y ProtoGen 18420), FDM (ABS-M30 y ABS-M30i), y SLS (DuraForm HST y Nylon EX) (1mm de espesor). (Fuente:(Hoff et al., 2018))

Según estos estudios realizados las impresiones 3D usando FDM y Polyjet con los materiales ABS y resina Veroblue/Verowhite si se ejecutan con la orientación adecuada en su proceso de fabricación obtienen una rigidez dieléctrica similar de 30kV/mm aproximadamente, cabe mencionar que en este proyecto se manejara un voltaje en las líneas de media tensión de aproximadamente 22kV por lo que se espera que cumpla con los requerimientos respectivos.

**6.3.1.4. Posible proceso de producción:** Para un proceso de producción a futuro en donde se deba fabricar un número considerable de acoples, la tentativa de un método de moldeo por inyección. Este es un proceso que se basa en la inyección de un metal, un polímero, unas resinas sintéticas o materiales cerámicos en medio de 2 moldes cerrados ya sea a presión o en un estado frío, el material ingresa por medio de un agujero llamado compuerta y después este se solidifica conformando el producto final. En la figura 74 se tiene una referencia acerca de este proceso



**Figura 74:** Proceso de moldeo por inyección. (Fuente:(Científicos, 2018))

El número de acoples que se necesita es alto tomando en cuenta que a lo largo de la red de distribución eléctrica de media tensión se encuentran 3 seccionadores en cada poste y estos se presentan cada cierto intervalo de postes. Por ello se necesita realizar este acople en un proceso que sea mas rápido, con mejores características y además en el tema de los costos que sea viable.

Depende del tipo de molde además del material y de sus propiedades que permitan determinar su ciclo de vida, el material que se tiene a consideración es un compuesto similar al de los tomacorrientes debido a su resistencia a la intemperie, al calor y también por sus propiedades aislantes. El nombre del material es del policarbonato auto-extinguible el cual presenta ciertas características que lo hacen una elección óptima para este proyecto, entre sus características tenemos:

- Elevada resistencia a la intemperie, además cuenta con protección contra los rayos UV del sol.

- Contiene una gran transparencia.
- Tiene buenas propiedades de aislamiento eléctrico.
- Tiene una elevada resistencia a la fluencia así como a la deformación térmica.
- Alta resistencia al impacto,
- Contiene resistencia media a las sustancias químicas
- Sensibilidad a la hidrólisis, es propenso a las fisuras por esfuerzos.

Entre sus especificaciones técnicas se puede observar en la tabla 8 en cuanto a su resistividad mecánica, física, térmica y eléctrica.

**Tabla 8:** Propiedades del policarbonato

Especificaciones Policarbonato		
Propiedades	Descripcion	Valor
Electricas	Constante dieléctrica	a 1 MHz 2,9
	Factor de Disipación	a 1 MHz 0,01
	Resistencia Dieléctrica	15 - 67 kV/mm
	Resistividad Superficial	$10^{15} \cdot m$
	Resistividad de Volumen	$10^{14} - 10^{16} /cm^3$
Mecanicas	Alargamiento a la Rotura	100-150 %
	Coefficiente de Fricción	0,31
	Dureza - Rockwell	M70
	Resistencia a la Abrasión	ASTM D1044: 10-15 mg/1000 ciclos
	Resistencia a la Compresión	>80 MPa
	Resistencia a la Tracción	55-75 MPa
Fisicas	Resistencia al Impacto Izod	600-850 J/m
	Absorción de agua - en 24 horas	0,1 %
	Índice de refracción	1,584 - 1,586
	Densidad	1,20 g/cm <sup>3</sup>
Termicas	Inflamabilidad	V0-V2
	Calor Específico	aprox. 1200 J/(K · kg)
	Conductividad Térmica a 23 °C	0,19-0,22 W/(m · K)
	Temperatura Máxima de Utilización	115 - 130 °C
	Temperatura Mínima de Utilización	-135 °C
	Temperatura de deflexión en Caliente - 0,45 MPa	140 °C

La mayoría de los plásticos tienen una buena rigidez dieléctrica (del orden de 100 a 300 kV/cm). Según (SA, 2015) en sus valores registrados acerca de la rigidez dieléctrica de varios plásticos obtenidos bajo la normativa ASTM D149 tenemos que obtiene un valor mínimo de 16kV/mm hasta los 38kV/mm dependiendo de sus propiedades y sus diferentes aditivos.

### 6.3.2. Implementación del esquema electrónico

En este apartado se realizó una placa PCB en donde se colocaran los componentes correspondientes que se utilizan para el prototipo. Tomando en cuenta la figura 21 en la cual ya se realizó el esquema electrónico pasamos a cambiar en el software de Proteus los elementos simulados por elementos que se pueden visualizar y manipular al momento de realizar la placa PCB.

**6.3.2.1. Elaboración de la placa PCB:** Teniendo como base la norma IPC 2220 para el diseño de PCB, la cual es la norma más usada para el diseño de circuitos impresos y además que define los requerimientos para un correcto diseño de PCB. Contiene una serie de diversas recomendaciones para ofrecer un mejor desempeño empleando de esta manera dichos requerimientos en la elaboración de la placa como tal. Sin embargo este circuito al no tener un alto grado de complejidad no se analiza a profundidad.

En la elaboración de la placa es necesario ciertos componentes para que el layout del PCB lo reconozca y pueda seguir con su importación para su posterior construcción. En la figura 75 se puede observar la placa PCB realizada con ciertos parámetros que aseguran un correcto funcionamiento, las pistas están 5mm separadas de cada extremo de la placa, el ancho de las pistas son de 35th. y la separación de los componentes no repercute en un mal funcionamiento del mismo.

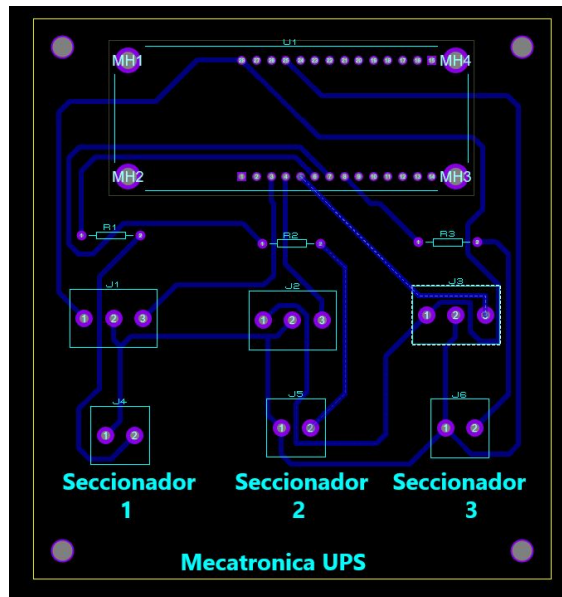
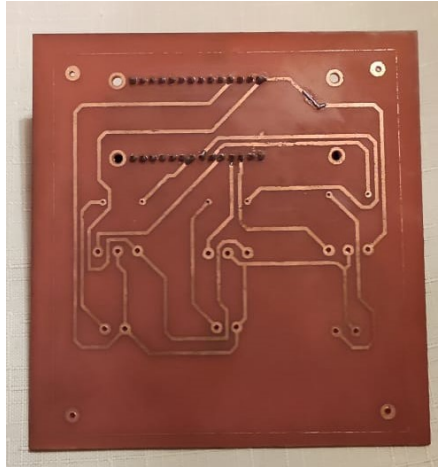


Figura 75: Layout PCB para su posterior impresión. (Fuente: Autor)

Una vez impreso esta placa en una hoja de acetato mediante una impresión láser se procede a hacer la fabricación de esta placa por un método de transferencia térmica. En la figura 76 se puede observar el resultado de este circuito impreso por este método.



**Figura 76:** Elaboración de un circuito impreso mediante transferencia térmica. (Fuente: Autor)

Para la completa elaboración de la placa PCB procedemos a soldar sus componentes, en la figura 77 se encuentra la placa PCB implementado con sus elementos. En donde se coloca el número del seccionador corresponde al aparato electromecánico que presenta la falla en el caso que se presente, si uno de los seccionadores se encuentra en un estado abierto en la placa PCB se encenderá un LED indicando cual de los 3 cambio su estado.



**Figura 77:** Elaboración de la placa PCB con sus componentes (Fuente: Autor)

**6.3.2.2. Alimentación del prototipo:** Para la alimentación del prototipo sera gracias a una batería la cual ira conectada directamente hacia el Arduino proporcionando una tensión de 5V así de esta manera suministrando de energía a toda la placa y por ende a sus componentes. El consumo de corriente se realizara de acorde a lo que necesite el prototipo tomando en cuenta su comunicación con las SIM M2M y el uso de su modulo GSM con la antena.

Para poder dimensionar la batería se realizo una medición de toda la programación funcionando para determinar el consumo que se realiza con el modulo GSM funcionando y transmitiendo datos hacia el sistema SCADA. Para el calculo de la batería necesitamos definir los parámetros con los cuales se van a trabajar, por ejemplo:

- Datos del microcontrolador
  - Corriente consumida en modo sleep 3.3mA
  - Corriente consumida en modo recepción 97mA
  - Corriente consumida en modo transmisión 220mA
  - Capacidad de la batería 30000mAh.

Estos datos se corroboraron con la hoja de datos del sensor de proximidad así como del microcontrolador Arduino, siguiente pasamos a la configuración del Arduino. Se planteo un tiempo de espera de 10 segundos para que el dispositivo este en modo sleep.

- Datos de configuración del Arduino
  - Tiempo en modo sleep: 10s
  - Tiempo de recepción: 5ms
  - Tiempo de transmision: 800ms

Las siguientes formulas se implementan para el calculo de la duración de la batería según (Finlinson, 2005)

- Corriente consumida en un ciclo:

$$C = \frac{(ts * cs + tr * cr + tt * ct)}{(ts + tr + tt)} \quad (1)$$

- Donde:
- ts = tiempo en modo sleep en ms

- $cs$  = corriente en modo sleep en mA
- $tr$  = tiempo en modo de rececion en ms
- $cr$  = corriente en modo recepcion en mA
- $tt$  = tiempo en modo transmision en ms
- $ct$  = corriente en modo transmision en mA

- Duración de la batería en meses

$$Bl(meses) = \frac{(Bc * 1hr(ms))}{(C * 1mes(ms))} * Eff \quad (2)$$

- Donde:
- $Bl$  = Duración de la batería en meses
- $Bc$  = Capacidad de la batería instalada
- $C$  = Corriente consumida en un ciclo
- $E f f$  = Eficiencia de la bateria (en un 80 por ciento para baterias de litio )

A continuación aplicando las formulas se procede al calculo de la duración de la batería para el prototipo de señalización de un seccionador eléctrico:

- $$C = \frac{(10000 * 0,033 + 5 * 97 + 800 * 220)}{(10000 + 800 + 5)} = 16,36mA \quad (3)$$

- $$Bl(meses) = \frac{(30000 * 3600000)}{(16,36 * 2592000000)} * 80 \% = 2,03meses \quad (4)$$

Teóricamente se puede determinar que la duración de la batería es de 2.03 meses. La carga solar de la batería que se adquirió es de 1.5w sin embargo el consumo del Arduino es superior a la carga que puede obtener, se recomienda realizar pruebas de campo en donde se verifique la carga del suministro energético por parte del panel fotovoltaico.

Para obtener una mejor autonomía se puede hacer uso de ciertas librerías de bajo consumo que hacen que las operaciones de comunicación y obtención de datos se las realice con un cierto periodo de tiempo efectuando un consumo energético mas eficiente y duradero. Sin embargo dicho periodo de muestro de los datos se debe conversar con la empresa eléctrica y sus políticas en cuanto a los tiempos de obtención de datos.



### **6.3.3. Implementación de la comunicación entre el microcontrolador y el sistema SCADA**

Cuando ya se ha realizado previamente la comunicación del microcontrolador y el sistema SCADA conectados vía Ethernet mediante una red LAN con su respectiva verificación, se pasa posteriormente a la implementación con las SIM M2M con la capacidad de proveer un dispositivo con una conexión inalámbrica que puede de ser colocado en cualquier sector del país gracias a sus posibilidades de comunicación disponibles. A su vez realizamos la correspondiente verificación dentro de la Subestación energética Azogues II

**6.3.3.1. Comunicación con las SIM M2M:** Cuando ya se verifico que el algoritmo de programación para la detección de la posición de la cuchilla de los seccionadores se realizo de forma correcta pasamos a su implementación con la conectividad proveniente de las SIM M2M.

La comunicación M2M (Machine to machine) corresponde a concepto que permite la intercomunicación y transmisión de información de máquina a máquina, dicha comunicación es de forma autónoma sin la intervención humana. Esta tecnología engloba una serie de aplicaciones tales como son el control, el monitoreo, la supervisión y recolección de datos con los que se optimice una serie de procesos que mejoran a nivel de eficacia y rendimiento. Entre los beneficios que nos puede traer un dispositivo M2M tenemos:

- Control remoto masivo.
- Automatización de procesos.
- Recolección de datos para su posterior procesamiento y distribución.
- Control de Stock inteligente.
- Mantenimientos automatizados.

En la figura 78 es posible observar las SIM M2M provenientes de la compañía proveedora de servicios de telefonía móvil Movistar la cual es subsidiaria de la compañía Telefónica S.A. Una de ellas irá conectada hacia el microcontrolador y otra ira conectada a un modem USB GSM que proveerá de conectividad a internet hacia donde se lo conecte.



**Figura 78:** SIM con conectividad M2M (Fuente: Autor)

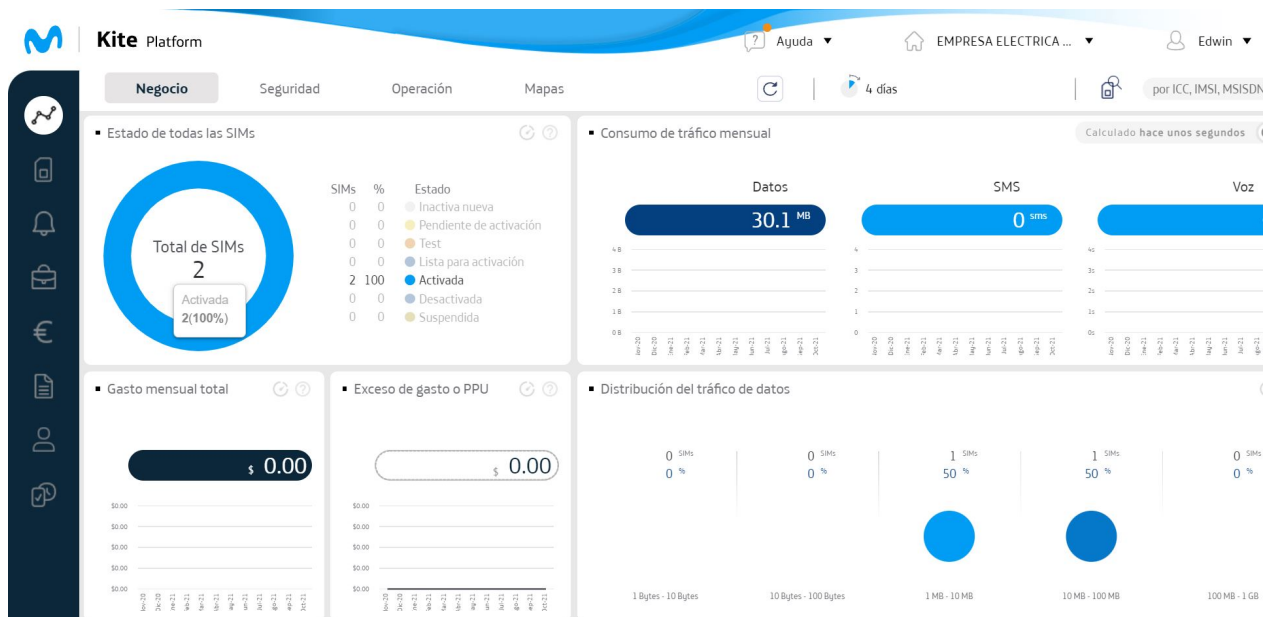
El modem USB GSM que se implemento para la comunicación es el ZTE modelo MF636 HSUPA, este modem ya se encuentra homologado para trabajar sin problemas en el país, permite una velocidad de descarga de hasta 7,2 Mbps y 2Mbps destinados para carga de datos, permite conectar redes 3G UMTS y 2G GPRS/GSM. En la figura 79 es posible observar el modem que se va a usar, su especificaciones se detalla a continuación:



**Figura 79:** Modem USB GSM ZTE MF636 (Fuente: Autor)

- HSDPA/HSUPA/UMTS 850/1900/2100 MHz
- GSM/GPRS/EDGE 850/900/1800/1900 MHz
- UMTS DL/UL 384Kbps
- Interfaz USB 2,0
- GPRS/EDGE/UMTS
- Admite envío de mensajes
- Admite tarjeta de memoria (MicroSD de hasta 32 GB)
- Tamaño 69x26,5x12mm
- Peso 40g

Cuando ya se tiene las SIM conectadas dentro de sus dispositivos correspondientes pasamos hacia su interfaz en la cual se puede manipular una serie de parámetros relacionados con los servicios que ofrecen las SIM en cuando de conectividad, VPN, LTE, voz y datos entre otros. La interfaz es facilitada por medio de Telefónica Tech y se llama KITE. Esta es la plataforma desarrollada para aportar mejoras a todo el ciclo del ecosistema IoT, ya sean dispositivos, productos u otras plataformas. Tiene una infraestructura de red dedicada que se despliega globalmente y se aloja en la nube, accesible en todo momento y lugar vía web o API. En la figura 80 se puede observar la interfaz del menú principal en la cual se designa el estado de todas las SIMs, su consumo de tráfico mensual, la distribución de tráfico de datos y el gasto mensual total.



**Figura 80:** Interfaz principal de la plataforma KITE (Fuente: Autor)

En dicha plataforma es posible determinar varios parámetros los cuales serán de ayuda al momento de designar las variables dentro de la programación realizada. Además que posee varias funcionalidades que son complementarias al proyecto y que serán una ayuda adicional en este prototipo. Entre estas tenemos:

- **Alarma de supervisión:** Puede generar una cierta serie de alarmas dependiendo de su severidad, es capaz de supervisar la mayoría de aspectos en lo que refiere a una SIM en concreto o un grupo de supervisión. En el caso que se presente una desconexión GPRS, una desconexión IP, un cambio de localización o un cambio de IMEI sera capaz de alertar al encargado ya sea vía SMS o un correo. Además por medio de sus alarmas tiene la facultar de alertar en el caso de un gasto de voz, datos o SMS excedidos de su limite así como el trafico diario de vos, datos y SMS cuando excede su umbral correspondiente.
- **Localización:** Es capaz de realizar una detección en cuanto a su localización en coordenadas latitud y longitud, la exactitud de la localización automática variará dependiendo de diferentes factores (por ejemplo cobertura 2G, 3G o 4G, utilización de un agente en el dispositivo, etc.)

En cuanto a la información referente a los SIMs en la pestaña de inventario de SIMs se puede recolectar toda la información que posee uno de estos chips, Asi como se puede verificar su estado GSM así como su estado GPRS, la información de SIM, información del dispositivo

al cual esta conectado y los grupos a los que pertenece. Como se puede observar en la figura 81 se encuentra la verificación de conexión de una de las SIM y su respectiva información.

✓ Estado GSM	Ok	GSM_UP	
✓ Estado GPRS	Ok	GPRS_UP	
0 alarmas activas			
▼ Identificación de la SIM			
<b>INFORMACIÓN DE SIM</b>			
Número ICC	Local/Global	Perfil	Modelo de SIM
8934075100261523625	Local	E14	EMPTY
PIN1	PIN2	PUK1	PUK2
9784	4325	07201549	81302902
<b>INFORMACIÓN DE DISPOSITIVO</b>			
Número IMEI	Modelo del módulo de comunicaciones GSM	Fabricante del módulo de comunicaciones GSM	
357520078056484	SARA-U201	u-blox AG	
<b>GRUPOS</b>			
Grupo de supervisión	Grupo de suscripciones	Cuenta de facturación	Plan comercial
default_group	ELECTRICA AZOGUES_GS	default	ECU_SB_TEST_Ecuador_Demo1

**Figura 81:** Conexión GSM, GPRS e información respectiva de una de las SIM (Fuente: Autor)

De igual manera es posible determinar su presencia dentro del internet, en este apartado se puede observar su APN actual, su dirección IP actual, su estado actual, su ultima conexión así como su ultima tecnología de acceso detectada. Como se puede observar en la figura 82 estos parámetros son necesarios para poder establecer un PING entre los 2 SIM.

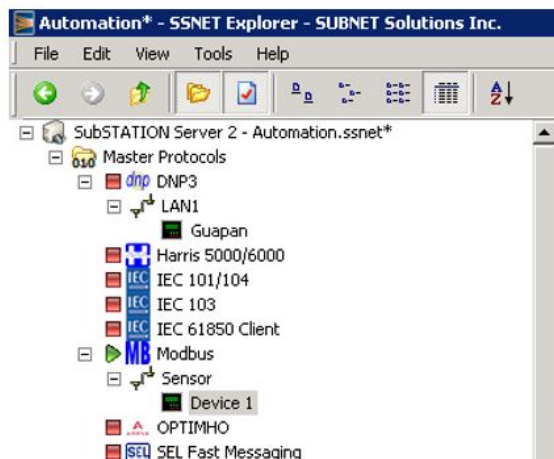
▼ Presencia		
APN actual	IP actual	Última IP SGSN
kitem2m.movistar.com.ec	10.45.107.171	200.7.222.46
Estado actual	IP adicional	Última IP GGSN
GPRS contexto	Fecha del último evento	193.152.96.241
Último evento	05-10-2021 08:40:57	Pais
Apertura de contexto GPRS	Identificación Global de Celda (CGI)	ECUADOR
Última tecnología acceso detectada	740-00-40133-40457	Operador
3G		Otecel S.A. Ecuador

**Figura 82:** Presencia en la red de una de las SIM (Fuente: Autor)

Cuando se tiene la dirección IP de los 2 dispositivos y estos al encontrarse dentro de una VPN (red privada virtual) procedemos a realizar un PING de envío y recepción de paquetes de datos con los que se puede verificar que están dentro de la misma red y obtienen una conexión entre los 2. Cuando se verifica su intercomunicación se procede a implementar la programación realizada anteriormente para el sensado de la cuchilla del seccionador y la comunicación al sistema SCADA.

**6.3.3.2. Conexión en el sistema SCADA:** Una vez implementado la programación de la comunicación del microcontrolador con el sistema SCADA mediante el protocolo MODBUS se procede a probar en dicho sistema de control la intercomunicación de los datos.

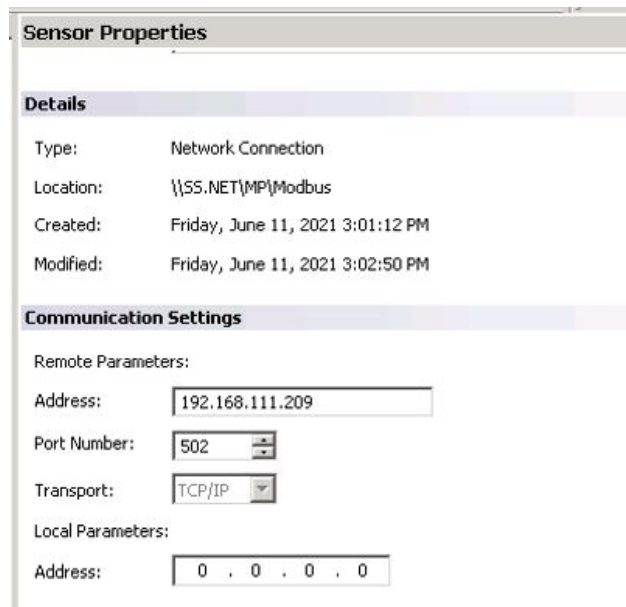
En este caso se inicializa el sistema SCADA de Subnet Solutions en un protocolo maestro y se selecciona la opción de comunicación MODBUS como es posible determinar en la figura 83, se ingresa un nombre y posterior se sigue con la lectura de datos.



**Figura 83:** Parámetros MODBUS en el sistemas SCADA(Fuente: Autor)

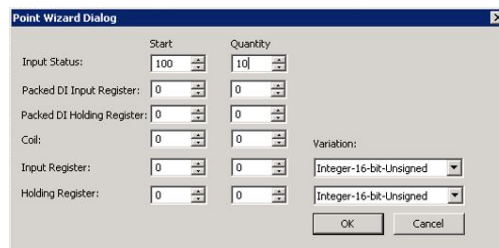
Una ves configurado la variable de MODBUS maestro dentro del sistema SCADA se prosigue a colocar los parámetros con los cuales se va a realizar la conexión, como es posible observar ver en la figura 84 se ingresa la dirección IP con en la que hará efectiva la conexión entre el microcontrolador y el sistema SCADA, el método de transporte es TCP/IP y el número de puerto para la conexión es 502

Los parámetros siguientes por configurar es la dirección a la cual se van a enviar los datos mediante el protocolo MODBUS, recordando en la tabla 4 los datos van dirigidos hacia los registros de aplicación digitales (Input Status), Como es posible ver en la figura 85 se coloca la dirección en los input status para que empiece la lectura desde la dirección 100 y tenga



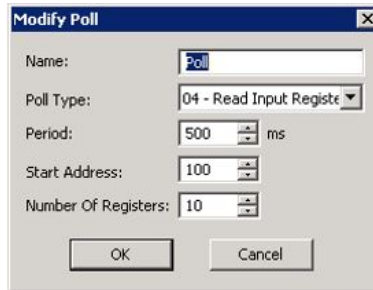
**Figura 84:** Configuración de protocolo MODBUS (Fuente: Autor)

una longitud de lectura de 10 valores, en cuanto a la lectura de las variables se designa un valor booleano que determine si es que el seccionador se encuentra activo o no (ON/OFF)



**Figura 85:** Designación de variables(Fuente: Autor)

En la figura 86 en opción Modify Poll es posible modificar la dirección a la cual se dirigen los datos dentro del protocolo MODBUS así como el periodo de muestro en el cual se enviarán los datos, además se pueden modificar en el caso que se requiera el inicio de la dirección de los datos y la longitud de lectura de datos



**Figura 86:** Modificación de parámetros de muestreo en MODBUS(Fuente: Autor)

## 7. Resultados

En esta sección se muestra los resultados de la implementación de la propuesta donde es posible evaluar el desarrollo de los diferentes aspectos que conforman el dispositivo como el diseño mecánico, diseño electrónico, programación, arquitectura y sistema de monitoreo para la evaluación del diseño del prototipo de señalización on-off con comunicación SCADA de un seccionador eléctrico para reducir el tiempo de búsqueda en red de distribución eléctrica.

### 7.1. Diseño mecánico

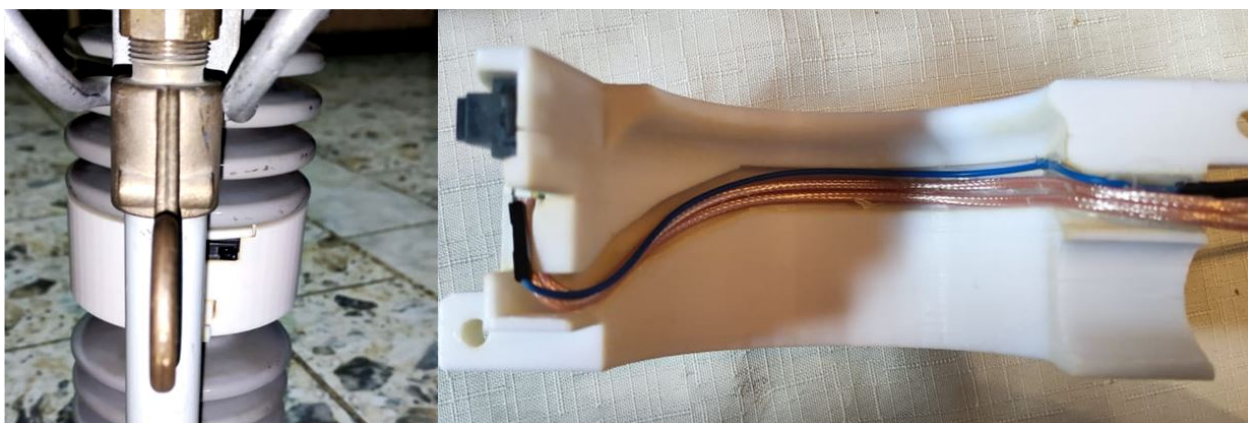
Con respecto al diseño mecánico, la propuesta del modelo cumple con los requerimientos de la empresa incorporando un elemento en la capacidad de proteger a la propuesta del dispositivo frente a condiciones ambientales y eléctricas a fin de garantizar la correcta operación de la propuesta. La Tabla 9 presenta las consideraciones de diseño del acople protector del sensor de proximidad, mismo que permite posicionar el sensor para una correcta recopilación de información.



**Tabla 9:** Consideraciones de diseño del acople protector

Consideraciones de diseño del acople protector del sensor de proximidad.	
número	Consideración
1	El diseño debe ser sencillo de colocar en lo alto del poste de media tensión, el sensor ira colocado dentro de uno de los elementos del acople y el elemento restante de la estructura en anillo lo fija en la parte cerámica del seccionador
2	El elemento receptor de datos del sensor de proximidad debe estar apuntando de forma perpendicular a la cuchilla del seccionador.
3	El cableado proveniente del sensor de proximidad debe estar en el interior de uno de las estructuras en anillo del acople protector
4	El diseño debe ser impermeable protegiendo al sensor de proximidad contra del agua, por ello se realizan ranuras en las que ira colocado un cierto polímero que impermeabilice el acople.
5	La sujeción del elemento protector del sensor se deben realizar con pernos y tuercas impresas en resina con el fin de conservar la rigidez dieléctrica del acople, los espacios para las tuercas son de 5mm

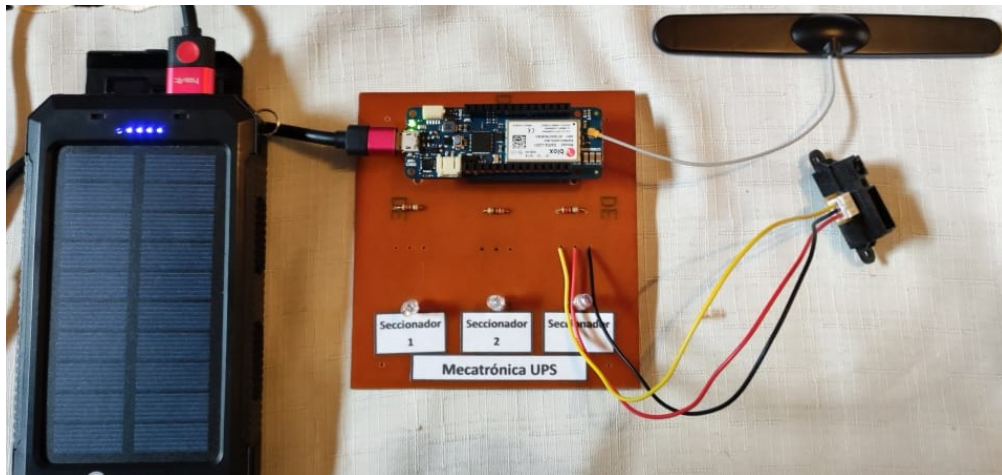
Con el acople impreso es posible corroborar que cada uno de los requerimientos del diseño fueron cumplidos, en la figura 87 es posible evidenciar las condiciones de diseño planteadas, mismas que han sido corroboradas con la construcción del dispositivo. En la figura de la izquierda se muestra el receptor de datos del sensor de proximidad apuntando directamente hacia la cuchilla, en la figura de la derecha se puede evidenciar que los cables coaxiales y de conexión efectivamente pasan por una ranura la cual esta en el interior de la parte 1 del acople protector.



**Figura 87:** Consideraciones de diseño completas (Fuente: Autor)

## 7.2. Diseño electrónico

En cuanto al diseño electrónico se ha dimensionado unión de todos los componentes que incorporan la parte electrónica del prototipo, inicialmente desde la fuente de alimentación compuesta con una batería de Ion-litio con una capacidad de 30000 mAh. Y con un panel solar incorporado que carga 1.5W a sus celdas de energía, mismas que alimentan a un microcontrolador el cual esta conectado a una placa PCB con los demás componentes. El diseño de la placa busca reducir la distribución de elementos generando una propuesta compacta y modular que permita el cambio de elementos con facilidad. La figura 88 muestra el circuito de alimentación hacia el microcontrolador que a su vez proporciona de energía a los elementos restantes del proyecto.



**Figura 88:** Modelo resultante de la integración de los componentes electrónicos(Fuente: Autor)

## 7.3. Programación

La programación realizada en el prototipo busca efectivizar la toma de datos desde su sensado hacia la comunicación del microcontrolador y el sistema SCADA. Para ello de manera preliminar la recopilación de datos analógicos en el sensor de proximidad para su posterior conversión a valores booleanos dentro del microcontrolador. Se ha generado la comunicación dentro del protocolo de red TCP/IP a fin de crear una variable MODBUS que pueda ser enviada dentro dicho protocolo. Al tener las SIM M2M se ha creado una red punto a punto entre un módem USB GSM y el microcontrolador para el envío de datos. Dicho módem se conecta hacia el servidor MODBUS que a su vez registra los datos y los transporta a hacia el sistema de control SCADA. En la figura 89 se muestra el consumo de recursos del

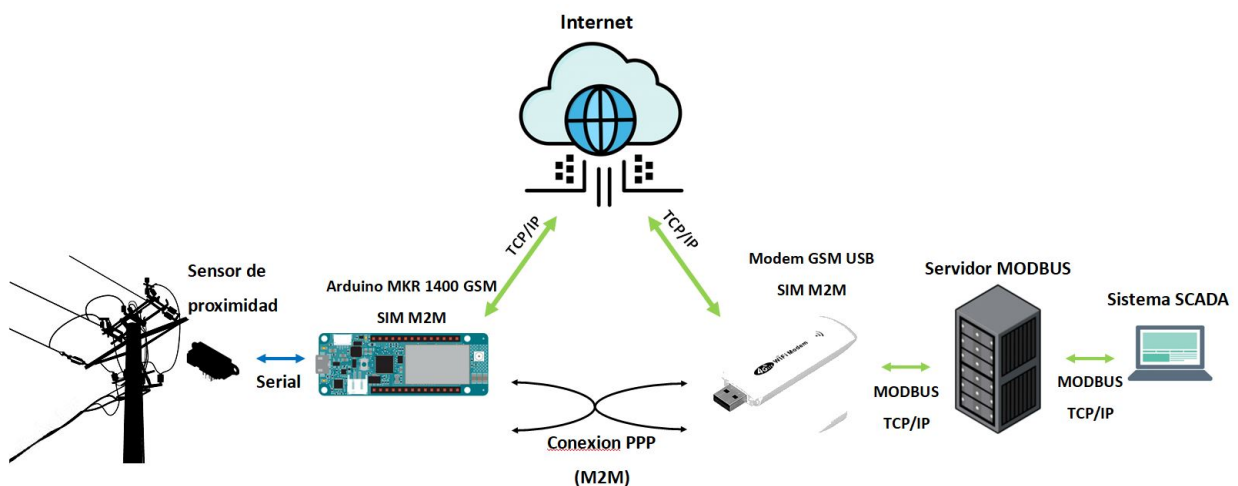
microcontrolador lo cual indica que el dimensionamiento de este dispositivo se ha realizado correctamente.

```
Sketch uses 37084 bytes (14%) of program storage space. Maximum is 262144 bytes.
Global variables use 2940 bytes (8%) of dynamic memory, leaving 29828 bytes for local variables. Maximum
is 32768 bytes.
```

**Figura 89:** Compilación y memoria disponible dentro del Arduino(Fuente: Autor)

## 7.4. Arquitectura

Con respecto a la arquitectura se han verificado las conexiones de todos los elementos que componen el protocolo de comunicación. La señalización del seccionador comienza desde la verificación de la cuchilla del seccionador en el sensor de proximidad, mismo que se conecta de forma serial hacia el microcontrolador. Posteriormente, el microcontrolador incorpora conectividad a internet gracias a la SIM M2M la cual posee una conexión punto a punto con el módem GSM USB. Dicho módem se conecta con el servidor MODBUS el cual mediante este protocolo de comunicación transmite los datos hacia el sistema SCADA de la empresa eléctrica Azogues C.A. Cuando los datos son visualizados en el sistema de control pueden programarse con una alarma en el caso de un cambio de estado del seccionador por lo que siguiendo el plan de mantenimiento es posible reparar el fallo de una forma mas rápida y eficiente. En la figura 90 se muestra el esquema de conexión de todos los elementos mencionados anteriormente.

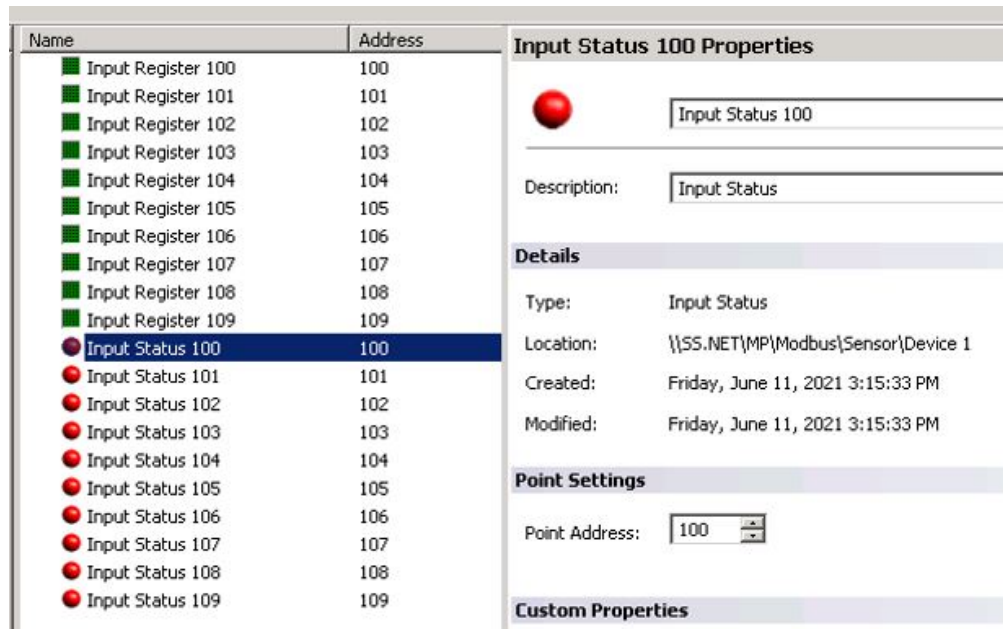


**Figura 90:** Arquitectura de la conexión entre el microcontrolador y el SCADA(Fuente: Autor)

## 7.5. Sistema de monitoreo SCADA


En el sistema SCADA como resultado de la comunicación obtenida previamente incorpora un método de comunicación recomendado por parte de la empresa eléctrica que cumple con los requerimientos establecidos buscando la obtención la señalización de un seccionador eléctrico en el menor tiempo posible respetando los protocolos de comunicación preestablecidos en este tipo de sistemas. En el SCADA es posible programar una serie de alarmas que notifican a los operarios de turno acerca de anomalías o fallos dentro de sus equipos, dando paso al mantenimiento respectivo programado. Además con la correcta implementación del protocolo de comunicación se da paso a nuevos proyectos los cuales se puede notificar nuevas variables medibles dentro del sistema SCADA que sea de interés para la Empresa Eléctrica C.A.

En la figura 91 se puede observar las direcciones así como la verificación del status al cual se configuro en el capítulo anterior, ya configurado todos los parámetros dentro del microcontrolador y del sistema SCADA para una posterior consigna de la notificación se configura una alarma dentro del sistema SCADA para que notifique a los operarios el cambio de estado del seccionador.



Name	Address
Input Register 100	100
Input Register 101	101
Input Register 102	102
Input Register 103	103
Input Register 104	104
Input Register 105	105
Input Register 106	106
Input Register 107	107
Input Register 108	108
Input Register 109	109
<b>Input Status 100</b>	<b>100</b>
Input Status 101	101
Input Status 102	102
Input Status 103	103
Input Status 104	104
Input Status 105	105
Input Status 106	106
Input Status 107	107
Input Status 108	108
Input Status 109	109

### Input Status 100 Properties



Description:

#### Details

Type: Input Status  
Location: \\SS.NET\MP\Modbus\Sensor\Device 1  
Created: Friday, June 11, 2021 3:15:33 PM  
Modified: Friday, June 11, 2021 3:15:33 PM

#### Point Settings

Point Address:

#### Custom Properties

**Figura 91:** Verificación de conexión del protocolo MODBUS dentro del sistema SCADA(Fuente: Autor)

## 7.6. Estudio financiero

A continuación se muestra una tabla en donde se compendian los recursos utilizados y su equivalente económico para la elaboración y construcción de un prototipo de señalización de un seccionador eléctrico.

**Tabla 10:** Presupuesto de a construcción del acople

<b>Presupuesto para la construcción del prototipo</b>			
<b>Recurso</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio total</b>
Arduino MKR GSM 1400	68\$	1	68\$
Placa PCB	20\$	1	20\$
Impresiones 3D del acople protector	62\$	1	62\$
Sensor de proximidad Sharp GP2Y0A41	8.50\$	3	25.50\$
Modem USB GSM	35\$	1	35\$
Cable coaxial RG-316/U	12\$	2	24\$
Caja térmica eléctrica	40\$	1	40\$
Batería solar	25\$	1	25\$
LEDs y resistencias	0.45\$	1	0.45\$
<b>Total</b>			<b>299.95\$</b>

De igual manera se presenta el costo de investigación del proyecto referente.

**Tabla 11:** Costo de investigación del proyecto

<b>Recursos Humanos</b>	<b>Costo/hora</b>	<b>Horas</b>	<b>Costo</b>
Docente tutor	20	18h	960\$
Estudiante	6	440h	2640\$
<b>Total</b>			<b>3600\$</b>

## 8. Conclusiones

El objetivo principal del trabajo de titulación propuesta se enfoca en el diseñar un prototipo de señalización ON/OFF con comunicación al SCADA de un seccionador eléctrico para reducir los tiempos de búsqueda en la red de distribución eléctrica. La aportación de este proyecto se basa en el objetivo de crear un dispositivo en la capacidad de notificar los cambios de estado de estos seccionadores eléctricos cuya finalidad es disminuir los tiempos de respuesta en el fallo de estos dispositivos electromecánicos mediante la integración de distintas técnicas y conceptos que aporten a la creación de un dispositivo con tecnología M2M que mediante un protocolo de comunicación normalizado se efectuó la transmisión de datos de hacia un sistema industrial.

En cuanto a los parámetros iniciales se consideraron aspectos técnicos y tecnológicos propuestos por parte de la empresa eléctrica a fin de diseñar un dispositivo que contenga una cierta normativa en cuanto a sus protocolos de comunicación y además que respete las condiciones de diseño impuestos para incorporar en una propuesta viable y funcional.

El dimensionamiento eléctrico y mecánico ha sido elaborado en conjunto con los parámetros de diseño previamente mencionados, en resultado del mismo propone un dispositivo compacto, ligero y modular a fin de ser actualizable que permita una facilitar la manipulabilidad en cuanto a la instalación del prototipo y la monitorización de cambio de estado de los seccionadores eléctricos. Cabe mencionar que la secuencia de funcionamiento opera bajo los parámetros establecidos dentro de la empresa eléctrica generando una satisfacción por parte del operario al facilitar los tiempos de búsqueda. Adicionalmente la propuesta puede ser adaptable a otro tipo de proyectos con seccionadores de distintas características generando un mercado mas amplio lo que se puede traducir en una propuesta comercial a futuro.

Con respecto a la construcción del dispositivo tomando en cuenta los diseños anteriores se puede determinar que es factible construirlo con elementos accesibles en el mercado y de bajo costo, para ello se realizo un proceso de impresión 3d referente al acople protector con polímeros que son de un costo accesible. Sin embargo existen otros métodos de prototipado rápido para realizar un proceso de manufactura aditiva con mejores características, es por ello que para un posible proceso de producción en masa de dispositivos que sean lanzados al mercado se propone una producción de los acoples mediante moldeo por inyección generando un proceso de fabricación mas rápido y con mejores características con una elección de materiales con mejores propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas.

## 9. Recomendaciones

Las pruebas de funcionamiento de este dispositivo son de vital importancia para su correcta implementación a futuro verificando su viabilidad y funcionalidad dentro del campo, se recomienda realizar un estudio acerca de la rigidez dieléctrica del acople con la finalidad de determinar si este interfiere con las características dieléctricas del seccionador en su totalidad, un análisis de eficiencia energética y autonomía para dimensionar su batería con su respectivo panel de carga fotovoltaica tomando en cuenta los aspectos de periodos de respuesta que son requeridos dentro de la empresa eléctrica. Y además un estudio de degradación del dispositivo para observar su ciclo de vida. En base a estos analisis, se recomienda realizar un estudio acerca de la viabilidad del proyecto en cuanto a su validación dentro de la normativa correspondientes con las autoridades pertinentes en el país.

## Referencias

- Academics, M. (2014). Scada. *Microsoft*.
- Academics, M. (2018). Batería (electricidad). *Disponible en:* [http://www.promelsa.com.pe/pdf/folla\\_bb20\\_coutout.pdf](http://www.promelsa.com.pe/pdf/folla_bb20_coutout.pdf).
- Arduino (2021). Arduino mkr gsm 1400. *Disponible en:* <https://store.arduino.cc/usa/mkr-gsm-1400>.
- Artec3D (2021). Artec eva. *Disponible en:* <https://www.artec3d.com/es/portable-3d-scanners/artec-eva>.
- CCS (2021). Modscan32. *Disponible en:* <https://ctlsys.com/support/modscan32/>.
- Cevallos, W. (2021). Diseño y construcción de un sistema didáctico de comunicación industrial bajo el protocolo modbus. Technical report, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Cientificos, T. (2018). Moldeo, inyección y extrusión. *Disponible en:* <https://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>.
- Clarke, G., R. D. . W. E. (2004). Practical modern scada protocols: Dnp3, 60870.5 and related system. *Newnes*.
- Commision, I. E. (2006). Telecontrol equipment and systems. *Transmission protocols. Switzerland: IEC*.
- de Carvalho, R. A., d. H. H. . F. R. (2021). A process for designing innovative mechatronic products. *International Journal of Production Economics*.
- Diselecser (2020). Resumen protocolo modbus. *Disponible en:* <https://diselecser.com/>.
- Energis (2012). Especificación de desconectores fusibles monofásicos. *LÍNEA DE NEGOCIO DE DISTRIBUCION REGIONAL*.
- Fernandez, R. G. (1993). Sistemas scada en distribución de energía eléctrica. Technical report, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Finlinson, J. (2005). Battery life calculator. *Disponible en:* <http://ftp1.digi.com/support/utilities/batterylifecalculator.xls>.



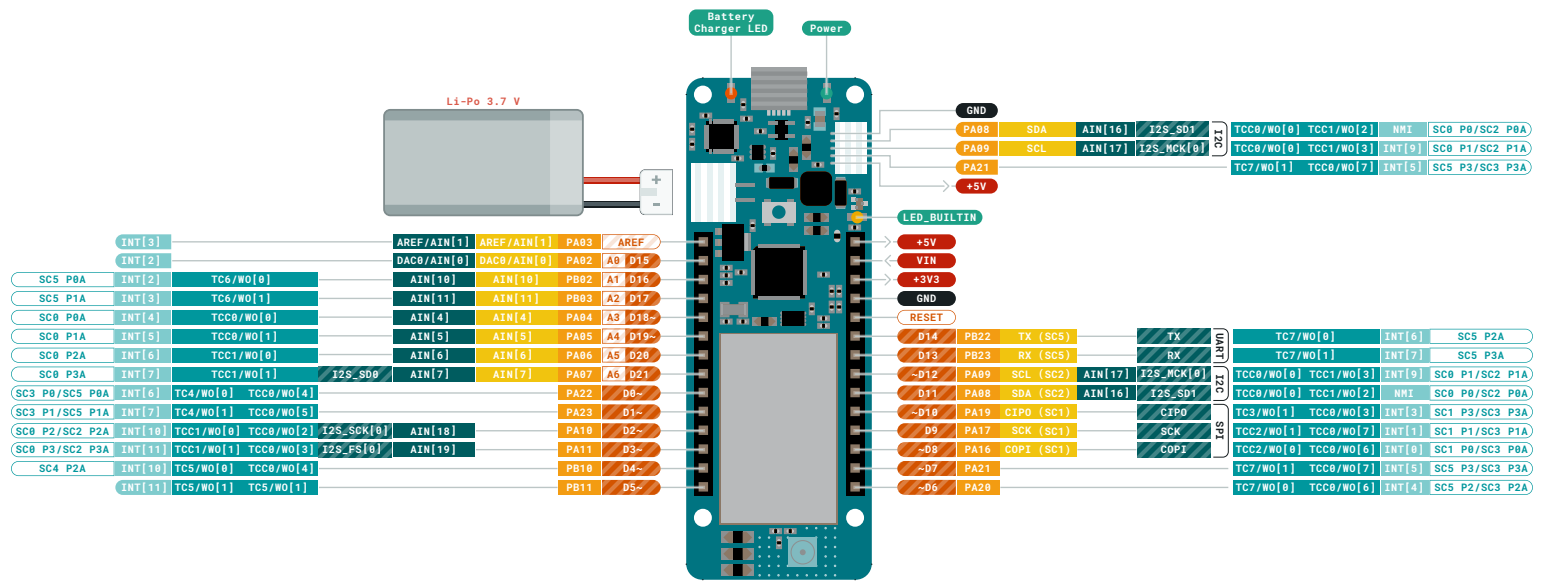
- Foundation, R. (2021). About us, raspberry. *Disponible en:* <https://www.raspberrypi.org/about/>.
- Fovino, I. N., C. A. M. M. . T. A. (2009). Design and implementation of a secure modbus protocol. *International conference on critical infrastructure protection*.
- Fovino, I. N., C. A. M. M. . T. A. (2017). Smart solar battery charger for pv-application. *10TH International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection Renewable Energy Sources*.
- Hoff, B. W., Maestas, S. S., Hayden, S. C., Harrigan, D. J., Grudt, R. O., Ostraat, M. L., Horwath, J. C., and Leontsev, S. (2018). Dielectric strength heterogeneity associated with printing orientation in additively manufactured polymer materials. *Additive Manufacturing*, 22:21–30.
- Inc., M. T. (2021). Pic mcus. *Disponible en:* <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/pic-mcus>.
- Jaramillo, N. (2014). DiseÑo para la interoperabilidad entre una central hidroelÉctrica y un centro de control mediante el protocolo iec 60870-5-104. Technical report, Escuela Politécnic Nacional, Quito.
- Karl T. Ulrich, S. D. E. (2020). *Diseño y desarrollo de productos*. Mc Graw Hill Education.
- Lauff, C. A., K.-S. D. . R. M. E. (2018). What is a prototype? what are the roles of prototypes in companies? *Journal of Mechanical Design*,.
- Lekbich, A., B. A.-Z. C. B. J. . E. M. F. (2018). A secure wireless control of remote terminal unit using the internet of things in smart grids. *Journal of Mechanical Design*,.
- m Universidad de Zaragoza (2018). Señalización. *Disponible en:* <http://uprl.unizar.es/seguridad/lugaresdoc/senalizacion.pdf>.
- Margolis, M., J. B.-. W. N. R. (2020). Arduino cookbook: recipes to begin, expand, and enhance your projects. *O'Reilly Media*.
- Mohapatra, D., P. S.-. J. J. (2018). Design of solar powered battery charger: an experimental verification. *IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*.

- Nacional, U. T. (2015). Seccionadores y cuchillas de tierra. *Disponible en:* <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/seccionadores.pdf>.
- Nassu, B. T., L.-L. M. B. C. A. W. R. . Z. V. (2018). Image-based state recognition for disconnect switches in electric power distribution substations. *IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*.
- Naylamp Mechatronics SAC, j. (2021). Sensor de distancia infrarrojo sharp gp2y0a21. *Disponible en:* <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/203-sensor-de-distancia-infrarrojo-sharp-gp2y0a21.html>.
- Pragnesh, G. (2017). Solar battery chargere. international journal of engineering development and research,. *IEEE*.
- Promelsa (2018). Seccionadores abb cut off. *Disponible en:* [http://www.promelsa.com.pe/pdf/folla\\_bb20\\_cutout.pdf](http://www.promelsa.com.pe/pdf/folla_bb20_cutout.pdf).
- Radoglou-Grammatikis, P., S.-P. E. G. K. P.-A. . S. A. (2020). Diderot: an intrusion detection and prevention system for dnp3-based scada systems. *15th International Conference on Availability, Reliability and Security*.
- SA, S. (2015). Dielectric strength. *Disponible en:* <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/dielectric-strength>.
- Schneider Electric, S. (2014). Oasys scada. *Disponible en:* <https://www.se.com/th/en/product-range/61943-oasys-scada/?subNodeId=12368264868enTH>.
- SM (2019). Ethernet library. *Disponible en:* <https://www.arduino.cc/en/Reference/Ethernet>.
- Subnet Solution, S. (2016). Subnet substation server. *Disponible en:* <http://www.subnet.com/products.aspx>.
- SÜZEN, A. A., . K. K. (2019). Free fall test system controlled by computer with arduino. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*.
- Team, A. (2021). Presentacion arduino ide 2.0. *Disponible en:* <https://blog.arduino.cc/2021/03/01/announcing-the-arduino-ide-2-0-beta/>.
- Yong, K. (2008). Experimento de la vibración vibrotáctil del dedo humano. *IEEE*.
- Zhou, K., Y. C. . S. J. (2017). Discovering residential electricity consumption patterns through smart-meter data mining: A case study from china. *Utilities Policy*, 44, 73-84.

# ANEXOS

Anexo 1: Hoja de Datos Arduino MKR 1400 GSM.





- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default
- Analog
- Communication
- Timer
- Interrupt
- Sercom

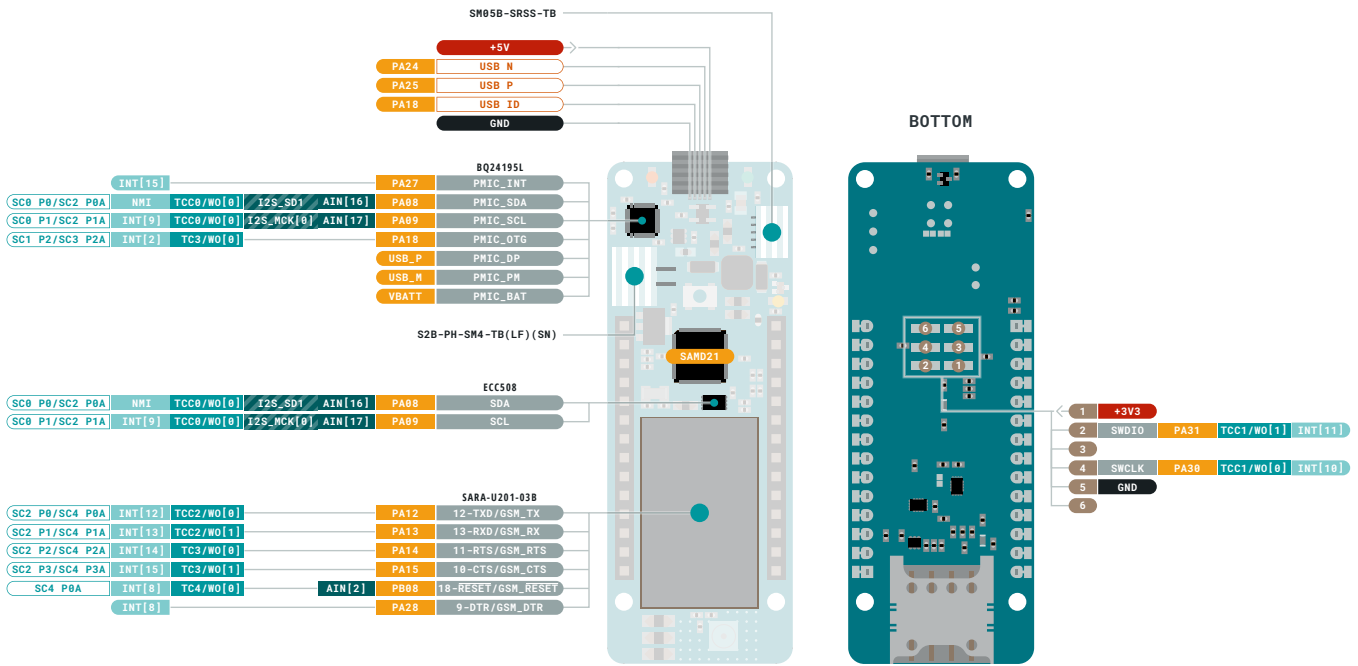
- ▲ **MAXIMUM** current per pin is 7mA
- ▲ **MAXIMUM** source current is 46mA
- ▲ **MAXIMUM** sink current is 65mA per pin group

VIN Input voltage to the board.

NOTE: CIP0/COPI have previously been referred to as MISO/MOSI



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, P.O. Box 1888, Mountain View, CA 94042, USA.



- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default
- Analog
- Communication
- Timer
- Interrupt
- Sercom

- MAXIMUM** current per pin is 7mA
- MAXIMUM** source current is 46mA
- MAXIMUM** sink current is 65mA per pin group

VIN Input voltage to the board.

NOTE: CIPO/COPI have previously been referred to as MISO/MOSI



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1888, Mountain View, CA 94042, USA.

Anexo 2: Hoja de Datos Sharp IR GP2Y0A41SK0F



# GP2Y0A41SK0F

Distance Measuring Sensor Unit  
Measuring distance : 4 to 30 cm  
Analog output type



## ■Description

**GP2Y0A41SK0F** is a distance measuring sensor unit, composed of an integrated combination of PSD (position sensitive detector), IR-LED (infrared emitting diode) and signal processing circuit. The variety of the reflectivity of the object, the environmental temperature and the operating duration are not influenced easily to the distance detection because of adopting the triangulation method. This device outputs the voltage corresponding to the detection distance. So this sensor can also be used as a proximity sensor.

## ■Features

1. Distance measuring sensor is united with PSD, infrared LED and signal processing circuit
2. Short measuring cycle (16.5ms)
3. Distance measuring range : 4 to 30 cm
4. Package size (29.5 × 13.0 × 13.5mm)
5. Analog output type

## ■Agency approvals/Compliance

1. Compliant with RoHS directive (2002/95/EC)

## ■Applications

1. Cleaning robot
2. Personal robot
3. Sanitary

Notice The content of data sheet is subject to change without prior notice.  
In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.



■ **Absolute maximum ratings**

(Ta=25°C, Vcc=5V)

Parameter	Symbol	Ratings	Unit	Remark
Supply voltage	Vcc	-0.3 to +7	V	-
Output terminal voltage	Vo	-0.3 to Vcc+0.3	V	-
Operating temperature	Topr	-10 to +60	°C	-
Storage temperature	Tstg	-40 to +70	°C	-

■ **Operating supply voltage**

Symbol	Rating	Unit	Remark
Vcc	4.5 to 5.5	V	-

■ **Electro-optical Characteristics**

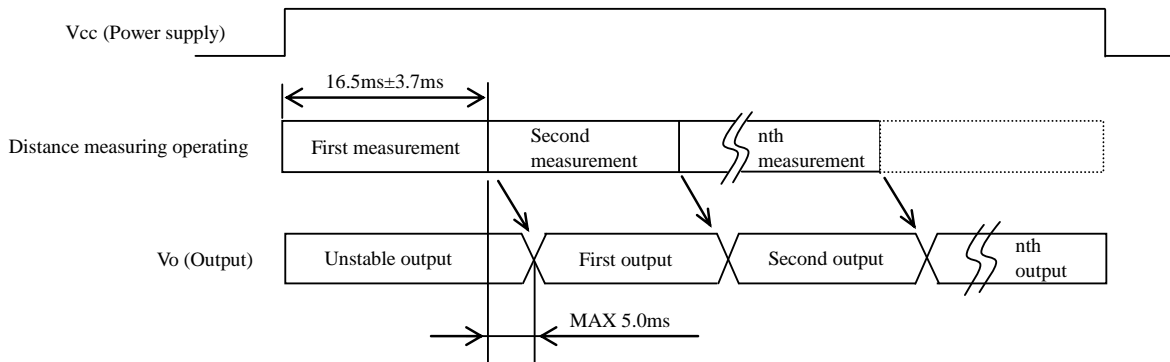
Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Measuring distance range	$\Delta L$	(Note 1)	4	-	30	Cm
Output terminal voltage	Vo	L=30cm (Note 1)	0.25	0.4	0.55	V
Output voltage difference	$\Delta Vo$	Output change at L change (30cm → 4cm) (Note 1)	1.95	2.25	2.55	V
Average supply current	Icc	L=30cm (Note 1)	-	12	22	mA

※L : Distance to reflective object

(Note 1) Using reflective object : White paper

(Made by Kodak Co., Ltd. gray cards R-27 • white face, reflective ratio ; 90%)

■ **Timing Chart**



### Anexo 3: Propiedades cuantitativas ABS para impresión FDM

**Propiedades Cuantitativas:**

Propiedades	Método ASTM	Unidad	Grados de ABS			
			Alto impacto	Impacto medio	Bajo Impacto	Resistente al calor
<b>Mecánicas a 23°C</b>						
Resistencia al impacto, prueba Izod	D2546	J / m	375-640	215-375	105-215	105-320
Resistencia a la tensión	D638	Kg / mm <sup>2</sup>	3,3 - 4,2	4,2-4,9	4,2-5,3	4,2-5,3
elongación	D638	%	15-70	10-50	5-30	5-20
Módulo de tensión	D638		173-214	214-255	214-265	214-265
Dureza	D785	HRC (Rockwell)	88-90	95-105	105-110	105-110
Peso específico	D792		1,02-1,04	1,04-1,05	1,05-1,07	1,04-1,06
<b>Térmicas</b>						
Coefficiente de expansión térmica	D696	X 10 <sup>6</sup> cm / cm* °C	9,5-11,0	7,0-8,8	7,0-8,2	6,5-9,3
Distorsión por calor	D648	°C a 18,4 Kg /cm <sup>2</sup>	93-99	96-102	96-104	102-112

Anexo 4: Propiedades cuantitativas resina Verowhite para impresión  
Polyjet



## Materials Simulating Standard Plastics

### Rigid Opaque Materials

VeroGray RGD850, VeroBlackPlus RGD875, VeroWhitePlus RGD835, VeroYellow RGD836, VeroCyan RGD841, VeroMagenta RGD851

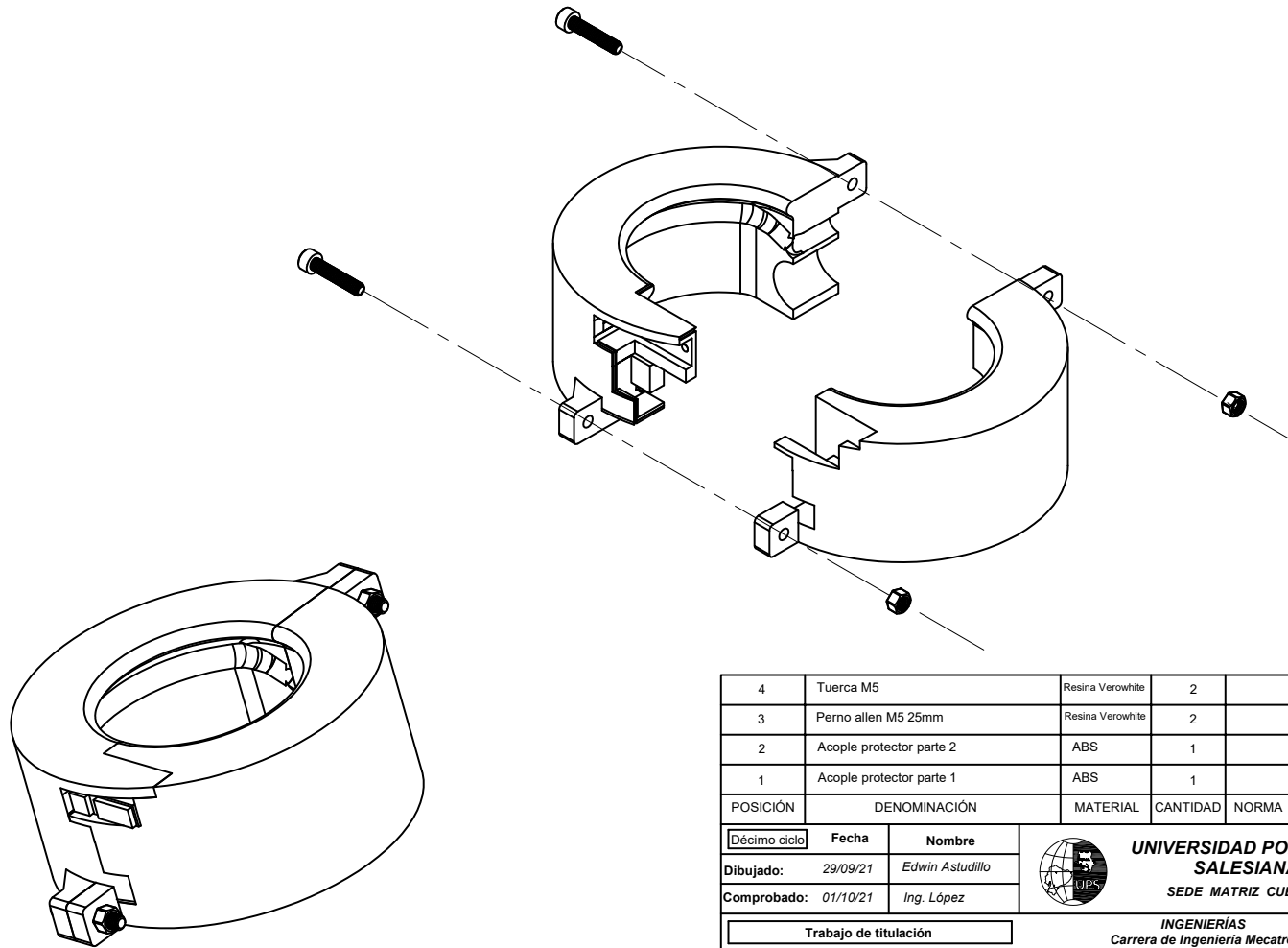
	ASTM	Units	Metric	Units	Imperial
Tensile strength	D-638-03	MPa	50-65	psi	7250-9450
Elongation at break	D-638-05	%	10-25	%	10-25
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	2000-3000	psi	290,000-435,000
Flexural Strength	D-790-03	MPa	75-110	psi	11000-16000
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	2200-3200	psi	320,000-465,000
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	45-50	°F	113-122
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	45-50	°F	113-122
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	20-30	ft lb/inch	0.375-0.562
Water Absorption	D-570-98 24hr	%	1.1-1.5	%	1.1-1.5
Tg	DMA, E»	°C	52-54	°F	126-129
Shore Hardness (D)	Scale D	Scale D	83-86	Scale D	83-86
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	73-76	Scale M	73-76
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.17-1.18		
Ash content VeroGray, VeroWhitePlus	USP281	%	0.23-0.26	%	0.23-0.26
Ash content VeroBlackPlus	USP281	%	0.01-0.02	%	0.01-0.02



The data included in this brochure is for your information purposes only and should not be considered specific advice to any particular customer project. Each customer is responsible for the design, functioning and all other decisions with regards to its particular projects and systems. The sale and provision of the products described in this brochure are subject to terms and conditions outlined in Stratasys' selling policies, contracts between the parties or Stratasys' Terms and Conditions of Sale. This brochure is not intended to and does not enlarge or add to any such contract or terms.

© 2014 Stratasys Ltd. All rights reserved. Stratasys, Stratasys logo, Objet, For a 3D World, Objet24,Objet30, Objet 30 Pro, Objet30 OrthoDesk, Objet Studio, Quadra, QuadraTempo, FullCure, SHR, Eden,Eden250, Eden260, Eden260V, Eden 330, Eden350, Eden350V, Eden500V, Job Manager, CADMatrix,Connex, Objet260 Connex, Connex350, Connex500, Objet1000, Alaris, Alaris30, PolyLog, TangoBlack,TangoGray, TangoPlus, TangoBlackPlus, VeroBlue, VeroBlack, VeroBlackPlus, VeroClear, VeroDent,VeroGray, VeroWhite, VeroWhitePlus, Durus, Digital Materials, PolyJet, Polyjet Matrix, Digital ABS and ObjetGreen are trademarks or registered trademarks of Stratasys Ltd. and/or its subsidiaries or affiliates and may be registered in certain jurisdictions. All other trademarks belong to their respective owners. Objet-MaterialBrochures-PolyJetMaterialsDataSheet-Connex3-10-13

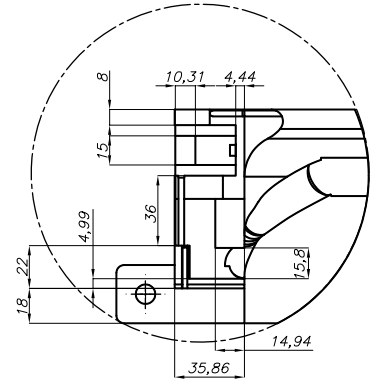
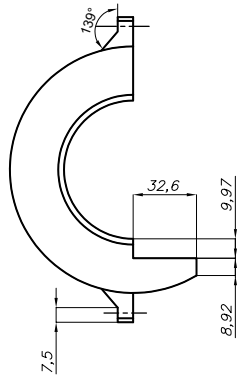
Anexo 5: Planos mecánicos del acople protector del sensor de proximidad



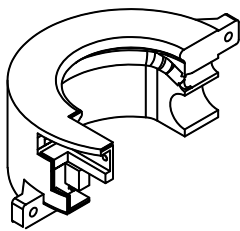
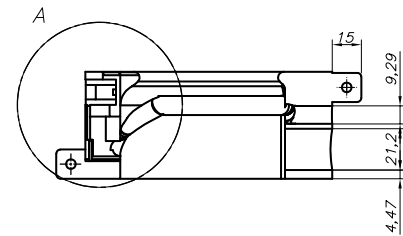
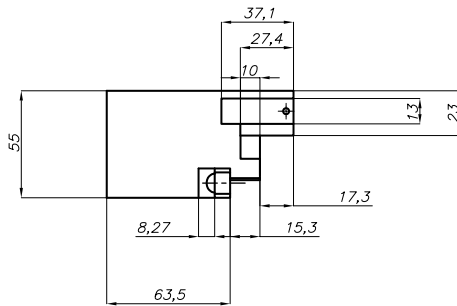
4	Tuerca M5	Resina Verowhite	2		
3	Perno allen M5 25mm	Resina Verowhite	2		
2	Acople protector parte 2	ABS	1		
1	Acople protector parte 1	ABS	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES


Décimo ciclo	Fecha	Nombre	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	29/09/21	Edwin Astudillo	
Comprobado:	01/10/21	Ing. López	
Trabajo de titulación			
Escala: 1:1	Tol. gen.: ISO	Representación de buje y columna	
Lámina: 1	<b>ACOPLE PROTECTOR DEL SENSOR</b>		

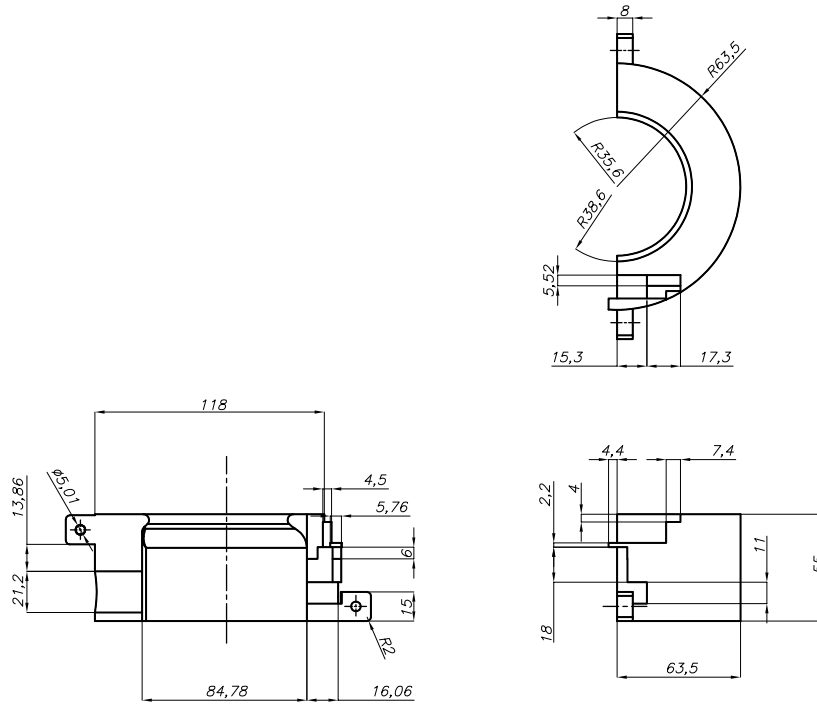
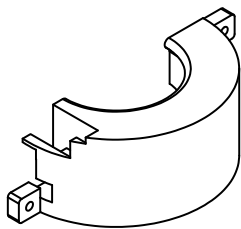




Detalle A  
Escala 2:1



1	Acople protector parte 1	ABS	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado:	29/09/21	Edwin Astudillo			
Comprobado:	01/10/21	Ing. López			
Trabajo de titulación					
Escala: 1:1	Tol. gen.: ISO	Representación de buje y columna			
Lámina: 2	<b>ACOPLE PROTECTOR DEL SENSOR</b>				



N5

2	Acople protector parte 2	ABS	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado:	29/09/21	Edwin Astudillo			
Comprobado:	01/10/21	Ing. López			
Trabajo de titulación		Representación de buje y columna			
Escala: 1:1	Tol. gen.: ISO	<b>ACOPLE PROTECTOR DEL SENSOR</b>			
Lámina: 3					