

**[Ago-Dic,
2019]**



Diego Alejandro Vera Diaz

**REPORTE FINAL PARA ACREDITAR
RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA
CARRERA DE INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA**

**[SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO DE
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDIANTE TECNOLOGÍA IoT MoTeBo®:
CONSUMO ENERGÉTICO DE UNA FRESADORA
CNC UNIVERSAL]**

MoTeBo SAPI DE CV

DR. PAULINO VACAS JACQUES
Asesor externo

DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR
Asesor interno

Diciembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente,

A mi padre, ÁNGEL VERA. Por su inmenso apoyo durante mi preparación universitaria, ya que sin él no hubiera logrado mis metas y objetivos. Por ser mi ejemplo a seguir, por inculcarme y ofrecerme el bonito arte de seguir aprendiendo sin importar la adversidad y circunstancias.

A mi madre, LOURDES DIAZ. Por ser el pilar y la fuerza que necesitaba para alcanzar esta meta. Por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil y haber infundido valores como el respeto y responsabilidad. Por acompañarme siempre en todas las etapas de mi formación académica.

A todos los profesores y tutores que he tenido durante mi vida académica, porque entre todos han formado la base para ser el académico que soy al día de hoy. Entre los profesores, mencionar a mis tutores, DR. PAULINO VACAS JACQUES y DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR, que me ofrecieron la posibilidad de trabajar en este proyecto. En especial para el DR. PAULINO que me oriento de manera clara y concisa sobre las actividades a realizar junto con su excelente equipo de trabajo MoTeBo SAPI.

A el MTRO. VÍCTOR HERRERA, MTRO. JULIO ACEVEDO y MTRO. EDGAR ZACARÍAS, por ser el vínculo y confiar en mis capacidades para lograr este proyecto, por ser excelentes docentes y estar siempre cuando surgían dudas respecto a la realización y alcance del mismo. Por compartir su experiencia con conocimiento y habilidades de trabajo para saber afrontar la carrera universitaria.

A mis compañeros de clase ROLANDO MEZA, CESAR ROMO, JOSUÉ MARTÍNEZ y MAURICIO ORTIZ, por ser amigos en los momentos de incertidumbre. Por compartir su conocimiento y habilidades de trabajo. Por ser una familia dentro y fuera de la Institución educativa.

Al Instituto Tecnológica de Pabellón de Arteaga. Por sus excelentes docentes y gran compromiso por entregar ingenieros preparados.

RESUMEN

“SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA IoT MoTeBo®: CONSUMO ENERGÉTICO DE UNA FRESADORA CNC UNIVERSAL”

Por: **DIEGO ALEJANDRO VERA DÍAZ**

MoTeBo SAPI DE CV es una empresa mexicana dedicada al desarrollo de la innovación textil mediante la adopción de tecnología del internet de las cosas (IoT) y de la tecnología vestible (*Wearable Technology*) Wt donde su centro corporativo se localiza en la ciudad de León, Guanajuato. Como parte de su visión y giro de servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería se propone implementar acciones de innovación tecnológica por medio del traslado de la tecnología IoT a la industria a través de la creación e implementación de un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica con tecnología IoT MoTeBo® para medir el consumo energético que un proceso, equipo, maquinaria o planta completa tiene durante su operación o mientras permanecen en modo de espera “listo para usar” (*stand-by*) y, en tiempo real, registrar los datos obtenidos en la nube, es decir, transferir los datos a través de internet, a un sistema de almacenamiento propiedad de la empresa por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. Lo anterior con el objetivo de detectar en un proceso las potenciales áreas o actividades donde se puede ahorrar energía eléctrica y por ende establecer estudios de calidad de la energía y reducir sus costos de facturación por este concepto. Como referencia, las tarifas de cobro por energía eléctrica entre enero y diciembre de 2018 fluctuaron con incrementos aproximados entre el 74 y el 118%. Esto representa un gasto muy significativo de las empresas y por tanto deben adoptar medidas efectivas de reducción de consumos energéticos.

Dentro de este panorama, MoTeBo establece como meta el medir el consumo de energía eléctrica de equipos de manufactura especializada para validar su tecnología IoT MoTeBo® de registro de datos y comunicación en tiempo real con la nube. Por tanto, se

propone implementar la medición del consumo de energía eléctrica (potencia aparente) en una fresadora CNC universal vertical modelo XK7130A con pos-procesador GSK empleando un medidor multifunción de parámetros de red de la marca y modelo Siemens Sentron PAC 3100 (dispositivo especializado para medir valores de potencia y energía y de magnitudes eléctricas como tensiones y corrientes). Los valores de potencia aparente obtenidos serán comunicados por interfaz con un módulo de comunicación MoTeBo® propiedad de la empresa y de la cual no se describen sus componentes en este trabajo por acuerdos de confidencialidad.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Mecatrónica para diseñar y construir un sistema integral de medición de energía consistente en (i) la instalación y prueba del sistema de monitoreo a través del diseño y fabricación de la infraestructura para conexión a la nube, (ii) cableado de maquinaria a interfaz de control y equipo de medición y (ii) la interfaz de comunicación empleando el módulo de comunicación MoTeBo®. La propuesta de solución consistió en operar el equipo fresadora, observar la lectura de variables de medición con el equipo Sentron y lograr la interfaz con el módulo MoTeBo®.

Se logró diseñar e instalar un sistema de medición con interfaz a una fresadora CNC y se logró la interfaz del equipo Sentron con el módulo MoTeBo®. La variable de estudio empleado fue la potencia aparente.

Esta fuera de alcance del presente proyecto la validación del sistema diseñado.

Dirigido por:

Dr. Paulino Vacas Jacques

Dr. José Alonso Dena Aguilar

Índice General

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente	3
<i>Misión</i>	3
<i>Visión</i>	3
<i>Valores</i>	3
1.2 Problema(s) a resolver.....	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Justificación	5
II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 ENERGÍA ELÉCTRICA: USOS INDUSTRIALES.....	7
2.1.1 Antecedentes	7
2.1.2 Electricidad: en la industria.....	7
2.2 TARIFAS HISTÓRICAS CFE.....	9
2.2.1 Demanda industrial en transmisión	10
2.3 FACTOR DE POTENCIA.....	12
2.3.1 Potencia aparente.....	12
2.4 VARIABLES DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y ENERGÍA.....	14
2.5 INSTALACIONES Y CONEXIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.....	15
2.5.1 Condiciones generales en instalaciones eléctricas industriales	16
2.5.2 Conductores de conexión eléctricos industriales	17
2.6 MEDIDOR MULTIFUNCIÓN SIEMENS SENTRON PAC3100	20
2.6.1 Ejemplos de conexión.....	22
2.7 FRESADORA CNC.....	24
2.7.1 Funcionamiento de la fresadora CNC.....	24
2.8 MODULO DE COMUNICACIÓN MoTeBo® Y PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN MoTeBo®	27

2.9 COMUNICACIÓN MODBUS RTU VÍA INTERFAZ RS485: CENTRO DE CONTROL	28
2.9.1 Descripción del protocolo Modbus RTU	28
2.9.2 RS-232, RS-422 y RS-485	29
2.9.3 Descripción de la interfaz RS-485	29
III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	31
3.1 Construcción del sistema de soporte para el monitoreo integral de medición de energía eléctrica.....	31
3.1.1. Diseño gabinete de control.....	31
3.1.2. Diseño de sujeción para transformadores de corriente y SENTRON PAC3100.....	32
3.1.3. Instalación de gabinete eléctrico y conexión para Sentron PAC3100	34
3.1.4 Instalación conexión estrella y delta	36
3.1.5 Cableado	37
3.2 Interfaz de comunicación	38
3.2.1 Cableado conexión Modbus RTU vía interfaz RS-485 del SENTRUN PAC3100	38
3.2.2 Lectura de datos del dispositivo SENTRON PAC3100 vía RS-485.....	40
3.2.3 Desarrollo STM32 (ATOLLIC) y toma de datos con la placa de desarrollo P-L496G-CELL02 STM32	42
3.2.4 Interfaz de comunicación con módulo de comunicación MoTeBo®	44
3.3 Cronograma de actividades	45
IV. RESULTADOS	46
4.1 Construcción del sistema de soporte para el monitoreo integral de medición de energía eléctrica.....	46
4.1.1. Diseño de gabinete de control	46
4.1.2. Instalación de gabinete eléctrico y conexión para Sentron PAC3100.	51
4.2 Interfaz de comunicación.	56
4.2.1 Cableado conexión Modbus RTU vía interfaz RS-485 del SENTRUN PAC3100.	56
4.2.2 Lectura de datos del dispositivo SENTRUN PAC3100 vía RS-485.	58

4.3 Registro preliminar de datos empleando el módulo de comunicación MoTeBo®	63
V. CONCLUSIONES	67
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	68
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	69
Fuentes revista.....	69
Fuentes de internet	69
ANEXO 1.....	72
Planos con medidas y dimensiones de diseño del gabinete eléctrico, soporte de transformadores y soporte del Sentron PAC3100.....	72
ANEXO 2.....	77
Código de implementación para la comunicación Modbus Master vía interfaz RS-485 utilizando el entorno de desarrollo Arduino.	77
ANEXO 3.....	79
Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.	79
ANEXO 4.....	80
Carta de conclusión por parte de la empresa para la residencia profesional.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	5
Figura 2. Tasa media de crecimiento anual 2005 -2018.....	8
Figura 3. Capacidad instalada en Mexico.....	8
Figura 4. Triangulo de potencias en alterna.	13
Figura 5. Subestación eléctrica tipo compacta dentro de una industria.....	15
Figura 6. Subestación perfectamente instalada con su conexión eléctrica con su correcto enrutamiento.	16
Figura 7. Características de placa para la instalación de motores en corriente continua y corriente alterna.	19
Figura 8. Medidor multifunción Siemens Sentron PAC3100.....	21
Figura 9. Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.	23
Figura 10. Tipo de conexión 3P3W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.	23
Figura 11. Esquema de una fresadora típica.....	25
Figura 12. Componentes básicos de una fresadora CNC.	26
Figura 13. Esquema básico de conexión de la interfaz RS-485.	30
Figura 14. Esquema de conexiones: Topología RS 485 general.	30
Figura 15. Gabinete (caja) eléctrico segmentado utilizando la herramienta chapa metálica.....	32
Figura 16. Diseño final soporte para transformadores de corriente.....	33
Figura 17. Perforaciones de diseño del SENTRON PAC 3100.	34
Figura 18. Diseño final soporte SENTRON PAC 3100.....	34
Figura 19. Área destinada para la instalación del Sistema de monitoreo.	35
Figura 20. Identificación del arreglo Delta y Estrella.....	36
Figura 21. Ilustración del arreglo sugerido a utilizar (estrella).	36
Figura 22. Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.	37
Figura 23. Conexionado de los cables en los bornes de tornillo.	37
Figura 24. Especificaciones bases para conexión RS-485.....	38
Figura 25. Cable par trenzado RJ45.....	39

Figura 26. Cierre del bus con una resistencia externa.	39
Figura 27. Conversor USB a RS-485	40
Figura 28. Shield Arduino para RS-485.....	40
Figura 29. Configuración de conexión RS-485 a Shield Arduino.....	42
Figura 30. Interfaz del programa a utilizar.	43
Figura 31. Monitor serial Placa L496G-CELL02 STM32.....	43
Figura 32. Archivos necesarios para el envío de datos.	44
Figura 33. Correcto funcionamiento del proyecto.	44
Figura 34. Máquina de plasma LINCOLN ELECTRIC 4400.	46
Figura 35. Diseño de la base con respectivas perforaciones para sujeción.	47
Figura 36. Laterales del gabinete eléctrico con entrada o salida de cableado. .	47
Figura 37. Tapadera del sistema eléctrico.....	47
Figura 38. Eliminación de rebaba y filo.....	48
Figura 39. Máquina utilizada para doblar y pieza doblada.	48
Figura 40. Perforación y colocación de remache para el gabinete eléctrico.....	49
Figura 41. Soldadora y puntos de unión de micro-alambre.	49
Figura 42. Instalación de bisagras para el sistema de apertura del gabinete....	50
Figura 43. Resultado final del gabinete eléctrico con Sentron PAC 3100.	50
Figura 44. Instalación del gabinete de control a la pared.	51
Figura 45. Coplee, Manguera y Codo para el paso de cableado eléctrico.	52
Figura 46. Sentron PAC3100 con sistema de fijación al gabinete eléctrico.....	52
Figura 47. Acceso al registro eléctrico e interruptor termomagnético.....	53
Figura 48. Cableado por entrada A del Gabinete eléctrico.....	53
Figura 49. Cableado por transformadores y retorno de cables por salida B.....	54
Figura 50. Borne estándar para realizar las conexiones.	54
Figura 51. Conexión estrella de transformadores de corriente a Sentron PAC 3100.	55
Figura 52. Conexión porta-fusibles del bloque X2 (Sentron PAC 3100).....	55
Figura 53. Conexión de resistencia a los bornes y cable RJ45 a los bornes A y B.	56
Figura 54. Ponchado de los cables de señal Rs-485.	57

Figura 55. Coplee RJ45 tipo Hembra-Hembra.	57
Figura 56. Ponchado de cable para coplee de la parte inferior.	58
Figura 57. Conexión de la interfaz vía RS-485.	58
Figura 58. Configuración de lectura vía RS-485.	59
Figura 59. Dirección ID y función que se desea ejecutar.	59
Figura 60. Resultados de lectura Vía RS-485.	60
Figura 61. Conexión RS-485 utilizando la Shield Xbee V5.	60
Figura 62. Datos obtenidos con el monitor serial de Arduino con maquina apagada.	61
Figura 63. Lectura de corrientes cuando la maquina está encendida.	61
Figura 64. Códigos de función para acceder a los registros.	62
Figura 65. Selección de placa de desarrollo adecuada.	63
Figura 66. Conexión de la Shield a la placa de desarrollo L496G.	63
Figura 67. Área de configuración del microprocesador de la placa de desarrollo L496G.	64
Figura 68. Limpieza de los pines configurados.	64
Figura 69. Configuración de pines necesarios para interfaz RS-485.	65
Figura 70. Configuración necesaria para entrono Atollic.	65
Figura 71. Carpeta y declaración de librerías necesarias.	66
Figura 72. Inclusión de códigos generados para la comunicación RS-485.	66
Figura 73. Medidas de la pieza “base” del gabinete eléctrico.	72
Figura 74. Medidas de la pieza “lateral” del gabinete eléctrico.	73
Figura 75. Medidas de la pieza “tapadera” del gabinete eléctrico.	74
Figura 76. Medidas de la pieza “porta transformador de corriente” del gabinete eléctrico.	75
Figura 77. Medidas de la pieza “soporte Sentron PAC3100” del gabinete eléctrico.	76
Figura 78. Carta aceptación residencias profesionales.	79
Figura 79. Carta conclusión residencias profesionales.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Histórico de precio y el cambio anual por concepto de las tarifas GDMTH (HM) desde el año 2017	10
Tabla 2. Visualización de magnitudes medidas en función del tipo de conexión.	22
Tabla 3. Identificación y acción realizada por los registros.	28
Tabla 4. Identificación y acción realizada por los registros.	29
Tabla 5. Escritura de telegrama emitida	41
Tabla 6. Códigos de función admitidos	41

I. INTRODUCCIÓN

MoTeBo SAPI DE CV es una empresa mexicana dedicada al desarrollo de la innovación textil mediante la adopción de tecnología del internet de las cosas (IoT) y de la tecnología vestible (*Wearable Technology*) Wt para la fabricación de prendas de vestir inteligentes que a través de sensores recaban datos diversos de utilidad para el usuario industrial o de servicios, por ejemplo, geolocalización de personal de trabajo de campo en puntos aislados o monitoreo de signos vitales. Su centro corporativo se localiza en la ciudad de León, Guanajuato, cuenta con una planta en la ciudad de Tijuana, Baja California y mantiene relaciones comerciales en el extranjero, principalmente en Estados Unidos y Francia.

Como parte de su visión y giro de servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería se propone implementar acciones de innovación tecnológica por medio del traslado de la tecnología IoT a la industria a través de la creación e implementación de un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica con tecnología IoT MoTeBo® para medir el consumo energético que un proceso, equipo, maquinaria o planta completa tiene durante su operación o mientras permanecen en modo de espera “listo para usar” (*stand-by*) y, en tiempo real, registrar los datos obtenidos en la nube, es decir, transferir los datos a través de internet, a un sistema de almacenamiento propiedad de la empresa por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. Lo anterior con el objetivo de detectar en un proceso las potenciales áreas o actividades donde se puede ahorrar energía eléctrica y por ende establecer estudios de calidad de la energía y reducir sus costos de facturación por este concepto. Como referencia, en el centro del país (zona bajío) se consume energía en tarifa Gran Demanda en Media Tensión Horario (GDMTH) donde en enero de 2018, los industriales pagaban a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en horario intermedio de 6:00 a 20:00 horas \$0.9493 pesos MXN por KWhr de consumo, para septiembre de 2018 dicho pago fue de \$2.0768, esto es, un incremento de precio de aproximadamente 118%. Para diciembre de 2018, el costo fue de \$1.6508, gracias a subsidios de gobierno, pero aun así representa un aumento de cerca del 74% respecto al precio de referencia de enero 2018. Esto representa un gasto muy significativo de las

empresas y por tanto deben adoptar medidas efectivas de reducción de consumos energéticos.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue instalar un equipo de medición del consumo de energía eléctrica de una fresadora CNC universal vertical modelo XK7130A con pos-procesador GSK empleando un medidor multifunción de parámetros de red de la marca y modelo Siemens Sentron PAC 3100 para medir valores de potencia y energía y de magnitudes eléctricas como variables de medición de voltaje, corriente, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, potencial total aparente, potencia total activa, potencia total reactiva, factor total de potencia, frecuencia de línea, energía activa, energía reactiva, potencia activa acumulada y/o potencia reactiva acumulada. El sistema de medición tiene integrado un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. El proyecto se realiza dentro de las instalaciones del taller de manufactura del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga, bajo convenio de colaboración tecnológica.

En particular, se aplicarán técnicas y metodologías de la Mecatrónica para diseñar y construir un sistema integral de medición de energía consistente en (i) la instalación y prueba del sistema de monitoreo a través del diseño y fabricación de la infraestructura para conexión a la nube, (ii) cableado de maquinaria a interfaz de control y equipo de medición y (ii) la interfaz de comunicación empleando el módulo de comunicación MoTeBo®.

La presente propuesta permitió operar el equipo fresadora sin carga de trabajo, registrar variables de potencia aparente el equipo Sentron y lograr la interfaz con el módulo MoTeBo®.

Se lograron obtener valores de potencia aparente y la interfaz con el módulo MoTeBo®.

Esta fuera de alcance del presente proyecto validar el funcionamiento del equipo construido con cargas reales de trabajo.

Este trabajo es parte de un proyecto global de medición de consumos energéticos para demás equipos de manufactura especializada y/o procesos reales. Por lo que este estudio se complementa con otro reporte similar de consumo energético realizado en el

Instituto colaborador que servirá de base para establecer demás trabajo a futuro propio de la empresa y fuera del alcance del presente proyecto.

1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la empresa es de servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería prestados por el sector privado.

Sus políticas de misión, visión, objetivos y valores de la institución son:

Misión

Proveer soluciones sobresalientes del Internet de las Cosas, IoT (*Internet of Things*), y de Tecnología Vestible, WT (*Wearable Technology*), que ofrezcan funcionalidad sin precedentes a nuestra vida diaria; mediante la creación de un número infinito de productos de consumo y creando soluciones innovadoras con tecnología propietaria de IoT y WT

Visión

Mejorar vidas, conectando el mundo.

Valores

- Perseverancia
- Excelencia
- Confianza
- Sabiduría

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al diseño, construcción y puesta en operación del sistema integral de medición energética en una fresadora CNC.

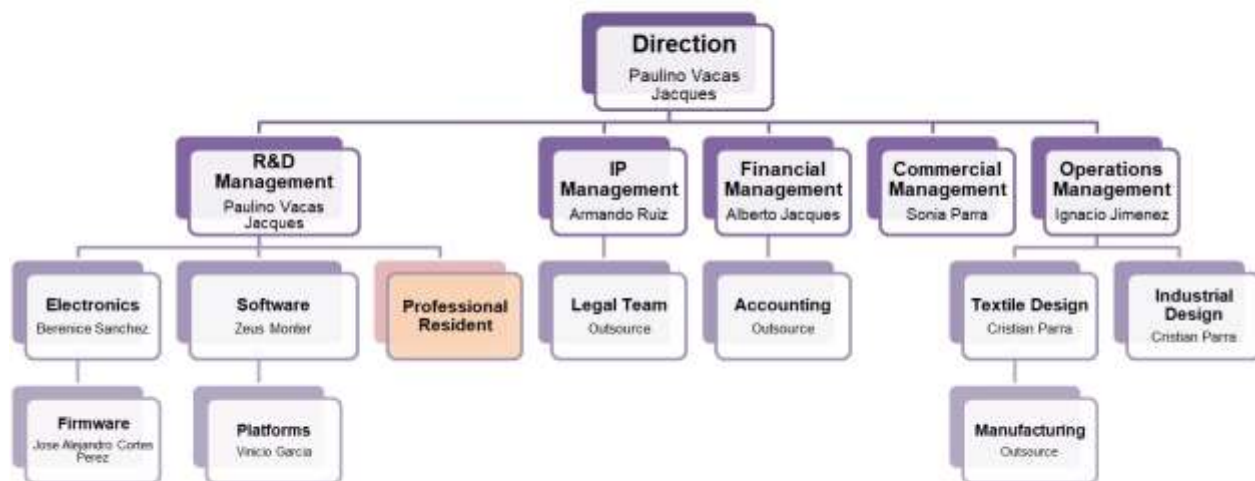


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.2 Problema(s) a resolver

Las tarifas de la energía eléctrica en México, propiamente de la CFE, en el año 2018, sufrieron incrementos hasta de más del 100% lo que represento, para el sector industrial y otros sectores, un gasto económico muy significativo en sus operaciones financieras orillando a adoptar medidas extremas de ahorro de consumo energético como, por ejemplo, dejar de operar en ciertos horarios del día o dejar de suministrar el servicio de suministro de agua potable en comunidades.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1.- Sistema integral de medición de energía

- Realizar mediciones cuantitativas de consumos energéticos en un equipo de manufactura especializada de alto consumo de electricidad.
- Determinar el factor de potencia del equipo empleado para determinar acciones de reducción de consumos energéticos.

2.- Sistema de monitoreo de consumos energéticos

- Instalación del equipo de medición multifunción de parámetros de red.
- Cableado y conexión eléctrica (interfaz) maquina-medidor.
- Mediciones experimentales (base de datos).
- Adaptación de módulo de comunicación MoTeBo®.

El sistema integral de medición, mediante un dispositivo medidor multifunción de parámetros de red, asegura que se tengan registros en tiempo real de la energía eléctrica que se consume durante su operación o en modo de espera.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica mediante la puesta en prueba de la *Tecnología IoT MoTeBo®* en la operación de una fresadora CNC universal vertical modelo XK7130A con pos-procesador GSK para registrar potencia aparente e interfaz con un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®.

1.3.2 Objetivos específicos

- Construir el sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica mediante la adaptación de un medidor multifunción de parámetros de red a una fresadora CNC para el registro de potencia aparente.
- Adaptar y lograr la interfaz de comunicación a la nube mediante la conectividad del medidor multifunción y el módulo de comunicación MoTeBo®.

1.4 Justificación

Para el 2017, el consumo de energía eléctrica de la Industria fue de más de 1800 peta-joules. Donde la tendencia, desde el año 2015, ha sido en aumento, por lo que se espera que en 2019 la tendencia de demanda de energía eléctrica en la Industria continúe incrementándose.

Para septiembre de 2019, la tarifa eléctrica que aplicó la CFE para una tarifa GDMTH para el Bajío fue de \$1.6612 kWh, siendo alrededor del 75% de incremento en relación a la tarifa de enero de 2018. Lo anterior significa que durante 2018 y lo que va de 2019, las industrias han tenido que adoptar medidas de ahorro de consumo de energía eléctrica significantes para no ver mermadas sus utilidades o rendimientos en la facturación de energía eléctrica mal aprovechada. Sobre todo, dentro de sus procesos de producción principales.

Dentro de este panorama un sistema integral de medición de energía eléctrica instalado en diversas áreas o maquinarias permitiría detectar donde se tienen consumos excesivos que no corresponden a una operación normal y que por ende genera fugas de energía que no son bien aprovechadas pero que si son totalmente facturables por la CFE. Detectar estas pérdidas de energía eléctrica en la Industria contribuye a amortiguar el gasto económico que el incremento de tarifas de energía le generará y por ende disminuir sus costos de facturación de energía eléctrica. Adicionalmente, el sistema de medición puede coadyuvar a mejorar sus procesos de producción. Además, el implementar tecnología IoT a este sistema integral de medición de energía eléctrica permitirá al usuario detectar al momento los consumos energéticos en tiempo real e implementar acciones correctivas al momento.

En este proyecto se contempla, como una de estas acciones, la implementación de un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica con tecnología IoT MoTeBo® por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. El estudio se enfocó a la operación de una fresadora CNC. Esta fuera de alcance del presente proyecto la validación del sistema construido.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ENERGÍA ELÉCTRICA: USOS INDUSTRIALES

2.1.1 Antecedentes

En 1899, la capacidad instalada para generar energía eléctrica en México era de 31 039 kW (kilowatts) en industrias textiles y mineras, todas de inversión privada. Las concesiones para su instalación fueron otorgadas por autoridades federales, estatales y municipales. En el periodo comprendido de 1897 a 1911 se organizaron más de cien empresas eléctricas (EE) con tecnologías diversas, diferentes frecuencias de generación, voltaje, en corriente alterna y directa. La mayoría eran plantas aisladas para industrias, alumbrado público y pocos servicios domésticos. La primera expansión de la industria eléctrica siguió el mismo patrón caótico que en otros países: multitud de permisos a diversas empresas. La consolidación se forzó con la compra de los competidores con buena fe o con amenazas, disminución de precios de venta o corrupción. En 1925, el crecimiento de la electricidad fue de 31 a 390 MW. El 14 de agosto de 1937, el Ejecutivo Federal creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Debido a que a finales de los años treinta seguían existiendo demasiadas empresas privadas eléctricas.¹

2.1.2 Electricidad: en la industria

La industria consume energía eléctrica y puede utilizar cualquier tipo disponible en el mercado: obtenida por hidrocarburos o energías limpias. Por ejemplo, puede utilizar algún combustible que al utilizarse en un motor que alimenta un generador puede producir electricidad o por ejemplo emplear carbón para su quema y generar energía mecánica para mover turbinas.²

En particular, la industria eléctrica (generación, transmisión y distribución de energía eléctrica) es el único sector industrial que aumentó su participación en el PIB (Producto Interno Bruto) nacional de forma continua debido a la alta demanda de energía eléctrica que exige la industria de servicios, del transporte, de la construcción, entre otros, ver Figura 2.³ Se presentan demandas de consumo energético por sector.

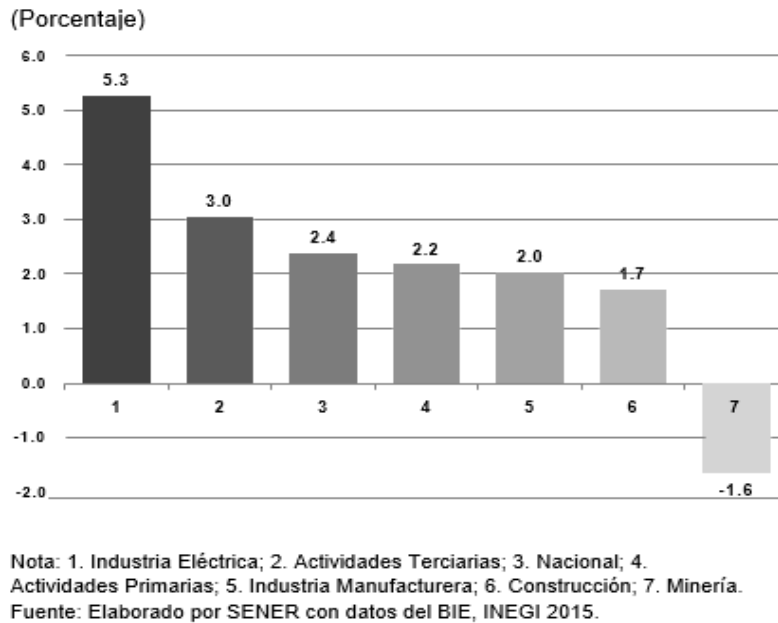


Figura 2. Tasa media de crecimiento anual 2005 -2018.

La capacidad instalada que tiene México en la presente década, en porcentaje de participación por tecnología, está distribuida de la siguiente manera: Termoeléctricas, 45.1%; Hidro-eléctricas, 21.9%; Carbo-eléctricas, 5.1%; Nucleo-eléctrica, 2.7%; Geotermo-eléctricas, 1.7%; Eolo-eléctricas, 0.2%, y el 23.3% restante corresponde a centrales Termo-eléctricas construidas con capital privado por productores independientes de energía (PIE's), como se puede apreciar en la Figura 3.⁴

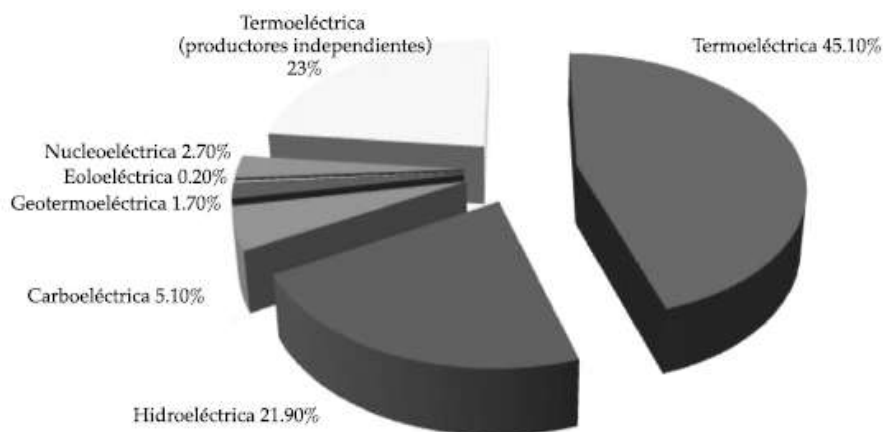


Figura 3. Capacidad instalada en Mexico.

2.2 TARIFAS HISTÓRICAS CFE

Actualmente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una Empresa Productiva del Estado, propiedad exclusiva del Gobierno Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que goza de autonomía técnica, operativa y de gestión, conforme a lo dispuesto en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.⁵ El hecho de que la energía eléctrica no puede ser almacenada, y por lo tanto debe ser generada y suministrada en el mismo instante que se demanda, causa que la determinación de las tarifas eléctricas sea un ejercicio de naturaleza compleja. El costo por suministrar electricidad depende de muchos factores, incluyendo la cantidad de electricidad generada, los combustibles y tecnologías utilizadas, los factores de carga, la capacidad de las líneas de transmisión y distribución, los niveles de voltaje demandados, así como la ubicación de la demanda. La asignación de este costo entre los diferentes tipos de consumidores debe buscar condiciones de equidad, lo cual puede lograrse en la medida que a cada tipo de consumidor se carguen los costos marginales que su demanda impone al sistema.⁶

Hay disponibles varios métodos para fijar las tarifas eléctricas. En general, éstos pueden agruparse en 2 categorías: (i) el enfoque contable, y (ii) el enfoque basado en la teoría económica. Para el primero, la recuperación del costo de la electricidad es de suma importancia, mientras que la administración de la demanda no resulta primordial. Bajo el segundo enfoque, se da prioridad a la utilización eficiente de los recursos, generando señales para el manejo eficiente de la demanda de energía, sobre todo en el largo plazo. Estas señales se fundamentan en cargar a los diferentes usuarios el costo que impone al sistema eléctrico la satisfacción de la energía demandada. El enfoque contable se basa en la recuperación del costo de suministrar la electricidad, más una tasa específica de retorno a la inversión, de tal modo que los precios generen un valor presente neto positivo de flujos de efectivo descontados en un escenario de planeación determinado, con los que se atenderán las expansiones futuras de la red eléctrica. El enfoque económico basado en la determinación del Costo Marginal de Largo Plazo (CMLP), ha ido ganando importancia en los países industrializados, además de que instituciones como el Banco Mundial han favorecido su implantación al utilizar criterios de eficiencia económica. El enfoque del cálculo del CMLP permite transmitir a los consumidores de energía los costos

económicos reales de satisfacer sus necesidades, de manera tal que oferta y demanda coincidan en términos de eficiencia económica.⁷

A diferencia de los cobros por kilowatt hora (kWh), los de demanda (kW), representados por los conceptos de Distribución y Capacidad, tienen un incremento anual un poco más constante por lo que pueden ser más predecibles, ver Tabla 1.

Tabla 1. Histórico de precio y el cambio anual por concepto de las tarifas GDMTH (HM) desde el año 2017.

Historico					
Periodo	Max kW	Consumo	FP	FC	Precio Medio
sep-17	34	9895	99.94	40	\$ 1.8170
oct-17	35	8030	99.95	34	\$ 1.9020
oct-17	19	766	99.99	55	\$ 1.6180
nov-17	26	6575	99.99	35	\$ 2.0825
dic-17	25	6340	100	34	\$ 2.2609
ene-18	19	4804	100	34	\$ 1.7212
feb-18	26	6649	99.99	38	\$ 1.8289
mar-18	28	7216	99.99	35	\$ 1.9580
abr-18	32	8838	99.97	38	\$ -
may-18	33	9196	99.98	37	\$ 2.2362
jun-18	32	10609	99.97	46	\$ 2.4332
jul-18	43	11671	99.95	36	\$ 2.6781
ago-18	33	9765	99.98	40	\$ 3.0518
sep-18	24	9726	99.99	47	\$ 3.3807

2.2.1 Demanda industrial en transmisión

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel transmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

Demanda contratada

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de

la subestación del usuario, sólo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

Horario

Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo, a excepción de la fracción IX, así como los que se establezcan por Acuerdo Presidencial.

Cargo por Capacidad

La demanda máxima a la que se deberá aplicar los cargos por capacidad expresados en \$/kW-mes, será la mínima entre los valores que se definen mediante la siguiente formula:

$$\min \left\{ D_{\max_{punta}}, \left[\frac{Q_{\text{mensual}}}{24 * d * F.C.} \right] \right\} \quad (1)$$

Donde $D_{\max_{punta}}$ es la demanda máxima coincidente con el periodo horario de punta medida en kilowatts, Q_{Mensual} es el consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh, d días del periodo de facturación y el $F.C.$ es el factor de carga correspondiente del apartado 3.3.1 del Anexo Único del Acuerdo A/064/2018.

Para el caso de que no haya periodo de punta y los usuarios suministrados en baja y media tensión cuya demanda no se mide, se utilizará la siguiente fórmula:

$$Demanda = \left\{ \left[\frac{Q_{\text{mensual}}}{24 * d * F.C.} \right] \right\} \quad (2)$$

Donde Q_{mensual} es el consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh, d días del periodo de facturación y el $F.C.$ es el factor de carga correspondiente del apartado 3.3.1 del Anexo Único del Acuerdo A/064/2018.⁸

2.3 FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia (FP) es la relación entre la potencia activa (P_a) usada en un circuito, expresada en kilovatios (KW), y la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en kilovoltio-amperios (KVA). Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de Potencia activa se sume el de una potencia llamada reactiva (Q), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de los equipos y motores empleados en la industria.

La Q , la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable, los requerimientos de Q también se hacen significativos, lo cual produce una disminución del FP. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de un gran número de motores, presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado, mala planificación y operación en el sistema eléctrico y un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

El hecho de que exista un bajo FP en la industria produce los siguientes inconvenientes para el usuario: aumento de la intensidad de corriente, caídas de tensión, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores y sobretodo aumentos en sus facturas por consumo de electricidad.⁹

2.3.1 Potencia aparente

Representada comúnmente por la letra S , también es llamada Potencia Eléctrica Total, la cual es utilizada en un sistema eléctrico por una instalación industrial o comercial de corriente alterna y tiene dos componentes:

- **Potencia Activa** que produce trabajo y se mide en KW.
- **Potencia Reactiva.** Esta potencia es la utilizada para genera los campos magnéticos requeridos por los aparatos eléctricos.

Como vemos en un receptor en corriente alterna tenemos 3 potencias diferentes, pero relacionadas entre sí. La potencia aparente o total es la suma vectorial de la potencia activa y la reactiva. Se suelen representar mediante el llamado triángulo de potencias, ver Figura 4.

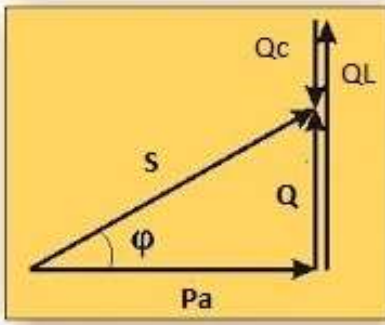


Figura 4. Triángulo de potencias en alterna.

Donde S representa la Potencia Aparente, la Pa es la Potencia Activa y la Q es la Potencia Reactiva. De las 3 solo se transforma en trabajo útil la Pa. La S o aparente es la que consume en total el receptor, y la Q será las pérdidas de potencia que tenga.¹⁰

2.4 VARIABLES DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y ENERGÍA

Se establece una serie de variables para el cálculo del uso de energía por un dispositivo eléctrico o una colección de dispositivos o determinar la energía necesaria para alimentar un componente o aparato durante un período de tiempo determinado, es decir, determinar la energía utilizada por un circuito o componente en un tiempo integral de la energía eléctrica.

Potencia

La potencia es la velocidad a la que se realiza el trabajo, o la velocidad a la que se consume o produce energía, y se mide en vatios (W), en otras palabras, es la potencia eléctrica producida por una corriente eléctrica cada determinado periodo de tiempo.

Energía

En cualquier intervalo de tiempo dado, la energía eléctrica consumida (o proporcionada, dependiendo de su perspectiva) se puede relacionar con la energía total consumida con el poder integrando con el tiempo, es decir es una relación de potencia y tiempo.

Unidades

El concepto de consumo de energía eléctrica se relaciona al consumo de kilovatios-hora por mes como unidad de medida convencional.¹¹

2.5 INSTALACIONES Y CONEXIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

La acometida eléctrica de las instalaciones eléctricas industriales puede ser de media, alta o baja tensión. Las instalaciones eléctricas industriales tienen una gran relevancia ya que un diseño inadecuado puede provocar desde el paro temporal de las operaciones de la empresa hasta accidentes y daños materiales de consideración que pueden dejar a la empresa fuera de servicio como por ejemplo conatos de incendio. Por lo anterior las instalaciones eléctricas industriales se encuentran estrictamente reguladas y las normas que las cubren abarcan toda la gama de opciones de instalaciones eléctricas industriales en media tensión o en baja tensión bajo la NOM-001-SEDE 2012.¹²

El componente distintivo de las instalaciones eléctricas industriales es la subestación eléctrica y es la instalación que recibe de manera segura la energía proveniente de la red de suministro y la transforma y distribuye en los diferentes niveles de tensión que se requieran en la instalación eléctrica industrial. Además, existen una gran variedad de protecciones que deben ser incluidas en las instalaciones eléctricas industriales como son interruptores termo magnéticos, interruptores electromagnéticos, fusibles, apartar rayos, etc., que tiene como misión proteger de manera escalonada o coordinada la instalación eléctrica industrial. Para hacer una instalación eléctrica industrial, se tienen que tomar en cuenta desde un principio, la totalidad de los circuitos de fuerza, de iluminación y de sistemas especiales tanto en nuevas construcciones como remodelaciones, que contenga todas las condiciones técnicas y garantías de seguridad. En la Figura 5 y 6 se presentan ejemplos de subestaciones eléctricas compactas industriales.¹³



Figura 5. Subestación eléctrica tipo compacta dentro de una industria.



Figura 6. Subestación perfectamente instalada con su conexión eléctrica con su correcto enrutamiento.

2.5.1 Condiciones generales en instalaciones eléctricas industriales

Todas las instalaciones eléctricas, tienen que estar correctamente protegidas contra efectos peligrosos térmicos y dinámicos, que se puedan producir como consecuencia de corrientes de cortocircuito, y las de sobrecarga, cuando éstas puedan producir averías y daños tanto en las citadas instalaciones eléctricas, como en maquinaria o equipos y motores.

Motores y maquinaria para instalaciones industriales

Las instalaciones de motores deben de realizarse conforme a las normas vigentes, y cumpliendo la normativa específica de ubicación y emplazamiento. En materia de ubicación de cada motor, deberán guardar la distancia necesaria para evitar que puedan causar accidentes por proximidad entre ellos al entrar en funcionamiento. La maquinaria deberá situarse lejos de un posible contacto con materiales, o elementos inflamables.¹⁴

2.5.2 Conductores de conexión eléctricos industriales

Los conductores de conexión en las instalaciones eléctricas industriales, deberán tener una sección mínima en función de la cantidad de motores instalados, con objeto de evitar calentamientos excesivos, siguiendo los siguientes criterios:

1. Si hay un solo motor, los conductores se dimensionarán a una intensidad de 125% de la intensidad a carga completa del motor.
2. Si se trata de motores de rotor devanado, en la conexión eléctrica de estos con el interruptor o dispositivo de arranque, los conductores tienen que estar igualmente dimensionados para el 125% de la intensidad a plena carga del rotor.
3. En motores de rotor para servicio intermitente, dependiendo del tiempo continuado de funcionamiento, la conexión eléctrica de estos al dispositivo de arranque podrá disminuirse la sección, pero nunca podrá ser inferior al 85% de la intensidad a plena carga en el rotor.
4. En conexiones eléctricas de conductores que alimentan a varios motores, el criterio será que los conductores estén dimensionados para una intensidad igual a la suma del 125% de la intensidad a plena carga del que tenga más potencia más la intensidad a plena carga del resto de motores.

Protección contra sobre-intensidades

Los motores y maquinaria deben estar protegidos en todas sus fases, contra sobrecargas y cortocircuitos. En los motores trifásicos se deben montar los elementos de protección de la instalación eléctrica, que eviten los riesgos por falta de tensión en alguna de sus fases. Hay que asegurar también la protección independiente para los motores con arrancadores en estrella y triángulo, con protecciones específicas para sus respectivas conexiones eléctricas, y en función de las características específicas de los fabricantes de los motores y condiciones de servicio previstas.

Protección contra la falta de tensión

En las instalaciones eléctricas en industrias, siempre se deberá prever la falta de tensión, en condiciones en que el arranque del motor tras la caída de tensión pueda provocar cualquier accidente o incluso perjudicar al motor, protegiendo cada uno

mediante un dispositivo de corte automático de corriente. El dispositivo protector por falta de tensión, puede colocarse dentro de la instalación eléctrica, formando parte de la protección para sobrecargas o arranque. El protector de falta de tensión, puede ser común a varios motores en la instalación eléctrica, si se cumplen las siguientes condiciones:

- Cuando la suma de potencia de todos los motores no sea superior a 10 kilovatios, y todos los motores o máquinas se encuentren en un mismo local.
- Cuando todos los motores instalados en un mismo local, y cada uno de ellos vuelvan al estado inicial de arranque tras la caída de tensión.
- En los casos en que los motores arranquen automáticamente en las condiciones preestablecidas, no se exigirá dispositivo de protección contra la falta de tensión, siempre que quede totalmente excluido un posible accidente por arranque espontáneo.
- Para que los motores que tengan que llevar limitadores de potencia absorbida en el arranque queden incluidos en la excepción anterior, tienen que volver de forma automática a la posición de inicio o arranque si se ha producido una parada del motor por falta de tensión.

Sobre intensidades de arranque

Los motores, tienen que estar limitados en su intensidad de arranque cuando ello pueda producir efectos que perjudiquen a la instalación eléctrica, u ocasionen perturbaciones inaceptables al funcionamiento de otras instalaciones o receptores. Si la alimentación de la instalación eléctrica a los motores se va a realizar desde una red de distribución pública, habrá que contar con la autorización de la empresa que realiza el suministro en los siguientes casos:

- Motores de arranque lento en carga y motores de gran inercia.
- Motores de arranque o aumento de carga frecuente o repetida.
- Motores para inversión de marcha, y motores para frenado.

En las instalaciones eléctricas industriales, todos los motores con potencias superiores a 0,75 kilovatios, tienen que disponer de reóstatos de arranque, que permitan

que la relación entre la corriente de arranque y la de marcha normal a plena carga, en función de las características indicadas en su placa, sean superiores a las que a continuación se especifican en la Figura 7.¹⁵

MOTORES CORRIENTE CONTINUA

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR	Constante máxima de proporcionalidad entre intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga.
De 0,75 kW a 1,5 kW	2,5
De 1,05 kW a 5,0 kW	2,0
De más de 5,0 kW	1,5

MOTORES CORRIENTE ALTERNA

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR	Constante máxima de proporcionalidad entre intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga.
De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5,0 kW	3,0
De 5,0 kW a 15,0 kW	2,0
De más de 15,0 kW	1,5

Figura 7. Características de placa para la instalación de motores en corriente continua y corriente alterna.

2.6 MEDIDOR MULTIFUNCIÓN SIEMENS SENTRON PAC3100

Es un dispositivo multidisciplinario de medición y visualización de parámetros de red / contador de energía activa y reactiva / interfaz RS-485 / IP 65 en la parte frontal / simple instalación y puesta en marcha. El SENTRON PAC3100 es un compacto potente dispositivo de monitoreo de energía adecuado para uso en industrial, gobierno y comerciales aplicaciones, donde la medición básica y la energía Se requiere monitoreo. El medidor puede ser utilizado como un dispositivo autónomo que supervisa veinticinco parámetros o como parte de una industria control, automatización de edificios o potencia global sistema de monitoreo. Las aplicaciones de medición y supervisión van desde simples medidores analógicos de voltios y amplificadores hasta instalaciones independientes de subfacturación o asignación costo.¹⁶

El PAC3100 tiene muchas características que no suelen encontrarse en esta clase de medidores. Una pantalla gráfica grande admite varios idiomas y menús fáciles de usar que se pueden utilizar para configurar el medidor, así como un programa basado en PC, SENTRON PowerConfig, que se puede utilizar para pre-configurar una o varias unidades. El medidor también ha incorporado comunicaciones Modbus RTU a través de una interfaz RS485. El medidor viene estándar con dos entradas y salidas digitales. Una salida es adecuada para la salida de pulsos para exportar/importar energía real y reactiva. La otra salida se puede controlar desde una externa mediante un registro Modbus. El PAC3100 cumple o supera la norma ANSI C12.16 (1%) especificación para los medidores industriales. El SENTRON PAC3100 proporciona comunicaciones abiertas mediante Modbus RTU y E/S digital es fácil integrarse en cualquier sistema de monitoreo local o remoto para indicar valores y status. La configuración simple del medidor se puede hacer desde la pantalla frontal o mediante el uso de un PC con SENTRON PowerConfig software de configuración, suministrado con el medidor. El SENTRON PAC3100 también se puede utilizar para apoyar la certificación LEED (sigla de *Leadership in Energy & Environmental Design*¹⁷) y proporcionar los datos de medición de energía necesarios para los programas de reducción de energía del gobierno federal o local. En la Figura 8 se presenta una imagen del equipo SENTRON PAC3100



Figura 8. Medidor multifunción Siemens Sentron PAC3100.

En la Tabla 2 se muestran las magnitudes que pueden medirse por el equipo SENTRON PAC3100 en función del tipo de conexión.

Tabla 2. Visualización de magnitudes medidas en función del tipo de conexión.

Magnitud medida	Tipo de conexión	3P4W	3P3W
Tensión L1-N		✓	
Tensión L2-N		✓	
Tensión L3-N		✓	
Tensión L1-L2		✓	✓
Tensión L2-L3		✓	✓
Tensión L3-L1		✓	✓
Corriente L1		✓	✓
Corriente L2		✓	✓
Corriente L3		✓	✓
Corriente por neutro		✓	
Potencia aparente L1		✓	
Potencia aparente L2		✓	
Potencia aparente L3		✓	
Potencia activa L1		✓	
Potencia activa L2		✓	
Potencia activa L3		✓	
Potencia reactiva L1 (Q1)		✓	
Potencia reactiva L2 (Q1)		✓	
Potencia reactiva L3 (Q1)		✓	
Potencia aparente total de todas las fases		✓	✓
Potencia activa total de todas las fases		✓	✓
Potencia reactiva total Q1 de todas las fases		✓	✓
Factor de potencia total		✓	✓
Frecuencia de red		✓	✓
Energía activa		✓	✓
Energía reactiva		✓	✓
Potencia activa acumulada		✓	✓
Potencia reactiva acumulada		✓	✓

2.6.1 Ejemplos de conexión

- Medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P4W. Ver Figura 9.

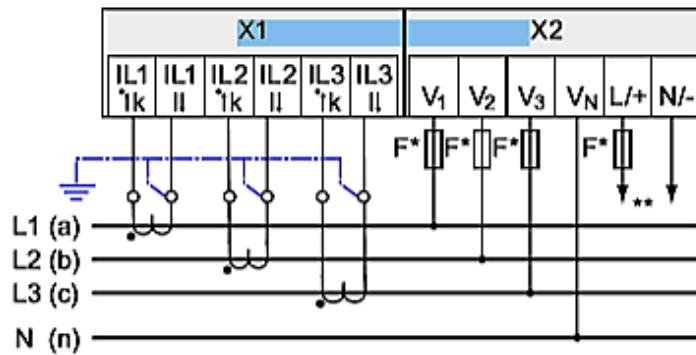


Figura 9. Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

- Medición trifásica, tres conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P3W. Ver Figura 10.¹⁸

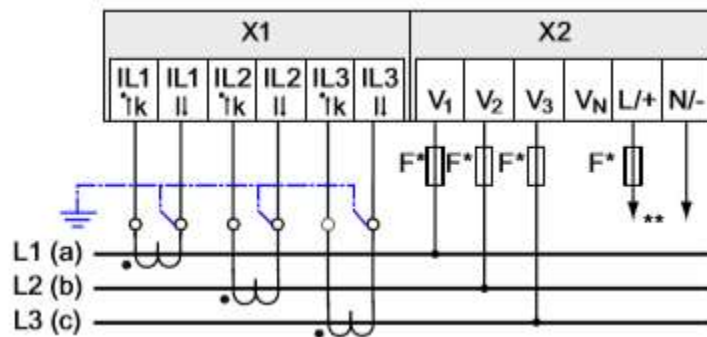


Figura 10. Tipo de conexión 3P3W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

2.7 FRESADORA CNC

Las fresadoras hoy en día gracias al control numérico son las máquinas más polivalentes para el mecanizado, pudiendo realizar una gran variedad de mecanizados distintos. Inventadas a principios del siglo XIX, las fresadoras se han convertido en máquinas básicas en el sector del mecanizado. Gracias a la incorporación del control numérico, son las máquinas-herramienta más polivalentes por la variedad de mecanizados que pueden realizar y la flexibilidad que permiten en el proceso de fabricación.¹⁹

La diversidad de procesos mecánicos y el aumento de la competitividad global han dado lugar a una amplia variedad de fresadoras que, aunque tienen una base común, se diferencian notablemente según el sector industrial en el que se utilicen. Asimismo, los progresos técnicos de diseño y calidad que se han realizado en las herramientas de fresar, han hecho posible el empleo de parámetros de corte muy altos, lo que conlleva una reducción drástica de los tiempos de mecanizado.

Debido a la variedad de mecanizados que se pueden realizar en las fresadoras actuales, al amplio número de máquinas diferentes entre sí, tanto en su potencia como en sus características técnicas, a la diversidad de accesorios utilizados y a la necesidad de cumplir especificaciones de calidad rigurosas, la utilización de fresadoras requiere de personal cualificado profesionalmente, ya sea programador, preparador o fresador.²⁰

2.7.1 Funcionamiento de la fresadora CNC

La introducción del control numérico computarizado (CNC) ha ampliado exponencialmente las aplicaciones de las máquinas industriales mediante la automatización programable de la producción y el logro de movimientos imposibles de efectuar manualmente, como círculos, líneas diagonales y otras figuras más complicadas que posibilitan la fabricación de piezas con perfiles sumamente complejos. Esto también se traduce en la optimización de muchas variables esenciales de todo proceso de manufactura: productividad, precisión, seguridad, rapidez, repetitividad, flexibilidad y reducción de desechos. Básicamente, las fresadoras CNC son muy similares a las convencionales y poseen las mismas partes móviles, es decir, la mesa, el cabezal de corte, el husillo y los carros de desplazamiento lateral y transversal. Sin embargo, no

presentan palancas ni manivelas para accionar estas partes móviles, sino una pantalla inserta en un panel repleto de controles y una caja metálica donde se alojan los componentes eléctricos y electrónicos que regulan el funcionamiento de motores destinados a efectuar el mismo trabajo que hacían las palancas y manivelas de las viejas máquinas. Entre estos componentes se encuentra el CNC, que es una computadora principalmente responsable de los movimientos de la fresadora a través del correspondiente software. La combinación de electrónica y motores o servomotores de accionamiento es capaz de lograr todas las operaciones de fresado posibles. En la Figura 11 se presenta el esquema 3D de una fresadora convencional.

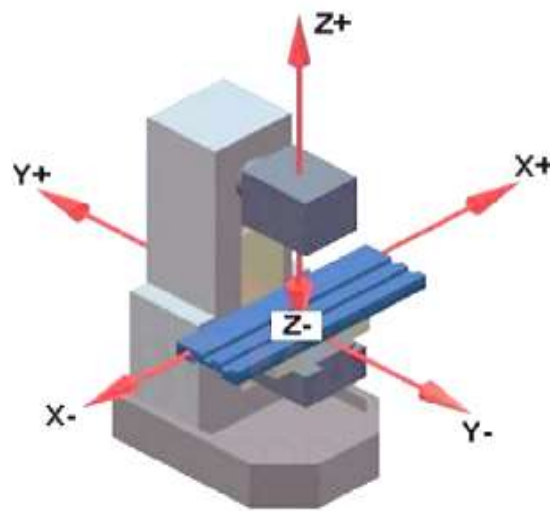


Figura 11. Esquema de una fresadora típica.

En este tipo de máquinas, las manivelas accionan las partes móviles en forma manual para que la herramienta de corte (fresa) se desplace linealmente en por lo menos tres ejes, que reciben el nombre de ejes principales:

- Eje X: horizontal y paralelo a la superficie de sujeción de la pieza. Se asocia con el movimiento en el plano horizontal longitudinal de la mesa de fresado.
- Eje Y: forma un triedro de sentido directo con los ejes X y Z. Se asocia con el movimiento en el plano horizontal transversal de la mesa de fresado.
- Eje Z: donde va montada la fresa, es el que posee la potencia de corte y puede adoptar distintas posiciones según las posibilidades del cabezal. Se asocia con el desplazamiento vertical del cabezal de la máquina.

Gracias al concepto de CNC, una fresadora, puede dar origen a una multiplicidad de ejes complementarios (B, W) controlados de forma independiente y determinados por el movimiento de mesas giratorias y/o cabezales orientables. Esto origina una diversidad de modelos de máquinas que posibilitan el mecanizado de la pieza por diferentes planos y ángulos de aproximación. En la Figura 12 vemos un ejemplo de fresadora CNC con sus componentes básicos y ejes principales (X, Y, Z) y complementarios (B, W): (1) columna, (2) pieza de trabajo, (3) mesa de fresado, con desplazamiento en los ejes X e Y, (4) fresa, (5) cabezal de corte que incluye el motor del husillo, (6) panel de control CNC, (7) mangueras para líquido refrigerante, (X, Y, Z) – ejes principales de desplazamiento, (B) – eje complementario de desplazamiento giratorio del cabezal de corte, (W) eje complementario de desplazamiento longitudinal del cabezal de corte.

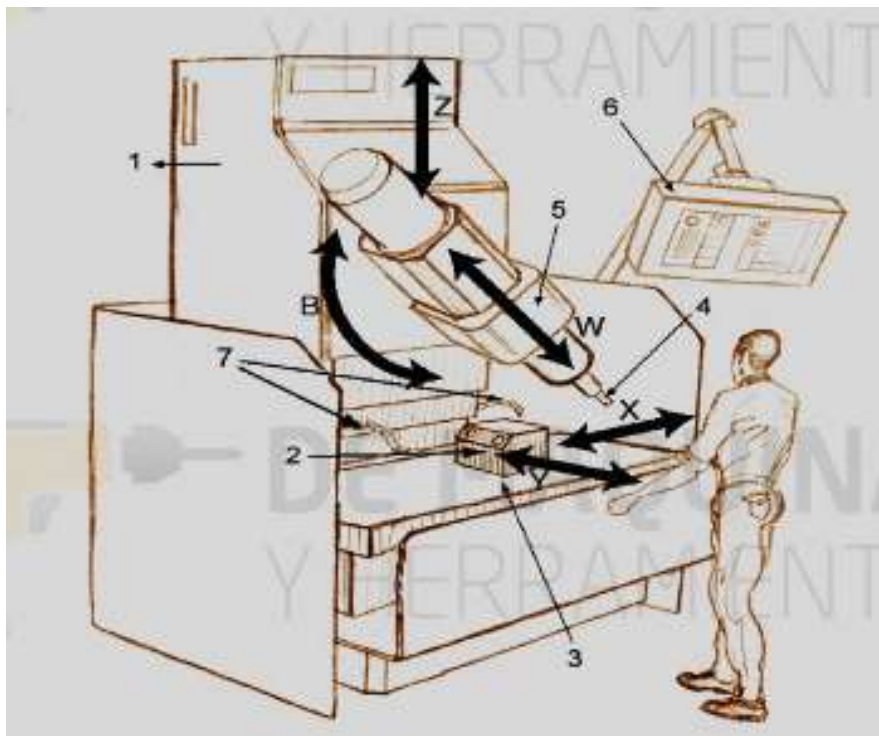


Figura 12. Componentes básicos de una fresadora CNC.

En la actualidad el uso de programas CAD (diseño asistido por computadora) y CAM (fabricación asistida por computadora) es un complemento casi obligado de toda máquina CNC, por lo que, generalmente, la manufactura de una pieza implica la combinación de tres tipos de software:

1. CAD: realiza el diseño de la pieza.
2. CAM: calcula los desplazamientos de los ejes para el maquinado de la pieza y agrega las velocidades de avance, velocidades de giros y diferentes herramientas de corte.
3. Software de control (incluido con la máquina): recibe las instrucciones del CAM y ejecuta las órdenes de desplazamiento de las partes móviles de la fresadora de acuerdo con dichas instrucciones.

Las fresadoras CNC están adaptadas especialmente para el fresado de perfiles, cavidades, contornos de superficies y operaciones de tallado de dados, en las que se deben controlar simultáneamente dos o tres ejes de la mesa de fresado. Aunque, dependiendo de la complejidad de la máquina y de la programación efectuada, las fresadoras CNC pueden funcionar de manera automática, normalmente se necesita un operador para cambiar las fresas, así como para montar y desmontar las piezas de trabajo. Entre las industrias que emplean habitualmente fresadoras CNC se encuentran la automovilística (diseño de bloques de motor, moldes y componentes diversos), la aeroespacial (turbinas de aviones) y la electrónica (elaboración de moldes y prototipos), además de las dedicadas a la fabricación de maquinaria, instrumental y componentes eléctricos.²¹

2.8 MODULO DE COMUNICACIÓN MoTeBo® Y PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN MoTeBo®

Por disposiciones y políticas de confidencialidad e instrucciones de la empresa, al catalogar estos dispositivos como “secreto industrial” no se presenta información alguna en este documento.

2.9 COMUNICACIÓN MODBUS RTU VÍA INTERFAZ RS485: CENTRO DE CONTROL

El protocolo Modbus RTU vía interfaz RS485 es el medio de comunicación con el módulo de comunicación MoTeBo® y plataforma de comunicación MoTeBo®. El protocolo Modbus se usa ampliamente en la automatización de la producción, muchos dispositivos son compatibles con el protocolo de comunicación Modbus RTU, que utiliza una interfaz en serie. Por lo general, los dispositivos tienen una interfaz RS-232 o RS-485 con un conector DB-9 o un bloque de terminales. Los dispositivos Modbus RTU son fáciles de implementar y económicos de mantener. Es por eso que el protocolo Modbus RTU se ha vuelto tan popular. Hoy, cada vez más dispositivos industriales están comenzando a admitir el estándar Ethernet. La complejidad y la escala de las redes están aumentando. Muchos sistemas ya funcionan a través de Modbus TCP utilizando Ethernet, por ejemplo, SCADA. Como resultado, existen problemas de interfaz entre Modbus RTU y los protocolos Modbus TCP.²²

2.9.1 Descripción del protocolo Modbus RTU

El protocolo de comunicación Modbus se basa en la arquitectura maestro-esclavo. Utiliza interfaces RS-485, RS-422, RS-232, así como redes Ethernet TCP / IP (protocolo Modbus TCP) para la transferencia de datos. El mensaje Modbus RTU consiste en la dirección del dispositivo SlaveID, el código de función, los datos especiales, dependiendo del código de función y el CRC de la suma de verificación. Si descarta la dirección SlaveID y la suma de verificación CRC, obtiene la PDU, Unidad de datos de protocolo. SlaveID es la dirección del dispositivo, puede tomar un valor de 0 a 247, las direcciones de 248 a 255 están reservadas. Los datos en el módulo se almacenan en 4 tablas, Dos tablas son de solo lectura y dos son de lectura-escritura. Se colocan 9999 valores en cada Tabla 3.²³

Tabla 3. Identificación y acción realizada por los registros.

NÚMERO DE REGISTRO	REGISTRAR DIRECCIÓN HEX	TIPO	NOMBRE	TIPO
1-9999	0000 a 270E	leer escribir	Bobinas de salida discreta	HACER
10001-19999	0000 a 270E	leer	Contactos de entrada discretos	DI
30001-39999	0000 a 270E	leer	Registros de entrada analógica	AI
40001-49999	0000 a 270E	leer escribir	Registros de retención de salida analógica	AO

2.9.2 RS-232, RS-422 y RS-485

Las designaciones RS-232, RS-422 y RS-485 se refieren a interfaces para la transmisión de datos digitales. El estándar RS-232 es mejor conocido como un puerto COM de computadora normal o puerto serie (aunque Ethernet, FireWire y USB también pueden considerarse como un puerto serie). Las interfaces RS-422 y RS-485 son ampliamente utilizadas en la industria para conectar varios equipos y obtener distintas ventajas.²⁴ En la Tabla 4 se identifican algunas características de cada puerto.

Tabla 4. Identificación y acción realizada por los registros.

Nombre del puerto	RS-232	RS-422	RS-485
Tipo de transferencia	Duplex completo	Duplex completo	Half duplex (2 cables), full duplex (4 cables)
Distancia máxima	15 metros a 9600 bps	1200 metros a 9600 bps	1200 metros a 9600 bps
Contactos en uso	TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND *	TxA, TxB, RxA, RxB, GND	Datos A, Datos B, GND
Topología	Punto a punto	Punto a punto	Multipunto
Max. Cantidad de dispositivos conectados	1	1 (10 dispositivos en modo de recepción)	32 (con repetidores más grandes, generalmente hasta 256)

2.9.3 Descripción de la interfaz RS-485

En la industria, la interfaz más común es RS-485 (EIA-485), porque el RS-485 utiliza una topología multipunto, que le permite conectar varios receptores y transmisores. La interfaz RS-485 es similar a la RS-422 en que también usa una señal diferencial para la transmisión de datos. Hay dos tipos de RS-485:

- RS-485 con 2 contactos, funciona en modo semi-dúplex.
- RS-485 con 4 contactos, funciona en modo dúplex completo.

En modo dúplex completo, puede recibir y transmitir datos simultáneamente, y en modo semidúplex transmitir o recibir. En un segmento de la red RS-485 puede haber hasta 32 dispositivos, pero con la ayuda de repetidores adicionales y amplificadores de señal de hasta 256 dispositivos. Al mismo tiempo, solo un transmisor puede estar activo. En la Figura 13 se presenta el esquema básico de conexión de la interfaz RS-485 y en la Figura 14 se presenta una topología RS-485.

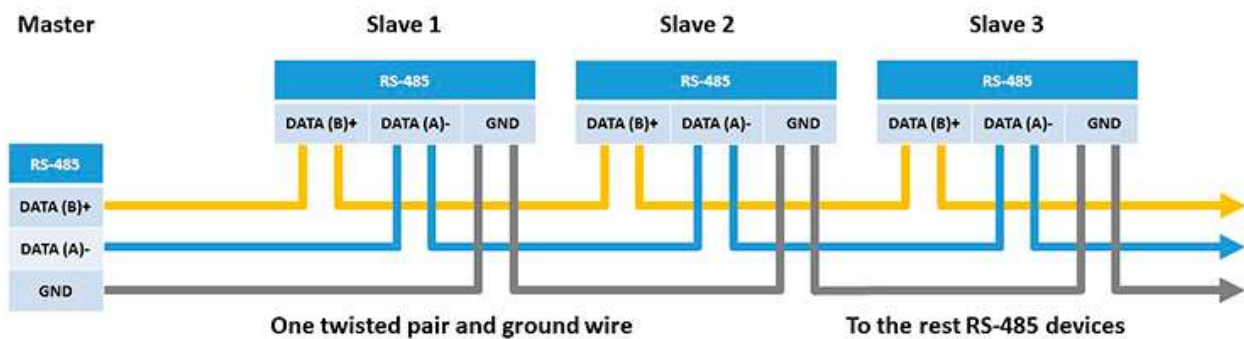


Figura 13. Esquema básico de conexión de la interfaz RS-485.

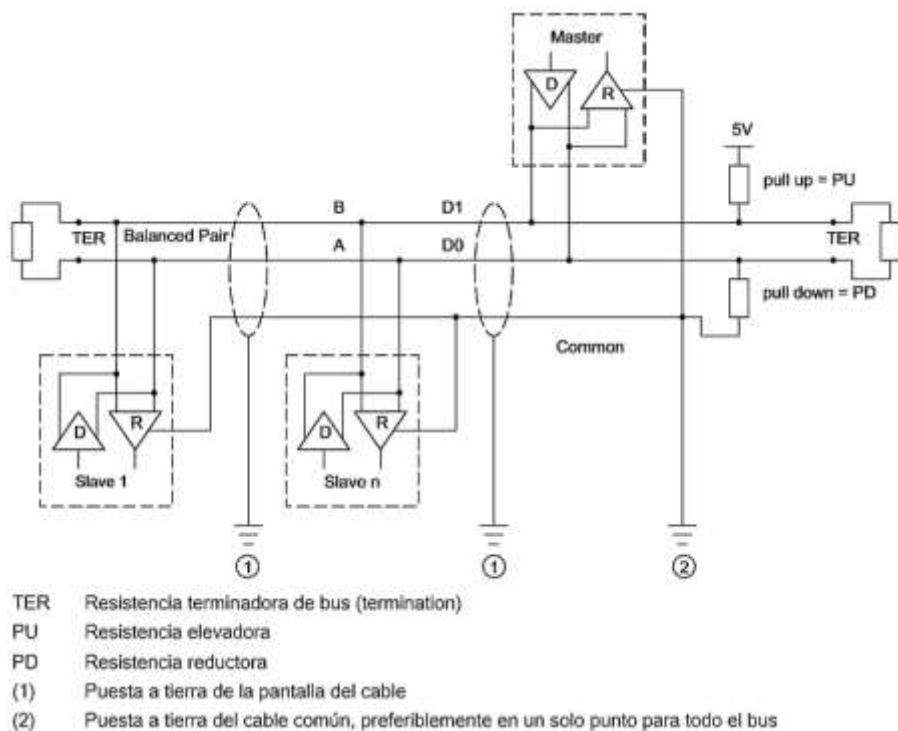


Figura 14. Esquema de conexiones: Topología RS 485 general.

III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 Construcción del sistema de soporte para el monitoreo integral de medición de energía eléctrica

3.1.1. Diseño gabinete de control

Al comenzar con este apartado inicialmente se realizó una investigación sobre tipo de gabinetes (registros) eléctricos existentes en el mercado, esto con el fin de incursionar y tener conocimientos del área a trabajar, obteniendo así las herramientas, técnicas y habilidades necesarias, esto para lograr una correcta conjunción y concepción de diseño, estableciendo así, un prototipo funcional a partir de un diseño existente.

Las principales opciones para llevar a cabo el diseño de nuestro gabinete, fueron tipo HIMEL y tipo ABB. El tipo de caja Himel como principal característica es su amplia gama de soluciones técnicas de envolventes en acero, acero inoxidable, termoplástico y poliéster incluyendo los elementos para gestión térmica en el interior del envolvente; por otra parte las cajas del tipo ABB ofrecen una línea de productos eléctricos generales entre las que destacan cajas metálicas, no metálicas, interiores y exteriores, y con poco catalogo en el área de cajas envolventes, siendo como principal criterio la experiencia para desarrollar sistemas envolventes, por lo que se optó tomar de base los gabinetes tipo HIMEL.

Para llevar a cabo el prototipado y análisis del gabinete se seleccionó el software de diseño CAD 3D SolidWork, ofreciendo soluciones intuitivas de diseño 3D y desarrollo, permitiendo conceptualizar, crear, validar, comunicar, gestionar y transformar ideas de diseños en productos finales, teniendo estas consideraciones, se desarrolló un diseño de gabinete utilizando la herramienta de chapa metálica del software, con la cual se pueden realizar pliegues en la pieza, permitiendo así tener un plano 2D del ensamble y tener un elemento final de una sola pieza. En la Figura 15 se ilustra el diseño de la caja seleccionada para su manufactura. En el Anexo 1 se especifican las dimensiones de la caja de control. Contiene una ventana para colocación del SENTRON PAC 3100, está habilitada para colocar soportes para los transformadores y cuenta con espacio para colocar el módulo de comunicación MoTeBo®.

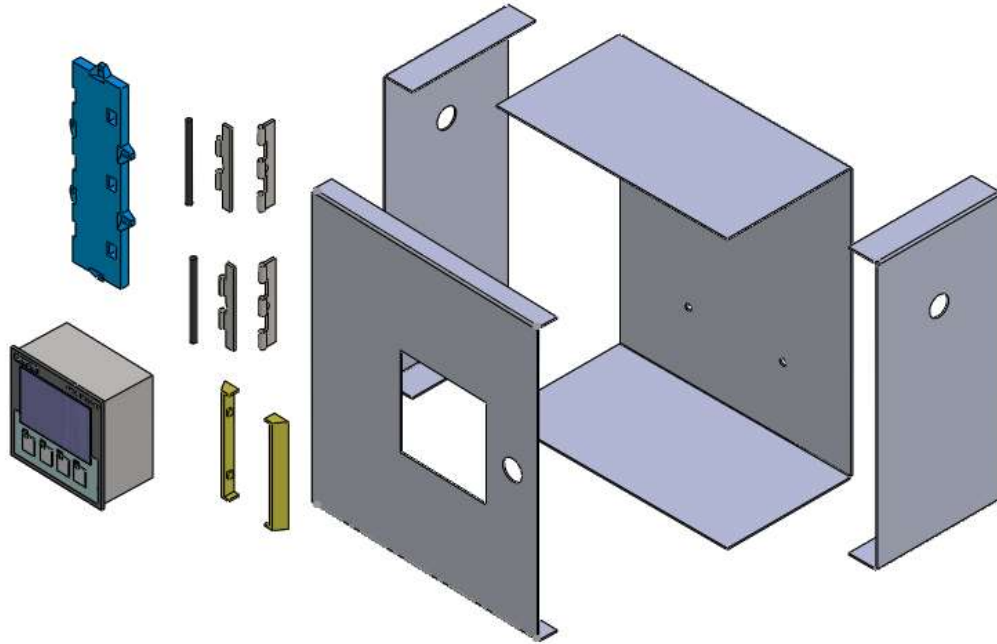


Figura 15. Gabinete (caja) eléctrico segmentado utilizando la herramienta chapa metálica.

Para lograr los pliegues uniformes del gabinete de registro eléctrico, se cuenta con una dobladora de grado industrial, la cual ofrece una solución rápida y sencilla para lograr el objetivo principal y aprovechar las ventajas al utilizar la herramienta “Chapa Metálica” del software de diseño SolidWork.

3.1.2. Diseño de sujeción para transformadores de corriente y SENTRON PAC3100

Como parte de un diseño experimental se tomaron medidas de las bases de los transformadores de corriente, esto con el fin de poder diseñar una pieza capaz de sujetar con firmeza y contando con capacidad de montar y desmontarlos los dispositivos con suma facilidad. Teniendo esto en consideración, el diseño se concibió con el principio de sujeción tipo clip, el cual permite embonar las puntas de la base de los transformadores en una perforación y el otro extremo cuenta con la sujeción tipo clip, la cual se adapta de manera óptima al extremo mencionado del transformador, lo que genera que el diseño sea optimo y que cumpla con las características de diseño descritas anteriormente. Como punto extra de diseño, la propuesta se hizo considerando la sujeción de los

transformadores de corrientes en una sola pieza. El diseño del sistema de soporte de los transformadores de corriente se muestra en la Figura 16. En el Anexo 1 se especifican las dimensiones de las piezas.

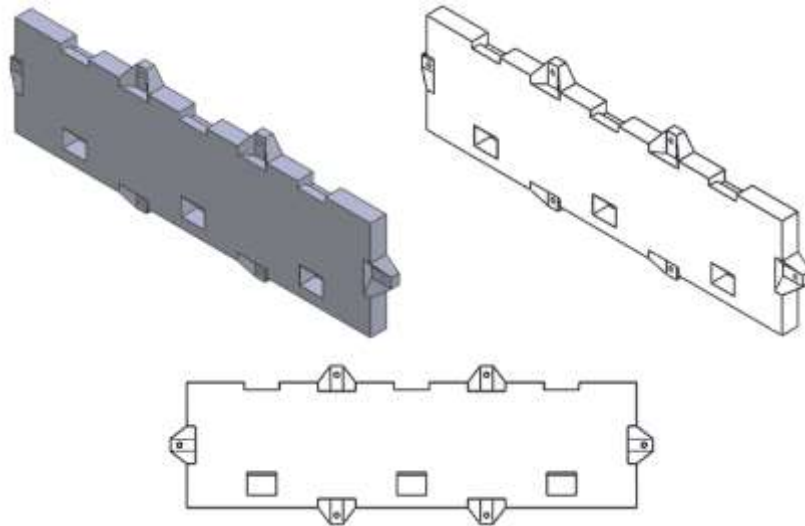


Figura 16. Diseño final soporte para transformadores de corriente.

De la misma manera para comenzar con el diseño del soporte del Sentron Pac 3100, se comenzó con un diseño preliminar, el cual sea capaz de sujetar el Sentron Pac 3100 a la tapa (puerta) del gabinete eléctrico y capaz de mantener el dispositivo siempre en su lugar evitando movimientos o desplazamientos del mismo. El diseño se elaboró teniendo en consideración y aprovechando el propio sistema de sujeción (perforaciones) del Sentron PAC 3100, ver Figura 17. Como resultado se obtuvieron los soportes adecuados que cumplen con las características principales de diseño y aprovechando al máximo el diseño del dispositivo, lo que genera una correcta sujeción al sistema de gabinete eléctrico, ver Figura 18. En el Anexo 1 se especifican las dimensiones de las piezas.

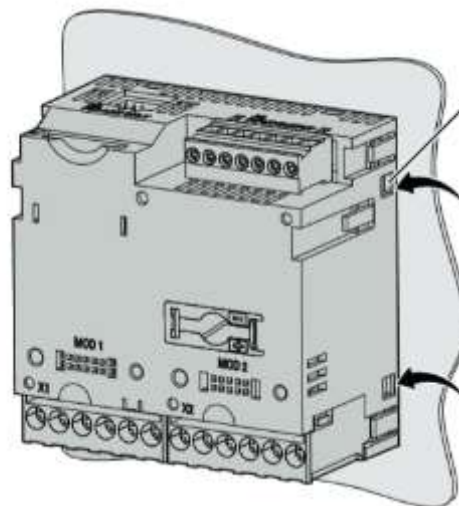


Figura 17. Perforaciones de diseño del SENTRON PAC 3100.

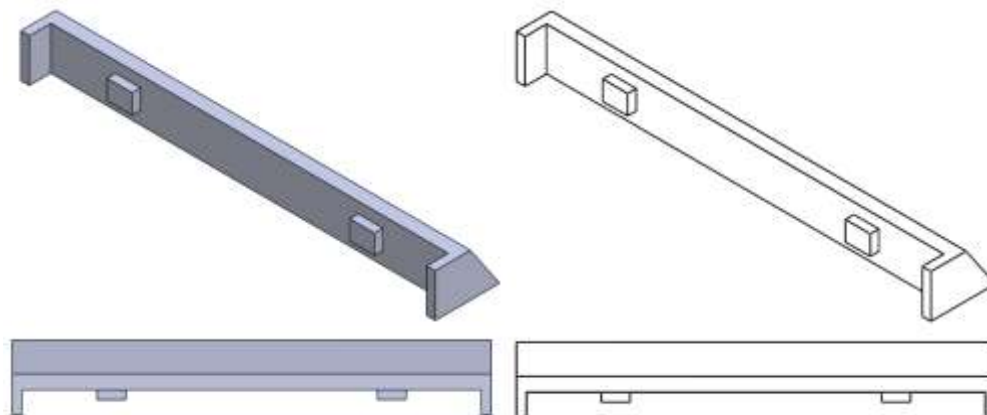


Figura 18. Diseño final soporte SENTRON PAC 3100.

3.1.3. Instalación de gabinete eléctrico y conexión para Sentron PAC3100

Para realizar esta actividad se indagó sobre el lugar óptimo y adecuado para llevar a cabo la instalación del gabinete eléctrico, el cual es un punto fijo para manipulación del dispositivo, eliminar vibraciones y facilitar toma de lecturas. Se seleccionó como lugar de colocación a un costado del registro de protección eléctrica de la maquinaria instalada dentro del laboratorio de manufactura del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga. Esto con fin de lograr aprovechar al máximo el espacio de trabajo, así como también la

posibilidad de tener acceso a la canaleta eléctrica por donde se tomaron los cables de fase de la maquinaria, en este caso de una fresadora CNC. En la Figura 19 se presenta un lay-out del taller de manufactura indicando el lugar de instalación del sistema de monitoreo de consumos energéticos a desarrollar.

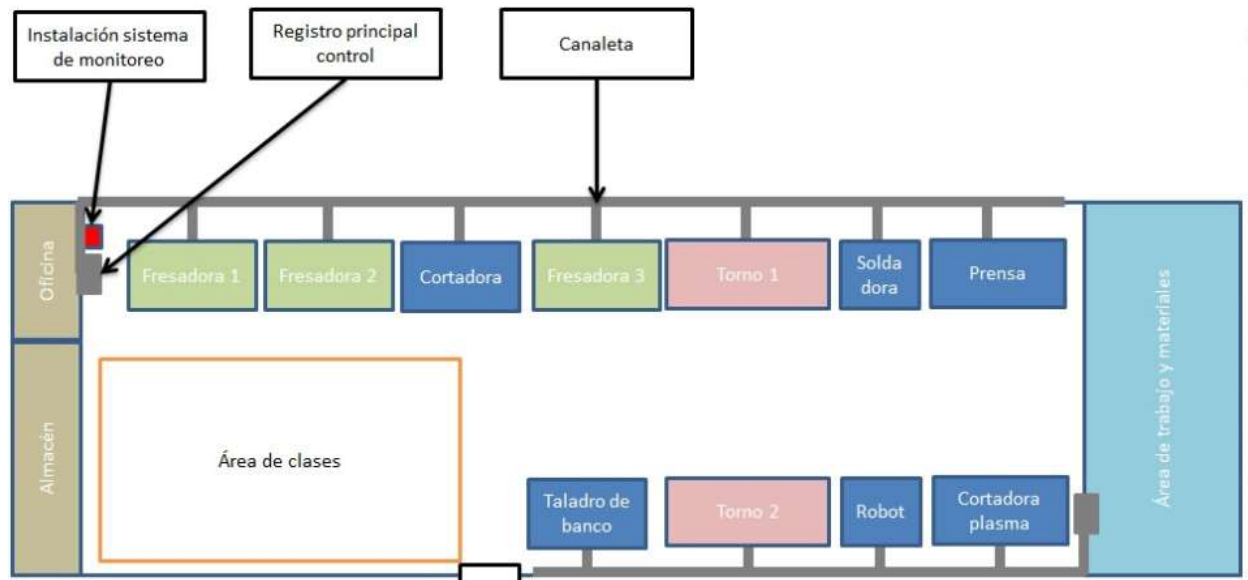


Figura 19. Área destinada para la instalación del Sistema de monitoreo.

Para realizar la instalación y conexión de los transformadores de corriente se identifica el tipo de red alimentario con el que cuenta el equipo (Fresadora CNC), esto con el fin de poder identificar qué tipo de arreglo se realizara ya que el dispositivo cuenta con la versatilidad de manejar las siguientes configuraciones de conexión:

- Redes de tres o cuatro conductores.
- Con carga desbalanceada (asimétrica).
- Con/sin transformador de tensión.
- Con transformador de corriente.

En el equipo a emplear se utiliza un sistema trifásico ya que tiene la capacidad de transportar el triple de energía, en comparación de un sistema monofásico, además, la fatiga que produce en los ejes de los motores es menor que si se utilizan sistemas monofásicos de corriente alterna.

3.1.4 Instalación conexión estrella y delta

Los arreglos tipo estrella y delta, se utilizan para la conexión de motores de inducción, alternadores y transformadores. En arreglo de tipo estrella uno de los extremos iniciales de cada uno de los devanados están conectados juntos en un punto fijo o común (tierra) y los extremos finales o las salidas de los devanados están conectados a la carga. Mientras que, en el caso del delta, el extremo del devanado a está conectado al punto inicial del devanado b y a la salida del devanado c, El devanado b está conectado al punto inicial del devanado c y a la salida del devanado a y el devanado c está conectado al punto inicial del devanado a y a la salida del devanado b, ver Figura 20.

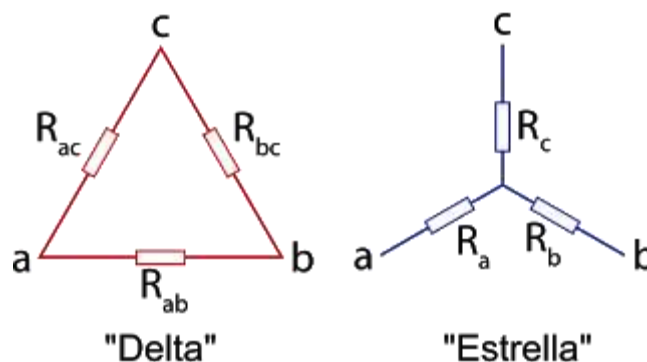


Figura 20. Identificación del arreglo Delta y Estrella.

El tipo de arreglo a utilizar en el proyecto es el de tipo Estrella, ya que al tomar la referencia de la puesta en marcha del equipo se sugiere un diagrama de conexión en el que se observa que los devanados iniciales están conectados en un punto común puestos a tierra, y las salidas de los devanados están conectados a la carga, ver Figura 21.

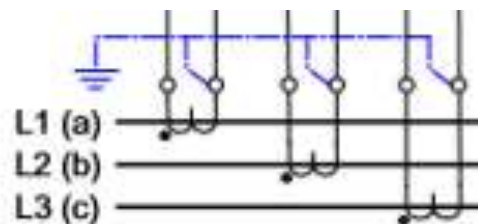


Figura 21. Ilustración del arreglo sugerido a utilizar (estrella).

El tipo de conexión utilizado en este dispositivo es correspondiente a medición trifásica, tres conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Eso porque es el que cumple con los criterios y aplicaciones correspondientes al tipo de red e instalación con la que cuenta el dispositivo, ver Figura 22.

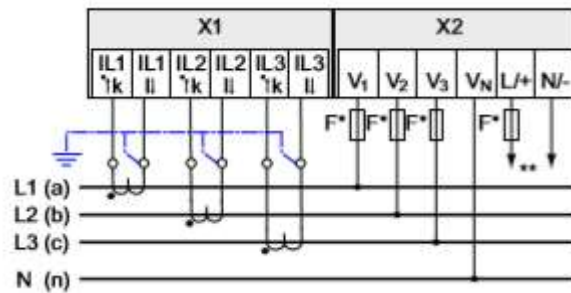


Figura 22. Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

3.1.5 Cableado

Para realizar las conexiones necesarias del sistema de medición fue necesario utilizar cable calibre 14 para realizar el arreglo tipo estrella y cable calibre 12 para conectar las terminales faltantes del sistema y poner en marcha el dispositivo, la manera en la que se realizó el ajuste del cableado fue utilizando un destornillador PZ2 como se muestra en la Figura 23.

Herramienta: destornillador PZ2 cal. ISO 6789

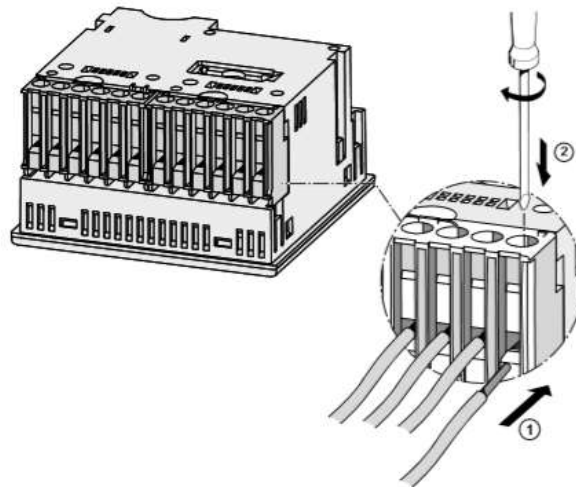


Figura 23. Conexión de los cables en los bornes de tornillo.

3.2 Interfaz de comunicación

3.2.1 Cableado conexión Modbus RTU vía interfaz RS-485 del SENTRUN PAC3100

Para realizar el cableado del protocolo de comunicación Modbus RTU se recomienda utilizar cable de par trenzado blindado de cobre estañado aislado en polietileno para aplicaciones en RS 485. Cumpliendo las siguientes especificaciones, ver Figura 24.



Figura 24. Especificaciones bases para conexión RS-485.

Donde A es el conductor central de cuerda de alambre de cobre electrolítico estañado. B el aislante de Polietileno de baja densidad (PEBD). C es el blindaje compuesto por cinta de aluminio poliéster y malla de alambres de cobre estañado de 85 % de cobertura y D es la cubierta exterior de Policloruro de vinilo (PVC). Al cumplir con estos parámetros base, se asegura un óptimo desempeño del protocolo de comunicación, lo cual permite instalar dispositivos hasta un alcance máximo de 120 metros, si la preocupación es de que la señal se altere por ruido eléctrico que pueda intervenir a lo largo de la instalación, ya que el blindaje ayuda a conservar la información de transferencia.

En el caso de esta instalación la toma de datos se desarrolla a una distancia de 2 metros por lo cual es permitido utilizar cable de un par trenzado sencillo, o bien, utilizando el cable de red RJ45, el cual cuenta con la característica de ser par trenzado, ver Figura 25. De igual manera, el cableado de conexión no pasa por canaletas donde se encuentren líneas de fase de las maquinas eléctricas, permitiendo así, utilizar un cableado sin blindaje, ya que el ruido eléctrico no afectara en medida la transferencia de datos.



Figura 25. Cable par trenzado RJ45.

El PAC 3100 está equipado con una interfaz RS 485 para la comunicación Modbus RTU, lo que permite realizar:

- Lectura de los valores medidos.
- Lectura y escritura de los parámetros ajustables del dispositivo.
- Actualización del firmware del dispositivo.
- Actualización de los idiomas disponibles en el dispositivo.

Como ultima consideración se debe emplear una resistencia terminadora mayor a 60Ω en los bornes -/A y +/B del bloque de bornes, en este caso es de 120Ω , esto con el fin de eliminar el eco de fin de línea y reducir la sensibilidad al ruido eléctrico, ver Figura 26. Es de suma importancia la resistencia terminadora, ya que sin ella las reflexiones de los bordes de controladores rápidos pueden causar múltiples aristas de datos y en consecuencia la corrupción de datos.

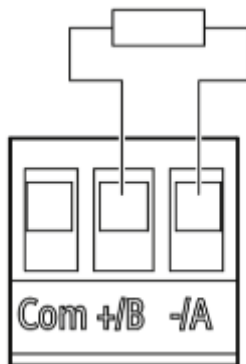


Figura 26. Cierre del bus con una resistencia externa.

3.2.2 Lectura de datos del dispositivo SENTRON PAC3100 vía RS-485

Para la adquisición de datos del dispositivo es necesario contar con un conversor de USB a Rs-485 (CONV-USB-RS485) o en su defecto con una Shield (IO Expansion/Xbee/Bluetooth/SRS485) para implementarlo en entornos de desarrollo como lo es Arduino. El conversor USB a RS485 integra un conversor USB a serial TTL (CH340) y un chip serial a RS485 (MAX485). Permitiendo establecer comunicación entre una PC (USB) y un microcontrolador (PAC3100) utilizando la interface RS485, ver Figura 27.



Figura 27. Conversor USB a RS-485

La Shield Arduino IO Expansion/Xbee/Bluetooth/SRS485 es una herramienta multifuncional la cual permite interactuar con otros módulos que se pueden colocar en su estructura, posicionándolo, así como un módulo bastante versátil y con bastante funcionalidad, ver Figura 28.

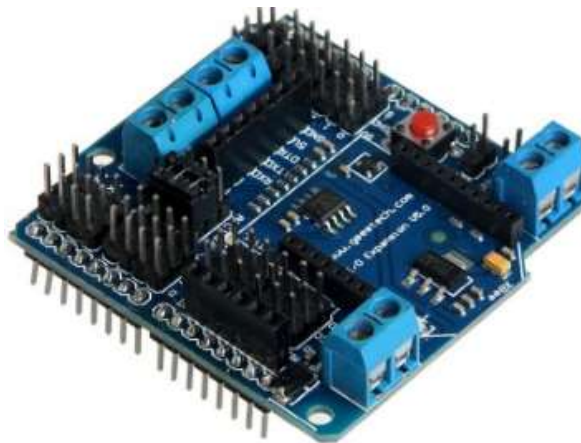


Figura 28. Shield Arduino para RS-485.

Como parte secundaria se instala un driver el cual permite a la PC reconocer el puerto. Para comenzar con la toma se utiliza el programa (ModbusMAT 1.1) permite acceder al dispositivo de medición mediante la configuración de la trama (telegrama de función), lo que permite acceder a funciones según la especificación del Modbus. En la Tabla 5 se especifica el esquema de escritura de telegrama emitida.

Tabla 5. Escritura de telegrama emitida

Dirección	Código de función	Datos	CRC
Byte	Byte	n bytes	2 bytes

Los códigos de función controlan el intercambio de datos. Para ello, el código de función le comunica al esclavo qué acción debe ejecutar. En la Tabla 6 se presentan los códigos de función admitidos.

Tabla 6. Códigos de función admitidos

FC	Función según la especificación Modbus	Tipo de datos		Acceso
02	Read Discrete Inputs	Bit	Entrada	R
03	Read Holding Registers	Registro	Salida	R
04	Read Input Registers	Registro	Entrada	R
06	Write Single Register	Registro	Salida	RW
10	Write Multiple Registers	Registro	-	RW
2B	Read Device Identification	-	-	R

Para utilizar la Shield de Arduino es necesario contar con una librería (ModbusMaster) específica que permitan el acceso y toma de datos vía Modbus. La configuración en este punto es sumamente sencilla conforme se observa en la Figura 29. Teniendo lo anterior, al igual que con el conversor USB, se configura la trama y funciones admitidas Modbus para lograr establecer una recepción de datos adecuada.

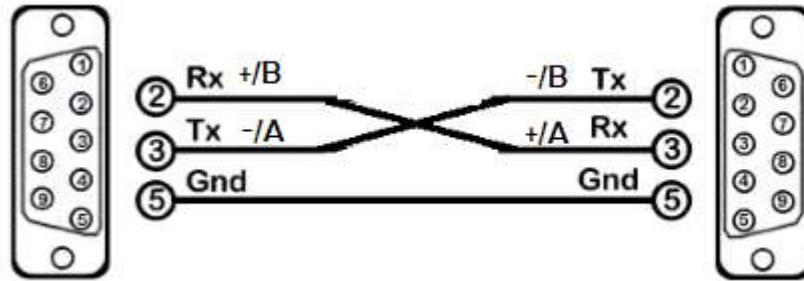


Figura 29. Configuración de conexión RS-485 a Shield Arduino.

3.2.3 Desarrollo STM32 (ATOLLIC) y toma de datos con la placa de desarrollo P-L496G-CELL02 STM32

Al comenzar en el entorno de desarrollo Atollic, se tiene la posibilidad de desarrollar programas en C y C++ para microprocesadores ARM7, ARM9 y ARM Cortex, cumpliendo tanto las funciones de compilación como de depuración sobre una placa de desarrollo. Lo que permite tener un código optimizado a la hora de implementar el dispositivo a gran escala. Atollic TrueSTUDIO presenta ventajas a considerar al contar con una interfaz muy intuitiva, permite la creación de automatizada de plantillas y permite incorporar un gran número de microcontroladores.

Atollic TrueSTUDIO está basado en el entorno de desarrollo de software libre Eclipse, y aprovecha el toolchain de GNU, además de compiladores también del proyecto GNU como GCC. Además, incluye un gran número de librerías adaptadas para diversas placas de desarrollo y permite crear plantillas de proyecto para cada una de ellas. En la Figura 30 se presenta un ejemplo del IDE del programa a utilizar.

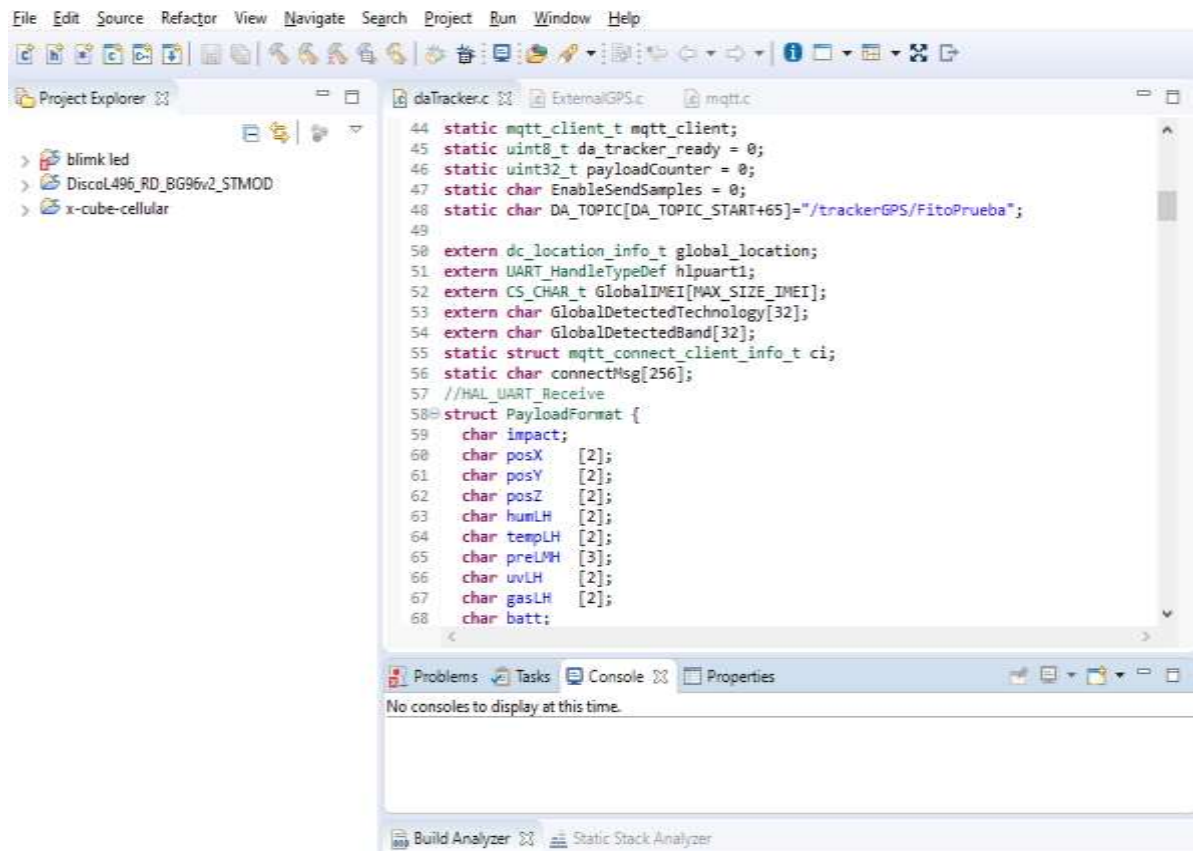


Figura 30. Interfaz del programa a utilizar.

La interfaz es muy limpia, cuenta con botones de compilación y depuración, una zona de gestión de los contenidos del proyecto, una zona de edición de código y otra donde obtenemos información de problemas, búsquedas o las salidas de la consola.

Para visualizar el funcionamiento y envío de datos a la plataforma MoTeBo[®] se cuenta con un programa serial (Tera Term) el cual permite validar la información que se envía a la nube. En la Figura 31 se muestra la pantalla del programa serial.



Figura 31. Monitor serial Placa L496G-CELL02 STM32.

3.2.4 Interfaz de comunicación con módulo de comunicación MoTeBo®

A manera de prueba preliminar y adicional al proyecto para validar que la comunicación del dispositivo de medición sea la adecuada se recurre al entorno de programación IDE Atollic TrueSTUDIO con el cual se logra que los datos generados puedan ser enviados mediante la compilación y verificación de los archivos personalizados de MoTeBo para el envío de datos a la nube. Los datos se envían sin realizar algún análisis o procesamiento de los datos obtenidos. En la Figura 32 se observa interfaz de comunicación de los archivos generador para el envío de datos.

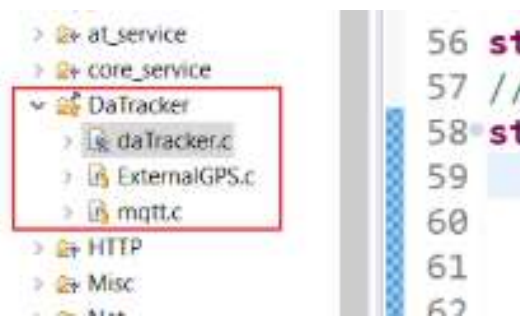


Figura 32. Archivos necesarios para el envío de datos.

Al compilar el proyecto se debe de verificar que la operación realizada y los cambios generados en el mismo sean correctos, de lo contrario se tiene que verificar que los códigos del proyecto estén funcionando correctamente, hasta lograr que se visualice la leyenda “Build Finished” si la compilación fue exitosa, ver Figura 33.

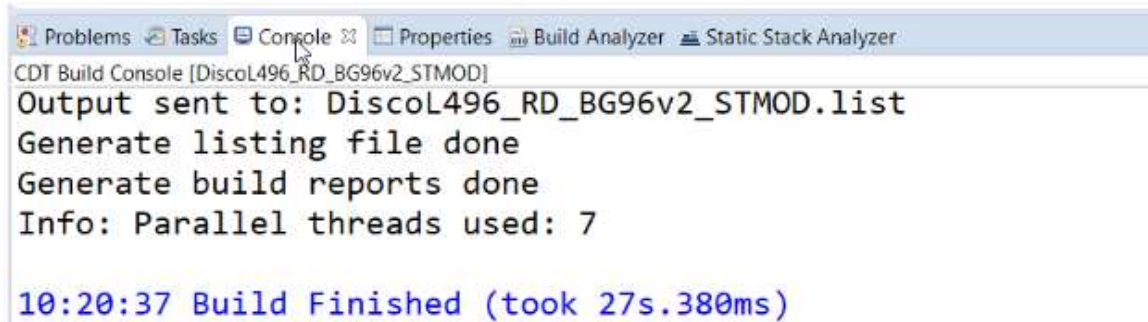


Figura 33. Correcto funcionamiento del proyecto.

3.3 Cronograma de actividades

Actividades	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Construcción del sistema integral de medición										
Interfaz de comunicación										
Registro de datos preliminares en módulo										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

IV. RESULTADOS

4.1 Construcción del sistema de soporte para el monitoreo integral de medición de energía eléctrica.

Se diseñó en el software CAD SolidWork en el que se generó el diseño del gabinete eléctrico. El cual consta de 3 partes: base, lateral y tapadera. En el Anexo 1 se presentan las dimensiones del gabinete de control.

4.1.1. Diseño de gabinete de control

Para cortar las piezas se hizo uso de la máquina de plasma LINCOLN ELECTRIC 4400, para hacer uso de su software es necesario guardar los archivos de SolidWork en .DXF y unidad de medida en pulgadas, posteriormente se guarda el archivo en una unidad de almacenamiento USB y se coloca en la maquina física, donde se guarda un punto (HOME) del cual partirá para realizar el corte, ver Figura 34.

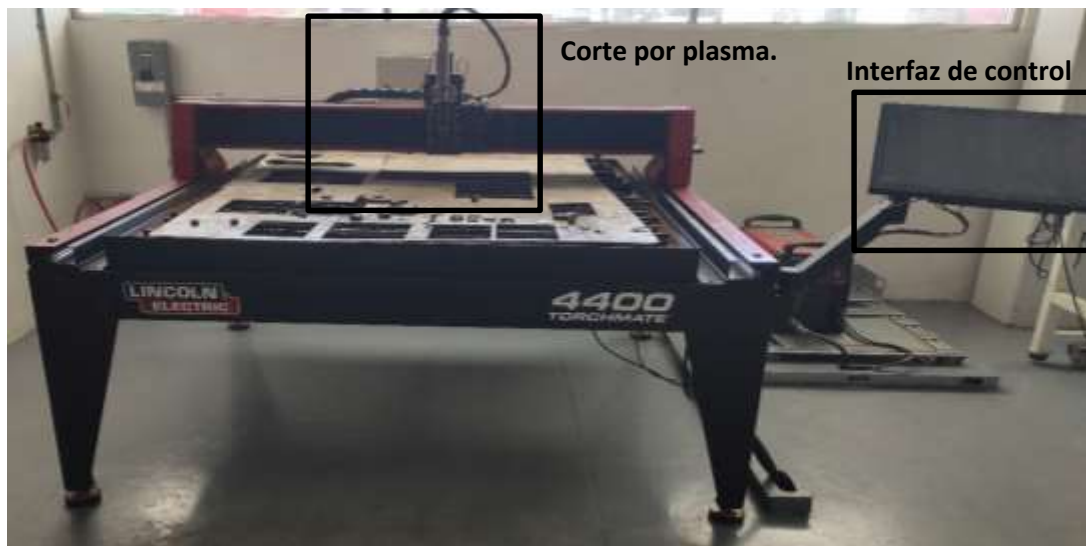


Figura 34. Máquina de plasma LINCOLN ELECTRIC 4400.

La base contiene dos dobleces utilizando la herramienta de chapa metálica del software y a su vez se aprovechó el incluir las perforaciones de $\frac{3}{4}$ " para poder fijar el gabinete a la pared destinada, ver Figura 35.

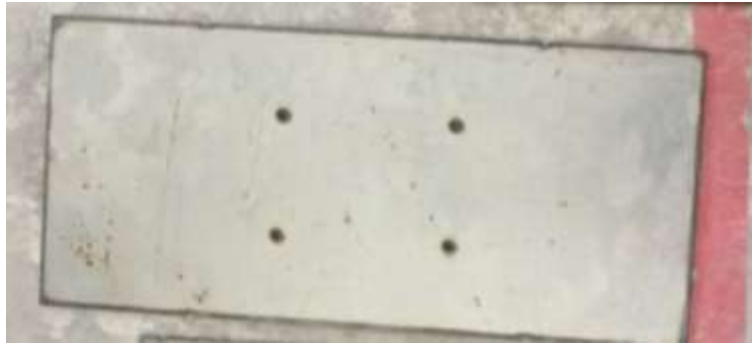


Figura 35. Diseño de la base con respectivas perforaciones para sujeción.

Para la elaboración de los laterales se realizó un solo lado y al final se duplico el corte del mismo, esto ya que ambos lados cuentan con perforación para entrada o salida de cableado eléctrico según corresponda la instalación ver Figura 36.

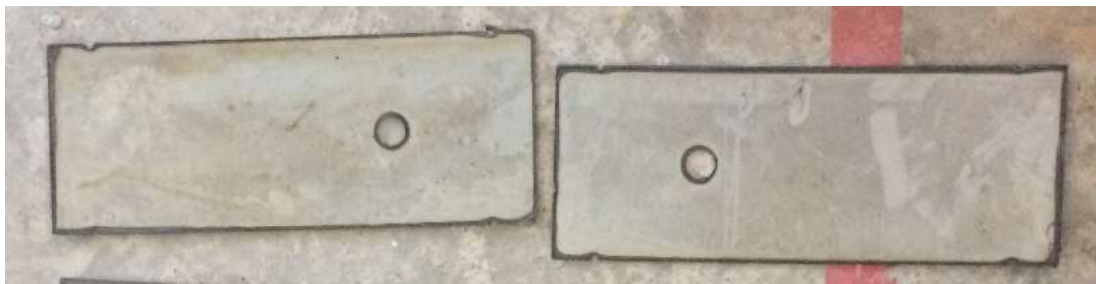


Figura 36. Laterales del gabinete eléctrico con entrada o salida de cableado.

Para la tapadera del gabinete eléctrico dentro del diseño se creó un corte con el fin de poder colocar el sistema de medición Sentron PAC3100, ver Figura 37.



Figura 37. Tapadera del sistema eléctrico.

Antes de proceder a realizar los dobleces correspondientes con ayuda de un disco de desbaste y una pulidora de mano se eliminó el filo y rebaba que se generó por el corte realizado en la cortadora de plasma, este proceso se realizó para todas las piezas que componen el gabinete eléctrico, ver Figura 38.

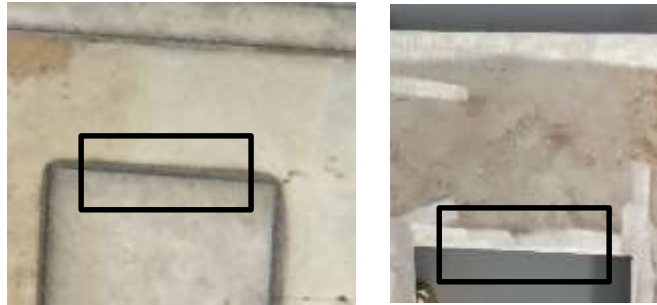


Figura 38. Eliminación de rebaba y filo.

Con ayuda de la maquina dobladora MACOS, la cual está en el taller de manufactura del Instituto Tecnológico, con lo cual se prosiguió a realizar los respectivos pliegues de las piezas para lograr el ensamble del gabinete, respetando las normativas de seguridad, ver Figura 39.



Figura 39. Maquina utilizada para doblar y pieza doblada.

A modo de ensamble se colocaron todas las piezas cortadas en su posición correcta para ajustar medidas, teniendo esto, con ayuda de una prensa tipo C se aseguró la correcta posición de las partes y con ayuda de un taladro con una broca de 7/32" se

prosiguió a realizar 1 perforación en cada lado de los laterales, de modo que se puedan sujetar de manera firme a la base con ayuda de remaches. Los remaches utilizados son para un tamaño de dado (Remachadora) de 5mm, ver Figura 40.



Figura 40. Perforación y colocación de remache para el gabinete eléctrico.

Teniendo este ensamble liso con ayuda de la soldadora de micro-alambre (LINCOLN) se colocaron varios puntos de soldadura en las esquinas del gabinete para lograr una unión uniforme del sistema, ver Figura 41.



Figura 41. Soldadora y puntos de unión de micro-alambre.

Así mismo, se realizaron 2 perforaciones más en la tapadera y lateral del gabinete de modo que permite colocar 2 bisagras para realizar la apertura y cierre de la misma utilizando remaches para realizar la unión de los elementos, ver Figura 42.



Figura 42. Instalación de bisagras para el sistema de apertura del gabinete.

Debido a que se manejaran voltajes altos y se trabajara con inducciones electromagnéticas, es necesario aislar el gabinete eléctrico, por lo cual como primer paso se colocó un revestimiento de todo el sistema con un Esmalte Premium marca COMEX color negro, el cual funciona como dieléctrico y ayuda a prevenir cualquier descarga o choque eléctrico hasta en un 100% en las áreas aplicadas correctamente. Para dar estandarización en el gabinete eléctrico, seguido del revestimiento se pintó con un esmalte alquidálico de tipo aerosol color gris el cual, beneficia al medio ambiente al sustituir en su formulación solventes derivados del petróleo por agua, ofreciendo una protección extra para el sistema, ver Figura 43.



Figura 43. Resultado final del gabinete eléctrico con Sentron PAC 3100.

4.1.2. Instalación de gabinete eléctrico y conexión para Sentron PAC3100.

Se instala el gabinete a la pared con ayuda del taladro y la broca de $\frac{1}{4}$ " se perfora la pared, teniendo como guía las perforaciones de la base del gabinete eléctrico, seguido de eso se colocan taquetes de $\frac{1}{4}$ " para asegurar una correcta fijación de la caja y se ajusta con un nivel de burbuja como se muestra a continuación, la acción se realizó con ayuda de un destornillador de barra para colocar los tornillos correspondientes. De igual manera, el porta transformadores de corriente se colocó dentro del gabinete eléctrico utilizando plastia acero para adherirlo a la superficie, ver Figura 44.



Figura 44. Instalación del gabinete de control a la pared.

Prosiguiendo con la instalación se destaparon 2 entradas de cable de la canaleta eléctrica para colocar un coplee de $\frac{3}{4}$ " en cada una de ellas, seguido de esto se colocó una manguera metálica de $\frac{3}{4}$ " de una longitud de 45cm para cada extremo y al final de ellas termina con un codo de $\frac{3}{4}$ " el cual va conectado a la entrada A y salida B del gabinete eléctrico, ver Figura 45.



Figura 45. Coplee, Manguera y Codo para el paso de cableado eléctrico.

Teniendo la caja instalada se coloca el Sentron PAC3100 en la tapadera del gabinete y se colocan los soportes para asegurar que el dispositivo no sufra daños por caída o se mueva de su posición de optima de trabajo, ver Figura 46.



Figura 46. Sentron PAC3100 con sistema de fijación al gabinete eléctrico.

Para realizar la conexión del cableado eléctrico se comenzó destapando el registro eléctrico de las maquinas del laboratorio y posteriormente retirar el interruptor termomagnéticos, todo esto cuidando que se encuentre des-energizado (OFF). Esto se realiza para poder pasar la línea trifásica por cada uno de los transformadores de

corriente dentro del gabinete eléctrico, esto para posteriormente regresarlo al registro eléctrico y conectarlo al interruptor electromagnético, ver Figura 47.

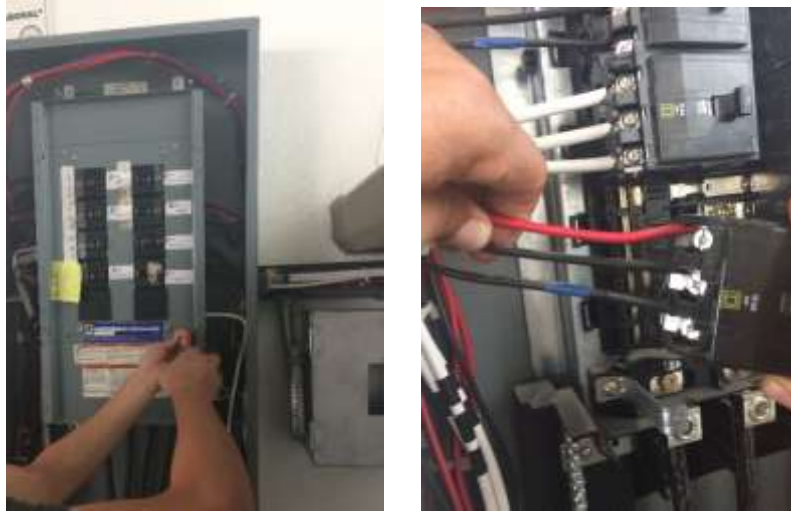


Figura 47. Acceso al registro eléctrico e interruptor termomagnético.

Para pasar los cables de la línea se sacan de la canaleta y se introducen por el sistema del coplee 1 hasta llegar a la primera entrada de cableado (A) la cual se muestra a continuación, ver Figura 48.

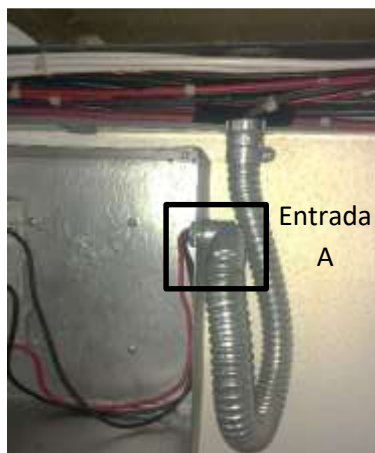


Figura 48. Cableado por entrada A del Gabinete eléctrico.

Para pasar el cableado por los transformadores de corriente se introduce cada fase por cada uno de ellos y seguidamente se colocan en el soporte para evitar accidentes, la secuencia de fases es negro y azul (línea 3), negro (línea 2), rojo (línea 1). Después el cableado se pasa por la salida B del gabinete para posteriormente regresarlo al registro

eléctrico de control, ver Figura 49. dentro de este proceso se agregaron 3 cables más que se conectarán a cada fase de línea y al sistema de monitoreo Sentron PAC3100. Esto se realizó con el fin de evitar rasgar los cables de línea y provocar cortos circuitos o fallas de conexión.

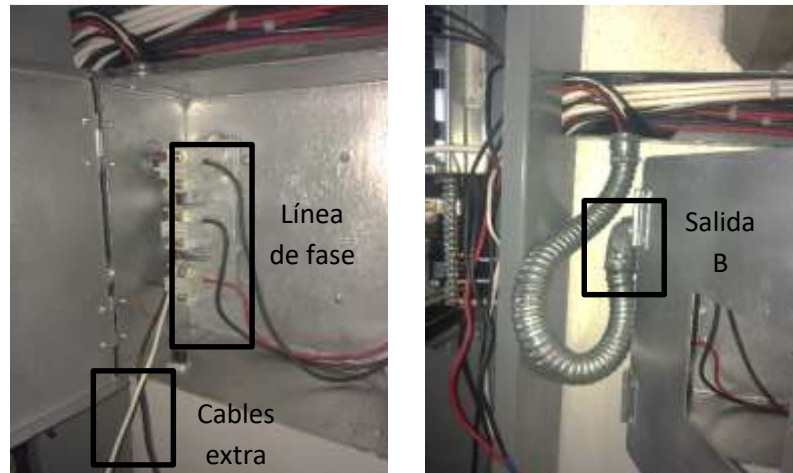
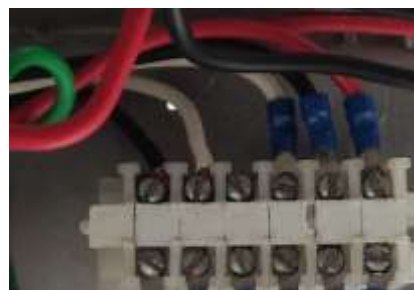


Figura 49. Cableado por transformadores y retorno de cables por salida B.

Como el sistema requiere cableado extra, se colocó un borne estándar con conexión de tornillo para facilitar las uniones y puentes necesarios para la instalación. En este borne se conectaron los cables extras agregados anteriormente, así como también uno de línea neutra y otro de tierra física, ver Figura 50. Para colocar los cables se utilizaron zapatas para facilitar la conexión de los mismos al borne.



Negro 1 = Neutro
Blanco 1 = Tierra Física
Blanco 2 = Línea 2
Negro 2 = Línea 2
Rojo = Línea 1

Figura 50. Borne estándar para realizar las conexiones.

Para realizar la conexión tipo estrella. Se toma como referencia la conexión propuesta por el fabricante SIEMENS la cual consta de un tipo de conexión 3P3W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. La herramienta a utilizar

es un destornillador de cruz y cable calibre 12, conectando siempre con la simbología correspondiente del PAC3100, parte X1, ver Figura 51.

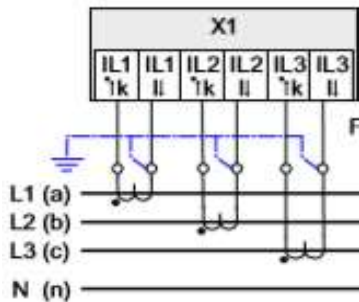


Figura 51. Conexión estrella de transformadores de corriente a Sentron PAC 3100.

Para la conexión de la parte X2 y tener completo el cableado del sistema de medición se utilizan el bloque de bornes que se instaló para colocar porta fusibles tipo americano y así, conectar finalmente al PAC3100, ver Figura 52.

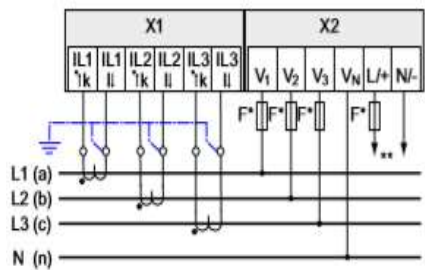


Figura 52. Conexión porta-fusibles del bloque X2 (Sentron PAC 3100).

4.2 Interfaz de comunicación.

4.2.1 Cableado conexión Modbus RTU vía interfaz RS-485 del SENTRUN PAC3100.

Para realizar el cableado del protocolo de comunicación Modbus RTU, se utilizó cable de par trenzado, o bien, utilizando el cable de red RJ45, el cual cuenta con la característica de ser par trenzado. Puesto que la distancia de transferencia de datos es de 2 metros, se puede utilizar este cable, ya que no estará instalado dentro de un conducto eléctrico en el cual se pueda generar ruido o alteración de datos. Se coloca una resistencia con valor de $120\Omega \pm 5\%$ entre los bornes A y B del bloque de bornes correspondiente a la interfaz RS-485, ver Figura 53. De igual manera se colocaron los cables RJ45 de 30cm, en este caso el Verde corresponde al COM, el Café corresponde al +/B y el Naranjado corresponde al -/A.



Figura 53. Conexión de resistencia a los bornes y cable RJ45 a los bornes A y B.

Al final del cable RJ45 se prosiguió a ponchar los cables utilizando solamente los que contienen la información de la interfaz, ver Figura 54.

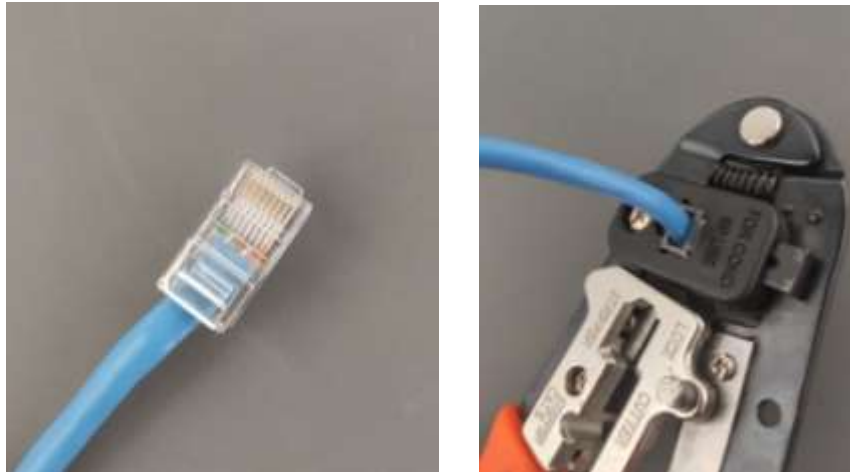


Figura 54. Ponchado de los cables de señal Rs-485.

Para seguir con la línea de comunicación en la parte inferior izquierda del gabinete eléctrico se realizó un corte rectangular con dimensiones de 2cm x 3cm, esto con fin de colocar un coplee RJ45 hembra-hembra y así poder tener acceso a la información a los datos de la interfaz, ver Figura 55.

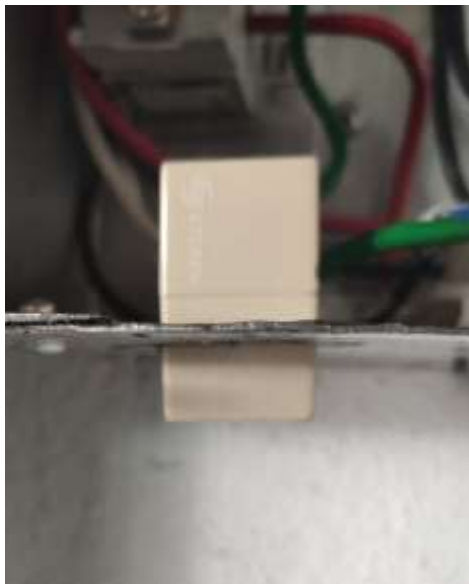


Figura 55. Coplee RJ45 tipo Hembra-Hembra.

Del resto del cable se ponchó una punta de modo que exista continuidad de señal hasta el borne de la interfaz RS-485, para colocar en la parte inferior del coplee, ver Figura 56.



Figura 56. Ponchado de cable para coplee de la parte inferior.

De la parte restante del cable existen dos posibles configuraciones que se realizaron en este documento, las cuales son utilizando el convertidor RS-485 a USB y la Shield Arduino Xbee V5.

4.2.2 Lectura de datos del dispositivo SENTRUN PAC3100 vía RS-485.

Como primera configuración esta conectar el convertidor RS-485 a USB con el cual se descargar el Driver CH430G para poder habilitar la lectura del puerto serial del dispositivo. Para la configuración de la conexión para la interfaz y solo considerando los bornes A y B, ya que el dispositivo conversor no necesita del común o tierra de la interfaz, ver Figura 57.

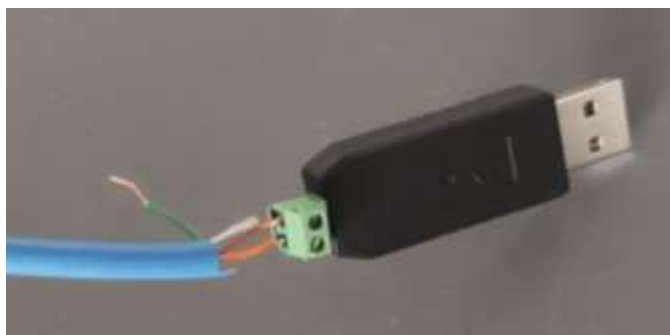


Figura 57. Conexión de la interfaz vía RS-485.

El programa para interpretar los datos por el puerto COM es ModbusMAT1.1 en el cual se configuran los siguientes parámetros, ver Figura 58.

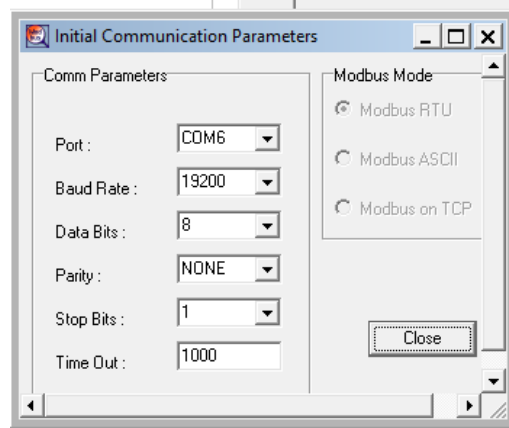


Figura 58. Configuración de lectura vía RS-485.

Y para finalizar la configuración solo resta poner el número de ID y la función que se desea ejecutar, ver Figura 59.

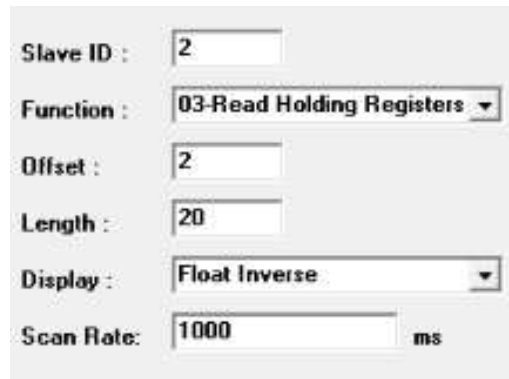


Figura 59. Dirección ID y función que se desea ejecutar.

Teniendo como resultados los valores de tensión y corriente de cada una de las 3 líneas empezando en la dirección 40008 (tensión línea 1) y finalizando en 40018 (corriente línea 3), ver Figura 60.

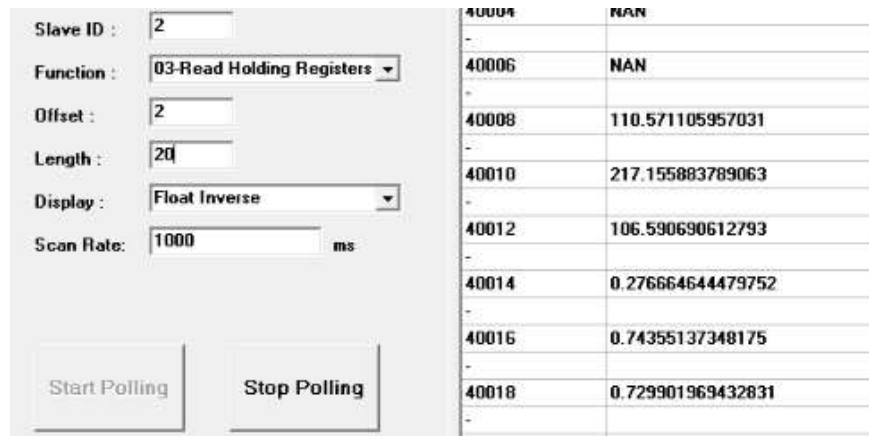


Figura 60. Resultados de lectura Vía RS-485.

Como segunda configuración esta utilizar la Shield Arduino Xbee V5 en la cual la conexión es idéntica a la señalada anteriormente, ver Figura 61.

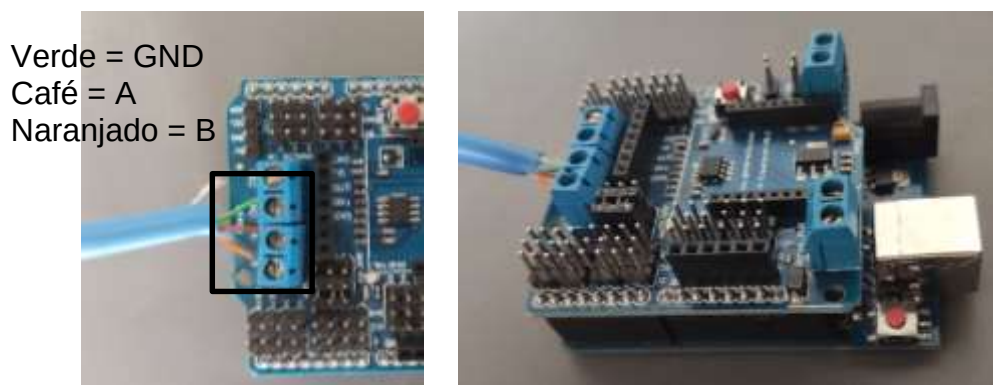


Figura 61. Conexión RS-485 utilizando la Shield Xbee V5.

En el Anexo 2 se presenta el código de comunicación utilizado para lograr la comunicación maestro (Arduino) y esclavo (Sentron PAC 3100). Igualmente se observan las librerías utilizadas y las partes que se configuran para lograr la comunicación y obtener lecturas de la interfaz Rs-485. Para cargar el programa a la placa Arduino basta con solo seleccionar el puerto COM detectado (COM3) y se procede a cargarlo para finalmente abrir el monitor serial de Arduino y poder visualizar los datos generados con la Shield Arduino Xbee V5, ver Figura 62. Los datos son "0" ya que se está midiendo la corriente y la maquina (Fresadora) se encuentra apagada.

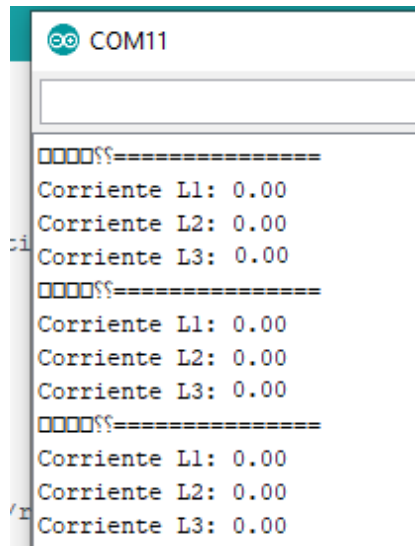


Figura 62. Datos obtenidos con el monitor serial de Arduino con maquina apagada.

Al encender la maquina se aprecia el cambio de lectura de datos del sistema de monitoreo, ver Figura 63.

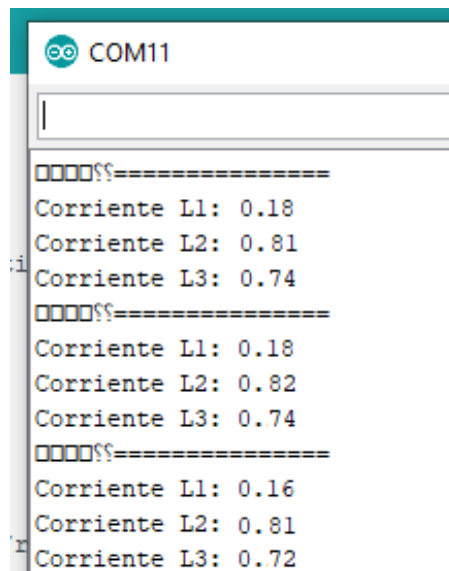


Figura 63. Lectura de corrientes cuando la maquina está encendida.

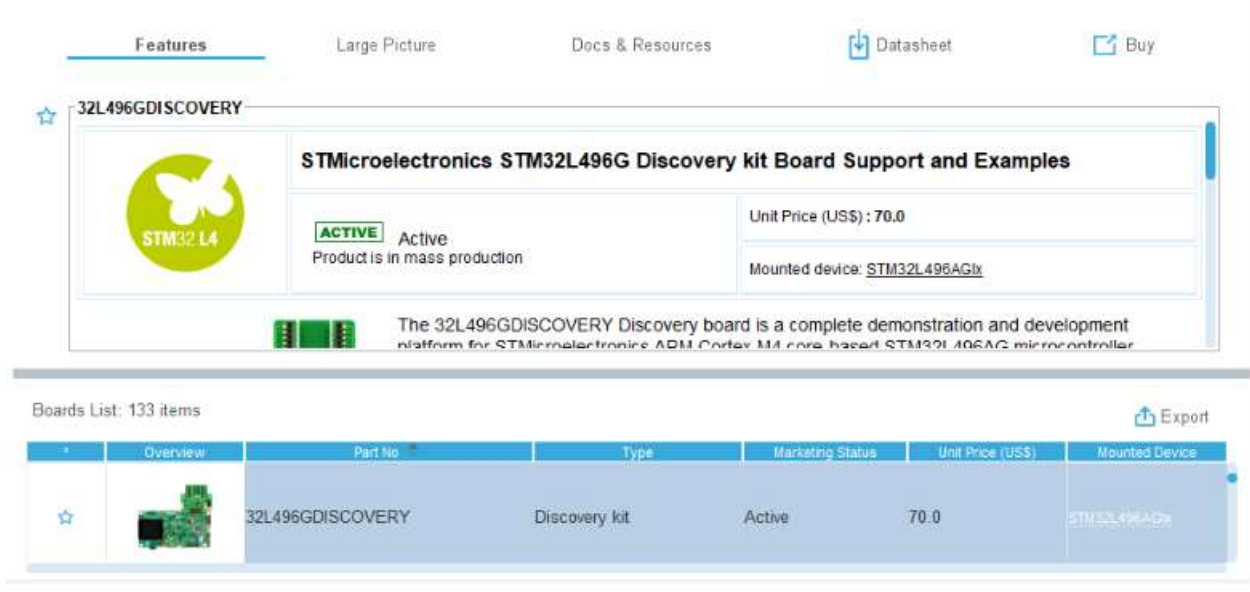
Los códigos de función (Offset) para poder leer los datos de registro son los siguientes, ver Figura 64. Para que Arduino los pueda interpretar es necesario convertirlos a base 16 (Hexadecimal).

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
1	2	Tensión L1-N	Float	V	-	R
3	2	Tensión L2-N	Float	V	-	R
5	2	Tensión L3-N	Float	V	-	R
7	2	Tensión L1-L2	Float	V	-	R
9	2	Tensión L2-L3	Float	V	-	R
11	2	Tensión L3-L1	Float	V	-	R
13	2	Corriente L1	Float	A	-	R
15	2	Corriente L2	Float	A	-	R
17	2	Corriente L3	Float	A	-	R
19	2	Potencia aparente L1	Float	VA	-	R
21	2	Potencia aparente L2	Float	VA	-	R
23	2	Potencia aparente L3	Float	VA	-	R
25	2	Potencia activa L1	Float	W	-	R
27	2	Potencia activa L2	Float	W	-	R
29	2	Potencia activa L3	Float	W	-	R
31	2	Potencia reactiva L1 (Q1)	Float	var	-	R
33	2	Potencia reactiva L2 (Q1)	Float	var	-	R
35	2	Potencia reactiva L3 (Q1)	Float	var	-	R
37	2	Corriente por neutro	Float	A	-	R
39	2	Frecuencia	Float	Hz	45 ... 65	R
47	2	Potencia aparente total	Float	VA	-	R
49	2	Potencia activa total	Float	W	-	R
51	2	Potencia reactiva total (Q1)	Float	var	-	R
53	2	Factor de potencia total	Float		-	R

Figura 64. Códigos de función para acceder a los registros.

4.3 Registro preliminar de datos empleando el módulo de comunicación MoTeBo®

Al realizar este apartado es necesario configurar la placa de desarrollo adecuada en el software STM32 CUBE, lo que nos permitirá configurar los pines necesarios para establecer la comunicación via RS-485, ver Figura 65.



The screenshot shows the product page for the STM32L496G Discovery kit. The page includes a navigation bar with links for Features, Large Picture, Docs & Resources, Datasheet, and Buy. The main content area displays the product name, a green 'ACTIVE' status badge, and the unit price of 70.0 US\$. Below this, a table lists the board details.

*	Overview	Part No.	Type	Marketing Status	Unit Price (US\$)	Mounted Device
☆		32L496GDISCOVERY	Discovery kit	Active	70.0	STM32L496AG

Figura 65. Selección de placa de desarrollo adecuada.

En este caso es la placa es la STM32L496G Discovery cuenta con pines hembra de conexión en los cuales podemos conectar la Shield Arduino Xbee V5, ver Figura 66.



Figura 66. Conexión de la Shield a la placa de desarrollo L496G.

Una vez identificada la placa adecuada en el software se da en siguiente y se muestra el área de trabajo en donde aparecerá la placa configurada, mostrando todos los pines habilitados y configurados en modo de fábrica, ver Figura 67.



Figura 67. Área de configuración del microprocesador de la placa de desarrollo L496G.

Como solo se requieren los pines para la recepción y transmisión de la interfaz RS-485, se borran todos los pines de la placa, esto porque se desea mantener la configuración inicial del proyecto MoTeBo, ver Figura 68.

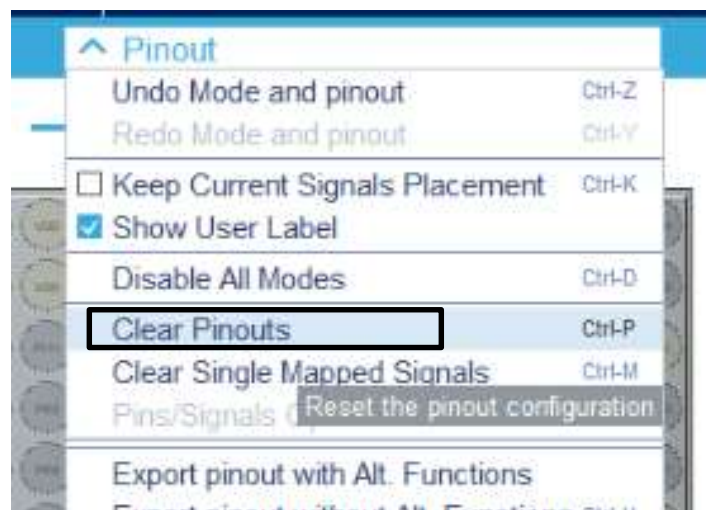


Figura 68. Limpieza de los pines configurados.

Teniendo los pines borrados se procede a configurar únicamente los pines 0,1 y 3, correspondiendo a TX, RX y Activar transmisión de datos, respectivamente, ver Figura 69.

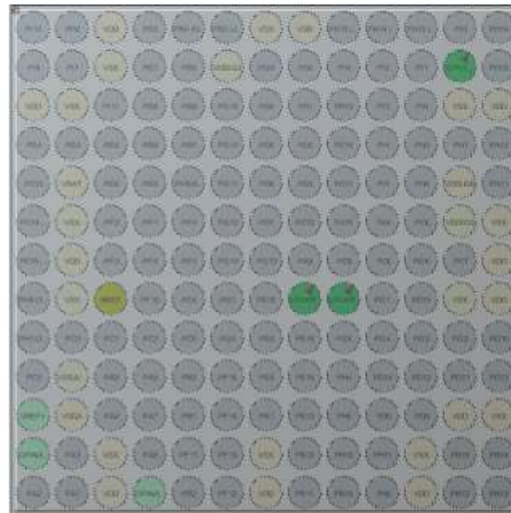


Figura 69. Configuración de pines necesarios para interfaz RS-485.

Después pulsando la herramienta de generación de código obtenemos las líneas necesarias para después pasar al entorno de desarrollo Atollic, ver Figura 70.

```

171 static void MX_LPUART1_UART_Init(void)
172 {
173     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 0 */
174     /* USER CODE END LPUART1_Init 0 */
175     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 1 */
176     /* USER CODE END LPUART1_Init 1 */
177     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 2 */
178     /* USER CODE END LPUART1_Init 2 */
179     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 3 */
180     /* USER CODE END LPUART1_Init 3 */
181     hlpuart1.Instance = LPUART1;
182     hlpuart1.Init.BaudRate = 19200;
183     hlpuart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
184     hlpuart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
185     hlpuart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
186     hlpuart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
187     hlpuart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
188     hlpuart1.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
189     hlpuart1.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
190     if (HAL_UART_Init(&hlpuart1) != HAL_OK)
191     {
192         Error_Handler();
193     }
194     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 2 */
195     /* USER CODE END LPUART1_Init 2 */
196     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 3 */
197     /* USER CODE END LPUART1_Init 3 */
198 }

```

```

205 static void MX_GPIO_Init(void)
206 {
207     GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
208     /* GPIO Ports Clock Enable */
209     __HAL_RCC_GPIOH_CLK_ENABLE();
210     __HAL_RCC_GPIOG_CLK_ENABLE();
211     HAL_PWREx_EnableVddIO2();
212     /*Configure GPIO pin Output Level */
213     HAL_GPIO_WritePin(GPIOH, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
214     /*Configure GPIO pin : PH15 */
215     GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_15;
216     GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
217     GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
218     GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
219     HAL_GPIO_Init(GPIOH, &GPIO_InitStruct);
220 }
221
222
223
224
225

```

Figura 70. Configuración necesaria para entorno Atollic.

De igual manera también se incluyen las librerías para lograr la comunicación RTU Modbus Master las cuales son las siguientes, ver Figura 71.

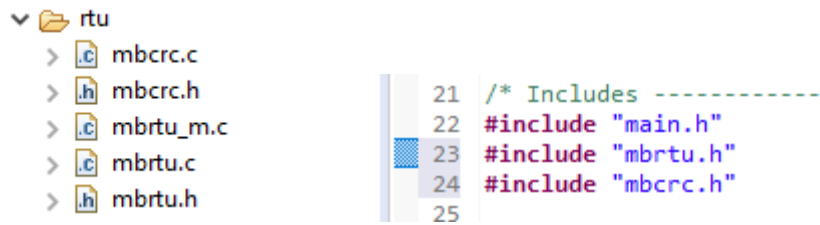


Figura 71. Carpeta y declaración de librerías necesarias.

En el entorno de Atollic quedaría algo como lo siguiente, con los pines de comunicación vía interfaz RS-485 y funcionalidades específicas del programa proporcionado por la empresa MoTeBo, ver Figura 72.

```

140 void poorReceiver(char *buffer, int len) {
141
142     memset(buffer, 0, len);
143     unsigned int cbyte, cbit;
144     HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
145     dummyWait();
146     for (cbyte = 0; cbyte != len; cbyte++) {
147         for (cbit = 0; cbit != 8; cbit++) {
148             //receive on falling
149             HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
150             dummyWait();
151             buffer[cbyte] |= (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, GPIO_PIN_7) << cbit);
152             //avoid re-entry into ready mode
153             if ((cbyte + 1) == len && (cbit + 1 == 8))
154                 return;
155             HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
156             dummyWait();
157         }
158     }
159 }

```

Figura 72. Inclusión de códigos generados para la comunicación RS-485.

V. CONCLUSIONES

Al estar realizando este proyecto y hacer una comparación entre el conocimiento inicial y el final, respecto al diseño y construcción del gabinete eléctrico, me doy cuenta que no simplemente es ponerse a diseñar y entregar productos terminados, al contrario, todo esto lleva una metodología y seguimiento de reglas y normativas, las cuales se deben respetar según sea el caso. De igual manera, mi conocimiento relacionado al sistema de monitoreo industrial eran nulos, por lo que realizar la investigación fue una tarea compleja, ya que existen muchos sistemas para lograr el monitoreo, los cuales cumplen con características en menor o igual manera que el dispositivo que utiliza para el presente proyecto (SIEMENS).

Por otra parte, al realizar la conexión Modbus RTU vía interfaz RS-485 hacia el SENTRUN PAC3100, fue un poco más sencillo, ya que en el periodo de realización del proyecto cursé la materia de especialidad “Interfaces y redes industriales”, con la cual tuve asesoría del docente responsable de la materia, pero, aun así, el realizar la comunicación no fue fácil, ya que son redes de comunicación que implican su grado de complejidad por múltiples aspectos que tienen que estar completamente controlados, de no ser así la comunicación no se logra o los datos son erróneos, respecto a lo que se está midiendo. Pero al final, las adversidades y dificultades presentadas a lo largo del proyecto se cumplieron satisfactoriamente teniendo resultados como los que se muestran en el apartado anterior.

Como futura implementación respecto al proyecto se pretende realizar un sistema en el cual solo se utilice un dispositivo de monitoreo (SENTRUN PAC3100) y se pueda obtener la medición de hasta 3 máquinas, esto surge ya que con los dispositivos de medición únicamente se puede medir el consumo de una maquina a la vez, por lo que es bastante factible el diseñar e implementar un sistema que cumpla con esta condición, siendo capaz de ofrecer una solución completa y satisfactoria.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Implementé métodos innovadores de solución de problemas, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
2. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Mecatrónica, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
3. Coadyuve a cumplir los retos de la empresa en torno a proyectos de tecnología patentable.
4. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de construcción del proyecto.
5. Diseñé e innové estructuras de procesos, con base en las necesidades de la empresa para incrementar sus niveles de productividad.
6. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos y modelado de sistemas en los procesos de la organización, para la mejora continua atendiendo estándares de calidad.
7. Implementé planes y programas de seguridad industrial para el fortalecimiento del entorno del proceso.
8. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la empresa, para optimizar los procesos y la eficaz toma de decisiones.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar modelos, sistemas, procesos y productos en las diferentes dimensiones de la organización.
10. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas en la industria con una visión estratégica.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

Fuentes revista.

- (1) CFE. Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico. POISE (2011-2025). México, D.F.: Comisión Federal de Electricidad, 2010
- (4) INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Balances, OECD and OECD data bases. 2008 Edition. International Energy Agency, 2008.
- (6) Análisis de la Demanda Regional y el Cambio Estructural en el Sector Eléctrico Mexicano. Autor: Alejandro Díaz Bautista.
- (7) Annual Energy Review, 2004. Energy Information Administration.

Fuentes de internet

- (2) Energía para la industria. [Uso de la energía: La industria]. Recuperado de http://www.larutadelaenergia.org/usos/v8_b1.asp?v=7&b=0
- (3) Programa de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. (2016/2030). [PRODESEN]. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98308/PRODESEN-2016-2030_1.pdf
- (5) Comisión Federal de Electricidad. [La Comisión Federal de Electricidad, Empresa Productiva del Estado]. Recuperado de <https://www.cfe.mx/acercacfe/Quienes%20somos/Pages/conceptocfe.aspx>
- (8) Comisión Federal de Electricidad. [Tarifa DIT, Demanda industrial en transmisión]. Recuperado de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/DemandaIndustrialTran.aspx>
- (9) Técnica Salgar. [FACTOR DE POTENCIA]. Recuperado de <https://salgar.com/factor-de-potencia/>
- (10) Tecnología. [Factor de potencia]. Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/factor-de-potencia.html>

- (11) Corriente eléctrica y resistencia. [Energía Eléctrica y Energía]. Recuperado de <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/electric-power-and-energy/>
- (12) Desarrollos eléctricos. (2015-2019). [INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES]. Recuperado de <https://www.matyse.es/instalaciones-electricas-industriales/>
- (13) INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES. (2019). [Instalaciones eléctricas industriales realizadas con estricto apego a la norma NOM-SEDE-001 2012 en media y baja tensión]. Recuperado de <http://francor.com.mx/instalaciones-electricas-industriales/>
- (14) Instalaciones eléctricas en media y baja tensión. [Instalaciones eléctricas industriales]. Recuperado de <https://geclan.com.mx/servicios/instalaciones-electricas-industriales/>
- (15) El blog sobre instalaciones eléctricas. [Instalaciones Eléctricas Industriales: Toda la información]. Recuperado de <https://inst-morenoygonzalez.com/noticias/instalaciones-electricas-industriales/>
- (16) Basic monitoring of electrical power systems. (2011). [SENTRON PAC3100]. Recuperado de https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=BTLV_38468
- (17) Certificación LEED. [Leadership in Energy and Environmental Design]. Recuperado de <https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>
- (18) Siemens Sentron. [Manual de producto]. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/976/37881976/att_834832/v1/sentron_pac3100_manual_es_03_es-MX.pdf
- (19) Como funciona una Fresadora. [Que es una Fresadora]. Recuperado de <https://comofunciona.co/una-fresadora/>
- (20) CNC machining services. [Fresadora]. Recuperado de <https://maquinadocnc.com.mx/fresadora/>
- (21) De Máquinas y Herramientas. (2014/2019). [¿Cómo funciona la Fresadora CNC?]. Recuperado de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>

- (22) IPC2U. (2016 IPC2U Group). [Complete FAQ about the Modbus protocol conversion]. Recuperado de
<https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/complete-faq-about-the-modbus-protocol-conversion/>
- (23) IPC2U. (2016 IPC2U Group). [Modbus RTU made simple with detailed descriptions and examples]. Recuperado de
<https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/modbus-rtu-made-simple-with-detailed-descriptions-and-examples/>
- (24) IPC2U. (2016 IPC2U Group). [The main differences between RS-232, RS-422 and RS-485]. Recuperado de
<https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/the-main-differences-between-rs-232-rs-422-and-rs-485/>

ANEXO 1

Planos con medidas y dimensiones de diseño del gabinete eléctrico, soporte de transformadores y soporte del Sentron PAC3100.

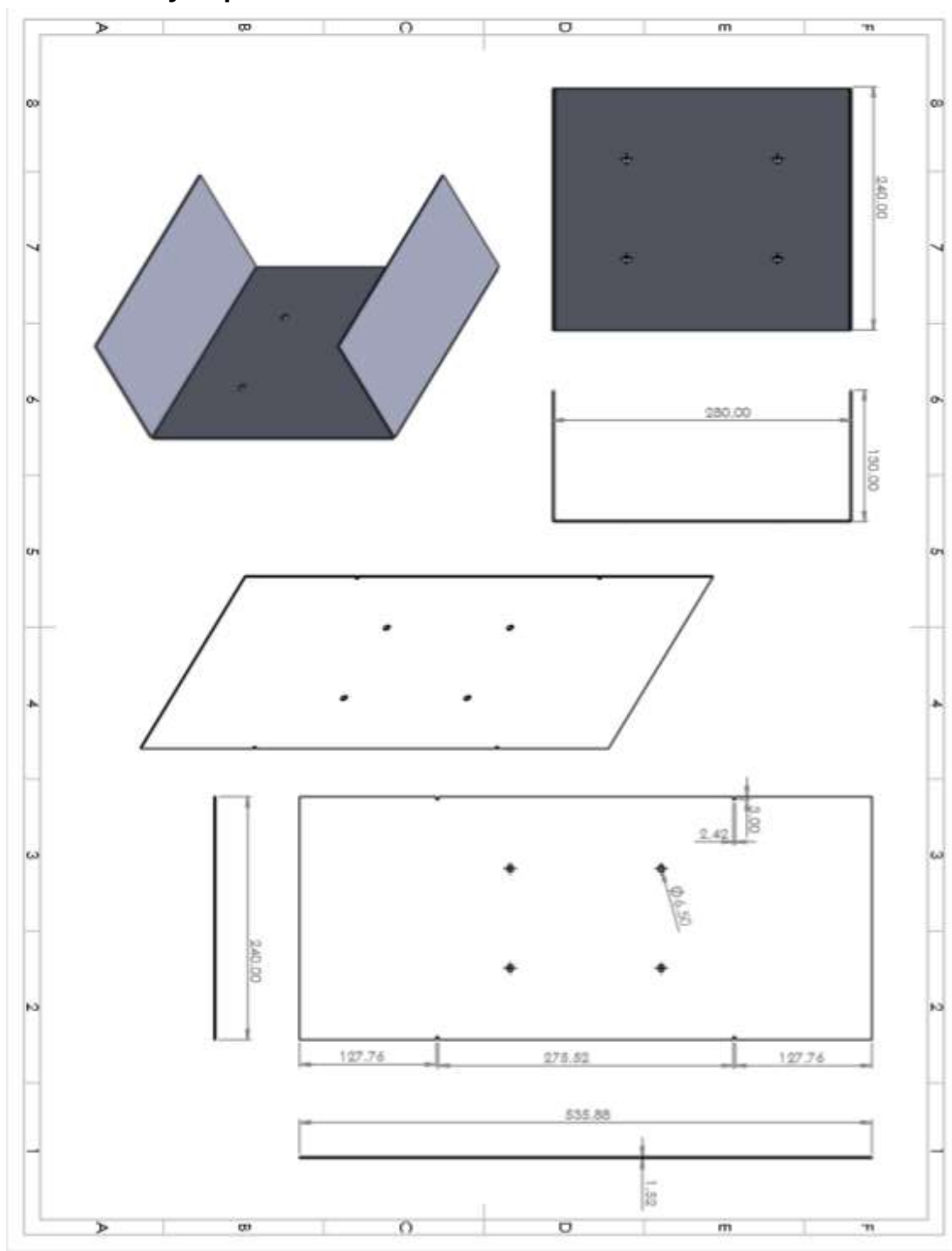


Figura 73. Medidas de la pieza “base” del gabinete eléctrico.

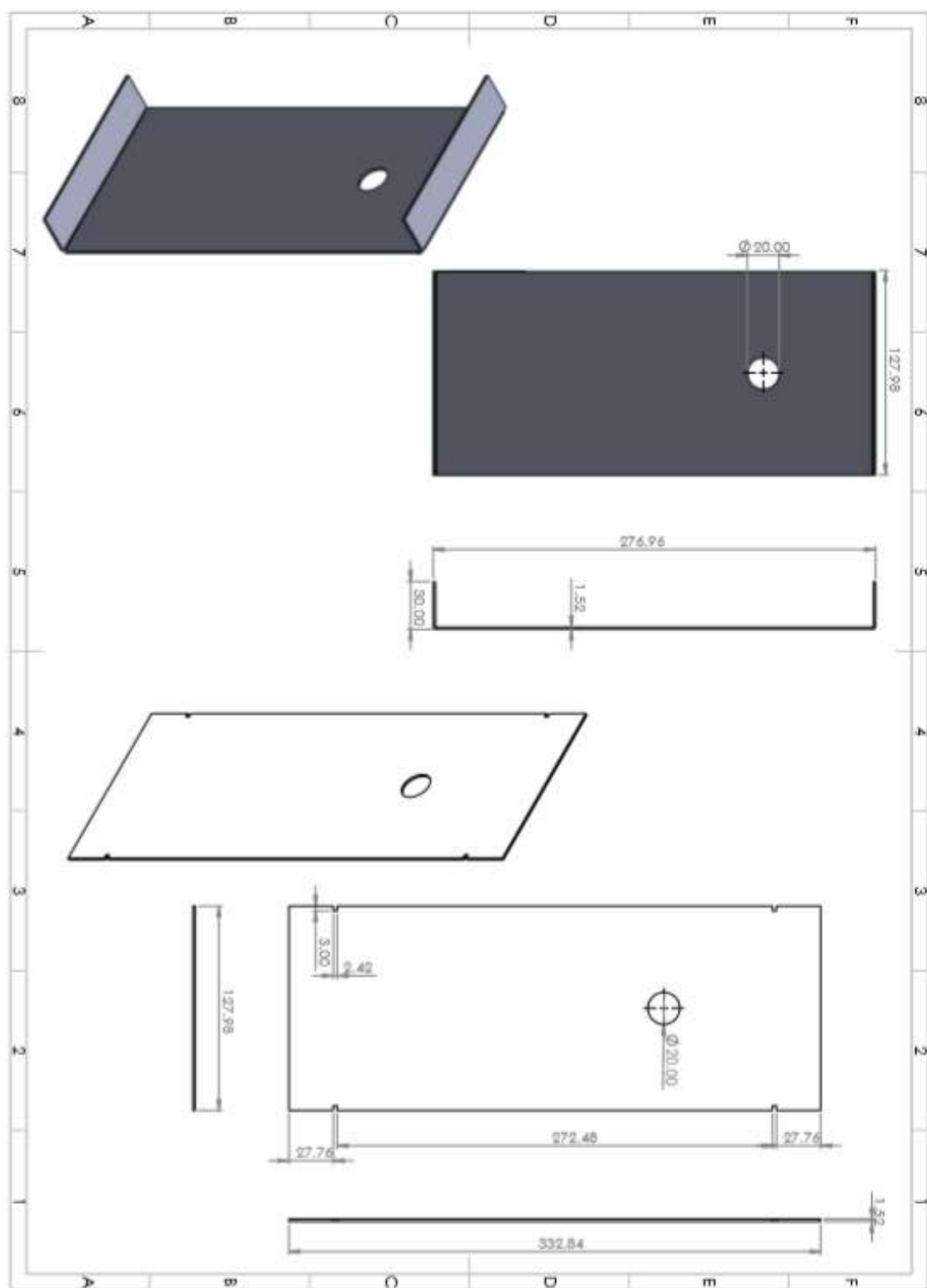


Figura 74. Medidas de la pieza "lateral" del gabinete eléctrico.

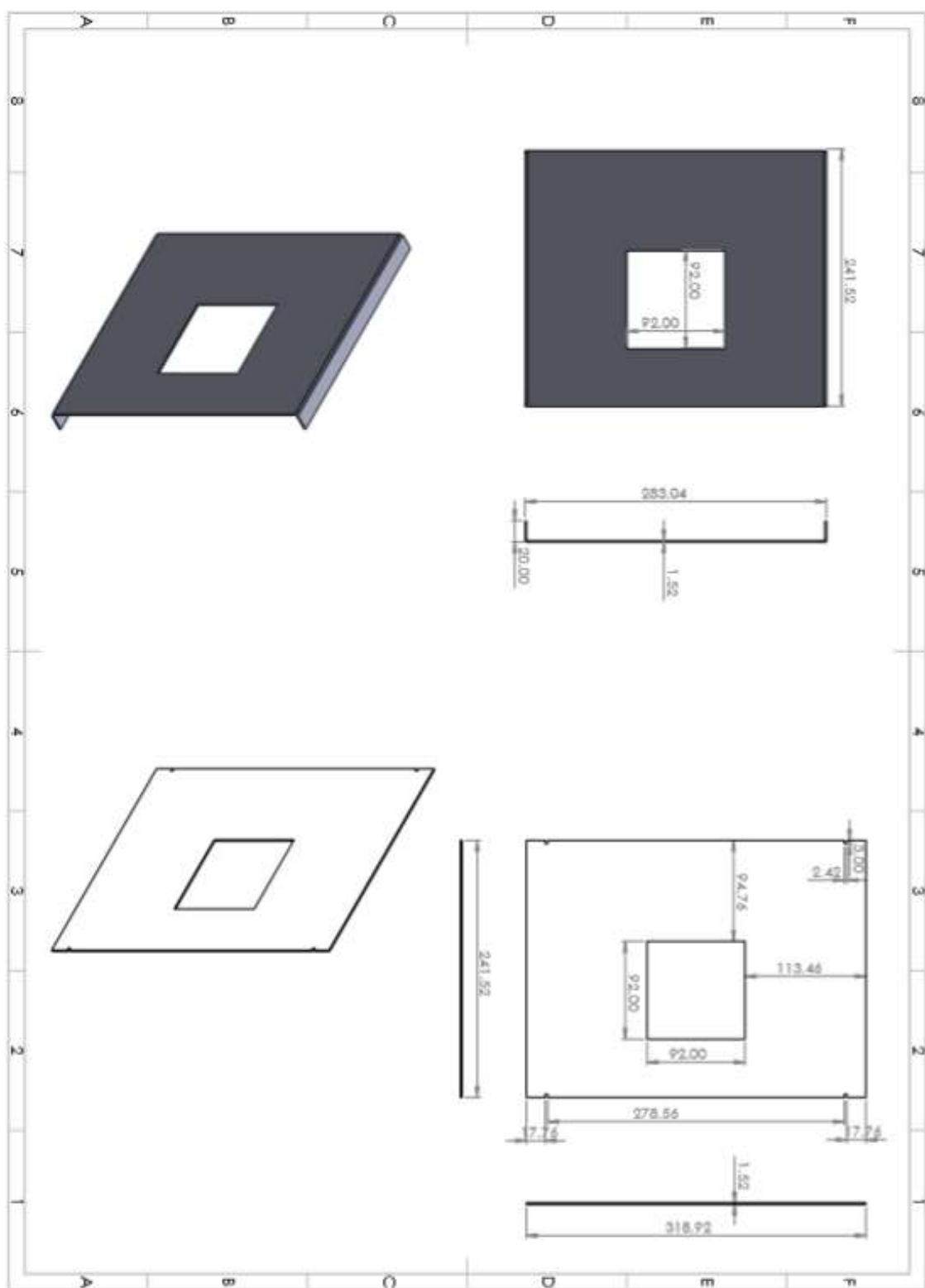


Figura 75. Medidas de la pieza "tapadera" del gabinete eléctrico.

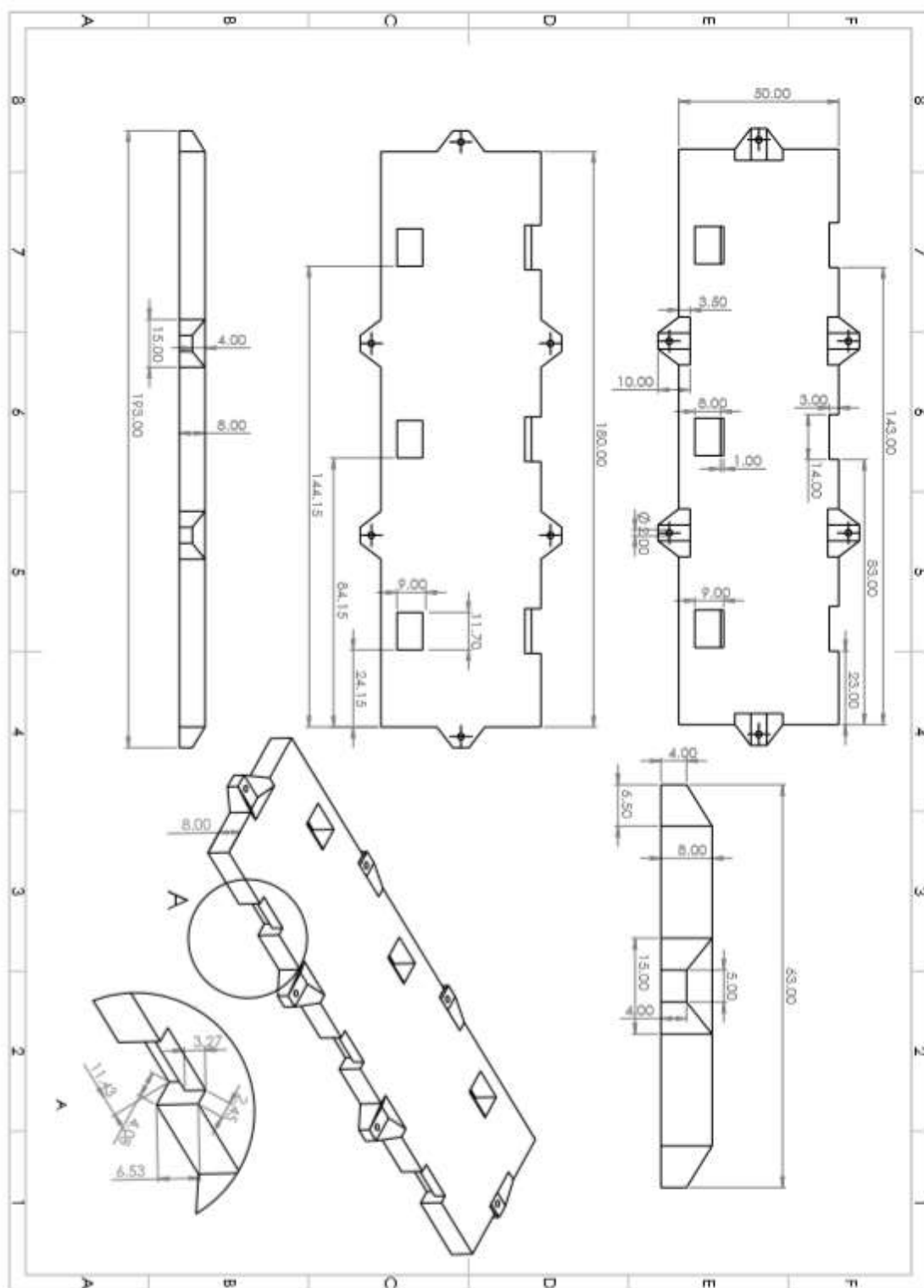


Figura 76. Medidas de la pieza “porta transformador de corriente” del gabinete eléctrico.

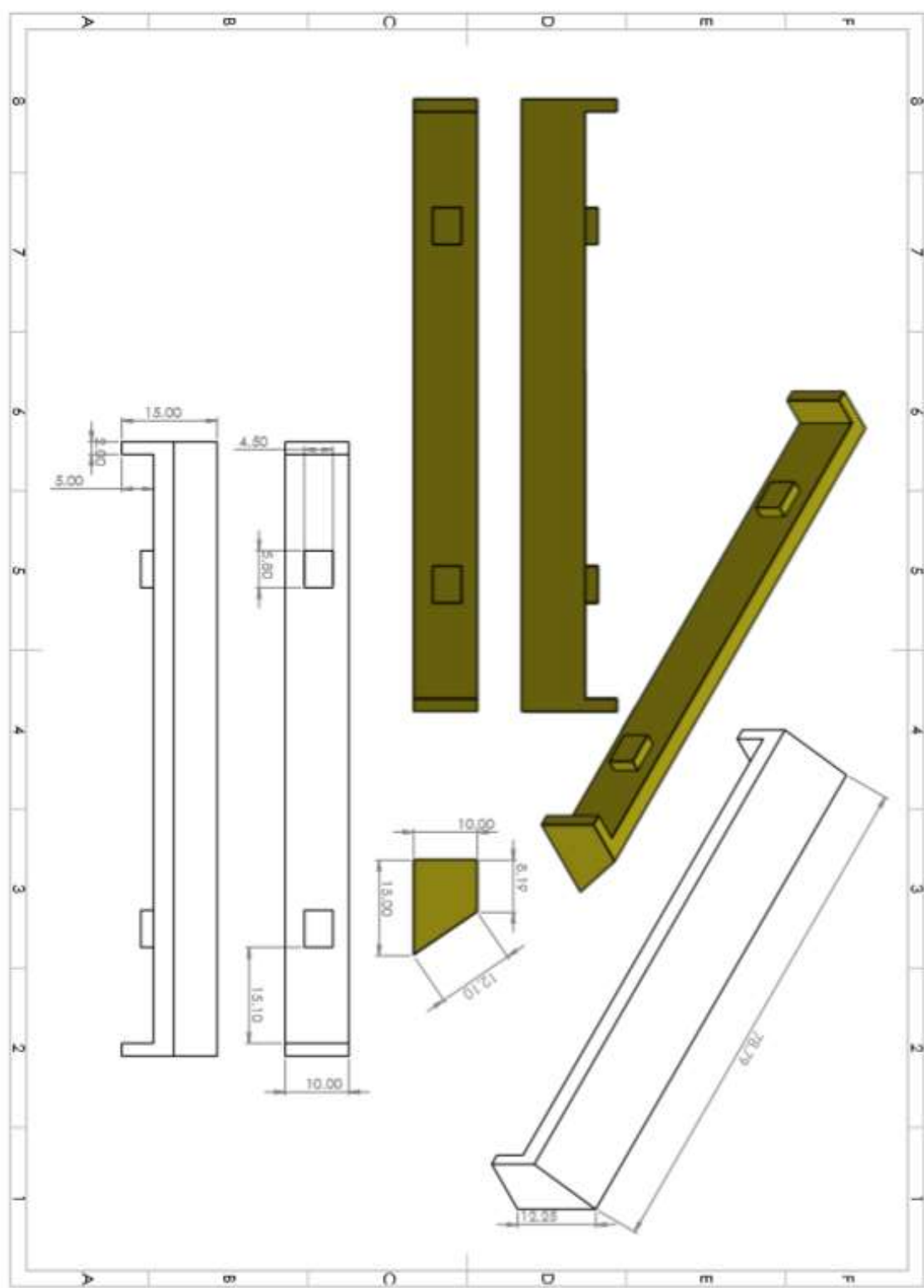


Figura 77. Medidas de la pieza “soporte Sentron PAC3100” del gabinete eléctrico.

ANEXO 2

Código de implementación para la comunicación Modbus Master vía interfaz RS-485 utilizando el entorno de desarrollo Arduino.

```
#include <ModbusMaster.h>

ModbusMaster pac;

//Enable pins of the Adapter
#define MAX485_DE 3
#define MAX485_RE 2

void preTransmission()
{
    digitalWrite(MAX485_DE, 1);
    digitalWrite(MAX485_RE, 1);
}

void postTransmission()
{
    digitalWrite(MAX485_DE, 0);
    digitalWrite(MAX485_RE, 0);
}

void setup()
{
    pinMode(MAX485_RE, OUTPUT);
    pinMode(MAX485_DE, OUTPUT);

    //Initiate Reception
    digitalWrite(MAX485_DE, LOW);
    digitalWrite(MAX485_RE, 0);

    Serial.begin(19200);

    //PAC slave ID is 126
    pac.begin(2, Serial);

    pac.preTransmission(preTransmission);
    pac.postTransmission(postTransmission);
}

//bool state = true;

void loop()
```

```

{
  uint8_t result;

  pac.preTransmission(preTransmission);

  result = pac.readInputRegisters(0x30001,20);//Funcion utilizada

  pac.postTransmission(postTransmission);

  if (result == pac.ku8MBSuccess)
  {
    Serial.println("=====");
    Serial.print("Corriente L1: ");
    Serial.println((pac.getResponseBuffer(0x0D))/100.4F);//registro a leer
    Serial.print("Corriente L2: ");
    Serial.println((pac.getResponseBuffer(0x10))/100.4F);
    Serial.print("Corriente L3: ");
    Serial.println((pac.getResponseBuffer(0x12))/100.4F);

  }
  if (result == pac.ku8MBInvalidSlaveID){ // Falla de direccion ID invalida.
    Serial.println("fail");
  }
  if (result == pac.ku8MBInvalidFunction){ // Funcion de acceso incorrecta.
    Serial.println("failfunction");
  }
  if (result == pac.ku8MBResponseTimedOut){ // Tiempo de respuesta erroneo.
    Serial.println("timeout");
  }
  if (result == pac.ku8MBInvalidCRC){ // Final de trama de datos incorrecta.
    Serial.println("failcrc");
  }
  delay (1000);
}

```

ANEXO 3

Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.



Figura 78. Carta aceptación residencias profesionales.

ANEXO 4

Carta de conclusión por parte de la empresa para la residencia profesional.



Figura 79. Carta conclusión residencias profesionales.