

Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Electromecánica

**Determinación de factores de carga en la red eléctrica
subterránea de la ciudad de San José para el Proceso Red
Subterránea a partir de agosto de 2017**

Trabajo final de graduación presentado como requisito para optar
por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

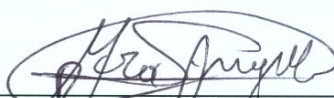
Por:

Carlos Alberto Bonilla Sanabria

Heredia, agosto de 2017

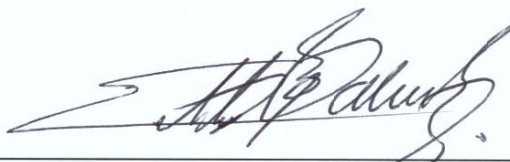
TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Determinación de Factores de Carga para la Red Eléctrica Subterránea en la Ciudad de San José para el Proceso Red Subterránea a partir de agosto de 2017, por el estudiante: Carlos Alberto Bonilla Sanabria, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica:



Ing. Rodolfo Mora Angulo

Tutor



Ing. Esteban Palma Gutiérrez M.G.P.

Lector



Ing. André Tabash Matamoros

Representante

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a Dios por haberme dado el don de la vida, por darme salud y esperanza.

A mis familiares y amigos que siempre han creído en mí, por darme ese impulso para seguir adelante.

Al mi tutor, el Ing. Rodolfo Mora Angulo, por sus enseñanzas y recomendaciones para el éxito de este proyecto.

Al lector, el Ing. Esteban Palma Gutiérrez, por su dedicación e interés en este proyecto.

Al personal de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. por sus valiosos aportes.

Dedicatoria

Les dedico este trabajo de graduación a mis padres, Concepción y María Cecilia, por su guía y amor durante las diferentes etapas de mi vida; a mis hermanas Julia, Patricia y Jessica, porque siempre me han dado su apoyo; y especialmente a mis hijos Carlos Andrés y Jimena porque supieron motivarme para que siguiera luchando por mis metas.

Gracias.

Tabla de contenido

Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xi
Lista de gráficos	xii
Lista de ecuaciones.....	xiii
Resumen.....	1
Capítulo I.....	2
1.Problema y propósito	3
1.1. El problema.....	3
1.2. Causas.....	3
1.3. Pronóstico.....	4
1.4. Control del pronóstico	5
1.5. Formulación del problema.....	5
1.6. Sistematización del problema	5
1.7. Objetivo general.....	5
1.8. Objetivos específicos	6
Capítulo II.....	7
2.Marco teórico.....	8
2.1. Marco situacional	8
2.2. Antecedentes históricos de la empresa	8

2.3. Misión de la empresa	9
2.4. Visión de la empresa	10
2.5. Ubicación espacial	10
2.6. Organigrama	11
2.7. Estructura de la red eléctrica de distribución subterránea de la ciudad de San José.....	12
2.8. Obra civil	15
2.8.1. Canalizaciones	15
2.8.2. Registros	17
2.8.3. Cámaras de media tensión	18
2.9. Obra electromecánica	20
2.9.1. Subestación	20
2.9.2. Doble alimentador principal (DAP).....	20
2.9.3. Anillos de media tensión.....	21
2.9.4. Dobles alimentadores secundarios (DAS).....	22
2.9.5. Módulos de media tensión	23
2.9.5.1 Módulo M01/M02 (ver la figura 2.11)	23
Plano 3503-23-155-01Módulo M04-05 de Inabensa para la CNFL, S.A.....	24
2.9.5.2 Módulo M04/M05 (ver la figura 2.12)	24
Plano 3503-23-156-01. Módulo 09 de Inabensa para la CNFL, S.A.....	25

2.9.5.3 Módulo M09 (ver la figura 2.13)	26
2.9.5.4 Módulo M10 (ver la figura 2.14)	27
2.9.5.5 Módulo M11 (ver la figura 2.15)	28
2.9.6. Distribución pública general (DPG).....	29
2.10. Funcionamiento de la red	30
2.11. Microcontrolador Arduino.....	35
2.11.1. Hardware en Arduino	36
2.11.2. Software y programación.....	38
2.11.3. Transformador de corriente	40
2.12. Hipótesis.....	41
2.13. Limitaciones.....	42
2.14. Alcances	43
Capítulo III.....	44
3.Desarrollo	45
3.1. Sistema de monitoreo basado en Arduino	45
3.1.1. Principales componentes utilizados.....	45
3.1.2. Conexión del sistema	48
3.1.3. Programación y funcionamiento	51
3.1.4. Costo del sistema de monitoreo	58
3.1.5. Instalación del sistema de monitoreo en la red eléctrica subterránea	59

3.2. Zona de estudio	61
3.3. Datos obtenidos del monitoreo	64
3.4. Cálculos teóricos.....	72
3.5. Conclusiones	74
3.6. Recomendaciones	75
Bibliografía	77
Abreviaturas	78
Anexos	79
Apéndice	96

Lista de figuras

Figura 2.1. Área servida por la CNFL, por cantones	11
Figura 2.2. Organigrama de la CNFL.	12
Figura 2.3. Diagrama unifilar simplificado de la red eléctrica subterránea.	14
Figura 2.4. Canalización del tipo C2.....	15
Figura 2.5. Canalización del tipo C8.....	16
Figura 2.6. Registro de media tensión del tipo R1.....	17
Figura 2.7. Registro de baja tensión del tipo RBT3	18
Figura 2.8. Cámara para el seccionador o módulo.....	19
Figura 2.9. Cámara para centro de transformación pública general.....	19
Figura 2.10. Cable para redes eléctricas subterráneas de media tensión.....	21
Figura 2.11. Interruptor sumergible M01/M02, vista superior	24
Figura 2.12. Interruptor sumergible M04/M05, vista frontal	25
Figura 2.13. Vista de planta de un interruptor sumergible M09.....	26
Figura 2.14. Vista de la planta del módulo M10	27
Figura 2.15. Vista de la planta del módulo M11	28
Figura 2.16. Vista frontal del centro de transformación D1	29
Figura 2.17. Extracto del diagrama de media tensión del doble alimentador principal Guadalupe-2 y anillo de media tensión G2-A1	32
Figura 2.18. Extracto del diagrama de media tensión del doble alimentador principal Guadalupe-2, sección del doble alimentador secundario G2-DAS 2.....	33
Figura 2.19. Extracto del diagrama de media tensión del doble alimentador principal Guadalupe-2, sección del respaldo en los módulos M11	34

Figura 2.20. Microcontrolador arduino.....	36
Figura 2.21. Vista de presentación del programa.....	38
Figura 2.22. Vista de espacio para programación	40
Figura 3.1. Arduino UNO	46
Figura 3.2. Bloque electrónico TA12-200	47
Figura 3.3. Zócalo para memoria MicroSD.....	47
Figura 3.4. Batería 6VCD.	48
Figura 3.5. Diagrama de conexión del sistema de monitoreo.....	49
Figura 3.6. Montaje del sistema de monitoreo.....	50
Figura 3.7. Montaje del sistema de monitoreo en cámara de interruptor M02 17-0307 .	60
Figura 3.8. Transformadores de corriente en interruptor.....	60
Figura 3.9. Ubicación de la zona de estudio	61
Figura 3.10. Interruptor M02 17-0307, sitio donde se instaló el sistema de monitoreo ..	62
Figura 3.11. Diagrama unifilar de media tensión para G2-A2	63

Lista de tablas

Tabla 3.1. Costo de los materiales	59
Tabla 3.2. Medición de G2-A2 con amperímetro de gancho	64
Tabla 3.3. Medición de G2-A2 con sistema arduino	66

Lista de gráficos

Gráfico 3.1. Corrientes de línea G2-A2	65
Gráfico 3.2. Corrientes de línea G2-A2 mediante arduino.....	68
Gráfico 3.3. Comportamiento de la potencia para el anillo G2-A2.....	70

Lista de ecuaciones

Ecuación 3.1. Cálculo de potencia	68
Ecuación 3. 2. Cálculo factor de carga	71
Ecuación 3. 3. Cálculo de la demanda máxima.....	72

Resumen

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz cuenta con una amplia red eléctrica subterránea en el centro de la ciudad capital. Mediante ella les ofrece a los habitantes del sector una mayor confiabilidad en el servicio recibido. No obstante, a pesar de este gran avance algunos circuitos de esa red no son monitoreados para revisar el estado actual de los diferentes alimentadores; además, para los ajustes de demanda no hay cálculos de factores de carga que puedan emplearse para calcular el diseño y ajuste de la demanda de energía de estos circuitos.

Por tales motivos se procedió a diseñar un sistema de monitoreo de bajo costo basado en el microcontrolador Arduino, el cual, por medio de mediciones de corriente, permitió determinar un factor de carga para la zona en estudio. Este factor de carga posibilita realizar cálculos de máxima demanda a partir de los datos de consumo de energía registrados en la facturación de cada cliente.

Con este monitoreo se podrán hacer cálculos de los nuevos factores de carga adecuados que le permitan a la CNFL mantener en buen estado la red eléctrica subterránea del centro de San José, para así optimizar su uso y garantizar un mejor servicio.

Capítulo I

1. Problema y propósito

1.1. El problema

En la red eléctrica subterránea de la ciudad de San José, instalada y mantenida por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, no se monitorea la corriente distribuida en los distintos conductores para las diferentes derivaciones de los alimentadores principales de media tensión. El no contar con esta medición local, ni remota, ni en el tiempo, impide determinar los estados de la red en cuanto a la ampacidad y la carga relativa a cada circuito. Esto ocasiona que no se conozca con certeza si la red eléctrica se está utilizando al máximo o si, por el contrario, está siendo subutilizada pese a tener capacidad para trasegar mayor carga de la asignada actualmente. Esto porque no se tienen mediciones históricas de al menos veinticuatro horas de las corrientes de cada circuito distribuido de la red eléctrica subterránea de la CNFL en San José centro.

1.2. Causas

De las principales causas de que se dé esa situación, una es que la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. no cuenta con un equipo especializado para realizar mediciones en redes subterráneas las veinticuatro horas del día, durante los siete días de la semana, que permitan y faciliten obtener factores de carga para realizar cálculos y estimaciones.

Lo anterior se presenta por las condiciones de humedad extrema producto de bajas temperatura y aguas filtradas (incluso aguas negras) en las cámaras de la red eléctrica subterránea, y es difícil encontrar equipos que se adapten a esas condiciones.

Otro problema que se suma a las causas es el vandalismo. La red eléctrica subterránea constantemente se ve alterada por robos y destrucción por parte de personas que se dedican a tales actividades, por lo cual la instalación de equipos de alto valor y fácil extracción conlleva un gran riesgo económico.

1.3. Pronóstico

El no poder medir e historizar los flujos de corriente de los circuitos de la red subterránea de la CNFL en San José no permite determinar factores de carga en esta red, lo que implica que no se pueda predecir su comportamiento, y con eso podría estarse desaprovechando su potencial.

El no contarse con mediciones, pronósticos o estimaciones de las cargas y consumos de los circuitos de la red en cuestión podría estar ocasionando sobrecargas en los circuitos de media tensión cuando estos son respaldados para efectos de mantenimiento preventivo o correctivo. Además, esto podría provocar el disparo de las protecciones electrónicas y con ello en ese momento se dejaría de suministrar energía a cantidades importantes de clientes, lo que en energía no servida implica grandes pérdidas para la CNFL.

Lo mencionado también podría provocar el fallo de terminales de media tensión debido a la operación en condiciones de alta temperatura, además de posibles fallas que también implican energía no servida, y esto iría disminuyendo la vida útil de los conductores.

1.4. Control del pronóstico

Para los fines de este apartado se hará un análisis de los datos que se obtengan de las de las mediciones de corriente que se lleven a cabo para conocer la carga durante los periodos pico, valle y nocturno, lo que permitirá determinar los factores de carga para los circuitos en estudio.

1.5. Formulación del problema

¿Cómo determinar factores de carga en la red eléctrica subterránea de la CNFL en la ciudad de San José, que permitan realizar cálculos para predecir el estado de los diferentes circuitos de esta red?

1.6. Sistematización del problema

En diferentes puntos de la red se realizarán una serie de mediciones con amperímetro de gancho y mediante la fabricación de un sistema de plataforma de tipo Arduino. El propósito es realizar un monitoreo de la red en periodos de al menos veinticuatro horas que permita historizar el comportamiento de las cargas con almacenamiento de los datos medidos. Esto por cuanto en la actualidad no se cuenta con ese tipo de datos para hacer el estudio y la estimación de los factores de carga de estos circuitos de la red eléctrica subterráneas de la CNFL, en la ciudad de San José.

1.7. Objetivo general

Monitorear un anillo de la red eléctrica de distribución subterránea de la ciudad de San José mediante el empleo de un sistema de adquisición de datos basado en

Arduino, con mediciones puntuales de corrientes por circuito que permitan determinar los factores de carga en los diferentes circuitos de la red.

1.8. Objetivos específicos

- 1.8.1. Efectuar mediciones eléctricas de intensidad con amperímetro de gancho marcas Fluke y Arduino, utilizando transformadores de corriente para determinar la demanda de energía de la red eléctrica mediante cálculos.
- 1.8.2. Comparar los datos obtenidos de las mediciones hechas con los datos de los cálculos teóricos obtenidos de acuerdo con la energía consumida por cada cliente del circuito, utilizando para ello el sistema de facturación de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz. De esa manera se verificará la concordancia entre datos.
- 1.8.3. Analizar el estado actual de la red eléctrica subterránea al comparar los planos de la obra construida con los planos de estudios de ingeniería en los que se haya modificado la red y esto haya motivado su crecimiento.
- 1.8.4. Recopilar información sobre energía y demanda de los clientes de la zona en estudio para establecer la carga en los conductores.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Marco situacional

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. es una empresa estatal autónoma que opera bajo regulaciones de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (Aresep), que es la que le establece todo aquello con lo que debe cumplir la compañía para la comercialización de la energía eléctrica.

Dado lo anterior, la CNFL está obligada a cumplir con ciertos parámetros de calidad para poder suministrar energía a sus clientes. Por lo tanto, el monitoreo de las diferentes variables de la comercialización de energía eléctrica, así como de los datos de maniobras para la operación de la red, es indispensable para que el servicio sea de calidad. Además, bajo estos parámetros se aprueban las tarifas que deben pagar los clientes a las empresas distribuidoras de electricidad.

Por dificultades técnicas, económicas o de diseño se hace necesario realizar monitoreos en los circuitos eléctricos que aún no cuentan con dispositivos para medir las diferentes variables.

2.2. Antecedentes históricos de la empresa

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. (CNFL, S.A.) fue creada el 8 de abril de 1941 por medio de la Ley N.º 2, mediante el contrato eléctrico de 1941. Se registra legamente el 15 de mayo de 1941 con la fusión de las empresas The Costa Rica Electric Light and Traction Company, Limited, la Compañía Nacional Hidroeléctrica y la Compañía Nacional de Electricidad.

En 1970 la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. (CNFL, S.A.) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) suscriben un convenio para la prestación mutua de servicios.

En la actualidad la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. (CNFL, S.A.) pertenece al Grupo ICE y está constituida como sociedad anónima. Está instalada en un área de servicio de 907km² y cuenta con una electrificación de 99,98%. Su área de servicio está básicamente en la Gran Área Metropolitana y tiene un aproximado de 510.314 clientes, cantidad que corresponde a 46% del mercado eléctrico costarricense.

En su área de concesión se dedica a la generación, distribución y comercialización de energía eléctrica y también posee plantas generadoras fuera de su área de cobertura en diferentes zonas del territorio nacional.

2.3. Misión de la empresa

La misión de la empresa la direcciona a realizar un buen trabajo para beneficio del cliente, con calidad y sostenibilidad. A continuación se indica textualmente esta misión de la CNFL:

“Somos una empresa costarricense del sector de energía que trabaja en ofrecer soluciones integrales para mejorar el desarrollo y procurar bienestar y calidad de vida a nuestros clientes mediante la prestación confiable de sus servicios y bajo un enfoque sostenible”

2.4. Visión de la empresa

La visión de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz es ser una empresa líder y competitiva de nivel centroamericano en el corto plazo. A continuación se cita textualmente esta visión:

“Ser la empresa líder de distribución eléctrica urbana de nivel nacional y centroamericano al año 2020, enfocada en soluciones acordes con las necesidades de cada segmento de mercado y con costos competitivos”.

2.5. Ubicación espacial

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. tiene sus oficinas centrales en San José, en el distrito El Carmen, propiamente en la avenida 05, entre calles 00 y 01. Cuenta con varias sucursales, planteles y plantas de generación distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional. Su área de concesión explota básicamente lo que es el centro de la Gran Área Metropolitana, en donde su actividad se concentra en 23 cantones del territorio nacional (ver la figura 2.1)

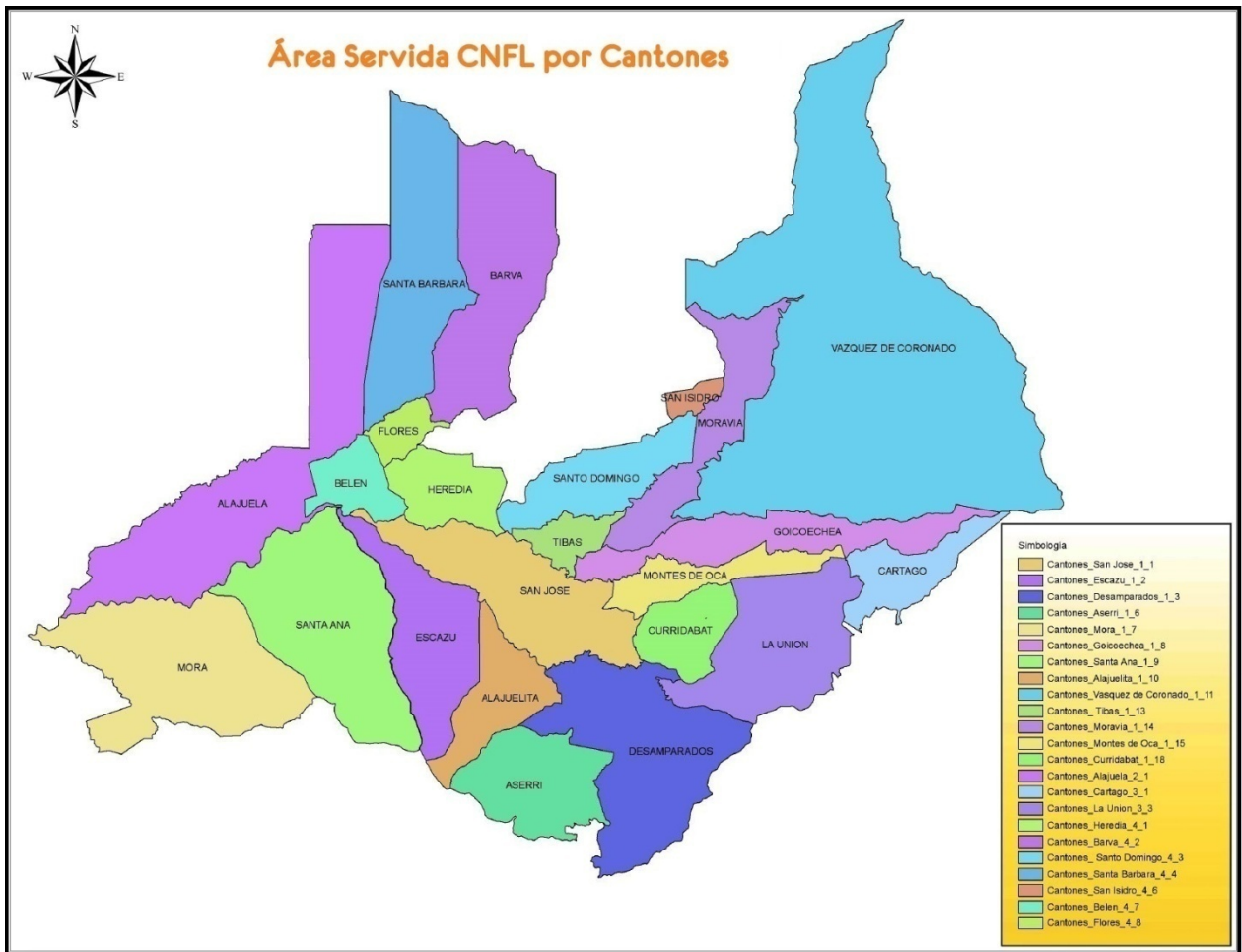


Figura 2.1. Área servida por la CNFL, por cantones
Fuente: www.cnfl.go.cr/index.php/tramites-o-servicios/31-contactos/84-area-de-cobertura#cantones

2.6. Organigrama

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz está organizada como se indica en la figura

2.2:

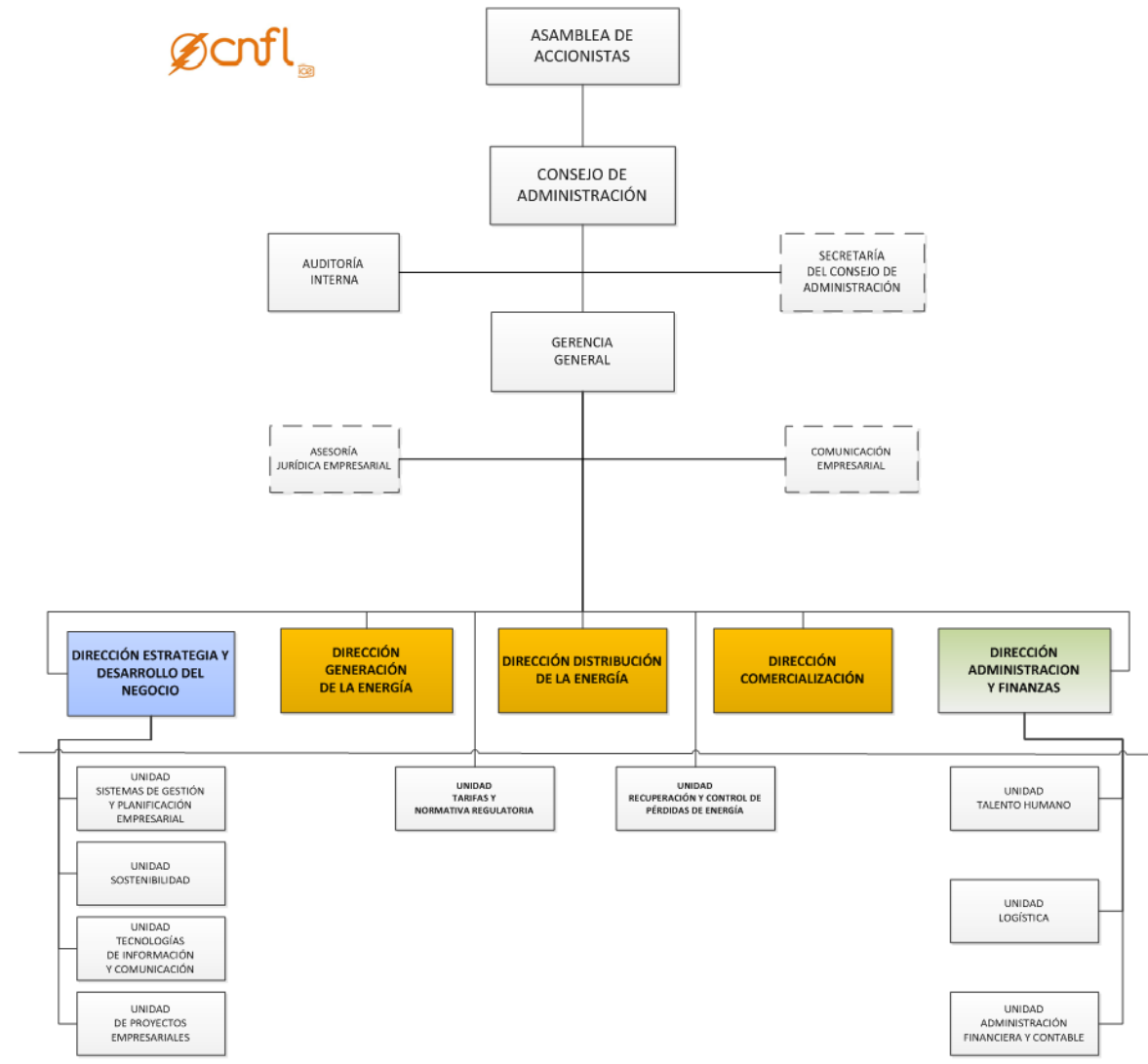


Figura 2.2. Organigrama de la CNFL
Fuente: Compañía Nacional de Fuerza y Luz

2.7. Estructura de la red eléctrica de distribución subterránea de la ciudad de San José

Le red eléctrica de distribución subterránea de la ciudad de San José fue incluida en una extensa obra civil construida en el centro de la ciudad capital. Esta se extiende al norte sobre las avenidas 11 y 13, al sur sobre la avenida 20, al este hasta la calle 23 y

al oeste sobre la calle 20 y sobre el Paseo Colón, hasta la calle 42. Está compuesta por diferentes canalizaciones (arreglo de tuberías enterradas en el subsuelo, en donde se instalan los diferentes conductores o cables), tanto en calle como en acera. Se compone también de diferentes registros (cajas de concreto utilizadas para realizar el tirado de cable o para cambiar de dirección a los diferentes conductores) para media y baja tensión; e igualmente de cámaras (cajas de concreto de mayor dimensión que los registros utilizadas para instalación de los diferentes equipos de media tensión).

Como parte de la obra civil también se construyeron tres subestaciones reductoras llamadas Los Ángeles, La Uruca y Guadalupe. Se incluyen también la canalización de los circuitos que alimentan a estas subestaciones; la línea de transmisión 138kV desde la subestación Alajuelita para la alimentación de la subestación Los Ángeles; la línea de transmisión de 138kV de la subestación Colima para la alimentación de la subestación Guadalupe y la línea de transmisión de 138kV de subestación de Sabanilla para la alimentación de la subestación Guadalupe.

En cuanto a la obra electromecánica (ver las figuras 2.3), en las subestaciones se cuenta con dos transformadores de 20MVA cada una, con los que se logra una conversión de voltaje de 138kV a 13,8kV. Cada transformador energiza cuatro circuitos llamados alimentadores principales y cada par de alimentadores principales viaja por una misma canalización, nombrados estos como de doble alimentador principal (DAP).

Cada alimentador principal energiza varios interruptores sumergibles o seccionadores, y de cada interruptor sumergible se deriva un anillo de media tensión

que alimenta a los centros de distribución pública general y a los usuarios de media tensión.

Cada centro de transformación pública general alimenta a varios clientes de baja tensión, tanto trifásicos como monofásicos, y cada usuario de media tensión puede estar alimentando a uno o a varios clientes, dependiendo del uso del inmueble.

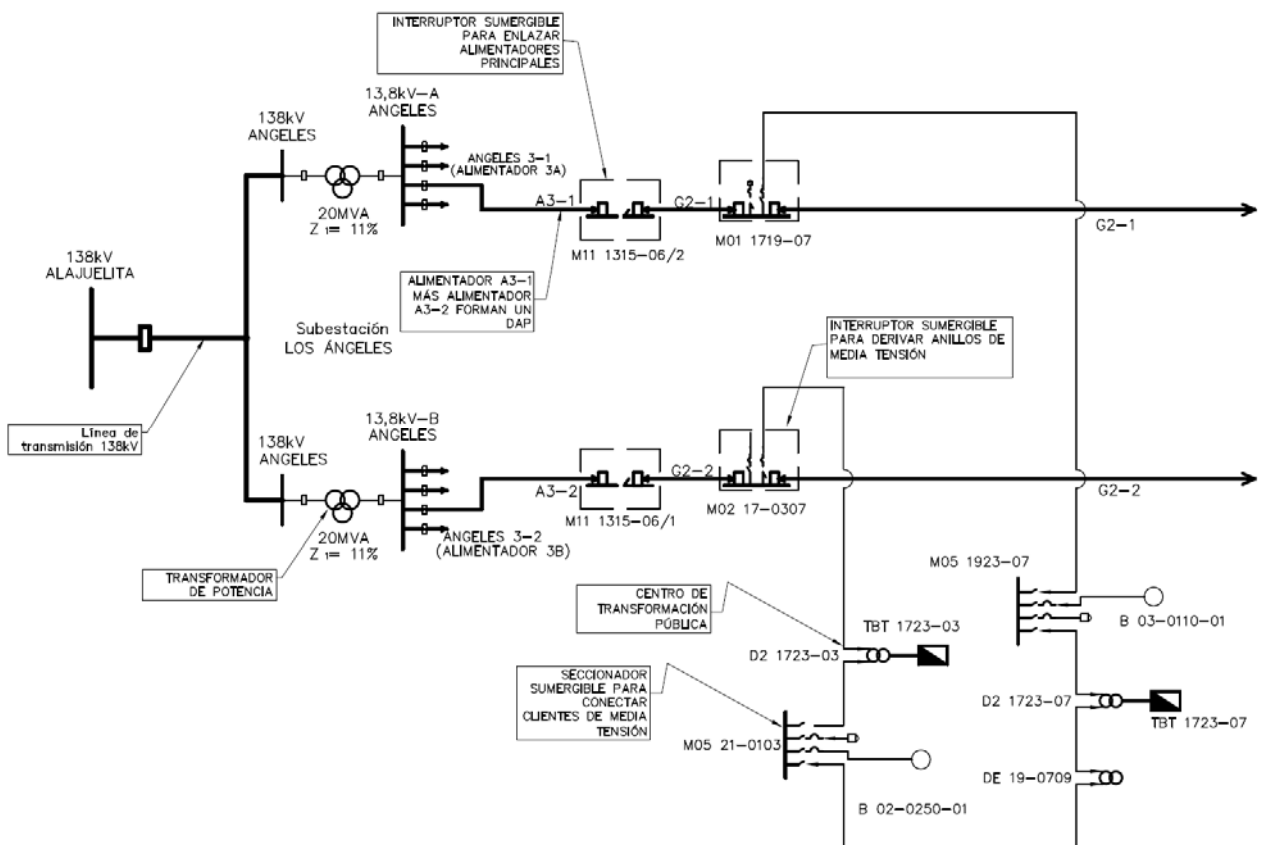


Figura 2.3. Diagrama unifilar simplificado de la red eléctrica subterránea

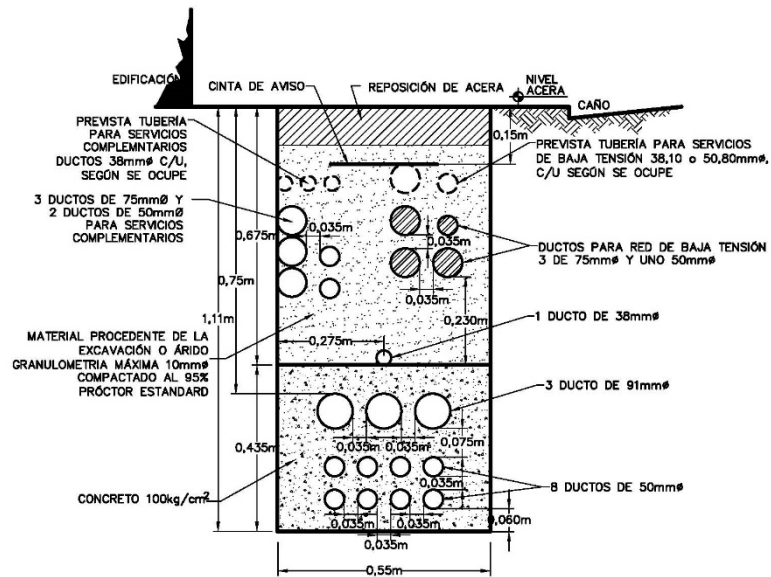
Fuente: Compañía Nacional de Fuerza y Luz

2.8. Obra civil

2.8.1. Canalizaciones

En general, las canalizaciones de la red eléctrica subterránea de la ciudad de San José están compuestas por cuatro grupos, los cuales pueden estar todos juntos en una zanja o por separado en diferentes configuraciones.

La canalización compuesta por los cuatro grupos corresponde a la de tipo C2 para canalización en acera (ver la figura 2.4) y a la de tipo C8 para canalización en la calle (ver la figura 2.5).



**Figura 2.4. Canalización del tipo C2
Plano 3503-56-002-05 de Inabensa, para la CNFL, S.A**

Cada tipo está compuesto por la canalización para ramales de baja tensión, canalización para servicios complementarios, canalización para anillos de media tensión y acometidas de media tensión; y canalización para alimentadores principales.

Estas canalizaciones están compuestas por tubos de dos capas, una lisa interna que permite deslizar los cables en su instalación y una capa corrugada externa que ofrece flexibilidad a la tubería, lo que permite una fácil instalación en terrenos con irregularidades. La función principal de estos tubos es darle protección mecánica a los cables de agentes externos como la humedad y los roedores

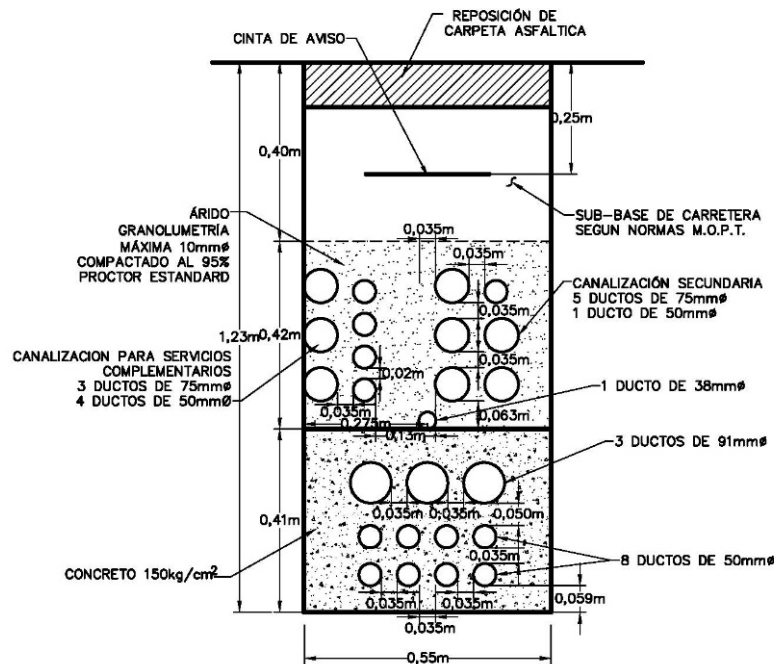


Figura 2.5. Canalización del tipo C8
Plano 3503-56-008-05 de Inabensa para la CNFL, S.A.

2.8.2. Registros

Los registros son cajas de concreto con armadura de acero, chorreados en sitio y contruidos a partir de nivel de acera o calle.

Los registros de media tensión corresponden, en su mayoría, al tipo R1, que son para las canalizaciones de media tensión (ver la figura 2.6) y los registros RBT3 para baja tensión (ver la figura 2.7).

Su función es la de enlazar tramos de canalización que permitan realizar cambio de direcciones, así como el jalado de cable durante su instalación.

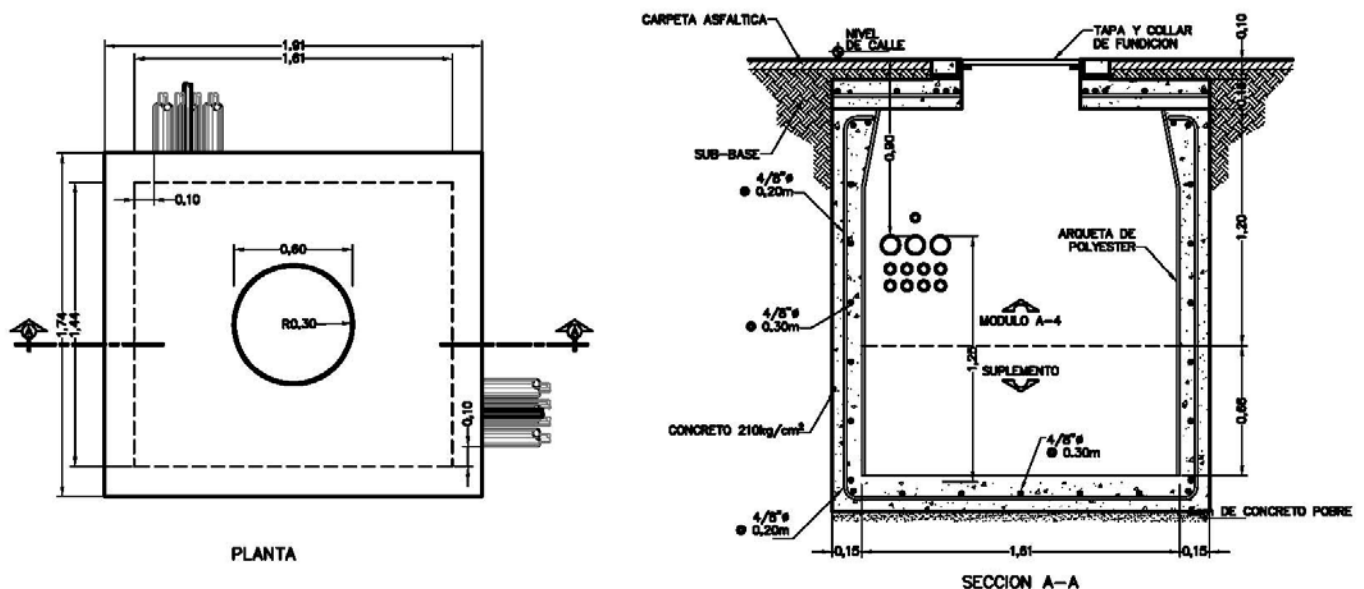


Figura 2.6. Registro de media tensión del tipo R1
Plano 3503-56-026-05 R1 de Inabensa para la CNFL, S.A.

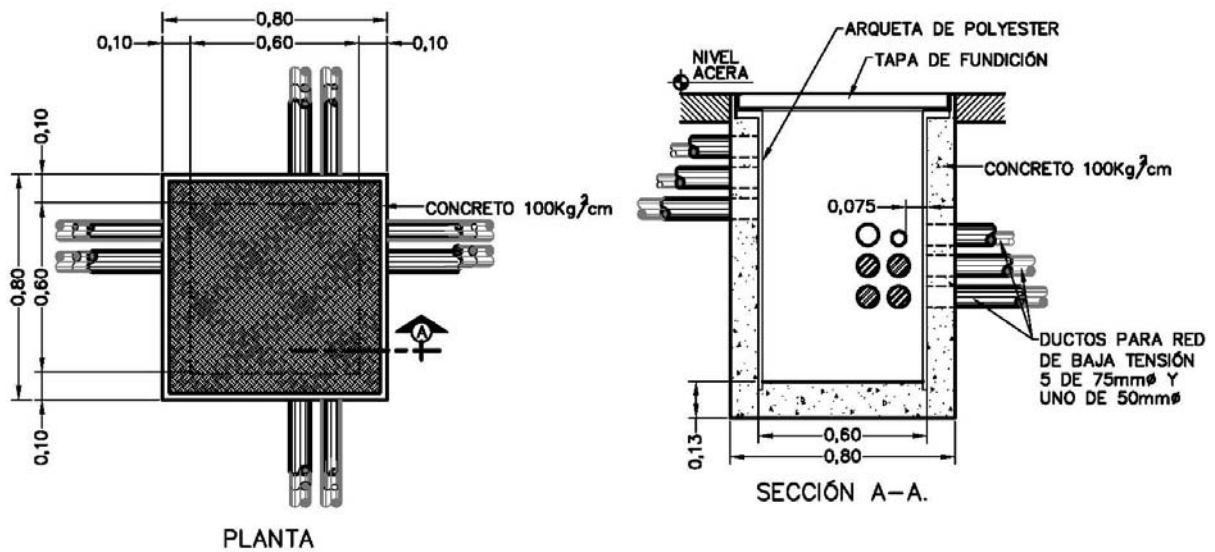


Figura 2.7. Registro de baja tensión del tipo RBT3
 Plano 3503-56-021-05 RBT3 de Inabensa para la CNFL, S.A.

2.8.3. Cámaras de media tensión

Las cámaras de media tensión fueron diseñadas para albergar a los diferentes equipos de media tensión (13 800 voltios) de la red eléctrica subterránea de la ciudad de San José, en donde se tienen cámaras tanto para equipo de seccionamiento como para equipos de transformación pública general. Las cámaras de seccionamiento más representativas son las utilizadas para contener interruptores sumergibles llamados -en el sistema de electrificación subterránea para la ciudad de San José- módulos 01, 02, 04 y 05 (ver la figura 2.8).

Las cámaras de media tensión utilizadas para albergar equipo de transformación se conocen como DPG (distribución pública general). (Ver la figura 2.9).

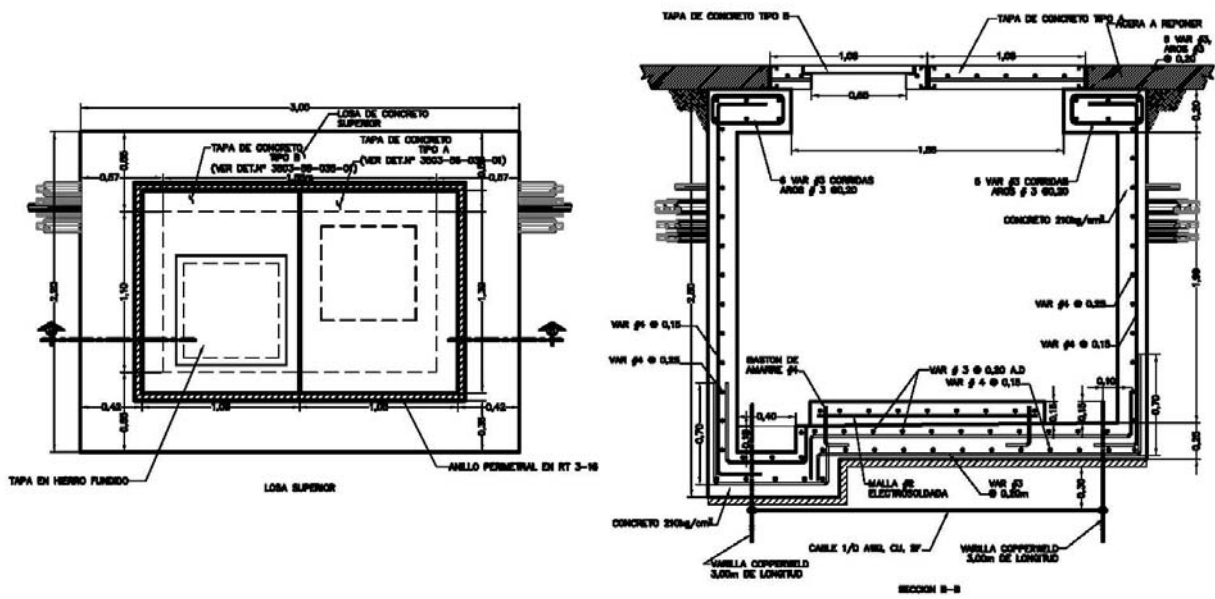


Figura 2.8. Cámara para seccionador o módulo
Plano 3503-56-030 M01-02 de Inabensa para la CNFL, S.A.

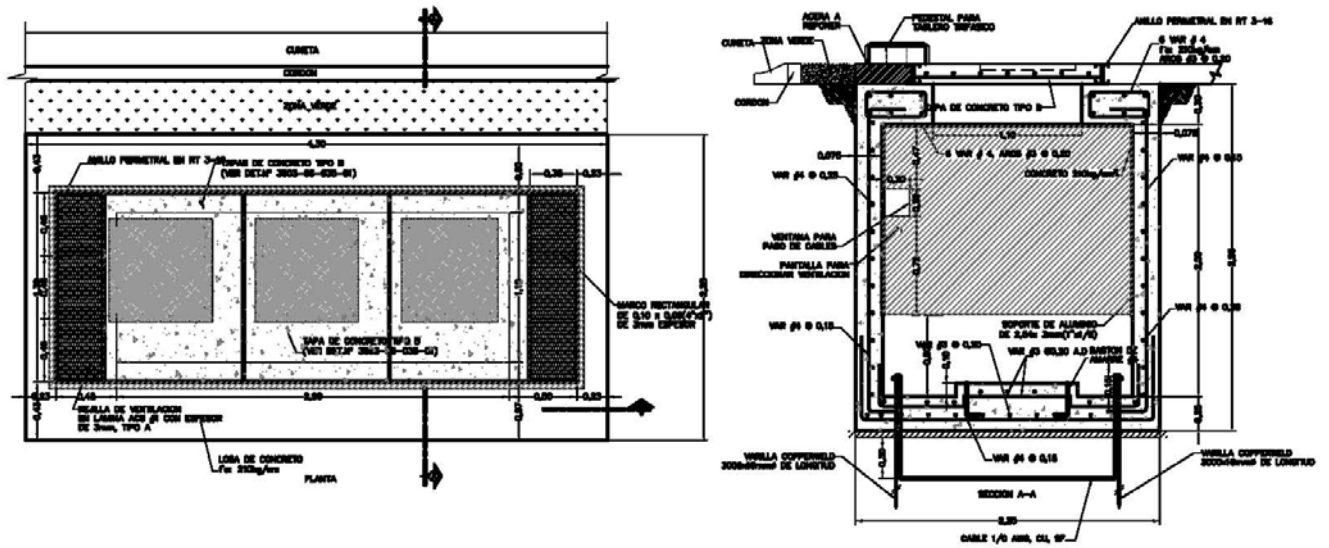


Figura 2.9. Cámara para centro de transformación pública general
Plano 3503-56-036-05 D1, D2 de Inabensa para la CNFL, S.A.

2.9. Obra electromecánica

2.9.1. Subestación

Cada subestación está compuesta por dos transformadores de potencia de 20MVA cada uno, alimentados en su lado primario por un sistema trifásico a 138kV en conexión estrella; y para el lado secundario se tiene un voltaje de 13,8kV, también en conexión estrella.

Cada transformador tiene un peso total de 47.000 kilogramos y dimensiones de 5,85 metros de largo, 4,27 metros de ancho y 5,115 metros de alto.

Del lado secundario del transformador están las celdas de media tensión capacitadas para trabajar a un voltaje de 13,8kV. En cada celda de media tensión se encontrarán los interruptores de media tensión, los cuales funcionarán como medio de desconexión de los alimentadores principales.

2.9.2. Doble alimentador principal (DAP)

Los dobles alimentadores principales están conformados por dos ternas que se derivan de las celdas de media tensión de la subestación. Estos alimentadores están compuestos por tres conductores de 120mm² de cobre (un conductor por fase) en aislamiento EPR (etileno-propileno) a 133%, con neutro concéntrico a 33% en hilos de cobre y chaqueta o cubierta en PVC (policloruro de vinilo). (Ver la figura 2.10).

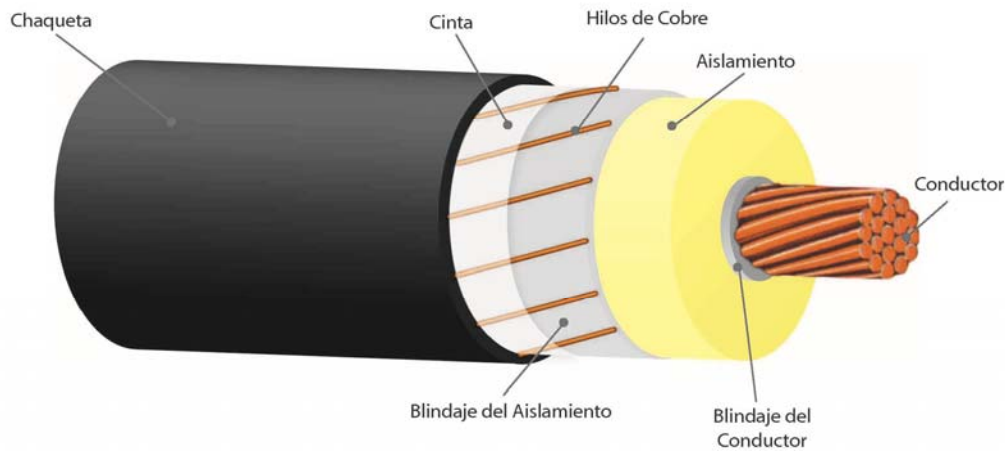


Figura 2.10. Cable para redes eléctricas subterráneas de media tensión
 Figura tomada del Boletín Técnico de abril del 2008, Cables & Tecnología, página 9.

Los alimentadores principales viajan por los ductos de 50mm de diámetro de la cama inferior de ductos de las canalizaciones mostradas en las figuras 2.4 y 2.5, en donde se instala un cable por ducto. Por lo tanto, en cada canalización se tendrían seis conductores de media tensión que conforman el doble alimentador principal (DAP).

En total se tienen ocho ductos para la instalación del doble alimentador principal, por lo cual dos ductos o tubos son de reserva para la instalación de cable debida a avería.

2.9.3. Anillos de media tensión

Los anillos de media tensión son tendidos trifásicos de cable triplexado que se derivan del alimentador principal por medio de interruptores sumergibles (M01 y M02).

El cable utilizado en los anillos de media tensión corresponde a tres conductores de 50mm² de cobre en aislamiento EPR (etileno-propileno) a 100%, con neutro concéntrico a 33% en hilos de cobre y chaqueta o cubierta de PVC.

Los anillos de media tensión se instalan en los ductos o tubos de 91mm de diámetro de las canalizaciones mostradas en las figuras 2.4 y 2.5. Como se mencionó antes, para los anillos de media tensión se instalan tres cables por ducto o tubo.

2.9.4. Dobles alimentadores secundarios (DAS)

Los dobles alimentadores secundarios o DAS son derivaciones trifásicas de los alimentadores principales realizadas mediante dos interruptores sumergibles. Esto permite extraer una derivación del alimentador A y otra del alimentador B. Al igual que los anillos de media tensión, el tendido de cable se realiza mediante cable triplexado de 50mm², de cobre en aislamiento EPR (etileno-propileno) a 100%, con neutro concéntrico a 33% en hilos de cobre y chaqueta o cubierta de PVC. Su instalación se realiza en los tubos de 91mm de diámetro de la canalización mostrada en las figuras 2.4 y 2.5.

Los dobles alimentadores secundarios son utilizados para satisfacer las necesidades de clientes especiales, como hospitales, bancos e instituciones importantes del Estado.

2.9.5. Módulos de media tensión

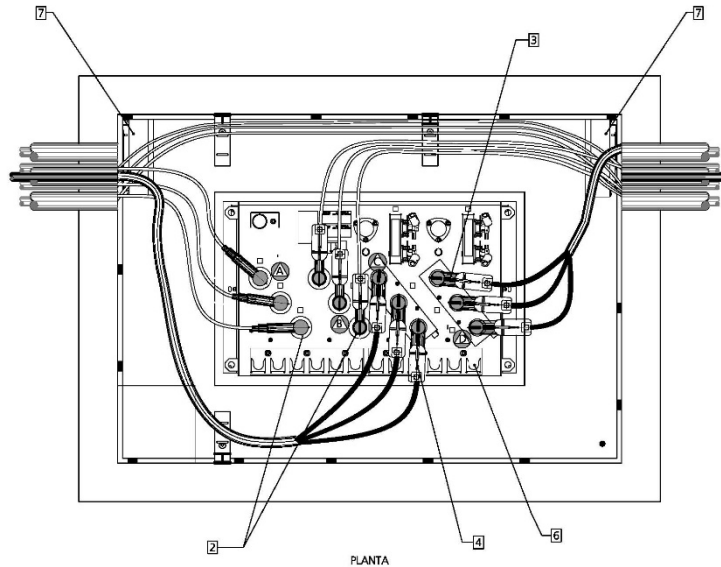
Los módulos de media tensión son interruptores o seccionadores de tipo sumergible, los cuales son utilizados para derivar los alimentadores principales en anillos derivados de media tensión, derivar dobles alimentadores secundarios, alimentar usuarios de media tensión y respaldar a los alimentadores principales con otros alimentadores principales de diferente subestación. Estos interruptores son aislados en SF₆ (hexafloruro de azufre), lo cual permite realizar operaciones bajo carga.

A continuación se hace un recuento de los diferentes módulos seccionadores de la red subterránea para la ciudad de San José:

2.9.5.1 Módulo M01/M02 (ver la figura 2.11)

Este seccionador deriva un alimentador principal en un anillo de media tensión con tres vías trifásicas en las cuales las vías A y B corresponden a las terminales de entrada y salida del alimentador principal, con terminales a 600 amperios. Las vías C y D corresponden a vías seccionables de 200 amperios con protección electrónica ajustable. Esta vía también tiene un mecanismo de puesta a tierra el cual permite aterrizar las líneas derivadas de estas vías.

En las vías C y D se da inicio a los anillos de media tensión. Se nombra M01 cuando solo se deriva un anillo y M02 cuando se derivan dos anillos de media tensión, uno de la vía C y otro de la vía D.



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	CANTIDADES	
		M01	M02
1	LLAVE SECCIONADORA, 4 VÍAS, A Y B DE 600 A, C Y D DE 200 A CON PROTECCIÓN	1	1
2	CONECTOR TIPO "T", 15 KV, 600 A, OPERABLE SIN CARGA	6	6
3	CONECTOR TIPO CODDO, 15 KV, 200 A, OPERABLE CON CARGA	3	6
4	INDICADOR DE FALLA	6	9
5	TAPÓN AISLANTE, 15 KV	3	-
6	ZÓCALOS DE DESCANSO	12	12
7	GABINETE DE CONTROL	1	2
8	INSERTOS SENCILLOS, 200 A, 15 KV	6	6

Figura 2.11. Interruptor sumergible M01/M02, vista superior
Plano 3503-23-155-01Módulo M04-05 de Inabensa para la CNFL, S.A.

2.9.5.2 Módulo M04/M05 (ver la figura 2.12)

Estos interruptores de media tensión son utilizados para derivar las acometidas de los usuarios de media tensión a partir de un anillo de media tensión.

Estos interruptores están compuestos por cuatro vías trifásicas a 200 amperios. Las vías correspondientes a la vía A y a la vía B son las que dan continuidad al anillo de media tensión, mientras que las vías C y D son empleadas para la instalación de las

acometidas de media tensión, ya sean monofásicas, bifásicas o trifásicas. Para las vías C y D se cuenta con seccionamiento y protección electrónica ajustable, además del mecanismo de puesta a tierra.

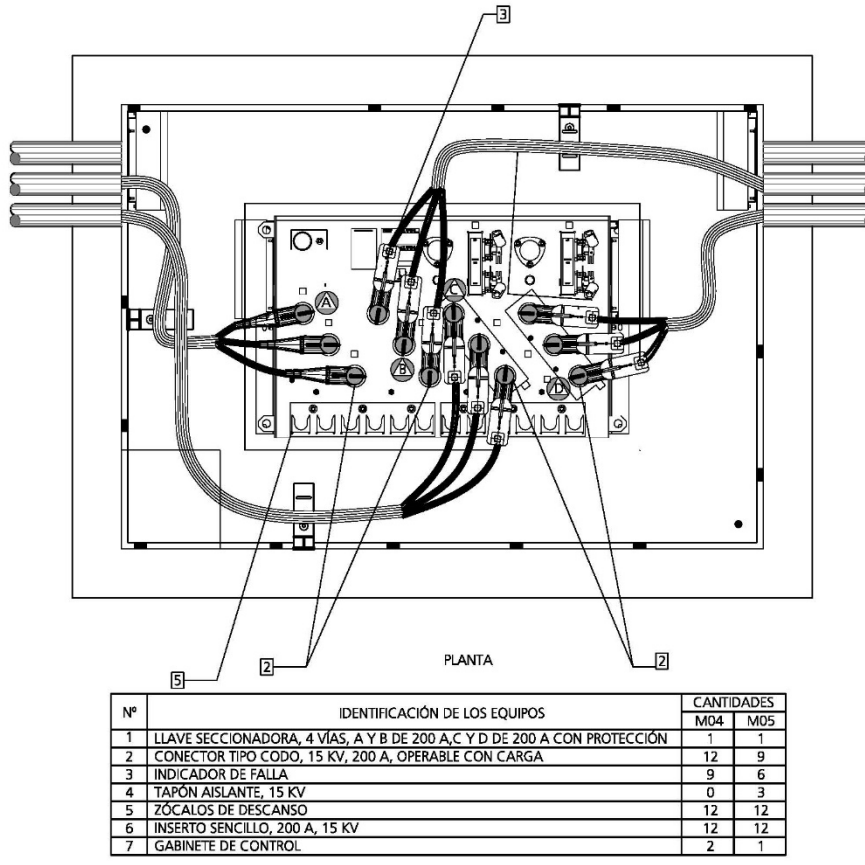
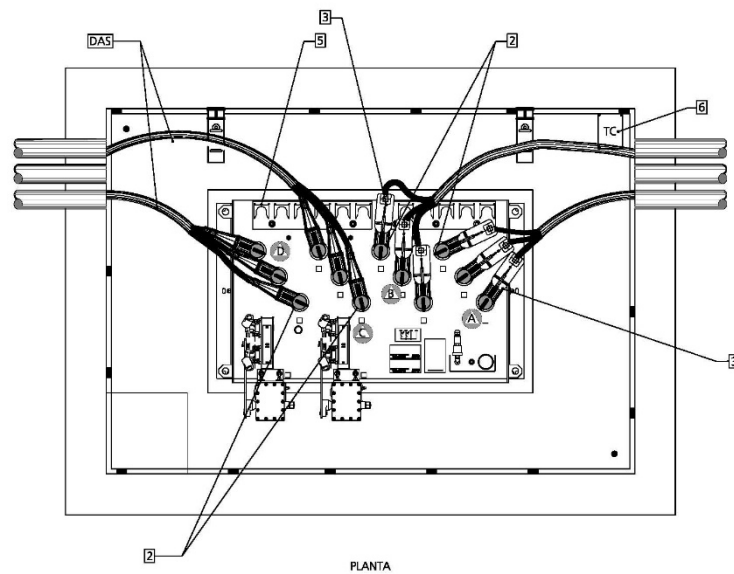


Figura 2.12. Interruptor sumergible M04/M05, vista frontal
Plano 3503-23-156-01. Módulo 09 de Inabensa para la CNFL, S.A.

El M04 se diferencia del M05 dependiendo de las vías ocupadas del interruptor. Cuando solo está ocupada la vía C, al seccionador se le llama M05 y si tiene las vías C y D ocupadas se nombra M04.

2.9.5.3 Módulo M09 (ver la figura 2.13)

Este módulo está compuesto por un interruptor sumergible trifásico el cual cuenta con cuatro vías a 200 amperios. La vía A corresponde a la alimentación por parte del alimentador secundario número 1 y la vía B a la alimentación dada por el alimentador secundario número 2. Las vías C y D son utilizadas para la instalación de las acometidas de usuarios críticos de media tensión.



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	CANTIDADES
		M09
1	LLAVE SECCIONADORA, 4 VÍAS DE 200 A, 2 SECCIONAMIENTOS CON CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA	1
2	CONECTOR TIPO CODO, 15 KV, 200 A, OPERABLE CON CARGA	12
3	INDICADOR DE FALLA	6
4	TAPÓN AISLANTE, 15 KV	3
5	ZÓCALOS DE DESCANSO	12
6	TABlero DE CONTROL DE LA TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA (TC)	1
7	INSERTOS SENCILLOS, 200 A, 15 KV	12
8	TAPÓN AISLANTE 15 KV	3

Figura 2.13. Vista de planta de un interruptor sumergible M09
Plano 3503-23-157-01. Módulo 09 de Inabensa para la CNFL, S.A

Este interruptor cuenta con conmutación automática que permite el cambio del alimentador secundario número 1 al alimentador secundario número 2 ante la ausencia de tensión.

2.9.5.4 Módulo M10 (ver la figura 2.14)

El módulo 10 está compuesto por dos seccionadores. Cada seccionador posee una vía a 600 amperios (vía A) y una vía a 200 amperios (vía B). La vía de 600 amperios es utilizada para conectar el seccionador con uno de los alimentadores principales y la vía de 200 amperios se emplea para derivar el alimentador secundario que se conecta al M09.

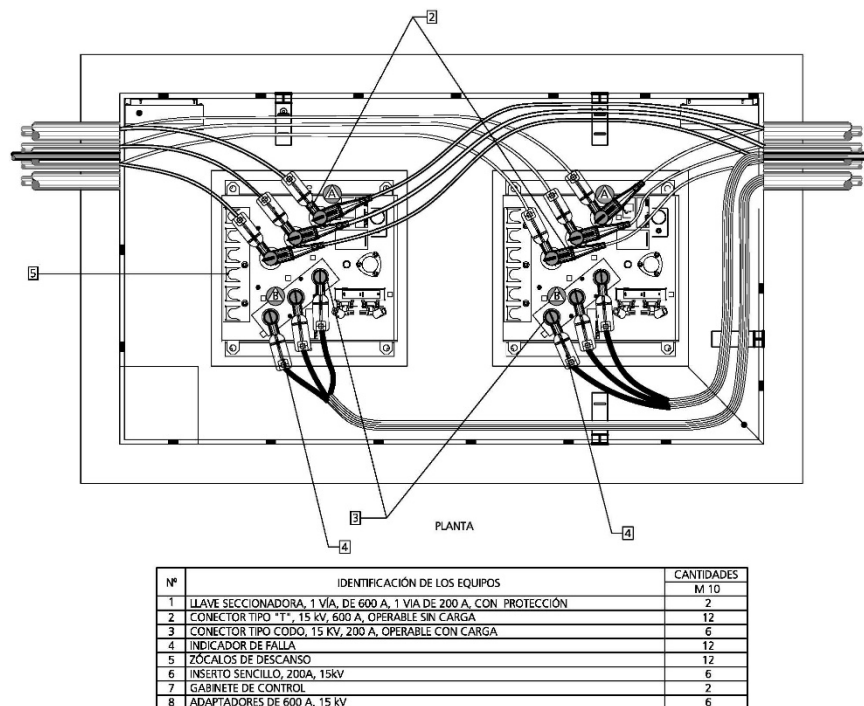
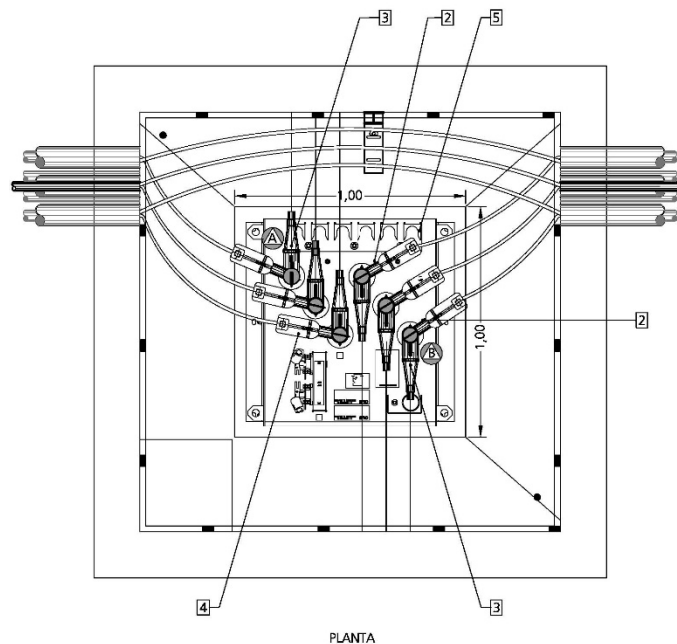


Figura 2.14. Vista de la planta del módulo M10
Plano 3503-23-158-01. Módulo 10 de Inabensa para la CNFL, S.A

La vía A da continuidad al alimentador principal mediante conectores premoldeados del tipo T. Cuenta con seccionamiento, protección electrónica ajustable y mecanismo de puesta a tierra.

2.9.5.5 Módulo M11 (ver la figura 2.15)

El módulo M11 está compuesto por un interruptor sumergible trifásico de dos vías a 600 amperios. Para este seccionador se cuenta con seccionamiento entre las vías A y B, y también cuenta con mecanismo de puesta a tierra. Además, en las terminales de cada vía se instalan pararrayos de tipo codo mediante reducciones para 200 amperios.



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	CANTIDADES
		M011
1	LLAVE SECCIONADORA, 2 VÍAS, A Y B DE 600 A, CON SECCIONAMIENTO	1
2	CONECTOR TIPO "T", 15 kV, 600 A, OPERABLE SIN CARGA	6
3	PARARAYO TIPO CODO, 10 kV, 10 kA	6
4	INDICADOR DE FALLA	12
5	ZÓCALOS DE DESCANSO	12
6	ADAPTADOR DE 600 A - 200 A.	6

Figura 2.15. Vista de la planta del módulo M11
Plano 3503-23-159-01. Módulo 11 de Inabensa para la CNFL, S.A.

El propósito de este interruptor es el de respaldar al alimentador principal de una subestación con el alimentador principal de otra subestación, por lo que el estado preestablecido para este interruptor es normalmente abierto.

2.9.6. Distribución pública general (DPG)

Los centros de distribución pública general son bancos de transformadores utilizados para dar servicio eléctrico a los usuarios de baja tensión.

En la red eléctrica subterránea de la ciudad de San José se emplearon dos bancos de transformadores, el D1 compuesto por un transformador de 167kVA y dos transformadores de 75kVA (ver la figura 2.16) y el D2, compuesto por un transformador de 167kVA y dos de 100kVA.

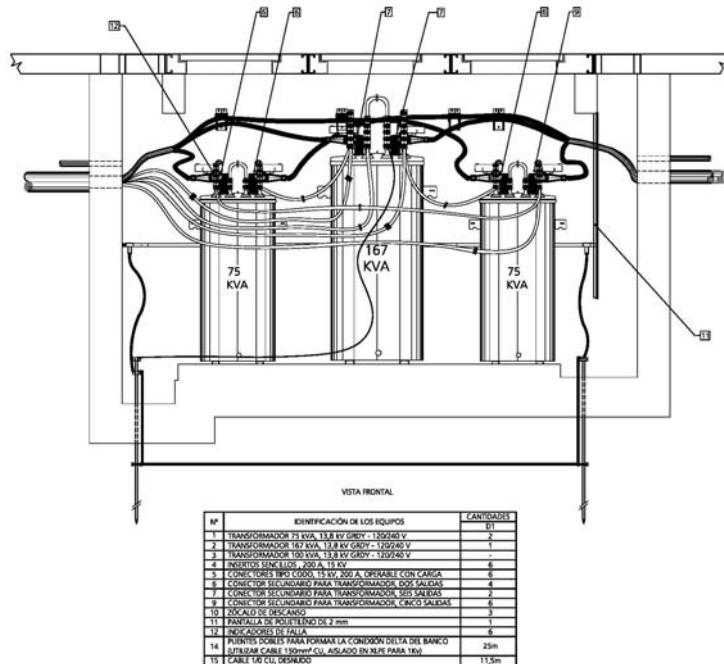


Figura 2.16. Vista frontal del centro de transformación D1
Plano 3503-23-150-01DPG de Inabensa para la CNFL, S.A.

Cada banco de transformadores alimenta a un tablero de baja tensión, del cual se derivan cuatro ramales numeradas del uno al cuatro. Para cada ramal se instalan dos conductores de calibre 150mm² de cobre, correspondientes a las fases A y B; y dos conductores calibre 70mm² de cobre para el neutro y la fase C. Los cables para ramal

están compuestos por el conductor de cobre, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta termoplástica de PVC (policloruro de vinilo).

Para la conexión de los usuarios de baja tensión se utilizan regletas de derivación de 6, 8 y 10 vías, que permiten la continuidad del ramal y la conexión de varios usuarios de baja tensión.

2.10. Funcionamiento de la red

La subestación es alimentada mediante un circuito a 138kV proveniente de la subestación Sabanilla. Para este caso se toma como referencia esta subestación ya que esta alimenta la zona en estudio. Los circuitos de 138kV energizan a los dos transformadores de 20MVA de la subestación reductora Guadalupe. Los transformadores de 20MVA energizan los alimentadores principales G2-A y G2-B para dar continuidad a los cables de los alimentadores principales hasta la zona por cubrir. Se utilizan empalmes con conectores premoldeados del tipo T para 600 amperios. En la figura 2.17 están identificados con la letra E, seguida por un número que establece el orden ascendente a partir de la subestación.

Los alimentadores principales seguirán su recorrido hasta encontrarse con los seccionadores de inicio del anillo. Para este caso se describe el anillo 1 del doble alimentador principal de Guadalupe 2, que se puede identificar en la figura 2.17 como G2-A1.

Este anillo se inicia en el módulo de seccionamiento M02 1921-09, en donde se puede ver el interruptor en estado cerrado. A partir de este punto el anillo energizará las cargas que se encuentren en su camino. La primera carga que se energiza en este anillo es el centro de distribución pública general codificado como D1 19-0911. Este, a su vez, alimentará a los diferentes usuarios de baja tensión que se encuentren conectados a los diferentes ramales del banco de transformadores. El anillo continuará su curso, alimentará a varios centros de distribución pública general hasta llegar a alimentar el módulo de media tensión codificado como M04 1921-11. Este módulo energiza a los usuarios de media tensión codificados como B 03-0250-01 y B 03-0260-01, seccionador que dará continuidad al anillo mediante las vías A y B.

Seguidamente, el anillo alimentará al centro de distribución pública general codificado como D1 21-0911. Los bancos de transformadores darán continuidad al anillo mediante las terminales H1A y H1B de cada transformador.

Finalmente, el anillo llegará al seccionador M01 2123-09, en donde se puede notar que el interruptor se encuentra en estado abierto, por lo cual este funciona como un respaldo. En el momento en el que al anillo no se le puede suministrar energía del alimentador G2-1 (G2-A) mediante el módulo M02 1921-09, se procederá a abrir el interruptor de la vía que alimenta al anillo en su estado normal y a cerrar el interruptor de la vía de respaldo en el módulo M01 2123-09, por lo que el anillo pasará a estar energizado del alimentador principal G2-2 (G2-B).

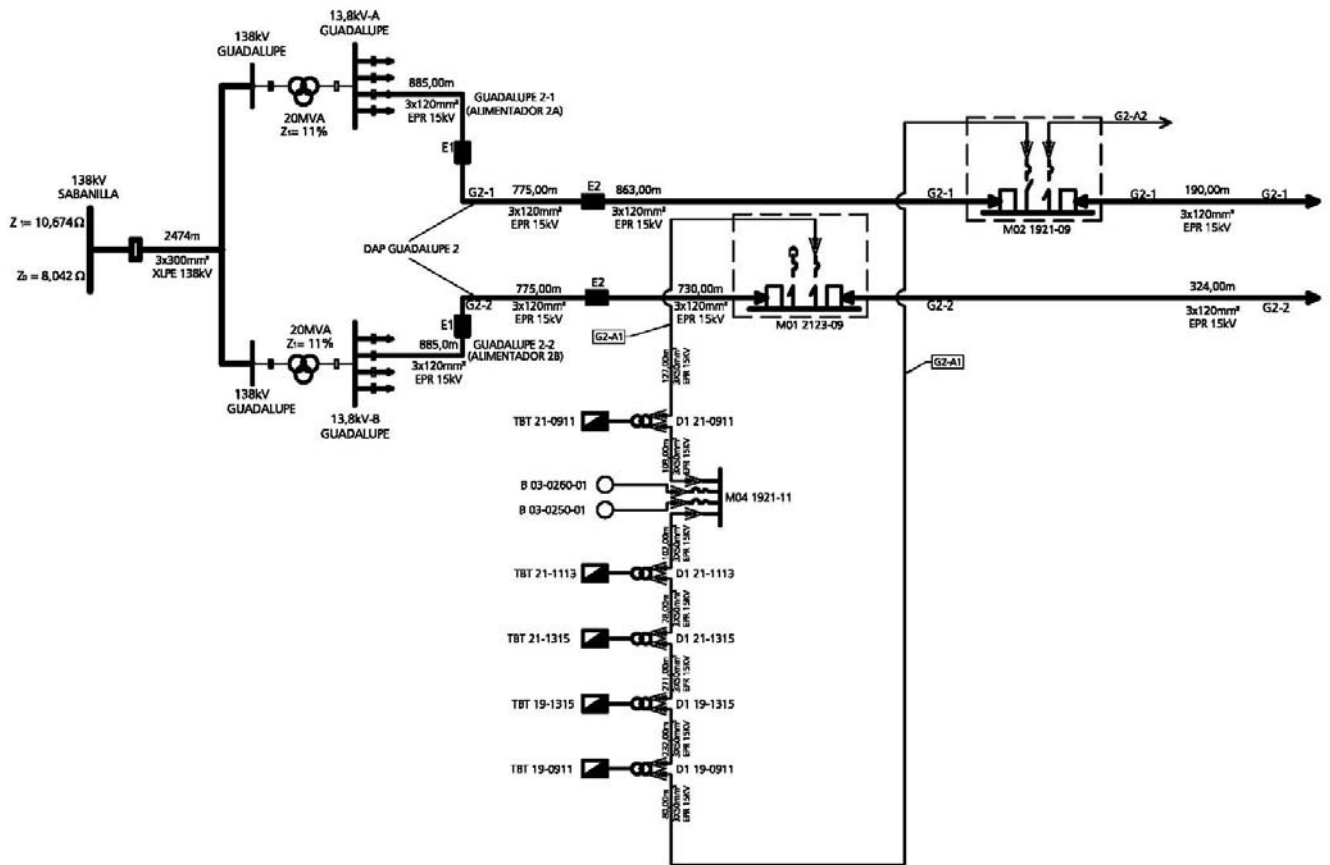


Figura 2.17. Extracto del diagrama de media tensión del doble alimentador principal Guadalupe-2 y el anillo de media tensión G2-A1

Plano 3503-23-091-02 "Diagrama Unifilar de Media Tensión DAP Guadalupe 2" de Inabensa para la CNFL, S.A.

Para dar continuidad a los alimentadores principales, en el recorrido se encontrará el módulo M10 15-0103 (ver la figura 2.18). Este contiene dos interruptores sumergibles trifásicos los cuales tomarán cada uno un alimentador principal que pasará del calibre 120mm² al calibre 50mm², y de este se obtendrán los dobles alimentadores secundarios G2-DAS 2-1 y G3-DAS 2-2. Estos alimentadores secundarios energizarán el módulo M09 15-0103, que cuenta con un interruptor trifásico con conmutación

automática y, como se puede ver en la figura 2.18, se encuentra cerrado en la vía que se conecta al alimentador secundario G2-DAS 2-1. A su vez, el alimentador secundario se encuentra conectado -mediante uno de los interruptores del módulo M10 15-0103- al alimentador principal G2-1 (G2-A).

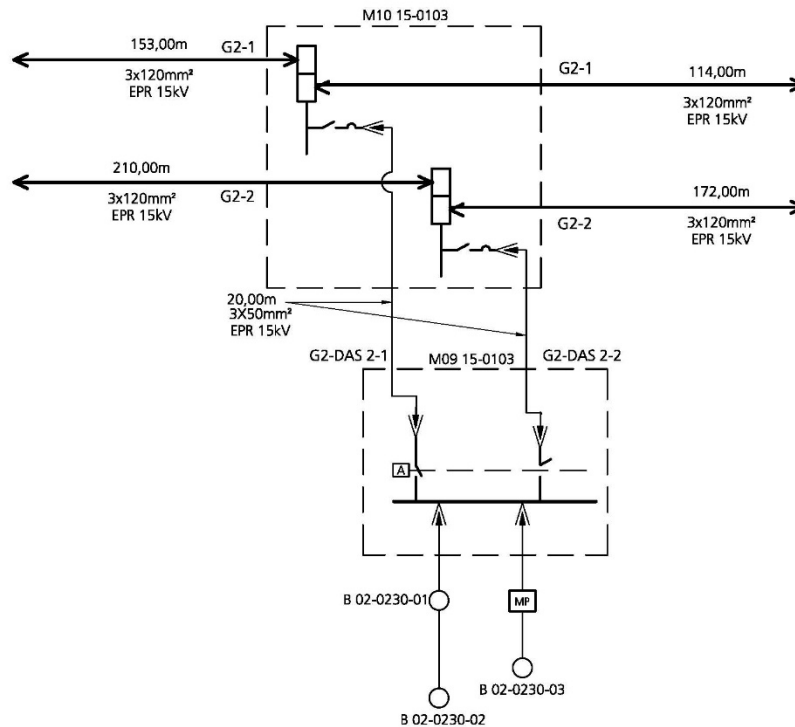


Figura 2.18. Extracto del diagrama de media tensión del doble alimentador principal Guadalupe-2, sección del doble alimentador secundario G2-DAS 2
Plano 3503-23-091-02 “Diagrama Unifilar de Media Tensión DAP Guadalupe 2” de Inabensa para la CNFL, S.A

En el momento en el que el alimentador principal G2-1 (G2-A) se encuentre sin energía la conmutación automática del módulo M09 15-0103 actuará y permitirá la conexión de los usuarios de media tensión (B 02-0230-01, B 02-0230-02 y B 02-0230-03) al alimentador secundario G2-DAS 2-2, que se encuentra conectado mediante el módulo M10 15-0103 al alimentador principal G2-2. Esto les permitirá a los usuarios de

media tensión conectados al M09 15-0103 una mayor confiabilidad en el servicio eléctrico.

Al finalizar el recorrido del doble alimentador principal Guadalupe 2 se llegará a los módulos M11 de respaldo. En este caso el M11 1315-05/2 para el alimentador principal G2-1 (G2-A) y el M11 1315-05/1 para el alimentador principal G2-2 (G2-B). Como se puede ver en la figura 2.19, el alimentador G2-1 (G2-A) se respalda en el alimentador A3-1 (A3-A) de la subestación Ángeles, y de igual forma el alimentador G2-2 (G2-B) se respalda en el alimentador A3-2 (A3-B) de la subestación Ángeles. Esto quiere decir que algún mantenimiento del doble alimentador principal Guadalupe 2 puede ser respaldado por el doble alimentador Ángeles 3, por lo que en la figura 2.19 se puede observar que los interruptores permanecen en estado abierto.

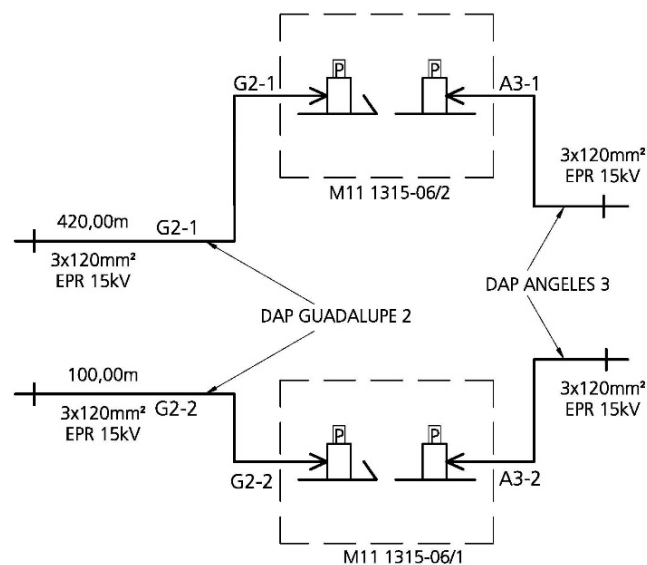


Figura 2.19. Extracto del diagrama de media tensión del doble alimentador principal Guadalupe-2, sección del respaldo en los módulos M11
Plano 3503-23-091-02. "Diagrama Unifilar de Media Tensión DAP Guadalupe 2" de Inabensa para la CNFL, S.A.

2.11. Microcontrolador Arduino

El microcontrolador Arduino es un microcontrolador de código abierto cuyos software y hardware son fáciles de utilizar debido a que tanto su ensamblaje como su programación son muy amigables. Además, no requiere grandes recursos para la puesta en marcha de un proyecto.

El Arduino fue creado en el 2005 por Massimo Banzi, estudiante del instituto IVRAE de Italia. Su invención se dio ante la necesidad de realizar proyectos con microcontroladores de bajo costo y con ello poder ayudar a los estudiantes del instituto que realizan sus trabajos de electrónica. Sin embargo, en sus inicios el Arduino estaba compuesto por un simple microcontrolador y resistencias que únicamente permitían conectar diodos tipo LED, y tampoco contaba con un lenguaje de programación.

Posteriormente, estudiantes de otras latitudes realizaron colaboraciones que permitieron modificar la placa electrónica de Arduino y lograron que esta pudiera realizar nuevas adaptaciones mediante bloques electrónicos. Ante estos cambios surgió la programación en las placas Arduino, las cuales están basadas en el lenguaje C++, el cual puede desarrollarse en las diferentes plataformas de sistemas operativos (Windows, Mac y Linux).

A la fecha se distribuye Arduino en el nivel mundial a un bajo costo y su sistema de código abierto permite que sea accesible a todo tipo de público, desde expertos en electrónica hasta personas que desarrollan proyectos como pasatiempo.

2.11.1. Hardware en Arduino

El Arduino (ver la figura 2.20) tiene su eje central en los microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel y son capaces de realizar diferentes diseños a un bajo costo. También posee un puerto USB para la comunicación con ordenador, para así poder transmitir los programas entre computadora y Arduino. Al desconectar el dispositivo del USB del computador se pierde la alimentación eléctrica, por lo cual las diferentes placas han sido provistas de una terminal para conexión de fuentes externas.



Figura 2.20. Microcontrolador Arduino

Fuente: <http://www.crcibernetica.com/arduino-uno-rev-3/>

Cuenta con puertos seriales de entrada y salida que permiten conectar diferentes sensores, pulsadores y elementos llamados shields. Los escudos o shields son placas electrónicas de ensamblaje rápido que pueden instalarse una sobre otra en el Arduino.

Esto con el fin de dotarlos de más características y así ampliar su capacidad original. Entre los más populares se encuentran el Bluetooth, el Wifi y las pantallas LCD.

El Arduino UNO cuenta con un total de seis entradas analógicas. Estas entradas trabajan de acuerdo con su resolución, la cual es de 10 bits, o sea, que corresponde a 1 024 niveles digitales. Esto proviene de elevar el número dos a la décima potencia. Se habla del número 2 ya que corresponde a los niveles digitales 0 ó 1 (dos estados) en los que se obtienen 1 024 combinaciones.

Cada entrada analógica tiene un voltaje de operación de 5 voltios, por lo que si se divide esta tensión entre los 1 024 niveles digitales se obtiene la magnitud de cada nivel de acuerdo con el voltaje, en este caso 4,88mV. Esta es la precisión con la que se medirán las entradas analógicas.

En cuanto a la velocidad de muestreo del Arduino UNO, este por lo general trabaja a 9 600Hz en las entradas analógicas o, dicho de otra forma, toma una muestra cada 100 microsegundos; pero es capaz de trabajar hasta 62 nanosegundos o 16MHz en las entradas digitales.

Para completar el Arduino se tienen otros componentes menores como resistencias, leds y capacitores destinados para el buen funcionamiento de los microcontroladores.

2.11.2. Software y programación

Arduino cuenta con software libre (ver la figura 2.21) que permite la comunicación entre la computadora y la placa electrónica. Este incluye diversas librerías que son utilizadas para controlar los diferentes dispositivos o shields.



Figura 2.21. Vista de presentación del programa

Fuente: Captura de pantalla del inicio del programa arduino1.8.1.

Para la programación utiliza el lenguaje wiring el cual está basado en el lenguaje de programación C++ (ver la figura 2.22). Para ello utiliza diversos comandos y caracteres que formulan todas las instrucciones necesarias para controlar el Arduino y sus componentes.

A continuación se detallan los principales comandos para la programación en Arduino:

- Llaves `{}`: Se utilizan para denotar el principio y el final de un conjunto de instrucciones.
- Punto y coma `;`: El punto y coma se utiliza para separar instrucciones.
- Líneas diagonales `//`: Se utilizan para escribir comentarios simples en una línea.
- Líneas diagonales con asteriscos `/**/`: Son utilizadas para comentarios en bloque. Estos, al igual que en los comentarios simples, no son tomados como parte de la programación sino que son utilizados por el programador con carácter referencial y a modo de recordatorios.
- `Voidsetup()`: Este comando es utilizado para preparar el Arduino ante la programación. En él se establecen las entradas y salidas por utilizar en la programación; además da inicio a la comunicación serial.
- `Voidloop()`: Este comando contiene el cuerpo de la programación. Gira instrucciones para activar salidas o leer entradas.
- `Serial.begin()`: Este comando es utilizado para iniciar la comunicación serial.
- Estos son solo algunos de los comandos más utilizados para la programación en Arduino. Este lenguaje incluye una gran variedad de posibilidades de funciones, operadores y estructuras de control.

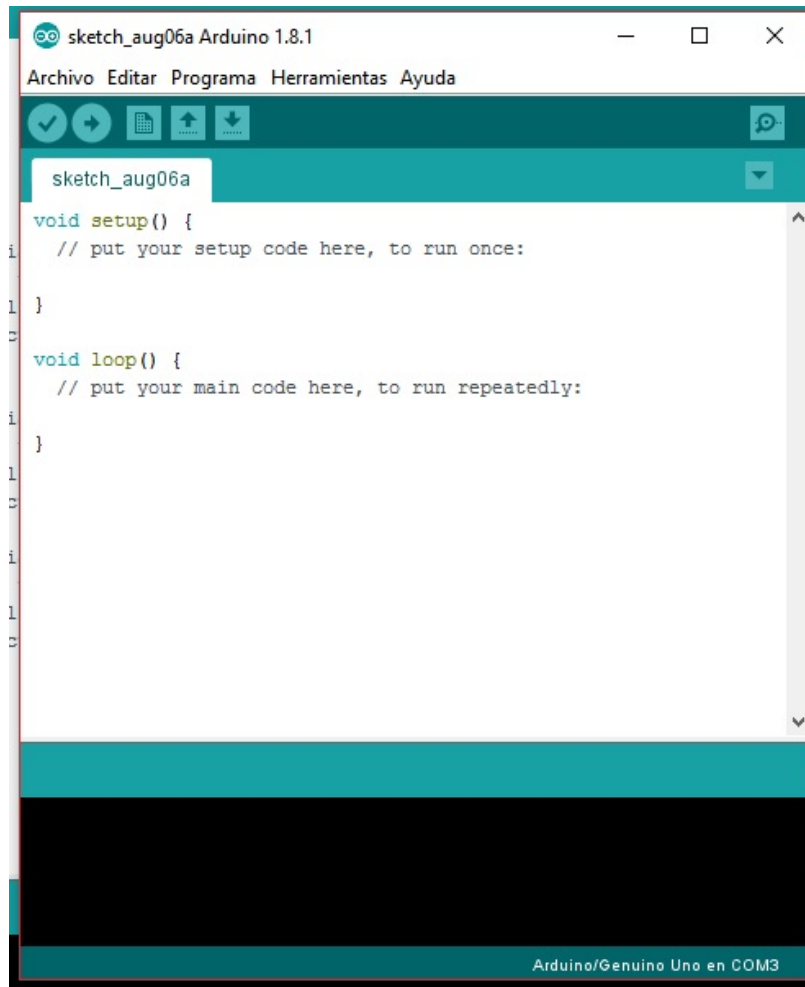


Figura 2.22. Vista de espacio para programación
Fuente: Captura de pantalla del programa Arduino 1.8.1.

2.11.3. Transformador de corriente

Para el sistema de monitoreo se utilizarán transformadores de corriente. Los transformadores de corriente son dispositivos que permiten medir intensidades de valores elevados de manera segura, ya sea para el ser humano o para equipos menos robustos.

Su funcionamiento se basa en aprovechar la inducción emitida por el conductor de energía para el cual se requiere efectuar la medición. Las líneas de fuerza debidas al campo magnético del conductor serán cortadas por un bobinado, por lo que en el devanado se producirá una fuerza electromotriz que será proporcional a la relación de transformación. Por lo general se encuentran en el mercado relaciones de transformación estándar, por ejemplo 500:1, lo cual quiere decir que si, hipotéticamente, se tienen 500 amperios por medio del conductor en el devanado secundario se tendrá una corriente de 1 amperio, la cual es más adaptable en equipos de medición que utilizan componentes electrónicos para registrar datos.

En el apartado 3.1.1.2 se puede observar el transformador de corriente utilizado para el monitor de corriente basado en Arduino.

2.12. Hipótesis

Se pueden determinar factores de carga partiendo del monitoreo de la red, tomando variables de intensidad por medio de los conductores.

A partir de transformadores de corriente utilizados para disparos electrónicos se pueden realizar mediciones de las corrientes en los conductores de media tensión, utilizando un microcontrolador para hacer las mediciones y almacenarlas en el tiempo para posterior análisis.

Los factores de carga obtenidos serán diferentes de los utilizados y estimados en el diseño, debido a que el circuito destinado para estudio reúne a diversos clientes con actividades económicas variadas que pueden afectar sus comportamientos en el

consumo eléctrico. En el caso de los factores de carga utilizados en el diseño por la empresa Inabensa se dividían en tres grupos: residencial 0,3253, comercial 0,4429 e industrial 0,4795. En el caso de los obtenidos mediante el monitoreo de la red puede ser capaz de reunir los tres grupos y determinar un único factor.

2.13. Limitaciones

Se presentaron limitaciones en cuanto a analizar los circuitos. Para esta parte del estudio únicamente se monitoreó un anillo de media tensión; esto debido a la gran cantidad de circuitos derivados y a la prolongación del tiempo necesario para analizar cada circuito. Por lo tanto, se realizó el análisis en el anillo de media tensión G2-A2, el cual se ubica en las inmediaciones del hospital Rafael Ángel Calderón Guardia y tiene un recorrido aproximado de 1 590m con 341 clientes (ver la figura 3.9).

También se presentaron limitaciones en cuanto a las posibles variables por monitorear ya que, debido al nivel de tensión del circuito por evaluar (13 800 voltios), solo es posible efectuar mediciones de corriente de los conductores por medio de los transformadores de corriente ya existentes en los distintos interruptores mencionados. Por ello la tensión de línea deberá suponerse y la potencia del sistema deberá calcularse de acuerdo con la intensidad medida y el voltaje supuesto. Además, siendo el Arduino un microcontrolador de bajo presupuesto, su precisión no será de gran calidad. Para medición de precisión se requieren dispositivos de mayor resolución, pero

para la demostración y el objetivo de esta investigación el microcontrolador cumple con las expectativas para la medición de la corriente.

2.14. Alcances

Del presente estudio, titulado **Determinación de factores de carga para la red eléctrica subterránea en la ciudad de San José para el Proceso Red Subterránea a partir de agosto de 2017**, se le entregará un ejemplar a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. en formato digital y en papel.

También se le entregará el microcontrolador Arduino que contendrá el sistema de monitoreo con su diseño y programación.

Capítulo III

3. Desarrollo

3.1. Sistema de monitoreo basado en Arduino

Para poder realizar el monitoreo de las redes eléctricas subterráneas de media tensión se requirió diseñar un sistema basado en el microcontrolador Arduino, tomando en cuenta cuatro secciones. Para la primera se tomó la información de los transformadores de corriente de los interruptores de media tensión; la segunda sección o parte es la que se encargará de procesar la información; la tercera parte se ocupará de guardar la información en la memoria SD, y la cuarta consta de una fuente que lleve energía al sistema.

El diseño del sistema de monitoreo es vital para determinar los factores de carga, ya que a partir del monitoreo se obtendrán las demandas promedio y las máximas.

3.1.1. Principales componentes utilizados

3.1.1.1 Placa Arduino UNO (figura 3.1)

Tal y como se explicó en la sección 2.11.1, esta placa electrónica está basada en un microcontrolador ATmega 328 que posee entradas y salidas, puerto serial, puerto USB, terminal para conexión de fuente de alimentación externa y un botón de reseteo.

Además, posee otros componentes electrónicos como los diodos LED, resistencias, capacitores y un cristal de cuarzo de 16MHz.

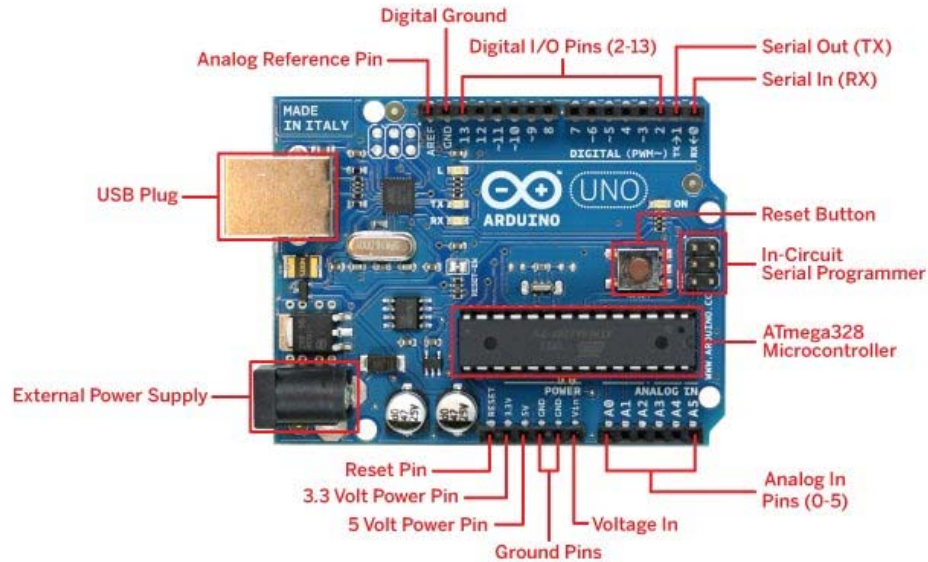


Figura 3.1. Arduino UNO

Fuente: <http://www.http://saber.patagoniatec.com/arduino-uno-r3-2-arduino-argentina-ptec/>

3.1.1.2 Bloque electrónico TA12-200 (figura 3.2)

Este bloque electrónico está compuesto básicamente por un transformador de corriente con una relación de transformación 1000:1, con una resistencia de muestreo de 200Ω . Este bloque electrónico maneja una corriente de entrada de 5 amperios y una corriente de salida de 5mA. Para su funcionamiento basta con conectar la patilla “S” a una entrada analógica del Arduino y la patilla “G” a la terminal de tierra.

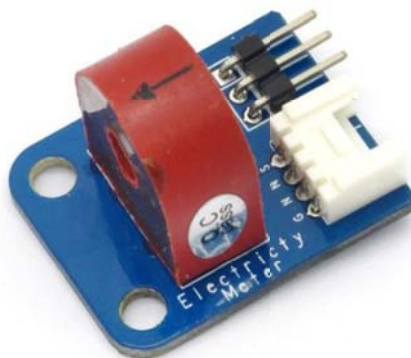


Figura 3.2. Bloque electrónico TA12-200

Fuente: Hoja de datos "Electronic Brick of Electricity Meter Sensor" de ITEAD STUDIO, del 18 de abril de 2013

3.1.1.3 Zócalo para memoria MicroSD

Este componente permite la instalación de una memoria microSD para el almacenamiento de datos. Está compuesto por siete puntos de conexión para la comunicación del Arduino, un regulador de voltaje para 3,3 voltios y la base para la instalación de la memoria.

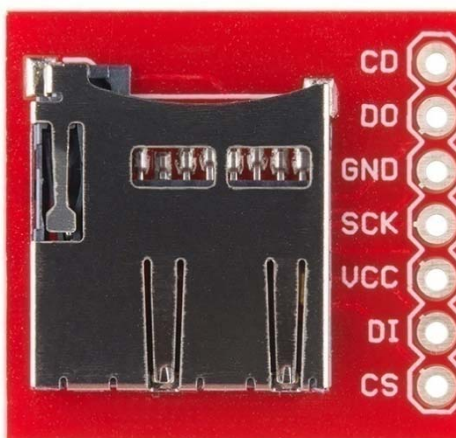


Figura 3.3. Zócalo para memoria MicroSD

Fuente: <http://www.crcibernetica.com/breakout-board-for-microsd-transflash/>

3.1.1.4 Batería (figura 3.4)

Para este proyecto se utilizó una batería de 6 voltios CD de la marca AVTEK con capacidad de 4,5 amperios hora. Para el caso del Arduino se empleó una fuente de poder de 6 voltios. Está entre los límites permitidos para su alimentación, ya que la placa tiene un regulador de voltaje que mantiene la tensión de operación en 5 voltios.



Figura 3.4. Batería 6VCD.

Fuente: <http://avtek.com/productos/bat-6-45-116?linea=baterias-12vdc>.

3.1.2. Conexión del sistema

Para la conexión del sistema se utilizaron materiales tanto nuevos como reutilizados. La conexión consiste en unir los principales componentes de acuerdo con las especificaciones de las hojas de datos del fabricante.

La conexión eléctrica se muestra en la figura 3.5. En el diagrama se plasman las conexiones de los tres bloques con transformadores de corriente TA12-200, para los cuales se conecta la terminal “S” a las entradas analógicas A1, A2 y A3, y la terminal

“G” se conecta a la tierra del Arduino. Luego se pasa por los transformadores de corriente el cable del equipo del cual se requiere aplicar la medición.

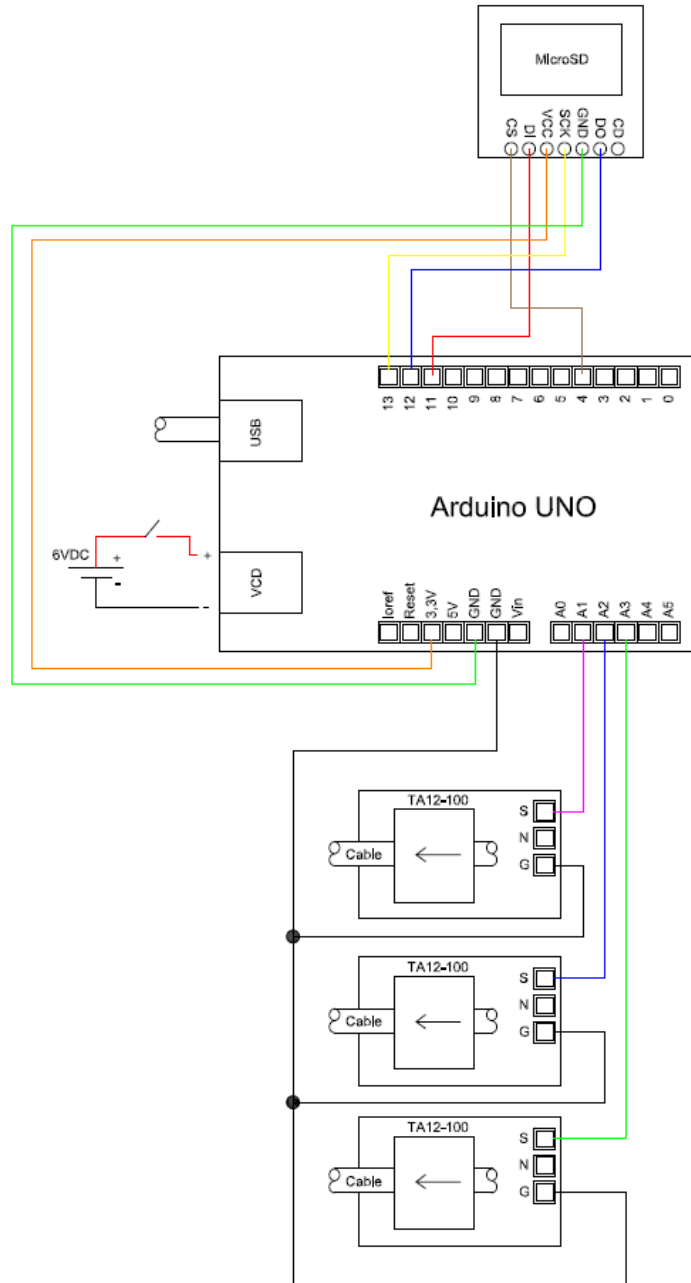


Figura 3.5. Diagrama de conexión del sistema de monitoreo
Fuente propia

Para la conexión del zócalo para memoria MicroSD primeramente se realiza la alimentación de la terminal VCC con la terminal de 3,3V del Arduino. Se conecta la patilla GND con la tierra del Arduino. Posteriormente se conectan las terminales DI, DO y SCK a las patillas 11,12 y 13 del Arduino, respectivamente; esto para el control de la memoria y, finalmente, se conecta la terminal CS a la patilla 4 del Arduino. Por esta terminal se hará la trasmisión de datos.

Para concluir, se agrega una batería de 6 voltios y de 4,5Ah, la cual se conecta a la toma de fuente externa del Arduino. Además, se agrega un interruptor para suspender la energía cuando no se utilice la placa electrónica. Para cargar la batería se instaló una terminal externa de la que se conecta un cargador 120VCA/5VCD de 450mA.

Todos los elementos anteriores fueron instalados en un gabinete para tarjeta de control utilizados en los interruptores de media tensión en la red eléctrica subterránea.

En la figura 3.6 se puede observar el montaje finalizado.



Figura 3.6. Montaje del sistema de monitoreo
Fuente propia.

3.1.3. Programación y funcionamiento

Para lograr la programación del Arduino se utilizaron las diferentes librerías disponibles y ejemplos de programación incluidos en el software. También fue común encontrar en las hojas de datos recomendaciones o demos de programación para los bloques electrónicos.

Al iniciar la programación lo primero que se hizo fue declarar las variables, entradas analógicas y salidas digitales. Además, se incluyeron las librerías para el control de la memoria MicroSD.

Seguidamente se realizó la programación del inicio de la memoria MicroSD y se configuró la velocidad a la cual trabajarán las entradas de medición.

Para finalizar, se realizó la programación del comportamiento del Arduino con los diferentes bloques electrónicos, en los que se incluyeron todas las operaciones matemáticas para transformar las lecturas de los sensores en información que pueda ser interpretada por cualquier individuo. También se dio forma a la creación de archivos en la memoria y se dispuso cuál información se plasmaría en un archivo de texto, que luego se exportará a Microsoft Office Excel para poder realizar gráficos y con ello interpretar mejor la información.

A continuación se detalla toda la programación necesaria para poder alcanzar un monitoreo de la red eléctrica subterránea:


```

// Monitoreo Red Eléctrica Subterránea

intFaseA = A1; // Entrada analógica del sensor

intFaseB = A2;

intFaseC = A3;

floatnVPPA; // Tensión medida a través de la resistencia. Fase A

floatnCurrThruResistorPPA; // Corriente de pico medida a través del resistor. Fase A

floatnCurrThruResistorRMSA; // Corriente RMS a través del resistor Fase A

floatnCurrentThruWireA; // Corriente RMS en el conductor fase A

floatnVPPB; // Tensión medida a través de la resistencia fase B

floatnCurrThruResistorPPB; // Corriente de pico medida a través del resistor fase B

floatnCurrThruResistorRMSB; // Corriente RMS a través del resistor fase B

floatnCurrentThruWireB; // Corriente RMS en el conductor fase B

floatnVPPC; // Tensión medida a través de la resistencia fase c

floatnCurrThruResistorPPC; // Corriente de pico medida a través del resistor fase C

floatnCurrThruResistorRMSC; // Corriente RMS a través del resistor fase C

floatnCurrentThruWireC; // Corriente RMS en el conductor fase C

#include <SPI.h>

#include <SD.h>

const int chipSelect = 4;

void setup()

{

Serial.begin(9600);

pinMode(FaseA, INPUT);

Serial.begin(9600);

pinMode(FaseB, INPUT);

```

```

Serial.begin(9600);

pinMode(FaseC, INPUT);

Serial.begin(9600);

while (!Serial); // Espere a que el puerto serie se conecte. Necesario solo para el puerto USB nativo

Serial.print("Initializing SD card...");

// Ve si la tarjeta está presente y si puede ser inicializada:
if (!SD.begin(chipSelect)) {

Serial.println("Card failed, or not present");

//No haga nada más:

return;

}

Serial.println("card initialized.");

}

void loop()

{

nVPPA = getVPPA();

nVPPB = getVPPB();

nVPPC = getVPPC();

/* Ley de Ohm para calcular la corriente a través de la resistencia y expresar en mA */

nCurrThruResistorPPA = (nVPPA/110.0) * 1000.0;

nCurrThruResistorPPB = (nVPPB/70.0) * 1000.0;

nCurrThruResistorPPC = (nVPPC/115.0) * 1000.0;

/* Use fórmula for SINE wave to convert to RMS */

```

```
nCurrThruResistorRMSA = nCurrThruResistorPPA * 0.707; // 0.707
```

```
nCurrThruResistorRMSB = nCurrThruResistorPPB * 0.707;
```

```
nCurrThruResistorRMSC = nCurrThruResistorPPC * 0.707;
```

```
/* La relación de transformador de corriente es 1000: 1 ...
```

```
Por lo tanto, la corriente a través de resistencia de 200 ohmios
```

```
Se multiplica por 1 000 para obtener la corriente de entrada */
```

```
nCurrentThruWireA = nCurrThruResistorRMSA * 500;
```

```
nCurrentThruWireB = nCurrThruResistorRMSB * 500;
```

```
nCurrentThruWireC = nCurrThruResistorRMSC * 500;
```

```
Serial.print("Fase A : ");
```

```
Serial.print(nCurrentThruWireA,3);
```

```
Serial.println(" A");
```

```
Serial.print("Fase B : ");
```

```
Serial.print(nCurrentThruWireB,3);
```

```
Serial.println(" A");
```

```
Serial.println();
```

```
Serial.print("Fase C : ");
```

```
Serial.print(nCurrentThruWireC,3);
```

```
Serial.println(" A");
```

```
Serial.println();
```

```
delay(900000);
```

```
String dataString = "";
```

```

dataString += String(nCurrentThruWireA,3);

dataString += ",";

dataString += String(nCurrentThruWireB,3);

dataString += ",";

dataString += String(nCurrentThruWireC,3);

dataString += ",";

// abre el archivo. Tenga en cuenta que solo un archivo puede estar abierto a la vez,
// así que tienes que cerrar este antes de abrir otro.

File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

// Si el archivo está disponible, escríbalo a él:

if (dataFile) {

dataFile.println(dataString);

dataFile.close();

}

// Si el archivo no está abierto aparecerá un error:

else {

Serial.println("error opening datalog.txt");

}

}

/*****

```

Para calcular la corriente RMS se necesita saber

La tensión pico a pico, medida en la salida a través de la resistencia de 200 ohmios

La siguiente función toma un segundo valor de muestras

Y devuelve el valor de pico que se mide

```

*****/

floatgetVPPA()
{
floatresult;

intreadValue;      //Valor leído desde el sensor
intmaxValue = 0;   // Almacenar valor máximo aquí
uint32_t start_time = millis();
while((millis()-start_time) < 1000) //Muestrapor 1 seg.
{
readValue = analogRead(FaseA);

    // Ver si tiene un nuevo valor máximo
if (readValue>maxValue)
    {
        /*Registrar el valor máximo del sensor*/
maxValue = readValue;
    }
}

    // Convierte los datos digitales a una tensión
result = (maxValue * 5.0)/1024.0;

return result;
}

floatgetVPPB()
{

```

```

floatresult;

intreadValue;      //Valor leído desde el sensor
intmaxValue = 0;   // Almacenar valor máximo aquí
uint32_t start_time = millis();
while((millis()-start_time) < 1000) //Muestrapor 1 seg.
{
readValue = analogRead(FaseB);

    // Ver si tiene un nuevo valor máximo
if (readValue>maxValue)
    {
        /*Registrar el valor máximo del sensor*/
maxValue = readValue;
    }
}

// Convierte los datos digitales a una tensión
result = (maxValue * 5.0)/1024.0;
return result;
}

floatgetVPPC()
{
floatresult;

intreadValue;      //Valor leído desde el sensor
intmaxValue = 0;   // Almacenar valor máximo aquí
uint32_t start_time = millis();
while((millis()-start_time) < 1000) //Muestrapor 1 seg.
{

```

```

readValue = analogRead(FaseC);

    // Ver si tiene un nuevo valor máximo
if (readValue>maxValue)

    {

        /*Registrar el valor máximo del sensor*/
maxValue = readValue;

    }

}

// Convierte los datos digitales en una tensión
result = (maxValue * 5.0)/1024.0;
returnresult;
}

```

3.1.4. Costo del sistema de monitoreo

A continuación se indica el costo de los diferentes materiales empleados para el sistema de monitoreo, el cual fue de ₡121.178,07 (ver la tabla 3.1). Todos los materiales relacionados con el Arduino fueron adquiridos por medio de la tienda virtual cricibernetica.com existente en Costa Rica y con entrega en el Centro Colón en San José. Todos los materiales necesarios para la instalación también fueron adquiridos en ferreterías de la compañía EPA.

Tabla 3.1. Costo de los materiales

Materiales monitor de corriente para red eléctrica subterránea de media tensión			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Total</i>
100g 0.8mm Solder 63/37	1	€5.691,40	€5.691,40
40pin 20cm Jumper Wire Male to Male	1	€1.424,28	€1.424,28
Breakout Board for microSD Transflash	1	€3.403,40	€3.403,40
Electronic Brick - Electricity meter (Analog)	3	€5.691,40	€17.074,20
Female to Female Jumper Wire (40 pcs in one bunch)	1	€1.424,28	€1.424,28
Male to Female Jumper Wire (40 pcs in one bunch)	1	€1.424,28	€1.424,28
Arduino Starter Kit	1	€37.151,40	€37.151,40
Memoria MicroSD	1	€5.309,73	€5.309,73
Acrílico	1	€11.500,00	€11.500,00
Cable automotriz #16 AWG Rojo	5	€261,06	€1.305,30
Cable automotriz #16 AWG Negro	5	€261,06	€1.305,30
Cable automotriz #16 AWG Blanco	5	€261,06	€1.305,30
Batería de 6V	1	€8.805,31	€8.805,31
Silicón transparente	1	€2.787,61	€2.787,61
Regleta de conexión	1	€1.371,68	€1.371,68
Súper Bonder	1	€1.725,60	€1.725,60
Tornillo estufa 1/8" x 1"	1	€370,80	€370,80
Tornillo estufa 5/32" x 1"	1	€423,89	€423,89
Tornillo estufa 1/4" x 3/4"	1	€411,50	€411,50
Tuerca de 1/8"	1	€176,00	€176,00
Tuerca de seguridad 1/4"	1	€282,30	€282,30
Arandela plana de 1/8"	1	€60,13	€60,13
Termo contráctil	1	€689,38	€689,38
Terminales para cable de 16 a 14 AWG	1	€1.814,16	€1.814,16
		Subtotal	€107.237,23
		IV 13%	€13.940,84
		Total	€121.178,07

3.1.5. Instalación del sistema de monitoreo en la red eléctrica subterránea

Una vez construido y programado el sistema de monitoreo basado en Arduino se procedió a instalar el equipo en la red eléctrica subterránea de media tensión

Para instalarlo se colocó el equipo en uno de los gabinetes que contienen la tarjeta de disparo electrónico del interruptor de media tensión. A estas tarjetas llegan los cables procedentes de los transformadores de corriente del interruptor, los cuales realizan la medición en las líneas de media tensión y trasladan esta medición a la tarjeta de disparo.

El sistema aprovecha estas líneas para realizar una nueva medición y así monitorear las corrientes de línea necesarias para determinar factores de carga.



Figura 3.7. Montaje del sistema de monitoreo en cámara de interruptor M02 17-0307
Fuente propia.



Figura 3.8. Transformadores de corriente en interruptor
Fuente propia.

3.2. Zona de estudio

La zona en análisis se encuentra ubicada en el cantón de San José, en el distrito El Carmen, específicamente entre calles 13 y 19, avenidas 3 y 13 (ver la figura 3.9). En esta zona se pueden encontrar edificios importantes como el del hospital Dr. Rafael Ángel Calderón Guardia y el del Instituto Meteorológico Nacional.

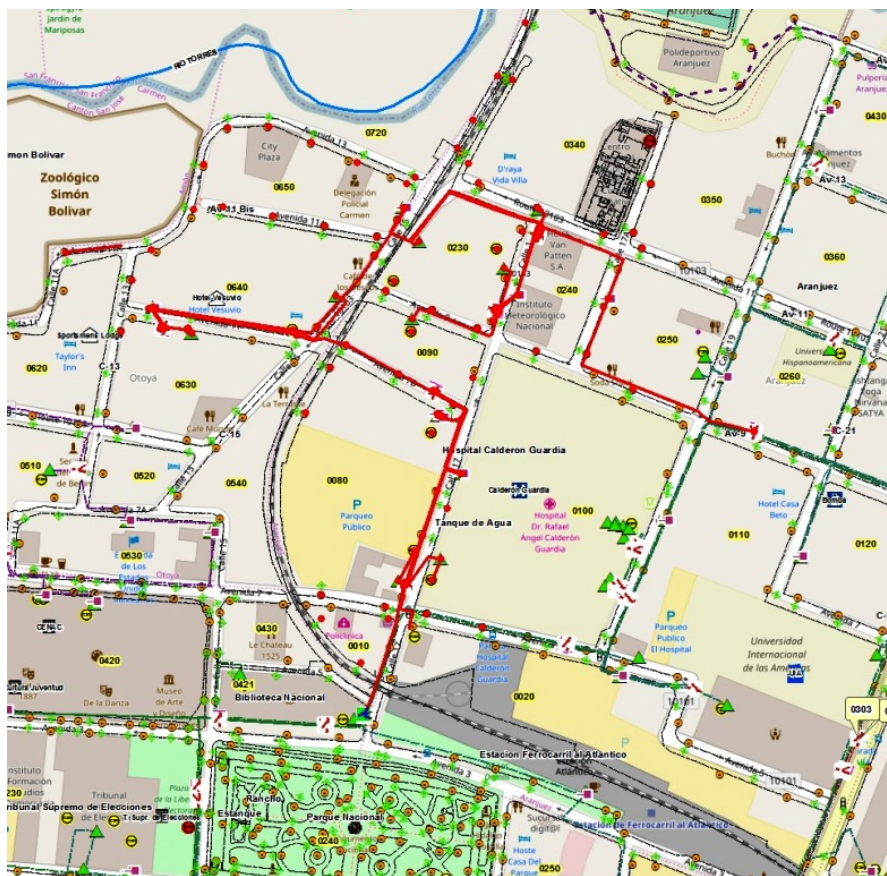


Figura 3.9. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Sistema de Información Geográfico Eléctrico (SIGEL) CNFL.

El sector es abastecido por el anillo 2 de media tensión del doble alimentador principal Guadalupe 2, y cuenta con aproximadamente 334 clientes de baja tensión y 7 de media tensión, los cuales son una mezcla de clientes residenciales y comerciales.

En la figura 3.11 se puede ver el diagrama unifilar de media tensión de este circuito, que tiene un recorrido de 1 590 metros. Su inicio se da en el interruptor codificado M02 17-0307 (ver la figura 3.10). En este punto se conecta al alimentador principal G2-2, que sigue su curso a través de cinco centros de transformación, en donde son conectados los clientes de baja tensión. En su recorrido también se realiza la alimentación de cuatro interruptores de media tensión (M04/M05) y ahí son conectados los usuarios de media tensión.

El anillo finaliza en el interruptor codificado M02 1921-09, donde realiza el respaldo con el alimentador principal G2-1.



Figura 3.10. Interruptor M02 17-0307, sitio donde se instaló el sistema de monitoreo
Fuente propia

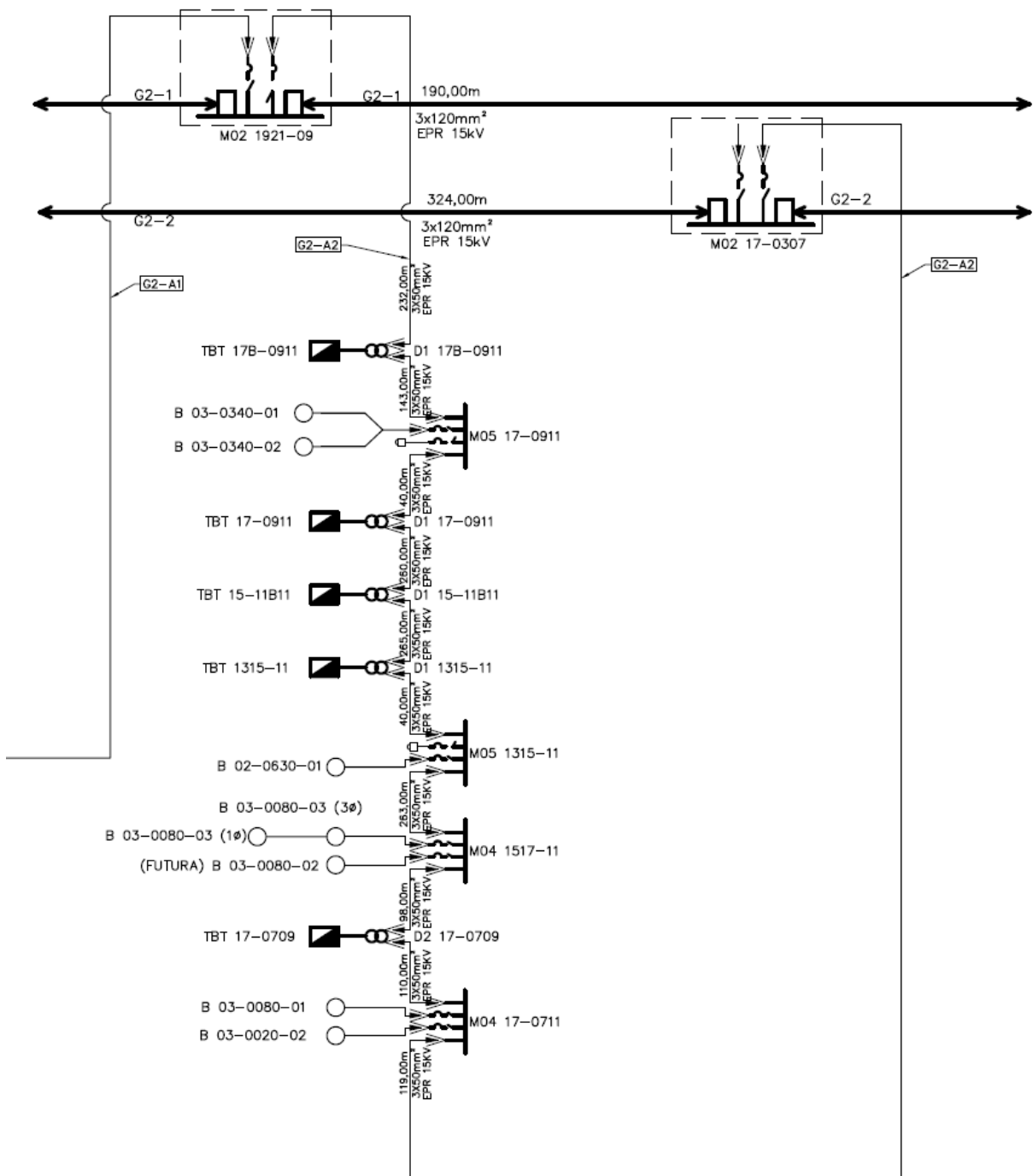


Figura 3.11. Diagrama unifilar de media tensión para G2-A2

Fuente: Plano 3503-23-091-02 Diagrama Unifilar de Media Tensión DAP Guadalupe 2 de Inabensa para la CNFL, S.A.

3.3. Datos obtenidos del monitoreo

Para evaluar el anillo de media tensión G2-A2 se realizaron dos series de mediciones. Una inicial con mediciones puntuales mediante amperímetro de gancho, las cuales se realizaron durante varios días y que se serán utilizadas como parámetro en las lecturas del monitor diseñado.

Los datos obtenidos fueron los siguientes (tabla 3.2 y gráfico 3.1):

Tabla 3.2. Medición de G2-A2 con amperímetro de gancho
Fuente propia

Corriente en Amperios mediante amperímetro de gancho			
Fecha / Hora	Fase A	Fase B	Fase C
27/07/2017 08:00	27,4	20,1	30,8
27/07/2017 11:30	32,6	26,64	33,9
27/07/2017 14:00	30,5	26,8	32,8
28/07/2017 11:00	32,3	26,4	32,9
28/07/2017 14:30	28,13	23,55	28,2
31/07/2017 14:00	30,9	23,3	28,9
01/08/2017 07:45	25,2	24,9	26,8
01/08/2017 15:00	30,2	25,8	30,8
03/08/2017 14:50	28,1	24,6	33,5
04/08/2017 07:45	27,3	28,9	22,3
04/08/2017 09:50	30,2	26	34,2
04/08/2017 14:20	30,7	25,7	31,6

En el siguiente gráfico se puede ver el comportamiento de las mediciones:

Mediciones mediante amperímetro de gancho para el anillo de media tensión G2-A2

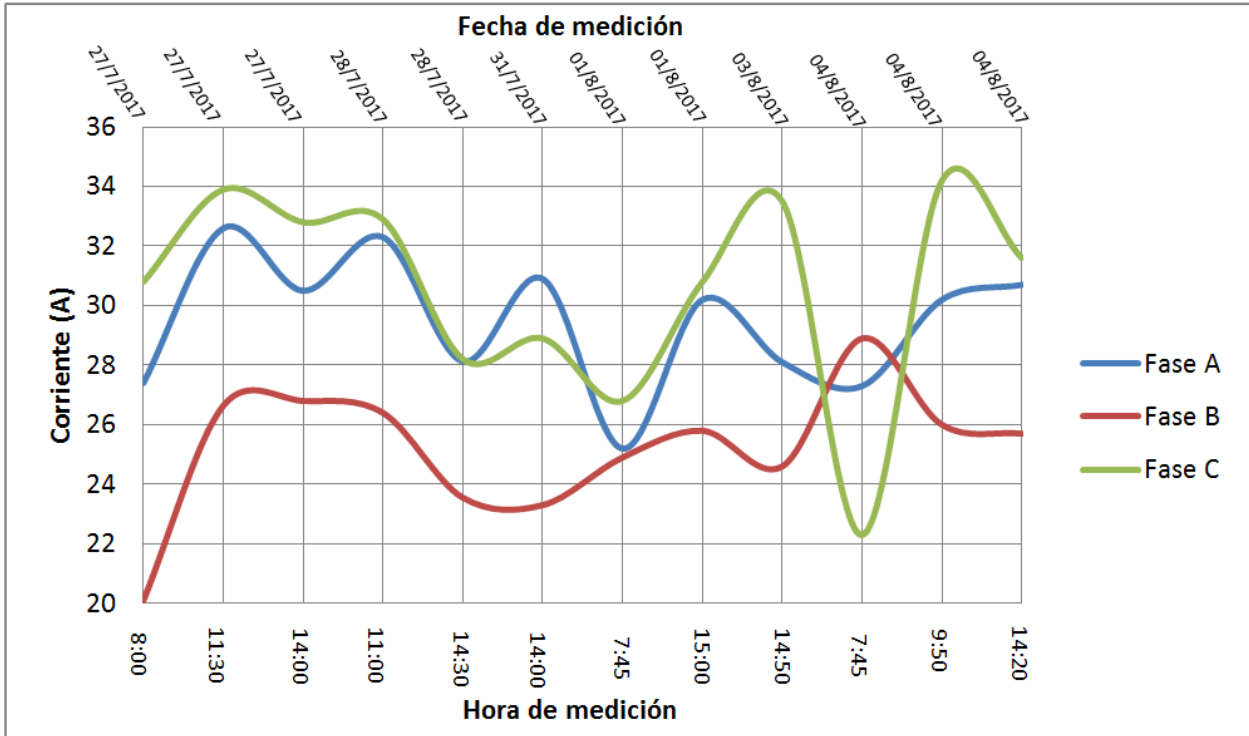


Gráfico 3.1. Corrientes de línea G2-A2
Fuente propia

El siguiente paso fue realizar mediciones de corriente de línea mediante el sistema Arduino. Estas mediciones se realizaron en un periodo de veinticuatro horas con lecturas cada 15 minutos. Los datos se muestran en la tabla 3.3.

Todos estos datos se recopilaron y se plasmaron en el gráfico 3.2 que se muestra más adelante.

Tabla 3.3. Medición de G2-A2 con el sistema Arduino
Fuente propia

Monitoreo de corrinetes de línea G2-A2 Arduino (A)			
<i>Fecha/hora</i>	<i>Fase A</i>	<i>Fase B</i>	<i>Fase C</i>
03/08/2017 10:30	30,12	24,66	30,75
03/08/2017 10:45	31,66	26,32	31,94
03/08/2017 11:00	31,38	25,62	31,38
03/08/2017 11:15	31,38	26,53	31,38
03/08/2017 11:30	31,38	25,83	31,66
03/08/2017 11:45	30,40	25,62	31,03
03/08/2017 12:00	30,75	26,10	31,66
03/08/2017 12:15	30,75	25,62	31,66
03/08/2017 12:30	31,94	26,53	31,94
03/08/2017 12:45	30,12	25,62	31,38
03/08/2017 13:00	30,75	25,35	31,38
03/08/2017 13:15	30,40	25,62	31,38
03/08/2017 13:30	29,49	24,87	30,40
03/08/2017 13:45	29,21	25,62	30,40
03/08/2017 14:00	28,86	25,14	28,86
03/08/2017 14:15	29,49	25,83	30,40
03/08/2017 14:30	29,49	26,53	30,12
03/08/2017 14:45	28,23	24,66	29,77
03/08/2017 15:00	29,77	25,83	30,40
03/08/2017 15:15	29,21	25,62	29,77
03/08/2017 15:30	29,49	25,62	29,21
03/08/2017 15:45	28,58	24,87	29,21
03/08/2017 16:00	26,69	23,48	26,41
03/08/2017 16:15	27,04	23,70	27,04
03/08/2017 16:30	27,04	23,48	26,41
03/08/2017 16:45	26,41	23,00	25,78
03/08/2017 17:00	26,69	22,52	25,78
03/08/2017 17:15	24,52	20,86	23,89
03/08/2017 17:30	24,24	21,07	23,26
03/08/2017 17:45	24,24	21,07	23,61
03/08/2017 18:00	24,52	21,07	24,24
03/08/2017 18:15	23,89	21,07	24,24
03/08/2017 18:30	23,89	21,07	23,26
03/08/2017 18:45	22,63	20,17	22,35
03/08/2017 19:00	22,35	19,68	22,35
03/08/2017 19:15	21,09	18,03	20,81
03/08/2017 19:30	22,07	18,93	21,44
03/08/2017 19:45	20,81	18,03	20,17
03/08/2017 20:00	20,81	18,24	20,81
03/08/2017 20:15	20,81	17,06	19,82
03/08/2017 20:30	20,46	18,03	20,17
03/08/2017 20:45	20,17	17,54	19,82
03/08/2017 21:00	20,17	17,28	19,82
03/08/2017 21:15	19,26	16,85	18,63
03/08/2017 21:30	18,63	16,37	18,00
03/08/2017 21:45	19,54	16,10	18,28
03/08/2017 22:00	18,63	15,89	17,37
03/08/2017 22:15	17,65	15,62	17,65
03/08/2017 22:30	17,37	14,71	16,74
03/08/2017 22:45	17,09	14,71	17,09
03/08/2017 23:00	18,28	13,96	16,74
03/08/2017 23:15	16,74	14,23	15,83
03/08/2017 23:30	16,74	13,75	16,46
03/08/2017 23:45	16,11	13,75	15,83
04/08/2017 00:00	16,74	13,27	15,48
04/08/2017 00:15	16,46	13,48	16,11
04/08/2017 00:30	14,85	12,57	14,29
04/08/2017 00:45	16,11	13,27	15,48
04/08/2017 01:00	15,83	13,05	14,85
04/08/2017 01:15	14,85	12,78	14,29
04/08/2017 01:30	16,11	13,27	16,11

Monitoreo de corrinetes de línea G2-A2 Arduino (A)

<i>Fecha/hora</i>	<i>Fase A</i>	<i>Fase B</i>	<i>Fase C</i>
04/08/2017 01:45	15,20	12,09	14,29
04/08/2017 02:00	15,83	13,05	15,20
04/08/2017 02:15	14,29	11,82	13,94
04/08/2017 02:30	15,48	12,78	15,20
04/08/2017 02:45	14,85	12,09	13,66
04/08/2017 03:00	15,48	12,57	14,57
04/08/2017 03:15	14,57	12,57	13,94
04/08/2017 03:30	15,20	13,05	15,20
04/08/2017 03:45	14,85	12,09	13,94
04/08/2017 04:00	15,48	12,57	15,20
04/08/2017 04:15	15,83	12,30	15,20
04/08/2017 04:30	15,83	12,78	14,85
04/08/2017 04:45	15,83	13,05	15,48
04/08/2017 05:00	14,57	12,09	14,29
04/08/2017 05:15	15,48	13,27	15,20
04/08/2017 05:30	15,20	12,78	14,85
04/08/2017 05:45	16,74	13,96	16,46
04/08/2017 06:00	16,11	13,05	15,48
04/08/2017 06:15	18,28	15,14	18,00
04/08/2017 06:30	18,00	15,62	18,28
04/08/2017 06:45	19,26	16,37	19,26
04/08/2017 07:00	20,17	16,85	20,81
04/08/2017 07:15	21,72	18,03	22,63
04/08/2017 07:30	22,63	18,93	23,61
04/08/2017 07:45	23,26	19,68	24,52
04/08/2017 08:00	24,80	21,56	26,41
04/08/2017 08:15	27,32	22,52	28,58
04/08/2017 08:30	28,23	23,70	29,77
04/08/2017 08:45	27,04	22,30	28,23
04/08/2017 09:00	29,49	24,18	31,03
04/08/2017 09:15	28,58	23,48	30,12
04/08/2017 09:30	31,66	26,10	31,94
04/08/2017 09:45	30,75	25,62	31,38
04/08/2017 10:00	30,40	25,83	31,38
04/08/2017 10:15	30,75	26,10	31,03
04/08/2017 10:30	30,75	25,83	32,57
04/08/2017 10:45	31,03	26,10	31,66
04/08/2017 11:00	33,20	27,01	33,55
04/08/2017 11:15	31,94	25,83	32,29
04/08/2017 11:30	31,66	26,32	32,57
04/08/2017 11:45	31,66	26,53	32,29
04/08/2017 12:00	31,94	26,53	31,94
04/08/2017 12:15	31,38	26,80	31,66
04/08/2017 12:30	31,94	26,80	32,29
04/08/2017 12:45	30,75	25,83	31,38
04/08/2017 13:00	31,03	25,62	31,03
04/08/2017 13:15	31,03	26,32	31,66
04/08/2017 13:30	31,38	26,32	32,29
04/08/2017 13:45	31,03	26,10	31,03
04/08/2017 14:00	31,03	25,83	31,03
04/08/2017 14:15	28,86	24,39	28,86
04/08/2017 14:30	29,77	25,62	30,12

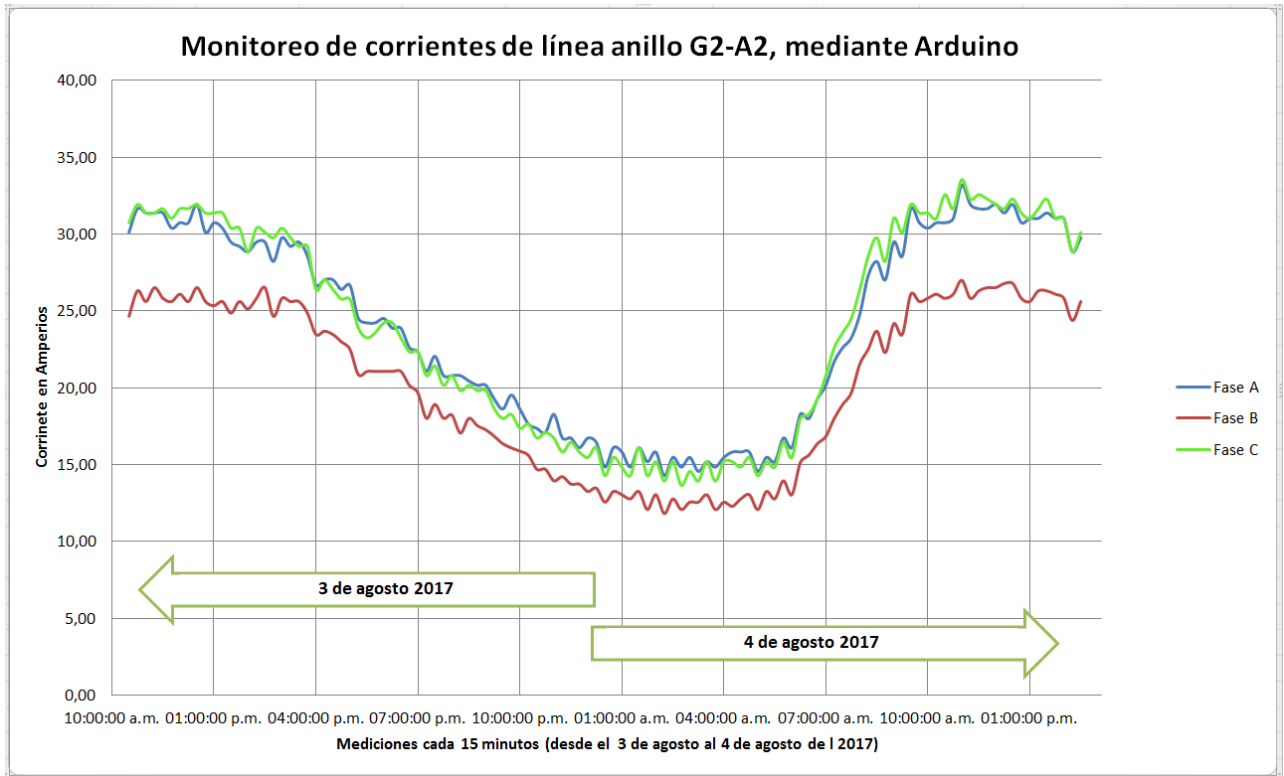


Gráfico 3.2. Corrientes de línea G2-A2 mediante Arduino
Fuente propia

Con la información de las corrientes de línea del monitoreo mediante Arduino se procedió a calcular la potencia del anillo de media tensión G2-A2 de la siguiente forma:

Se utilizó la siguiente ecuación para el cálculo de la potencia:

$$P = \frac{V_L \cdot I_L \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\theta}{1 \times 10^3}$$

Ecuación 3.1. Cálculo de potencia

En donde:

P: Potencia en kilowatts.

V_L : Voltaje de línea en voltios.

I_L : Corriente de línea en amperios.

$\cos\theta$: Al ser en su mayoría carga residencial y comercial se supondrá un factor de potencia de 0,95.

Para el I_L se tomaron los valores medidos en las tres fases por día y se sacó su promedio. En el caso de V_L se toma como referencia un valor de 13 800 voltios, que en este caso es el nivel de tensión del sistema.

Al aplicar la fórmula para el cálculo de potencia se obtiene lo siguiente:

Potencia del anillo G2-A2 para el día 4 de agosto a las 11:00 a.m.:

$$P = \frac{13800V \cdot \left(\frac{30,20+27,01+33,55}{3} \right) A \cdot \sqrt{3} \cdot 0,95}{1 \times 10^3} = 709,75kW$$

Este procedimiento se aplicó para cada uno de los valores y se obtuvo el comportamiento mostrado en el siguiente gráfico:

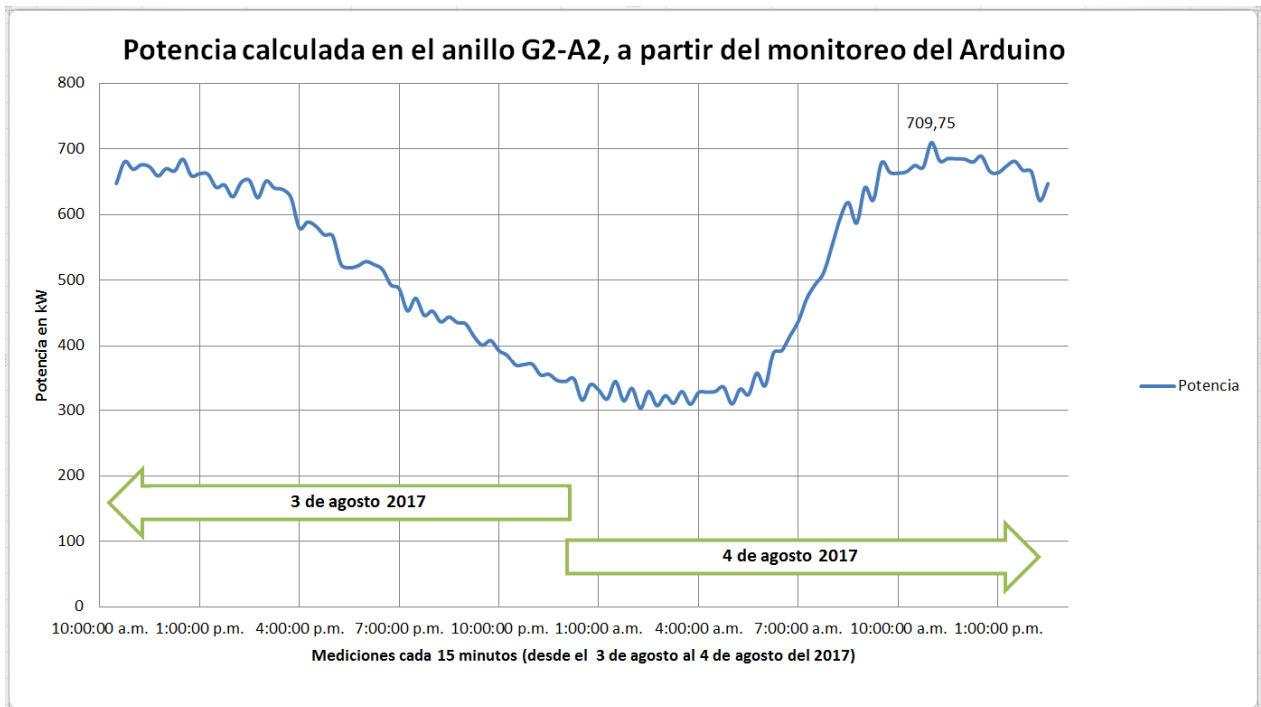


Gráfico 3.3. Comportamiento de la potencia para el anillo G2-A2
Fuente propia

En este gráfico se puede destacar que el periodo punta, el cual corresponde a los periodos de máxima demanda, se está presentando alrededor de las 12:00 m.d. y el periodo valle, el cual se presenta en los espacios en el que la demanda de energía es mínima, se presenta alrededor de la 1:00 a.m.

Para este caso la máxima demanda se presentó el día 4 de agosto a las 11:00 a.m. con un valor de 709,75kW.

Ahora se requiere determinar el factor de carga para anillo de media tensión de G2-A2. El factor de carga se determina con la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{\bar{D}}{D_{MAX}}$$

Ecuación 3.2. Cálculo factor de carga

Donde:

FC: Factor de carga.

\bar{D} : Demanda promedio.

D_{MAX} : Demanda máxima.

De acuerdo con los datos calculados de potencia según el gráfico 3.3, la demanda máxima tiene un valor de 709,75kW y la demanda promedio de 514,83kW. Este dato se obtiene al determinar el promedio de las demandas calculadas a partir de las mediciones de corriente del arduino (total de 113 mediciones por fase).

Entonces, para estos dos valores se determina el factor de carga:

$$FC = \frac{514,83kW}{709,75kW} = 0,7254$$

Se puede observar que para el anillo de media tensión G2-A2 se obtuvo un factor de carga de 0,7254, correspondiente al periodo medido con el Arduino entre el 3 de agosto al 4 de agosto de 2017.

3.4. Cálculos teóricos

En este apartado se procede a realizar cálculos a partir del factor de carga determinado y utilizando valores teóricos, con el fin de demostrar que es posible estimar valores de máxima demanda aproximados al valor registrado mediante arduino en el gráfico 3.3.

Para los cálculos teóricos se toma la información de los 341 clientes (ver el anexo 1) que conforman el anillo de media tensión G2-A2 del Sistema de Información Geográfica Eléctrica de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

De la información de los 341 clientes el dato que interesa es el del consumo de energía en kWh. Estos datos se requieren para determinar la demanda máxima a partir del factor de carga obtenido por medio del sistema arduino.

Para la obtención de la máxima demanda se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{max} = \frac{kWh}{24 * d * F.C}$$

Ecuación 3. 3. Cálculo de la demanda máxima

Donde:

D_{max} : Demanda máxima (kW).

kWh: Son los kilowatts-hora registrados por un contador eléctrico en un periodo determinado.

24: Representa las horas en un día.

d: Son los días facturados.

F.C: Es el factor de carga.

Para el cálculo teórico se van a suponer 30 días facturados y se cuenta con un total de 248.838,00 kWh de los 341 clientes en el mes de julio de 2017.

Entonces se obtiene:

$$D_{max} = \frac{248838kWh}{24 * 30 * 0,7254} = 476,44kW$$

Como resultado se obtiene que para el mes de julio la demanda máxima calculada es de 476,44kW, utilizando el factor de carga estimado mediante el arduino.

3.5. Conclusiones

- Es posible determinar factores de carga a partir del monitoreo a bajo costo de las corrientes de línea, haciendo valer el uso de la infraestructura diseñada por el fabricante para las protecciones de los interruptores, con un sistema no invasivo.
- Con el monitoreo es posible también verificar el balance de carga entre las fases, ya que se obtienen mediciones instantáneas de los tres conductores y con ello se pueden realizar gráficos que permitan ver su comportamiento.
- De acuerdo con las mediciones del anillo de media tensión de G2-A2 del circuito 2007 fue posible observar que este circuito aún es capaz de llevar más carga, ya que de los aproximadamente 3585 kW que es capaz de llevar el conductor apenas se está haciendo uso de 709 kW en los periodos de máxima demanda, para un porcentaje de uso de carga máxima de 19,78%
- Mantener un sistema que permita monitorear los circuitos y estimaciones de factores de carga por comportamiento de consumo permitirá una mejor utilización de la infraestructura de la red eléctrica subterránea, tanto para los conductores como para los interruptores que componen la red. También permitirá ahorrar en ampliaciones de la red debido al mal uso de los elementos que la componen.
- En el caso puntual del circuito de estudio G2-A2, los datos arrojaron que el factor de carga de ese circuito es de 0,7254, con una demanda máxima de 709 kW que, con base en la ampacidad del conductor (150 amperios), permite determinar que este circuito se encuentra con una disponibilidad de 80,22% de

su capacidad total. Con esto se demuestra que -utilizando esta plataforma y este proyecto- es posible hacer estas estimaciones que permiten determinar el estado de los anillos de media tensión en cuanto a cargabilidad, balance entre fases, y determinar el factor de carga para cada circuito a partir del comportamiento en el consumo de energía.

3.6. Recomendaciones

Se recomienda a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz extender el monitoreo al resto de circuitos derivados que componen la red, ya que el monitoreo de este trabajo se realizó en apenas un circuito, por lo que el comportamiento en cuanto a carga puede ser muy cambiante debido a los diversos clientes del centro de la capital, los cuales se reparten en varios grupos económicos.

Es importante que para la determinación de factores de carga se realicen monitoreos más prolongados, ya que esto permitirá afinar los cálculos realizados; esto debido a que la demanda promedio es un valor que se puede ajustar más con respecto al tiempo.

En el mundo ideal se deberían poder monitorear y almacenar estados transitorios con dispositivos de medición más precisos y rápidos que permitan la determinación de las características de eventos de falla.

Para la determinación de los factores de carga se supuso que se mantenía el sistema a un nivel de tensión de 13 800 voltios, por lo que sería apropiado analizar la

posibilidad de usar los valores monitoreados de subestación para que se obtengan variables reales de tensión y presentarlos con los datos recibidos en el Arduino.

Se recomienda a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz que, una vez depurados los factores de carga de los anillos de media tensión, estos se hagan del conocimiento de las dependencias encargadas del diseño y planificación de la red, ya que son una herramienta muy valiosa ante la cantidad de carga que se va agregando a la red a través del tiempo.

Durante la ejecución del proyecto se encontraron transformadores de corriente abiertos que están en desuso, lo que para un transformador de corriente significa un cortocircuito. Esto puede ser un punto de falla de los interruptores, por lo que se recomienda hacer todo un barrido de esta condición, para poner en cortocircuito las terminales secundarias de los transformadores de corriente de los interruptores que no estén en uso y se encuentren con el primario con carga y el secundario abierto.

Bibliografía

Garro Rojas, Marta. (2007). **Modelado del Sistema de Distribución Subterráneo de San José**. Proyecto eléctrico para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Eléctrica, San José. Universidad de Costa Rica.

(Varios autores) (2006). **Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 19,9/34,5kV**. San José. Ingenieros electricistas, mecánicos e industriales y Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.

Instalaciones ABENGOA. (2005). **Red Eléctrica de Distribución Subterránea para la Ciudad de San José**, San José. Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.

CENNELSA, (2008). **Cables & Tecnología**. Boletín técnico. Colombia.

CNFL, S.A., www.cnfl.go.cr/index.php/tramites-o-servicios/31-contactos/84-area-de-cobertura#cantones. Julio de 2017.

CNFL, S.A, **Sistema de Información Geográfica Eléctrica**, 2017.

Cr Cibernética, www.crcibernetica.com/. Julio2017

Arduino Cl, <http://arduino.cl/que-es-Arduino/>. Julio 2017

Arduino: Tecnología para todos, <http://arduinodehtics.weebly.com/historia.html>. Julio 2017.

Abreviaturas

°C	Grados Celsius.
A	Amperio.
Aresep	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
CNFL	Compañía Nacional de Fuerza y Luz
Dmax	Demanda máxima (kW).
\bar{D}	Demanda promedio en kW
FC	Factor de carga
mm ²	milímetros cuadrados.
KVA	Kilo voltio-amperio.
kW	(1000 Watts) -unidad de potencia.
kWh	Kilowatt hora.
MW	Megawatt (1.000.000 Watts)
V	Voltios.
VA	Voltios-amperio.
W	Watts (la medida de energía eléctrica, voltios x amperios = watts).

Anexos

Anexo 1. Tablas. Clientes G2-A2

NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
648711	0206500780	205	0,851	Residencial	29
621588	0302400140	36	0,118	Comercial	29
648651	0206500720	223	0,964	Residencial	29
1081613	0302300146	294	1,002	Comercial	29
521850	0302500630	341	1,327	Comercial	29
423146	0206500540	153	0,627	Residencial	29
508699	0302500570	556	1,893	Comercial	29
276809	0300100031	1327	4,107	Comercial	29
648662	0302500310	58	0,265	Residencial	29
818539	0206300340	399	0,953	Comercial	29
276352	0300800260	0	0,000	Residencial	29
573372	0303400325	8	0,028	Comercial	29
621516	0206400340	0	0,000	Residencial	29
577079	0300900820	224	1,011	Residencial	29
823098	0206300302	378	1,203	Comercial	29
477348	0300900240	0	0,000	Comercial	0
693706	0207200095	304	1,048	Residencial	29
616154	0300800535	1218	4,642	Comercial	29
1133306	0300800380	201	0,901	Residencial	29
350015	0300800460	556	2,404	Residencial	29
1096413	0302500580	828	4,316	Residencial	29
1052410	0206400116	169	0,455	Comercial	29
1081604	0302300134	185	0,631	Comercial	29
1187151	0206401000	19	0,102	Comercial	29
1209724	0207200032	126	0,547	Residencial	29
629063	0302500470	0	0,000	Comercial	29
1206715	0300900712	190	0,863	Residencial	29
644119	0206400720	25	0,265	Residencial	29
1210017	0302500340	153	0,387	Residencial	29
1217154	0303500346	45	0,139	Comercial	29
627204	0302500380	92	0,413	Residencial	29
1005238	0207200040	107	0,699	Residencial	29
391300	0207200085	483	1,781	Residencial	29
1030169	0206500760	153	0,581	Residencial	29
650848	0206400540	86	0,429	Residencial	29
278225	0300800280	83	0,531	Residencial	29
551081	0303400220	473	2,198	Residencial	29
621589	0302400160	223	0,718	Comercial	29
629064	0302500560	127	0,594	Residencial	29
624496	0302500540	329	1,061	Comercial	29
1081615	0302300150	78	0,278	Comercial	29
1081601	0302300126	0	0,015	Comercial	29
400467	0302500440	105	0,349	Comercial	29
621593	0300800480	82	0,275	Comercial	29
897208	0302400100	6239	12,345	Comercial	30

NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
623434	0206300260	295	1,280	Residencial	29
898643	0206200100	4792	12,593	Comercial	30
587199	0207200380	123	0,749	Residencial	29
669012	0302500650	76	0,354	Residencial	29
810132	0300800207	12	0,025	Comercial	29
645387	0207200400	193	0,669	Residencial	29
634192	0207200388	294	1,225	Residencial	29
371231	0302300010	88	0,346	Comercial	29
346017	0302300012	7	0,009	Comercial	29
823097	0206300304	57	0,600	Comercial	29
823103	0206300322	252	0,860	Comercial	29
823044	0206300344	234	0,705	Comercial	29
1021946	0206400810	412	1,636	Comercial	29
499003	0302400031	291	0,826	Comercial	29
1153136	0207200392	222	0,998	Residencial	29
1032425	0206400110	369	1,082	Comercial	29
1081151	0206400106	27	0,182	Comercial	29
1132246	0207200425	106	0,484	Residencial	29
1132241	0207200405	150	0,615	Residencial	29
1196403	0206500200	0	0,000	Comercial	29
591548	0302500360	576	1,692	Comercial	29
1206146	0206500500	104	0,000	Residencial	30
1209723	0207200036	256	1,221	Residencial	29
1183356	0301000280	71	0,254	Comercial	29
1206716	0300900714	0	0,008	Residencial	29
1207447	0300900702	16	0,042	Residencial	29
1206714	0300900710	5	0,046	Residencial	29
1206717	0300900716	1	0,009	Comercial	29
655032	0302500370	4	0,114	Residencial	29
1210021	0206500060	360	1,478	Residencial	29
1193851	0206400620	135	0,602	Residencial	29
1217147	0303500334	4	0,012	Comercial	29
270074	0206500670	168	0,829	Residencial	29
644180	0206500040	20	0,076	Residencial	29
638118	0300800440	39	0,160	Residencial	29
426356	0206400900	459	1,549	Comercial	29
449696	0302500442	57	0,130	Comercial	29
447485	0300900200	197	0,693	Comercial	29
644120	0206400260	2256	6,912	Comercial	29
650850	0302400220	1495	4,707	Comercial	29
674800	0207200385	314	1,549	Residencial	29
486653	0302300017	3	0,006	Comercial	29
596408	0302300020	445	0,935	Residencial	29
409543	0207200300	415	1,714	Residencial	29
496457	0300900020	225	0,804	Comercial	29

NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
266756	0300900780	129	0,445	Comercial	29
369182	0206300280	449	2,792	Residencial	29
475912	0302500455	2396	8,190	Comercial	29
898390	0206401080	3457	15,216	Comercial	30
292509	0302300014	108	0,349	Comercial	29
449695	0302500446	34	0,133	Comercial	29
278223	0300800300	90	0,396	Residencial	29
660251	0303400230	422	1,756	Residencial	29
1003257	0207200390	89	0,379	Residencial	29
818091	0300800203	279	0,866	Comercial	29
823025	0206300314	98	0,291	Comercial	29
519232	0302400015	0	0,000	Comercial	0
380594	0303500325	981	3,806	Residencial	29
614379	0300800530	481	1,308	Comercial	29
673839	0207200065	0	0,000	Comercial	29
485749	0302400032	324	0,789	Comercial	29
529966	0302500270	288	0,903	Comercial	29
608835	0206400430	295	0,971	Comercial	29
1030404	0206400104	25	0,056	Comercial	29
1021766	0206400112	205	0,671	Comercial	29
1010138	0206400114	88	0,315	Comercial	29
1082913	0206400082	1260	4,033	Comercial	29
1050115	0206400102	134	0,408	Comercial	29
1148231	0300800378	46	0,244	Residencial	29
898013	0206400020	5024	24,906	Comercial	30
428714	0206400915	492	1,032	Residencial	29
428713	0206400920	91	0,345	Residencial	29
1206711	0300900706	235	0,952	Residencial	29
624498	0302500510	0	0,000	Comercial	29
623504	0302500490	0	0,665	Comercial	31
708450	0206200060	1245	27,411	Residencial	29
391701	0206500700	324	1,406	Residencial	29
586153	0206400580	292	1,229	Residencial	29
1217150	0303500332	9	0,038	Residencial	29
648703	0302400030	306	1,381	Residencial	29
286734	0300100098	0	0,000	Comercial	29
576937	0207200089	150	0,560	Residencial	29
452475	0206300265	154	0,421	Residencial	29
644140	0207200034	112	0,526	Residencial	29
529149	0206400545	154	0,644	Residencial	29
621590	0302400180	302	0,903	Comercial	29
386693	0303500320	140	0,589	Residencial	29
641551	0206400740	274	1,039	Comercial	29
824472	0300800208	0	0,427	Comercial	29
624397	0207200260	79	0,333	Residencial	29

NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
386744	0303500305	213	0,783	Residencial	29
1081598	0302300122	68	0,220	Comercial	29
518684	0302500640	1205	3,591	Comercial	29
650074	0303400260	331	1,381	Residencial	29
369033	0300100090	97	0,337	Comercial	29
677816	0302300080	80	0,260	Comercial	29
530957	0303400350	360	1,672	Residencial	29
364078	0206400660	180	1,183	Residencial	29
897209	0300100040	4734	18,287	Comercial	30
452739	0300800290	27	0,101	Residencial	29
538240	0300800500	192	0,789	Comercial	29
612138	0300800200	1112	3,860	Comercial	29
278226	0300800270	256	1,023	Residencial	29
898168	0302400240	3784	23,480	Comercial	30
697010	0207200098	181	0,669	Residencial	29
641296	0302500610	1120	3,810	Comercial	29
801662	0300800240	795	2,508	Comercial	29
386694	0303500280	19	0,062	Comercial	29
1108125	0303400271	229	0,909	Residencial	29
1106912	0301000260	32	0,105	Comercial	29
1123783	0207200399	58	0,307	Residencial	29
1133625	0206400092	105	0,365	Comercial	29
1134002	0206400098	20	0,065	Comercial	29
1132244	0207200415	80	0,349	Residencial	29
1103709	0303400320	1223	4,909	Residencial	29
624396	0206400710	15	0,577	Residencial	29
1191974	0206100600	650	2,171	Comercial	29
625244	0300900760	54	0,152	Comercial	29
654627	0303500260	14	0,413	Residencial	29
1206713	0300900708	5	0,109	Residencial	29
1205824	0300800160	1861	5,988	Comercial	29
1217151	0303500340	31	0,096	Comercial	29
1217148	0303500330	22	0,093	Residencial	29
709294	0302400070	2214	7,713	Comercial	29
277593	0300800360	12	0,037	Comercial	29
266600	0300800250	705	2,270	Comercial	29
541991	0206400670	100	0,396	Residencial	29
446702	0302300011	13	0,037	Comercial	29
502930	0300900680	388	1,116	Comercial	29
1081602	0302300130	125	0,396	Comercial	29
313171	0302300015	129	0,489	Comercial	29
806298	0300800225	18	0,000	Comercial	32
1055017	0302500448	885	2,988	Comercial	29
465592	0303400340	749	3,457	Residencial	29
621522	0303400270	24	0,076	Residencial	29

NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
374452	0302300018	54	0,179	Comercial	29
621517	0206500620	193	0,846	Residencial	29
624867	0302500460	1758	5,214	Comercial	29
315725	0206400420	225	1,516	Residencial	29
669014	0302500660	0	0,000	Residencial	29
669011	0302500645	65	0,459	Residencial	29
637243	0207200088	222	0,867	Residencial	29
823075	0206300310	4	0,015	Comercial	29
823101	0206300316	28	0,114	Residencial	29
823042	0206300346	0	0,000	Comercial	29
801860	0300800228	4928	25,705	Comercial	30
1112071	0206500600	286	1,301	Residencial	29
1148311	0207200398	178	0,796	Residencial	29
1118712	0206400108	299	0,888	Comercial	29
1127479	0206400094	263	0,776	Comercial	29
427817	0302400040	326	1,042	Comercial	29
285549	0206400500	313	1,076	Comercial	29
1198454	0300900075	1501	5,016	Comercial	29
576832	0303400240	450	2,560	Residencial	29
627205	0302500300	78	0,371	Residencial	29
648659	0302500320	220	0,876	Residencial	29
1203368	0206400320	49	0,322	Comercial	29
1217152	0303500342	19	0,080	Residencial	29
1147241	0206400060	0	0,017	Residencial	29
525483	0206300140	302	0,303	Comercial	29
405327	0300800630	835	2,613	Comercial	29
348066	0303400310	188	0,884	Residencial	29
707801	0206300270	481	2,101	Residencial	29
1081612	0302300144	56	0,130	Comercial	29
1081603	0302300132	91	0,300	Comercial	29
622635	0207200340	165	0,581	Residencial	29
593536	0302500444	2	0,015	Comercial	29
448708	0302500450	1	0,000	Comercial	29
333937	0206400980	0	0,000	Residencial	29
372567	0300100100	496	1,729	Comercial	29
612630	0206400860	1952	6,829	Comercial	29
317684	0206400440	180	0,855	Residencial	29
542375	0300100102	30	0,402	Comercial	29
549629	0303400360	263	1,318	Residencial	29
823026	0206300312	0	0,000	Comercial	29
823104	0206300324	42	0,161	Comercial	29
700899	0206400300	337	1,592	Residencial	29
704058	0206500560	530	2,181	Residencial	29
685839	0207200076	110	0,392	Residencial	29
1097444	0206200160	207	0,661	Residencial	29

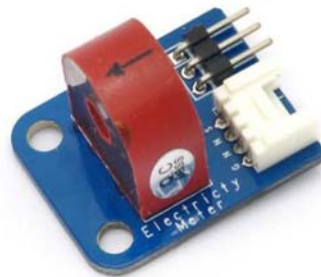
NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
1111474	0300100010	243	0,668	Comercial	29
896898	0302400010	2322	8,307	Comercial	29
1089096	0302400080	69	0,220	Comercial	29
1153601	0301000200	293	0,841	Comercial	29
655033	0302500330	166	0,737	Residencial	29
1183435	0300100120	266	0,875	Comercial	29
669367	0300900810	530	1,791	Comercial	29
449866	0206400960	223	0,535	Residencial	29
1200506	0301000370	61	0,195	Comercial	29
1011399	0206300240	265	3,907	Residencial	29
1217153	0303500344	24	0,101	Residencial	29
624870	0302500520	10	0,108	Comercial	29
621515	0206400360	0	0,000	Residencial	32
896066	0303400280	2088	6,622	Comercial	29
624395	0207200280	22	0,059	Residencial	29
648653	0302400200	927	1,976	Comercial	29
372150	0300800246	5	0,068	Comercial	29
512060	0303400250	647	2,057	Comercial	29
638115	0300800450	179	0,766	Residencial	29
638116	0300100180	105	0,446	Residencial	29
648714	0300900040	230	0,770	Comercial	29
655010	0302500332	142	0,619	Residencial	29
1024434	0207200020	0	0,000	Comercial	29
496880	0300100020	299	0,962	Comercial	29
801861	0300800205	440	1,454	Comercial	29
1081614	0302300148	9	0,105	Comercial	29
1081611	0302300142	561	0,541	Comercial	29
1081610	0302300138	283	0,823	Comercial	29
586151	0206400600	0	0,000	Residencial	29
429735	0300800470	663	1,970	Comercial	29
392947	0300900800	249	0,855	Residencial	29
622636	0207200360	261	0,926	Residencial	29
1081616	0302300140	417	1,256	Comercial	29
533418	0206500690	128	0,560	Residencial	29
1021978	0303400210	790	3,331	Residencial	29
535993	0207200060	430	1,663	Residencial	29
618447	0300800095	0	0,099	Comercial	29
660832	0207200370	484	1,937	Residencial	29
823100	0206300308	0	0,006	Comercial	29
823099	0206300318	47	0,142	Comercial	29
823028	0206300320	120	0,362	Comercial	29
823076	0206300342	227	0,674	Comercial	29
1013763	0207200371	125	0,602	Residencial	29
589807	0300800520	1392	4,481	Comercial	29
816719	0300800210	185	0,000	Comercial	30

NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
493087	0206200140	301	1,314	Residencial	29
429824	0303400285	0	0,383	Residencial	29
816832	0300800233	1697	5,709	Comercial	29
530014	0302500280	700	2,502	Comercial	29
532570	0206500100	2670	8,446	Comercial	29
1153138	0207200394	69	0,358	Residencial	29
1041645	0206400118	115	0,408	Comercial	29
1036819	0206400088	589	1,896	Comercial	29
1147232	0206400100	24	0,068	Comercial	29
812990	0300800209	494	1,726	Comercial	29
1170873	0300800060	516	1,729	Comercial	29
1132243	0207200410	121	0,598	Residencial	29
817294	0206300336	1298	4,222	Comercial	29
1136132	0207200220	609	2,531	Residencial	29
1168608	0207200030	186	0,846	Residencial	29
1203369	0206400330	64	0,124	Comercial	29
506839	0300100070	0	0,063	Residencial	29
1206718	0300900718	91	0,244	Comercial	29
624495	0302500550	76	0,229	Comercial	29
629021	0302500480	0	0,051	Residencial	31
1017598	0207200086	83	0,467	Residencial	29
530491	0207200090	241	1,343	Residencial	29
370762	0300800420	0	0,000	Residencial	29
503782	0303400330	1304	4,503	Comercial	29
280786	0302300016	38	0,105	Comercial	29
672542	0206300190	266	0,838	Comercial	29
493107	0300900080	160	0,585	Comercial	29
624868	0302500530	327	1,045	Comercial	29
386730	0303500290	320	1,554	Residencial	29
621587	0302400120	799	2,743	Comercial	29
1021875	0302500620	983	4,269	Residencial	29
666822	0302300060	81	0,333	Residencial	29
1081605	0302300136	0	0,022	Comercial	29
1081599	0302300124	390	0,507	Comercial	29
350954	0302300013	1	0,003	Comercial	29
621577	0302300040	618	2,813	Residencial	29
816710	0300800204	1070	3,547	Comercial	29
276557	0206500640	216	0,509	Residencial	29
347153	0300100095	94	0,414	Comercial	29
268614	0206400760	406	1,731	Residencial	29
823073	0206300300	44	0,136	Comercial	29
516458	0300800201	744	2,453	Comercial	29
669013	0302500655	92	0,463	Residencial	29
630944	0300800100	319	1,110	Comercial	29
823074	0206300306	0	0,000	Comercial	29

NUMERO MEDIDOR	LOCALIZACION	KWH	DEMANDA	SECTOR	DIAS
823102	0206300330	167	0,739	Comercial	29
818419	0206300338	5	0,012	Comercial	29
685838	0207200097	366	1,124	Residencial	29
590814	0207200386	365	1,743	Residencial	29
1144421	0302300050	556	2,484	Residencial	29
285459	0302400020	645	2,007	Comercial	29
1045769	0206400090	302	0,891	Comercial	29
1148233	0300800382	843	2,722	Comercial	29
293951	0206400480	159	0,758	Residencial	29
1159377	0207200396	63	0,176	Comercial	29
1132245	0207200420	126	0,463	Residencial	29
1081600	0302300128	362	1,042	Comercial	29
1207448	0300900704	1	0,004	Residencial	29
624497	0302500500	293	0,764	Comercial	29
532345	0302500290	237	1,019	Residencial	29
649983	0206500660	119	0,918	Residencial	29
641554	0206300180	750	3,200	Residencial	29
314863	0206500740	302	1,314	Residencial	29
452412	0206500580	185	0,834	Residencial	29
925927	0300800020	11440	44,847	Comercial	30
926288	0302300070	5280	32,467	Comercial	30
948985	0206401060	6640	43,613	Comercial	30
924986	0300800245	3320	14,220	Comercial	30
926000	0300900340	2400	7,856	Comercial	29
939404	0302300028	7400	27,320	Comercial	30
980038	0301000350	76560	243,827	Comercial	30

Electronic Brick of Electricity Meter Sensor

Overview

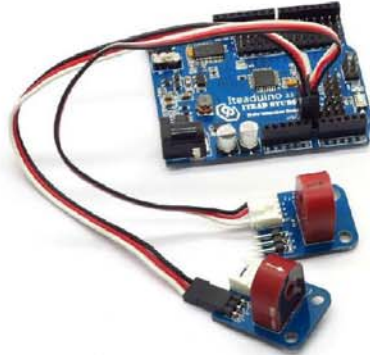


What is an electronic brick? An electronic brick is an electronic module which can be assembled like Lego bricks simply by plugging in and pulling out. Compared to traditional universal boards and circuit modules assembled with various electronic components, electronic brick has standardized interfaces, plug and play, simplifying construction of prototype circuit on one's own. There are many types of electronic bricks, and we provide more than twenty types with different functions including buttons, sensors, Bluetooth modules, etc, whose functions cover from sensor to motor drive, from Ethernet to wireless communication via Bluetooth, and so on. We will continue to add more types to meet the various needs of different projects.

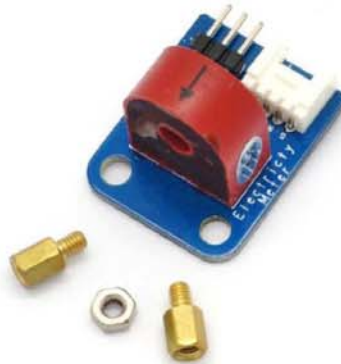
Electronic brick of electricity sensor is based on TA12-100 current transformer, which can transform AC signals of large current into small amplitude signals. The maximum current that can be detected can reach 5A, and the present current signal can be read via analog I / O port.

Features

1. Plug and play, easy to use. Compatible with the mainstream 2.54 interfaces and 4-Pin Grove interfaces in the market.



2. With use of M4 standard fixed holes, compatible with M4-standard kits such as Lego and Makeblock.



Specifications

PCB size	30.0mm X 24.0mm X 1.6mm
Compatible interfaces	2.54 3-pin interface and 4-pin Grove interface ⁽¹⁾

Note 1: *S for analog output port, G for ground, and N for not used pin.*

Electrical characteristics

Parameter	Min.	Typical	Max.	Unit
Transformation coefficient	-	1000:1	-	-
Input current	0	-	5	A
Output current	0	-	5	mA
Sampling resistor	-	200	-	Ω
Sampling voltage	0	-	1	V
Working frequency	20	-	20000	Hz
Working temperature	-55	-	85	$^{\circ}\text{C}$
Dielectric strength	-	6	-	KAC/1min

DEMO

Connect S port of electronic brick of electricity sensor to A0 port of Arduino board, and we will use the following program to read the analog value, and the send it to computer for display via serial port.

```
#define ELECTRICITY_SENSOR A0 // Analog input pin that sensor is attached to
```

```
float amplitude_current;           //amplitude current
float effective_value;             //effective current

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pins_init();
}
void loop()
{
  int sensor_max;
  sensor_max = getMaxValue();
  Serial.print("sensor_max = ");
  Serial.println(sensor_max);
  //the VCC on the Grove interface of the sensor is 5v
  amplitude_current=(float)sensor_max/1024*5/200*1000000;
  effective_value=amplitude_current/1.414;
  //minimum_current=1/1024*5/200*1000000/1.414=24.4(mA)
  //Only for sinusoidal alternating current
  Serial.println("The amplitude of the current is(in mA)");
  Serial.println(amplitude_current,1);//Only one number after the decimal point
  Serial.println("The effective value of the current is(in mA)");
  Serial.println(effective_value,1);
}
}
```

```

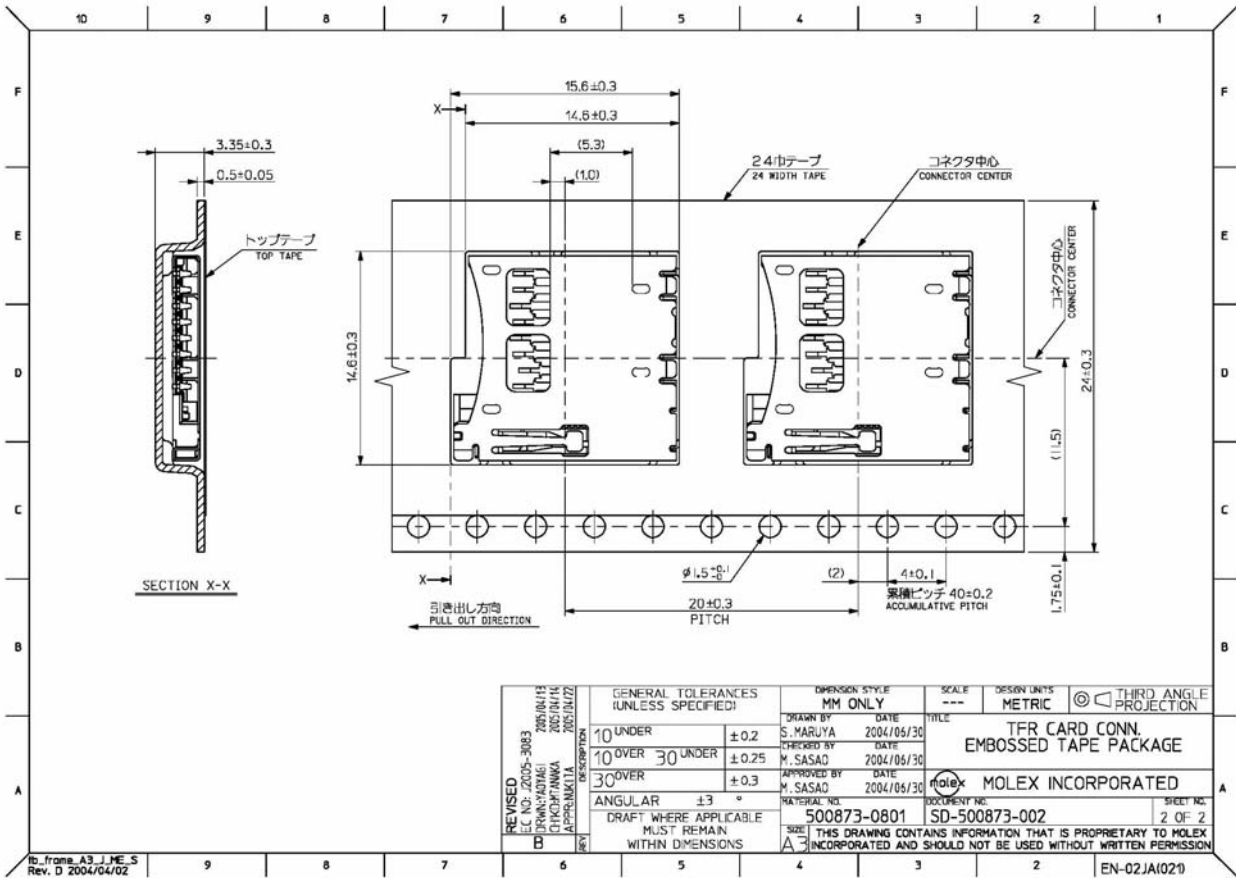
void pins_init()
{
  pinMode(ELECTRICITY_SENSOR, INPUT);
}
/*Function: Sample for 1000ms and get the maximum value from the SIG pin*/
int getMaxValue()
{
  int sensorValue;          //value read from the sensor
  int sensorMax = 0;
  uint32_t start_time = millis();
  while((millis()-start_time) < 1000)//sample for 1000ms
  {
    sensorValue = analogRead(ELECTRICITY_SENSOR);
    if (sensorValue > sensorMax)
    {
      /*record the maximum sensor value*/
      sensorMax = sensorValue;
    }
  }
  return sensorMax;
}

```

Revision record

Version	Description	Date	Written by
v1.0	Initial edition	18 th , April, 2013	Stan Lee

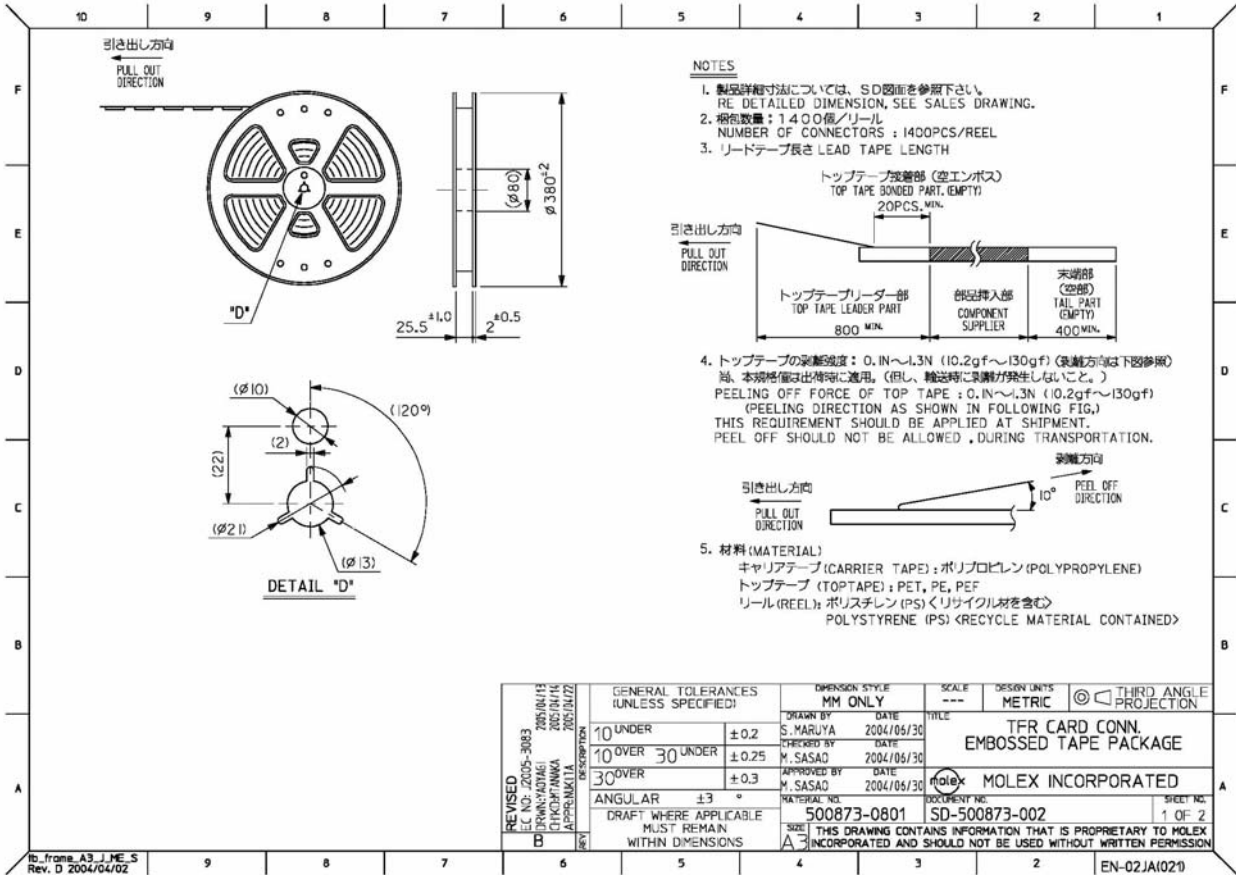
Anexo 3. Hoja de datos Bloque MicroSD



REVISED E.C. NO.: 2005-3083 DRAWN: MARUYA CHECKED: SASADA APPROVED: SASADA DATE: 2004/05/30	GENERAL TOLERANCES (UNLESS SPECIFIED)		DIMENSION STYLE MM ONLY		SCALE ---	DESIGN UNITS METRIC	THIRD ANGLE PROJECTION
	10 UNDER	±0.2	DRAWN BY S. MARUYA	DATE 2004/05/30	TITLE TFR CARD CONN. EMBOSSED TAPE PACKAGE		
	10 OVER 30 UNDER	±0.25	CHECKED BY M. SASADA	DATE 2004/05/30	APPROVED BY M. SASADA		
	30 OVER	±0.3	DATE 2004/05/30	MOLEX INCORPORATED			
ANGULAR ±3 °		DRAFT WHERE APPLICABLE MUST REMAIN WITHIN DIMENSIONS		NATIONAL NO. 500873-0801	DOCUMENT NO. SD-500873-002	SHEET NO. 2 OF 2	
THIS DRAWING CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX INCORPORATED AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION							

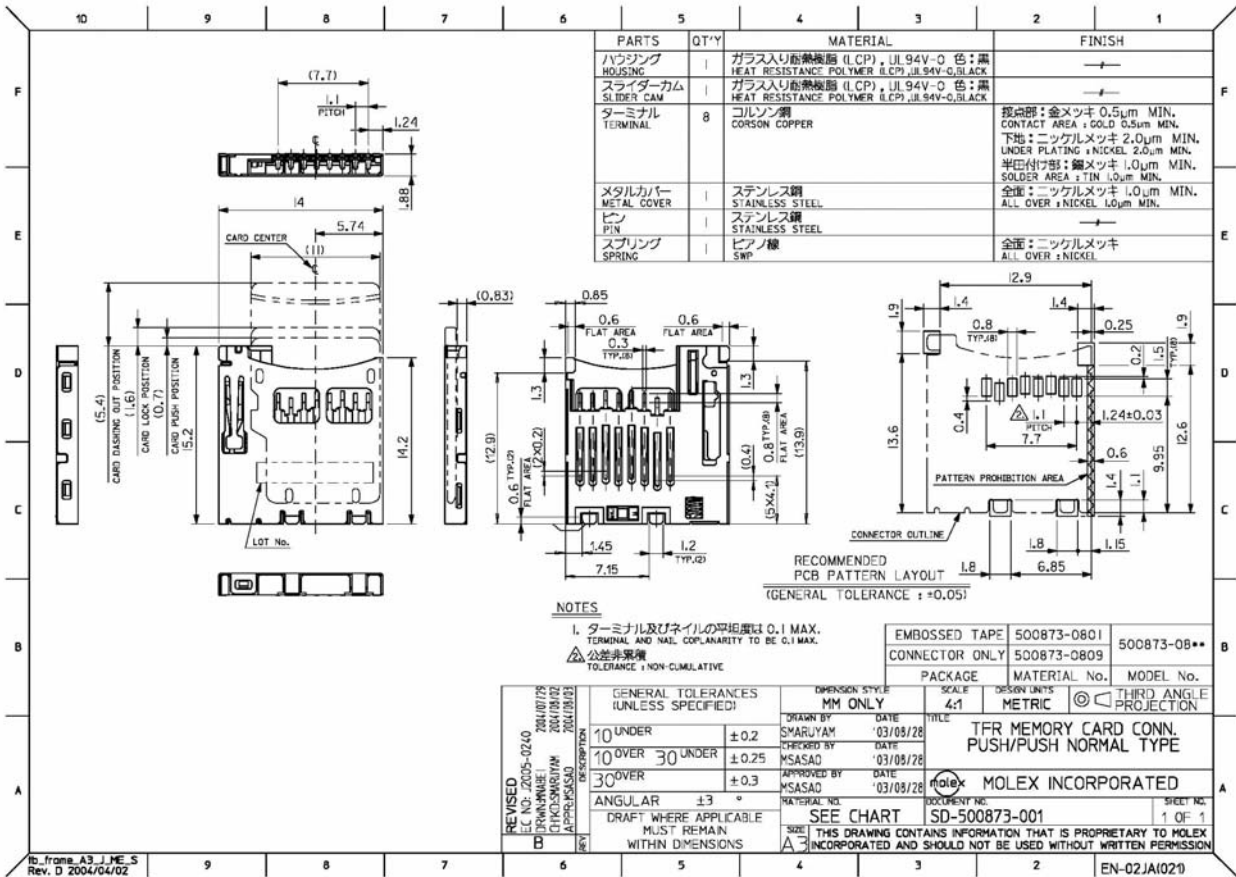
td_frms_A3_J_ME_S
Rev. D 2004/04/02

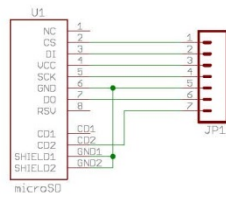
EN-02JA(02)



tb_from_A3_J_ME_S
Rev. D 2004/04/02

EN-02JA(02)





microSD Breakout Board	
TITLE: microSD-Breakout-v14	SFE
Document Number:	REV:
Date: 11/8/2010 7:35:55 AM	Sheet: 1/1

Apéndice

Heredia, 21 de agosto de 2017

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

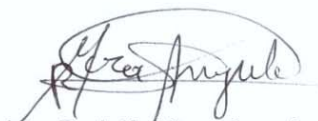
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: "Determinación de Factores de Carga para la Red Eléctrica Subterránea en la Ciudad de San José para el Proceso Red Subterránea a partir de agosto de 2017", elaborado por el estudiante Carlos Alberto Bonilla Sanabria, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Rodolfo Mora Angulo.

Tutor

Heredia, 21 de agosto de 2017

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

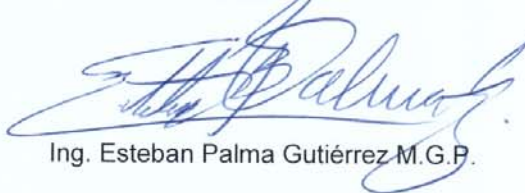
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: "Determinación de Factores de Carga para la Red Eléctrica Subterránea en la Ciudad de San José para el Proceso Red Subterránea a partir de agosto de 2017", elaborado por el estudiante Carlos Alberto Bonilla Sanabria, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'E. Palma', is written over a horizontal line.

Ing. Esteban Palma Gutiérrez M.G.P.

Lector

San José, C.R., 29 de agosto de 2017

Señores
Escuela de Ingeniería Electromecánica
Universidad Latina de Costa Rica
San Pedro de Montes de Oca.

Estimados señores:

En calidad de filólogo debidamente acreditado ante el colegio profesional respectivo, hago constar que el estudiante Carlos Alberto Bonilla Sanabria, céd. de identidad N.º 4-0184-0495, me presentó para revisión filológica el informe escrito de su trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, titulado **Determinación de factores de carga en la red eléctrica subterránea en la ciudad de San José para el Proceso Red Subterránea a partir de agosto de 2017**, texto al cual se le hicieron los cambios pertinentes en aspectos como ortografía, sintaxis, puntuación, estilo, redacción, etc.

Dado lo anterior, doy fe de que dicho documento es apto en su forma para ser presentado a la Universidad como trabajo de graduación.

Atentamente,


Lic. Ronulfo Vargas Vargas
Carné 4838
Colegio de Licenciados y Profesores.

Lic. Ronulfo Vargas V.
Filólogo
Carné 4838 - Tel. 8875-3728

rvv

“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Bonilla Sanabria, Carlos Alberto

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Trabajo Final de Graduación
titulado:

Determinación de factores de carga en la red eléctrica subterránea de la ciudad de San José para el Proceso Red Subterránea a partir de agosto de 2017

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 30 del mes agosto del año 2017 a las 2:40 p.m . Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

