



**FACULTAD DE POSTGRADO
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**RELACIÓN DE METALMECÁNICA, DISTRIBUCIÓN,
PROTECCIÓN Y ABB ABILITY CON EL DISEÑO DE
CUADROS DE DISTRIBUCIÓN**

SUSTENTADO POR:

**JUDITH ELISABET FAJARDO IRÍAS
SAÚL ALBERTO CASTRO RODRÍGUEZ**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE
MÁSTER EN
ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS**

SAN PEDRO SULA, CORTÉS

HONDURAS, C.A.

AGOSTO 2018

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

**UNITEC
FACULTAD DE POSTGRADO**

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

**RECTOR
MARLON BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL
ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTORA CADEMICA
DESIREE TEJADA CALVO**

**VICEPRESIDENTE UNITEC, CAMPUS S.P.S
CARLA MARIA PANTOJA**

**DECANA DE LA FACULTAD DE POSTGRADO
CLAUDIA MARIA CASTRO VALLE**

**RELACIÓN DE METALMECÁNICA, DISTRIBUCIÓN,
PROTECCIÓN Y ABB ABILITY CON EL DISEÑO DE
CUADROS DE DISTRIBUCIÓN**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN**

ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

ASESOR METODOLÓGICO

JUAN JACOBO PAREDES HELLER

ASESOR TEMÁTICO

JOEL ALEXIS CABALLERO FUENTES

MIEMBROS DE LA TERNA:

XINIA VANESSA MILLA DÍAZ

HÉCTOR WILFREDO PADILLA SIERRA

JOSÉ RODOLFO SORTO BUESO

DERECHOS DE AUTOR

© Copyright 2018

JUDITH ELISABET FAJARDO IRÍAS

SAÚL ALBERTO CASTRO RODRÍGUEZ

Todos los derechos son reservados

**AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE
POSTGRADO**

Señores

**CENTRO DE RECURSOS PARA
EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN (CRAI)
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA (UNITEC)
San Pedro Sula**

Estimados Señores:

Nosotros, Judith Elisabet Fajardo Irías y Saúl Alberto Castro Rodríguez, de San Pedro Sula, autores del trabajo de postgrado titulado: Diseño de la metalmecánica, distribución, protección y adaptación del ABB Ability para un cuadro primario de distribución, presentado y aprobado en Julio/2018, como requisito previo para optar al título de Master en Administración de Proyectos y reconociendo que la presentación del presente documento forma parte de los requerimientos establecidos del programa de maestrías de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), por este medio autorizo a las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de UNITEC, para que con fines académicos puedan libremente registrar, copiar o utilizar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

- 1) Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en las salas de estudio de la biblioteca y/o página Web de la Universidad.
- 2) Permita la consulta y/o la reproducción a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general en cualquier otro formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en los artículos 9.2, 18, 19, 35 y 62 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los derechos morales pertenecen al autor y son personalísimos,

irrenunciables, imprescriptibles e inalienables. Así mismo, el autor cede de forma ilimitada y exclusiva a UNITEC la titularidad de los derechos patrimoniales. Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de UNITEC.

En fe de lo cual se suscribe el presente documento en la ciudad de San Pedro Sula, a los días del mes de Junio del año 2018.

Judith Elisabet Fajardo Irías
21613134

Saúl Alberto Castro Rodríguez
21613135



RELACIÓN DE METALMECÁNICA, DISTRIBUCIÓN, PROTECCIÓN Y ABB ABILITY CON EL DISEÑO DE CUADROS DE DISTRIBUCIÓN

AUTORES:

Judith Elisabet Fajardo Irías y Saúl Alberto Castro Rodríguez

RESUMEN

Los cuadros primarios de distribución se encuentran justo después del transformador que cambia la media tensión a baja tensión, la cual provee la generadora de electricidad. También hace la distribución de la energía a través de sus ramales, además se le puede adaptar una comunicación que permita el monitoreo y control remoto. Hoy en día en Honduras, no hay leyes o normas que obliguen a estas instalaciones a seguir una serie de reglas básicas, por lo que los criterios para el diseño de los mismos, quedan a discreción de la persona o empresa contratada para realizar dicho trabajo. Esta investigación busca determinar cómo se relacionan la metalmecánica, distribución, protección y adaptación de un sistema con comunicación y plataforma en la nube denominada ABB Ability con el diseño de un cuadro primario de distribución, para esto se pregunta a los profesionales como toman en cuenta en sus diseños, los elementos mencionados anteriormente. La investigación tiene un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo, es no experimental, con un alcance descriptivo y un diseño transversal ya que se recopilan los datos en un único momento, la muestra es probabilística y para seleccionarla se aplica el método Delphi, la técnica aplicada son las encuestas y se utilizan instrumentos como el Alfa de Cronbach para medir la confiabilidad de la misma, también se calcula la W de Kendall para asegurar la concordancia entre los diseñadores o expertos seleccionados.



**RELATIONSHIP OF METALMECHANICS, DISTRIBUTION,
PROTECTION AND ABB ABILITY WITH THE DESIGN OF
DISTRIBUTION BOARDS**

AUTHORS:

Judith Elisabet Fajardo Irías y Saúl Alberto Castro Rodríguez

ABSTRACT

The primary distribution boards are located just after the transformer that changes the medium voltage to low voltage provided by the electricity generator, it also distributes the energy through its branches, and it can adapt a communication that allows the monitoring and remote control. Today in Honduras, there are no laws or regulations that require these facilities to follow a series of basic rules, so the criteria for designing them are at the discretion of the person or company hired to perform this work. This research seeks to determine how the metalworking, distribution, protection and adaptation of a system with communication and platform in the cloud called ABB Ability relate to the design of a primary distribution board, for this the design professionals are asked how they take in account in their designs, the elements mentioned above. This research has a mixed, qualitative and quantitative approach, is non-experimental, with a descriptive scope and a cross-sectional design since the data is collected in a single moment, the sample is probabilistic and to select it the Delphi method is applied, the applied technique it's a survey and instruments like the Cronbach Alpha are used to measure the reliability of the technique, also the W of Kendall is calculated to assure the agreement between the designers or selected experts.

DEDICATORIA

Judith Elisabet Fajardo Irías: A Dios que es quien hace todas las cosas posibles, siempre es Fiel, nunca falla, aún en los momentos más difíciles nos ilumina con su eterna luz. A mi esposo, con su amor me impulsa cada a día a ser mejor y a perseguir todas mis metas y sueños. A mis padres, quienes siempre han creído en mí y me han acompañado desde que nací, también a mis hermanos, todos ellos siempre me han apoyado incondicionalmente.

Saúl Alberto Castro Rodríguez: Esta investigación es dedicada a Dios, por siempre proveer el conocimiento y la voluntad para llevar a cabo el trabajo. A mi esposa, por siempre estar a mi lado, esforzándonos hombro a hombro, con la mirada puesta en un futuro mejor, siendo mi compañera incondicional y mi motivación a ser siempre mejor. A mis padres, que por medio de sus esfuerzos son la base sobre los cuales se desarrollan mis estudios superiores.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todos los catedráticos que compartieron sus conocimientos y experiencias con nosotros a lo largo de todas las clases que cursamos durante la maestría. En especial a nuestro asesor metodológico el Dr. Juan Jacobo Paredes Heller, quien con mucha paciencia y dedicación nos guio a través del proceso para poder completar la presente investigación. También agradecemos al asesor temático el Ing. Joel Caballero, ya que a través de sus conocimientos y experiencia técnica contribuyo al enriquecimiento del documento. Además agradecemos a nuestros compañeros de clase, con quienes durante todo este tiempo hemos compartido la gratificante experiencia de cursar la Maestría en Administración de Proyectos, a través de sus opiniones, aportaciones y apoyo mutuo se pudo aprovechar al máximo cada momento de clase y trabajos. Finalmente agradecemos a la Universidad Tecnológica Centroamericana por su compromiso con Honduras al implementar programas de postgrado con la calidad y relevancia que comprende la maestría previamente mencionada, lo que contribuye el engrandecimiento y desarrollo de los profesionales que poco a poco transformamos nuestro país.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES | 3 |
| 1.3 DEFINICIÓN DE PROBLEMA | 4 |
| 1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA | 4 |
| 1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 5 |
| 1.3.3 PREGUNTAS DEL PROBLEMA..... | 6 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 6 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL | 6 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 7 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN | 7 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL | 9 |
| 2.1.1 ANÁLISIS DE MACROENTORNO | 9 |
| 2.1.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO..... | 11 |
| 2.1.3 ANÁLISIS INTERNO | 12 |
| 2.2 TEORÍAS DE SUSTENTO | 14 |
| 2.2.1 IEC 61439-1..... | 14 |
| 2.2.1.1 CONDICIONES DE INSTALACIÓN..... | 16 |
| 2.2.1.2 GRADO DE PROTECCIÓN IP DEL CUADRO | 18 |
| 2.2.1.3 GRADO DE PROTECCIÓN IK..... | 20 |
| 2.2.1.4 FORMAS DE SEGREGACIÓN..... | 21 |
| 2.2.2 LEYES DE KIRCHHOFF..... | 24 |
| 2.2.2.1 LEY DE CORRIENTES DE KIRCHHOFF..... | 24 |
| 2.2.2.2 LEY DE VOLTAJE DE KIRCHHOFF..... | 24 |
| 2.2.3 CÁLCULO DE INTENSIDADES EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN..... | 25 |
| 2.2.4 COORDINACIÓN DE INTERRUPTORES..... | 26 |
| 2.2.5 INDUSTRIA 4.0..... | 28 |
| 2.2.5.1 MODBUS RTU..... | 29 |
| 2.2.5.2 ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES | 30 |
| 2.3 MARCO CONCEPTUAL..... | 30 |

| | |
|--|----|
| 2.3.1 METALMECÁNICA..... | 32 |
| 2.3.2 DISTRIBUCIÓN | 33 |
| 2.3.2.1 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS..... | 33 |
| 2.3.3 PROTECCIÓN | 35 |
| 2.3.4 ADAPTACIÓN DEL ABB ABILITY..... | 37 |
| 2.3.4.1 ARQUITECTURA DEL ABB ABILITY | 37 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 39 |
| 3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA | 39 |
| 3.1.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES..... | 39 |
| 3.1.2 TABLA DE CONGRUENCIA METODOLÓGICA..... | 40 |
| 3.1.3 HIPÓTESIS | 45 |
| 3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS..... | 45 |
| 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 47 |
| 3.3.1 POBLACIÓN | 49 |
| 3.3.2 MUESTRA | 49 |
| 3.3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS..... | 50 |
| 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS..... | 51 |
| 3.4.1 INSTRUMENTOS..... | 52 |
| 3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN | 53 |
| 3.5.1 FUENTES DE INFORMACIÓN PRIMARIAS..... | 54 |
| 3.6 LIMITANTES DEL ESTUDIO | 55 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 56 |
| 4.1 CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO | 56 |
| 4.2 GRÁFICAS | 59 |
| 4.3 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 70 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 75 |
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 75 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 76 |
| 5.3 APLICABILIDAD..... | 76 |
| 5.3.1 ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO..... | 77 |
| 5.3.2 DECLARACIÓN DEL ALCANCE | 78 |
| 5.3.3 ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL TRABAJO..... | 79 |

| | |
|---|-----|
| 5.3.4 PLAN DE GESTIÓN DEL TIEMPO | 80 |
| 5.3.5 PLAN DE GESTIÓN DE LOS COSTOS..... | 82 |
| 5.3.6 PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD..... | 85 |
| 5.3.7 PLAN DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS | 86 |
| 5.3.8 PLAN DE GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES E INTERESADOS | 88 |
| 5.3.9 PLAN DE GESTIÓN DE LOS RIESGOS..... | 91 |
| 5.3.10 PLAN DE GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES | 97 |
| 5.3.10.1 FORMATOS A UTILIZAR Y COORDINACIÓN | 98 |
| 5.3.10.2 COORDINACIÓN DE GESTIÓN CON PROVEEDORES | 99 |
| REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA | 100 |
| ANEXOS | 104 |
| ANEXO 1 CARTA DE COMPROMISO PARA ASESORÍA TEMÁTICA | 104 |
| ANEXO 2 TÍTULOS UNIVERSITARIOS DE ASESOR TEMÁTICO EXTERNO | 105 |
| ANEXO 3 ENTREVISTA | 108 |
| ANEXO 4 GRÁFICOS RESPUESTAS DE ENCUESTA EN GOOGLE FORMS | 110 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Porcentajes de aporte al PIB en Honduras por actividad económica 2010 - 2015..... | 13 |
| Tabla 2. Tipos de verificación por característica según IEC 61439-1 | 15 |
| Tabla 3. Condiciones ambientales para instalación en interior..... | 17 |
| Tabla 4. Condiciones ambientales para instalación en exterior | 17 |
| Tabla 5. Cifras que conforman el grado de protección IP | 19 |
| Tabla 6. Relación entre grado IK y su energía de impacto..... | 21 |
| Tabla 7. Congruencia metodológica..... | 40 |
| Tabla 8. Operacionalización de las variables..... | 40 |
| Tabla 9. Plan de ejecución de la investigación | 48 |
| Tabla 10. Resultado del cálculo del Alfa de Cronbach en SPSS | 56 |
| Tabla 11. Resultado cálculo del Coeficiente de Concordancia de Kendall en SPSS..... | 57 |
| Tabla 12. Interpretación de la W de Kendall | 58 |
| Tabla 13. Acta de Constitución del Proyecto..... | 77 |
| Tabla 14. Costos estimados del proyecto | 82 |
| Tabla 15. Plan de gestión del costo | 84 |
| Tabla 16. Lista de verificación de calidad por entregables..... | 85 |
| Tabla 17. Matriz RACI..... | 87 |
| Tabla 18. Descripción de roles..... | 87 |
| Tabla 19. Plan de Gestión de las Comunicaciones..... | 88 |
| Tabla 20. Plan de Gestión de las Comunicaciones..... | 90 |
| Tabla 21. Matriz de Comunicación del Proyecto | 90 |
| Tabla 22. Ponderación de la probabilidad e impacto del riesgo | 91 |
| Tabla 23. Ponderación del tipo de riesgo..... | 91 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24. Análisis Cualitativo y Cuantitativo de los riesgos | 92 |
| Tabla 25. Plan de respuesta al riesgo..... | 93 |
| Tabla 26. Plan de gestión de los riesgos | 95 |
| Tabla 27. Metodología de Gestión del riesgo | 96 |
| Tabla 28. Roles y responsabilidades de la gestión del riesgo | 96 |
| Tabla 29. Matriz de las adquisiciones | 98 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Visión del Internet de las Cosas (IoT) | 8 |
| Figura 2. Influencia Global de Estándares..... | 10 |
| Figura 3. Nomenclatura del Grado de Protección Internacional..... | 18 |
| Figura 4. Nomenclatura del grado de protección IK..... | 20 |
| Figura 5. Simbología de segregación | 22 |
| Figura 6. Formas 1 y 2 de segregación interna | 22 |
| Figura 7. Formas 3 y 4 de segregación interna | 23 |
| Figura 8. Curva de acompañamiento en coordinación de protecciones | 27 |
| Figura 9. Curva de selectividad en coordinación de protecciones..... | 27 |
| Figura 10. Las revoluciones industriales | 29 |
| Figura 11. Relaciones de las variables de investigación | 31 |
| Figura 12. Estructuras representativas de una envolvente metalmecánica..... | 32 |
| Figura 13. Aparamentos eléctricos y su clasificación..... | 33 |
| Figura 14. Tipos de interruptores automáticos..... | 34 |
| Figura 15. Clasificación de los interruptores automáticos según la corriente nominal..... | 35 |
| Figura 16. Arquitectura de ABB Ability. | 38 |
| Figura 17. Diseño de la presente investigación..... | 46 |
| Figura 18. Fases del método Delphi..... | 50 |
| Figura 19. Gráfica unificada de resultados variable Metalmecánica | 59 |
| Figura 20. Gráfica de resultados promedio ponderado variable Metalmecánica..... | 61 |
| Figura 21. Gráfica unificada de resultados variable Distribución..... | 62 |
| Figura 22. Gráfica de resultados promedio ponderado variable Distribución..... | 63 |
| Figura 23. Gráfica unificada de resultados variable Protección | 64 |

| | |
|--|----|
| Figura 24. Gráfica de resultados promedio ponderado variable Distribución..... | 66 |
| Figura 25. Gráfica unificada de resultados variable Adaptación del ABB Ability..... | 67 |
| Figura 26. Gráfica de resultados promedio ponderado variable ABB Ability | 69 |
| Figura 27. Gráfica de resultados variable dependiente Diseño..... | 69 |
| Figura 28. Gráfica de resultados promedio ponderado variable dependiente Diseño..... | 70 |
| Figura 29. Resultado del cálculo estadístico KMO..... | 71 |
| Figura 30. Resultado del cálculo estadístico correlación bivariada | 72 |
| Figura 31. Resultado del cálculo estadístico Shapiro-Wilk..... | 73 |
| Figura 32. Resultado del cálculo estadístico Kruskal-Wallis | 74 |
| Figura 33. Estructura del Desglose de Trabajo | 79 |
| Figura 34. Cronograma del Proyecto – Diagrama de Gantt | 80 |
| Figura 35. Gráfica – Diagrama de Gantt | 81 |
| Figura 36. Cuadro de distribución primaria del proyecto..... | 83 |
| Figura 37. Organigrama del proyecto..... | 86 |
| Figura 38. Matriz de poder e interés..... | 89 |

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En toda instalación eléctrica de una planta industrial típica, encontraremos un cuadro de distribución primario después del transformador eléctrico que generalmente baja la media tensión a baja tensión, es en este nivel de tensión que se distribuye la energía a través de toda la planta para poder alimentar equipos como por ejemplo máquinas de producción, iluminación, equipo de oficina, aires acondicionadores, compresores de aire, etc.

Este cuadro primario de distribución es el encargado de velar por la protección ante situaciones como cortocircuito, sobrecarga u otras situaciones anómalas que puedan provocar daños a la integridad de la planta. Es por esto que es de suma importancia diseñar de forma correcta la metalmecánica que incluye la estructura que envuelve el circuito, accesorios de soporte, barras conductoras de energía y sus aisladores, etc., la distribución del interruptor automático principal hacia los diferentes ramales también compuestos por interruptores automáticos, las protecciones que cada interruptor poseerá, y finalmente la adaptación del sistema ABB Ability para poder recopilar en tiempo real diferentes datos de los interruptores automáticos.

1.1 INTRODUCCIÓN

Un cuadro primario de distribución está compuesto principalmente por dos partes, la primera es el envolvente que brinda soporte y protección mecánica a los equipos que tiene en el interior, como interruptores automáticos, la segunda es los aparatos, equipos eléctricos, conexiones y terminales de entrada o salida. Para la elaboración de un cuadro existen normativas que dictan las reglas, principios y parámetros adecuados que contribuyen a garantizar el buen funcionamiento de los aparatos (según el diseño para lo que fueron creados), también buscan asegurar que las condiciones mecánicas sean adecuadas para hacer frente a bajas o altas temperaturas, resistencia a cortocircuitos o sobrecargas, propiedades dieléctricas, protección contra solidos o líquidos como polvo o agua, resistencia a golpes, etc.

Las normas más importantes aplicadas hoy en día son las UL (Underwriter Laboratories) y las IEC (International Electrotechnical Commission), las UL son ampliamente aplicadas en Estados Unidos, México y otros países de América, las IEC principalmente se usan en Europa y también

en otros países del mundo, incluidos algunos de América. Para el tipo de instalación eléctrica que se tratara en este documento se usan las UL 67, UL 508 y las IEC 61439-1, 2. La que se tomara como referencia principal es las IEC.

La lista de pruebas particulares requeridas por la norma bajo la responsabilidad del fabricante del cuadro es la siguiente: Características relativas a la construcción: Grados de protección IP de la envolvente, distancias de aislamiento (en aire y superficialmente); protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección, instalación de dispositivos y componentes de maniobra, circuitos y conexiones eléctricas internas, terminales para conductores externos, funcionamiento mecánico. Características relativas al rendimiento: Propiedades dieléctricas (rigidez dieléctrica a 50 Hz y tensión soportada a impulsos), cableado y rendimiento en servicio. (Asea Brown Boveri, 2009, p.8)

El diseño de la distribución es muy importante ya que del buen funcionamiento del mismo dependerán las alimentaciones hacia partes importantes de la planta y circuitos con grandes cargas como maquinaria de producción directa de que lo que se vende, equipos auxiliares indispensables como aire acondicionados o compresores de aire, y así a medida que la energía se va distribuyendo se van alimentando más partes. En la distribución es importante especificar la corriente principal que fluirá a través del cuadro y como será dividida entre los diferentes ramales.

El diseño de la metalmecánica se refiere básicamente al envolvente que contendrá todos los equipos eléctricos del cuadro, hay requisitos básicos que deben indicarse, como el nivel nominal de corriente máxima que deberá pasar por el mismo, la corriente de corto circuito que sería capaz de afrontar, el nivel de protección contra sólidos y líquidos, los niveles de segregación posibles y además cumplir con más requisitos de diferentes normativas internacionales. En las protecciones el tema principal consistirá en asegurar la máxima continuidad del servicio, es decir que cuando se presenten casos como cortocircuito solamente se dispare el interruptor automático que corresponde al ramal de alimentación que está teniendo el evento, y no dispare el interruptor principal dejando sin energía a la planta entera.

La nueva tendencia o revolución industrial consiste en tener el internet de las cosas, es por eso que poder tener conexión a la web en los interruptores automáticos del cuadro primario de distribución es ideal para poder conocer de forma remota las características eléctricas de la energía suministrada, como la corriente, el voltaje, potencia, armónicos, balance de fases, etc. Como nos afirma Prodware (2018): “Con la industria 4.0 vendrán tiempos interesantes en muchas áreas de la

gestión de servicios de mantenimiento con equipos desplazados. Pero es igualmente interesante que los operadores de estos servicios se preparen para gestionar frecuentes solicitudes de cambio” (p.3).

1.2 ANTECEDENTES

La Comisión Eléctrica Internacional o también conocida por sus siglas en inglés IEC se fundó en 1906 y actualmente posee aproximadamente 9,000 normas internacionales en catálogo, reúne cerca de 20,000 expertos de industrial, grupos académicos, laboratorios y usuarios finales lo que sumado conforma alrededor de 200 comités técnicos. En 2009 la IEC publicó la normativa IEC 61439-1 y 2 las cuales reemplazan la anterior 60439-1, esta última fue lanzada en 1999. En 2011 la 61439-1 fue actualizada y esta es la versión más nueva de dicha norma. Según el sitio web oficial de la IEC se tiene proyectada una tercera versión que sería lanzada en el año 2019.

La exigencia en el diseño de los cuadros primarios de distribución eléctrica, son muy altas, en la actualidad agencias de normalización como la ANSI, UL o IEC detallan requisitos o conformidades de diseño para cuadro de distribución eléctrica. Las normas abordan una gran lista de requisitos de necesario cumplimiento para así asegurar el buen funcionamiento del cuadro primario de distribución eléctrica, con el fin de que su operación sea segura para las personas involucradas en el manejo de los cuadros eléctricos. Como Toto (2015) afirma:

La sociedad actual no admite que la actividad industrial o los productos de ella derivados sean potenciales generadores de riesgo, la intervención humana constituye todavía hoy el factor de riesgo más importante: debe protegerse a las personas de sus propios errores, la noción de la rentabilidad ha llevado a la mayoría de las empresas a revalorizar el concepto de disponibilidad de la energía eléctrica necesaria para optimizar sus procesos productivos, la necesidad de seguridad se equilibra siempre con la necesidad de disponibilidad máxima de los medios de producción. (p.44)

En general las agencias normativas, lo que buscan al aplicar estas normas para el diseño de cuadros eléctricos es mantener al máximo las características más importantes de todo cuadro primario, la seguridad y la disponibilidad. Como comparte Toto (2015) en su nota técnica, “oportunamente el Comité Electrotécnico (IEC) desarrollo para responder a esas necesidades la norma IEC 60439.09”. Debido a que los cambios en las tecnologías y los diseños / características de los dispositivos eléctricos utilizados cambian constantemente, para poder así brindar un

producto que se adapte a las necesidades del cliente, las normas deben mantenerse al tanto de cualquier cambio, con esta intención la IEC lanzo una versión actualizada de su norma para el diseño de cuadros de distribución eléctrica, las normas IEC 60439.-1 e IEC 60439-2.

Con la aparición de las nuevas tecnologías de recopilación, almacenamiento y visualización de datos en tiempo real, las opciones de los dispositivos que son posibles de instalar en un cuadro primario de distribución eléctrica. Para estos casos la norma también estipula los criterios para las instalaciones de sistemas de adquisición de datos y de cómo proteger eléctricamente estos dispositivos. En esencia la aplicación de las normas para el diseño de los cuadros primarios de distribución eléctrica, se lleva a cabo para el aumento de la seguridad de la instalación y mantener una disponibilidad alta de los dispositivos de distribución, protección y hoy día de adquisición de datos en tiempo real.

1.3 DEFINICIÓN DE PROBLEMA

En todo tipo de plantas industriales el suministro eléctrico es distribuido por medio de un cuadro primario de distribución eléctrica, por el cual se toma el suministro eléctrico y este es distribuido en varios ramales o líneas secundarias. El cuadro primario de distribución debe ser diseñado con el cumplimiento de ciertos requisitos y características, inherentes a la planta industrial y su actividad comercial. En este aspecto en la industria local se encuentran deficiencias.

1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Los cuadros primarios de distribución eléctrica en una planta industrial desempeñan una labor muy importante para el éxito de las operaciones productivas de la misma, por lo que una falla en su diseño puede significar el no poder operar parcialmente o totalmente de la planta industrial. El cuadro de distribución primario es donde se realiza la distribución de la carga eléctrica total para planta industrial, partiendo o separando en cargas secundarias la disponibilidad de carga proviniendo de la subestación eléctrica.

Para el diseño apropiado del cuadro primario de distribución eléctrica, se considera necesario tomar en cuenta la metalmecánica, la distribución de las cargas, las protecciones

eléctricas a utilizar y en la nueva era industrial de la actualidad (industria 4.0) la adaptación de cualquier tecnología que nos permita conectar nuestros sistemas eléctricos a una red de internet industrial. Tomando en cuenta todas estas variables nos aseguramos que el cuadro de distribución eléctrica sea diseñado de acuerdo a las necesidades y características específicas de la planta industrial.

En la actualidad existen fallas en el diseño de cuadros primarios de distribución eléctrica, sea por razones de falta de capacidades técnicas o ahorro de costos, usualmente la distribución de las cargas secundarias y la selección de protecciones eléctricas no se realizan de acuerdo a las necesidades y características eléctricas de la planta industrial. Aun mas, en nuestro país la adaptación de nuevas tecnologías de recopilación y monitoreo de datos eléctricos en los cuadros primarios de distribución eléctrica no son utilizadas, esto deja a la mayor parte de nuestra industria con lugar para grandes mejoras en la utilización efectiva de la energía eléctrica destinada a sus procesos productivos.

Hoy día con la aparición de las nuevas tecnologías emergentes, con la ideología de la industria 4.0 y el internet industrial de las cosas (IIoT, por sus siglas en ingles), existe un abanico de dispositivos que nos permiten la adquisición de datos eléctricos en tiempo real, entre ellos encontramos la solución de ABB Ability. La solución presentada por ABB Ability es de fácil adaptación al diseño de los cuadros primarios de distribución eléctrica – cuenta con diferentes opciones de escalabilidad – para el almacenamiento de datos en la nube y el monitoreo en tiempo real de los datos de consumo eléctricos de cualquier planta industrial.

1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de los criterios básicos que la IEC 61439-1 plantea como responsabilidad del fabricante del cuadro, se ha analizado que son puntos que deberían incluirse en el diseño de un cuadro primario de distribución, la metalmecánica es la que asegura el grado de protección y distancias de aislamiento, la distribución y protección involucran las protecciones contra descargas eléctricas e integridad de los circuitos de protección, instalación de dispositivos y componentes de maniobra así como los circuitos y conexiones eléctricas internas. La adaptación del ABB Ability se ha agregado como un paso de modernización hacia la Industria 4.0.

¿Son tomadas en cuenta la metalmecánica, distribución, protección y adaptación del ABB Ability en el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial, en 2018?

1.3.3 PREGUNTAS DEL PROBLEMA

A continuación se establecen las preguntas o interrogantes principales que serán respondidas a través del proceso de investigación. Las preguntas deben estar en sintonía y acordes con el problema planteado en el apartado anterior. Es por esto que se determina contestas las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuáles son los aspectos de la metalmecánica en el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial?
- 2) ¿Qué se toma en cuenta para el diseño de la distribución, en un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial?
- 3) ¿Qué se considera para la selección de protecciones, en un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial?
- 4) ¿Qué condiciones son relevantes para la adaptación del ABB Ability, en un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial?

1.4 OBJETIVOS

Los objetivos para esta investigación se presentan a continuación, divididos en un objetivo general que abarca el propósito principal de la investigación y objetivos específicos que puntualizan en los aspectos más importantes a detallar a lo largo de la investigación.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los aspectos de la metalmecánica, distribución, protección y adaptación del ABB Ability, que se toman en cuenta para el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial, en el 2018.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir del planteamiento de las preguntas de investigación podemos determinar con seguridad cuales son los objetivos específicos que debería alcanzar nuestra investigación, hay una relación directa entre cada pregunta hecha y el objetivo que se perseguirá, ya que la obtención de cada uno de estos serán las respuestas que la investigación necesita. Como objetivos específicos se tiene:

- 1) Determinar los aspectos de la metalmecánica en el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial.
- 2) Describir los aspectos tomados en cuenta para el diseño de la distribución en un cuadro primario en una planta.
- 3) Definir las protecciones que se seleccionan en el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta.
- 4) Conocer que determina la adaptación del ABB Ability para un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En la industria local es común encontrar que los diseños de los cuadros primarios de distribución eléctrica no contemplan las necesidades y características específicas de planta industrial para la cual esta desarrollados. Por medio de la investigación se profundizara en los requisitos de diseño metalmecánico, de distribución y de selección de protecciones eléctricas necesarias para el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica a la medida de las características de la planta industrial, que de igual manera permita la escalabilidad y crecimiento del sistema eléctrico. El diseño del cuadro primario de distribución eléctrica se desarrollara con el fin de adaptar una de las opciones de la industria 4.0, el ABB Ability. Esta solución nos permite conectar nuestro cuadro primario de distribución eléctrica a la red de internet industrial de la planta, lo que permite el acceso a datos de las características eléctricas en el consumo de la planta, como ser: tensión, intensidad, potencias, entre otros. Con la obtención en tiempo real de estos datos es posible conocer la calidad del consumo eléctrico en la planta y presenta la posibilidad de reconocer situaciones anómalas o inusuales.

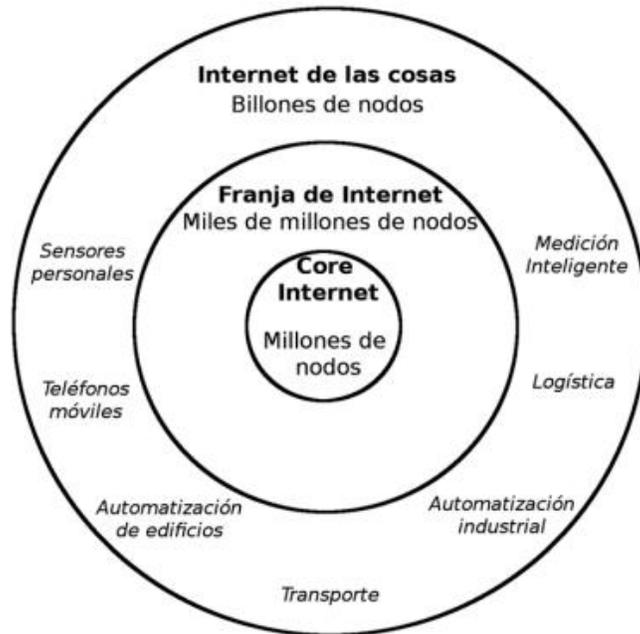


Figura 1. Visión del Internet de las Cosas (IoT)

Fuente: (Alejandro Cama, 2012)

Asegurando que en el diseño se cumplan las necesidades metalmeccánicas, las necesidades de distribución de carga y las necesidades de protección eléctrica; el cuadro primario de distribución será eficiente en su tarea de mantener energizada la planta industrial, sumando la obtención de datos de consumo eléctrico en tiempo real, hará que la planta industrial opere continuamente y sin atrasos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El capítulo dos corresponde al Marco Teórico de la investigación, este se compone de un análisis de situación actual desde el punto de vista del macro y micro entorno. Además ampliara en las teorías de sustento que se utilizaran como base para el proceso de investigación. Las teorías de sustento representan las bases para la investigación, nos ayudan a comprender las diferentes dimensiones que se le pueden dar a cada variable independiente, además de también explicar posibles indicadores para el desarrollo de las preguntas de investigación que se explican más detalladamente en el capítulo III.

2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Posterior a la definición del problema de investigación y el establecimiento de los objetivos planteados, se presentan a continuación las definiciones e ideas que permiten tratar la problemática en un contexto descriptivo de la situación actual y todos los factores alrededor que de alguna forma son de influencia para el mismo.

2.1.1 ANÁLISIS DE MACROENTORNO

Actualmente tenemos dos normas principales como guía para el diseño de cuadros primarios de distribución o tableros eléctricos de baja tensión, una es la International Electrotechnical Commission (IEC) IEC 61439-1,2 y la utilizada mayormente en Estados Unidos elaborada por Underwriter Laboratories (UL) UL 508A. Podríamos atrevernos a decir que la mayor parte del mundo utiliza como referencia principal las normativas IEC debido a la gran cantidad de países aportantes a la realización de las mismas, sin embargo en nuestra región no es ese el caso, países centroamericanos como Guatemala, Costa Rica y Panamá están más inclinados a utilizar las normas de los estadounidenses como UL, NEMA, el NEC, etc. Según el sitio web oficial de la IEC, en la actualidad cuentan con 62 miembros completos y 22 asociados, estos se refieren a países, por lo tanto son 84 los que actualmente están colaborando activamente al enriquecimiento y prueba de la aplicación de los estándares y normas IEC.

Millones de productos y sistemas eléctricos o electrónicos en hogares, oficinas, instituciones de salud, fábricas, espacios públicos, generación de energía, transporte y más dependen de las Normas

Internacionales de IEC y de los servicios de los Sistemas de EC (Evaluación de Conformidad) de IEC. IEC es la organización mundial líder que publica Normas Internacionales globalmente pertinentes para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y demás relacionadas, y respalda toda forma de evaluación de conformidad y administra Sistemas de EC de tercera parte. (Comisión Electrotécnica Internacional, 2016, p.4)

La IEC es una organización hermana de Organización Internacional de Estandarización conocida por sus siglas en inglés ISO, por lo tanto posee un enfoque mundial. En el sitio oficial de la UL se establece que actualmente hay oficinas en 39 países del globo.

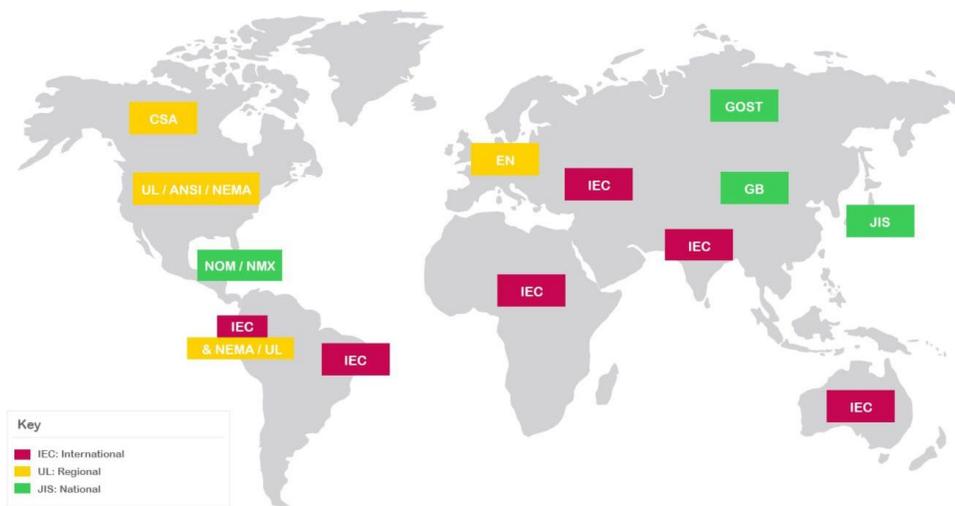


Figura 2. Influencia Global de Estándares

Fuente: (Schneider Electric, 2018)

En cuanto a temas de protección, la mayoría de los principales fabricantes de interruptores automáticos brinda información acerca de la coordinación de protecciones para poder asegurar la continuidad del servicio, en otras palabras selectividad. Tradicionalmente la obtención de datos de aparatos eléctricos se hace a través de protocolos de comunicación integrados en sistemas de automatización industrial, existen muchos pero por mencionar algunos están el PROFIBUS, Fieldbus Foundation, HART, Modbus RTU, AS-i, Ethernet Industrial, etc. Para poder trabajar con estos protocolos se necesita personal capacitado y especializado, hay que colocar muchos equipos

dependiendo de la topología y además cableado que recorra la planta buscando la información. También existen algunos dispositivos que pueden transmitir señales digitales o analógicas a través de comunicación inalámbrica, pero esto supone agregar más equipos e incrementar los costos. Cuando se presentan fallas generalmente se depende del personal que se capacito o de la empresa de ingeniería contratada para dicho servicio, lo que representa mucha dependencia y tiempo de parada. Un Sistema Eléctrico de Control Distribuido o EDCS como también se le conoce por sus siglas en el inglés, es una forma moderna de obtener datos a través de comunicación de los aparatos o equipos eléctricos. A través de la aplicación del Internet de las Cosas a estos equipos los podemos conectar a una nube, que es precisamente lo que busca hacer el sistema ABB Ability desarrollado por la empresa Sueca-Suiza ASEA Brown Boveri.

2.1.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

En Honduras existe un organismo gubernamental encargado de elaborar normas para el país, este es el Organismo Hondureño de Normalización (OHN) a través de este organismo podemos encontrar las diferentes normas ISO e IEC adaptadas por el OHN. Para el ámbito energético que es el que compete a la presente disertación, hay disponible temas de eficiencia energética y gestión de la energía, sin embargo no hay nada referente a las instalaciones eléctricas como tales, es decir los equipos y la forma en que se instalan. El OHN es miembro activo de la IEC y todas sus normas pueden ser adquiridas a través de su sitio web. El único ente americano al que el OHN pertenece es la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales. El OHN también pertenece a la ISO e incluso puede asesorar en algunos procesos de certificación a empresas u organizaciones nacionales.

La Ley General de la Industria Eléctrica se encarga de regular las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en el país, también trata temas relevantes a la importación y exportación de energía, además de la operación del sistema eléctrico nacional, incluyendo la relación con los países vecinos y el mercado Centroamericano. El reglamento de dicha ley fue elaborado por la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE) la cual fue fundada por el presidente de la república de Honduras Juan Orlando Hernández Alvarado en el año 2015, como menciona en el artículo de La Tribuna (2015):

“Hemos juramentado la comisión de energía eléctrica bajo el nuevo esquema y modelo que el país ha adoptado”, expresó el mandatario, al tiempo de recordar que cuando fue titular del Legislativo comenzó a impulsar la nueva ley del sector eléctrico, para poner a tono con lo que realmente le dará potencialidad al país. Hernández consideró que ese sector de la energía es estratégico para Honduras, para la región y para el mundo. Los comisionados tienen la gran responsabilidad de poder ser lo que dirigen el ente de todo este sector. “Hemos conversado con ellos desde hace algún tiempo y también el día de hoy, de cómo este sector es fundamental para el crecimiento económico de Honduras para reducir la inequidad en la medida que sea un país competitivo por el precio de energía”. (p.1)

Dentro del contexto de las actividades que la CREE vigilara bajo la ley antes mencionada, se encuentra detallado dentro de la misma que esta Comisión elaboraría una serie de normas técnicas que servirían para asegurar la calidad tecnológica, sin embargo aún no han sido elaboradas y dentro del portal web oficial de la Comisión no se encuentra ningún documento disponible. Estas normas podrían llegar a ser las que establezcan algunas condiciones específicas para las instalaciones de las empresas generadoras, transmisores y distribuidoras, aunque en teoría no toca a los usuarios finales, podría también afectar como ellos harán sus instalaciones de ahora en adelante. Con esto se concluye que en la actualidad no hay una normativa específica dentro de alguna especie de Código Eléctrico Nacional que limite las normas internacionales a aplicar dentro de las instalaciones de los usuarios finales, por lo tanto queda en libertad el diseñador de cada uno de estos sistemas para especificar ya sea una normativa europea como la IEC o norteamericana como la UL.

2.1.3 ANÁLISIS INTERNO

En la Ley General de la Industria Eléctrica se establece que la autoridad superior del subsector eléctrico será la secretaria designada por el estado, el 7 de Agosto del 2017 se publicó en el diario La Gaceta 34,410 el Acuerdo Ejecutivo PCM-048-2017 el cual comunica que ya no será la Secretaria de Recursos Naturales, Ambientes y Minas (Mi Ambiente) el organismo rector del sector eléctrico en el país, sino ahora la Secretaria de Energía (SEN). “Sera la encargada de proponer al Consejo Nacional de Energía la Estrategia Energética Nacional y las políticas relacionadas con el desarrollo integral del sector energético” (El Herald, 2017, p.1). Todos estos cambios en el marco de regulación del subsector eléctrico en Honduras demuestran que vamos en avance rumbo a la normalización de la energía eléctrica, sin embargo aún falta mucho para llegar a detalles como la especificación del diseño de las instalaciones de los usuarios finales como

plantas industriales. El crecimiento del sector Industrial específicamente manufacturero ha sido grande en Honduras, y en cada una de estas instalaciones es necesario adecuar todos los equipos eléctricos que permitirán la segura distribución de energía eléctrica a través de sus instalaciones. Una forma de saber cómo los sectores económicos se comportan en el país y de alguna forma analizar la tendencia de crecimiento o decrecimiento es a través del Producto Interno Bruto (PIB) del país, estos datos son liberados por el Banco Central de Honduras en este caso. El PIB es una aproximación al valor monetario de la producción de una nación, y con este se estima el desempeño de una nación.

La economía hondureña medida a través del PIB por actividad económica desde 2010-2015 según sus pesos relativos, es posible observar que en 2010 el aporte del sector agropecuario es de un 13% siendo esta la tercera actividad de importancia, después de la industria de manufacturas con un 20% y la intermediación financiera con un aporte de 14%. En 2015 persiste esta tendencia de declive del sector agropecuario, las ramas de mayor aporte al crecimiento del producto son Industrias manufactureras, intermediación financiera y en menor medida el sector agropecuario. (Barahona, 2016, p.9)

Tabla 1. Porcentajes de aporte al PIB en Honduras por actividad económica 2010 - 2015

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca | 13% | 13% | 14% | 14% | 14% | 14% |
| Explotación de Minas y Canteras | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Industrias Manufactureras | 20% | 20% | 19% | 20% | 19% | 19% |
| Electricidad y Distribución de Agua | 3% | 3% | 3% | 2% | 2% | 2% |
| Construcción | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% |
| Comercio | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% |
| Hoteles y Restaurantes | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% |
| Transporte, Almacenamiento | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Comunicaciones | 9% | 9% | 10% | 10% | 10% | 10% |
| Intermediación Financiera | 14% | 15% | 15% | 15% | 16% | 17% |
| Propiedad de Vivienda | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Actividades Inmobiliarias y Empresariales | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Administración pública y defensa | 6% | 6% | 5% | 6% | 5% | 5% |
| Servicios de Enseñanza | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Servicios Sociales y de Salud | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% | 3% |
| Servicios Comunitarios, Sociales y Personales | 3% | 3% | 2% | 2% | 2% | 2% |
| Menos: Servicios de Intermediación Financiera Medidos Indirectamente | 11% | 12% | 13% | 13% | 13% | 14% |
| Producto Interno Bruto a precios de mercado | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

Fuente: (Barahona, 2016)

Se observa en la Tabla 1 que el sector económico que más apporto del 2010 al 2015 es la Industria Manufacturera, y además se puede hacer notar que ha mantenido una constancia durante esos 6 años analizados. Otros sectores como la Agricultura y demás pueden en algunos casos requerir de instalaciones industriales grandes, al igual que la Electricidad y Distribución de Agua, Construcción, Comercio, Hoteles y Restaurantes, Comunicaciones, etc. Todo esto denota la importancia del correcto diseño de las instalaciones eléctricas para la industria, ya que el tener una mayor continuidad y calidad del servicio eléctrico repercute directamente en la capacidad de manufactura u otra actividad según el rubro de la planta industrial analizada.

2.2 TEORÍAS DE SUSTENTO

A continuación se plantean las teorías sobre las cuales se basara la investigación, para la selección de la metalmecánica se tomara como base la norma europea IEC 61439-1, para el diseño de la distribución y selección de interruptores se plantea en base a las leyes de Kirchhoff y análisis de potencia en circuitos de Corriente Alterna (C.A). Finalmente la adaptación del ABB Ability se basará en conceptos básicos de redes de comunicación. Las teorías de sustento son aspectos claves para el conocimiento general durante la investigación, son estas las que contribuyen al contexto que se necesita establecer antes de pasar a la metodología de la misma. A través de los diferentes aspectos que cada una de las teorías aporta, se comienza a comprender cada una de las dimensiones que contiene cada variable independiente, así mismo encontraremos que hay uno o varios indicadores dentro de dichas dimensiones, y esto nos permite plantear preguntas específicas que llevara a la práctica la investigación que se está realizando. Estas teorías se alimentan durante todo el proceso de investigación, ya que en algunas partes se encuentra que no hay sustento suficiente para lo que se pretende plantear, lo que nos indica flexibilidad y lo integral que son los sustentos a lo largo de la duración de la investigación.

2.2.1 IEC 61439-1

La norma europea IEC 61439-1 pertenece al grupo de las IEC 61439, este específicamente trata sobre reglas generales para cuadros de distribución y maniobra en baja tensión, la baja tensión es toda aquella debajo de 1000 voltios. La norma establece el concepto de cuadro “conforme”, y este es aquel que cumpla con las verificaciones de diseño que la norma impone. Según la norma

hay tres tipos de verificación: La verificación mediante pruebas en un laboratorio, la que se hace mediante cálculos, y la que se hace verificando el cumplimiento de normas de diseño. Las múltiples características como aislamiento, sobre temperatura o corrosión, se garantizan mediante cualquiera de los métodos de verificación que se mencionaron anteriormente. La norma establece la siguiente tabla como guía de indicación para saber cuál de los tres tipos de verificación se usa para cada característica, esta tabla es de guía específicamente para el fabricante “original” que será explicado adelante en una forma más amplia.

Tabla 2. Tipos de verificación por característica según IEC 61439-1

| N. | Características a verificar | Apartados o subapartados | Opciones de verificación disponibles | | |
|----|--|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| | | | Verificación mediante pruebas | Verificación mediante cálculo | Verificación mediante cumplimiento de las normas de diseño |
| 1 | Resistencia de los materiales y partes del cuadro | 10.2 | Si | No | No |
| | Resistencia a la corrosión | 10.2.2 | Si | No | No |
| | Propiedades de los materiales aislantes: | 10.2.3 | Si | No | No |
| | Estabilidad térmica | 10.2.3.1 | Si | No | No |
| | Resistencia de los materiales aislantes al calor normal | 10.2.3.2 | Si | No | No |
| | Resistencia de los materiales aislantes al calor anormal y al fuego causados por efectos eléctricos internos | 10.2.3.3 | Si | No | No |
| | Resistencia a la radiación ultravioleta (UV) | 10.2.4 | Si | No | No |
| | Elevación | 10.2.4 | Si | No | No |
| 2 | Impacto mecánico | 10.2.6 | Si | No | No |
| | Marcado | 10.2.7 | Si | No | No |
| 2 | Grado de protección de las envolventes | 10.3 | Si | No | Si |
| 3 | Distancias de aislamiento en aire y superficialmente | 10.4 | Si | Si | Si |
| 4 | Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección: | 10.5 | | | |
| | Continuidad efectiva entre las partes conductoras expuestas del cuadro y el circuito de protección | 10.5.2 | Si | No | No |
| | Efectividad del cuadro con fallos externos | 10.5.3 | Si | Si | Si |
| 5 | Instalación de los aparatos y los componentes de maniobra | 10.6 | No | No | Si |
| 6 | Circuitos y conexiones eléctricas internas | 10.7 | No | No | Si |
| 7 | Terminales para conductores externos | 10.8 | No | No | Si |
| 8 | Propiedades dieléctricas: | 10.9 | | | |
| | Rigidez dieléctrica a frecuencia industrial | 10.9.2 | Si | No | No |
| | Tensión soportada a impulsos | 10.9.3 | Si | No | Si |
| 9 | Límites de sobre temperatura | 10.10 | Si | Si | Si |

Continuación de tabla 2

| N. | Características a verificar | Apartados o subapartados | Opciones de verificación disponibles | N. | Características a verificar |
|----|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----|-----------------------------|
| 10 | Resistencia a cortocircuitos | 10.11 | Si | Si | Si |
| 11 | Compatibilidad electromagnética (EMC) | 10.12 | Si | No | Si |
| 12 | Funcionamiento mecánico | 10.13 | Si | No | No |

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

Según la norma hay dos fabricantes para el cuadro, uno es el “original” y el otro es del “cuadro”. Esto significa que la marca que fabrico las piezas para armar el gabinete eléctrico es el original, y el integrador que arma la solución y la vende al usuario final es el del cuadro. El fabricante del cuadro es responsable de seleccionar e instalar adecuadamente siguiendo las instrucciones del fabricante todos los componentes, la ejecución de la verificación particular de cada cuadro fabricado y la certificación del cuadro. Para la investigación el enfoque que se tiene se tiene es desde el punto de vista del que va a armar el cuadro, por lo tanto las verificaciones que la norma indica para este último son las siguientes, según Asea Brown Boveri (2011):

Características relativas a la construcción: Grados de protección IP de la envolvente, distancias de aislamiento (en aire y superficialmente), protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección, instalación de dispositivos y componentes de maniobra, circuitos y conexiones eléctricas internas, terminales para conductores externos, funcionamiento mecánico. Características relativas al rendimiento: Propiedades dieléctricas, cableado y rendimiento en servicio. Estas verificaciones pueden llevarse a cabo en cualquier orden. El hecho de que las verificaciones particulares sean llevadas a cabo por el fabricante del “cuadro” no exime al instalador de verificarlos después del transporte e instalación del cuadro. (p.7)

2.2.1.1 CONDICIONES DE INSTALACIÓN

La norma distingue entre dos tipos de cuadro, los abiertos y los cerrados. Los abiertos puede que tengan o no una tapa frontal, pero sus partes con tensión son accesibles, estos se deben colocar en lugares con acceso solo a personal calificado. Los cerrados tienen tapaderas en todos los laterales, incluyendo la tapa frontal, y posee un grado de protección interna con el fin de proteger el contacto directo, estos pueden ser colocados en áreas comunes. En cuanto al diseño externo se clasifican en tipo armario (columna), pupitre, caja o multicaja. También existe una clasificación

funcional, en el caso de esta investigación el que se está estudiando es el cuadro primario de distribución, el cual generalmente se halla en el lado de la carga de transformadores Media Tensión/Baja Tensión o de generadores. Las otras clasificaciones son cuadros de distribución secundaria, cuadros de control de motores, cuadros de control, protección y medición, cuadros integrados a la máquina y cuadros para obras. Un cuadro puede instalarse en interior o exterior, las condiciones ambientales son dictadas por la norma como se indica a continuación:

Tabla 3. Condiciones ambientales para instalación en interior

| Humedad relativa | Temperatura ambiente del aire | Altitud |
|--|--|--------------------|
| 50% (a una temperatura máxima de 40°C) 90% (a una temperatura máxima de 20°C) | Temperatura máxima $\leq 40^{\circ}\text{C}$ | 2000 m como máximo |
| | Media de temperatura máxima durante un periodo de 24 h $\leq 35^{\circ}\text{C}$ | |
| | Temperatura mínima $\geq -5^{\circ}\text{C}$ | |

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

Las condiciones ambientales deberán ser tomadas en cuenta en la instalación de un cuadro primario de distribución, son importantes ya que si no son estudiadas esto puede tener repercusiones muy dañinas en la estructura que envuelve los circuitos eléctricos y en los mismos circuitos, disminuyen en gran manera la vida útil del mismo, a la vez puede provocar oxidaciones, puntos de recalentamiento, condensaciones dentro del gabinete, etc. Y todas estas repercusiones llevar a cortos circuitos, sobrecargas u otras consecuencias eléctricas dañinas, lo cual no solo puede dañar al gabinete sino lo peor, a las personas.

Tabla 4. Condiciones ambientales para instalación en exterior

| Humedad relativa | Temperatura ambiente del aire | Altitud |
|---|--|--------------------|
| 100% temporalmente (a una temperatura máxima de 25°C) | Temperatura máxima $\leq 40^{\circ}\text{C}$ | 2000 m como máximo |
| | Media de temperatura máxima durante un periodo de 24 h $\leq 35^{\circ}\text{C}$ | |
| | Temperatura mínima $\geq -25^{\circ}\text{C}$ en clima templado | |
| | Temperatura mínima $\geq -50^{\circ}\text{C}$ en clima ártico | |

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

Generalmente los gabinetes que serán colocados en exterior tienen exigencias mayores por la misma naturaleza de su ubicación. Casi siempre se solicitan grados de protección bastantes altos

como IP65, 66 o 67, esto depende de la magnitud de exposición. Ejemplos comunes de gabinetes puestos en exterior son controles y protecciones remotas como en pozos, generación solar, puertos marítimos, iluminación, semáforos, etc. En algunas ocasiones una simple colocación de sombra con techos de lámina o bajo los mismos paneles solares, puede significar de gran ayuda al gabinete.

2.2.1.2 GRADO DE PROTECCIÓN IP DEL CUADRO

El código IP se refiere a la protección contra la entrada de objetos solidos extraños y también contra la entrada de agua. Hay diferentes grados de protección, todo esto es en conformidad a los requisitos de la norma IEC 60529. La elección del grado de protección de la metalmecánica se hace en base a las condiciones de instalación, si es interior no hay que ser tan rígidos pero si es para exterior totalmente expuesto a la intemperie habrá que tomar muy en cuenta que no ingrese polvo o lluvia por ejemplo.



Figura 3. Nomenclatura del Grado de Protección Internacional

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

En la siguiente tabla se mostrara a detalle el significado de cada una de las cifras que componen el grado de Protección Internacional.

Tabla 5. Cifras que conforman el grado de protección IP

| | Protección del equipo | Contra el acceso a piezas peligrosas con |
|---|---|---|
| Primera cifra Característica (entrada de cuerpos solidos extraños) | 0 | No protegido |
| | 1 > 50 mm de diámetro | Dorso de la mano |
| | 2 > 12.5 mm de diámetro | Dedo |
| | 3 > 2.5 mm de diámetro | Herramienta |
| | 4 >1 mm de diámetro | Cable |
| | 5 protegido contra el polvo | Cable |
| | 6 totalmente protegido contra el polvo | cable |
| Segunda cifra Característica (entrada de agua) | 0 no protegido | |
| | 1 caída vertical | |
| | 2 caída de gotas de agua (inclinación 15°) | |
| | 3 lluvia | |
| | 4 salpicaduras de agua | |
| | 5 chorro de agua | |
| | 6 chorros potentes (similar a olas marinas) | |
| 7 inmersión continua | | |
| Letra adicional (opcional) | A | Dorso de la mano |
| | B | Dedo |
| | C | Herramienta |
| | D | Cable |
| Letra suplementaria (opcional) | H equipos de alta tensión | |
| | M prueba con agua en equipos en marcha | |
| | S prueba con agua en equipos estacionarios | |
| | W condiciones atmosféricas | |

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

El entorno de instalación y el grado de protección del cuadro no están normados de forma relacionada, a excepción de los entornos especiales que posean riesgo de explosión, pero a través de diferentes lecturas, experiencia, recomendaciones podemos determinar a manera de guía sugerida los grados de protección para diferentes segmentos de la industria. Para los grados IP 31-41 se podría asociar industrias como ferreterías (fabricación), papel (almacenamiento), gas (fabrica y almacenamiento), tintas (fabricación), licores (fabricación), jabones (fabricación), ropa (deposito), imprentas, etc. Para el grado IP 43 están las bebidas alcohólicas (almacenamiento), papel (fabricación), cartón (fabricación), cloro (fabricación y almacenamiento), pinturas (fabricación y almacenamiento), lavanderías, etc. Para el grado de protección IP 65 encontramos lavanderías, madera (ebanistería), materiales plásticos (fabricación), mataderos, fábrica de pólvora, sustancias químicas (fabricación), residuos (tratamiento), aserraderos, silos de grano o azúcar, tejidos (fabricación), fábricas de teñido, refinerías de azúcar, cereales (fabrica y almacenamiento), grasas (tratamiento de cuerpos grasos), hidrocarburos (extracción), etc.

Es importante recalcar que hay una relación entre la sobre temperatura y el grado de protección IP, cuando se cuenta con grados de protección altos, menor será la capacidad del cuadro para disipar calor, lo que influye directamente en las capacidades eléctricas del equipo. Habrán situaciones donde lo más recomendado es construir un cuarto eléctrico e introducir el cuadro en esta área climatizada de forma que se puede elegir un grado de protección más bajo y a la vez garantizar las condiciones ambientales adecuadas. Hay que estar conscientes también que hay algunas partes móviles disponibles para las instalaciones de cuadros eléctricos, un ejemplo es los interruptores automáticos de potencia extraíbles, hay que conocer el grado de protección IP de estas partes para saber a qué exponemos al cuadro cuando extraemos estos equipos y además hay que tener cuidado de mantener el grado de protección original tras la extracción de una parte fija mediante una herramienta.

2.2.1.3 GRADO DE PROTECCIÓN IK

Este grado indica la protección contra impactos mecánicos que puedan provocar daños a la envolvente o meta mecánica, para verificar el mismo se hacen pruebas normalizadas. El grado de protección IK tiene conformidad con la norma IEC 62262 de 2002. De manera generalizada cuando se especifica se hace para todo el cuadro, si alguna parte tiene un grado de protección diferente entonces se especifica por separado, un ejemplo puede ser cuando una columna metálica tiene puerta de vidrio templado.

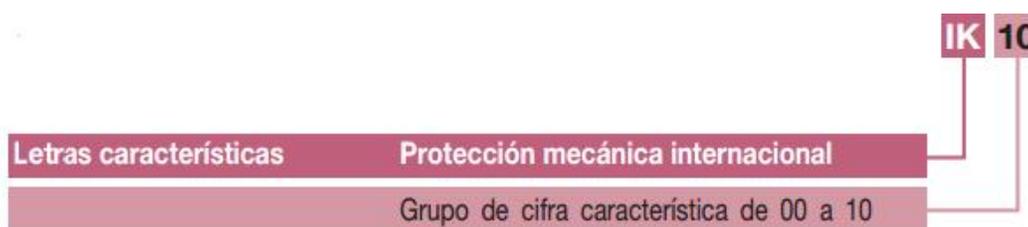


Figura 4. Nomenclatura del grado de protección IK

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

El grado de protección IK es provisto en las especificaciones estándar que los fabricantes detallan en las fichas técnicas o en catálogos de productos como gabinetes de automatización o

distribución, una vez que un cuadro ha recibido un golpe es importante denotar que probablemente se ha visto comprometido no solo el grado de protección IK si no también el IP.

Tabla 6. Relación entre grado IK y su energía de impacto

| Código IK | IK 00 | IK 01 | IK 02 | IK 03 | IK 04 | IK 05 | IK 06 | IK 07 | IK 08 | IK 09 | IK 10 |
|--------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Energía de impacto (en joule) | No protegido | 0.14 | 0.2 | 0.35 | 0.5 | 0.7 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 |

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

En la tabla 6 se observa la relación que existe entre el grado IK y la energía que soporta en cada grado, el nivel más bajo es el IK 00, este significa que no tiene ninguna protección a impactos, luego va aumentando de uno en uno, a partir del IK 01 hasta llegar al IK 10. Un nivel IK 01 puede soportar una energía de 0.14 joules, en cambio un IK 10 puede llegar a soportar 20 joules en un impacto.

2.2.1.4 FORMAS DE SEGREGACIÓN

La segregación se refiere a la manera en que se harán las separaciones internas del cuadro, esta se puede hacer con materiales metálicos o aislantes, lo que se refiere a barreras o tabiques. El propósito es poder garantizar una protección contra los contactos directos como lo menciona Asea Brown Boveri (2011):

Garantizar la protección contra los contactos directos (al menos IP XXB), en caso de acceso a una parte del cuadro sin tensión, respecto al resto del cuadro en tensión; reducir la probabilidad de formación y propagación de un arco interno; impedir el paso de cuerpos solidos de una parte a otra del cuadro (grado de protección mínimo IP 2X). Un tabique es un elemento de separación entre dos celdas, mientras que la barrera protege al operador de los contactos directos y de los efectos del arco de los aparatos de interrupción en la dirección habitual de acceso. (p.18)

Existen cuatro formas de segregación y cada una de ellas posee dos variaciones que se nombran con la letra “a” o “b”. La forma uno es sin ningún tipo de segregación interna. La forma dos es la segregación del embarrado de distribución de las unidades funcionales, la 2A no separa las terminales del embarrado, y la 2b si las separa. La forma tres segrega al embarrado de las

unidades funcionales y además separa cada una de las unidades funcionales, la 3A no separa las terminales del embarrado y la 3b si lo hace.

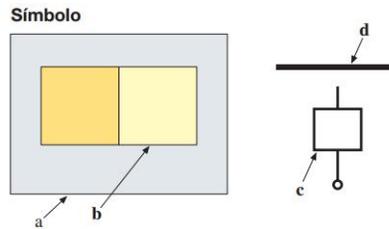


Figura 5. Simbología de segregación

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

Para la figura 5, anteriormente presentada, la “a” representa el envolvente o metal mecánica, la “b” la segregación interna, la “c” son las unidades funcionales que alojan los terminales para los conductores externos asociados y la “d” representa el embarrado, incluido el embarrado de distribución.

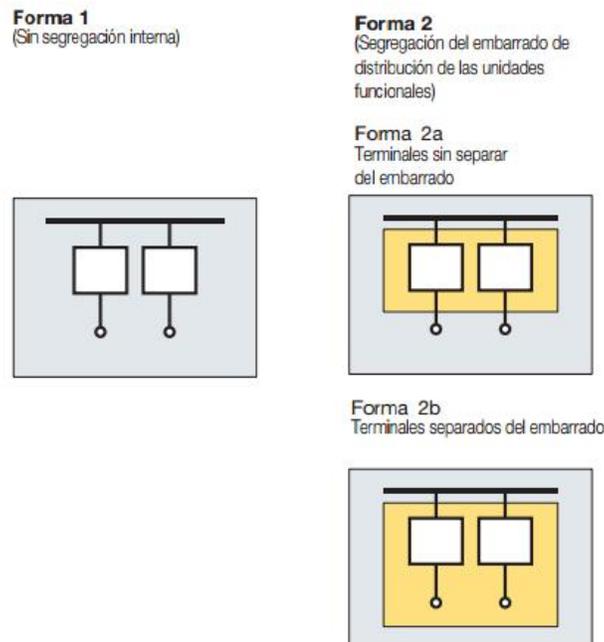


Figura 6. Formas 1 y 2 de segregación interna

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

En la figura 6 se encuentran ilustradas las formas 1 y 2 de segregación, para las segregaciones de forma 1 todos los elementos se encuentran juntos, sin ningún tipo de separación. En la forma 2a se observa que los equipos o aparata se encuentran en un mismo espacio (en amarillo) y las terminales de entrega que van al embarraje o las terminales de salida que generalmente se conectan a cables están en otro compartimento. En la forma 2b la única diferencia con la 2a es que las terminales de salida ahora se encuentran dentro del mismo espacio que los equipos.

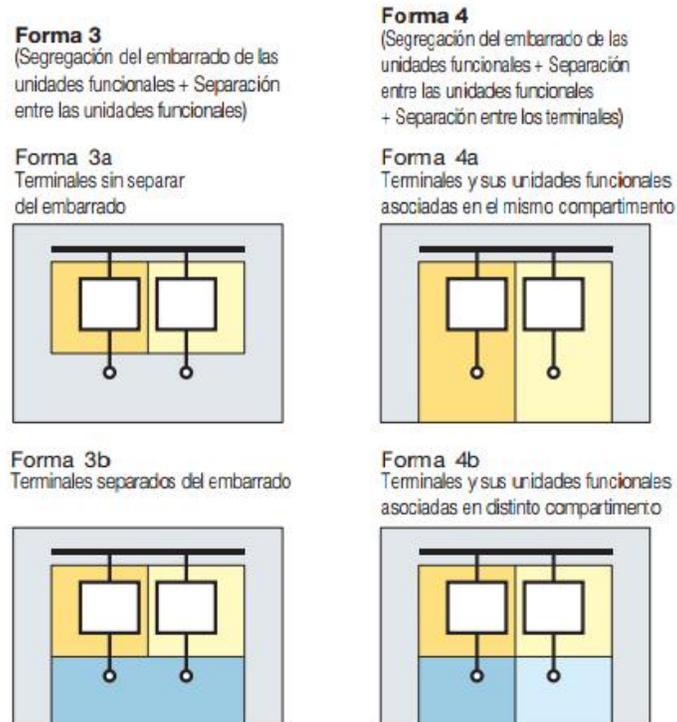


Figura 7. Formas 3 y 4 de segregación interna

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A., 2011)

En la figura 7 se encuentran las formas de segregación 3 y 4, específicamente en la 3, se observa que los equipos que antes compartían espacio ahora están separados entre ellos y contamos con dos variantes parecidas a las de las formas 2, es decir que las terminales de salida se encuentran en el mismo espacio que las terminales de entrada que van al embarraje o que se encuentren en el mismo espacio que el equipo al que pertenecen. Sin embargo en las formas b podemos observar como las terminales de salida también son separadas a un especial completamente diferente (en

azul), en la forma 4b que es la más exigente están incluso separadas por equipo, entre ellas. Las formas 4 se caracterizan por segregar el embarrado de los interruptores, además de las unidades funcionales o interruptores entre sí.

2.2.2 LEYES DE KIRCHHOFF

El profesor universitario alemán Gustav Robert Kirchhoff creó dos leyes eléctricas, la Ley de Corrientes de Kirchhoff y la Ley de Voltaje de Kirchhoff. Las leyes se basan en conceptos básicos como el nodo, que es un punto en el cual dos o más elementos tienen una conexión común. Cuando se recorre varios nodos y elementos, sin repetir nodos, a ese conjunto se le llama trayectoria. Si recorremos una trayectoria y al final regresamos al mismo nodo del inicio, entonces estamos en un lazo o trayectoria cerrada. También existen las ramas, que son trayectorias únicas en una red, es un elemento simple con un nodo en cada extremo del elemento. En conclusión, una trayectoria es un grupo particular de ramas.

Las leyes (o Lemas) de Kirchhoff fueron formuladas por Gustav Kirchhoff en 1845, mientras aún era estudiante. Son muy utilizadas en ingeniería eléctrica para obtener los valores de la corriente y el potencial en cada punto de un circuito eléctrico. Surgen de la aplicación de la ley de conservación de la energía. (Electronica Completa, 2009, p.1)

2.2.2.1 LEY DE CORRIENTES DE KIRCHHOFF

Hayt, Kemmerly, & Durbin (2012) afirman: “La suma algebraica de las corrientes que entran a cualquier nodo es cero” (p.40). Matemáticamente el enunciado indica que en el nodo no hay ningún tipo de almacenaje de energía. Por lo tanto, un nodo no es un elemento de un circuito.

2.2.2.2 LEY DE VOLTAJE DE KIRCHHOFF

Hayt, Kemmerly, & Durbin (2012) afirman: “La suma algebraica de las tensiones alrededor de cualquier trayectoria cerrada es cero” (p.43). Esto significa que en una trayectoria cerrada, la suma matemática de cada uno de los voltajes en los elementos, el resultado debe ser nulo o cero.

2.2.3 CÁLCULO DE INTENSIDADES EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN

El cuadro primario de distribución es aquel que generalmente se encuentra en el lado de baja tensión de un transformador de media tensión a baja tensión. El voltaje del sistema en baja tensión ya está definido por el mismo transformador y generalmente en Honduras a niveles industriales lo que se encuentra en 480 V AC. Es importante entender el concepto de potencia aparente “S”, ABB SACE (2007) afirma:

En una instalación eléctrica es necesario generar y transportar, además de la potencia activa útil P, también una determinada potencia reactiva Q, indispensable para la conversión de la energía eléctrica pero que no puede ser aprovechada por las cargas. La componente de la potencia generada y transportada constituye la potencia aparente S. (p.504)

La intensidad secundaria en un transformador trifásico se calcula mediante la siguiente ecuación 1:

$$1) I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_s}$$

Donde:

S = potencia del transformador (kVA)

U_s = tensión en el devanado secundario del transformador (kV)

I_s = corriente en el devanado secundario del transformador (A)

También, existe otro valor importante a calcular en el lado de baja tensión del transformador y esto es la intensidad o corriente de corto circuito disponible. Según ABB SACE (2007) un cortocircuito se define como: “Conexión accidental o intencional, de dos o más puntos de un circuito que normalmente están a distinto potencial, mediante una resistencia o impedancia de valor relativamente bajo” (p.29). Generalmente para este cálculo se considera la red de la planta o sitio de potencia infinita, y por lo tanto se utiliza la siguiente ecuación 2:

$$2) I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_s \times E_{cc}}$$

Donde:

S = potencia del transformador (kVA)

E_{cc} = tensión de corto circuito del transformador (%)

U_s = tensión en el devanado secundario del transformador (V)

I_{ccs} = corriente de corto circuito (kA)

2.2.4 COORDINACIÓN DE INTERRUPTORES

Cuando se produce un corto circuito en una instalación eléctrica se ha previsto que un interruptor automático será el encargado de abrir el circuito para que la falla sea detenida, es común no solamente tener un interruptor sino varios en una instalación, es por esto que se ha buscado poder coordinar las protecciones de forma que el servicio tenga la mayor continuidad posible, es decir que en lugar de interrumpir la energía en todo el recinto o planta, solamente se vea abierto el ramal donde se ha producido dicha falla. Existen dos conceptos principales en el tema de coordinación de protecciones, el primero es el acompañamiento o respaldo, el cual consiste básicamente en poder juntar o sumar las dos capacidades de dos interruptores colocados en cascada, explicado de otra forma consiste en que un interruptor aguas abajo sea complementado o acompañado por otro interruptor aguas arriba. “Consiste en instalar un interruptor aguas arriba D1 para ayudar a un interruptor instalado aguas abajo D2 a cortar las intensidades de cortocircuito superiores a su poder de corte último I_{cuD2} . Este valor se marca como $I_{cuD2+D1}$ ” (SAER de Venezuela C.A., 2012, p.3) Esto se grafica a continuación en la Figura 8.

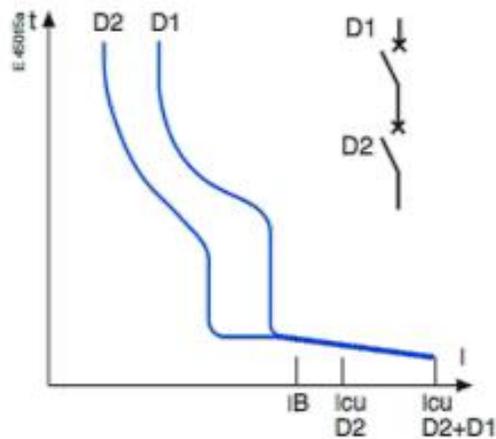


Figura 8. Curva de acompañamiento en coordinación de protecciones

Fuente: (SAER de Venezuela C.A., 2012)

El segundo es la selectividad, la cual busca a través de la conexión en serie que en caso de una falla aguas abajo, solamente el interruptor que está más cercano al defecto sea abierto, esto es precisamente buscar máxima continuidad del servicio. SAER de Venezuela C.A. (2012) afirma:

La IEC 60947-2 define un valor de intensidad I_s cuyo nombre es límite de selectividad, tal que: Si la intensidad de defecto es inferior a este valor I_s , sólo el interruptor D2 abre; Si la intensidad de defecto es superior a este valor I_s , los interruptores D1 y D2 abren. Como para la filiación, la selectividad debe ser verificada por ensayos en los puntos críticos. La selectividad y la filiación sólo pueden ser garantizadas por el fabricante que recoja sus ensayos en tablas. (p.3)

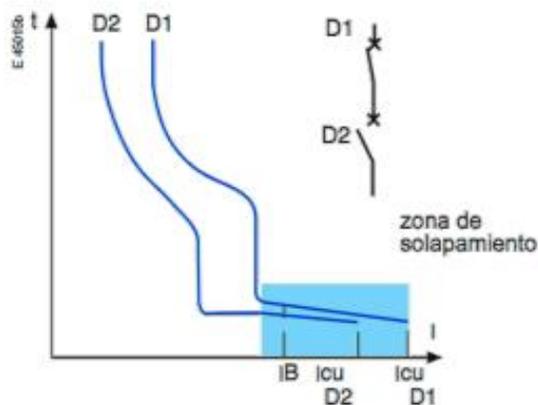


Figura 9. Curva de selectividad en coordinación de protecciones

Fuente: (SAER de Venezuela C.A., 2012)

En la figura 9 se muestra lo que se describe como selectividad, se puede ver que en el caso de un disparo en el ramal protegido más cercano a D2, solo este será el que se dispare, existe una zona de solapamiento donde D1 es mayor en la capacidad de corriente de corto circuito I_{cu} , y también tiene un tiempo más largo de respuesta, por lo tanto solo abriría si la intensidad I_s es superada (que mayor a las capacidades de D1 y D2), tal y como se menciona en la cita anterior. El objetivo principal de esto es mantener el mayor tiempo posible una continuidad en el servicio, por ejemplo, si D2 estuviera protegiendo un piso de un edificio, en caso de que se produjera una falla cercana a D2, solo este abriría, dejando sin energía solo el piso mencionado, y no D1 que probablemente este alimentando todo el edificio, con esto se evitan interrupciones innecesarias y además contribuye a la detección de fallas con mayor rapidez.

2.2.5 INDUSTRIA 4.0

Nos encontramos ante la cuarta revolución industrial, y es que la humanidad ha pasado por esto muchas veces a lo largo de la historia, la Industria 1.0 fue la que trajo el uso del vapor como fuente de energía y esto impulso la producción masiva de bienes y llevo las fabricas a otros lugares alejados de las viviendas. La Industria 2.0 fue la introducción de la electricidad y trajo beneficios como los procesos de producción en cadena y aumento la disponibilidad de las plantas llevándolas a ser de 24 horas diarias. La Industria 3.0 es la denominada “Tecnología” y trajo consigo conceptos aplicados como la automatización, eficiencia, máxima productividad y disponibilidad, fue la implementación de la electrónica haciendo dispositivos mucho más compactos y rápidos. Hoy en día nos encontramos en la Industria 4.0. Prodware (2018) afirma:

...la industria 4.0 se refiere a la unificación de la interconectividad, el big data y la tecnología de los sensores para crear las llamadas “fábricas inteligentes”. En ellas, el tiempo de inactividad de las máquinas se ha reducido enormemente e incluso eliminado y la automatización se ha intensificado hasta un nivel completamente nuevo. Si necesita un término que abarque estos últimos desarrollos, entonces “digitalización” es seguramente uno bueno. (p.4)



Figura 10. Las revoluciones industriales

Fuente: (Prodware, 2018)

Una particularidad de la Industria 4.0 es que no ha sido de golpe, en otras palabras no es algo que se consigue de una vez, es en realidad una evolución más que una revolución. Hay muchos desafíos tecnológicos que vencer antes de poder alcanzar la plenitud de la Industria 4.0, los principios que se deberían alcanzar son:

- 1) Interoperabilidad: Poder comunicar las máquinas y los computadores de forma fácil y sencilla.
- 2) Virtualización: Llevar al mundo virtual representaciones de los procesos de producción, quizás hasta la planta completa.
- 3) Descentralización: Esto implica poder tomar decisiones de forma propia, sin necesidad de esperar la autorización de algo externo, hacer inteligentes los procesos o maquinarias.
- 4) Modularidad: Es tener mayor flexibilidad en la planta o maquinarias, en lugar de tener un sistema grande complejo, utilizar módulos relativamente pequeños y fáciles de personalizar.

2.2.5.1 MODBUS RTU

LogicBus (2018) afirma: “Modbus permite controlar dispositivos en red... puede comunicar resultados a una PC. Modbus también conecta un PC de supervisión con una unidad remota (RTU)

en sistemas de supervisión de adquisición de datos (SCADA). Existen versiones para puerto serial y Ethernet” (p.1). Se basa en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, fue diseñado por la empresa Modicon en la década de los 70s, por su facilidad de uso y el ser público, se ha convertido en un estándar de las comunicaciones industriales. Muchos aseguran que el protocolo más disponible para conectar equipos industriales. Algunos de sus beneficios es que el código es abierto y no hay que pagar ninguna licencia, su desarrollo implica costos bajos, tiene una amplia gama de HMIs y sistemas SCADA que lo soportan, es de fácil integración. LogicBus (2018) afirma: “Debido a que este protocolo fue público, de fácil uso y que requiere poco desarrollo (maneja bloques de datos sin suponer restricciones) se convirtió en un protocolo de comunicaciones estándar en la industria” (p.1).

2.2.5.2 ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES

Una entrada o salida digital en el mundo eléctrico es la representación de un valor discreto mediante señales eléctricas definidas. Por ejemplo, un interruptor o “switch” de una lámpara va a tener solamente dos estados posibles, encendido o apagado, cuando está encendido lo que sucede es que sus contactos se cierran y envían la alimentación de energía a un bombillo, provocando que dicho bombillo se encienda, esto se podría traducir como un “1”, lo que representa encendido. La contraparte es que cuando el interruptor se abre entonces el bombillo pierde la alimentación eléctrica y se apaga, esto puede ser representado como “0”. Un valor común en las entradas y salidas digitales es 0-5 Voltios de Corriente Directa. Aprendiendo Arduino (2018) afirma:

Los sistemas digitales, como por ejemplo un microcontrolador, usan la lógica de dos estados representados por dos niveles de tensión eléctrica, uno alto, H y otro bajo, L (de High y Low, respectivamente, en inglés). Por abstracción, dichos estados se sustituyen por ceros y unos, lo que facilita la aplicación de la lógica y la aritmética binaria. Si el nivel alto se representa por 1 y el bajo por 0, se habla de lógica positiva y en caso contrario de lógica negativa. Su tensión de alimentación característica se halla comprendida entre los 4,75V y los 5,25V. Normalmente se trabaja con 5V. Los niveles lógicos vienen definidos por el rango de tensión comprendida entre 0,0V y 0,8V para el estado L (bajo) y los 2,4V y DC para el estado H (alto). (p.1)

2.3 MARCO CONCEPTUAL

(Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010) Afirman: “marco conceptual o ideología es más importante para orientar la investigación que el propio método,

debido a que determina la dirección a la cual debe enfocarse el investigador o investigadora al explorar el problema de interés” (p.569). En la comprobación de la hipótesis encontraremos variables que afectan directa o indirectamente el cumplimiento de la misma, la investigación presente tiene como objetivo principal determinar cómo se diseña la metalmecánica, distribución, protección y adaptación del ABB Ability en un cuadro primario de distribución eléctrica, es por ello que determinamos como la variable dependiente al cuadro primario de distribución, la cual se ve afectada por las variables independientes identificadas como:

- 1) Metalmecánica
- 2) Distribución
- 3) Protección
- 4) Adaptación de ABB Ability

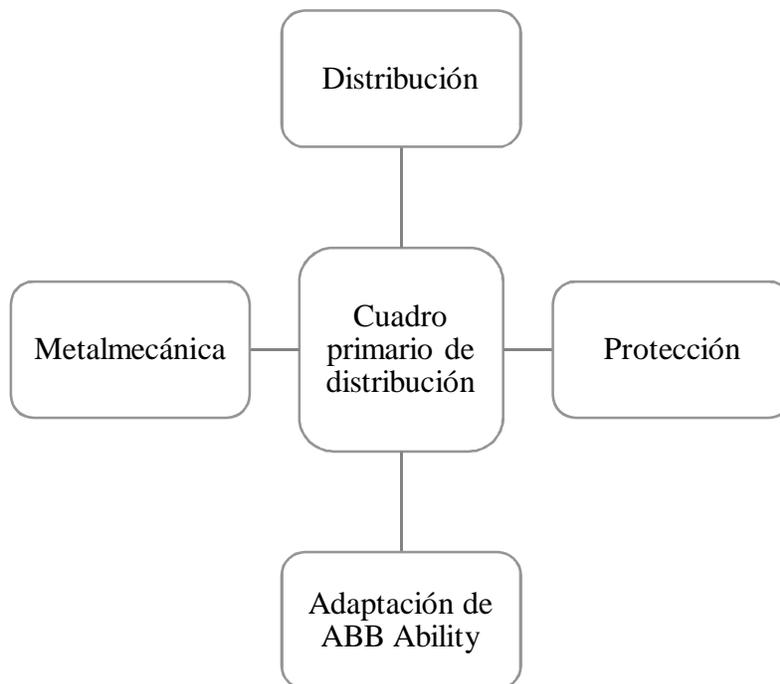


Figura 11. Relaciones de las variables de investigación

Fuente: elaboración propia

En la investigación se ha determinado que el cuadro primario de distribución es el resultado de la suma de cada una de las contribuciones que hacen las variables independientes a la dependiente. Esto se observa de manera gráfica en la figura 11.

2.3.1 METALMECÁNICA

La metalmecánica corresponde a la parte metálica que envuelve los circuitos eléctricos y los protege de contactos indirectos, sólidos, líquidos, animales, etc. El envolvente puede tener diferentes tipos de montaje, algunos son auto soportados, otros se montan en pared o en poste. Una envolvente metalmecánica debe tener especificado la corriente nominal y de cortocircuito que podrá soportar para que pueda ser elegido según la aplicación que se le dará, por ejemplo, un cuadro para automatización tendrá mucha menos corriente nominal y de corto circuito que un cuadro primario de distribución. La certificación europea con la que deberían cumplir estos cuadros es la 61439-1-2. Algunas envolventes metalmecánicas ofrecen la opción de cumplir con los diferentes tipos de segregación anteriormente explicados.



Figura 12. Estructuras representativas de una envolvente metalmecánica

Fuente: (ABB SACE, 2015)

En la figura 12 se observa la representación de una envolvente metalmecánica en tres formas diferentes, en la primera de derecha a izquierda se observan solo los perfiles que brindan soporte a toda la estructura, en la segunda podemos observar el mismo ya con sus laterales, trasero y puerta ciega delantera, finalmente en la última se mira la variación de la de en medio, con una puerta de vidrio para visualización de pantallas por ejemplo.

2.3.2 DISTRIBUCIÓN

La distribución hace referencia a la forma en que la energía eléctrica entrará en el tablero o cuadro y por consiguiente será distribuida en diferentes ramales que alimentarán diferentes circuitos o secciones de la instalación eléctrica general de la planta. Involucra la selección de equipos eléctricos según la necesidad que se tenga y la verificación del cumplimiento de algunos aspectos técnicos mínimos que los equipos deberán cumplir. Colmenar Santos & Hernández Martín (2007) afirman: “El termino “aparato eléctrica” se refiere al conjunto de aparatos utilizados en la maniobra, protección, medida, regulación, control y accesorios de las instalaciones eléctricas...” (p.422). Ver figura 13 a continuación.

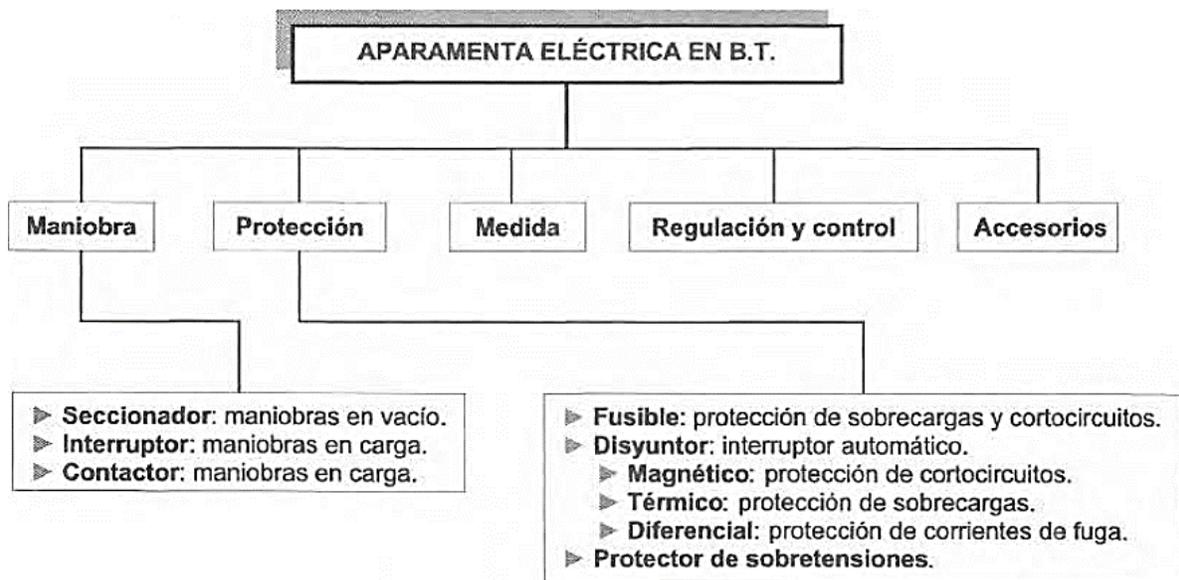


Figura 13. Aparatas eléctricas y su clasificación

Fuente: (Colmenar Santos & Hernandez Martin, 2007)

2.3.2.1 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

El interruptor automático también conocido como disyuntor es un aparato eléctrico de maniobra y protección. En condiciones normales (a corriente nominal) él puede ser abierto de forma manual, sin embargo cuando se produce una falla o defecto como corto circuito, sobrecarga, pérdida de tensión o fase, mínima tensión, corrientes a tierra, etc. este se abrirá de manera

automática, de ahí su nombre de interruptor automático, los tipos más comunes pueden ser observados en la figura 14:

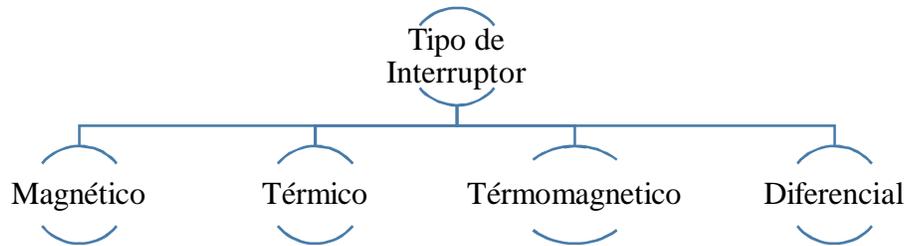


Figura 14. Tipos de interruptores automáticos

Fuente: (Colmenar Santos & Hernandez Martin, 2007)

ABB SACE (2007) afirma que un interruptor automático se define como: “Aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales del circuito, así como de soportar durante un tiempo determinado e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas del circuito tales como las de cortocircuito” (p.28). Generalmente en cuadros de distribución primarios el tipo de interruptor más usado es aquel que proporciona una protección térmica y magnética, es decir de sobrecarga y cortocircuito o sobre intensidades respectivamente. Sus funciones principales incluyen cierre del circuito, conducción de la corriente, apertura del circuito ya sea manual o automático y finalmente asegurar el seccionamiento de la línea cuando se encuentra abierto, esto último está relacionado con haber seleccionado el interruptor con nivel de aislamiento adecuado según las capacidad eléctricas del circuito. Como se observa en la figura 15, los interruptores automáticos pueden ser clasificados básicamente por su corriente nominal de la siguiente forma:

- 1) Pequeños interruptores automáticos, generalmente se encuentran hasta 60 Amperios y con poder corte hasta 25k Amperios.
- 2) Interruptores automáticos en caja moldeada, generalmente se encuentran hasta 250 Amperios y con poder de corte hasta 50k Amperios, aunque se pueden encontrar a mayores capacidades según el fabricante, estos casi siempre son regulables en el disparo térmico y/o magnético, lo que permite mayor selectividad.

- 3) Interruptores automáticos de potencia en aire, son utilizados de 800 Amperios en adelante y algunos fabricantes los ofrecen hasta niveles como 6,300 Amperios, los poderes de corte pueden llegar hasta los 100k Amperios, al igual que los de caja moldeada traen regulación en los valores de disparo para el térmico y magnético, e incluso se les pueden colocar relés avanzados con prestaciones como medición de energía, memoria para guardar datos como eventos de falla, disparos, cantidad de conmutaciones a lo largo de su vida útil, etc.

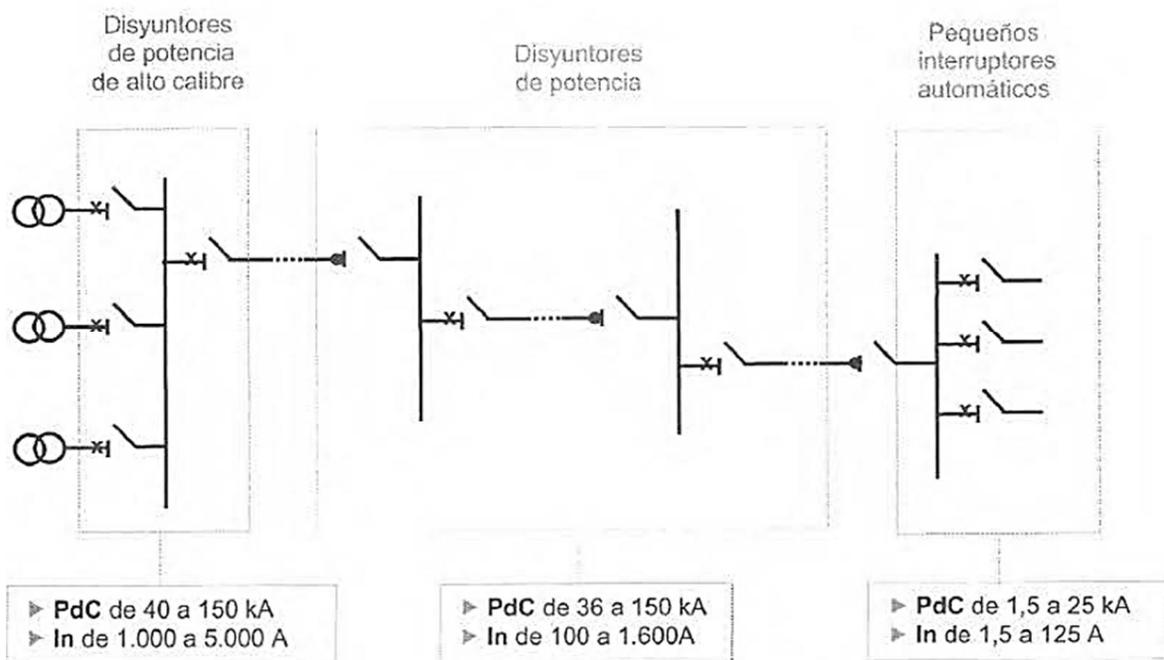


Figura 15. Clasificación de los interruptores automáticos según la corriente nominal

Fuente: (Colmenar Santos & Hernandez Martin, 2007)

2.3.3 PROTECCIÓN

Los interruptores automáticos poseen un dispositivo llamado relé de protección, ABB SACE (2007) afirma: “El interruptor automático debe controlar y proteger, en caso de fallo o malfuncionamiento, los elementos de la instalación conectados a él... el relé, una vez detectada la anomalía, reacciona en un tiempo definido provocando la apertura del mecanismo de interrupción” (p.32). Generalmente encontraremos relés de tipo termo magnético, solo magnético, electrónico y diferenciales. “El tipo y regulación del relé dependen de las características de la instalación y la

necesidad de coordinación... los criterios determinantes para la elección... son el umbral, el tiempo y la característica de la curva de disparo” (ABB SACE, 2007, p.33). La protección también está directamente ligada a las características eléctricas del dispositivo que protegerá el o los circuitos, en este caso el interruptor automático, las características principales que lo definen son:

- 1) Intensidad nominal, I_n : Es el valor eficaz de la corriente que estará atravesando el interruptor de manera indefinida.
- 2) Tensión nominal, U_n : Valor eficaz del voltaje o tensión para el cual fue diseñado el interruptor, en él está referido la capacidad de interrupción y de cierre nominales.
- 3) Numero de polos: Es la cantidad de polos que abrirá o cerrará, pueden haber mono polares, bipolares, tripolares o tetra polares.
- 4) Poder de corte (PdC), I_{cu} : Es el valor máximo de corriente eficaz que el interruptor será capaz de cortar, es importante elegir el valor que sea igual o menos a la corriente de corto circuito disponible en la línea que está protegiendo.
- 5) Disparo magnético, I_m : Corriente a la cual se hará el disparo electromagnético, es importante elegir el valor que sea igual o menos a la corriente de corto circuito disponible en la línea que está protegiendo.
- 6) Poder de ruptura de servicio, I_{es} : Es la habilidad del interruptor para mantener sus características y continuar en servicio después de realizar múltiples cortes en dicha corriente, es un porcentaje del poder de corte I_{cu} .
- 7) Poder de cierre, I_{cm} : Es el valor máximo de corriente que el interruptor soporta en el cierre del circuito. El fabricante lo asigna a un voltaje nominal, frecuencia nominal y un factor de potencia especificado.
- 8) Categoría de retardo: Es la capacidad para la selectividad con un retardo.
- 9) Categoría de empleo: Hay dos categorías, la A que no tiene posibilidad de retardo en la apertura por corto circuito y la B que sí puede retardar el disparo ante el corto circuito.
- 10) Curva de desconexión: Es la curva que relaciona la corriente y el tiempo en cuando a la desconexión.

2.3.4 ADAPTACIÓN DEL ABB ABILITY

ABB (2017) nos dice: “ABB Ability™ es la capacidad transversal de digitalización de ABB mediante dispositivos, sistemas, soluciones y plataformas que permiten a nuestros clientes aumentar su conocimiento, productividad y eficiencia” (p.2). El poder conectar equipos, sistemas de producción, soluciones a diferentes necesidades en el ámbito industrial con las personas, supondrá datos en tiempo real y toma de decisiones más rápidas y acertadas. “...basada en el Industrial Internet of Things (IIoT) ofrece la posibilidad de monitorizar, optimizar y controlar el consumo energético de múltiples instalaciones a través de la innovadora tecnología Cloud, de una forma cómoda, rápida y sencilla para el usuario” (ABB, 2017, p.2).

2.3.4.1 ARQUITECTURA DEL ABB ABILITY

En la figura 16 ABB (2017) afirma: “Conecte los dispositivos ABB con los que desee digitalizar la energía mediante un bus o red de comunicación estándar Modbus o Ethernet” (p.5). Luego a través de un Gateway mejor conocido en español como pasarela, los datos obtenidos a través de Modbus TCP por ejemplo, serían enviados a la nube o Cloud como se le conoce en inglés, llevarlos a la nube supone una gran ventaja en cuanto a simplicidad ya que esta puede tener acceso desde cualquier dispositivo como una computadora, Tablet o teléfono inteligente “Smartphone” desde un navegador.

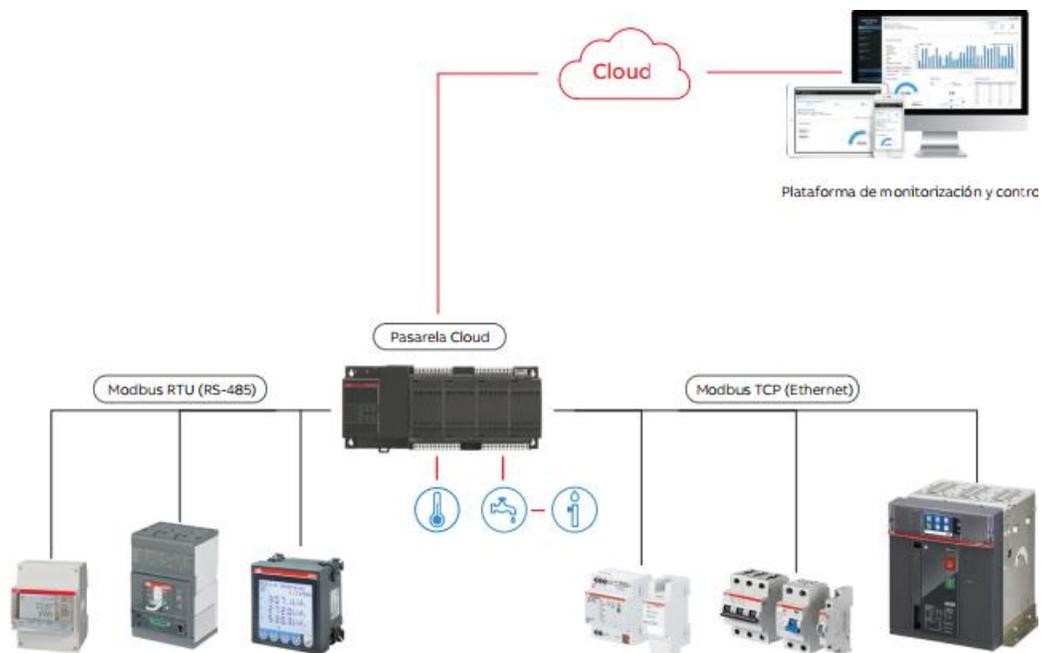


Figura 16. Arquitectura de ABB Ability.

Fuente: (ABB, 2017)

Esta arquitectura supone una gran simplicidad en comparación a otros sistemas como SCADA o automatizaciones con la utilización de redes industriales complejas, en ambos casos se ocupa una gran cantidad de cables y programación, además de la especialización de un equipo de trabajo contratado, aunque algunas compañías también optan por capacitar a su propio personal, en ambos casos se está sujeto a la disponibilidad de las personas entrenadas.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el capítulo III se definen los pasos a seguir con la investigación, esto es en base al planteamiento del problema que se desarrolla en el capítulo I y con el sustento del marco teórico que conforma el capítulo II. La congruencia metodológica está compuesta por la operacionalización de las variables, el enfoque y métodos, la muestra, las técnicas e instrumentos aplicados y finalmente las fuentes de información. Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman:

La investigación científica puede realizarse a través de dos acercamientos metodológicos: la metodología cualitativa y la metodología cuantitativa. Estos dos acercamientos difieren enormemente entre sí, desde el paradigma de investigación que les da origen, el rol del investigador, las preguntas que intentan responder y el grado de generalización posible. En particular, las investigaciones cualitativas analizan la calidad o cualidad de las relaciones, actividades, situaciones o materiales de una forma holística y generalmente a través de un tratamiento no numérico de los datos. Este acercamiento exige del investigador una preparación exigente y rigurosa, además de una actitud abierta e inductiva. De esta forma, ya sea que se adopte alguno de estos enfoques o un enfoque mixto, siempre será conveniente tener una guía básica que oriente seriamente nuestros esfuerzos de investigación. (p.542)

3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

A continuación se pasa a relacionar el planteamiento del problema con la metodología de variables, los objetivos forman parte también y por lo tanto deben ser congruentes con la metodología, cada una de las variables será mejor explicada para conocerlas en su totalidad, y poder observar de una forma más universal la investigación.

3.1.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

En la tabla 7 se demostrará la congruencia metodológica, básicamente esta plasma las relaciones entre el planteamiento del problema, las preguntas de investigación, los objetivos, que son el general y los específicos, además de las variables, las cuales hay independientes y la dependiente. En la tabla 8 se muestra lo que se conoce como operacionalización de las variables, aquí lo que se plantea es que para cada variable independiente de la investigación se hará una definición conceptual y operacional, se le da dimensión, se define un indicador y se establecen preguntas con sus posibles respuestas, además se le brinda una escala y la técnica a utilizar.

3.1.2 TABLA DE CONGRUENCIA METODOLÓGICA

En la tabla 7 se presenta la tabla de congruencia metodológica, es en esta que se describe y se observa de forma integral como el problema se relaciona con las preguntas de investigación, además estas se alinean con un objetivo general, y posteriormente con cada uno de los objetivos específicos. De cada uno de los objetivos específicos se determina la variable independiente que corresponde y además la variable dependiente.

Tabla 7. Congruencia metodológica

| Titulo | Diseño de la metalmecánica, distribución, protección y adaptación del ABB Ability para un cuadro primario de distribución | | | | |
|--|---|---|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Problema | Preguntas de investigación | Objetivo general | Objetivos específicos | Variable independiente | Variable dependiente |
| ¿Son tomadas en cuenta la metalmecánica, distribución, protección y adaptación del ABB Ability en el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial, en 2018? | ¿Cuáles son los aspectos de la metalmecánica en el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial? | Determinar los aspectos de la metalmecánica, distribución, protección y adaptación del ABB Ability, que se toman en cuenta para el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial, en el 2018. | Determinar los aspectos de la metalmecánica en el diseño cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial. | Metalme cánica | Cuadro primario de distribución |
| | ¿Qué se toma en cuenta para el diseño de la distribución, en un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial? | | Describir los aspectos tomados en cuenta para el diseño de la distribución en un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta. | Distribuc ión | |
| | ¿Qué se considera para la selección de protecciones, en un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial? | | Definir las protecciones que se seleccionan en el diseño de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta. | Protecció n | |
| | ¿Qué condiciones son relevantes para la adaptación del ABB Ability, en un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial? | | Conocer que determina la adaptación del ABB Ability para un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta. | Adaptaci ón del ABB Ability | |

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Operacionalización de las variables

| Variable Independiente | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensión | Indicador | Preguntas | Respuestas | Escala | Técnica |
|------------------------|--|--|---|-----------|--|--|---------|----------|
| Metalmecánica | Envolvente metálica que protege los circuitos internos de un cuadro primario de distribución . | Envolvente certificada por la IEC 61439-1 o similar. | Protección | Grado IP | 1. ¿Considera importante que el envolvente cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | 2. ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | | |
| | | | | Grado IK | 3. ¿Conoce el grado de protección IK del envolvente? 4. ¿El usuario final da indicaciones sobre el grado IK? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | Conocimiento | 5. ¿Es recomendado verificar el grado de protección IK e IP después de un impacto? | | |
| Segregación | Conocimiento | 6. ¿Toma en cuenta la segregación interna en un envolvente eléctrico? 7. ¿El usuario final especifica niveles de segregación? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta | | | |

Continuación de tabla 8

| Variable Independiente | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensión | Indicador | Preguntas | Respuestas | Escala | Técnica |
|------------------------|---|--|----------------------------|-------------------|---|---|---------|----------|
| Distribución | La disposición de los equipos eléctricos en un cuadro de distribución de acuerdo al diagrama unifilar del circuito. | Buenas condiciones de funcionamiento en cuadro de distribución primaria. | Características eléctricas | Valores nominales | 8. ¿Los valores de corriente de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | 9. ¿Los valores de voltaje de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | | |
| | | | | Conocimiento | 10. ¿Son proporcionadas por el fabricante y de manera estandarizada las características eléctricas de un transformador? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | 11. ¿Durante la elección de interruptores principales, toma en cuenta las diferentes características entre un interruptor de caja moldeada y uno de potencia al aire? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | | |

Continuación de tabla 8

| Variable Independiente | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensión | Indicador | Preguntas | Respuestas | Escala | Técnica |
|------------------------|---|--|--------------------|-----------------------------|--|---|---------|----------|
| Protección | Todos los dispositivos que protegen eléctricamente la integridad del cuadro de distribución primaria. | Los defectos eléctricos pueden ser despejados oportunamente. | Capacidad de corte | Cálculo de corto circuito | 12. ¿Para la selección de los interruptores automáticos se toma en cuenta el cálculo de corto circuito en el punto de conexión del cuadro? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | 13. ¿Usando el valor de corriente de corto circuito se seleccionan los valores de poder de corte y disparo magnético adecuados para nuestro circuito? 14. ¿Es el usuario final quien ya provee el valor de corto circuito disponible? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | Selectividad | Hay selectividad coordinada | 15. ¿Se coordina selectividad con los interruptores aguas abajo del cuadro primario de distribución? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | 16. ¿En la selectividad coordinada, los interruptores que están aguas arriba son un complemento para el control de intensidades que superan los de aguas abajo? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |

Continuación de tabla 8

| Variable Independiente | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensión | Indicador | Preguntas | Respuestas | Escala | Técnica |
|--|---|---|--------------|----------------------|---|---|---------|----------|
| Adaptación del ABB Ability | Posibilidad de monitorizar, optimizar y controlar el consumo energético de múltiples instalaciones a través de la innovadora tecnología de la Nube. | Equipos y sistemas interconectados con la Nube. | Conectividad | Datos en tiempo real | 17. ¿Es importante contar con comunicación de conexión rápida y flexible? 18. ¿Sería una ventaja tener dispositivos de comunicación del tipo “plug and play”? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | 19. ¿La obtención de información eléctrica en tiempo real de una planta, aportaría a la resolución de problemas y maximizar la operatividad de la misma? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | | |
| | | | | Interoperabilidad | 20. ¿La facilidad de conexión para la comunicación de máquinas y computadores aporta a la eficiencia en una planta industrial? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| Diseño del cuadro primario de distribución | Elección de los elementos que conforman un cuadro primario de distribución | Cuadro primario de distribución | Diseño | Resultado final | 21. ¿Los usuarios finales piden módulos personalizados según sus necesidades, como visualización de características eléctricas por ejemplo? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | Nominal | Encuesta |
| | | | | | 22. ¿El diseño de cuadros primarios de distribución toma en cuenta la metalmecánica, distribución, protección y adaptación de comunicación a sistemas como la nube? | Nunca Casi nunca A veces Casi siempre Siempre | | |

Fuente: elaboración propia

La tabla 8, operacionaliza todas las variables de la investigación, se va desarrollando a medida que se descubren la o las dimensiones que se poseen, a partir de estas dimensiones se establecen indicadores de los cuales se desprenden las preguntas con sus respuestas establecidas en base a la escala de Likert, las cuales se aplicaran en encuestas.

3.1.3 HIPÓTESIS

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman: “Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado. Se derivan de la teoría existente (Williams, 2003) y deben formularse a manera de proposiciones” (p.92). La hipótesis es una proposición tentativa a lo largo de la investigación, se comprobara mediante las técnicas determinadas según el enfoque de la misma, hasta que se pueda aceptar como una teoría o se declare nula, según los resultados y su respectivo análisis. A continuación se plantea la hipótesis de investigación e hipótesis nula del presente estudio:

Hi: La metalmecánica, distribución, protección y adaptación de ABB Ability sí son tomadas en cuenta en el diseño de cuadros primarios de distribución.

Ho: La metalmecánica, distribución, protección y adaptación de ABB Ability no son tomadas en cuenta en el diseño de cuadros primarios de distribución.

3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman:

Los métodos de investigación mixta son la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una “fotografía” más completa del fenómeno. Éstos pueden ser conjuntados de tal manera que las aproximaciones cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales (“forma pura de los métodos mixtos”). Alternativamente, estos métodos pueden ser adaptados, alterados o sintetizados para efectuar la investigación y lidiar con los costos del estudio (“forma modificada de los métodos mixtos”). (p.587)

El método mixto persigue terminar con el eterno duelo entre los enfoques cualitativo y cuantitativo, exponenciando las fortalezas de cada uno y minimizando sus debilidades.

El método cualitativo es aplicado utilizando la técnica de entrevista, que tiene como propósito poder agregar un mayor contexto a la investigación, además de contribuir al enfoque con sé que diseña la encuesta. La entrevista se le hace a un experto comprobado en la materia de estudio, quien con su experiencia y conocimientos enriquece la información disponible y agrega bases prácticas que complementan el sustento teórico planteado en el capítulo II.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se procede a plantear la estrategia, un plan que seguir en la investigación a lo largo de la misma. Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman: “...se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y formularon las hipótesis... el investigador debe visualizar la manera práctica y concreta de responder a las preguntas de investigación, además de cubrir los objetivos fijados” (p.161). El objetivo principal del plan es confirmar o no la hipótesis que tenemos planteada, pero hay que hacer de una manera sistemática y sumamente ordenada, si el diseño de la investigación se elabora de forma detallada, mejor serán los resultados obtenidos. El diseño de la presente investigación es no experimental, ya que se limita a observar los fenómenos en su contexto natural. Dentro de las clasificaciones de los no experimentales, esta investigación está en el transaccional o transversal, ya que se realizará la recolección de datos en un momento dado específico y una sola vez, es además transversal descriptivo.

Tabla 9. Plan de ejecución de la investigación

| Estrategia | Actividades | Recursos | | Tiempo de ejecución | Responsables |
|--|--|--|---|------------------------------------|---|
| | | Humanos | Materiales | | |
| Realizar una entrevista al Ing. Andrés Figueira (diseñador de cuadros primarios de distribución para un fabricante certificado ABB) con el objetivo de dar a conocer la investigación y recolectar información valiosa del contexto de la misma y sus aristas. | <ul style="list-style-type: none"> - Solicitar una cita con el Ing. Andrés Figueira. - Realizar entrevista para recopilar información valiosa para la investigación. - Solicitar apoyo para la difusión del instrumento hacia la población determinada. | - Ingeniero de diseño de cuadros primario de distribución de fabricante certificado ABB. | <ul style="list-style-type: none"> - Laptop - Grabadora - Cuaderno de notas - Pluma | - 2 de Mayo del 2018 | <ul style="list-style-type: none"> - Judith Fajardo - Saúl Castro |
| Aplicar a la muestra de siete expertos como mínimo, la encuesta como instrumento. | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicar como mínimo siete encuestas a expertos. - Tabular y analizar los resultados. - Mostrar los resultados obtenidos. | Siete expertos | <ul style="list-style-type: none"> - Siete encuestas vía entrevista cara a cara - Plumas | - 2 de Mayo al 2 de Junio del 2018 | <ul style="list-style-type: none"> - Judith Fajardo - Saúl Castro |
| Conclusiones y recomendaciones | <ul style="list-style-type: none"> - Sacar las conclusiones pertinentes al estudio y recomendaciones de los datos más importantes obtenidos. | | <ul style="list-style-type: none"> - Laptop | 3 de Junio del 2018 | <ul style="list-style-type: none"> - Judith Fajardo - Saúl Castro |
| Plan de acción | <ul style="list-style-type: none"> - Elaborar un reporte que contenga los criterios de diseño más utilizados actualmente por los expertos. | | <ul style="list-style-type: none"> - Laptop - MS Project | 3 al 15 de Junio del 2018 | <ul style="list-style-type: none"> - Judith Fajardo - Saúl Castro |

Fuente: elaboración propia

La tabla 9 describe la estrategia o plan de diseño de investigación a seguir durante la misma, el objetivo principal es determinar la relación de las variables independientes que son la metalmecánica, la distribución, protección y adaptación del ABB Ability con el diseño de un

cuadro primario de distribución, siendo esta última la variable dependiente del estudio. Como se observa en la tabla se describen con detalle cada una de las actividades a realizar, definidas como estrategias, también incluyen los recursos humanos y materiales necesarios para llevarse a cabo, además de la delimitación del tiempo y los responsables para cada una.

3.3.1 POBLACIÓN

La población está delimitada por una serie de características específicas que contribuyen a la obtención de mejores resultados durante la investigación. Según Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman: “Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (p.215). La población de la presente investigación incluye a todos aquellos profesionales de la ingeniería eléctrica o carreras afines, incluyendo técnicos, que en el 2018 se dediquen a la consultoría, diseño y/o instalación de cuadros eléctricos, dentro de los cuales deben estar incluidos los de distribución primaria, bajo normativas IEC y en países de Centroamérica.

3.3.2 MUESTRA

La técnica utilizada es el Método Delphi, Reguant-Alvarez & Torrado-Fonseca (2016) afirman: “Es fácil explicar la difusión del método Delphi porque consiste en una técnica de obtención de información, basada en la consulta a expertos de un área, con el fin de obtener la opinión de consenso más fiable del grupo consultado” (p.2). El método tuvo un gran auge en la década de 1950, a partir de este momento se han hecho miles de estudios que lo aplican y ha sido discutido, explorado y cuestionado por muchos expertos. Se dice que inicialmente las áreas de aplicación eran salud, educación y administración. Sin embargo, hoy en día lo podemos encontrar en temas como tecnología, ciencia, educación, política, estudios sociales, etc. El método se compone de cuatro fases, las cuales se observan en la figura 18:



Figura 18. Fases del método Delphi

Fuente: (Reguant-Alvarez & Torrado-Fonseca, 2016)

La fase 1 es la identificación del problema de investigación. En la fase 2 se determina el perfil de los participantes, es como la población anteriormente descrita. En la fase 3 se elabora un cuestionario, el cual debe estar categorizado y con respuestas establecidas según el grado de acuerdo. Finalmente en la fase 4 se analiza la información obtenida, de la cual se pueden hacer cálculos estadísticos para luego brindar un informe de resultados. Es en la fase 2 que se establece como debe ser la muestra, y este de esta manera como se hace en la presente investigación, Reguant-Alvarez & Torrado-Fonseca (2016) afirman:

En cuanto a la cantidad de participantes del grupo, Landeta (1999) hace referencia a los estudios iniciales hechos por la Rand Corporation para establecer el tamaño óptimo del grupo, señalando un mínimo de 7 expertos y un máximo de 30. En ellos además de la relación entre el tamaño y el rendimiento del grupo, deben tomarse en cuenta la relación costo-beneficio como elemento de viabilidad. (p.8)

Es por lo establecido en la cita anterior que para la presente investigación se ha tomado como referencia contar con un mínimo de 7 expertos, a los cuales se les aplicará una encuesta que se compone de las preguntas redactadas en la Tabla 8.

3.3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman: “Aquí el interés se centra en “qué o quiénes”, es decir, en los participantes, objetos, sucesos o comunidades de estudio (las unidades de análisis), lo cual depende del planteamiento de la investigación y de los alcances del estudio” (p.214). En la presente investigación se determina como unidad de análisis a los diseñadores de un cuadro primario de distribución, ya que la pregunta de investigación hace alusión a la relación que tienen las variables independientes (metalmecánica, distribución,

protección y adaptación del ABB Ability) con el diseño de la variable dependiente que es dicho cuadro, y este diseño se lleva a cabo por los diseñadores a los cuales se ha determinado como unidad de análisis.

3.3.4 UNIDAD DE RESPUESTA

La unidad de respuesta son los resultados obtenidos a través de la aplicación de la técnica seleccionada, en este caso la encuesta, como se ha planteado anteriormente, utilizando el método Delphi se ha determinado que un mínimo de siete expertos serán encuestados con las preguntas obtenidas a través de la operacionalización de las variables, las respuestas de las encuestas aplicadas son los resultados que posterior a su análisis proveerán una resolución a la hipótesis planteada, además de la información deseada para determinar con datos estadísticos como las diferentes dimensiones e indicadores de cada variable se relacionan con el diseño de un cuadro primario de distribución. Las respuestas de las preguntas de la encuesta se han hecho de acuerdo a la escala de Likert, de menor a mayor (por su peso numérico del 5 al 0): Siempre, casi siempre, a veces, casi nunca, nunca.

Este método fue desarrollado por Rensis Likert en 1932; sin embargo, se trata de un enfoque vigente y bastante popularizado.¹⁷ Consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios, ante los cuales se pide la reacción de los participantes. Es decir, se presenta cada afirmación y se solicita al sujeto que externar su reacción eligiendo uno de los cinco puntos o categorías de la escala. A cada punto se le asigna un valor numérico. Así, el participante obtiene una puntuación respecto de la afirmación y al final su puntuación total, sumando las puntuaciones obtenidas en relación con todas las afirmaciones. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, p.287)

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

A continuación se describen las técnicas e instrumentos aplicados a esta investigación. Luego de haber planteado correctamente la población y muestra a la cual se le aplicaran dichas técnicas e instrumentos es necesario detallar las bases con las cuales se ha determinado elegir cada uno de los métodos específicos. De acuerdo al enfoque mixto se han seleccionado técnicas e instrumentos que incluyan tanto el método cualitativo como el cuantitativo. Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman:

En ambos procesos, las técnicas de recolección de los datos pueden ser múltiples. Por ejemplo, en la investigación cuantitativa: cuestionarios cerrados, registros de datos estadísticos, pruebas estandarizadas, sistemas de mediciones fisiológicas, etc. En los estudios cualitativos: entrevistas profundas, pruebas proyectivas, cuestionarios abiertos, sesiones de grupos, biografías, revisión de archivos, observación, entre otros. (p.58)

3.4.1 INSTRUMENTOS

Los instrumentos nos habilitan para poder mezclar la teoría con la práctica, es a través de ellos que podemos observar las variables que se han planteado en la investigación, y lo principal que es poder medirlas. Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman: “Toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad” (p.242). En la investigación presente el instrumento elegido es el cuestionario o encuesta, este se compone de una serie de preguntas redactadas en relación a las variables que se pretenden medir, la encuesta es uno de los métodos más populares y ampliamente utilizados en investigaciones de diferentes índoles. Las preguntas elaboradas en el cuestionario en la presente investigación son del tipo cerradas ya que tienen respuestas previamente delimitadas, las cuales han sido elaboradas en base a la escala de Likert, como se explicó anteriormente. El contexto elegido para aplicar el cuestionario es mediante la entrevista personal, ya que la unidad de análisis establecida para esta investigación reacciona mejor y de manera más rápida cuando se le hacen este tipo de cuestionarios frente a frente, esto se ha determinado por experiencias anteriores en contextos muy parecidos al de esta investigación.

A la encuesta se le debe realizar un análisis de confiabilidad basado en el concepto del Alfa de Cronbach, para calcular este coeficiente se aplica una vez el instrumento y luego se utiliza una herramienta estadística como el SPSS o Minitab para realizar el cálculo a partir de los datos obtenidos, Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman:

Respecto a la interpretación de los distintos coeficientes mencionados cabe señalar que no hay una regla que indique: a partir de este valor no hay fiabilidad del instrumento. Más bien, el investigador calcula su valor, lo reporta y lo somete a escrutinio de los usuarios del estudio u otros investigadores. Pero podemos decir —de manera más o menos general— que si obtengo 0.25 en la correlación o coeficiente, esto indica baja confiabilidad; si el resultado es 0.50, la fiabilidad es media o regular. En cambio, si supera el 0.75 es aceptable, y si es mayor a 0.90 es elevada, para tomar muy en cuenta. (p.302)

3.4.2 TÉCNICAS

En este estudio se ha convenido utilizar la entrevista como una técnica cualitativa de obtención de datos, específicamente de información para nutrir el sustento teórico del mismo. La entrevista a un experto provee de experiencia, y otro punto de vista a la investigación, lo que refuerza el criterio del investigador para sustentar todo el proceso. “El propósito de las entrevistas es obtener respuestas sobre el tema, problema o tópico de interés en los términos, el lenguaje y la perspectiva del entrevistado (“en sus propias palabras”)” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, p.420). El objetivo principal de una entrevista informar sobre la posición que una persona tiene respecto a un tema, debe ser un dialogo intención y con propósito, en ambas partes, ya que de lo contrario se puede volver poca productiva.

Otra técnica a utilizar es el cálculo de la concordancia de Kendall, el objetivo de esta prueba es asegurar que los encuestados son quien dice ser, es decir expertos. Minitab Inc. , 2017 afirma: “El coeficiente de concordancia de Kendall indica el grado de asociación de las evaluaciones ordinales realizadas por múltiples evaluadores al evaluar las mismas muestras. El coeficiente de Kendall comúnmente se utiliza en el análisis de concordancia de atributos” (p.1). Este coeficiente también es calculado mediante la herramienta estadística SPSS. El valor de este se encuentra entre 0 y 1, entre más cerca a 1 se encuentre el resultado, indica una mayor asociación.

3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN

La información es la que nos permite establecer el contexto de una investigación, revisar la literatura existente y contactar personas o entidades a las cuales se pueda consultar, conocer mucha teoría de sustento que apoya lo que se quiere plantear o conocer, parte de la investigación corresponde a la búsqueda de fuentes de información. Wigodski (2010) afirma:

La tarea de revisar la literatura de investigación comprende la identificación, selección, análisis crítico y descripción escrita de la información existente sobre un tema de interés. Conviene realizar la revisión bibliográfica antes de conducir un proyecto de investigación. Esta revisión disminuye al mínimo la posibilidad de duplicación involuntaria. Es útil para: Identificar estrategias y métodos de investigación. Identificar procedimientos de investigación. Identificar instrumentos de medición. (p.1)

3.5.1 FUENTES DE INFORMACIÓN PRIMARIAS

Las fuentes de información primarias son aquellas que el mismo investigador contactó, busca y consulta, es decir son recolecciones de primera mano. En el caso de la presente investigación se refiere específicamente a la encuesta que será aplicada como instrumento de medición y la entrevista como técnica elegida para recabar información de carácter cualitativo. La encuesta será aplicada a un mínimo de siete expertos sustentado por el método Delphi, estos expertos son diseñadores de cuadros primarios de distribución. La entrevista será hecha a una persona con mucha experiencia el diseño de cuadros primarios de distribución que labora con un fabricante de los mismos, el cual tiene productos certificados en la IEC 61439. Wigodski (2010) afirma:

Una fuente primaria no es, por defecto, más precisa o fiable que una fuente secundaria. Proveen un testimonio o evidencia directa sobre el tema de investigación. Son escritas durante el tiempo que se está estudiando o por la persona directamente envuelta en el evento. Ofrecen un punto de vista desde adentro del evento en particular o periodo de tiempo que se está estudiando. (p.1)

3.5.2 FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIAS

Son todas aquellas que se consultaran a lo largo de la investigación, es recolectada de estudios anteriores, ósea que ya existe, no es manipulable, simplemente se observa y analiza, y se toma como parte del sustento de la investigación. Wigodski (2010) afirma:

Interpreta y analizan fuentes primarias. Las fuentes secundarias son textos basados en fuentes primarias, e implican generalización, análisis, síntesis, interpretación o evaluación. Algunos tipos de fuentes secundarias son: Índices, revistas de resúmenes, crítica literaria y comentarios, enciclopedias, bibliografías, fuentes de información citadas en el texto, el registro de las fuentes de información en los trabajos académicos: permite sustentar la actividad de la investigación y sirve de base para establecer premisas que argumentan los cuestionamientos de la crítica científica o profesional. La ética profesional pide reconocer el esfuerzo de los demás en la producción del conocimiento, por ello es necesario citar las fuentes que han servido de base al trabajo de investigación realizado.

Las fuentes de información secundarias de la presente investigación son las siguientes:

- 1) Datos secundarios externos, como documentos y fuentes de datos publicados por Asea Brown Boveri, la Comisión Electrotécnica Internacional, etc.

- 2) Bases de datos digitalizadas, como libros electrónicos, libros y tesis de posgrado disponibles en el CRAI, informes, publicaciones, etc.
- 3) Libros físicos, como Análisis de Circuitos en Ingeniería por William Hayt y Metodología de la Investigación por Sampieri.

3.6 LIMITANTES DEL ESTUDIO

No hay muchos expertos en diseño de cuadros primarios de distribución, la mayoría de los diseñadores se dedican a automatización, control y protección, o aplicaciones más livianas. Generalmente en el país han acostumbrado a traer cuadros primarios armados por el fabricante y por lo tanto se han acomodado a lo que este da, no es malo, ya que la mayoría de ellos son certificados por normas internacionales, pero traer soluciones armadas del exterior puede encarecer en gran manera los proyectos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el capítulo cuatro se muestran los resultados obtenidos a través de la aplicación del instrumento seleccionado, es decir la encuesta. Como se ha definido anteriormente, la población del estudio está conformada por profesionales de la ingeniería eléctrica o carreras afines, incluyendo técnicos, que en el 2018 se dediquen a la consultoría, diseño y/o instalación de cuadros eléctricos, dentro de los cuales deben estar incluidos los de distribución primaria, bajo normativas IEC y en países de Centroamérica. Entones, de acuerdo a la unidad de análisis anteriormente planteada, se he aplicado una encuesta, a esta se le ha calculado la concordancia de Kendall, de manera que se pueda comprobar que los encuestados realmente son expertos en el tema. Se realiza un análisis de los datos ya que son estos los que brindan respuesta a cada una de las preguntas de investigación y afirman el cumplimiento de los objetivos planteados, se describe como cada una de las variables independientes afecta a la dependiente.

4.1 CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

Para determinar la confiabilidad de la encuesta aplicada se hace el cálculo del Alfa de Cronbach en el programa SPSS, este coeficiente determina el grado en que la repetida aplicación del instrumento produce resultados similares. Mientras mayor confiabilidad haya, más grande será la congruencia de los resultados obtenidos y por lo tanto son más fiables y contundentes. A continuación se muestra el cálculo del Alfa de Cronbach luego de haber aplicado el instrumento a 11 supuestos expertos en el tema, se dice que son supuestos ya que más adelante se han de mostrar los resultados del coeficiente de la Concordancia de Kendall, de acuerdo a lo explicado en la sección 3.4.2 de la presente tesis de investigación.

Tabla 10. Resultado del cálculo del Alfa de Cronbach en SPSS

| Estadísticos de fiabilidad | |
|----------------------------|----------------|
| Alfa de Cronbach | N de elementos |
| ,848 | 22 |

Fuente: (IBM SPSS Statistics, 2018)

Como se observa en la tabla 10, el resultado del Alfa de Cronbach para las 11 encuestas aplicadas es 0.848, un coeficiente muy aceptable dentro de los criterios que normalmente se aplican, lo que indica que la encuesta tiene una muy buena confiabilidad. Además de la prueba de confiabilidad, a través del cálculo del Alfa de Cronbach, se realiza el cálculo de la Concordancia de Kendall, como se ha explicado anteriormente este coeficiente analiza la relación que hay entre las respuestas obtenidas, la concordancia que debe haber en los resultados, ya que eso nos permite saber si todos los participantes se encuentran bajo el mismo piso de conocimiento, experiencia, etc. De las 11 encuestas realizadas a supuestos expertos, se tuvieron que descartar cuatro, ya que se detectó que esos cuatro encuestados estaban difiriendo en gran manera en las respuestas de ciertas preguntas en la encuesta, lo que a su vez provocaba un declive en el resultado del coeficiente, es por esto que analizando pregunta por pregunta se descartaron los cuatro participantes que más afectaban los resultados, dejando siete expertos con sus respuestas correspondientes.

Tabla 11. Resultado cálculo del Coeficiente de Concordancia de Kendall en SPSS

| | |
|---------------------------|--------|
| N | 7 |
| W de Kendall ^a | ,517 |
| Chi-cuadrado | 76,046 |
| gl | 21 |
| Sig. asintót. | ,000 |

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Fuente: (IBM SPSS Statistics, 2018)

El Coeficiente de la Concordancia de Kendall obtenido a través del uso del software SPSS para los siete resultados obtenidos de los siete expertos considerados, es 0.517, se encuentra en un término prácticamente medio, sin embargo el obtener una concordancia más acerca a 1 es muy difícil debido al reducido número de expertos encontrados, podemos concluir que encontrarlos ha sido difícil en el medio. Como se ha comentado anteriormente, el valor de W (Coeficiente de la Concordancia de Kendall) será siempre entre 0 y 1, el 0 básicamente significa que no hay acuerdo entre los encuestados, y el 1 que están totalmente de acuerdo. A continuación se mostrara la guía tomada en cuenta para interpretar el valor obtenido en este estudio.

Tabla 12. Interpretación de la W de Kendall

| W | Interpretación |
|--------------------|-----------------------|
| $W \leq 0.3$ | Acuerdo débil |
| $0.3 < W \leq 0.5$ | Acuerdo moderado |
| $0.5 < W \leq 0.7$ | Buen acuerdo |
| $W > 0.7$ | Fuerte acuerdo |

Fuente: (Cafiso, Di Graziano, & Pappalardo, 2013)

No hay una guía definitiva para interpretar los resultados de la W de Kendall, sin embargo tomando en cuenta la que es mostrada en la tabla 12, podemos hacer la conclusión que el haber obtenido un resultado de 0.517 con los datos obtenidos en la encuesta aplicada, lo que también se muestra en la tabla 10, nos dice que existe un buen acuerdo entre los siete participantes definidos como expertos. Este resultado ofrece una lógica que va en armonía con lo expuesto en el capítulo uno de la presente investigación, el hecho de no contar con un condigo nacional eléctrico definido en Honduras, o en otro país de Centroamérica, o incluso la falta de exigencias por parte de las empresas privadas y públicas que solicitan cuadros primarios de distribución o productos y equipos similares, provoca un criterio bastante individual entre los profesionales que se dedican a diseñar este tipo de soluciones.

4.2 GRÁFICAS

A continuación se han de mostrar las gráficas correspondientes a los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a los expertos. Por razones de simplicidad y mayor facilidad en el entendimiento de las mismas, se han agrupado las preguntas por variable independiente, es decir, para la variable “metalmecánica” se agruparon las preguntas de la uno a las siete en la encuesta, para la variable “distribución” se agruparon las preguntas de ocho a las once, para la variable “protección” se agruparon las preguntas de la doce a las dieciséis, y finalmente para la variable “adaptación del ABB Ability” se agruparon las preguntas de la diecisiete a las veintidós. Abajo se presenta la primera gráfica que corresponde a la figura 19, resultados de la variable “metalmecánica”.

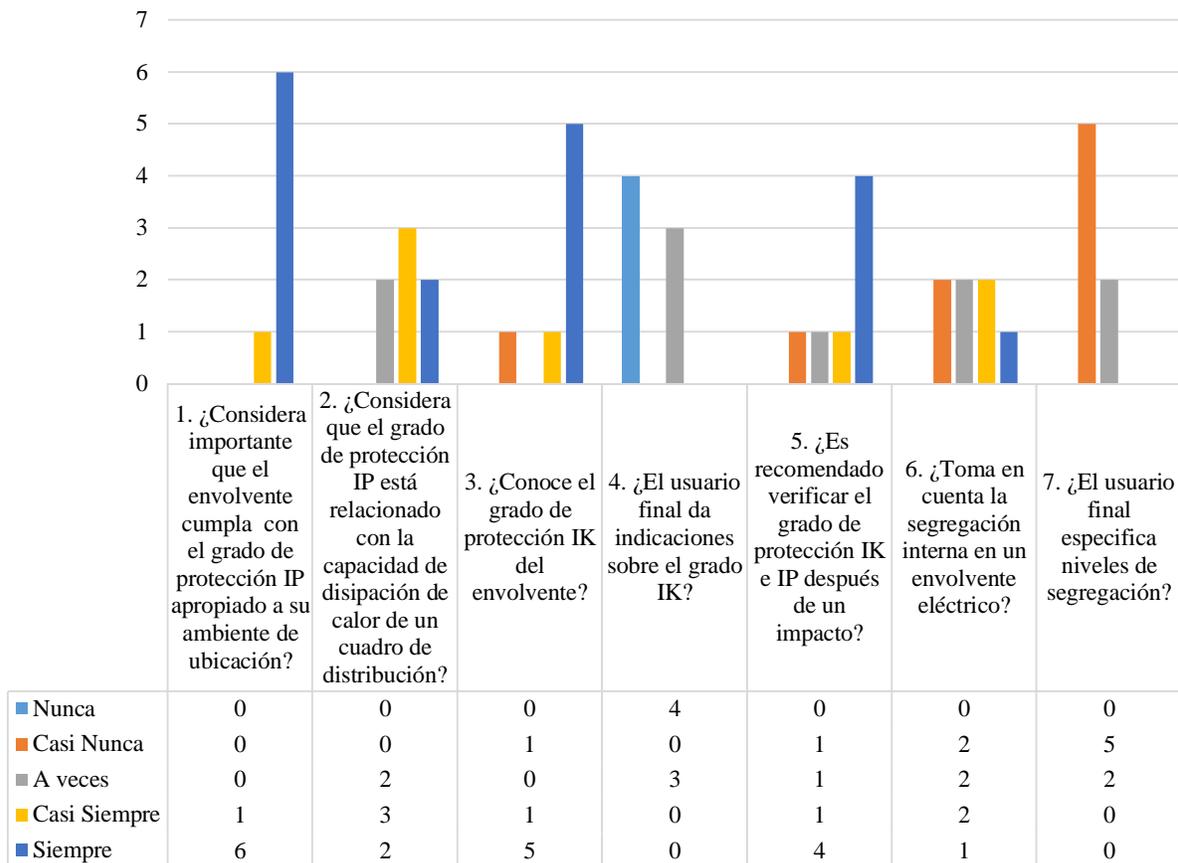


Figura 19. Gráfica unificada de resultados variable Metalmecánica

Fuente: elaboración propia

En la figura 19, se observa que los resultados de las preguntas en la encuesta que corresponden a la variable independiente “metalmecánica”. La metalmecánica se refiere al envolvente que protege los circuitos y dispositivos eléctricos que conforman un cuadro primario de distribución. Los tres indicadores que resultaron de esta variable son básicamente el grado de protección IP, el cual garantiza la protección contra la entrada de líquidos y sólidos, el grado de protección IK el cual garantiza los golpes (medido en energía) que puede soportar la estructura, y finalmente la segregación que se refiere a las particiones interiores que proveen mayor seguridad al usuario y a los mismos equipos ya que confinan posibles eventos como cortocircuito al área donde se produjo u origen. A continuación, se enumeran las preguntas que corresponden a la metalmecánica con las respuestas obtenidas:

- 1) ¿Considera importante que el envolvente cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación?

Seis de los siete encuestados concordaron que siempre lo consideran importante, solo uno coloco casi siempre.

- 2) ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución?

Dos pusieron que a veces, tres casi siempre y dos siempre.

- 3) ¿Conoce el grado de protección IK del envolvente?

Uno coloco casi nunca, uno casi siempre y cinco siempre.

- 4) ¿El usuario final da indicaciones sobre el grado IK?

Un total de cuatro concordaron en elegir nunca, los tres restantes pusieron a veces.

- 5) ¿Es recomendado verificar el grado de protección IK e IP?

Cuatro de los participantes eligieron la respuesta siempre, uno casi siempre, uno a veces y uno casi nunca.

- 6) ¿Toma en cuenta la segregación interna en un envolvente?

Dos participantes escogieron casi nunca, dos colocaron como respuesta a veces, dos también eligieron casi siempre y finalmente uno selección la respuesta siempre.

- 7) ¿El usuario final especifica niveles de segregación?

Cinco de los encuestados concordaron en elegir la respuesta casi nunca, y los dos restantes pusieron a veces como su respuesta.

En las preguntas uno, tres, cuatro, cinco, y siete se observa bastante acuerdo entre los encuestados, indica que al menos en un aspecto están en sintonía para los diferentes indicadores que contiene esta variable metalmecánica. Por otra parte, en las preguntas dos y seis las respuestas estas bastante variadas, no se observa una mayoría contundente, podría indicar que esos puntos son muy sujetos al criterio individual de cada diseñador y no tanto a las especificaciones que brindan los usuarios finales. Para tener una mayor claridad de los resultados obtenidos, se procede a calcular el promedio ponderado para cada respuesta, sabemos dicho peso ya que la escala de Likert utilizada nos lo brinda, se definió que la respuesta “nunca” vale 1, casi “nunca vale” 2, “a veces” vale 3, “casi siempre” vale 4 y finalmente la respuesta “siempre” vale 5. En la figura 20 se observa la gráfica de las preguntas correspondientes a la variable independiente Metalmecánica.

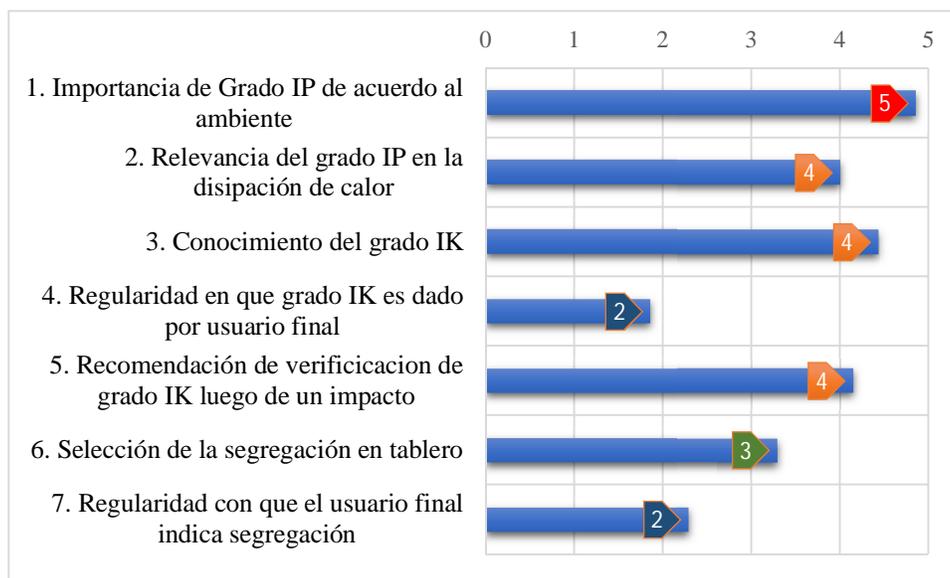


Figura 20. Gráfica de resultados promedio ponderado variable Metalmecánica

Fuente: elaboración propia

En la figura 20 se observa como los diseñadores toman en cuenta la importancia de la selección del grado IP adecuado para el ambiente de instalación del tablero, además consideran muy relevante este mismo grado en relación a la disipación de calor requerida, de igual manera conocen generalmente el grado IK del tablero que están utilizando y si ocurre un golpe o impacto en el tablero recomiendan que sea verificada la integridad del mismo. No así mismo con la

segregación del tablero, se entiende que solo a veces la toman en cuenta y el usuario final casi nunca sabe de la misma o la brinda, tampoco conoce el grado IK que necesita o no le es relevante.

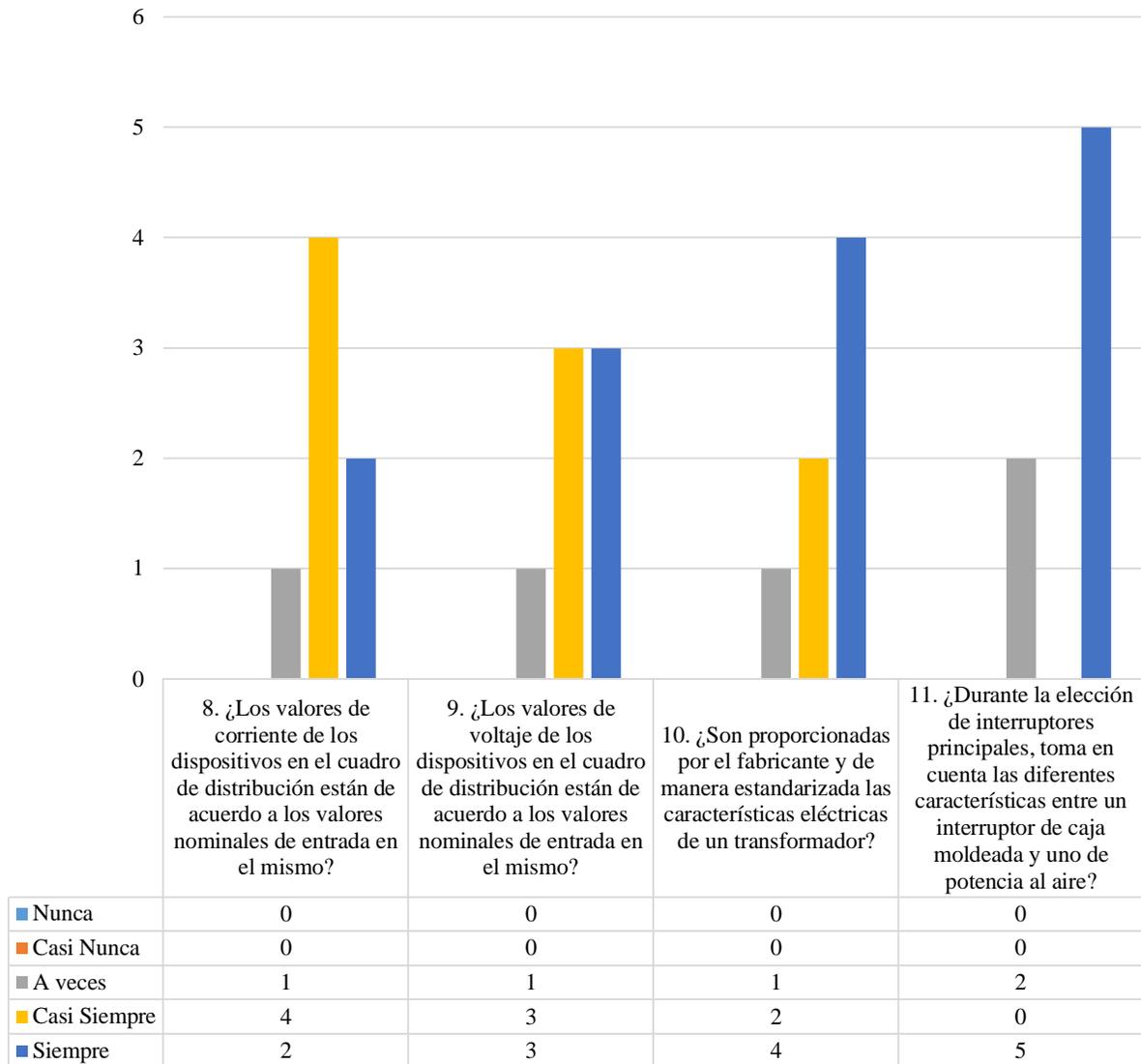


Figura 21. Gráfica unificada de resultados variable Distribución

Fuente: elaboración propia

En la figura 21 se observan los resultados de la encuesta correspondiente a la variable de “Distribución”, tal como se presentó anteriormente en este documento se centra en la subdivisión del total de potencial eléctrico principal, en los ramales secundarios que alimentarían las diferentes

áreas de la planta industrial. Para esta variable se agregaron cuatro preguntas para ser encuestadas a los expertos, estas junto con sus resultados se presentan a continuación:

8) ¿Los valores de corriente de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca cero, Casi nunca cero, A veces uno, Casi siempre cuatro y Siempre dos.

9) ¿Los valores de voltaje de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca cero, Casi nunca cero, A veces uno, Casi siempre tres y Siempre tres.

10) ¿Son proporcionadas por el fabricante y de manera estandarizada las características eléctricas de un transformador?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca cero, Casi nunca cero, A veces uno, Casi siempre dos y Siempre cuatro.

11) ¿Durante la elección de interruptores principales, toma en cuenta las diferentes características entre un interruptor de caja moldeada y uno de potencia al aire?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca cero, Casi nunca cero, A veces dos, Casi siempre cero y Siempre cinco.

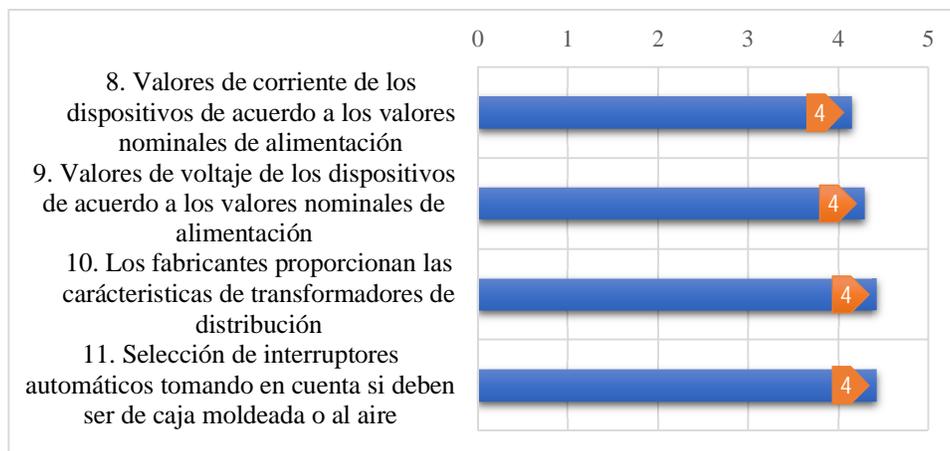


Figura 22. Gráfica de resultados promedio ponderado variable Distribución

Fuente: elaboración propia

Las respuestas del cálculo promedio ponderado que se observan en la figura 22 son bastante parejas, básicamente todas nos indican que los diseñadores casi siempre toman en cuenta que los valores de corriente y voltaje seleccionados para los dispositivos de protección vayan de acuerdo a los valores nominales de las mismas magnitudes eléctricas que entran al tablero, es decir si a la entrada del servicio sabemos que hay 480 voltios de corriente alterna trifásicos de igual manera el nivel de voltaje de los interruptores automáticos soporta o esté dentro del rango de operación de los mismos. La misma respuesta positiva es obtenida acerca de la provisión por parte de los fabricantes de los datos eléctricos de los transformadores en las subestaciones de baja tensión y como los diseñadores toman en cuenta la construcción de los interruptores, si son en caja moldeada o al aire, es decir los que se consideran como de potencia.

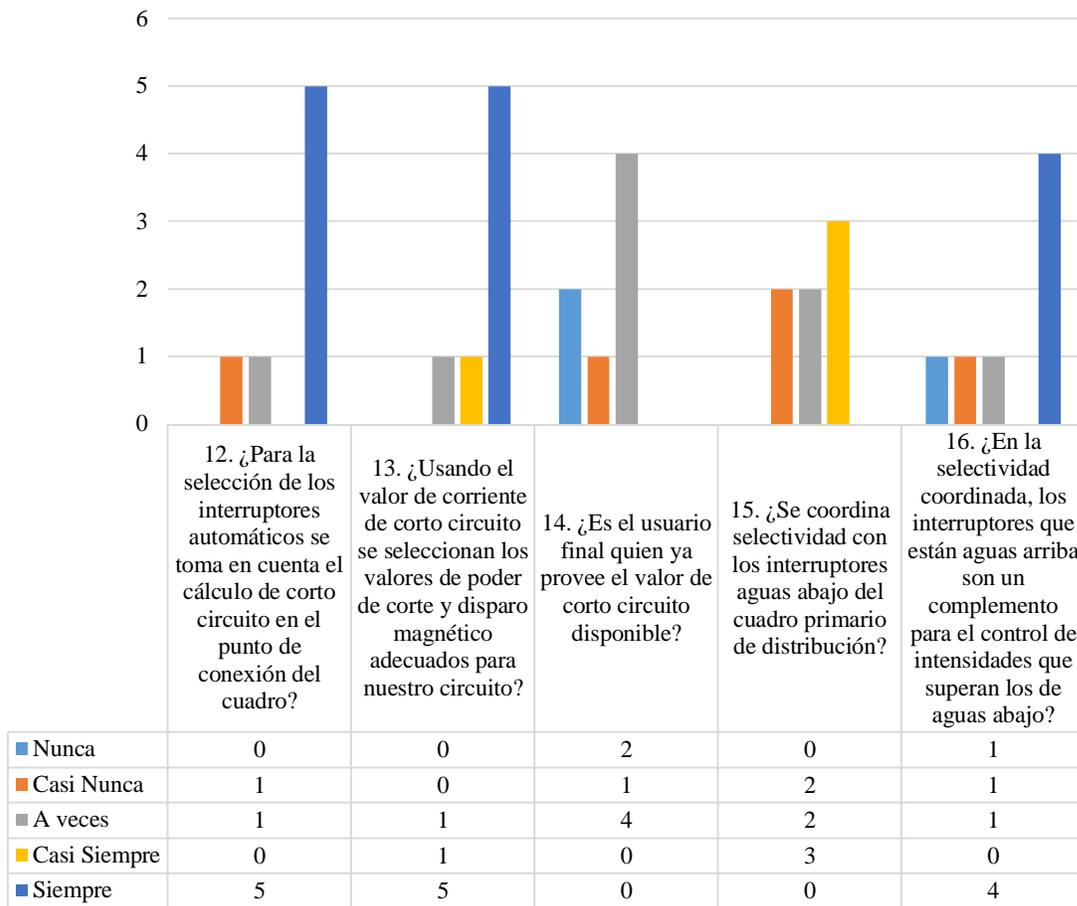


Figura 23. Gráfica unificada de resultados variable Protección

Fuente: elaboración propia

La figura 23 muestra los resultados de las encuestas con las preguntas que corresponden a la variable Protección. Un complemento importante del diseño de cualquier cuadro primario es la selección de las protecciones eléctricas. La mala selección de las protecciones puede suponer pérdidas grandes en la actividad productiva de toda planta industrial o en el peor de los casos pérdidas humanas, por esta razón la selección de protección es una muy importante. Para que la selección de las protecciones en el cuadro primario sea a la medida, es necesario estar seguro de los datos de corriente o intensidad que el cuadro estará manejando. A continuación se presentan las preguntas 12 a la 16 con sus respectivos resultados:

12) ¿Para la selección de los interruptores automáticos se toma en cuenta el cálculo de corto circuito en el punto de conexión del cuadro?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca cero, Casi nunca uno, A veces uno, Casi siempre cero y Siempre cinco.

13) ¿Usando el valor de corriente de corto circuito se seleccionan los valores de poder de corte y disparo magnético adecuados para nuestro circuito?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca cero, Casi nunca cero, A veces uno, Casi siempre uno y Siempre cinco.

14) ¿Es el usuario final quien ya provee el valor de corto circuito disponible?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca dos, Casi nunca uno, A veces cuatro, Casi siempre cero y Siempre cero.

15) ¿Se coordina selectividad con los interruptores aguas abajo del cuadro primario de distribución?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca cero, Casi nunca dos, A veces dos, Casi siempre tres y Siempre cero.

16) ¿En la selectividad coordinada, los interruptores que están aguas arriba son un complemento para el control de intensidades que superan los de aguas abajo?

De los siete expertos encuestados los resultados fueron: Nunca uno, Casi nunca uno, A veces uno, Casi siempre cero y Siempre cuatro.

En los resultados de la encuesta para la variable de “Protección”, podemos observar que para las preguntas 13, 14 y 15 los expertos parecen estar de acuerdo en sus respuestas. Para las preguntas 12 y 16 se observa que hay cierto desacuerdo en la respuesta de los expertos, esto se debe a que estas preguntas apuntan al criterio o experiencia personal de cada uno.

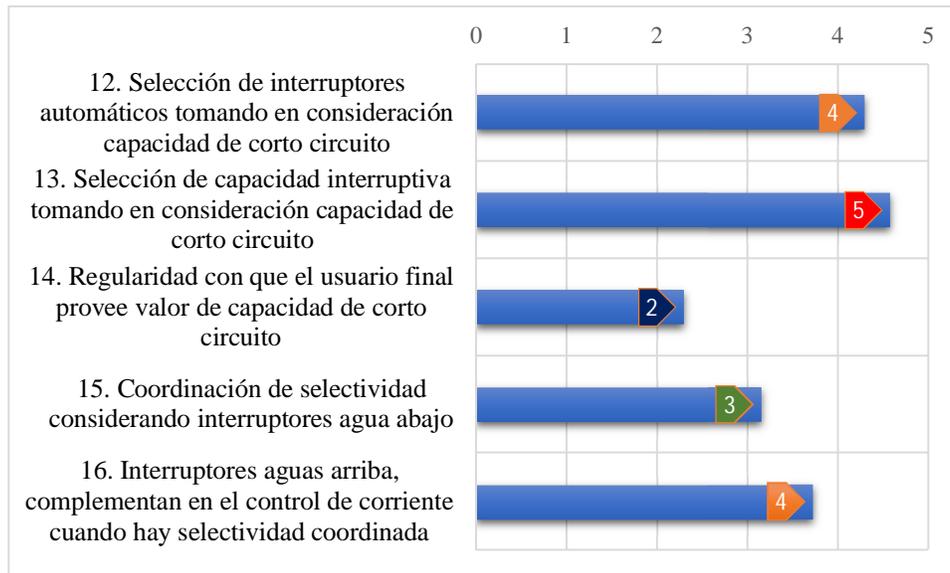


Figura 24. Gráfica de resultados promedio ponderado variable Distribución

Fuente: elaboración propia

Los resultados ya con el cálculo del promedio ponderado que observamos en la figura 24 son más variados que los anteriores, se observa que la selección de la capacidad de corto circuito es siempre tomada en cuenta por los diseñadores al momento de elegir los interruptores automáticos, casi siempre el interruptor también se selecciona de acuerdo a la capacidad de corto en el punto de instalación y además los interruptores aguas arriba funcionan como un complemento de los colocados aguas abajo cuando estos están coordinados con selectividad. Solamente a veces se coordina dicha selectividad y casi nunca el usuario final provee la capacidad de corto circuito en el punto de instalación, lo que significa que los diseñadores tienen que calcularla la mayoría del tiempo.

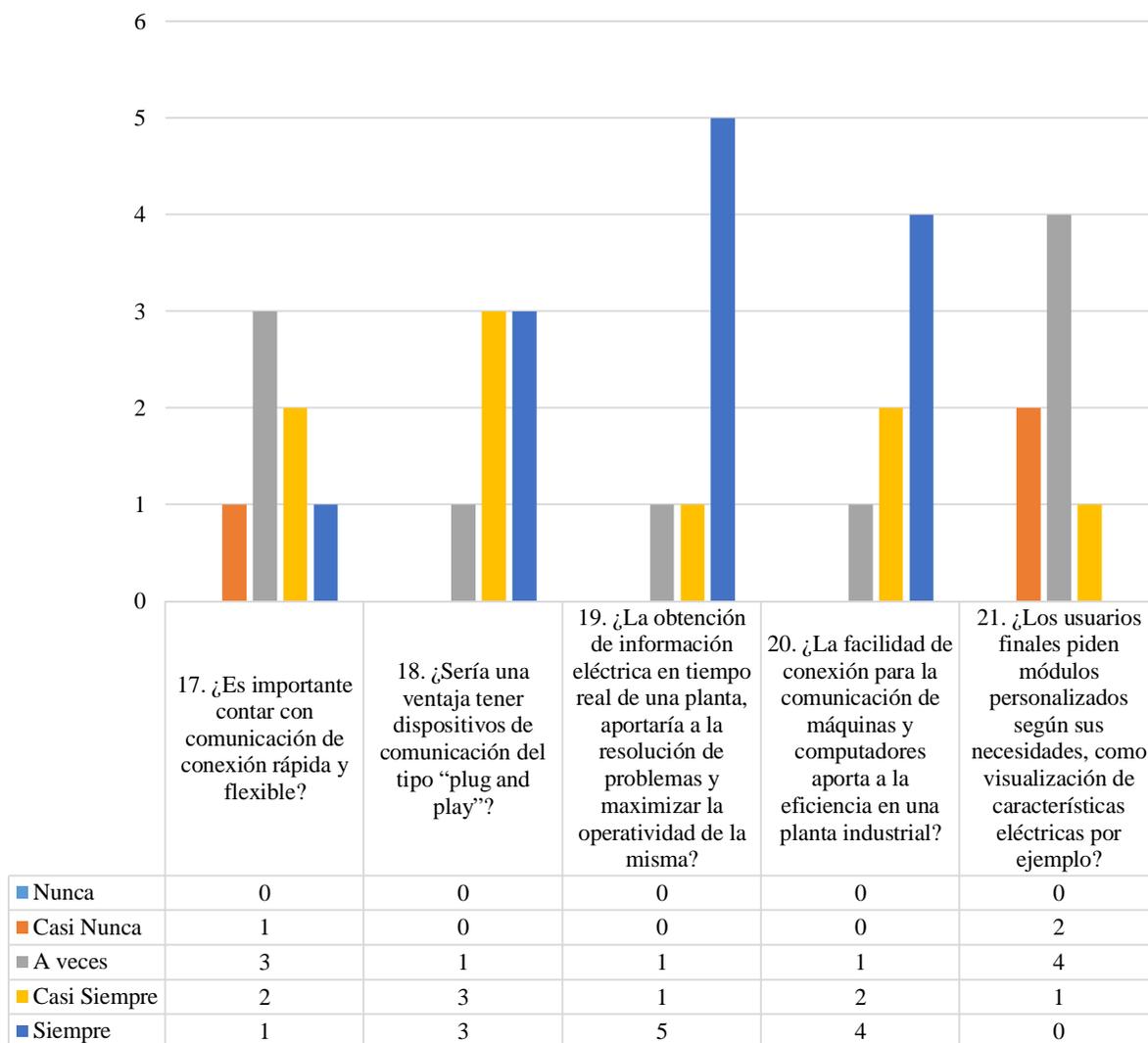


Figura 25. Gráfica unificada de resultados variable Adaptación del ABB Ability

Fuente: elaboración propia

La figura 25 muestra los resultados de todas las preguntas que corresponden a la variable de la comunicación, es decir la Adaptación del ABB Ability. La variable independiente Adaptación del ABB Ability es la capacidad que adquieren los equipos eléctricos, como interruptores automáticos en el caso de un cuadro primario de distribución, para poder conectarse de forma fácil a un sistema como la nube, donde ABB ya tiene creada una plataforma capaz de generar reportes, graficas, información útil, datos de mantenimiento, etc. De esta variable de desprenden cinco

preguntas, estas fueron aplicadas al igual que las anteriores, a través de encuesta a diseñadores, se describen a continuación:

17) ¿Es importante contar con comunicación de conexión rápida?

Tres de los encuestados eligieron la respuesta A veces, dos Casi siempre, uno Casi nunca y uno Siempre.

18) ¿Sería una ventaja tener dispositivos de comunicación del tipo “plug and play”?

Tres escogieron la opción Siempre, al igual otros tres eligieron Casi siempre, solamente uno selecciono a veces.

19) ¿La obtención de información eléctrica en tiempo real de una planta, aportaría a la resolución de problemas y maximizar la operatividad de la misma?

Cinco de los encuestados marcaron la opción Siempre, uno Casi siempre y también uno A veces.

20) ¿La facilidad de conexión para la comunicación de máquinas y computadores aporta a la eficiencia en una planta industrial?

Cuatro diseñadores escogieron la respuesta Siempre, dos de ellos se fueron por la opción Casi siempre y solamente uno coloco A veces.

21) ¿Los usuarios finales piden módulos personalizados según sus necesidades, como visualización de características eléctricas por ejemplo?

Cuatro seleccionaron la respuesta A veces, dos Casi nunca y uno Casi siempre.

En las preguntas 19, 20 y 21 se observa algo de acuerdo entre los diseñadores encuestados, hubo mayorías marcadas en las respuestas, lo que brinda una tendencia acerca de los criterios más utilizados. En la pregunta 18 hay dos respuestas con la misma cantidad de selecciones, lo que indica un bajo acuerdo, incluso hubo un resultado aislado. Para la pregunta 17 si hay una respuesta con mayoría de respuestas, pero no es mucha la diferencia, por lo tanto también hay un bajo acuerdo.

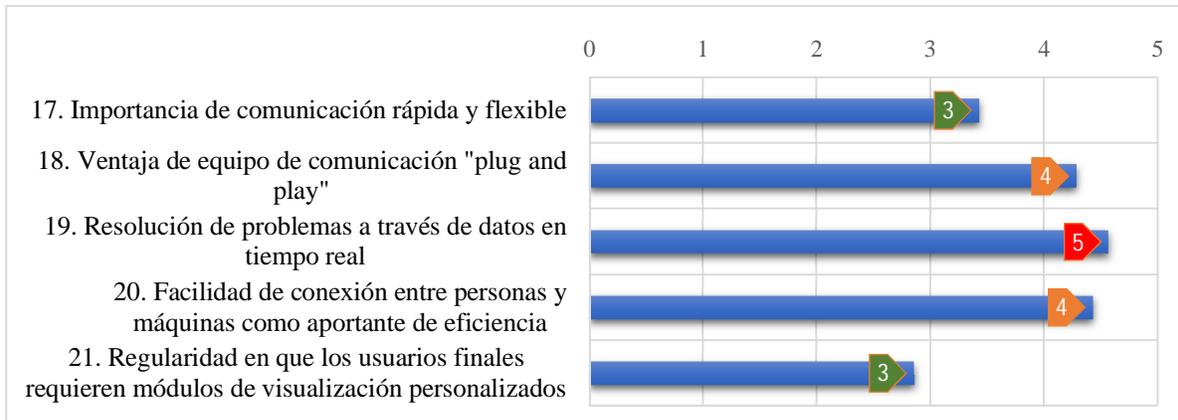


Figura 26. Gráfica de resultados promedio ponderado variable ABB Ability

Fuente: elaboración propia

En la figura 26 se observan los resultados del cálculo de promedio ponderado para las preguntas que se elaboraron de las preguntas correspondientes a la variable independiente Metalmeccánica, se puede decir que para los diseñadores es siempre importante o así lo consideran, el obtener datos en tiempo real como como un medio para resolver problemas. Casi siempre piensan que es una ventaja que los equipos de comunicación sean del tipo “plug and play” y además aporta a la eficiencia el hecho de que sea fácil poder conectar a las personas con las maquinas. Solo a veces lo ven como una ventaja o importante poseer una comunicación rápida y flexible, y la regularidad en solicitudes de módulos de visualización personalizados.

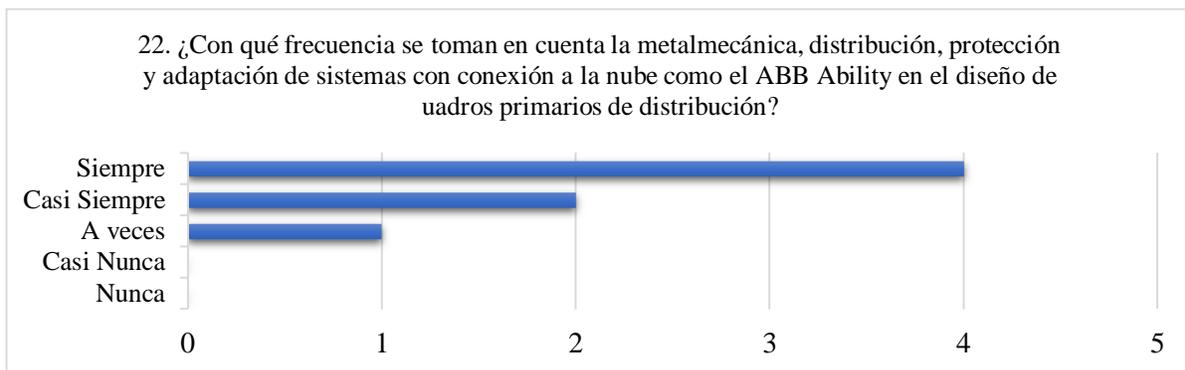


Figura 27. Gráfica de resultados variable dependiente Diseño

Fuente: elaboración propia

Se hizo una pregunta referente a la variable dependiente, la cual es el diseño como tal del cuadro primario de distribución, el objetivo de dicha pregunta es conocer la opinión de los diseñadores respecto a la frecuencia con que consideran se toman en cuenta todas las variables independientes de la presente investigación como un conjunto, para diseñar dicho cuadro o tablero eléctrico, en la figura 27 observamos las respuestas que cada uno de los siete encuestados respondió en la encuesta aplicada.

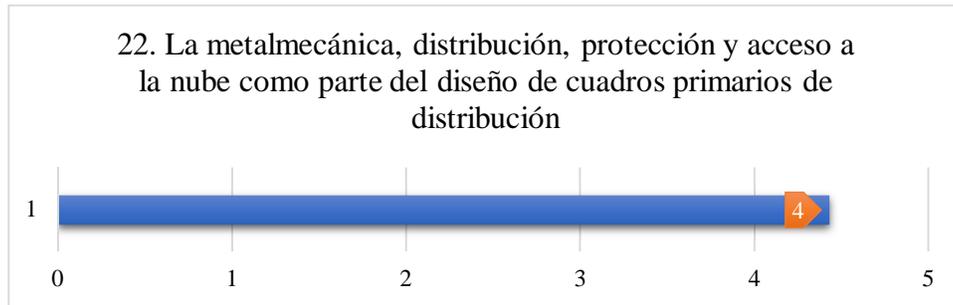


Figura 28. Gráfica de resultados promedio ponderado variable dependiente Diseño

Fuente: elaboración propia

En la gráfica 28 se observa el resultado del cálculo promedio ponderado para la pregunta 22, básicamente indica que los diseñadores casi siempre consideran que se deben tomar en cuenta las cuatro variables independientes de este estudio, es decir la metalmecánica, la distribución, protección y la adaptación de sistemas con comunicación a la nube como el ABB Ability.

4.3 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

A continuación se describirán los pasos para comprobar la hipótesis, estos son diferentes cálculos estadísticos hechos a partir de los datos obtenidos en las respuestas que arrojaron las encuestas. Con los datos obtenidos de las encuestas aplicadas a los expertos, se aplica la prueba factorial de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Bartlett. “La prueba de KMO se aplica para conocer qué tan adecuada es la información para someterla a un análisis factorial, la prueba busca encontrar la adecuación del muestreo por variable.” (Statistics How To, 2016, p.1). Mediante la prueba de Bartlett sabremos “la existencia de redundancia entre la variables y si estas pueden ser reducidas a factores de significancia” (Statistics How To, 2014, p.1).

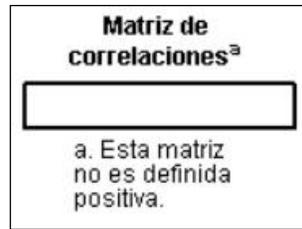


Figura 29. Resultado del cálculo estadístico KMO

Fuente: (IBM SPSS Statistics, 2018)

Al aplicar las pruebas antes mencionadas en el software SPSS, no obtenemos ningún resultado, como se puede observar en la Figura 29. Como subíndice aparece “esta matriz no es definida positiva”. Las matrices no definidas positivas no pueden ser sometidas a un análisis factorial. Las matrices no definidas positivas se dan principalmente a dependencia lineal de los datos, “una matriz de covarianza definida no positiva es señal de un dependencia lineal de una variable a otra” (Rigdon, 1997, p.1).

Es necesario verificar que existen las correlaciones entre las preguntas del instrumento de encuesta, para esto se aplica la prueba de correlación bivariada. La correlación bivariada “está basada en la dependencia o asociación lineal, es decir, que cuando los valores de una variable aumentan los valores de otra variable pueden aumentar o disminuir proporcionalmente”(Cardenas, 2013, p.1). La correlación o dependencia de las variables se verifica mediante los datos significancia y correlación de Pearson, esto se muestra a continuación.

| | | 1. ¿Considera importante que el envoltente cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación? | 2. ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución? | 3. ¿Conoce el grado de protección IK del envoltente? | 4. ¿El usuario final da indicaciones sobre el grado IK? |
|--|---|---|--|--|---|
| 1. ¿Considera importante que el envoltente cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación? | Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N | 1 7 | ,540 7 | ,944** ,001 7 | ,354 7 |
| 2. ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución? | Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N | ,540 7 | 1 7 | ,540 7 | ,000 7 |
| 3. ¿Conoce el grado de protección IK del envoltente? | Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N | ,944** 7 | ,540 7 | 1 7 | ,471 7 |

Figura 30. Resultado del cálculo estadístico correlación bivariada

Fuente: (IBM SPSS Statistics, 2018)

En la Figura 30 se muestra la correlación existente entre dos variables de análisis. Según la información que se obtiene la significancia es de 0.001, este valor debido a que es menor a 0.05 muestra que existe una dependencia o correlación entre la pregunta uno y la pregunta tres. El valor de correlación de Pearson es de 0.944, debido que este valor es bastante cercano a 1.00 se determina que la correlación entre ambas preguntas es casi perfecta. Esta correlación tan alta entre las dos variables antes mencionadas nos confirma lo mencionado algunos párrafos atrás, no es suficiente aplicar una prueba de KMO o de Bartlett porque existen dependencias lineales entre las variables. Esto es demostrado por el análisis de estadístico de correlación bivariada, demostrando la alta relación que algunas preguntas del instrumento de encuesta tiene.

Con el fin de verificar si los datos obtenidos por medio de las encuestas a los expertos se comportan como una distribución normal, se aplica una prueba de normalidad por medio del análisis de Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk. Debido que el tamaño de nuestra muestra es

menor a 50, debido a la utilización de expertos en el tema según lo indica el método Delphi, es acertado utilizar los datos de Shapiro-Wilk.

| | 1. ¿Considera importante que el envolvente cumpla con el grado de ... | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|--|---|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| | | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| 23. ¿Usted con cuanta frecuencia diseña cuadros primarios de distribución? | Siempre | .407 | 6 | .002 | .640 | 6 | .001 |

Figura 31. Resultado del cálculo estadístico Shapiro-Wilk

Fuente: (IBM SPSS Statistics, 2018)

En la Figura 31 se muestra que el valor de significancia es de 0.001, debido a que este valor es menor a 0.05, es posible decir con certeza que las variables analizadas en la investigación no siguen una distribución del tipo normal. Esto indica que nuestros datos no están distribuidos equitativamente alrededor de una media, al contrario por la naturaleza de la investigación los datos obtenidos tienen tendencia hacia un extremo. El instrumento de la encuesta se aplicó en expertos en el tema de diseño de cuadros primarios de distribución eléctrica, por ende los datos se agrupan a uno de los extremos de la escala de Likert utilizada. Sabiendo que anteriormente encontramos que existen correlaciones altas entre algunas de las preguntas de la encuesta y por ende en los datos obtenidos de estos, pero no en todos y debido a que no existe seguridad del tipo de distribución que nuestros datos tienen, nos enfrentamos a la posibilidad que los datos en su mayoría son independientes y que por lo tanto para cada pregunta de la encuesta existe una media independiente a las demás, se procede a la utilización de pruebas no paramétricas, con la intención de probar lo anterior.

| | 1. ¿Considera importante que el envolvente cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación? | 2. ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución? | 3. ¿Conoce el grado de protección IK del envolvente? | 4. ¿El usuario final da indicaciones sobre el grado IK? | 5. ¿Es recomendado verificar el grado de protección IK e IP después de un impacto? |
|---------------|---|--|--|---|--|
| Chi-cuadrado | 6,000 | 3,750 | 3,750 | ,750 | 1,223 |
| gl | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Sig. asintót. | ,050 | ,153 | ,153 | ,687 | ,543 |

Figura 32. Resultado del cálculo estadístico Kruskal-Wallis

Fuente: (IBM SPSS Statistics, 2018)

Para poder obtener datos más contundentes con respecto al efecto que las variables independientes ejercen sobre la variable dependiente, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis o prueba de K muestras independientes. La prueba de Kruskal-Wallis “es un aprueba no paramétrica que es usada para determinar si existen diferencia estadísticas significativas entre dos o más grupos de variables independientes” (Laerd Statistics, 2018, p.1).

La Figura 32 muestra los datos obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis para las variables de la investigación. En la porción de la tabla que representa la Figura 32 se observan los valores de significancia asintótica para las variables, de los cinco valores mostrados en la captura se encuentra que uno de ellos es igual a 0.05. Esto demuestra que los datos obtenidos por el instrumento de encuesta se comportan de manera independiente con respecto a los demás, confirmando así que existen diferencias estadísticas entre las variables independientes de la investigación. Basándose en la teoría, que para poder rechazar la hipótesis nula, al menos uno de los valores de significancia asintótica debe ser igual o menor a 0.05, de lo contrario se acepta la hipótesis alterna. Es por esto que de acuerdo a la información obtenida en la prueba de Kruskal-Wallis, se puede rechazar la hipótesis nula (H₀).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se plantean las conclusiones y recomendaciones a las cuales se ha llegado a partir de los resultados obtenidos y sus respectivos análisis. El orden en que se hará es de acuerdo a los objetivos planteados en el capítulo uno de la presente investigación. Se comienza a partir de la prueba de hipótesis que se hizo en el capítulo anterior, es decir el cuatro. Posteriormente se revisara cada objetivo siendo guiados por la variable independiente con la cual esta enlazado por así decirlo. Por último se dará una recomendación para cada conclusión planteada.

5.1 CONCLUSIONES

En el apartado 5.1 se procederá a plantear cada una de las conclusiones que proveen respuesta a cada una de las preguntas de investigación anteriormente planteadas. En el caso de esta investigación suman cinco en total, la primera para la hipótesis, y las siguientes cuatro en orden con las cuatro variables independientes del estudio.

- 1) Se rechaza la hipótesis nula, para lo cual se utiliza la prueba Kruskal-Wallis y así determinar el valor de significancia asintótica entre variables independientes, debido a que el valor encontrado es igual o menor a 0.05, se acepta la hipótesis de investigación, lo que significa que los profesionales que se dedican a diseñar cuadros primarios de distribución si toman en cuenta la metalmecánica, distribución, protección y adaptación de sistemas con conexión a la nube como lo es el ABB Ability para el diseño de un cuadro de distribución primaria.
- 2) La metalmecánica de un cuadro primario de distribución eléctrica en una planta industrial se selecciona de acuerdo a los grados IP e IK de los componentes eléctricos.
- 3) El diseño de la distribución en un cuadro primario de distribución eléctrica se determina tomando en cuenta las magnitudes de voltaje y corriente, datos del transformador proporcionados por el fabricante y tipo de interruptor de baja tensión a utilizar.
- 4) En un cuadro primario de distribución eléctrica las protecciones se seleccionan de acuerdo a la corriente de cortocircuito, de esta manera se selecciona el tipo de interruptor, la capacidad interruptora de corte y la coordinación de los interruptores aguas arriba.

- 5) La adaptación del ABB Ability en un cuadro primario de distribución eléctrica se valida por las características de “Plug and Play”, resolución de problemas por datos en tiempo real y fácil conexión entre personas y máquinas.

5.2. RECOMENDACIONES

En el apartado 5.2 se desarrollan las recomendaciones planteadas para cada una de las conclusiones anteriormente planteadas en el apartado 5.1. Cabe recalcar que estas no son soluciones definitivas, sin embargo, bajo la integridad de lo que este estudio ha abarcado, se consideran muy buenas opciones.

- 1) Se recomienda desarrollar una normativa para instalaciones eléctricas de país, con el fin de homogenizar los conocimientos, destrezas, materiales y dispositivos necesarios para el diseño e instalación de cuadros primarios de distribución eléctrica.
- 2) Capacitar sobre los tipos de segregación para cuadros primarios de distribución eléctrica, con el fin de mejorar el diseño de estos.
- 3) Tomar siempre en cuenta la escalabilidad del cuadro primario de distribución eléctrica, consultar con el cliente por futuras ampliaciones que podrían realizarse al cuadro eléctrico.
- 4) Reforzar los conocimientos del diseño de selectividad de los interruptores aguas abajo, para adecuar el disparo interruptores únicamente necesarios ante una falla.
- 5) Se recomienda comunicar a los clientes/usuarios finales las ventajas que las soluciones de conexión en tiempo real como el ABB Ability pueden traer a sus plantas de producción.

5.3 APLICABILIDAD

A continuación se presenta la planificación correspondiente al diseño y montaje de un cuadro primario de distribución, los planes que se presentan son de acuerdo a la metodología del PMI (Project Management Institute). Se pone como ejemplo un cuadro con características específicas, ya que en la realidad el diseño depende de las necesidades particulares que el usuario final tiene, sin embargo el poder realizar la planificación para el ejemplo aquí presentado puede servir como una guía real y así ajustarlo a otros diseños, cabe aclarar que este ejemplo es real y 100% funcional en una planta industrial hondureña de la actualidad.

5.3.1 ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO

En la Tabla 13 se observa lo que se denomina como un acta de constitución del proyecto, en ella se encuentran los datos básicos de la propuesta, se tiene el nombre del proyecto, quien prepara el documento, la justificación para realizar dicho proyecto, el objetivo principal, también se incluyen los requisitos y riesgos de alto nivel, algunas restricciones, una estimación del costo, y finalmente una parte que no puede faltar, quien es el director del proyecto y su nivel de autoridad. “El acta de constitución del proyecto proporciona una descripción de alto nivel del proyecto y de las características del producto. Contiene además los requisitos de aprobación del proyecto” (Project Management Institute, Inc., 2013, p.121).

Tabla 13. Acta de Constitución del Proyecto

| | | |
|----------------------------------|---|-----------------------|
| Nombre del Proyecto: | Diseño y montaje de cuadro primario de distribución eléctrica. | |
| Unidad Responsable: | Integrador X | |
| Preparado por: | Ing. Saúl Castro | |
| Justificación del proyecto: | Este proyecto tiene como objetivo el diseño metalmecánico, distribución, protección e integración del ABB Ability de un cuadro primario de distribución eléctrica, junto con su montaje en la empresa Azucarera X. | |
| Objetivo: | Integrar cuadro primario de distribución eléctrica, cumpliendo con los requisitos metalmecánico, de distribución, de protección y de adaptación del ABB Ability para la empresa Azucarera X. | |
| Requisitos de Alto Nivel: | Diseño metalmecánico, de distribución, de protección y adaptación de ABB Ability de cuadro de distribución eléctrica. Cotización y compra de materiales y equipos eléctricos. Montaje de cuadro primario de distribución eléctrica. Entrega de proyecto. | |
| Riesgos de Alto Nivel: | Atrasos en el diseño del cuadro primario. Falta de inventario en materiales y equipos necesarios para proyecto. Retrasos en la entrega de los materiales y equipos a utilizar. Complicaciones en el montaje del cuadro primario. | |
| Restricciones del Proyecto: | Estimación preliminar de la duración del proyecto, 3 meses. Diseño y montaje de cuadro primario de acuerdo a normas y estándares internacionales. Utilización de materiales y equipos eléctricos especificados por el cliente. | |
| Estimación Preliminar del costo: | | |
| Director del proyecto: | Luis Martínez, nivel de autoridad: Selecciona a los miembros del equipo de trabajo. | |
| | | |
| Gerencia Ejecutiva | | Director de Proyectos |
| | | |

Fuente: elaboración propia

5.3.2 DECLARACIÓN DEL ALCANCE

La declaración del alcance es un documento que tiene como objetivo identificar lo que incluye y lo que no incluye un proyecto. Es de suma importancia ya que define de una manera temprana los límites, restricciones y resultados esperados, sin embargo es necesario no alargarlo mucho, generalmente con una página es suficiente. Los componentes más comunes de la declaración del alcance son la descripción del proyecto, los entregables, criterios de aceptación, exclusiones, limitaciones, riesgos preliminares, suposiciones, etc. aunque esto no está escrito en piedra, generalmente dependerá de la envergadura del proyecto.

Declaración del Alcance:

- 1) Breve descripción del proyecto: Diseño y montaje de un cuadro primario de distribución eléctrica, en una empresa Ingenio Azucarero X, cumpliendo con estándares y normas internacionales.
- 2) Alcance del producto:
 - a. Diseño metalmecánico, de distribución, de protección y adaptación de ABB Ability.
 - b. Montaje del cuadro primario de distribución eléctrico.
- 3) Entregables:
 - a. Diseño metalmecánico, de distribución, de protección y adaptación de ABB Ability.
 - b. Adquisición de materiales y equipos eléctricos.
 - c. Montaje de cuadro primario de distribución eléctrico.
 - d. Pruebas eléctricas previas a la entrega.
- 4) Criterios de aceptación:
 - a. El diseño y el montaje del cuadro primario de distribución eléctrica, de acuerdo a la norma IEC 61439.
 - b. Utilización de materiales y equipos eléctricos sugeridos por el cliente.
- 5) Restricciones:
 - a. Estimación preliminar de la duración, 3 meses.
 - b. Diseño del cuadro primario de distribución eléctrica de acuerdo a normas y estándares internacionales.
 - c. Montaje del cuadro primario de distribución eléctrica de acuerdo a la norma IEC 61439.

- 6) Riesgos preliminar identificados:
- a. Atrasos en el diseño del cuadro primario.
 - b. Falta de inventario en materiales y equipos eléctricos necesarios.
 - c. Atrasos en la entrega de los materiales y equipos eléctricos.
 - d. Complicaciones en el montaje del cuadro primario de distribución eléctrica.
 - e. Fallas identificadas en las pruebas eléctricas.

5.3.3 ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL TRABAJO

La Estructura de Desglose del Trabajo, más conocida como la EDT, también se identifica por su significado en inglés con las siglas WBS, busca representar de una manera gráfica los entregables del proyecto y una descomposición de los mismos, generalmente dichos componentes de nivel inferior deben llegar al punto donde es un producto verificable. “La EDT/WBS representa todo el trabajo necesario para realizar el producto y el proyecto, e incluye el trabajo de dirección del proyecto. El total del trabajo correspondiente a los niveles inferiores debería corresponder al acumulado para los niveles superiores...” (Project Management Institute, Inc., 2013, p.130).

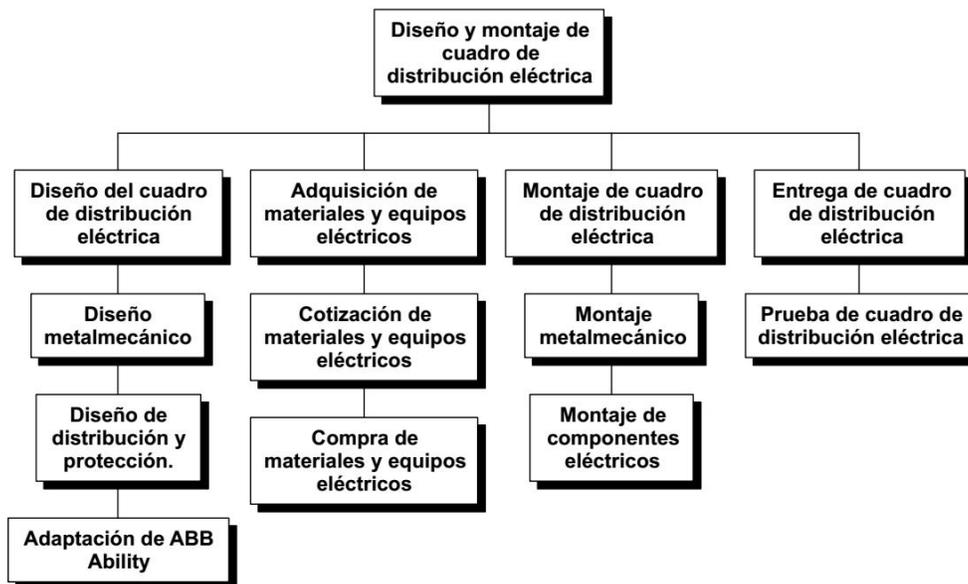


Figura 33. Estructura del Desglose de Trabajo

Fuente: elaboración propia

5.3.4 PLAN DE GESTIÓN DEL TIEMPO

En el plan de gestión del tiempo para el proyecto se recurre a la utilización de un Diagrama de Gantt para representar el cronograma, se parte de los entregables y los paquetes de trabajo en que se dividieron dichos entregables, se estima el tiempo que tomara cada una de las tareas, así se llega a deducir cuanto durara cada entregable y además se aprecia cómo se relacionan uno con otro, al final dando el resultado de la duración aproximada del proyecto.

| Task Name | Duration | Start | Finish |
|--|----------------|--------------------|---------------------|
| ↙ Diseño y montaje de cuadro primario de distribución eléctrica | 67 days | Mon 7/16/18 | Tue 10/16/18 |
| Inicio de Proyecto | 0 days | Mon 7/16/18 | Mon 7/16/18 |
| ↙ Diseño del cuadro de distribución eléctrica | 15 days | Mon 7/16/18 | Fri 8/3/18 |
| Diseño metalmecánico | 2 days | Mon 7/16/18 | Tue 7/17/18 |
| Diseño de distribución y protección | 10 days | Wed 7/18/18 | Tue 7/31/18 |
| Adaptación del ABB Ability | 3 days | Wed 8/1/18 | Fri 8/3/18 |
| Entrega diseño del cuadro de distribución electrica | 0 days | Fri 8/3/18 | Fri 8/3/18 |
| ↙ Adquisición de materiales y equipos eléctricos | 40 days | Mon 8/6/18 | Fri 9/28/18 |
| Cotización de materiales y equipos eléctricos | 5 days | Mon 8/6/18 | Fri 8/10/18 |
| Compra de materiales y equipos eléctricos | 5 days | Mon 8/13/18 | Fri 8/17/18 |
| Espera de recepción de materiales | 30 days | Mon 8/20/18 | Fri 9/28/18 |
| Recepción de materiales | 0 days | Fri 9/28/18 | Fri 9/28/18 |
| ↙ Montaje del cuadro de distribución eléctrica | 5 days | Mon 10/1/18 | Fri 10/5/18 |
| Montaje metalmecánico | 3 days | Mon 10/1/18 | Wed 10/3/18 |
| Montaje de componentes electricos | 2 days | Thu 10/4/18 | Fri 10/5/18 |
| Entrega montaje de cuadro de distribución eléctrica | 0 days | Fri 10/5/18 | Fri 10/5/18 |
| ↙ Entrega del cuadro de distribución electrica | 1 day | Mon 10/8/18 | Mon 10/8/18 |
| Pruebas de cuadro de distribución eléctrica | 1 day | Mon 10/8/18 | Mon 10/8/18 |
| Final de Proyecto | 0 days | Tue 10/16/18 | Tue 10/16/18 |

Figura 34. Cronograma del Proyecto – Diagrama de Gantt

Fuente: elaboración propia

En la figura 34 se observa que el Diagrama de Gantt que resulta de los entregables y la subdivisión de las tareas o paquetes de trabajo, estima un tiempo total estimado para el proyecto de 67 días, si se supone que se trabajaran 6 días a la semana, equivale 11-12 semanas

aproximadamente, ósea 3 meses. Las estimaciones se hacen con datos históricos reales de proveedores e integrador de esta clase de equipos eléctricos. A continuación en la figura 35 se podrá observar la otra parte del Diagrama, es decir la gráfica. Las fechas son ficticias, sin embargo las duraciones si son reales, tal y como se explicó anteriormente.

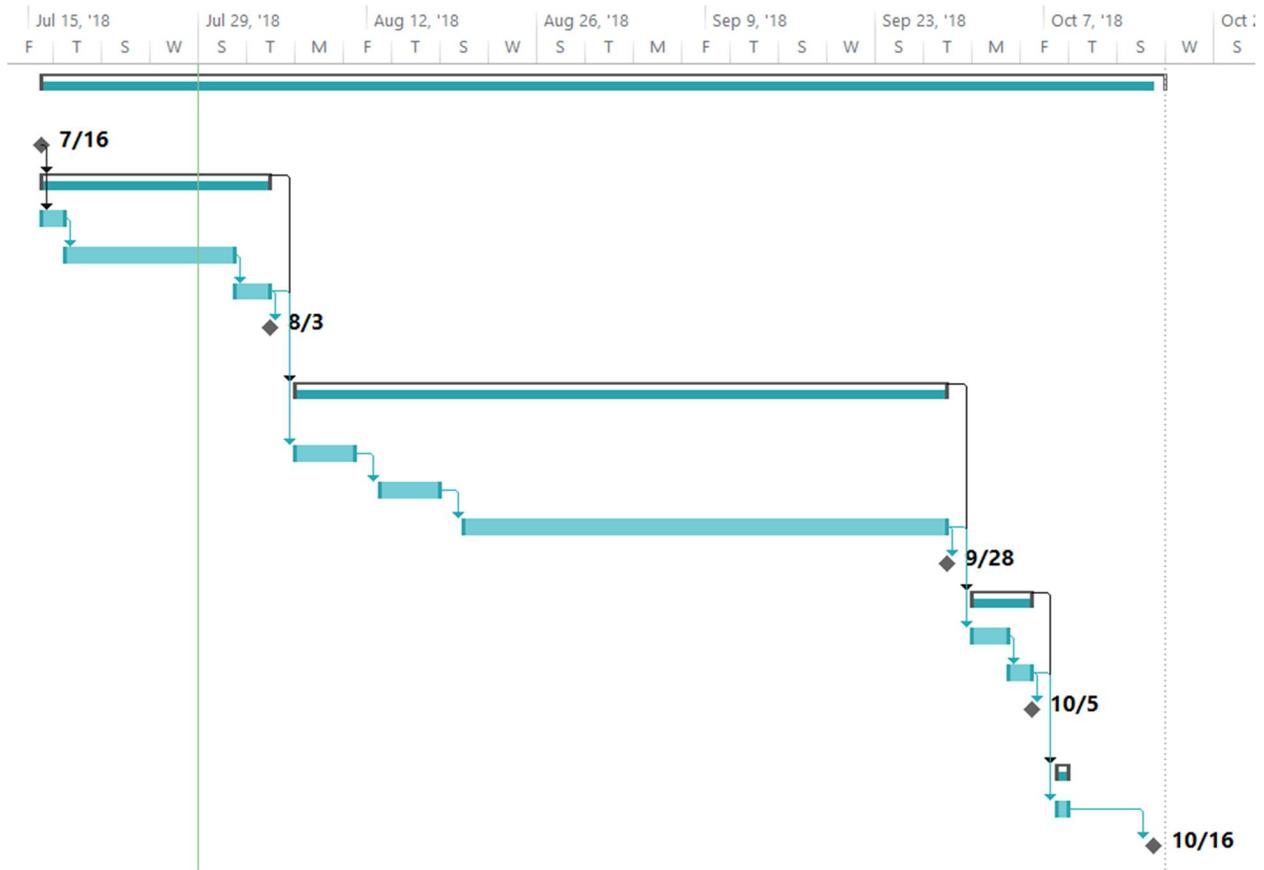


Figura 35. Gráfica – Diagrama de Gantt

Fuente: elaboración propia

El diagrama de Gantt ilustra las relaciones que tienen los entregables y tareas unos con otros, además muestra las fechas que tomarán cada uno de ellos. En el caso del proyecto cada proyecto sigue al finalizar el anterior, y de igual manera se comportan las actividades dentro de esos entregables. Con el tiempo estimado de 67 días, se observa que abarca aproximadamente 3 meses en total.

5.3.5 PLAN DE GESTIÓN DE LOS COSTOS

Los costos son una parte sensitiva del proyecto, obtenerlos no debería ser complicado para un integrador o diseñador de equipos eléctricos, puede ser que las adquisiciones se hagan a través de canales de distribución o incluso de manera directa con fabricantes, sin embargo estos últimos generalmente se concentran a través de sus distribuidores autorizados, por lo que para este proyecto, dada la particularidad que es un integrador o diseñador el que está realizando el mismo, se estiman los costos con precios de venta al público. Los componentes que representan los costos más grandes son los interruptores automáticos y sus accesorios de conexión como terminales, bobinas de apertura y cierre, contactos auxiliares, etc. La otra parte que tiene un alto costo es la metalmecánica que forma la estructura del gabinete o cuadro. La mano de obra de los dos técnicos es muy poco significativa en comparación al costo de los equipos antes mencionados, y además es fácil de calcular, ya que generalmente este persona gana un poco arriba del salario mínimo y por un periodo corto de tiempo.

Tabla 14. Costos estimados del proyecto

| Componentes principales | Unidad | Costo unitario | Costo total |
|--|--------|----------------|------------------|
| Interruptores automáticos y sus accesorios | 1 | \$ 35,000 | \$ 35,000 |
| Metalmecánica para armar gabinete | 1 | \$ 8,150 | \$ 8,150 |
| Mano de obra de los técnicos | 2 | \$ 300 | \$ 600 |
| Ingeniero de diseño | 1 | \$ 1,000 | \$ 1,000 |
| TOTAL | | | \$ 44,750 |

Fuente: elaboración propia

La tabla 14 muestra de forma bien resumida los costos que pueden involucrar un proyecto para diseñar y ensamblar un cuadro primario de distribución, en este caso se estimaron tomando en cuenta un interruptor principal de 3200 A con una construcción de potencia, ósea al aire, la corriente de cortocircuito de este aparato es de 66kA@440 V AC, este también viene equipado con una unidad de medición con pantalla y comunicación incluida, los ramales son 4 interruptores de 1600 A, también de potencia, y con una corriente de corto circuito de 50kA@440 V AC. La metalmecánica se compone de un grado de protección IP 65. Las puertas son de vidrio templado con un grado IK 10, el detalle se podrá observar de mejor manera a continuación.

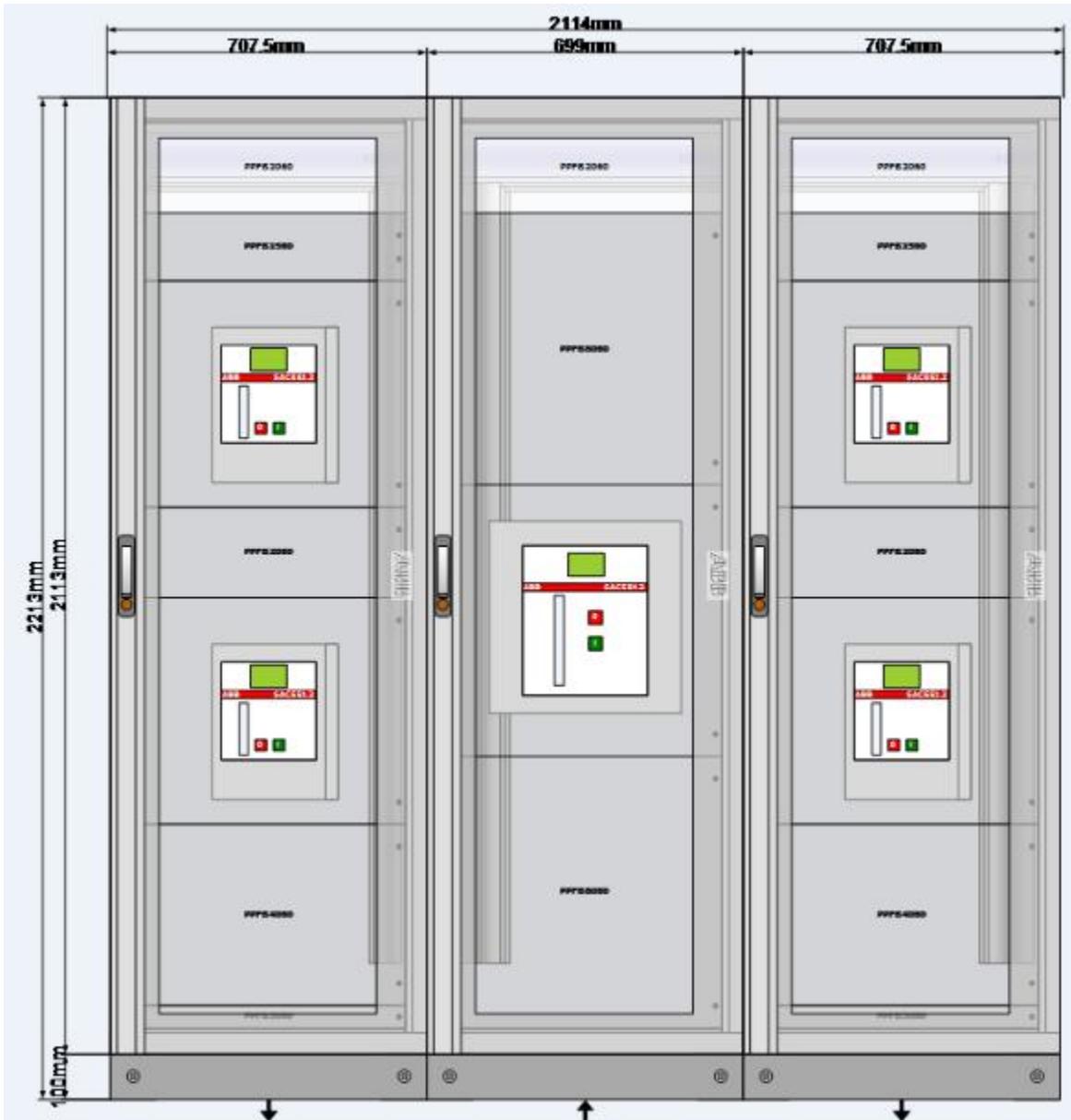


Figura 36. Cuadro de distribución primaria del proyecto

Fuente: elaboración propia

En el medio se encuentra el interruptor principal, este es el de 3200 A, luego a ambos lados se encuentran los cuatro ramales de 1600 A. Hay unas flechas en la parte de debajo del cuadro, estas señalan las entradas y las salidas de cables, también indica que de hecho entran y salen por debajo ya que es posible también hacer esto por la parte de arriba, es una ventaja de este tipo de armado de la metalmecánica al ser modulares.

Tabla 15. Plan de gestión del costo

| Personas autorizadas a solicitar cambios en el costo: | | |
|---|----------------|---------------------|
| Nombre | Cargo | Ubicación |
| Saúl Castro | Jefe de diseño | San Pedro Sula |
| Persona(s) que aprueba(n) requerimientos de cambios en costo contractual: | | |
| Nombre | Cargo | Ubicación |
| Olvin Guerra | Patrocinador | Ingenio Azucarero X |
| Persona(s) que aprueba(n) requerimiento de cambio de costo interno ofrecido: | | |
| Director de Proyecto | | |
| Razones aceptables para cambios en el Costo del Proyecto: | | |
| <p>Adecuación en el Alcance del Proyecto (cambios) Ampliaciones en el Alcance del Proyecto Cambios en las fechas de entrega (aceleraciones) Restricción presupuestal Otros debidamente sustentados.</p> | | |
| Como serán administrados los cambios en el costo: | | |
| <p>Los cambios en el costo se denominarán presupuestos adicionales o deductivos, lo que corresponda. Quien sea el autorizado para solicitar cambios en el costo, llevará la solicitud a la persona autorizada para aprobar dicho cambio, acompañando su solicitud con los debidos sustentos. La aprobación de un presupuesto adicional dependerá de que tan bien sea demostrado que son necesarios para poder terminar el proyecto con el alcance de forma correcta, y que la causa de su existencia sean omisiones en la declaración correcta del alcance. El único que puede aprobar modificaciones que no cumplan con lo arriba descrito, es el patrocinador del proyecto.</p> | | |
| Procedimiento para aprobar un presupuesto adicional o un deductivo: | | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. En un máximo de tres días posterior al hecho que provoque una modificación en el costo del proyecto, quien este autorizado a solicitar cambios en el costo, presentará una solicitud bien fundamentada, que incluya las causas y la modificación al presupuesto con los costos y un sustento analítico. 2. Quien sea el autorizado para aprobar el cambio en el presupuesto, en un máximo de dos días calendario posterior a la recepción de la solicitud, debe hacer un análisis, y de concluir que si procede, debe emitir una orden para proceder, con la debida autorización del cambio al costo. 3. Cuando la orden es emitida, el equipo es responsable de actualizar la documentación afectada. | | |

Fuente: elaboración propia

La tabla 15 muestra el plan de la gestión del costo, este persigue como objetivo fundamental el comunicar como se harán los diferentes procedimientos que involucran los costos o el presupuesto. En él se señala quienes son los autorizados a solicitar cambios, también los que aprueban requerimientos de cambios en el costo contractual, y finalmente la persona que aprueba requerimientos de cambio de costo interno ofrecido. Se describen las razones aceptables para poder hacer un cambio en el costo, como se deberían administrar los cambios en el mismo y además el procedimiento para poder aprobar un presupuesto adicional o un deductivo.

5.3.6 PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

La calidad del tablero o cuadro primario de distribución a entregar, se asegura a través del uso de una lista de verificación, es una manera rápida, concisa y fácil para revisar cada uno de los entregables de acuerdo al estándar de calidad que el ingeniero de diseño decida que se le debe aplicar a cada uno de ellos. Sirve como una forma para que los técnicos estén conscientes de lo mínimo que se revisara de su trabajo, ya que contiene indicaciones claras, además contribuye al apego de la integridad de los equipos, ya que el ingeniero de diseño puede utilizar los instructivos de cada equipo para determinar cómo se debería ver el producto final.

Tabla 16. Lista de verificación de calidad por entregables

| Actividad | Requisito de calidad | Cumplimiento / Plan de mejora |
|--|---|-------------------------------|
| Diseño metalmecánico | Grado de protección IP Grado de protección IK Nivel de corrientes apropiado Cumplimiento con la norma requerida | |
| Diseño de distribución y protección | Cumplimiento de los valores eléctricos de diseño: Corriente nominal Voltaje nominal Corriente de corto circuito | |
| Adaptación de ABB Ability | Conectividad con la red de internet Acceso a la nube de ABB Ability | |
| Cotizar materiales y equipos eléctricos | Proveedores que distribuyen fabricantes certificados con la norma requerida Al menos 3 cotizaciones diferentes | |
| Compra de materiales y equipos eléctricos | Tiempo de entrega alineado al cronograma del proyecto Balance costo/beneficio, alineado al costo estimado del proyecto | |
| Recepción de materiales y equipos eléctricos | Inspección de los materiales y equipos, cumplimiento con lo ofertado por los proveedores | |
| Montaje metalmecánico | Acorde a instructivo del fabricante y diseño del ingeniero | |
| Montaje de componentes eléctricos | Acorde a instructivo del fabricante y diseño del ingeniero | |
| Pruebas al cuadro de distribución eléctrica | Pruebas del funcionamiento en el circuito de control Pruebas mecánicas a la estructura | |

Fuente: elaboración propia

La tabla 16 enlista todas las actividades que involucra cada entregable, así mismo los requerimientos de calidad que deberán cumplir, en la columna a la derecha el ingeniero de diseño verificara lo explicado anteriormente. Si hay que hacer algún cambio lo planteara y firmara hasta que sea completado satisfactoriamente. La lista de verificación es adaptable a las necesidades del cliente, ya que según los requerimientos puede ser más o menos complejo, lo importante es asegurarse de que el proyecto cumpla con los estándares de calidad.

5.3.7 PLAN DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS

Los recursos humanos para el desarrollo del proyecto requieren de una planificación, tal y como lo define el PMI:

El plan de gestión de los recursos humanos, el cual forma parte del plan para la dirección del proyecto, proporciona una guía sobre el modo en que se deberían definir, adquirir, dirigir y finalmente liberar los recursos humanos del proyecto. El plan de gestión de los recursos humanos y sus revisiones posteriores, también son entradas al proceso Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto. (p.264)

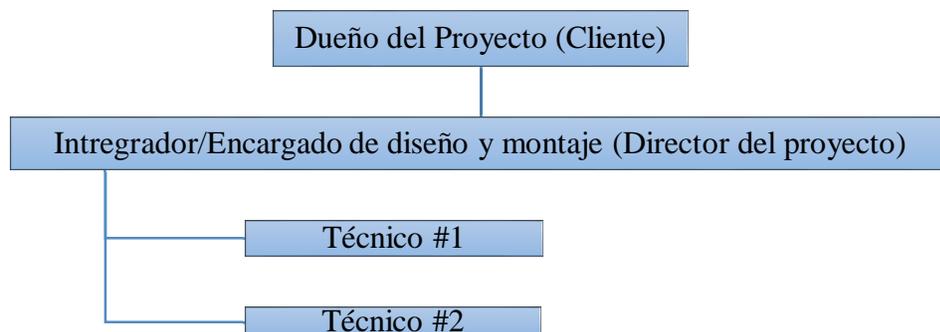


Figura 37. Organigrama del proyecto

Fuente: elaboración propia

El organigrama que se observa en la Figura 37 corresponde al del proyecto, el dueño del proyecto es el cliente, en este caso un Ingenio Azucarero, además hay un diseñador que es el integrador, el cerebro detrás de cómo se hará la disposición de los equipos en base a los requerimientos del usuario final y los cálculos correspondientes, luego se ve que hay dos técnicos quienes harán el trabajo manual, como el armado de la metalmecánica, colocación de los equipos, cableado, etc. Estos dos técnicos son supervisados directamente por el integrado o diseñador.

Tabla 17. Matriz RACI

| Actividad | Patrocinador | Integrador / Encargado de diseño y montaje (Director de Proyecto) | Técnico #1 | Técnico #2 |
|--|--------------|---|------------|------------|
| Diseño metalmecánico. | A | R | I | I |
| Diseño de distribución y de protección. | A | R | I | I |
| Diseño de adaptación de ABB Ability. | A | R | I | I |
| Adquisiciones materiales y equipos eléctricos. | A | R | I | I |
| Montaje metalmecánico. | I | A | R | C |
| Montaje de equipos eléctricos. | I | A | R | C |
| Pruebas eléctricas. | I | A | C | R |

Fuente: elaboración propia

La tabla 17 que representa la matriz RACI, tiene un significado específico, sus siglas describen su objetivo principal, la R es por Responsable del entregable, A como quien Aprueba el entregable, C porque hay que Consultar a esa persona y finalmente la I nos dicen que hay que Informar. Los miembros que observamos en el organigrama de la figura 37 también son traídos a la matriz RACI, además incluyendo al patrocinador, según la actividad a cada uno se le brinda un rol a través de las siglas que representan RACI.

Tabla 18. Descripción de roles

| |
|--|
| Nombre del rol: Integrador / Encargado de diseño y montaje |
| Objetivo del rol |
| Es la persona encargada de gestionar el proyecto, desarrolla el diseño metalmecánico, de distribución, de protecciones y adapta el ABB Ability, supervisa y aprueba el montaje del cuadro primario de distribución eléctrica y las pruebas eléctricas. |
| Responsabilidades |
| Diseño metalmecánico, de distribución, de protección y adaptación el ABB Ability. Adquisición de materiales y equipos eléctricos. Aprobación de montaje del cuadro primario de distribución eléctrica. Aprobación de pruebas eléctricas. |
| Reporta a |
| Patrocinador |
| Supervisa a |
| Técnicos #1 y #2 |
| Nombre del rol |
| Técnico |
| Objetivo del rol |
| Montaje metalmecánico, de distribución, de protección y ABB Ability, de acuerdo a especificaciones de diseño. |
| Responsabilidades |
| Montaje metalmecánico, de distribución, de protección y ABB Ability. Aplicación de pruebas eléctricas. |
| Reporta a |
| Integrador / Encargado de diseño y montaje. |

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 18 se observa lo que se conoce como una descripción de los roles, para cada uno de los integrantes del organigrama, en este caso solo hay dos. Se definen varios elementos como el objetivo que tiene ese rol, sus responsabilidades, a quien reporta y a quien supervisa.

5.3.8 PLAN DE GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES E INTERESADOS

El Plan de Gestión de las Comunicaciones de este proyecto incluye un procedimiento para tratar las polémicas que se puedan llegar a dar, también la forma en que se debe actualizar el plan de gestión de las comunicaciones y una guía para eventos de comunicación como reuniones. Además se ha incluido una Matriz de Poder e Interés que ilustra como los diferentes interesados identificados deben ser tratados, algunos de ellos simplemente monitorean, a otros se les debe mantener informados, también mantener satisfechos y los que tienen un mayor poder e interés hay que gestionarlos de cerca. Finalmente se encuentra la Matriz de Comunicación del Proyecto, la cual detalla como la información fluirá durante el mismo.

Tabla 19. Plan de Gestión de las Comunicaciones

| |
|---|
| Procedimiento para tratar polémicas: |
| A través de observación y conversación se captan las polémicas, también si expresado formalmente por un grupo o persona. Se registran a través de un correo electrónico detallando la polémica y enviándola al director de proyectos. Si una polémica no puede ser resuelta o en caso de que se convierta en un problema se abordara con el patrocinador, el director de proyecto y los miembros pertinentes, utilizando la negociación y solución de conflictos. |
| Procedimiento para actualizar el plan de gestión de comunicaciones: |
| La actualización del Plan de Gestión de las Comunicación se hará en los siguientes casos: Solicitudes de cambio aprobadas. Acciones correctivas con impacto en requerimientos o información pertinentes a los interesados. Ingreso o salida de personal. Cambios de roles. Solicitudes de informes y reportes inusuales. |
| Continuación de Tabla 18 |
| Pasos para la actualización del Plan de Gestión de las Comunicaciones: Identificación de interesados. Determinación de requerimientos de información. Elaboración de Matriz de Comunicaciones del Proyecto. Actualización del Plan de Gestión de las Comunicaciones. Aprobación de la actualización. Comunicación del nuevo Plan de Gestión de las Comunicaciones. |
| Guías para eventos de comunicación: |
| Guía para reuniones: Mediante comunicación verbal, reuniones en el tiempo que el director de proyectos determine prudente. Se documenta en la reunión situaciones como: cambios y polémicas, para seguirles con el procedimiento correspondiente. |

Fuente: elaboración propia

El Plan de Gestión de las Comunicaciones se observa en la Tabla 19, según el PMI (2013): “Planificar la Gestión de las Comunicaciones es el proceso de desarrollar un enfoque y un plan adecuados para las comunicaciones del proyecto sobre la base de las necesidades y los requisitos de información de los interesados y de los activos de la organización disponibles” (p.289).

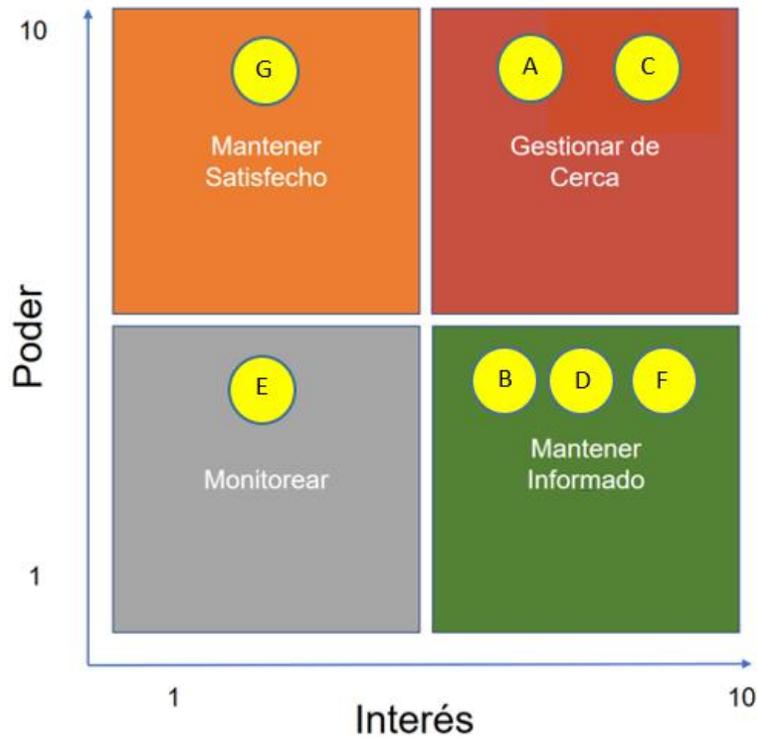


Figura 38. Matriz de poder e interés

Fuente: elaboración propia

Para el desarrollo del proyecto es de gran importancia identificar los interesados, ya que son afectados por el desarrollo del proyecto y que pueden afectar de igual manera el desarrollo del mismo en general. En este caso se utilizó una matriz donde se definen todos los interesados identificados y se les da un valor entre 1 y 10 para el nivel de poder e interés, cuya combinación los ubica en los cuatro cuadrantes del gráfico: Monitorear para los de bajo poder y bajo interés, aquí se ubica el personal de planta en general; mantener informados a los de bajo poder y alto interés que son los que van a participar activamente en el proyecto pero tienen poco poder de decisión como ser el departamento de compras, departamento de producción y el proveedor de los

equipos eléctricos quienes estarán apoyando durante el desarrollo del proyecto, mantener satisfechos a los de bajo interés y alto poder donde solo se ubicó la gerencia general quien patrocina la obra y por ultimo Gestionar de Cerca a los de alto poder y alto interés como el departamento de mantenimiento y el departamento de seguridad, quienes estarán de cerca en el montaje y pruebas del cuadro primario de distribución eléctrica.

Tabla 20. Plan de Gestión de las Comunicaciones

| INTERESADO | ABREVIATURA | NIVEL DE INTERES | NIVEL DE PODER |
|-------------------------------|-------------|------------------|----------------|
| Departamento de mantenimiento | A | 10 | 10 |
| Departamento de compras | B | 8 | 5 |
| Departamento de seguridad | C | 10 | 10 |
| Departamento de producción | D | 9 | 4 |
| Personal de planta general | E | 3 | 3 |
| Proveedor de equipo | F | 9 | 2 |
| Gerencia general | G | 6 | 10 |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 20 se describen cada uno de los interesados identificados, los cuales fueron descritos anteriormente. La abreviatura de cada uno es la que se observa en la Matriz de Poder e Interés. El nivel de interés y de poder se pondera del uno al diez, siendo diez el máximo nivel.

Tabla 21. Matriz de Comunicación del Proyecto

| Información | Contenido | Formato | Nivel de detalle | Responsable de comunicar | Grupo receptor | Metodología o tecnología | Frecuencia de comunicación |
|------------------------------------|--|---------|------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| Avance del Proyecto, Planificación | Ubicaciones, horarios y fechas | Digital | Medio | Director del Proyecto | Departamento mantenimiento y seguridad | Correo electrónico | Semanal |
| Avance del Proyecto | Ubicaciones, horarios y fechas | Digital | Medio | Director del Proyecto | Departamento mantenimiento y seguridad | Correo electrónico | Semanal |
| Inicio del Proyecto | Planos, Matriz de Alcance del Proyecto | Impreso | Alto | Director del Proyecto | Gerencia general y departamentos interesados | Documentos por escrito - Memorándum | Una sola vez (Inicio del Proyecto) |

Fuente: elaboración propia

La matriz de Comunicación del Proyecto es observada en la Tabla 21, hay diferente información según el estado del proyecto, también se especifica que contenido tiene, el formato, el nivel de detalle con que se espera, quien es el responsable de comunicar y además quienes son los receptores, se detalla la metodología o tecnología a utilizar, y la frecuencia de dicha comunicación.

5.3.9 PLAN DE GESTIÓN DE LOS RIESGOS

El plan de gestión de los riesgos para el proyecto incluye un análisis cuantitativo y cualitativo del mismo. En el análisis cuantitativo se busca determinar el tipo de riesgo, este puede ser muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto, para eso se hacen una serie de cálculos. El análisis identifica dichos riesgos y el poder describirlos o imaginarlos de una forma adecuada.

Tabla 22. Ponderación de la probabilidad e impacto del riesgo

| Probabilidad | Valor Numérico | Impacto | Valor Numérico |
|------------------------|----------------|----------|----------------|
| Muy Improbable | 0.1 | Muy Bajo | 0.05 |
| Relativamente Probable | 0.3 | Bajo | 0.10 |
| Probable | 0.5 | Moderado | 0.20 |
| Muy Probable | 0.7 | Alto | 0.40 |
| Casi Certeza | 0.9 | Muy Alto | 0.80 |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 22 se le asigna un valor decimal a cada una de las probabilidades, lo cual tiene una lógica, por ejemplo si la probabilidad es de “casi certeza” entonces se les asigna un valor de 0.9, lo que en porcentaje es 90%. Además cada impacto también tiene un valor numérico, desde el muy bajo con un valor de 0.05, hasta el que es muy alto con un valor de 0.80. Esto se utilizara en la tabla del análisis del riesgo cualitativo y cuantitativo.

Tabla 23. Ponderación del tipo de riesgo

| Tipo de Riesgo | Valor Numérico |
|----------------|----------------|
| Muy Alto | mayor a 0.50 |
| Alto | menor a 0.50 |
| Moderado | menor a 0.30 |
| Bajo | menor a 0.10 |
| Muy Bajo | menor a 0.05 |

Fuente: elaboración propia

La tabla 23 muestra el valor numérico que se le asigna al tipo de riesgo, esto es básicamente la respuesta que se tiene del análisis cualitativo y cuantitativo del riesgo, por lo tanto si de acuerdo a los cálculos de los riesgos identificados se obtiene una respuesta final de 0.08, ese riesgo será denominado como “bajo”.

Tabla 24. Análisis Cualitativo y Cuantitativo de los riesgos

| Descripción del Riesgo | Causa Raíz | Entregables Afectados | Estimación de Probabilidad | Objetivo Afectado | Estimación de Impacto | Probabilidad x Impacto | Tipo de Riesgo |
|--|--|---|----------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| Atrasos en el diseño del cuadro primario de distribución eléctrica | Mal estimación del tiempo de diseño | Diseño del cuadro primario de distribución eléctrica | 0.5 | Alcance | | 0 | Alto |
| | | | | Tiempo | 0.8 | 0.4 | |
| | | | | Costo | 0.2 | 0.1 | |
| | | | | Calidad | | 0 | |
| | | | | Total Probabilidad x Impacto | | 0.50 | |
| Falta de inventario en los materiales y equipos eléctricos | Mal manejo del tiempo en las cotizaciones y compra | Adquisición de materiales y equipos eléctricos | 0.5 | Alcance | | 0 | Alto |
| | | | | Tiempo | 0.8 | 0.4 | |
| | | | | Costo | 0.1 | 0.05 | |
| | | | | Calidad | | 0 | |
| | | | | Total Probabilidad x Impacto | | 0.45 | |
| Retrasos en la entrega de materiales y equipos eléctricos | Complicaciones en el envío de los materiales y equipos pedidos al extranjero | Adquisición de materiales y equipos eléctricos | 0.7 | Alcance | | 0 | Muy Alto |
| | | | | Tiempo | 0.8 | 0.56 | |
| | | | | Costo | 0.2 | 0.14 | |
| | | | | Calidad | | 0 | |
| | | | | Total Probabilidad x Impacto | | 0.60 | |
| Complicaciones en el montaje del cuadro primario de distribución eléctrica | Defectos en materiales o equipos eléctricos utilizados en el montaje | Montaje del cuadro de distribución eléctrica | 0.3 | Alcance | | 0 | Alto |
| | | | | Tiempo | 0.8 | 0.24 | |
| | | | | Costo | 0.4 | 0.12 | |
| | | | | Calidad | | 0 | |
| | | | | Total Probabilidad x Impacto | | 0.36 | |
| Fallas presentadas durante las pruebas eléctricas | Errores de diseño o de montaje | Entrega del cuadro primario de distribución eléctrica | 0.3 | Alcance | | 0 | Alto |
| | | | | Tiempo | 0.8 | 0.24 | |
| | | | | Costo | 0.4 | 0.12 | |
| | | | | Calidad | 0.1 | 0.03 | |
| | | | | Total Probabilidad x Impacto | | 0.39 | |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 24 se identifican cinco riesgos, se describen y se determina una causa raíz probable, también se indica que entregable sería afectado por dicho riesgo y se estima una probabilidad, ver la tabla 22, luego se estima un impacto por objetivo afectado, también ese valor numérico se encuentra en la tabla 22, posterior se realiza una multiplicación de probabilidad x impacto, la suma de esos valores nos da un total, es ese valor que determina el tipo de riesgo, viendo la tabla 23 lo denominamos como muy alto, alto, moderado, bajo, o muy bajo.

Tabla 25. Plan de respuesta al riesgo

| Descripción del Riesgo | Causa Raíz | Entregables Afectados | Probabilidad por Impacto Total | Tipo de Riesgo | Responsable del Riesgo | Respuestas Planificadas | Tipo de Respuesta | Responsable de la respuesta | Plan de Contingencia |
|--|---|--|--------------------------------|----------------|--|--|-------------------|--|--|
| Atrasos en el diseño del cuadro primario de distribución eléctrica | Mal estimación del tiempo de diseño | Diseño del cuadro primario de distribución eléctrica | 0.5 | Alto | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Enfocar más recursos de diseño al proyecto | Mitigar | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Solicitar una ampliación al tiempo de entrega del diseño del cuadro primario de distribución eléctrica |
| | | | | | | Diseño de agenda detallada para el desarrollo del diseño | Evitar | | |
| Falta de inventario en los materiales y equipos eléctricos | Mal manejo del tiempo en las cotizaciones y compras | Adquisición de materiales y equipos eléctricos | 0.5 | Alto | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Identificación de comercios en la zona que distribuyan productos genéricos | Mitigar | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Desarrollar lista de materiales y equipos eléctricos equivalentes obtenibles localmente |
| | | | | | | Solicitar los materiales y equipos eléctricos con suficiente tiempo | Evitar | | |

Continuación de tabla 25

| Descripción del Riesgo | Causa Raíz | Entregables Afectados | Probabilidad por Impacto Total | Tipo de Riesgo | Responsable del Riesgo | Respuestas Planificadas | Tipo de Respuesta | Responsable de la respuesta | Plan de Contingencia |
|--|--|---|--------------------------------|----------------|--|--|-------------------|--|--|
| Retrasos en la entrega de materiales y equipos eléctricos | Complicaciones en el envío de los materiales y equipos pedidos al extranjero | Adquisición de materiales y equipos eléctricos | 0.7 | Mu y Alto | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Realizar cotizaciones en varios proveedores para comparar condiciones de entrega | Evitar | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Iniciar los trabajos de montaje con los materiales y equipos eléctricos que lleguen al inicio |
| | | | | | | Solicitar los materiales y equipos eléctricos con suficiente tiempo | | | |
| Complicaciones en el montaje del cuadro primario de distribución eléctrica | Defectos en materiales o equipos eléctricos utilizados en el montaje | Montaje del cuadro de distribución eléctrica | 0.3 | Alto | Técnico #1 | Selección de materiales y equipos eléctricos de buena calidad | Mitigar | Técnico #1 | Doblar esfuerzos de montaje con la asignación de responsabilidad al Técnico #2 |
| Fallas presentadas durante las pruebas eléctricas | Errores de diseño o de montaje | Entrega del cuadro primario de distribución eléctrica | 0.3 | Alto | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Supervisión y seguimiento continuo de parte del integrador | Evitar | Integrador / Encargado de diseño y montaje | Verificación y aislamiento de la falla, para identificación del desperfecto de diseño, montaje o falla de equipo eléctrico |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 25 se tiene el Plan de respuesta al riesgo, se define un responsable para dar respuesta, esa respuesta ya fue planificada con anterioridad, existen diferentes tipos de respuestas, algunas será de mitigar, otras para evitar, así mismo hay un responsable asignado a dicho riesgo, el cual incluso debe crear un plan de contingencia para el mismo.

Tabla 26. Plan de gestión de los riesgos

| PROCESO | DESCRIPCIÓN | HERRAMIENTAS | FUENTES DE INFORMACIÓN |
|--|---|--|---|
| Planificación de Gestión de Riesgos | Elaboración de plan de gestión de riesgos del proyecto en base a lo analizado. | PMBOK | Administrador del proyecto, miembros del equipo, plantillas |
| Identificación de Riesgos | Documenta los riesgos identificados y sus características | Matriz de identificación y evaluación de riesgos | Administrador del proyecto, miembros del equipo, Cliente, documentación e informes de proyectos anteriores. |
| Análisis Cualitativo de Riesgos | Evalúa impactos y probabilidades y los ordena por importancia. | Matriz de probabilidad e impacto | Administrador del proyecto, miembros del equipo, documentación de proyectos anteriores. |
| Análisis cuantitativo de riesgos | Evalúa impactos y probabilidades y los ordena por importancia. | Matriz de probabilidad e impacto | Administrador del proyecto, miembros del equipo, documentación de proyectos anteriores. |
| Planificación de respuesta a los riesgos | Planifica las respuestas a cada uno de los riesgos y define cuales son las respuestas. | Plan de respuesta a riesgos | Administrador del proyecto, miembros del equipo, documentación de proyectos anteriores, plan de reserva. |
| Seguimiento y Control de Riesgos | Monitorea la aparición de nuevos riesgos, ocurrencias, supervisa y verifica la ejecución de las respuestas. | Plan de respuesta a riesgos | Administrador del proyecto, miembros del equipo, Cliente, informes, Hoja de control de riesgos. |

Fuente: elaboración propia

El Plan de gestión de los riesgos observado en la tabla 26, identifica los diferentes procesos involucrados en la gestión de los riesgos, se describen y además se indican las herramientas a utilizar, este también posee las fuentes de información necesarias, puede ser revisado en cualquiera de las etapas del proyecto, y tiene una gran importancia ya que resume la gestión integral de los riesgos.

Tabla 27. Metodología de Gestión del riesgo

| Proceso | Descripción | Herramientas | Fuentes de información |
|--|---|--|---|
| Planificación de Gestión de Riesgos | Elaboración de plan de gestión de riesgos del proyecto en base a lo analizado. | PMBOK | Administrador del proyecto, miembros del equipo, plantillas |
| Identificación de Riesgos | Documenta los riesgos identificados y sus características | Matriz de identificación y evaluación de riesgos | Administrador del proyecto, miembros del equipo, Cliente, documentación e informes de proyectos anteriores. |
| Análisis Cualitativo de Riesgos | Evalúa impactos y probabilidades y los ordena por importancia. | Matriz de probabilidad e impacto | Administrador del proyecto, miembros del equipo, documentación de proyectos anteriores. |
| Análisis cuantitativo de riesgos | Califica el impacto y probabilidades y los ordena por importancia. | Matriz de probabilidad e impacto | Administrador del proyecto, miembros del equipo, documentación de proyectos anteriores. |
| Planificación de respuesta a los riesgos | Planifica las respuestas a cada uno de los riesgos y define cuales son las respuestas. | Plan de respuesta a riesgos | Administrador del proyecto, miembros del equipo, documentación de proyectos anteriores. |
| Continuación de Tabla 27 | | | |
| Proceso | Descripción | Herramientas | Fuentes de información |
| Seguimiento y Control de Riesgos | Monitorea la aparición de nuevos riesgos, ocurrencias, supervisa y verifica la ejecución de las respuestas. | Plan de respuesta a riesgos | Administrador del proyecto, miembros del equipo, Cliente, informes. |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 27 se describe lo que se conoce como la metodología para la gestión del riesgo, lo que incluye es cada uno de los pasos que involucran la gestión de los mismos, además describe cada procedimiento, la herramienta a utilizar para dicho procedimiento y finalmente quienes serán las fuentes de información para elaborar cada uno.

Tabla 28. Roles y responsabilidades de la gestión del riesgo

| Proceso | Roles | Personas | Responsabilidades |
|--------------------------------------|--|--|--|
| Planificación de gestión de riesgos | Equipo de gestión de riesgos: Líder Miembros | Administrador de proyecto Técnico 1 | Coordinar la actividad, responsable directo. Proporcionar ideas y definiciones, ejecutar. |
| Identificación de riesgos | Equipo de gestión de riesgos: Líder Miembros | Administrador de proyecto Técnico 1 | Coordinar la actividad, responsable directo. Proporcionar ideas y definiciones, ejecutar. |
| Análisis cualitativos de los riesgos | Equipo de gestión de riesgos: Líder Miembros | Administrador de proyecto Técnico 1 | Coordinar la actividad, responsable directo. Proporcionar ideas y definiciones, ejecutar. |

Continuación de tabla 28

| Proceso | Roles | Personas | Responsabilidades |
|--|--|--|--|
| Planificación de respuesta a los riesgos | Equipo de gestión de riesgos: Líder Miembros | Administrador de proyecto Técnico 1 | Coordinar la actividad, responsable directo. Proporcionar ideas y definiciones, ejecutar. |
| Seguimiento y control de riesgos | Equipo de gestión de riesgos: Líder Miembros | Administrador de proyecto Técnico 1 | Coordinar la actividad, responsable directo. Proporcionar ideas y definiciones, ejecutar. |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 28 se observa la matriz de roles y responsabilidades en la gestión del riesgo, para cada uno de los procesos se asigna un rol y se describe cada una de las personas del organigrama que conforma dichos roles. Se especifican también cada una de las responsabilidades que conlleva cada proceso y cada rol, proveyendo un resumen y claridad en lo que cada miembro del equipo debe aportar a este plan.

5.3.10 PLAN DE GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES

Para el proyecto de “Diseño y montaje de cuadro primario de distribución eléctrica” se realiza una oferta privada a requerimiento del cliente. El cliente aporta las características eléctricas del cuadro primario de distribución y las preferencias de los equipos eléctricos a utilizar en el proyecto. Los materiales y características de calidad en general se desarrollan de acuerdo a normas y estándares internacionales. En la oferta privada se deben detallar los siguientes requerimientos:

- 1) Costos de diseño
- 2) Cotización de los materiales y equipos eléctricos a utilizar
- 3) Costos de montaje
- 4) Tiempo de entrega
- 5) Términos de entrega y garantías del trabajo

Tabla 29. Matriz de las adquisiciones

| Producto a adquirir | Tipo de contrato | Procedimiento de contratación | Requerimiento de estimaciones independientes | Persona responsable de compra | Cronograma de adquisiciones requeridas | | | |
|--|-------------------------|--|--|-------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| | | | | | Planificar contratación | Solicitar cotizaciones | Seleccionar proveedor | Cerrar contrato |
| Interruptores automáticos | Contrato de precio fijo | Solicitud de servicios, Coordinación de fechas y horarios, Confirmación de disponibilidad, firma de contrato | Si Ofertas presupuestales | Saúl Castro | 02/07/2018 – 07/07/2018 | 06/08/2018 – 10/08/2018 | 13/08/2018 – 17/08/2018 | 28/09/2018 |
| Envolverte metalme cánica | Contrato de precio fijo | Solicitud de servicios, Coordinación de fechas y horarios, Confirmación de disponibilidad, firma de contrato | Si Ofertas presupuestales | Saúl Castro | 02/07/2018 – 07/07/2018 | 06/08/2018 – 10/08/2018 | 13/08/2018 – 17/08/2018 | 28/09/2018 |
| Consumibles varios (cable, fajillas, canaleta, etc.) | Contrato de precio fijo | Solicitud de servicios, Coordinación de fechas y horarios, Confirmación de disponibilidad, firma de contrato | Si Ofertas presupuestales | Judith Fajardo | 02/07/2018 – 07/07/2018 | 06/08/2018 – 10/08/2018 | 13/08/2018 – 17/08/2018 | 28/09/2018 |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 29 se encuentra la matriz de las adquisiciones, esta colecta información importante de cada una de las compras necesarias para el proyecto, se describe cada uno de los productos a adquirir, el tipo de contrato se especifica, así como el procedimiento para realizar dichas contrataciones, se establecen los requerimientos de estimaciones, quien es el responsable, y finalmente el cronograma de las adquisiciones, esto está de acuerdo al cronograma completo del proyecto.

5.3.10.1 FORMATOS A UTILIZAR Y COORDINACIÓN

La oferta debe ser presentada en el formato que el oferente determine adecuado, siempre que contenga los requerimientos mencionados en la sección anterior. Posteriormente se debe utilizar un formato de orden de compra, en el cual se detallen los requerimientos de igual manera, esto siempre que la oferta sea recibida positivamente por el cliente y este acepte las condiciones de

venta requeridas. En la Planificación del Proyecto se establecieron las siguientes fechas para la realización de las compras: Diseño y montaje de cuadro primario de distribución eléctrica – 6 a 11 de Agosto 2018.

5.3.10.2 COORDINACIÓN DE GESTIÓN CON PROVEEDORES

La compra del proyecto de Diseño y montaje de un cuadro de distribución eléctrica se determina por medio del procedimiento de oferta privada, al oferente cuya oferta cumpla con los requerimientos legales, técnicos, y económicos establecidos por el cliente y por lo tanto garantiza el cumplimiento de las obligaciones respectivas. Se toma como referencia la medición de métricas de aceptación para cada entregable, las cuales fueron entregadas a los proveedores durante el proceso de requisición de ofertas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ABB. (Marzo de 2017). ABB Ability Supervision Energetica IIoT.

ABB SACE. (2007). Manual técnico de instalaciones eléctricas: Aparatos de protección y maniobra, la instalación eléctrica. Bergamo, Italia.

ABB SACE. (2015). *Catalogo Tecnico System Pro E Power*. Obtenido de External Library ABB: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1STC803006D0701&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>

Alejandro Cama, E. d. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las Cosas. *Revista INGE CUC, Volumen 8, Numero 1*, 163-172.

Aprendiendo Arduino. (2018). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Entradas y Salidas Digitales: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/30/entradas-y-salidas-digitales/>

Asea Brown Boveri, S.A. (2011). ABB Cuaderno técnico | Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2 1. Barcelona, España: ABB S.A. Obtenido de https://library.e.abb.com/public/05999db1911e4c6ec125791a003cfa4f/1TXA007110G0701_CT9.pdf

Barahona, C. M. (2016). *Factores determinantes del desarrollo economico en el sector agricola y la industria manufacturera en Honduras desde 1979 al presente*. Tegucigalpa: Universidad Nacional Autonoma de Honduras.

Cafiso, S., Di Graziano, A., & Pappalardo, G. (2013). Usando el metodo Delphi para evaluar opiniones de gerentes de transporte público sobre seguridad del autobús. *ELSEVIER*, 263.

- Cardenas, J. (2013). *Networkianos*. Obtenido de Qué es la correlación bivariada y cómo analizarla:
<http://networkianos.com/que-es-la-correlacion-bivariada-y-como/>
- Colmenar Santos, A., & Hernandez Martin, J. L. (2007). *Instalaciones electricas en baja tension: diseño, calculo, direccion, seguridad y montaje*. Ra-Ma.
- Comision Electrotecnica Internacional. (2016). *About Us: IEC*. Obtenido de Bienvenidos a IEC:
http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/welcome_to_the_iec-s.pdf
- El Heraldo. (18 de Agosto de 2017). Crean Secretaria de Energia para regular el sector electrico.
pág. 1.
- Electronica Completa. (2009). *Electronica Completa*. Obtenido de Leyes de Kirchhoff:
<http://electronicacompleta.com/lecciones/leyes-de-kirchhoff/>
- Hayt, W., Kemmerly, J., & Durbin, S. (2012). *Analisis de circuitos en Ingenieria*. Mexico DF:
McGraw Hill.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico D.F.: McGraw Hill.
- IBM SPSS Statistics. (2018). SPSS Version 19.
- La Tribuna. (Junio de 2015). "Nace" la Comision Reguladora de Energia. pág. 1.
- Laerd Statistics. (2018). *Laerd Statistics*. Obtenido de Prueba H de Kruskal-Wallis con estadísticas de SPSS:
<https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/kruskal-wallis-h-test-using-spss-statistics.php>
- Lagos, C. (22 de Febrero de 2018). *Electro Industria*. Obtenido de Protocolos de comunicacion Industrial: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=562>

LogicBus. (2018). *LogicBus*. Obtenido de ¿Que es Modbus?:
<http://www.logicbus.com.mx/Modbus.php>

Marcano Fernández De Los Ríos, M. (2009). *Trabajos y proyectos fin de estudios de la E.T.S.I.*
Obtenido de PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN (M.T.;B.T.) Y ALUMBRADO
PÚBLICO DE POLÍGONO INDUSTRIAL MANZANA M11, PERI-201, CROSS DE
SAN JERÓNIMO (SEVILLA):
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4497/direccion/PCF+MT%252F>

Minitab Inc. . (2017). *Soporte de Minitab 18*. Obtenido de Estadísticos kappa y coeficientes de
Kendall: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/attribute-agreement-analysis/kappa-statistics-and-kendall-s-coefficients/>

Penin, A. R. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Marcombo S.A.

Prodware. (2018). *Industria 4.0 y los servicios de campo*. Obtenido de www.prodware.es

Project Management Institute, Inc. (2013). *PMBOK*. Newton Square, Pensilvania: PMI.

Reguant-Alvarez, M., & Torrado-Fonseca, M. (2016). El método Delphi. *REIRE*, 16.

Rigdon, E. (1997). <http://www2.gsu.edu>. Obtenido de Matrices definidas no positivas: causas y curas: <http://www2.gsu.edu/~mkteer/npdmatri.html>

SAER de Venezuela C.A. (2012). *Scribd*. Obtenido de Norma IEC 60947-2:
<https://es.scribd.com/document/78665903/Norma-IEC-60947-2>

Schneider Electric. (2018). <https://www.schneider-electric.com>. Obtenido de
<https://www.schneider-electric.com/en/partners/panel-builders/iec-standards.jsp>

Statistics How To. (4 de Marzo de 2014). *Statistics How To*. Obtenido de Prueba de Bartlett: definición y ejemplos: <http://www.statisticshowto.com/bartletts-test/>

Statistics How To. (11 de Mayo de 2016). *Statistics How To*. Obtenido de Prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) para la adecuación del muestreo: <http://www.statisticshowto.com/kaiser-meyer-olkin/>

Toto, M. A. (2015). La evolucion normativa de los tableros de BT. *Asociacion Electrotecnica Argentina*, 44-45.

Wigodski, J. (2010). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de Fuentes primarias y secundarias: <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/fuentes-primarias-y-secundarias.html>

ANEXOS

ANEXO 1 CARTA DE COMPROMISO PARA ASESORÍA TEMÁTICA

Señores Facultad de Postgrado UNITEC

Por este medio yo, Joel Alexis Caballero Fuentes con identidad No. 8-737-406, Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Postgrado en Alta Gerencia con Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos.

Hago constar que asumo la responsabilidad de asesorar técnicamente el trabajo de Tesis de Maestría denominado "RELACIÓN DE METALMECÁNICA, DISTRIBUCIÓN, PROTECCIÓN Y ABB ABILITY™ CON EL DISEÑO DE CUADROS DE DISTRIBUCIÓN".

A ser desarrollado por los estudiantes: Judith Elisabet Fajardo Irías y Saúl Alberto Castro Rodríguez.

Para lo cual me comprometo a realizar de manera oportuna las revisiones y facilitar las observaciones que considere pertinentes a fin de que se logre finalizar el trabajo de tesis en el plazo establecido por la facultad de postgrado.

En la ciudad de Panamá, Panamá, a los 23 días del mes de Febrero del 2018.



Joel Caballero





UNIVERSIDAD PANAMERICANA

EN VIRTUD DE LA POTESTAD QUE LE CONFIEREN LAS LEYES DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ Y EL ESTATUTO UNIVERSITARIO,

HACE CONSTAR QUE

Joel Alexio Caballero Fuentes

HA TERMINADO LOS ESTUDIOS DE POSTGRADO Y CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS QUE LE HACEN ACREDITADOR AL TÍTULO DE

Especialista en Alta Gerencia

Y EN CONSECUENCIA, SE LE CONCEDE TAL GRADO CON TODOS LOS DERECHOS, HONORES Y PRIVILEGIOS RESPECTIVOS, EN TESTIMONIO DE LO CUAL SE LE EXPIDE ESTE DIPLOMA EN LA CIUDAD DE PANAMÁ, A LOS dieciséis DÍAS DEL MES DE enero DE DOS MIL dieciocho.

[Signature]

SECRETARIO GENERAL

[Signature]
RECTOR

INSCRITO EN LA UNIVERSIDAD: TOMO 4 FOLIO 3 NÚMERO PG 0074
CIUDAD: 0-737-406



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

EN VIRTUD DE LA POTESTAD QUE LE CONFIEREN LAS LEYES DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ Y EL ESTATUTO UNIVERSITARIO,

HACE CONSTAR QUE

Joel Alexis Caballero Fuentes

HA TERMINADO LOS ESTUDIOS DE MAESTRÍA Y CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS QUE LE HACEN ACREEDOR AL TÍTULO DE

**Maestría en Administración de Empresas
con Énfasis en Formulación y Evaluación de Proyectos**
Summa Cum Laude

Y EN CONSECUENCIA, SE LE CONCEDE TAL GRADO CON TODOS LOS DERECHOS, HONORES Y PRIVILEGIOS RESPECTIVOS, EN TESTIMONIO DE LO CUAL SE LE EXPIDE ESTE DIPLOMA EN LA CIUDAD DE PANAMÁ, A LOS

dieciséis DÍAS DEL MES DE *mayo* DE DOS MIL *ocho*.

Elvira

SECRETARÍA GENERAL

Armin Capa Jr.
rector

INGRITO EN LA UNIVERSIDAD: TOMO 1 FOLIO 3 NÚMERO MBA 0046
CÉDULA: 0-127-400

ANEXO 3 ENTREVISTA

ENTREVISTA REALIZADA A UN DISEÑADOR DE CUADROS DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA

Perfil profesional del entrevistado: Ing. Andrés Figueira

- 1) Ingeniero Eléctrico
- 2) Master en Dirección Comercial y Marketing
- 3) Diplomado en Finanzas para no financieros
- 4) Diplomado en Gerencia de Proyectos
- 5) Actualmente se desarrolla como especialista en diseño de soluciones para el fabricante ABB

Desarrollo:

- 1) ¿En su opinión, qué importancia le da a un cuadro primario de distribución dentro de las instalaciones eléctricas de una planta industrial?

R: Es súper importante, ya que es la primera línea de defensa contra perturbaciones de tipo sobre corrientes en una instalación, además permite una

- 2) ¿En cuánto a normativas, en su opinión, cuál de las dos normas le parece más completa, la IEC o la UL/ANSI/NEMA?

R: La IEC, ya que tienen estándares predeterminados y un protocolo detallado que le deben realizar a los tableros, tiene mayor detalle para que un tablero tenga un mayor grado de protección, además se renueva constantemente.

- 3) ¿Cuándo se habla de la metalmecánica (envolvente), qué variables considera que son vitales al momento de elegirla?

R: El grado de protección IP, los niveles de segregación, corriente máxima de corta duración de corto circuito, y las dimensiones que garanticen una buena disipación de calor, esta última afecta el comportamiento y desempeño del tablero y a la vez de sus componentes.

4) ¿Cuáles de las variables mencionadas anteriormente cree que son las más repetitivas, al momento de que un usuario final especifica el producto?

R: El nivel protección IP y las dimensiones, eso es lo que principalmente mencionan.

5) Hablando de la distribución eléctrica en cuadro primario de distribución, ¿cuáles cree que son los requerimientos mínimos que se deben cumplir?

R: Los básicos como corriente y voltaje, pero en mi opinión el más importante es la segregación ya que con eso se puede limitar cualquier falla que ocurra en la instalación.

6) ¿Con qué frecuencia los usuarios finales solicitan que los interruptores cumplan un nivel de selectividad?

R: Nunca, luego se lamentan cuando hubo una falla y se quedó toda la instalación sin energía eléctrica, además que toma más tiempo resolver la dicha falla.

7) ¿Considera la selectividad una parte importante de las protecciones que se deben considerar?

R: Claro que si, como dije anteriormente, con eso se limita cualquier falla que ocurra en la instalación.

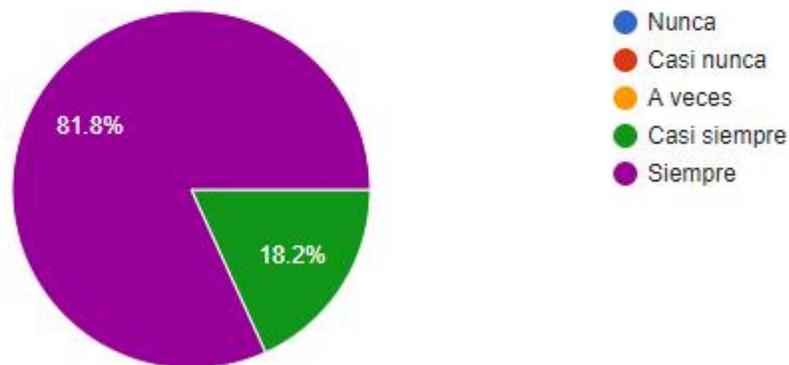
8) Los nuevos sistemas como el ABB Ability son innovadores y únicos, ¿considera que en el futuro serán una necesidad básica a llenar?

R: No sé si llegaran a ser una necesidad básica, pero si van a ser una opción que les dará un plus a las instalaciones, ya que permite monitorear de manera rápida y en tiempo real, además reduce los tiempos de respuesta a lo mínimo.

ANEXO 4 GRÁFICOS RESPUESTAS DE ENCUESTA EN GOOGLE FORMS

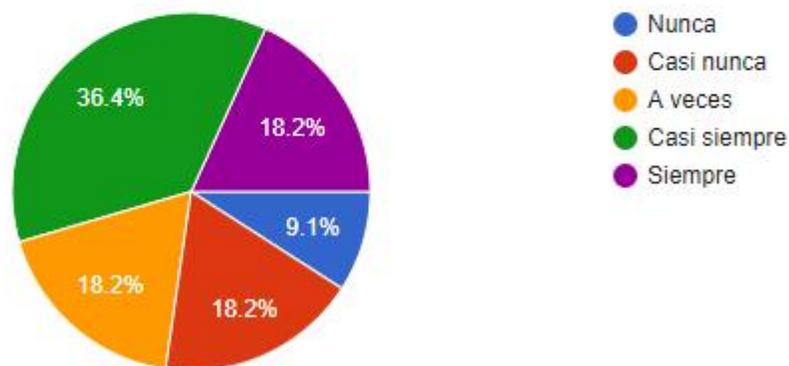
1. ¿Considera importante que el envoltorio cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación?

11 respuestas



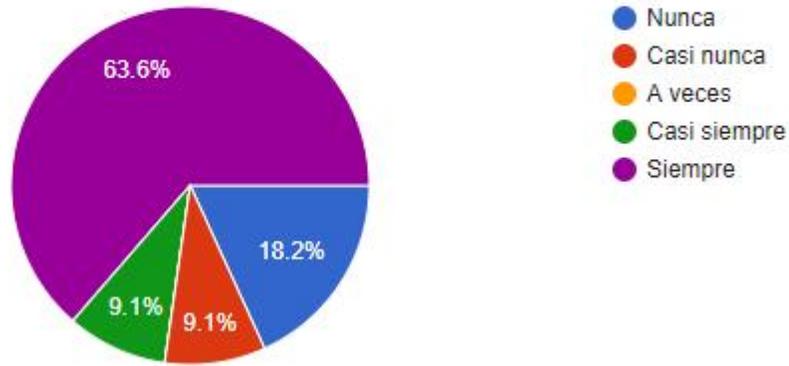
2. ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución?

11 respuestas



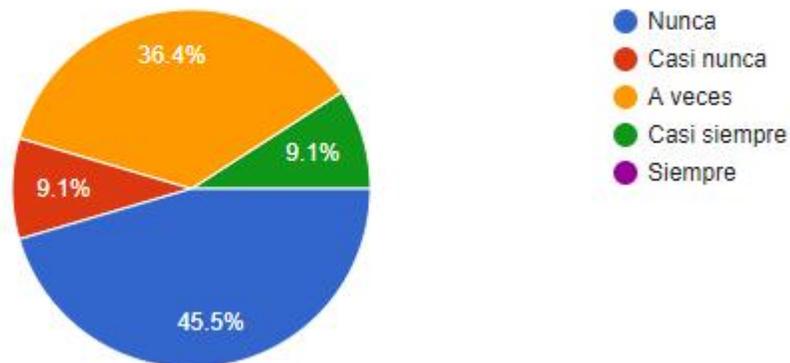
3. ¿Conoce el grado de protección IK del envoltente?

11 respuestas



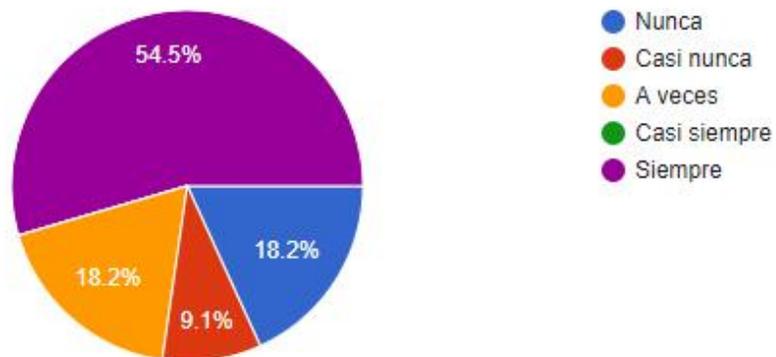
4. ¿El usuario final da indicaciones sobre el grado IK?

11 respuestas



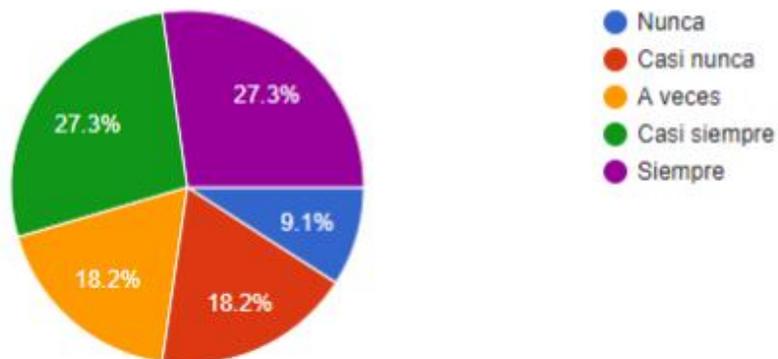
5. ¿Es recomendado verificar el grado de protección IK e IP después de un impacto?

11 respuestas



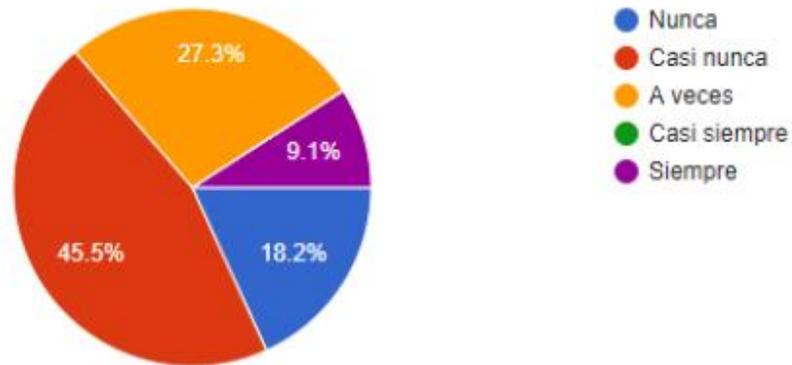
6. ¿Toma en cuenta la segregación interna en un envolvente eléctrico?

11 respuestas



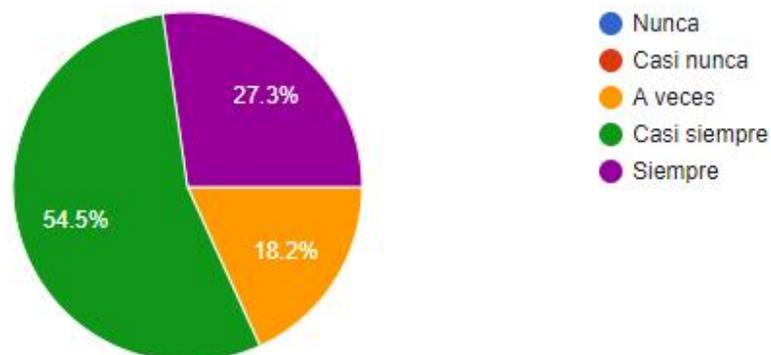
7. ¿El usuario final especifica niveles de segregación?

11 respuestas



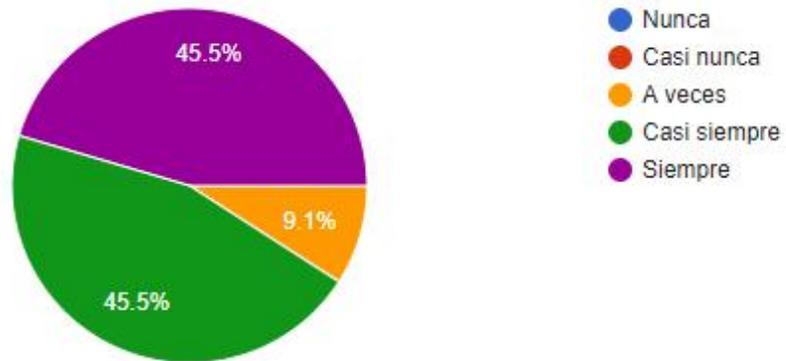
8. ¿Los valores de corriente de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo?

11 respuestas



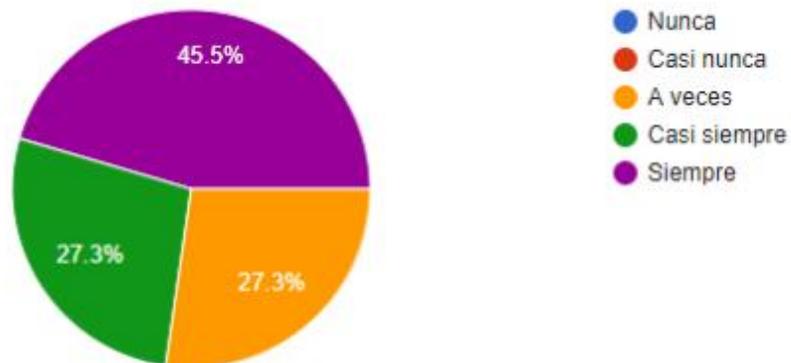
9. ¿Los valores de voltaje de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo?

11 respuestas



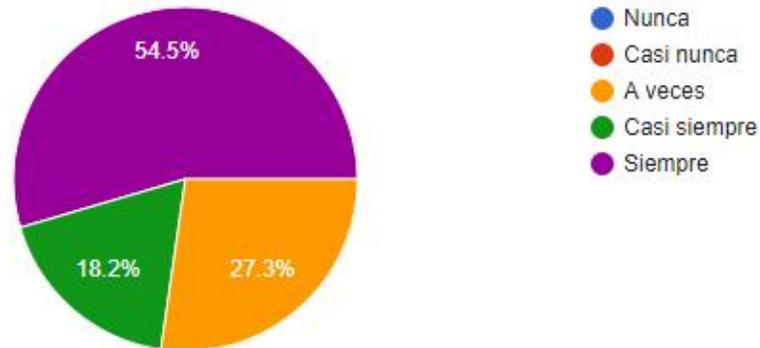
10. ¿Son proporcionadas por el fabricante y de manera estandarizada las características eléctricas de un transformador?

11 respuestas



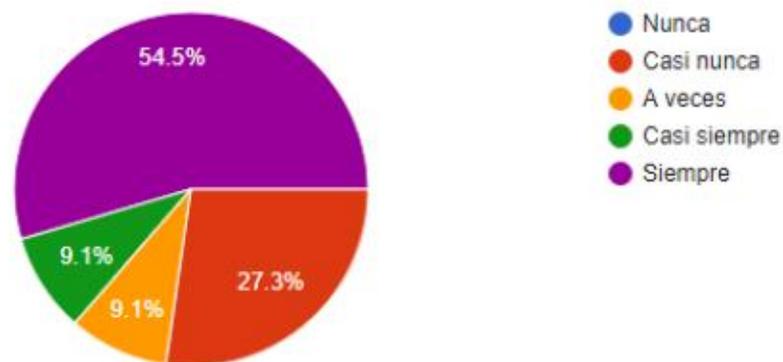
11. ¿Durante la elección de interruptores principales, toma en cuenta las diferentes características entre un interruptor de caja moldeada y uno de potencia al aire?

11 respuestas



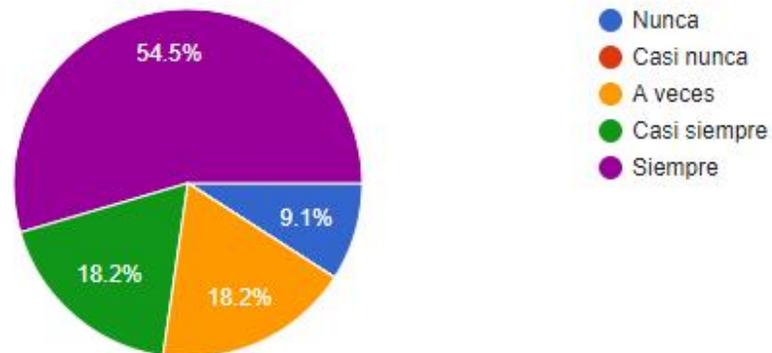
12. ¿Para la selección de los interruptores automáticos se toma en cuenta el cálculo de corto circuito en el punto de conexión del cuadro?

11 respuestas



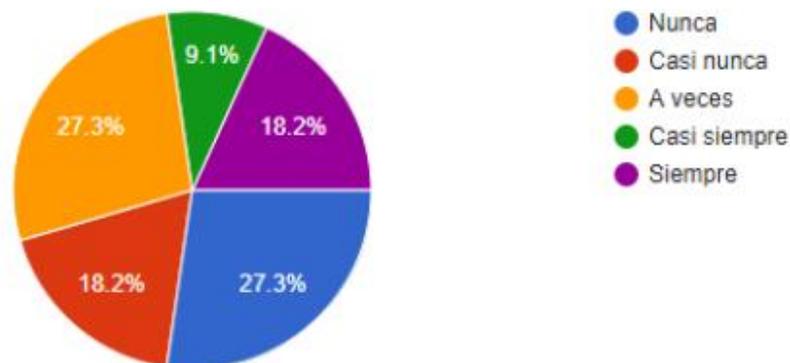
13. ¿Usando el valor de corriente de corto circuito se seleccionan los valores de poder de corte y disparo magnético adecuados para nuestro circuito?

11 respuestas



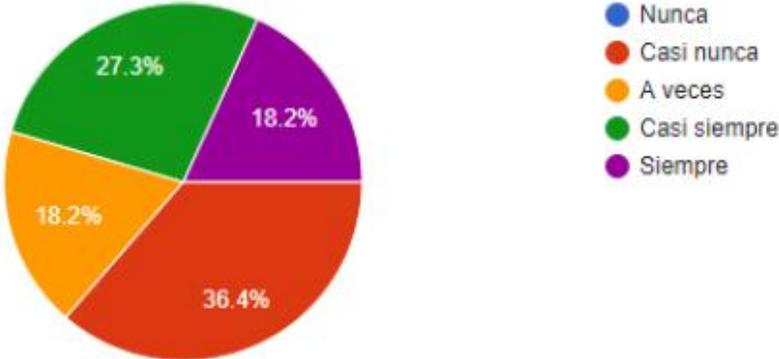
14. ¿Es el usuario final quien ya provee el valor de corto circuito disponible?

11 respuestas



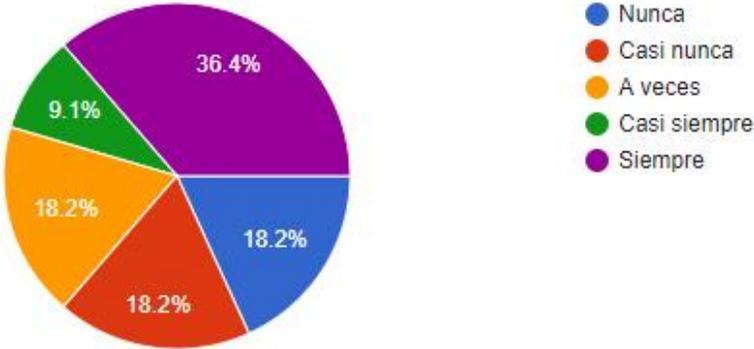
15. ¿Se coordina selectividad con los interruptores aguas abajo del cuadro primario de distribución?

11 respuestas



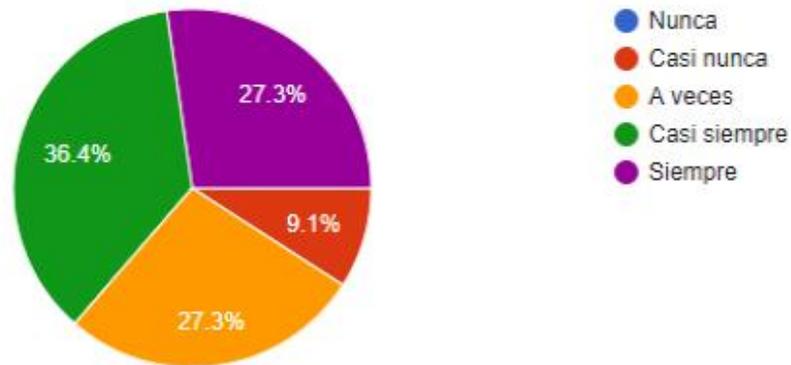
16. ¿En la selectividad coordinada, los interruptores que están aguas arriba son un complemento para el control de intensidades que superan los de aguas abajo?

11 respuestas



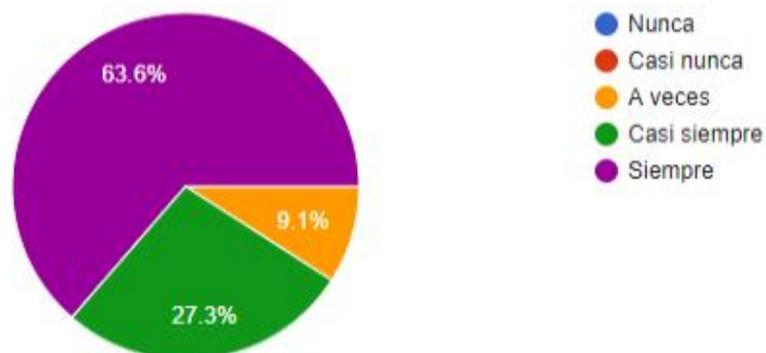
17. ¿Es importante contar con comunicación de conexión rápida y flexible?

11 respuestas



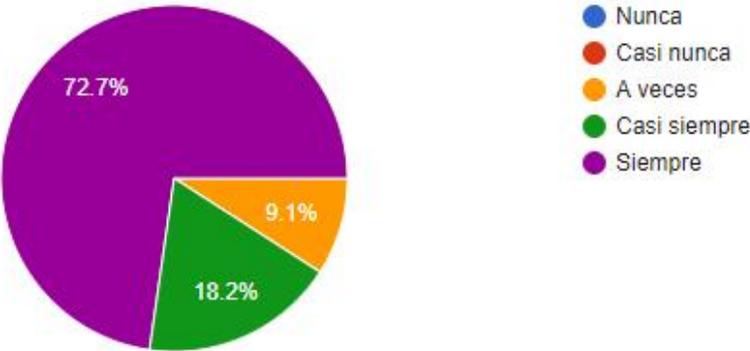
18. ¿Sería una ventaja tener dispositivos de comunicación del tipo "plug and play"?

11 respuestas



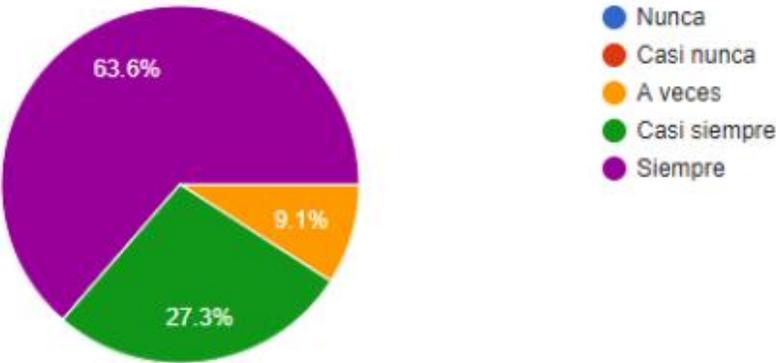
19. ¿La obtención de información eléctrica en tiempo real de una planta, aportaría a la resolución de problemas y maximizar la operatividad de la misma?

11 respuestas



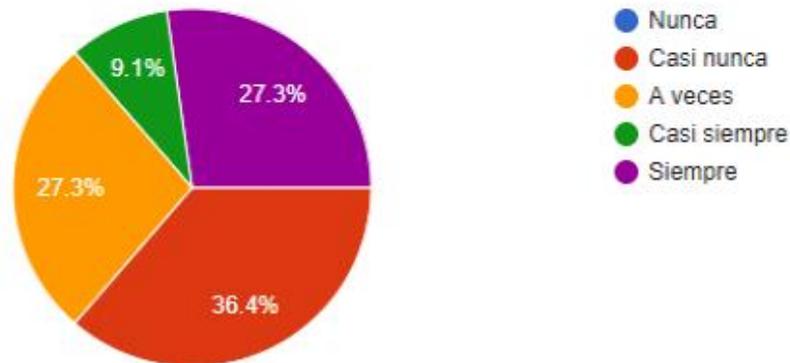
20. ¿La facilidad de conexión para la comunicación de máquinas y computadores aporta a la eficiencia en una planta industrial?

11 respuestas



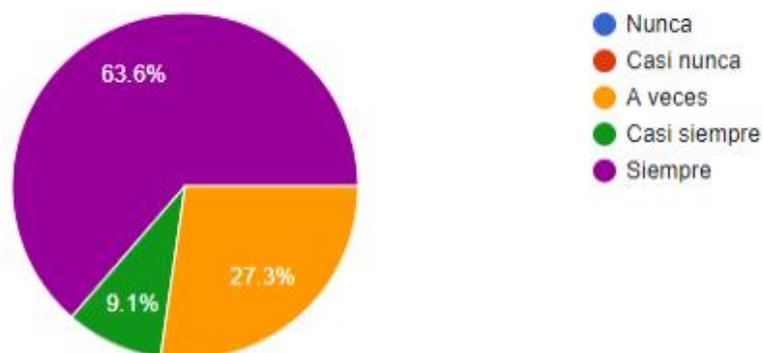
21. ¿Los usuarios finales piden módulos personalizados según sus necesidades, como visualización de características eléctricas por ejemplo?

11 respuestas



22. ¿El diseño de cuadros primarios de distribución toma en cuenta la metalmecánica, distribución, protección y adaptación de comunicación a sistemas como la nube?

11 respuestas



ANEXO 5 ALFA DE CRONBACH

Resumen del procesamiento de los casos

| | | N | % |
|-------|-----------|----|-------|
| Casos | Válidos | 11 | 100,0 |
| | Excluidos | 0 | ,0 |
| | Total | 11 | 100,0 |

a. Eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.

Estadísticos de fiabilidad

| Alfa de Cronbach | N de elementos |
|------------------|----------------|
| ,848 | 22 |

Estadísticos de los elementos

| Pregunta | Media | Desviación típica | N |
|--|-------|-------------------|----|
| 1. ¿Considera importante que el envolvente cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación? | 4,82 | ,405 | 11 |
| 2. ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución? | 3,36 | 1,286 | 11 |
| 3. ¿Conoce el grado de protección IK del envolvente? | 3,91 | 1,700 | 11 |
| 4. ¿El usuario final da indicaciones sobre el grado IK? | 1,82 | ,982 | 11 |

| Pregunta | Media | Desviación típica | N |
|---|-------|-------------------|----|
| 5. ¿Es recomendado verificar el grado de protección IK e IP después de un impacto? | 3,91 | 1,446 | 11 |
| 6. ¿Toma en cuenta la segregación interna en un envolvente eléctrico? | 3,45 | 1,368 | 11 |
| 7. ¿El usuario final especifica niveles de segregación? | 2,36 | 1,120 | 11 |
| 8. ¿Los valores de corriente de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo? | 4,09 | ,701 | 11 |
| 9. ¿Los valores de voltaje de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo? | 4,36 | ,674 | 11 |
| 10. ¿Son proporcionadas por el fabricante y de manera estandarizada las características eléctricas de un transformador? | 4,27 | ,786 | 11 |
| 11. ¿Durante la elección de interruptores principales, toma en cuenta las diferentes características entre un interruptor de caja moldeada y uno de potencia al aire? | 4,27 | ,905 | 11 |

| Pregunta | Media | Desviación típica | N |
|---|-------|-------------------|----|
| 12. ¿Para la selección de los interruptores automáticos se toma en cuenta el cálculo de corto circuito en el punto de conexión del cuadro? | 3,91 | 1,375 | 11 |
| 13. ¿Usando el valor de corriente de corto circuito se seleccionan los valores de poder de corte y disparo magnético adecuados para nuestro circuito? | 4,09 | 1,300 | 11 |
| 14. ¿Es el usuario final quien ya provee el valor de corto circuito disponible? | 2,82 | 1,471 | 11 |
| 15. ¿Se coordina selectividad con los interruptores aguas abajo del cuadro primario de distribución? | 3,27 | 1,191 | 11 |
| 16. ¿En la selectividad coordinada, los interruptores que están aguas arriba son un complemento para el control de intensidades que superan los de aguas abajo? | 3,36 | 1,567 | 11 |
| 17. ¿Es importante contar con comunicación de conexión rápida y flexible? | 3,82 | ,982 | 11 |

| Pregunta | Media | Desviación típica | N |
|--|-------|----------------------|----|
| 18. ¿Sería una ventaja tener dispositivos de comunicación del tipo “plug and play”? | 4,55 | ,688 | 11 |
| 19. ¿La obtención de información eléctrica en tiempo real de una planta, aportaría a la resolución de problemas y maximizar la operatividad de la misma? | 4,64 | ,674 | 11 |
| 20. ¿La facilidad de conexión para la comunicación de máquinas y computadores aporta a la eficiencia en una planta industrial? | 4,55 | ,688 | 11 |
| 21. ¿Los usuarios finales piden módulos personalizados según sus necesidades, como visualización de características eléctricas por ejemplo? | 3,36 | 1,206 | 11 |
| 22. ¿Aporta a la facilidad de comprensión y eliminación de información no necesaria, la personalización de los módulos de visualización de datos? | 4,27 | ,905 | 11 |

ANEXO 6 PRUEBA W DE KENDALL

| Rangos | |
|--|----------------|
| Pregunta | Rango promedio |
| 1. ¿Considera importante que el envoltente cumpla con el grado de protección IP apropiado a su ambiente de ubicación? | 17,14 |
| 2. ¿Considera que el grado de protección IP está relacionado con la capacidad de disipación de calor de un cuadro de distribución? | 11,71 |
| 3. ¿Conoce el grado de protección IK del envoltente? | 14,21 |
| 4. ¿El usuario final da indicaciones sobre el grado IK? | 3,21 |
| 5. ¿Es recomendado verificar el grado de protección IK e IP después de un impacto? | 13,43 |
| 6. ¿Toma en cuenta la segregación interna en un envoltente eléctrico? | 7,64 |
| 7. ¿El usuario final especifica niveles de segregación? | 3,57 |
| 8. ¿Los valores de corriente de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo? | 12,86 |

| Pregunta | Rango promedio |
|---|----------------|
| 9. ¿Los valores de voltaje de los dispositivos en el cuadro de distribución están de acuerdo a los valores nominales de entrada en el mismo? | 13,71 |
| 10. ¿Son proporcionadas por el fabricante y de manera estandarizada las características eléctricas de un transformador? | 15,00 |
| 11. ¿Durante la elección de interruptores principales, toma en cuenta las diferentes características entre un interruptor de caja moldeada y uno de potencia al aire? | 15,07 |
| 12. ¿Para la selección de los interruptores automáticos se toma en cuenta el cálculo de corto circuito en el punto de conexión del cuadro? | 13,93 |
| 13. ¿Usando el valor de corriente de corto circuito se seleccionan los valores de poder de corte y disparo magnético adecuados para nuestro circuito? | 15,79 |
| 14. ¿Es el usuario final quien ya provee el valor de corto circuito disponible? | 4,64 |

| Pregunta | Rango promedio |
|---|----------------|
| 15. ¿Se coordina selectividad con los interruptores aguas abajo del cuadro primario de distribución? | 8,00 |
| 16. ¿En la selectividad coordinada, los interruptores que están aguas arriba son un complemento para el control de intensidades que superan los de aguas abajo? | 11,14 |
| 17. ¿Es importante contar con comunicación de conexión rápida y flexible? | 8,71 |
| 18. ¿Sería una ventaja tener dispositivos de comunicación del tipo "plug and play"? | 13,36 |
| 19. ¿La obtención de información eléctrica en tiempo real de una planta, aportaría a la resolución de problemas y maximizar la operatividad de la misma? | 15,21 |
| 20. ¿La facilidad de conexión para la comunicación de máquinas y computadores aporta a la eficiencia en una planta industrial? | 14,64 |

| Pregunta | Rango promedio |
|---|----------------|
| 21. ¿Los usuarios finales piden módulos personalizados según sus necesidades, como visualización de características eléctricas por ejemplo? | 5,43 |
| 22. ¿Aporta a la facilidad de comprensión y eliminación de información no necesaria, la personalización de los módulos de visualización de datos? | 14,57 |

Estadísticos de contraste

| | |
|---------------------------|--------|
| N | 7 |
| W de Kendall ^a | ,517 |
| Chi-cuadrado | 76,046 |
| gl | 21 |
| Sig. Asíntota. | ,000 |

a. Coeficiente de concordancia de Kendall