



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Carrera de Ingeniería Eléctrica**

**“Análisis estadístico de resultados de pruebas eléctricas y rediseño de protecciones para motores de sistemas auxiliares de la Central Molino según la norma IEEE Std C37.96-2012”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Eléctrica

**Autora:** Valeria del Cisne Romero Mosquera

C.I. 110588251-6

**Director:** Ing. Santiago Patricio Torres Contreras, PhD.

C.I. 010244895-8

**Codirector:** Ing. Joffre Alexis Chalco Cando, Mg.

C.I. 010420678-4

**CUENCA - ECUADOR**

**25/04/2019**



## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de la resistencia de aislamiento de los motores de inducción de los sistemas auxiliares de la Central Hidroeléctrica Molino, para determinar el estado del aislamiento según la norma IEEE Std 43-2013 y realizar el estudio del rediseño de protecciones según el estándar IEEE Std C37.96-2012. En este contexto la Unidad de Negocio HIDROPAUTE, parte de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, encargada de la operación y mantenimiento de la Central Molino se ha considerado como población u objeto de estudio las 10 unidades de generación que dispone, originando como muestra dos unidades una por cada fase de construcción, denominándose U05 por la fase AB y la U06 por la fase C. Mediante un análisis estadístico descriptivo del estado actual del aislamiento y su tendencia en el tiempo, se pretende establecer si es factible que los motores puedan seguir operando o es necesario reemplazarlos, de manera que se garantice la confiabilidad operacional de los sistemas de la planta. Por otra parte, se efectuó el rediseño de las protecciones para los motores de inducción de los sistemas auxiliares según la norma IEEE Std C37.96-2012, sin embargo, también se tomó las recomendaciones de la norma IEEE Std 242-2001, con la finalidad de realizar un sistema de protecciones de acuerdo a las necesidades de la planta, y así evitar indisponibilidad en ella a causa de una falla generada.

**Palabras clave:** Estadística. Hidroelectricidad. Servicios auxiliares. Motores Jaula de Ardilla. Protecciones. Confiabilidad.



## ABSTRACT

The objective of this thesis work is to analyze the behavior of the insulation resistance of the induction motors of the auxiliary systems of the Molino Hydroelectric Power Station, to determine the state of the insulation according to the IEEE Std 43-2013 standard and to carry out the study of the redesign of protections according to the IEEE Std C37.96-2012 standard. In this context, the HIDROPAUTE Business Unit, part of the Electric Corporation of Ecuador CELEC EP, in charge of the operation and maintenance of the Mill Plant, has been considered as a population or object of study the 10 generation units that it has, originating as sample two units one for each construction phase, being called U05 for phase AB and U06 for phase C. By means of a descriptive statistical analysis of the current state of the isolation and its tendency in time, it is intended to establish if it is feasible that the engines can continue operating or it is necessary to replace them, in order to guarantee the operational reliability of the plant's systems. On the other hand, the redesign of the protections for the induction motors of the auxiliary systems was carried out according to the IEEE Std C37.96-2012 standard, however the recommendations of the IEEE Std 242-2001 standard were also taken, with the purpose to realize a system of protections according to the needs of the plant, and thus avoid unavailability in it due to a generated failure.

**Keywords:** Statistics. Hydroelectricity. Auxiliary services. Squirrel cage engines. Protections. Reliability.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
Justificación	18
Alcance	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	20
Estructura del Trabajo de Titulación	20
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>22</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>22</b>
2.1 Central Hidroeléctrica	22
2.1.1 Antecedentes	22
2.1.2 Información Técnica de la Central Molino	22
2.2 Motores de Inducción	29
2.2.1 Características Térmicas del Motor de Inducción durante el Arranque	32
2.2.2 Protección de Arranque del Motor	34
2.2.3 Arranque del Motor	34
2.2.4 Condiciones Usuales de Servicio	37
2.2.5 Clases de Aislamiento	37
2.2.6 Factores de Servicio	38
2.2.7 Límites de Temperatura	38
2.2.8 Descripción de Pruebas Realizadas a los Motores	38
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>43</b>
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS A MOTORES DE SISTEMAS AUXILIARES</b>	<b>43</b>
3.1 Metodología	43
3.2 Elementos Estadísticos	43
3.3 RStudio	44
3.4 Procedimiento de Análisis de Datos	45
3.5 Estadística Descriptiva	46



---

3.5.1	Medidas de Tendencia Central	46
3.5.2	Medidas de Variabilidad	47
3.5.3	Gráficas de Tendencias	47
<b>CAPÍTULO 4</b>		<b>57</b>
<b>PROPUESTA DEL DISEÑO DE PROTECCIONES</b>		<b>57</b>
4.1	Motivación	57
4.2	Consideraciones Previas	58
4.3	Límites de Protección para Motores	59
4.3.1	Condiciones de Operación	59
4.3.2	Causas que Contribuyen a la Mala Operación de los Relés	61
4.4	Márgenes de Coordinación	61
4.5	Propuesta del Diseño	63
4.5.1	Protección 50 – Relé de Sobrecorriente Instantáneo	64
4.5.2	Protección 51 – Relé de Sobrecorriente Temporizado	64
4.5.3	Interruptores Automáticos de Baja Tensión	65
4.6	Coordinación de Protecciones empleando ETAP	66
4.6.1	Diseño de Protección de los Motores	67
<b>CAPÍTULO 5</b>		<b>69</b>
<b>RESULTADOS</b>		<b>69</b>
5.1	Simulación Digital	69
5.2	Estudio de Cortocircuito	71
5.2.1	Análisis de falla trifásica en Motores de la U05	71
5.2.2	Análisis de falla trifásica en Motores de la U06	72
5.3	Coordinación de Protecciones en los Motores de Servicios Auxiliares con el ETAP	74
5.3.1	Motores Auxiliares de la U05	74
5.3.2	Motores Auxiliares de la U06	75
<b>CAPÍTULO 6</b>		<b>77</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>77</b>
6.1	Conclusiones	77
6.2	Recomendaciones	79



---

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>83</b>
Anexo A: Análisis Estadístico de Pruebas Eléctricas a Motores de Servicios Auxiliares	83
A1 Motores U05	83
A2 Motores U06	100
Anexo B: Análisis de Falla Trifásica	111
B1 Motores U05	111
B2 Motores U06	117
Anexo C: Cartas de Coordinación	121
C1 Carta de Coordinación Motores de U05	121
C2 Carta de Coordinación Motores de U06	127
Anexo D: Motores de Sistemas Auxiliares	131
D1 Motores U05	131
D2 Motores U06	138

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Casa de Máquinas Central Molino. ....	23
Figura 2.2 Esquema de Regulación. ....	25
Figura 2.3 Motor de Inducción Trifásico. ....	30
Figura 2.4 Motor de Inducción Trifásico. ....	31
Figura 2.5 Curva par – velocidad del motor. ....	35
Figura 2.6 Curva par – velocidad con voltaje reducido.....	36
Figura 2.7 Medición de Resistencia de Aislamiento de una Máquina Rotativa. 40	
Figura 2.8 Conexión delta de los motores auxiliares.....	40
Figura 2.9 Motor Auxiliar. ....	41
Figura 2.10 Medidor de Resistencia de Aislamiento. ....	41
Figura 2.11 Medición de la resistencia de aislamiento por personal especializado.....	42
Figura 3.1 Interfaz de RStudio.....	44
Figura 3.2 REG B1 fA - T. ....	48
Figura 3.3 REG B1 fB - T. ....	49
Figura 3.4 REG B1 fC - T. ....	49
Figura 3.5 REG B2 fA - T. ....	51
Figura 3.6 REG B2 fB - T. ....	51
Figura 3.7 REG B2 fC - T. ....	52
Figura 3.8 REG B1 fA - T. ....	53
Figura 3.9 REG B1 fB - T. ....	53
Figura 3.10 REG B1 fC - T. ....	54
Figura 3.11 REG B2 fA - T. ....	55
Figura 3.12 REG B2 fB - T. ....	55
Figura 3.13 REG B2 fC - T. ....	56
Figura 4.1 Curvas típicas de arranque y capacidad de un motor. ....	61
Figura 4.2 Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motores de baja tensión .....	66
Figura 4.3 Curva de arranque y límites térmicos del rotor de un motor de 100HP. ....	67



Figura 5.1 Esquema Unifilar de Fuerza de la Central Molino ..... 70

Figura 5.2 Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 75HP ..... 71

Figura 5.3 Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 75HP ..... 71

Figura 5.4 Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 100HP ..... 72

Figura 5.5 Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 100HP ..... 73

Figura 5.6 Coordinación de protecciones para un motor de 75HP ..... 74

Figura 5.7 Coordinación de protecciones para un motor de 100HP ..... 76

Figura A.1 SAE BBA fA - T..... 83

Figura A.2 SAE BBA fB - T..... 83

Figura A.3 SAE BBA fC - T..... 84

Figura A.4 SAE BBB fA - T..... 85

Figura A.5 SAE BBB fB - T..... 85

Figura A.6 SAE BBB fC – T..... 86

Figura A.7 REG COMP fA – T..... 87

Figura A.8 REG COMP fB – T..... 87

Figura A.9 REG COMP fC – T..... 88

Figura A.10 VEN BYC VB fA - T..... 89

Figura A.11 VEN BYC VB fB – T..... 89

Figura A.12 VEN BYC VB fC – T..... 90

Figura A.13 VEN BYC VC fA – T..... 91

Figura A.14 VEN BYC VC fB – T..... 91

Figura A.15 VEN BYC VC fC - T ..... 92

Figura A.16 VEN EXT1 SUP fA – T..... 93

Figura A.17 VEN EXT1 SUP fB – T..... 93

Figura A.18 VEN EXT1 SUP fC – T ..... 94

Figura A.19 VEN EXT2 INF fA – T ..... 95

Figura A.20 VEN EXT2 INF fB – T ..... 95



---

Figura A.21 VEN EXT2 INF fC – T .....	96
Figura A.22 ALTA PRES BAC fA – T .....	97
Figura A.23 ALTA PRES BAC fB – T .....	97
Figura A.24 ALTA PRES BAC fC – T .....	98
Figura A.25 REG COMP fA – T.....	100
Figura A.26 REG COMP fB – T.....	100
Figura A.27 REG COMP fC – T.....	101
Figura A.28 VEN BYC VB fA – T.....	102
Figura A.29 VEN BYC VB fB – T.....	102
Figura A.30 VEN BYC VB fC – T.....	103
Figura A.31 VEN BYC VC fA – T.....	104
Figura A.32 VEN BYC VC fB – T.....	104
Figura A.33 VEN BYC VC fC - T .....	105
Figura A.34 ALTA PRES BAC fA – T .....	106
Figura A.35 ALTA PRES BAC fB – T .....	106
Figura A.36 ALTA PRES BAC fC – T .....	107
Figura A.37 ALTA PRES BDC fA – T .....	108
Figura A.38 ALTA PRES BDC fB – T .....	108
Figura A.39 ALTA PRES BDC fC – T .....	109

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 2.1 Características de Casa de Máquinas.....	22
Tabla 2.2 Características de los Generadores.....	27
Tabla 2.3 Características de las Turbinas.....	28
Tabla 2.4 Características de los Transformadores.....	28
Tabla 2.5 Características del Patio de Maniobras.....	29
Tabla 2.6 Clases de Aislamiento.....	37
Tabla 2.7 Límites de Temperatura.....	38
Tabla 2.8 Niveles de Aislamiento.....	39
Tabla 3.1 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B1 de la U05.....	50
Tabla 3.2 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B2 de la U05.....	52
Tabla 3.3 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B1 de la U06.....	54
Tabla 3.4 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B2 de la U06.....	56
Tabla 4.1 Información para calcular la curva de arranque o perfil del motor....	60
Tabla 4.2 Información para calcular la curva de arranque o perfil del motor....	68
Tabla A.1 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en el SAE BBA de la U05.....	84
Tabla A.2 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en el SAE BBB de la U05.....	86
Tabla A.3 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG COMP de la U05.....	88
Tabla A.4 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VB de la U05.....	90
Tabla A.5 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VC de la U05.....	92
Tabla A.6 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN EXT1 SUP de la U05.....	94



Tabla A.7 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN EXT2 INF de la U05 .....	96
Tabla A.8 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en ALTA PRES BAC de la U05 .....	98
Tabla A.9 Análisis de la Resistencia de Aislamiento en Motores de la U05 .....	99
Tabla A.10 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG COMP de la U06 .....	101
Tabla A.11 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VB de la U06 .....	103
Tabla A.12 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VC de la U06 .....	105
Tabla A.13 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en ALTA PRES BAC de la U06 .....	107
Tabla A.14 Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en ALTA PRES BDC de la U06 .....	109
Tabla A.15 Análisis de la Resistencia de Aislamiento en Motores de la U06 .	110



## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	33
Ecuación 2.....	33
Ecuación 3.....	34
Ecuación 4.....	35
Ecuación 5.....	46
Ecuación 6.....	47
Ecuación 7.....	62
Ecuación 8.....	62
Ecuación 9.....	62



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

Yo, **Valeria del Cisne Romero Mosquera** en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Análisis estadístico de resultados de pruebas eléctricas y rediseño de protecciones para motores de sistemas auxiliares de la Central Molino según la norma IEEE Std C37.96-2012**" de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de abril de 2019

**Valeria del Cisne Romero Mosquera**

C.I: 1105882516



### Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Valeria del Cisne Romero Mosquera, autora del trabajo de titulación "Análisis estadístico de resultados de pruebas eléctricas y rediseño de protecciones para motores de sistemas auxiliares de la Central Molino según la norma IEEE Std C37.96-2012", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 25 de abril de 2019

Valeria del Cisne Romero Mosquera

C.I: 1105882516



## DEDICATORIA

A mi segunda madre María Francisca ☩, que en paz descanse, quien fue mi inspiración y la razón de este logro, gracias por enseñarme el valor del verdadero amor pero sobre todo por hacerme una mujer valiente que no renuncia a sus sueños y metas por difíciles que sean estas.

A mi padre Fredy Bolívar, que con su arduo trabajo me apoyo en la trayectoria de mi carrera universitaria, a pesar de la distancia gracias por estar siempre para mí con tus consejos y amor de padre.

A mi madre Melva Carmita, quien es mi modelo de mujer y por ser un pilar importante y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mis hermanos Jackson, Gabriela y Stiwuart, porque los amo infinitamente. Especialmente a mi hermano Stiwuart, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y sé que este momento es tan especial para ti como lo es para mí. A mis sobrinos Mateito y Cami por ser una luz y alegría en mi vida, son las personitas más tiernas que tengo y amo con todo mi corazón.

A mis amigos, Juan Sebastián, David, Pedro, Steven, Alex y Paola con quienes descubrí el significado de la amistad y con quienes he pasado mis mejores momentos pero también los más difíciles, porque ellos son la familia que tuve en esta etapa de mi vida.

Al personal de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico, Ingeniería, TIC y Operación de la Central Molino, especialmente a mis amigos Joffre, Boris, Lenin, Geovanny y Andrés quienes son una parte importante de mi vida, siempre los llevaré en mis pensamientos.

A la Universidad de Cuenca, por ser mí segundo hogar. A mis compañeros y docentes, porque gracias a sus enseñanzas he logrado culminar mi carrera.

Vale



## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar este trabajo quiero agradecer a Dios por guiar y bendecir mi vida, ser mi apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y vulnerabilidad.

A mis padres por ser los promotores de mis sueños, por confiar y creer en mí, además por darme su ejemplo de trabajo y honradez.

Quiero agradecer a la Universidad de Cuenca, directivos y profesores, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al Ing. Santiago Torres, director de mi proyecto de grado quien con su guía, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, quiero agradecer al personal de mantenimiento eléctrico y electrónico de la Central Molino por su ayuda en la realización de este proyecto técnico, de manera especial a mi tutor el Ing. Joffre Chalco por su paciencia y colaboración para culminar mi proyecto de grado.



## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

En las centrales de generación hidroeléctrica los elementos principales involucrados en el proceso de generación de energía eléctrica son los generadores y transformadores; adicionalmente existen sistemas auxiliares necesarios para el funcionamiento adecuado de los elementos principales respaldando un trabajo seguro dentro de los parámetros y características de diseño.

Los servicios auxiliares en una planta de generación eléctrica son esenciales para lograr una operación confiable y segura; están constituidos fundamentalmente por los elementos que, sin intervenir directamente en la producción de energía eléctrica, son necesarios e indispensables en el proceso de arranque, parada y operación de la unidad generadora (Sanz & Almecija, 2008). Estos sistemas están destinados a cumplir funciones que permitan mantener la operación del equipamiento primario dentro de los parámetros operativos, por tal motivo es esencial que el personal de mantenimiento y operación tengan conocimiento del estado de los equipos en funcionamiento, reconociendo variables como temperatura, vibración, lubricación, niveles de tensión, consumo de corriente, etc.

Dentro de los sistemas auxiliares un componente fundamental son los motores eléctricos, los cuales están expuestos a presentar fallas que podría llegar a comprometer el proceso de producción de energía y en algunos sistemas incluso podrían llegar a comprometer la seguridad del equipamiento primario, generando pérdidas en la producción y elevados costos de reparación.

En la central Molino, los motores de los sistemas auxiliares de las unidades generadoras llevan en funcionamiento más de 35 años, al igual que sus sistemas de control. Por esta razón, se plantea ejecutar un proceso de

modernización de los sistemas de control y protecciones eléctricas que permita monitorear las diferentes variables operativas.

De esta forma, primero es necesario realizar un estudio estadístico de la información cuantitativa plasmada en las pruebas eléctricas realizadas a los motores, los cuales se detallan en registros de mantenimiento de los equipos y con base a los resultados determinar si estos pueden seguir operando o si es necesario realizar la sustitución.

Adicionalmente, dada la presencia de avances tecnológicos en los sistemas de control, protección y normativas internacionales, se plantea realizar un estudio para el rediseño de protecciones de los motores con base a las recomendaciones de la norma IEEE Std C37.96-2012 (IEEE, 2013).

Para lo cual se considerará diferentes factores tales como: características técnicas de los motores, entorno operativo e importancia dentro del proceso de producción, de tal forma que el personal de mantenimiento y operación puedan prevenir fallas a través del monitoreo de las diferentes variables operativas de los motores y en caso de ocurrir fallas atender el daño e impacto sobre el proceso de producción.

### **Justificación**

Durante los últimos 35 años la central hidroeléctrica Molino ha generado energía eléctrica para el Ecuador de tal manera que cubre el 35% de consumo energético, siendo hasta el momento la central más grande del Ecuador en energía puesta a disposición para abastecer la demanda eléctrica (CELEC EP HIDROPAUTE, 2013).

Los motores de servicios auxiliares son esenciales para conseguir una operación confiable, pero con 35 años en funcionamiento y expuestos a esfuerzos eléctricos, mecánicos y electromecánicos es necesario estimar la vida residual para determinar los riesgos existentes durante su operación.

Con los registros de mantenimiento de las pruebas eléctricas realizadas a los motores por el personal encargado de ejecutar este tipo de pruebas se determinará la vida residual de los motores, sin embargo, para tener un alto rango de confiabilidad en el sistema es necesario tener conciencia de lo esencial que es hoy en día el uso de nuevas tecnologías en los sistemas de protecciones es por eso que se va proponer un diseño de protecciones eléctricas según la norma IEEE Std C37.96-2012 (IEEE, 2013), brindando seguridad en el sistema y ayudar al personal de operación para el monitoreo de alarmas cuando se presenten fallos.

### **Alcance**

Este proyecto de grado plantea realizar un análisis estadístico de las pruebas eléctricas de resistencia de aislamiento de los devanados del estator de los motores auxiliares recopilados durante el periodo 2000-2018. Estas pruebas fueron realizadas por personal técnico calificado de la central. Además, se pretende realizar el estudio para el rediseño de protecciones eléctricas de los motores según las recomendaciones de la norma IEEE Std C37.96-2012 (IEEE, 2013).

La solución se planteará en función de los aspectos técnicos de fabricación, entorno operativo e influencia de los motores en el proceso de producción de energía eléctrica.

### **Objetivo General**

Analizar los parámetros eléctricos de los motores de inducción para determinar el estado del aislamiento y realizar el estudio del rediseño de protecciones según la norma IEEE Std C37.96-2012 (IEEE, 2013).

## Objetivos Específicos

- Realizar el análisis estadístico de los datos de las pruebas eléctricas de los motores y determinar si es factible que puedan seguir operando o si es necesario reemplazarlos.
- Determinar las necesidades de información para que el personal de operación y mantenimiento pueda determinar el estado operativo de los motores.
- Identificar los modos de fallas que se pueden presentar en los motores y establecer las funciones de protección necesarias de acuerdo de la importancia de los motores en el proceso de producción.
- Realizar el estudio para el rediseño del sistema de protecciones eléctricas de los motores según las recomendaciones de la norma IEEE Std C37 .96-2012 (IEEE, 2013).

## Estructura del Trabajo de Titulación

El presente trabajo consta de 6 partes fundamentales, distribuidas de la siguiente manera:

*Capítulo 1. Introducción*, se realiza una descripción del trabajo dando una idea amplia sobre la motivación para la realización de este estudio, objetivo general, objetivos específicos y los contenidos a desarrollar.

*Capítulo 2. Marco Teórico*, se muestra todos los conceptos necesarios para el análisis y estudio técnico de los motores, como datos técnicos de la central, pruebas eléctricas, comportamiento de un motor durante el arranque, entre otros.

*Capítulo 3. Análisis Estadístico de Pruebas Eléctricas*, incluye tendencias y patrones de las mediciones existentes.



*Capítulo 4. Propuesta del Diseño*, se recomienda circuitos de protección y control acorde al contexto operacional con base a la norma IEEE Std C37.96-2012.

*Capítulo 5. Resultados*, presenta las ventajas de la propuesta de diseño.

*Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones*.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Central Hidroeléctrica

##### 2.1.1 Antecedentes

El proyecto hidroeléctrico Molino ubicado en el límite de las provincias de Cañar, Chimborazo, Azuay y Morona Santiago, a 125 Km de Cuenca, aprovecha el caudal del río Paute para la generación de energía. Esta central con una vertiente conocida como Cola de San Pablo fue construida hace 35 años y se encuentra conformada por dos fases diferentes, la primera “FASE AB” inició su operación en 1983 y la segunda “FASE C” en 1991. Posee una capacidad de 1100 MW, y actualmente con una generación anual de 4900 GWh cubre el 35% de la demanda eléctrica del país (CELEC EP HIDROPAUTE, 2013).

##### 2.1.2 Información Técnica de la Central Molino

###### 2.1.2.1 Casa de Máquinas

En la Tabla 2.1 se presenta las características técnicas de casa de máquinas de la fase AB y de la fase C.

**Tabla 2.1** Características de Casa de Máquinas.

Tipo	Caverna subterránea
Ancho	23.4 m
Longitud fase C	78.5 m
Longitud fase A-B	123 m
Alto	42.5 m
Elevación del eje de las turbinas	1323 m.s.n.m
Dos puentes grúas	135 Ton c/u

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE



**Figura 2.1** Casa de Máquinas Central Molino.  
**Fuente:** CELEC EP HIDROPAUTE (2013)

En la Figura 2.1 se ilustra casa de máquinas, misma que se diseñó para alojar cinco unidades en su primera etapa de 111 MVA y cinco más de 127.7 MVA en la segunda. Cada unidad cuenta con el espacio necesario para instalación de equipo auxiliar, aire acondicionado y tableros de control. La central hidroeléctrica además de tener equipos principales como generador, turbina y transformador posee equipos auxiliares para el debido funcionamiento de la planta. Los servicios auxiliares se consideran como sistemas industriales esenciales para la operatividad de la planta de generación, su función es brindar confiabilidad a la central. Los servicios de unidad son indispensables para el arranque, puesta en marcha y parada de la unidad de generación.

En los servicios auxiliares se encuentra:

- Alimentación a servicios auxiliares
- Sistema de ventilación principal
- Sistema de agua de enfriamiento
- Agua de servicio
- Aire comprimido

La protección de equipos auxiliares como motores eléctricos se realiza principalmente por medio de dispositivos de protección contra sobrecorriente. El estudio de protección se lo realiza en base a las cualidades de los componentes de protección y los elementos protegidos para una correcta coordinación.

### **Enfriamiento**

Cada unidad de generación posee un sistema independiente de agua de enfriamiento que es utilizado para los siguientes equipos y sistemas:

- Cojinete combinado del generador.
- Cojinete guía inferior del generador.
- Enfriamiento del aire del generador.
- Cojinete guía de la turbina.
- El sistema oleodinámico del regulador de velocidad de la turbina.
- Los enfriadores de aceite del transformador principal.

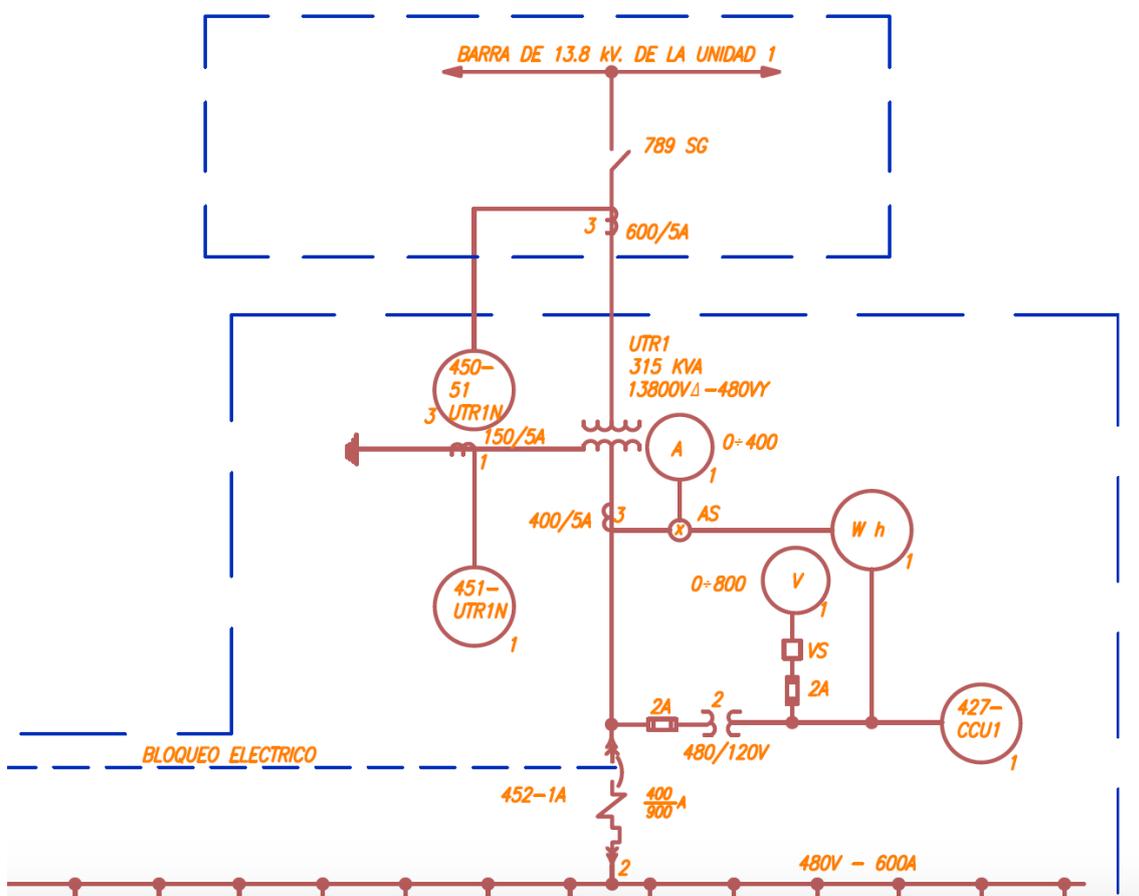
El sistema de la fase AB cuenta con dos grupos idénticos de bombas, (el uno principal y el otro de respaldo), cada grupo tiene dos bombas, la principal que abastece de agua a todos los sistemas antes mencionados y la segunda para los enfriadores de aceite del transformador principal.

En cambio, para la fase C, el sistema cuenta con dos bombas, la principal y la de respaldo, ambas con la capacidad de abastecer a todos los sistemas que lo requieren.

El agua empleada para este fin es tomada desde el túnel de descarga de agua turbinada, para el enfriamiento del aire del generador se utilizan 6 radiadores ubicados alrededor del barril del generador. El caudal requerido por cada uno de los sistemas es fijado por medio de válvulas en el valor de caudal y presión necesarios para cada circuito, estas válvulas son de mando manual, excepto las de mando de las bombas, las que son actuadas por medio de aire comprimido.

Además, para la fase C se tiene el sistema de agua de enfriamiento para la ventilación general de esta fase, son así mismo dos bombas, una principal y otra de respaldo, ubicadas junto a las bombas del SAE (Sistema de Agua y Enfriamiento) de la unidad 6.

## Regulación



**Figura 2.2** Esquema de Regulación.

**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

En la Figura 2.2 se ilustra el esquema del sistema de regulación que cuenta con dos grupos motor bomba de eje horizontal y que tienen la capacidad de funcionamiento individual o en conjunto. El motor es de tipo asincrónico trifásico a 460 V y potencia de 20.5 kW está acoplado a una bomba de tipo de engranaje fase AB y bomba de tornillo fase C.



El tubo de succión de la bomba está siempre sumergido dentro del aceite del tanque acumulador por lo menos unos 200 mm. Para garantizar que el arranque de la bomba sea siempre con aceite. Los engranajes de las bombas están encerrados entre los dos cuerpos autocomprimidos con el fin de mantener el respectivo ajuste con las superficies laterales de los engranajes. Los cuerpos están montados con rodamientos de rodillos para asegurar su posición transversal.

Cada uno de los sistemas de regulación está compuesto por dos unidades motor-bomba ya que dentro de la filosofía misma de operación esto garantiza que mientras la una unidad motor-bomba está en operación la otra se encuentra como unidad de reserva o como unidad auxiliar en el caso de necesidad misma del sistema (bajo nivel de aceite o falla de la primera unidad motor-bomba).

### **Ventilación**

El sistema de ventilación de casa de máquinas se encarga de suministrar aire filtrado y deshumectado a los siguientes lugares:

- Ducto de cables de fase AB.
- Ducto de cables de fase C.
- Pozo del ascensor.
- Galerías y demás áreas de casa de máquinas.

El aire que se emplea es tomado del exterior y conducido hacia los ventiladores a través del túnel de ventilación, al final de este filtros recubiertos de aceite detienen impurezas que el aire lleva en suspensión, al llegar hasta los ventiladores, amortiguadores impiden que este tenga flujo en sentido contrario.

Existen 10 estaciones secundarias de ventilación (transferencia), localizadas en correspondencia con cada una de las unidades de generación, cada una de estas está constituida por un ventilador centrífugo, instalado en el nivel 1344.2 m.s.n.m en fase AB y en el 1346.6 m.s.n.m para fase C, que retiran

el aire de las galerías de cables y lo envían por medio de un conjunto de ductos y rejillas a las siguientes áreas:

- Al piso de servicios de la unidad (1333 m.s.n.m)
- Al piso del generador (1327 m.s.n.m)
- Al piso de la turbina (1322 m.s.n.m)
- Al piso de las válvulas esféricas (1320.5 m.s.n.m)

Todo el aire proveniente de las unidades de generación es evacuado hacia el exterior a través del túnel de acceso a casa de máquinas.

### 2.1.2.2 Generador

En la Tabla 2.2 se presenta las características técnicas de los generadores tanto de la fase AB como de la fase C.

**Tabla 2.2** Características de los Generadores.

CARACTERÍSTICAS	FASE AB	FASE C
Número de unidades	5	5
Potencia	111 MVA	127.7 MVA
Tensión Nominal	13.8 KV +5%	13.8 KV +5%
Corriente Nominal	4643.9 A	5342.6 A
Factor de Potencia	0.9	0.9
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Número de fases	3	3
Clase de Aislamiento	B	F
Número de Polos	20	20
Conexión del Estator	Estrella	Estrella
Velocidad de Rotación	360 rpm	360 rpm
Temperatura de Funcionamiento	60°C	60°C

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### 2.1.2.3 Turbina

En la Tabla 2.3 se muestra las características técnicas de las turbinas para cada unidad de generación.

**Tabla 2.3** Características de las Turbinas.

<b>Tipo</b>	<b>Pelton, eje vertical</b>
Elevación rodete de turbinas	1323 m.s.n.m
Número de inyectores	6
Rendimiento	91.83%
Rotación	Sentido horario visto desde el nivel superior
Peso	14.6 Ton
Material	13% Cr, 4% Ni
Fabricantes	Tosi Ansaldo
Número de alabes del rodete	22

	<b>Fase AB</b>	<b>Fase C</b>
Caída neta	657 m	650 m
Potencia, caída neta	116 MW	122 MW
Número de unidades	5	5

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

#### 2.1.2.4 Transformadores de Elevación

En la Tabla 2.4 se plasma los datos más relevantes de los transformadores tanto de la fase AB como de la fase C.

**Tabla 2.4** Características de los Transformadores.

<b>Número de unidades</b>	10
<b>Capacidad por unidad Fase C</b>	134 MVA
<b>Capacidad por unidad Fase A-B</b>	114/127 MVA
<b>Número de fases</b>	3
<b>Número de devanados</b>	2
<b>Relación de transformación fase C</b>	13.8 kV a 230 kV
<b>Relación de transformación fase A-B</b>	13.8 kV a 138 kV
<b>Tipos de enfriamiento</b>	OF WF

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

#### 2.1.2.5 Patio de Maniobras

En la Tabla 2.5 se exhibe las características del patio de maniobras.

**Tabla 2.5** Características del Patio de Maniobras.

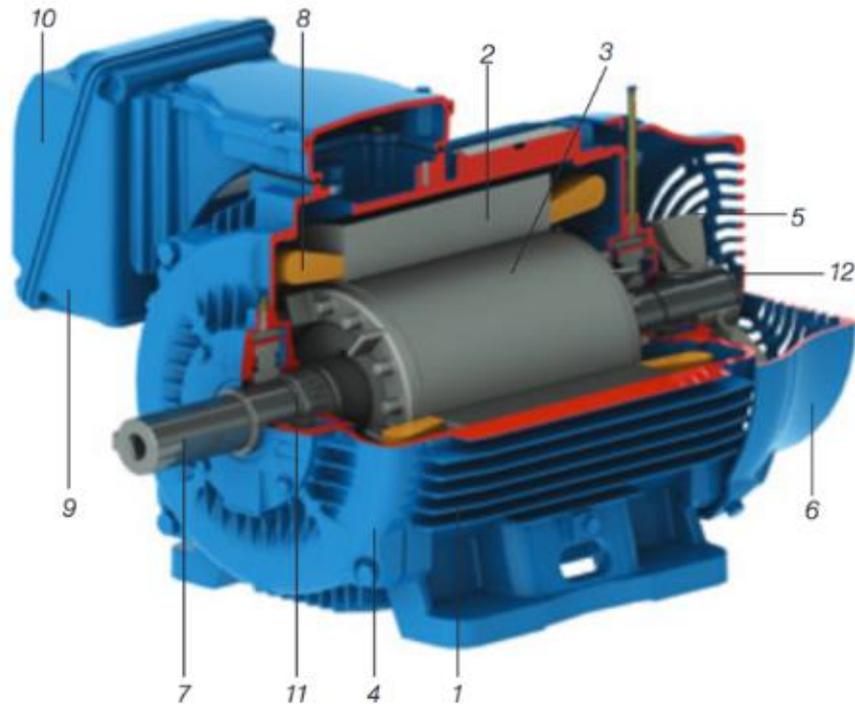
<b>Elevación</b>	1620 m.s.n.m
<b>Líneas de salida a Cuenca</b>	2 de 138 kV
<b>Líneas al S.N.T</b>	6 de 230 kV
<b>Relación de transformación de autotransformadores</b>	138 a 230 kV
<b>Número de bancos</b>	2
<b>Capacidad por banco</b>	225/300/375 MVA

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## 2.2 Motores de Inducción

Una máquina asíncrona o de inducción está formada por dos partes el estator y el rotor; en el estator generalmente se encuentra el inductor que es alimentado por una red monofásica o trifásica. Su principio de funcionamiento se basa en campos magnéticos giratorios, la corriente alterna suministrada al devanado primario desde un sistema de alimentación eléctrica induce una corriente opuesta en el devanado secundario, cuando éste último se pone en cortocircuito o se cierra a través de una impedancia externa, dependiendo del tipo de motor. El principal atributo que distingue la máquina de inducción de los demás motores eléctricos es la causa de las corrientes del secundario que son creadas por inducción, en lugar de ser facilitadas por un excitador de CD (Corriente Directa) u otra fuente externa de energía, como en las máquinas síncronas y de CD. Además, se presentan las máquinas asíncronas denominadas así porque la velocidad de giro del rotor no pertenece al sincronismo impuesto por la frecuencia que transmite la red. (Fraile, 2003) (Chapman, 2000) (Sen, 2014).

En la Figura 2.3, se muestra una ilustración de un motor de inducción señalando cada una de sus partes:

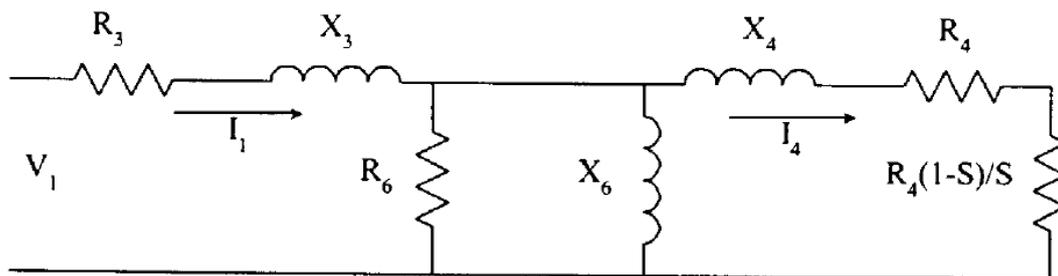


**Figura 2.3** Motor de Inducción Trifásico.

**Fuente:** Guía de Especificación de Motores Eléctricos (WEG, 2016)

- Carcasa (1)
- Núcleo de chapas del estator (2)
- Núcleo de chapas (3)
- Tapa (4)
- Ventilador (5)
- Tapa Deflectora (6)
- Eje (7)
- Devanado trifásico (8)
- Caja de conexión (9)
- Terminales (10)
- Rodamientos (11)
- Barras y anillos de cortocircuito (12)

Los motores están diseñados de modo que las temperaturas derivadas de los puntos calientes característicos creados durante las peores condiciones, como la temperatura del rotor durante el arranque, no excedan los límites máximos de diseño (IEEE, 2013). En la Figura 2.4 se muestra el modelo eléctrico de secuencia positiva para un motor de inducción:



**Figura 2.4** Motor de Inducción Trifásico.

**Fuente:** (IEEE, 2013)

Donde:

$V_1$  = Voltaje en terminales de alimentación

$I_1$  = Corriente del Estator

$I_4$  = Corriente del Rotor

$R_3 + jX_3$  = Impedancia del Estator

$R_6$  = Resistencia de pérdidas en el núcleo.

$X_6$  = Reactancia Mutua

$S$  = Deslizamiento

$R_4 + jX_4$  = Impedancia del Rotor

Las resistencias del modelo eléctrico del motor son factores clave para efectos de sobretensión, indican las pérdidas por calentamiento donde  $R_3$  es el indicador del calentamiento del núcleo de excitación y  $R_4$  es el indicador del calentamiento del conductor del rotor.

$R_4 (1 - S) / S$  indica la resistencia que da los vatios dependientes del deslizamiento convertidos a potencia mecánica. Por esta razón, para la protección térmica del motor es importante representar la temperatura de un conductor que está expuesto a calentarse por una corriente a través de su

resistencia. El primer factor a considerar es la distribución uniforme del calentamiento a lo largo del conductor que presenta una constante de tiempo muy rápida para el incremento de temperatura. De la misma forma para el calentamiento del núcleo magnético las pérdidas por corrientes de Foucault se dirigen uniformemente por todo el material magnético, y la corriente transmitida por la resistencia es análoga a la corriente que fluye por el conductor. La capacitancia térmica es diferente para el material magnético que para el material conductor.

Según Fraile Mora (2003) se puede hacer una primera clasificación elemental de este tipo de máquinas trifásicas a partir del tipo de rotor, del cual se tienen las siguientes clases: a) rotor en jaula de ardilla o cortocircuito, y b) rotor devanado con anillos.

*Rotor Jaula de Ardilla:* integra un grupo de conductores de cobre o aluminio dispuestos para un cortocircuito ocasionado por dos anillos laterales.

*Rotor devanado o con anillos:* se debe a un arrollamiento trifásico semejante en el estator en donde tres fases se conectan, un lado en forma de estrella mientras que otro envía anillos aislados entre sí.

La importancia de los motores asíncronos se debe a su construcción sencilla y robusta, en especial del rotor en forma de jaula, el cual trabaja en las situaciones más adversas generando un excelente servicio con mínimo mantenimiento, los motores con rotor jaula de ardilla son utilizados en la central Molino para brindar los diferentes servicios auxiliares.

### **2.2.1 Características Térmicas del Motor de Inducción durante el Arranque**

Los tiempos de arranque para los motores de inducción son cortos en comparación con el tiempo requerido para que el calor fluya desde los conductores del rotor hacia el estator. Por lo tanto, el incremento de temperatura durante el arranque se apoya en las pérdidas de calor durante el ciclo de arranque. La resistencia  $R_4$  produce calentamiento en el rotor durante el

arranque del motor, de tal manera que el aumento de temperatura en el rotor viene dado por la siguiente ecuación (IEEE, 2013):

$$T_c - T_0 = \sum(1/C_{TH}) \cdot I_4^2 \cdot R_i \cdot (t_c - t_0) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

$T_c$ : la temperatura del conductor del calentamiento resistivo

$T_0$ : la temperatura inicial del conductor antes del calentamiento por resistencia

$C_{TH}$ : la capacitancia térmica en vatios-seg/ $^{\circ}C$

$I_4$ : Corriente del rotor

$R_i$ : la resistencia de una pequeña sección del conductor

$t_c$ : tiempo de duración del calentamiento resistivo en segundos

$t_0$ : tiempo inicial antes del calentamiento resistivo en segundos

Dado que la resistencia del rotor es uniforme en toda su longitud, reduciendo la ecuación anterior así:

$$T_c - T_0 = \sum(1/C_{TH}) \cdot I_4^2 \cdot R_r \cdot (t_c - t_0) \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

$R_r$ : resistencia total del rotor

La ecuación anterior es válida en cualquier rango que la corriente  $I_4$  y la resistencia  $R_4$  sean constantes, esta condición es válida para la condición de arranque del rotor bloqueado. La corriente de rotor bloqueado genera calor en los conductores del rotor durante todo el período de tiempo. La curva límite de rotor bloqueado representa esta condición, y es la del fabricante del motor para corriente de rotor bloqueado de una magnitud dada.

En la condición de rotor bloqueado, la resistencia del rotor está ante una corriente a una frecuencia de 60 Hz. Cuando el motor comienza a acelerar, la frecuencia presente por la resistencia del rotor disminuye proporcionalmente a la velocidad.

## 2.2.2 Protección de Arranque del Motor

Según la norma para motores AC (IEEE, 2013) la característica de calentamiento basada en la velocidad de los motores de inducción durante el arranque puede complicar el método de protección de arranque. Esta complicación ocurre cuando el  $Rt$  del motor (incluido el par de aceleración) para un arranque normal comienza a aproximarse al  $Rt$  del motor en la condición de rotor bloqueado. Mientras el  $Rt$  de arranque del motor sea mucho menor que el  $Rt$  de rotor bloqueado, los relés de sobrecorriente que sienten la corriente del estator pueden proteger el motor. Lo que se debe conseguir es que las curvas de sobrecorriente sean capaces de proporcionar una característica que coordina con las curvas de límite térmico de rotor bloqueado y las curvas de inicio.

## 2.2.3 Arranque del Motor

### 2.2.3.1 Tiempo de Aceleración

El tiempo de aceleración para que un cuerpo de inercia  $W(k)^2$  sea acelerado desde una velocidad  $\omega_1$  hasta la velocidad  $\omega_2$  bajo la acción de un par  $\tau$  puede ser expresado como:

$$T = \frac{W(k)^2 \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{308 \cdot \tau} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

$T$  = tiempo de aceleración en segundos

$W(k)^2$  = inercia de carga referida a la velocidad nominal del eje del motor en lb-ft<sup>2</sup>

$\omega_1$  = velocidad inicial en r/min

$\omega_2$  = velocidad final en r/min

$\tau$  = par neto de aceleración / desaceleración en ft – lb

par del motor > par de carga = aceleración

$\tau$  = par motor – par de carga

par de carga > par del motor = desaceleración

–  $\tau$  = par de carga – par del motor

### 2.2.3.2 Par de aceleración

La Figura 2.5 muestra una curva de par – velocidad del motor donde, el par inducido del motor es cero a la velocidad sincrónica. Asimismo, la curva es aproximadamente lineal entre vacío y plena carga; ya que cuando crece el deslizamiento, crecen linealmente: la corriente rotórica, el campo magnético del rotor, y el par inducido.

Es importante conocer que el par máximo, equivale a 2 o 3 veces el par nominal y no puede ser excedido, pues el par de arranque es ligeramente mayor al par de plena carga.

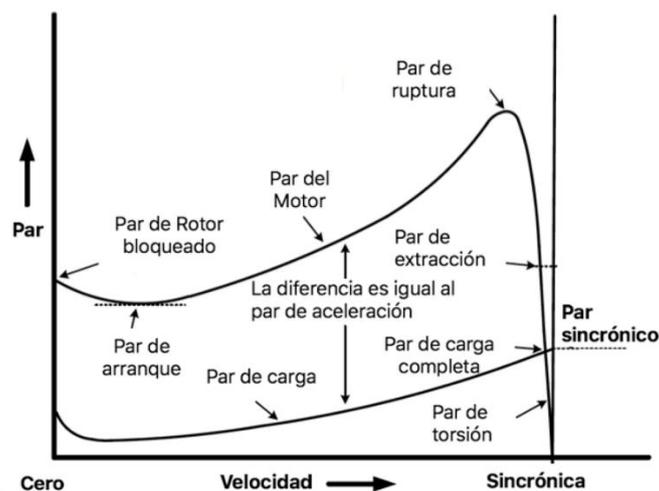


Figura 2.5 Curva par – velocidad del motor.

Fuente: IEEE Guide for AC Motor (2013).

### 2.2.3.3 Cálculo de la caída de tensión y el par de arranque resultante del motor para el arranque a plena tensión

$$V_{motor} = \frac{X_{rotor\ bloqueado}}{X_{rotor\ bloqueado} + X_{fuente}} \cdot V_{fuente} \quad \text{Ecuación 4}$$

Debido a la elevada corriente de arranque, la caída de tensión y la correspondiente tensión reducida en la línea existe la posibilidad de que el motor que está arrancando no desarrolle el torque suficiente para acelerar la carga, como consecuencia se tienen corrientes excesivas tanto en el rotor como en el

estator, que si se repite varias veces provoca deterioro en el aislamiento, y así disminuye el tiempo de vida útil del motor.

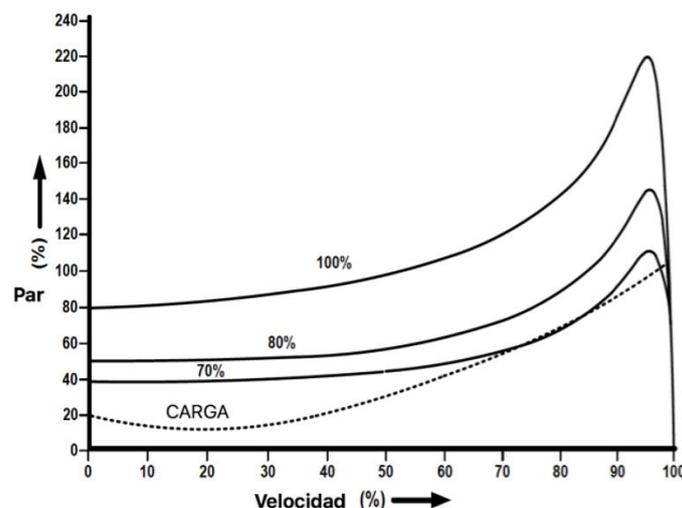
El par de arranque se mantiene proporcional al voltaje en terminales al cuadrado (es decir, el 80% del par de arranque al 100% del voltaje, así como el 64% al 80% de voltaje). El aumento del tiempo de aceleración también puede acercarse al límite de  $I^2t$ . (IEEE, 2013).

### 2.2.3.4 Impacto de la caída de tensión en el par del motor y el arranque

Una forma de reducir las corrientes de arranque es reducir el voltaje aplicado al estator del motor, pero con ello se consigue reducir el torque de arranque en una proporción mayor, por esta razón el tipo de arranque está en función del torque de carga.

El arranque directo es el más simple y económico para un motor de inducción. El motor desarrolla un torque de arranque elevado y el tiempo de arranque, en condiciones normales, suele ser muy corto. Estas ventajas suponen, por el contrario, una corriente de arranque elevada.

En la Figura 2.6 se muestra el comportamiento de par-velocidad cuando se aplican el 70%, 80%, 100% de la tensión nominal respectivamente.



**Figura 2.6** Curva par – velocidad con voltaje reducido.

**Fuente:** IEEE Guide for AC Motor (2013).

### 2.2.4 Condiciones Usuales de Servicio

De acuerdo a (IEEE, 2013) los motores que emplean la temperatura ambiente de 40°C las condiciones usuales de servicio son:

- Temperatura ambiente menor a 40°C
- Altitud menor a 1000m
- Humos, gases, humedad o polvo no impiden la transferencia de calor
- $0.9V_{nom} < V < 1.1V_{nom}$
- $0.95f_{nom} < f < 1.05f_{nom}$
- Montaje y acoplamiento según NEMA

Cuando se cumple con estas condiciones el motor entrega la máxima potencia sin exceder la temperatura máxima permisible

### 2.2.5 Clases de Aislamiento

La vida esperada del motor se reduce a la mitad al operar a una temperatura 10°C por arriba del máximo permisible. Las clases más comunes en motores de inducción jaula de ardilla son:

**Tabla 2.6** Clases de Aislamiento.

Clase	Temperatura máxima del punto más caliente
B	130°C
F	155 °C
H	180 °C

**Fuente:** (MOTORTICO, 2013)

## 2.2.6 Factores de Servicio

Cuando se tiene un factor de servicio de 1.15 el motor es capaz de entregar el 1.15 de su potencia nominal de manera continua dentro de las condiciones usuales de servicio, lo que significa que el motor no excede la temperatura máxima permisible. Para los motores jaula de ardilla los factores de servicio más comunes son de 1.0 y 1.15.

## 2.2.7 Límites de Temperatura

**Tabla 2.7** Límites de Temperatura.

<b>Factor de servicio = 1.0</b>		
<b>Clase</b>	<b>Aumento máximo permisible sobre 40°C</b>	<b>Temperatura máxima del punto más caliente</b>
<b>B</b>	80	120
<b>F</b>	105	145
<b>Factor de servicio = 1.15</b>		
<b>Clase</b>	<b>Aumento máximo permisible sobre 40°C</b>	<b>Temperatura máxima del punto más caliente</b>
<b>B</b>	90	130
<b>F</b>	115	155

**Fuente:** (MOTORTICO, 2013)

## 2.2.8 Descripción de Pruebas Realizadas a los Motores

Las pruebas realizadas a los motores de servicios auxiliares (ver Figuras 2.8 y 2.9) se efectúan luego de un período de tiempo de operación, estas pruebas permiten establecer el envejecimiento del sistema de aislamiento, así como estimar pérdidas en el alambre o verificar posibles anomalías.

A continuación, se detallan las principales pruebas realizadas a los motores (Chauvin Arnoux, 2010; IEEE, 2014; Grupo WEG, 2016):

- *Pruebas de Aislamiento:* es importante contar con una buena resistencia de aislamiento para conservar la duración del motor, medir la resistencia es parte de un mantenimiento preventivo. Con esto se logra diagnosticar el estado en que se encuentra el aislamiento y garantizar el

funcionamiento en condiciones óptimas de los devanados del estator. Existen cinco grupos para clasificar las causas que generan un fallo en el aislamiento:

*Fatiga de origen eléctrico:* sobretensión y caídas de tensión.

*Fatiga de origen mecánico:* ciclos de puesta en marcha y paro, golpes directos contra los cables e instalaciones.

*Fatiga de origen químico:* aceites, vapores corrosivos, polvo.

*Fatiga relacionada con cambios de temperatura:* dilatación y contracción, funcionamiento a temperaturas extremas.

*Contaminación ambiente:* aparición de óxido y acumulación de partículas a causa de lugares húmedos y calurosos.

El medidor de aislamiento Megger es un equipo que se utiliza para calcular el nivel de resistencia de aislamiento entre bobinados o entre ellos y tierra como se ilustra en las Figuras 2.10 y 2.11, para ello se desconecta la máquina y en relación a los motores Jaula de Ardilla de la central Molino se aplicó 500 voltios entre las bobinas. Para el respectivo análisis de curvas de aislamiento se tomará como referencia los siguientes niveles:

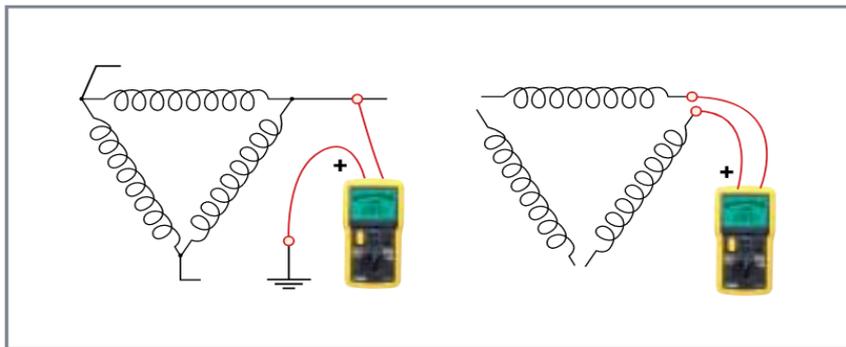
**Tabla 2.8** Niveles de Aislamiento.

< 16 MΩ	Mal aislamiento
16 - 51 MΩ	Aislamiento regular
> 51 MΩ	Buen aislamiento

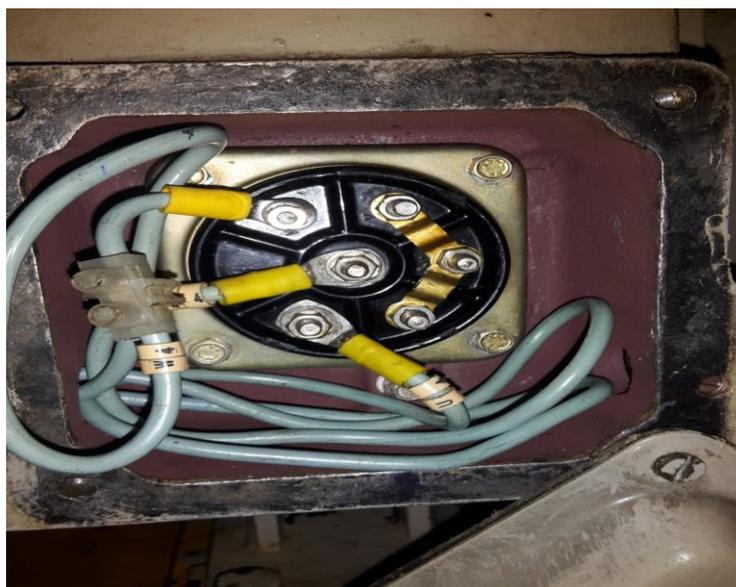
**Fuente:** Chauvin Arnoux (2010)

La medición de resistencias de aislamiento reposa en la ley de Ohm; al aplicar un voltaje continuo de valor conocido (para este caso 500 V), posteriormente el equipo hace la medición de la corriente circulante y determina el valor de la resistencia.

- *Medición de Resistencia Interna:* con esta prueba como se presenta en la Figura 2.7 se logra determinar la resistencia óhmica de los devanados de cada fase; inyectando una corriente continua en el bobinado a tensiones bajas, mientras marca la tensión en terminales y con la ley de ohm se obtiene el valor de la resistencia. Este tipo de prueba ayuda a estimar parámetros como pérdidas en el alambre, corriente de arranque y, además, verificar posibles anomalías. Sus valores tienden generalmente menos de  $5\Omega$ . Las anomalías que pueden presentar son: empalmes corroídos o sueltos, cantidad incorrecta de vueltas o de sección de alambre.



**Figura 2.7** Medición de Resistencia de Aislamiento de una Máquina Rotativa.



**Figura 2.8** Conexión delta de los motores auxiliares.  
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico



**Figura 2.9** Motor Auxiliar.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura 2.10** Medidor de Resistencia de Aislamiento.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura 2.11** Medición de la resistencia de aislamiento por personal especializado.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS A MOTORES DE SISTEMAS AUXILIARES**

En este capítulo se presenta el análisis estadístico de las pruebas de resistencias de aislamiento realizadas a los motores de las unidades de generación. Se describe la metodología empleada, el estudio de estadística descriptiva con sus medidas de tendencia central y variabilidad, así como también los gráficos de tendencia.

#### **3.1 Metodología**

La metodología empleada en el análisis de datos es de tipo cuantitativo, la misma que consiste en realizar un estudio de los cambios que se han presentado en los últimos 18 años con respecto a la resistencia de aislamiento en las pruebas eléctricas realizadas por personal especializado.

La población que se tiene para el presente estudio de datos consiste de 10 unidades de generación, distribuidas en dos fases; la fase AB y la fase C conformadas por 5 unidades cada una de iguales características, siendo así, el tamaño de la muestra una unidad por cada fase, U05 por la fase AB y U06 por la fase C.

#### **3.2 Elementos Estadísticos**

La estadística descriptiva hace referencia a los métodos para procesar la información en términos cuantitativos con el propósito de darles un significado, es decir, se refiere a un análisis exploratorio de datos. Por ejemplo, los gráficos estadísticos nos permiten percibir características significativas e imprevisibles.

Es una rama de la estadística que está enfocada en ordenar, sintetizar y detallar las características más importantes de los datos. La forma de sintetizar la información es en forma tabular, gráfica o numérica. El análisis se restringe a

los datos que se tiene como información para el estudio y no se realiza algún tipo de inferencia (Dicovski, 2008; Madrigal, 2018).

### 3.3 RStudio

El objetivo de los creadores de RStudio es desarrollar una interfaz como herramienta potente que soporte los procedimientos y las técnicas requeridas para realizar análisis de calidad y con alto grado de confianza para el lenguaje de programación R. Al mismo tiempo pretenden que el manejo sea sencillo e intuitivo para crear un entorno amigable, tanto para los experimentados como para los nuevos usuarios (Andina, 2018).

R es un software abierto y lenguaje de programación desarrollado en 1993 en la Universidad de Auckland como una herramienta de estadística computacional y gráficos. Usado por una amplia variedad de disciplinas como economía, administración, contabilidad, ingeniería, entre otras. Por ejemplo, la función ggplot2, permite controlar completamente la apariencia de los gráficos además de ser una herramienta útil para el análisis de datos (Andina, 2018).

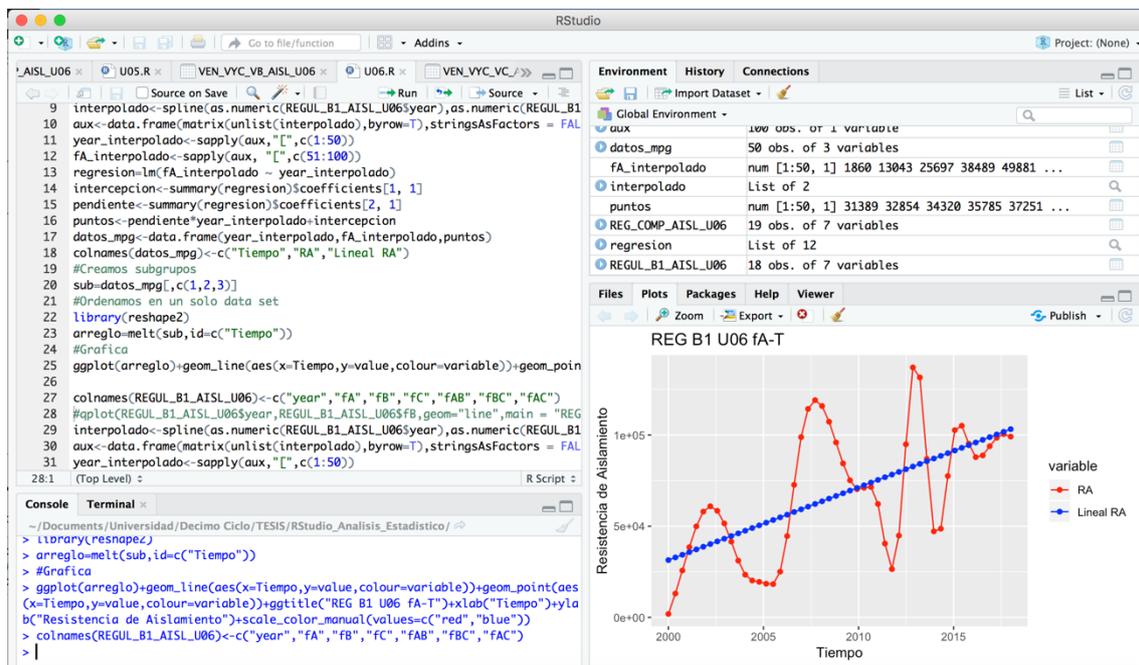


Figura 3.1 Interfaz de RStudio.

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Procedimiento de Análisis de Datos

Con los registros de mantenimiento de las pruebas eléctricas, se utilizó el método puntual o a corto plazo; este método es muy sencillo, consiste en aplicar una tensión por un corto periodo de tiempo de 60 segundos y se registra el valor de la resistencia de aislamiento. Con este método se desarrolló un análisis de tendencia durante los últimos 18 años.

A pesar de esto algunos valores no fueron asentados en los registros de mantenimiento, por tanto, se utilizó el programa Excel para encontrarlos, utilizando la función “tendencia” que devuelve valores usando una tendencia lineal.

Luego de obtener los valores para completar la información de las resistencias aislamiento estos fueron importados en forma de tablas al programa RStudio con valores de fase-tierra para graficar e interpretar la situación real de los motores. La interpretación de la evolución de las mediciones durante el periodo de tiempo a considerar permite conocer si las condiciones del motor son óptimas para que siga operando o si su estado es crítico y necesita ser reemplazado.

La resistencia de aislamiento se ve afectada principalmente por la humedad, polvo y temperatura que hace variar su valor según el nivel de contaminación en las superficies aislantes, por tal motivo es necesario considerar estas variables para tomar como válida una medición. El fin de estructurar gráficos es para visualizar los datos generales e identificar sus aspectos más relevantes. Por ejemplo, una oscilación brusca en descenso o incremento de la resistencia de aislamiento ayuda a predecir posibles fallos en el sistema; lo cual ayuda al personal de mantenimiento a la toma de decisiones y contar con un sistema que extenderá la vida útil de los motores.

### 3.5 Estadística Descriptiva

Para el análisis de los motores de servicios auxiliares se utilizó los registros de mantenimiento de pruebas eléctricas realizadas a estos motores en los últimos 18 años de la Central Hidroeléctrica Paute-Molino, los cuales se encuentran actualizados permanentemente por el personal especializado en la realización de este tipo de pruebas.

Se ejecutó un análisis descriptivo mediante tablas, logrando tendencias con los registros de la empresa para obtener la información completa del comportamiento de las resistencias de aislamiento para alcanzar una curva continua durante ese intervalo de tiempo para interpretar el estado de cada uno de los motores.

#### 3.5.1 Medidas de Tendencia Central

##### 3.5.1.1 Media

Es el promedio mejor conocido y de uso más común. La media aritmética representada por  $\bar{x}$ , es la suma de los valores individuales de una muestra dividido por el número de elementos de la muestra (Chou, 1990; Dicovski, 2008).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

**Ecuación 5**

La media tiene propiedades matemáticas interesantes como ser un valor típico porque es el centro de gravedad un punto de equilibrio, además su valor puede sustituir al valor de cada dato de la serie sin cambiar el total. Otra propiedad de la media es que la suma algebraica de las desviaciones con relación a la media es cero.

##### 3.5.1.2 Mediana

Es el valor medio de una serie en relación a la magnitud de los valores propuestos. Puede definirse formalmente como aquel valor que divide una serie de tal forma que por lo menos 50% de los valores son iguales a él o menores

que él, y por lo menos 50% de los valores son iguales o mayores que él (Chou, 1990; Dicoovski, 2008).

### 3.5.2 Medidas de Variabilidad

#### 3.5.2.1 Desviación Estándar

(Chou, 1990) la define como la raíz cuadrada de la varianza que no es más que la media aritmética de las desviaciones respecto a la media aritmética al cuadrado.

$$\sigma = \frac{\sum(\bar{x}-x)^2}{N}$$

**Ecuación 6**

#### 3.5.3 Gráficas de Tendencias

Las gráficas de tendencias muestran de manera representativa el comportamiento de las pruebas eléctricas realizadas a los motores de servicios auxiliares, presentando una tendencia lineal de los últimos 18 años. Con estas gráficas se pretende realizar un estudio de los picos o cambios fluctuantes en la resistencia, que por esfuerzos eléctricos o mecánicos pueden presentarse con el paso del tiempo.

Además, las gráficas de tendencias ayudan a estimar el comportamiento de la resistencia en el tiempo; esto se consigue haciendo una proyección o regresión lineal simple. Consiste en generar una ecuación (modelo) que, basándose en la relación existente entre ambas variables, permita predecir el valor de una a partir de la otra.

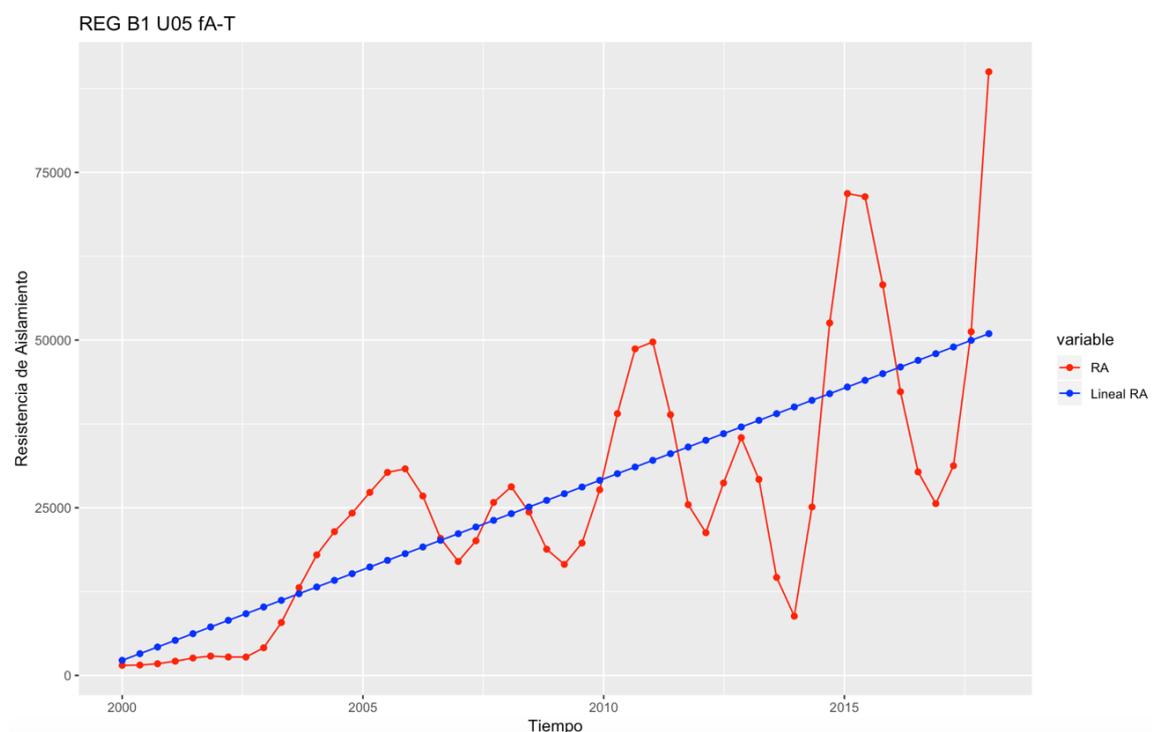
##### 3.5.3.1 Resistencia de Aislamiento

Para ilustrar los datos obtenidos en la realización de esta prueba a los motores se ejecutó mediciones de aislamiento del estator en función del tiempo. Para el análisis estadístico se encontró los valores de las medidas de tendencia central y utilizando como referencia la norma IEEE Std 43-2013 (IEEE, 2014) se constató si los valores encontrados se encuentran dentro de los rangos

permisibles. Los datos se tomaron desde el año 2000 al año 2018, la finalidad de este análisis es verificar el correcto funcionamiento del aislamiento de los motores. A continuación, las figuras muestran el comportamiento de la resistencia de aislamiento entre fase-tierra de cada uno de los motores:

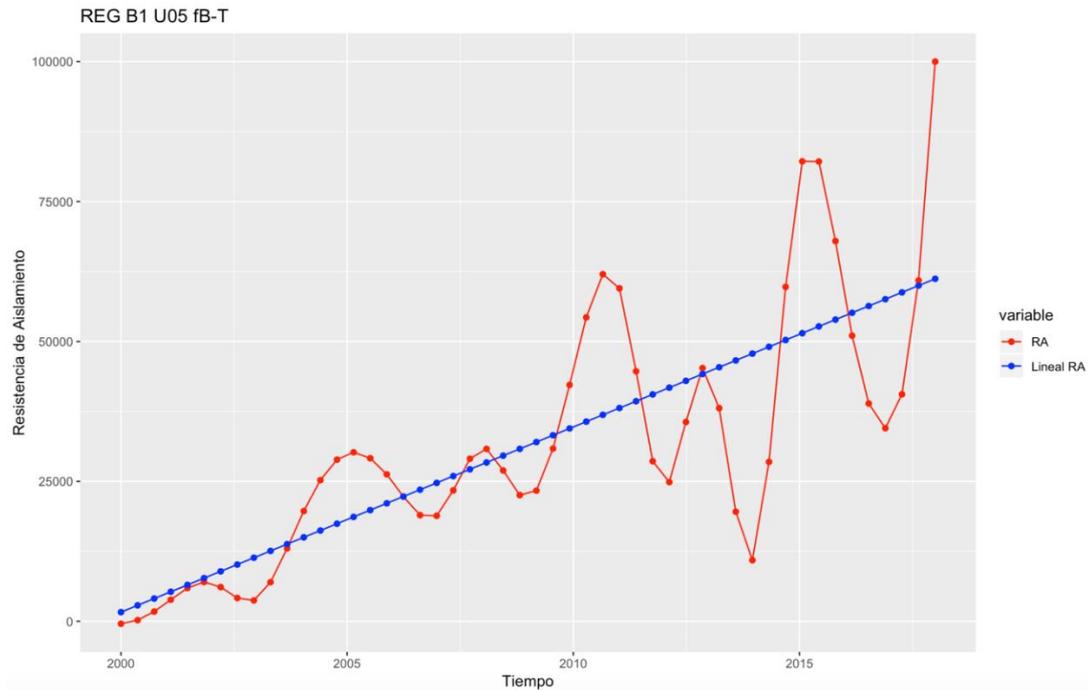
U05

### Regulación B1



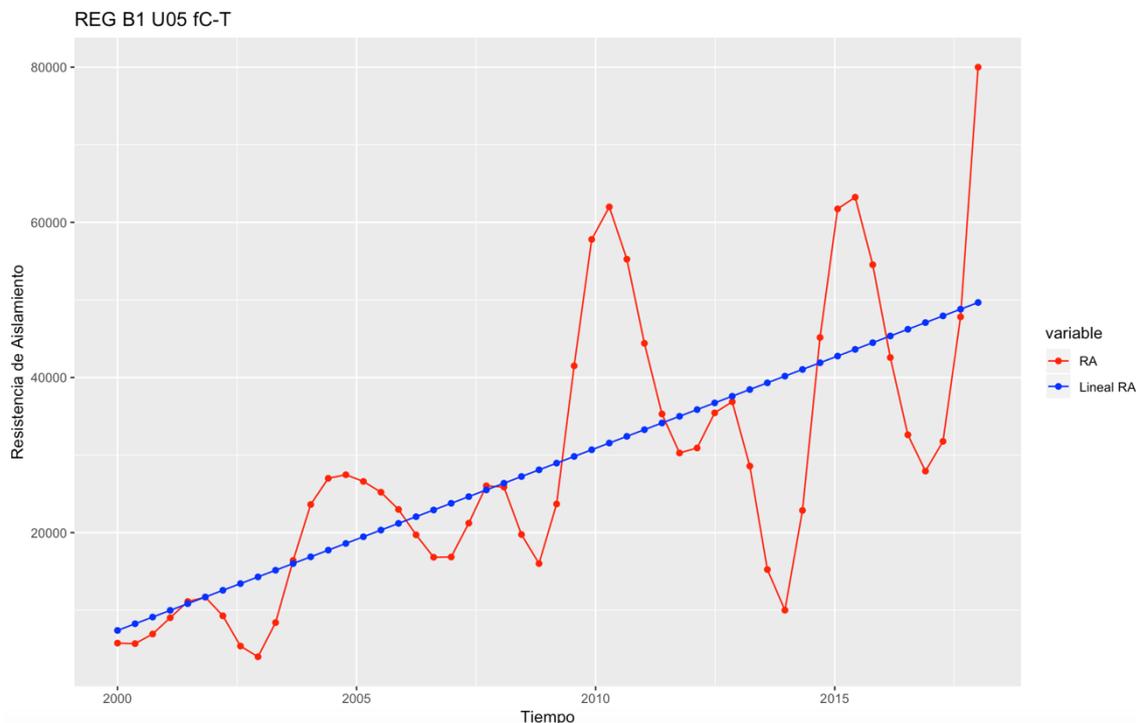
**Figura 3.2** REG B1 fA - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura 3.3** REG B1 fB - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura 3.4** REG B1 fC - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla 3.1** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B1 de la U05.

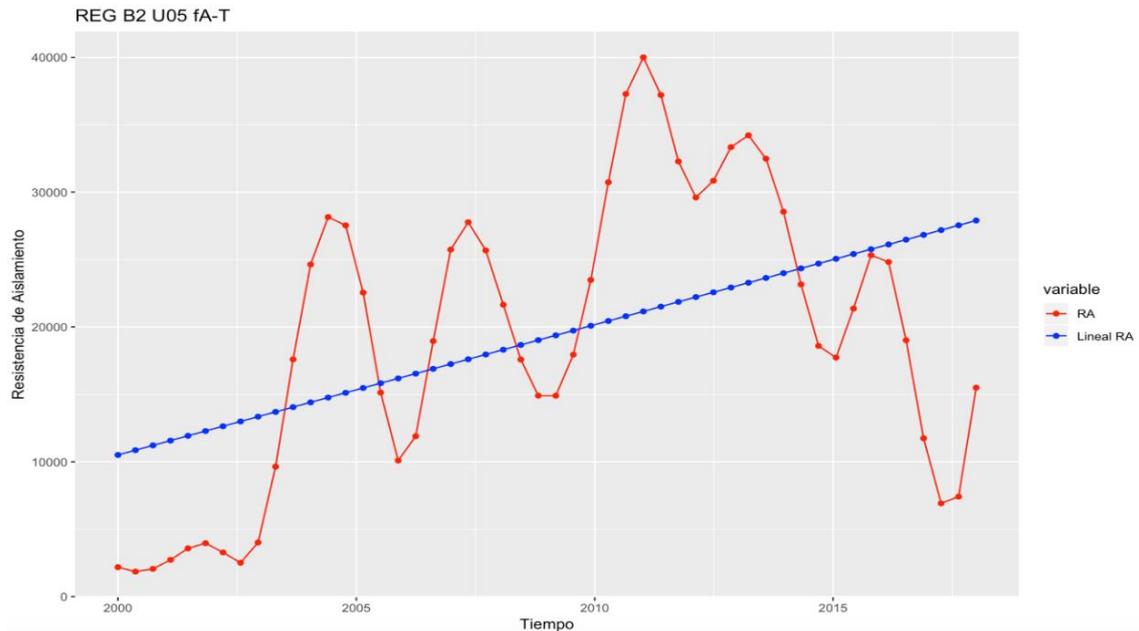
	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	23456.93	26883.71	20775.68
<b>MEDIA</b>	27752.70	32547.23	29444.13
<b>MEDIANA</b>	26000.00	25000.00	26600.00
<b>MIN</b>	1500.00	3233.54	4300.00
<b>MAX</b>	90000.00	100000.00	80000.00

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

De acuerdo a los valores expuestos en la Tabla 3.1, encontrados mediante el análisis descriptivo, se identificó que:

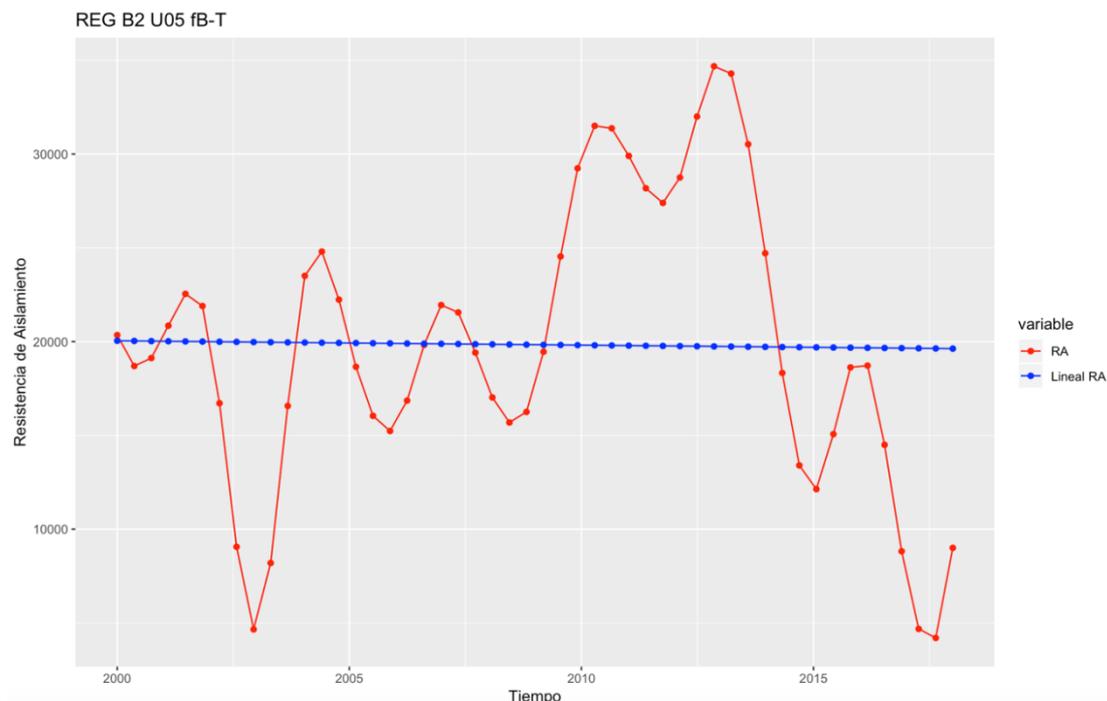
La resistencia de aislamiento presenta valores estadísticos dentro de los rangos aceptables según la norma (43-2013 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery.). En teoría, un cambio brusco en las mediciones indica presencia de humedad y acumulación de polvo, y pese a que la tendencia a través del tiempo que presenta la resistencia de aislamiento es ascendente, esto significa que el motor puede continuar funcionando de manera normal. La línea azul de las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 representa la proyección lineal de las mediciones a través del tiempo.

## Regulación B2



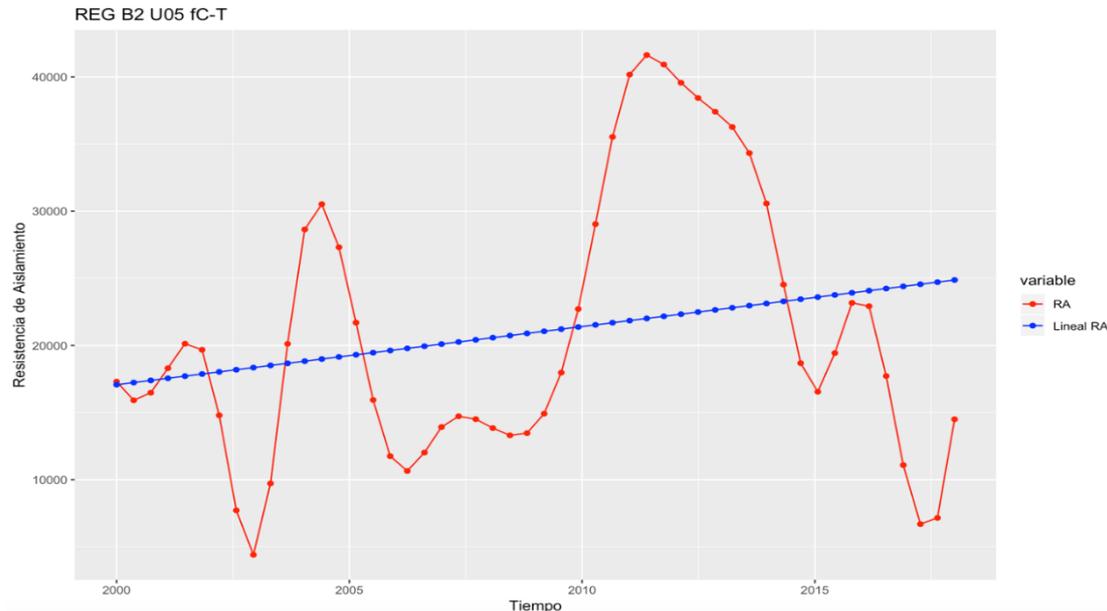
**Figura 3.5** REG B2 fA - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE



**Figura 3.6** REG B2 fB - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE



**Figura 3.7** REG B2 fC - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla 3.2** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B2 de la U05.

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	11221.02	7922.83	10207.75
<b>MEDIA</b>	18993.71	19775.73	20951.01
<b>MEDIANA</b>	22600.00	20222.86	17711.06
<b>MIN</b>	2180.00	4650.00	4650.00
<b>MAX</b>	40000.00	35000.00	40000.00

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

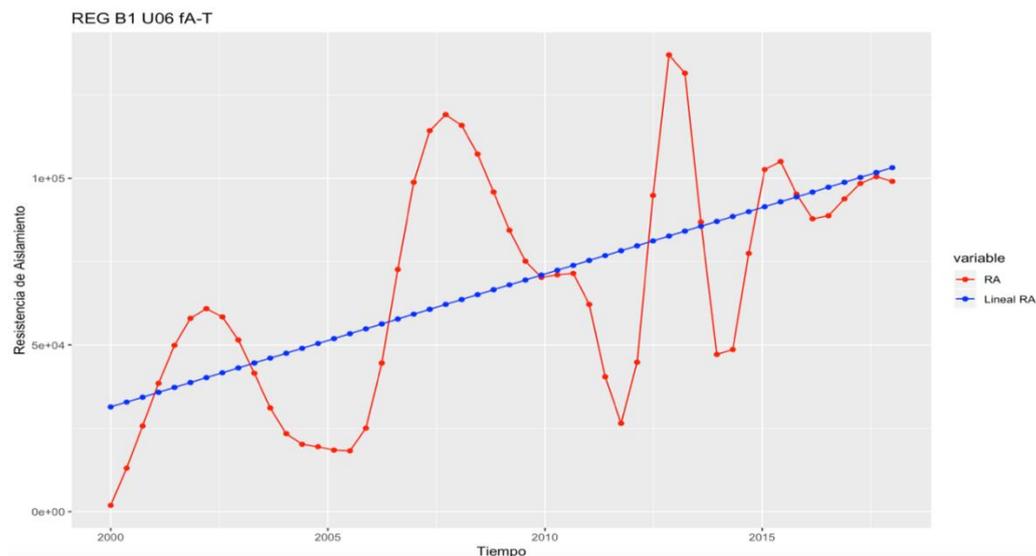
De acuerdo a los valores expuestos en la Tabla 3.2, encontrados mediante el análisis descriptivo, se identificó que:

La resistencia presenta valores estadísticos dentro de los rangos aceptables según la norma (43-2013 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery). La presencia de humedad y acumulación de polvo da origen a un cambio brusco en las mediciones, sin embargo, el motor puede continuar funcionando de manera normal debido a que la tendencia a través del tiempo que presenta la resistencia de aislamiento es

ascendente. En las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6, la línea azul representa la proyección lineal de las mediciones a través del tiempo.

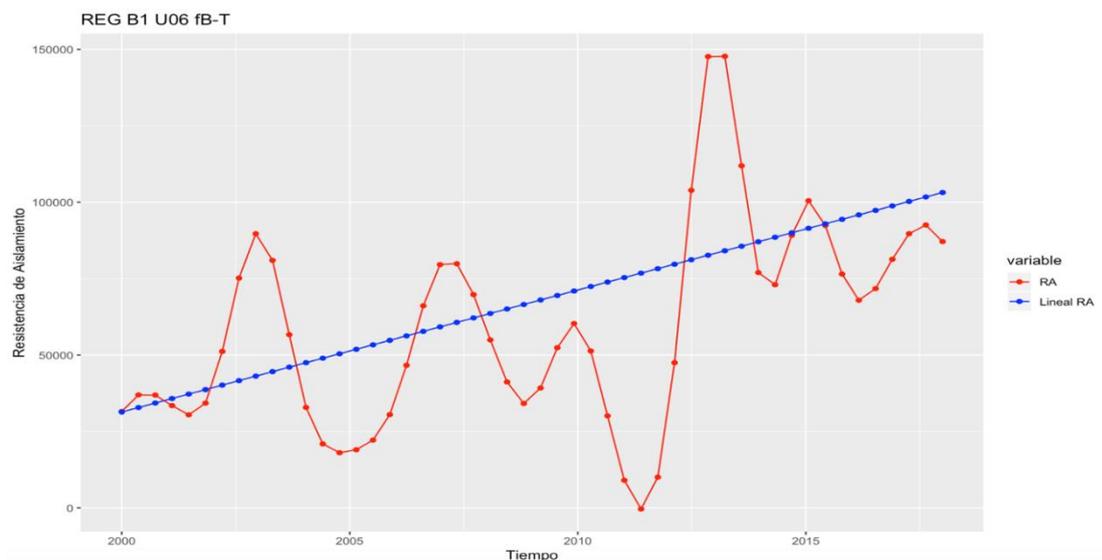
U06

### Regulación B1



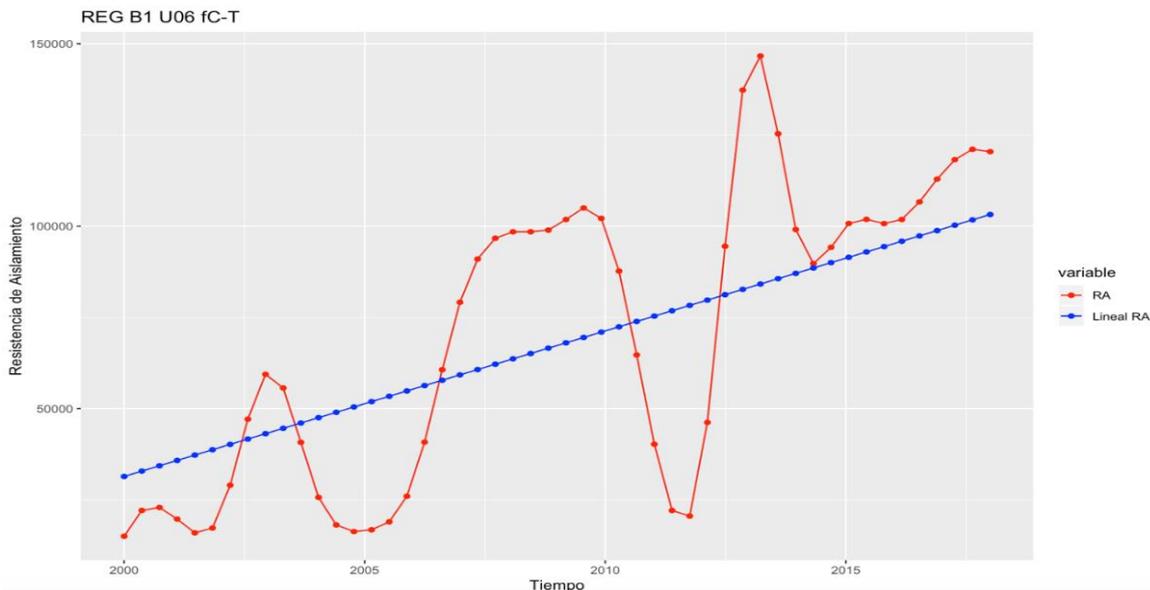
**Figura 3.8** REG B1 fA - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE



**Figura 3.9** REG B1 fB - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE



**Figura 3.10** REG B1 fC - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

**Tabla 3.3** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B1 de la U06.

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	36976.32	36069.36	42750.04
<b>MEDIA</b>	63786.05	59521.92	68043.06
<b>MEDIANA</b>	61550.00	50000.00	70000.00
<b>MIN</b>	1860.00	10000.00	15001.37
<b>MAX</b>	142000.00	154000.00	146000.00

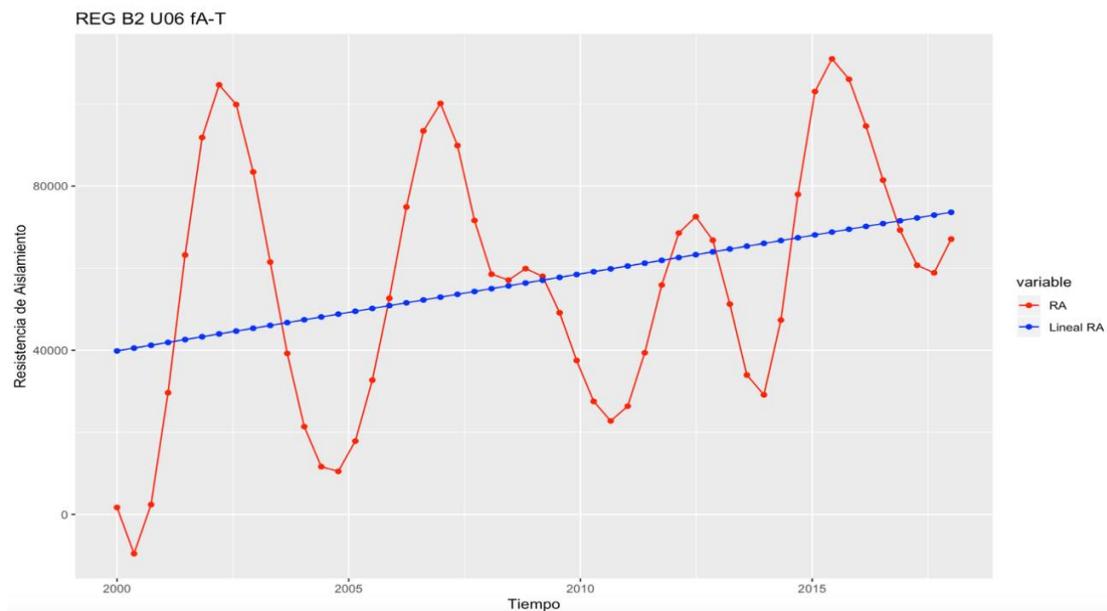
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

De acuerdo a los valores expuestos en la Tabla 3.3, se identificó lo siguiente:

Según la norma (43-2013 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery), se presenta valores estadísticos dentro de los rangos aceptables para el análisis descriptivo de resistencia de aislamiento. Un cambio brusco en las mediciones indica presencia de humedad y acumulación de polvo, a pesar de ello, la resistencia de aislamiento es ascendente a través del tiempo, por lo tanto, el motor puede continuar

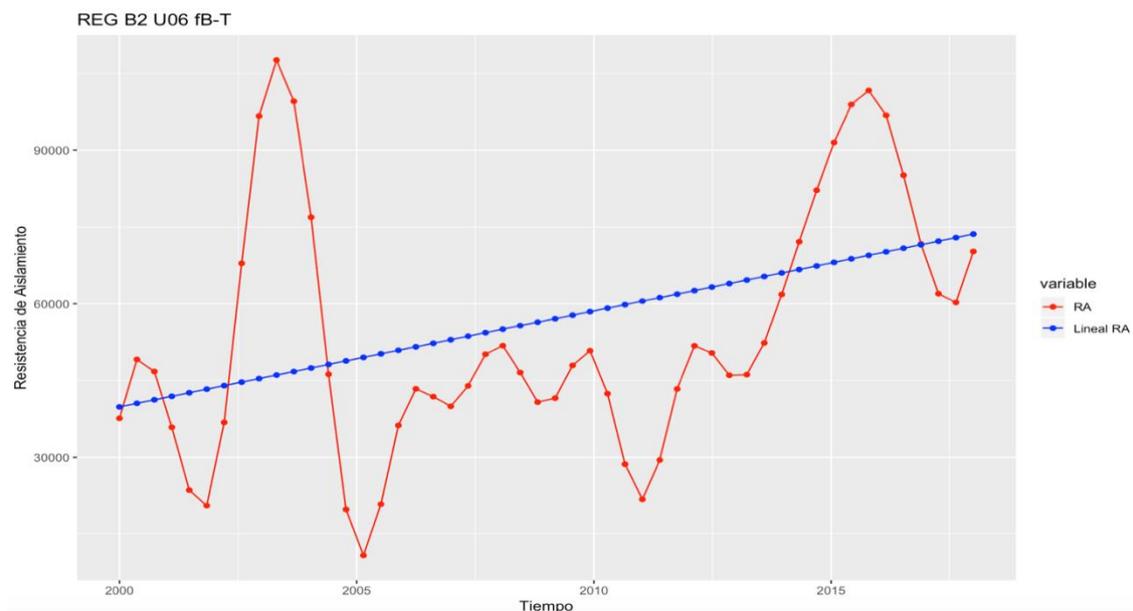
funcionando de manera normal. La línea azul de las Figuras 3.7, 3,8 y 3,9 representa la proyección lineal de las mediciones a través del tiempo.

### Regulación B2



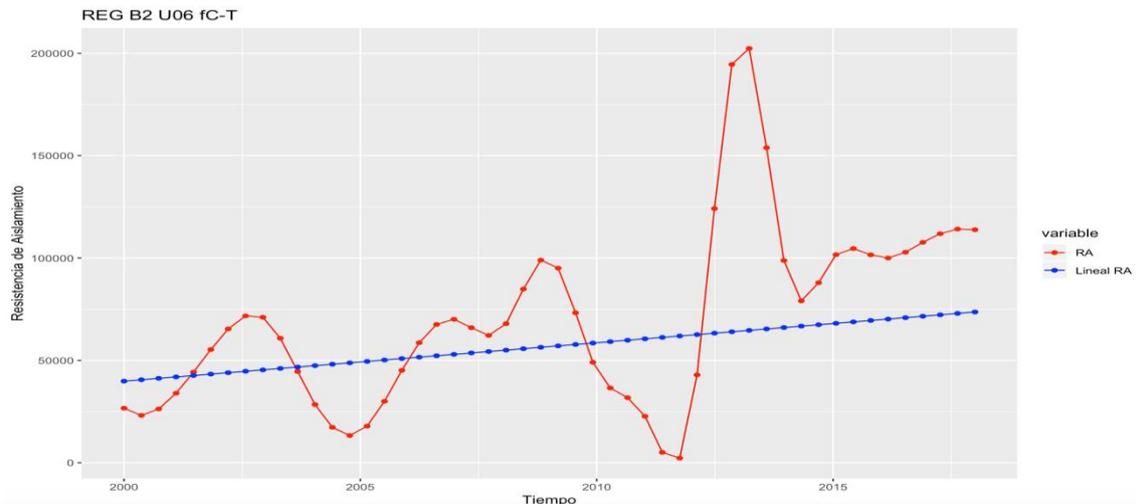
**Figura 3.11** REG B2 fA - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura 3.12** REG B2 fB - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura 3.13 REG B2 fC - T.**

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla 3.4** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG B2 de la U06.

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	31423.85	25416.28	46558.84
<b>MEDIA</b>	56396.57	53925.25	70227.50
<b>MEDIANA</b>	60347.50	50000.00	65383.13
<b>MIN</b>	1700.00	11500.00	15000.00
<b>MAX</b>	100080.00	100080.00	207000.00

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

De acuerdo a los valores expuestos en la Tabla 3.4, se identificó lo siguiente:

De la norma (43-2013 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery) se concluye que el análisis descriptivo de resistencia de aislamiento presenta valores estadísticos dentro de los rangos aceptables de operación. Además, la presencia de humedad y acumulación de polvo producen un cambio brusco en las mediciones, no obstante, el motor puede continuar funcionando normalmente como resultado del mantenimiento realizado que implica incremento en la resistencia de aislamiento a través del tiempo. La línea azul de las Figuras 3.10, 3.11 y 3.12 representa la proyección lineal de las mediciones a través del tiempo.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROPUESTA DEL DISEÑO DE PROTECCIONES**

Los mecanismos de protección de servicios auxiliares en centrales de generación se enfocan en: transformadores de centros de carga, motores eléctricos, tableros y cables. La protección generalmente utiliza dispositivos de protección contra sobrecorriente que pueden ser: interruptores, relés, fusibles y protección térmica.

Según la norma IEEE Std 37.96-2012 (2013) la propuesta del diseño de protecciones se dirige hacia los motores eléctricos de los sistemas en referencia, el cual consiste en determinar los aspectos de cada elemento de protección con las características del elemento a proteger, por consiguiente se trata de un estudio de coordinación (Enríquez, 1996; Gómez, 2006). El propósito del análisis de coordinación de protecciones es determinar las características, rangos y ajustes de los equipos de protección. Como resultado se tendrá una operación confiable, rápida y selectiva en caso de ocurrir una falla, procurando que la parte fallada quede aislada.

#### **4.1 Motivación**

El avance tecnológico y el progreso de los países requiere una demanda de energía constante, lo cual nos exige contar con un mecanismo de protecciones robusto y confiable, cuya función es aislar la parte afectada, disminuir daños en los equipos e impedir que la falla afecte en la operación al resto del sistema; además el sistema de protecciones debe dar información al personal sobre el tipo y la localización de la falla, con la intención de que la falla sea eliminada rápidamente.

En la central hidroeléctrica Molino, la segunda más robusta del país después de Coca Codo Sinclair, es importante que se modernice el sistema de protecciones, utilizando los avances tecnológicos (módulos de protecciones) y la actualización de normas y estándares que permitirán detectar condiciones

anormales en el proceso eléctrico e iniciar acciones correctivas inmediatas para restablecer las actividades de operación normales.

## 4.2 Consideraciones Previas

La fiabilidad de un mecanismo eléctrico depende de la correcta operación de los equipos de protección, para el caso de sobrecorriente estos están diseñados para operar cuando la magnitud de la corriente en el elemento protegido es mayor que la magnitud predeterminada, lo que incita para que se den valores anormales de corriente son las sobrecargas y los cortocircuitos (Conde, 2002).

Las curvas de sobrecorriente se configuran para proteger al motor en función de sus curvas de límite térmico. Existen relés modernos de protección de motores basados en microprocesadores que tienen modelos térmicos que se aproximan a las consecuencias de calentamiento que tienen varias condiciones del sistema en el estator y el rotor.

La aplicación de relés de protección, tiene cinco características básicas que se deben considerar, y se detallan a continuación:

La protección debe ser confiable; significa que la protección debe responder siempre correctamente. Esto implica que debe responder de manera segura y efectiva ante cualquier situación. La respuesta de la protección es operar o no operar.

Segura; significa que pueden ocurrir disparos innecesarios o disparos necesarios pueden ser omitidos.

La protección debe ser selectiva; hace mención de que los relés no deben operar para fallas que no corresponden a su diseño. Cuando se desconecta una cantidad reducida de componentes del mecanismo en relación a la falla se obtiene selectividad total.

La protección debe ser sensible; se refiere a una pequeña cantidad de carga que se debe distribuir del transformador de instrumento que lo alimenta, para que el relé opere.

Velocidad de operación; mínimo tiempo de falla con el mínimo daño del equipo.

Simplicidad; mínimo de equipos y circuitería para conseguir los objetivos de protección.

Economía; máxima protección con el mínimo costo.

Con la finalidad de cumplir cada aspecto mencionado anteriormente, se analiza los problemas actuales de las protecciones de los motores auxiliares; así pues se realizó una simulación del diseño que se propone según la norma IEEE Std 37.96-2012 (IEEE, 2013; Amaya, 1997; Gómez, 2006; Blackburn & Domin, 2006; Pierre & Wolny, 1986).

### **4.3 Límites de Protección para Motores**

#### **4.3.1 Condiciones de Operación**

Los elementos de protección deben ser ajustados de tal manera que no presenten sensibilidad ante la corriente nominal o a plena carga, corrientes permitidas de sobrecarga, corrientes de arranque y magnetización (Gómez, 2006; Blackburn & Domin, 2006).

La Figura 4.1 muestra la curva característica de tiempo – corriente para el motor de inducción también conocida como perfil del motor (Enríquez, 1996), está constituida por los siguientes elementos:

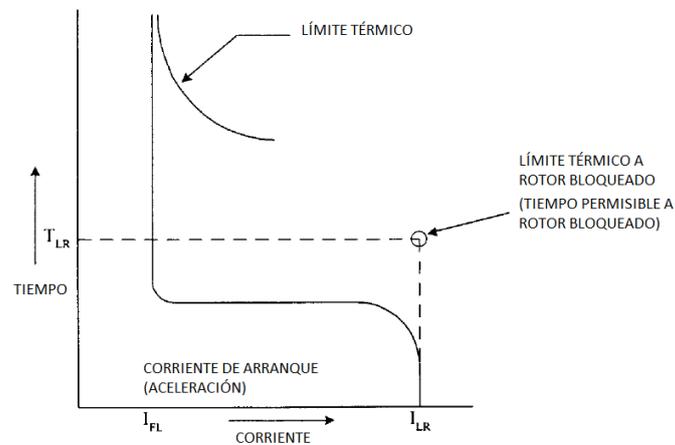
- Corriente a plena carga; es la corriente que demanda el motor en condiciones de frecuencia, tensión y potencia nominal.

- Corriente de magnetización; es la corriente que circula por los devanados del estator cuando el motor es energizado, considerando que se presenta durante 0.10 s se estima que su valor puede ser de  $I_{mag} = 1.76 * I_{RB}$  para tensiones mayores a 600V, y  $I_{mag} = 1.5 * I_{RB}$  para tensiones menores a 600V.
- Corriente a rotor bloqueado; es la corriente demandada por el motor en el arranque considerando una velocidad cero (rotor bloqueado), se obtiene a partir de la letra de código del motor y se expresa en KVA/HP, para fines prácticos la  $I_{RB} = I_{PC}$  (5 – 7 veces) ( $I_{PC}$  es la corriente a plena carga).
- Tiempo de aceleración; es el tiempo de transición entre la corriente de arranque y la de plena carga del motor. Su valor depende de la capacidad nominal, par de arranque y la inercia de la carga (cuando no se conoce se puede tomar 10 s).
- Tiempo de atascamiento máximo permitido; es el tiempo requerido para que la corriente de rotor bloqueado con la que arranca decaiga a su valor nominal.

**Tabla 4.1** Información para calcular la curva de arranque o perfil del motor.

Magnitud de Corriente (A)	Tiempo ( seg)
$I_{RB} = ( 5 \text{ A } 7 ) I_{PC}$	$0.1 \leq t \leq 30$
$I_{MAG} = (1.5 \text{ A } 1.76) I_{RB}$	0.1
$I_N = I_{PC}$	$10 \geq t$

**Fuente:** (Pierre & Wolny, 1986; IEEE, 2013; National Electrical Code Committee, 1999)



**Figura 4.1** Curvas típicas de arranque y capacidad de un motor.

**Fuente:** (IEEE, 2013)

#### 4.3.2 Causas que Contribuyen a la Mala Operación de los Relés

Según el libro de Protecciones Eléctricas (Enríquez, 1996) las causas pueden ser:

- Transformadores de corriente y circuitos de control
- Transformadores de potencial y circuitos de control
- Alimentación de la fuente de CD
- Circuito abierto
- Fallas en las cuchillas de prueba
- Fallas en el interruptor
- Fallas en el relevador

#### 4.4 Márgenes de Coordinación

Un análisis de coordinación de protecciones se basa en las características operativas de los equipos de protección que están representadas por curvas de tiempo-corriente en escala logarítmica.

Así mismo las curvas de los relevadores de protección se representan por una sola línea y las de interruptores y algunos fusibles mediante una banda que indica los límites donde se espera que opere el dispositivo.

Es importante seleccionar y conocer las características de los dispositivos de protección, de acuerdo a las necesidades del sistema que se quiere proteger. Para los equipos en baja tensión los componentes de protección son: relevadores de sobrecarga, interruptores termomagnéticos e interruptores de estado sólido.

Según la norma IEEE Std 242-2001 (IEEE, 2001) para los motores la unidad temporizada considera un margen de sobrecarga de acuerdo al factor de servicio de la siguiente manera:

$$Pickup = 1.15 * I_n \quad FS = 1 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$Pickup = 1.25 * I_n \quad FS = 1.15 \quad \text{Ecuación 8}$$

de donde:

$I_n$ : es la corriente nominal del motor

FS: es el factor de servicio.

El *pickup* de la unidad temporizada de tierra se estima a partir de la menor corriente que se presente entre las dos condiciones.

$$Pickup = \min(10\% * I_n, 10\% * I_{cc1\phi en bornes}) \quad \text{Ecuación 9}$$

El dial de fase se selecciona para que la curva de arranque del motor quede por debajo de la curva de sobrecarga, y así evitar disparos durante el arranque del motor. Como criterio se toma que el tiempo entre las dos curvas (arranque y sobrecarga) debe ser como mínimo 250 ms.

El dial de tierra se fija en  $t=100$  ms con el fin de tener en cuenta el desbalance de corrientes durante el arranque del motor.

La unidad instantánea del dispositivo de protección del motor se ajusta en 13 veces la corriente nominal del motor.

#### **4.5 Propuesta del Diseño**

El análisis de coordinación de protecciones se enfoca en la correcta aplicación y ajustes de relés, interruptores o fusibles, el objetivo es conseguir la máxima sensibilidad ante la presencia de fallas o condiciones anormales en el mecanismo eléctrico, pero a su vez impedir la operación de alguno de estos dispositivos de protección dentro de parámetros aceptables.

La norma IEEE Std 37.96-2012 (2013) presenta diseños para motores de inducción de bajo voltaje, con lo que se tiene que la corriente de arranque por sobrecarga será ajustada a menos del 115% y 125% de la corriente a carga total para un motor con factor de servicio de 1 y 1.15 respectivamente, de conformidad con el NEC (National Electrical Code Committee, 1999).

Además, la curva de sobrecarga será ajustada arriba de la curva de corriente de arranque del motor y por debajo de la curva de límite térmico.

De acuerdo a la norma IEEE Std 242-2001 de (IEEE, 2001) es importante elaborar un diagrama unifilar del sistema involucrado en el estudio. La información o parámetros de los componentes que integran el diagrama son utilizados para el cálculo de corrientes de cortocircuito, y con ello dimensionar los ajustes y rangos de los dispositivos de protección.

Para este caso la información que se presenta en el diagrama unifilar es la siguiente:

- Datos de barras e interruptores.
- Datos del transformador auxiliar.
- Datos del cable.

- Información de dispositivos de protección.
- Datos de motores

En la norma IEEE Std 37.96-2012 (2013) el sistema de protección para motores de bajo voltaje se presenta en la Figura 4.2 y las protecciones que utiliza son las siguientes:

#### **4.5.1 Protección 50 – Relé de Sobrecorriente Instantáneo**

Cuando la corriente de falla de fase en los terminales de un motor es considerablemente mayor que la corriente de arranque o la contribución del motor a una falla, una unidad de disparo instantáneo de ajuste alto se puede configurar en 165% a 250% del rotor bloqueado actual para disparar directamente. El requisito general para usar esta unidad instantánea o relé instantáneo separado es que el ajuste sea lo más bajo posible, pero nunca opere durante el período de inicio (IEEE, 2013).

#### **4.5.2 Protección 51 – Relé de Sobrecorriente Temporizado**

Estos relés, frecuentemente equipados con uno o dos accesorios IOC (Instantaneous Overcurrent), se aplican comúnmente para la protección de los circuitos del motor. Para las aplicaciones en las que el relé TOC (Time Overcurrent) se usa junto con los relés térmicos, la activación se establece en 150% a 175% de la corriente de carga nominal.

En los casos en que se requiere un motor para situaciones de emergencia, como bombas contra incendio, seguridad nuclear u otros procesos químicos críticos, y el motor puede ser sacrificado, se pueden considerar ajustes más altos. Un relé TOC con un accesorio IOC se puede configurar al 115% de la corriente de carga completa. Alarma por sobrecargas moderadas por debajo de la configuración de IOC y dispara por sobrecargas o fallas más severas. En algunos casos, puede ser posible obtener una mejor coincidencia con el límite térmico del motor mediante el uso de dos relés TOC con diferentes

características de tiempo-corriente. Esta podría ser una solución más deseable si se utiliza el límite térmico de aceleración del motor.

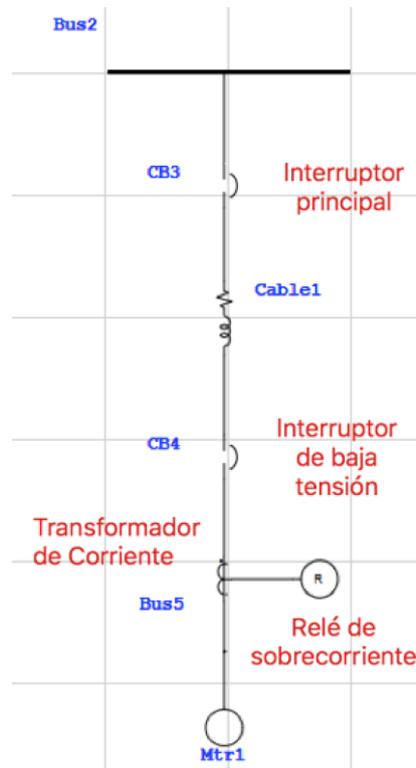
El primer relé debe tener una configuración de captación más sensible del 115% al 125% de la corriente del factor de servicio y brindar protección a la mayoría de la curva de daño térmico en funcionamiento del motor (IEEE, 2013).

El segundo relé tendría una configuración de recolección mucho mayor del 200% al 300%, con una característica inversa ajustable para brindar protección al límite térmico de aceleración del motor, al tiempo que permite un margen adecuado para el arranque del motor.

Dado que las características de corriente de arranque de tales motores varían tan ampliamente, la protección de sobrecarga debe verificarse contra los requisitos específicos del motor (IEEE, 2013).

#### **4.5.3 Interruptores Automáticos de Baja Tensión**

En motores que son controlados por interruptores de circuito de potencia de bajo voltaje (LVPCB), se recomienda que la captación a largo plazo del dispositivo de disparo por sobrecorriente no sea inferior al 115% de la corriente nominal de plena carga del motor. Con las características de disparo fácilmente ajustables disponibles en LVPCBs, en retardo de tiempo prolongado, retardo de tiempo corto y disparo instantáneo, estos interruptores de circuito proporcionan una protección adecuada contra sobrecarga del motor. El ajuste de disparo instantáneo debe estar por encima de 1.75 y hasta 2.00 veces la corriente del rotor bloqueado del motor. Se debe prestar mucha atención a este entorno según el tipo de motor (eficiencia) y la capacidad del dispositivo o sistema de protección (IEEE, 2013).



**Figura 4.2** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motores de baja tensión

**Fuente:** (IEEE, 2013)

Como se observa en la Figura 4.2 el sistema de protección que se propone consta de un interruptor de circuito, un relé de sobrecorriente y la protección a tierra que se emplea para motores de 25 a 100 HP.

#### 4.6 Coordinación de Protecciones empleando ETAP

ETAP es el software más completo de análisis para el diseño, simulación y operación de la generación, transmisión, distribución y mecanismos de potencia industriales y uno de los módulos con mayores librerías es el módulo de coordinación de protecciones. Este módulo contiene las características principales de cientos de componentes de protección que comercialmente son empleados en sistemas industriales.

Además, permite verificar la selectividad de los sistemas de protección de un proceso eléctrico de acuerdo a los criterios establecidos por el usuario. Las curvas tiempo-corriente de los dispositivos de protección se utilizan para la

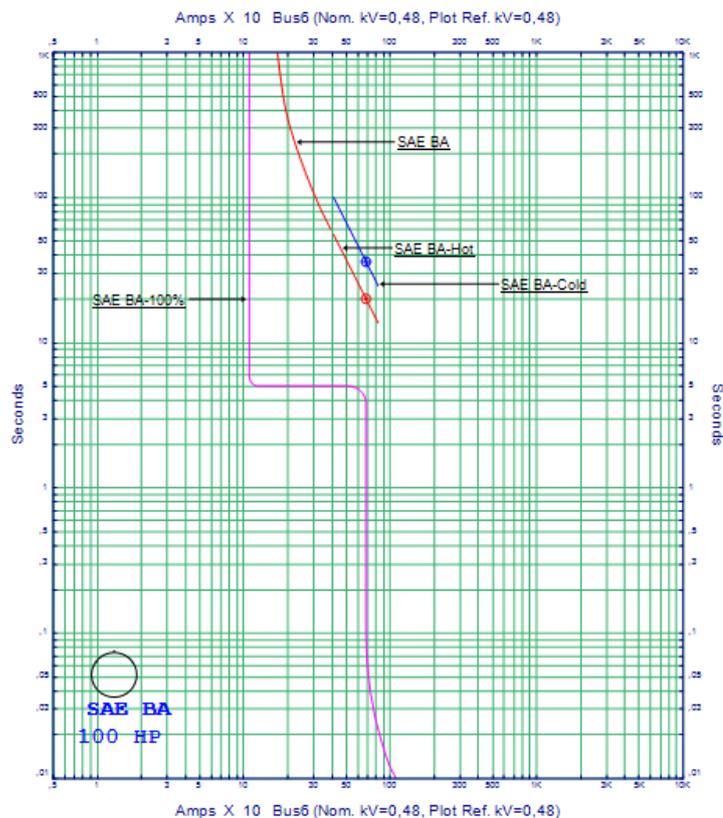
coordinación, las mismas que representan la característica de protección y su ajuste se puede realizar visualmente a través de ellas.

Asimismo, se considera los parámetros de límite térmico del cable, curva de daño de transformadores y generadores, aceleración y limitación de corriente mediante dispositivos de arranque (Mendieta, 2015).

#### 4.6.1 Diseño de Protección de los Motores

##### 4.6.1.1 Curva de arranque y límites térmicos

Para la elección de los dispositivos de protección y sus ajustes primero se obtuvo la curva de arranque a una total carga y los límites térmicos de cada motor, a continuación, se ilustra las características para un motor de 100HP:



**Figura 4.3** Curva de arranque y límites térmicos del rotor de un motor de 100HP.

**Fuente:** Elaboración propia

Como se había mencionado en la Sección 4.2 las curvas de sobrecorriente se configuran para proteger al motor en función de sus curvas de límite térmico; es decir para configurar la operación del relé 50/51 la curva debe estar debajo del límite térmico y encima de la curva de arranque del motor.

#### 4.6.1.2 Estudio de Cortocircuitos

Un estudio de cortocircuitos involucra definir el evento más crítico que puede sufrir el motor. Lo que se pretende conseguir con este estudio es dimensionar correctamente los elementos de protección y lograr mitigar daños en la máquina

La elección de los elementos de protección contra cortocircuitos, así como los ajustes se realizó mediante un estudio de los distintos tipos de falla en cada motor, con lo que se verificó que el caso más crítico es el trifásico. En la Tabla 4.2 se presenta los valores que se obtuvo de cada motor y varios tipos de falla:

**Tabla 4.2** Información para calcular la curva de arranque o perfil del motor.

Potencia (HP)	Falla 3 $\emptyset$ (kA)	Falla L-T (kA)	Falla L-L (kA)	Falla L-L-T (kA)
100	7.45	5.082	6.474	7.041
30	10.716	8.704	9.319	10.111
75	5.959	4.834	5.171	5.658
27.5	3.471	2.88	3.008	3.275
23.2	4.689	3.878	4.066	4.436
7.5	1.929	1.604	1.671	1.824
6.13	3.474	2.886	3.01	3.281
5.33	3.474	2.886	3.01	3.282
6	9.075	7.407	7.883	8.585

**Fuente:** (Pierre & Wolny, 1986; National Electrical Code Committee, 1999; IEEE, 2001)

Debido a la diferencia de potencia significativa de los motores de servicios auxiliares se los dividió en dos subcircuitos; con lo que se obtiene mayor selectividad cuando ocurre una falla; es decir, sacar de servicio solo la parte fallada sin exponer al resto de máquinas a que salgan de operación.

## **CAPÍTULO 5**

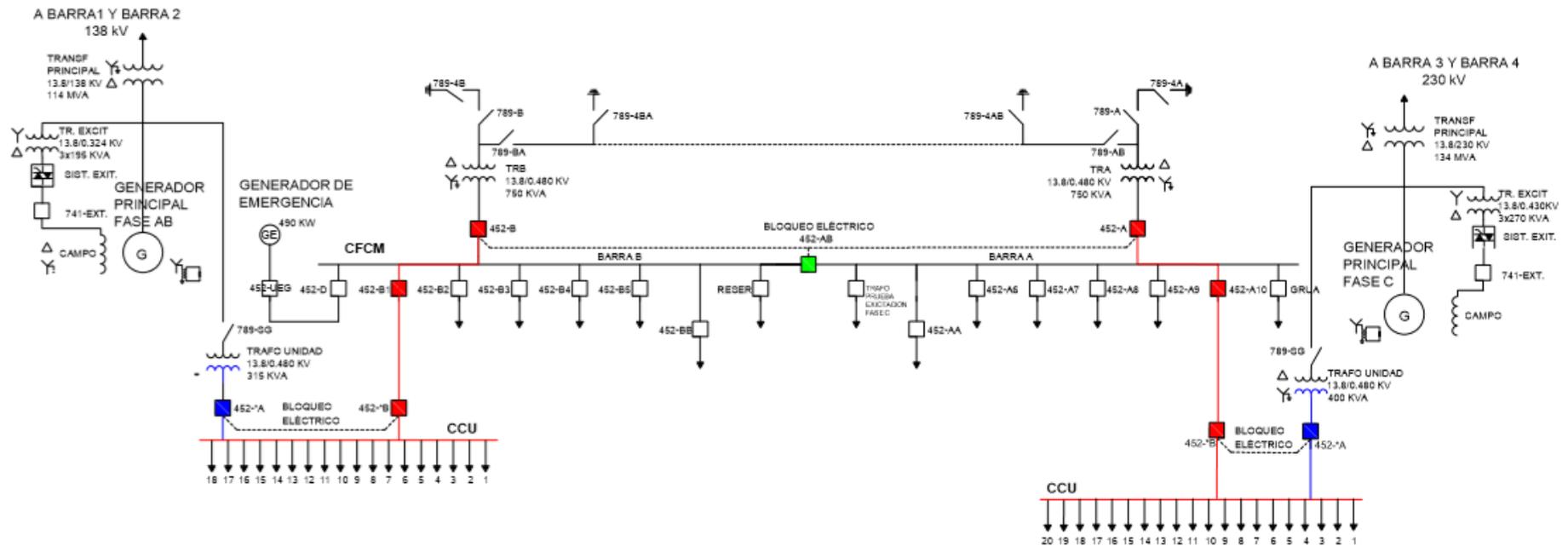
### **RESULTADOS**

Luego del análisis descriptivo de la resistencia de aislamiento que se muestra en el Anexo A en las Tablas A9 y A15 de U05 y U06 respectivamente, se procedió a simular el diseño de protecciones propuesto en la Figura 4.2 para la modernización de la central Molino en el software ETAP; asimismo los equipos de protección fueron dimensionados según los datos técnicos de cada motor y se realizó un estudio de cortocircuitos.

#### **5.1 Simulación Digital**

El análisis de coordinación de las protecciones utilizó los datos obtenidos durante una falla trifásica, para cada caso se presenta el diagrama con la falla considerada, la secuencia y tiempo de operación de cada dispositivo y la carta de coordinación asociada. Es importante destacar que es representativa la diferencia de potencia entre cada motor por lo que se sugiere realizar la coordinación por subcircuitos agrupando los motores según su potencia.

En la Figura 5.1 se muestra el diagrama unifilar de fuerza de la central Molino, donde se puede apreciar cómo están distribuidos los motores para cada fase de construcción.



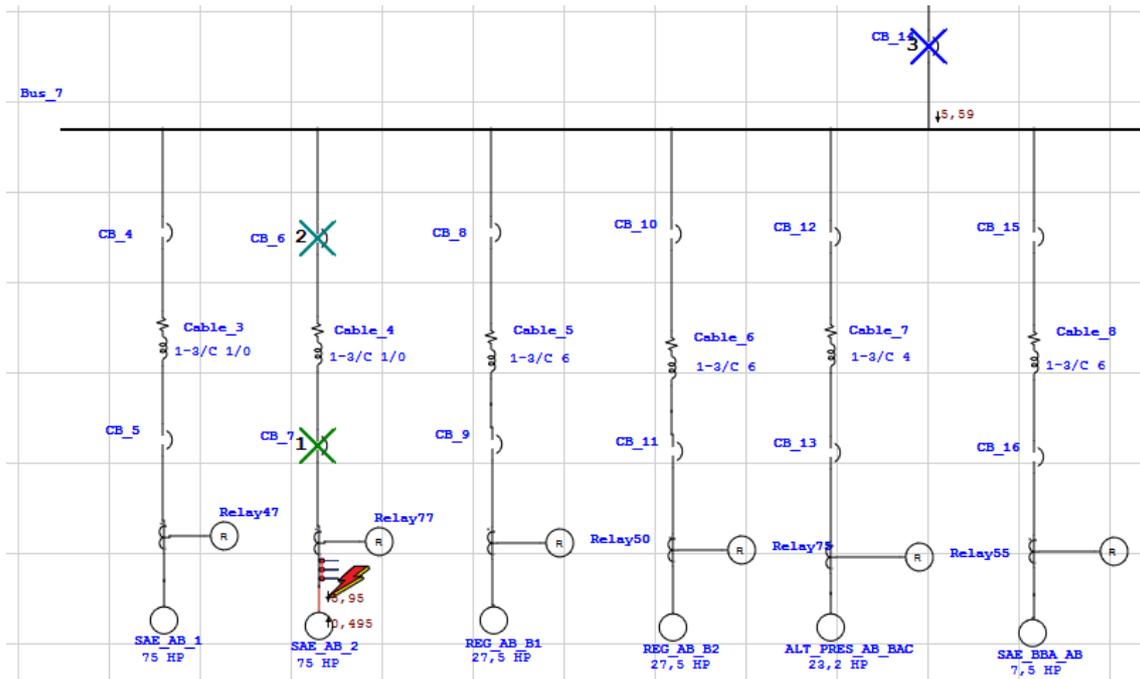
**Figura 5.1** Esquema Unifilar de Fuerza de la Central Molino

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

## 5.2 Estudio de Cortocircuito

### 5.2.1 Análisis de falla trifásica en Motores de la U05

#### 5.2.1.1 SAE Bomba Principal



**Figura 5.2** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 75HP

**Fuente:** Elaboración propia

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_11 & SAE\_AB\_2. Adjacent bus: Bus\_11

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay77	5,954	10,0		Phase - OC1 - 50
25,0	CB_7	5,954	0,0	25,0	
50,0	CB_6	5,954	10,0	50,0	Phase
50,0	CB_14	5,594	10,0	50,0	Phase

**Figura 5.3** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 75HP

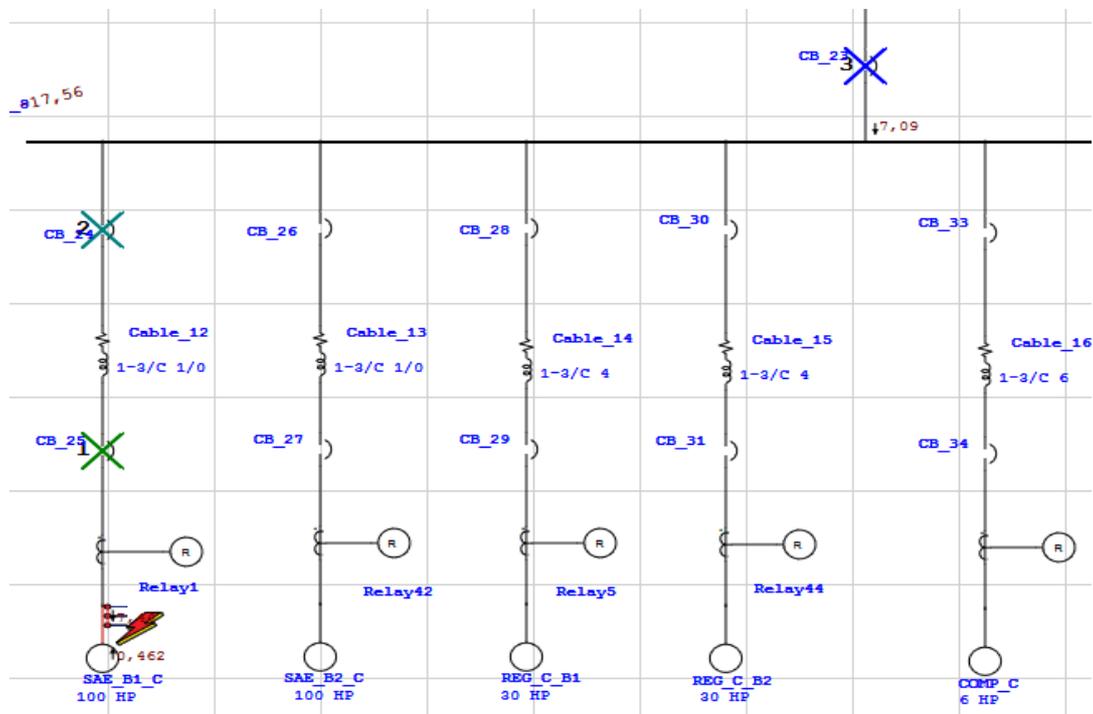
**Fuente:** Elaboración propia

En el diagrama unifilar de la Figura 5.2 se puede visualizar la operación de las protecciones CB7, CB6, CB14 y sus corrientes de falla correspondientes, con respecto a la falla analizada en el motor de 75HP.

La Figura 5.3 muestra los resultados del funcionamiento del relé y los interruptores asociados, así como los tiempos de acción de cada unidad de protección. Por lo tanto, se puede concluir que la selectividad por tiempo se realizó satisfactoriamente manteniendo la actuación en secuencia de las protecciones. Con toda esta información para falla trifásica en el motor de 75HP, el interruptor CB5 detecta la corriente de falla y entra en funcionamiento su unidad instantánea, eliminando el aporte del grupo de motores para corregir la falla.

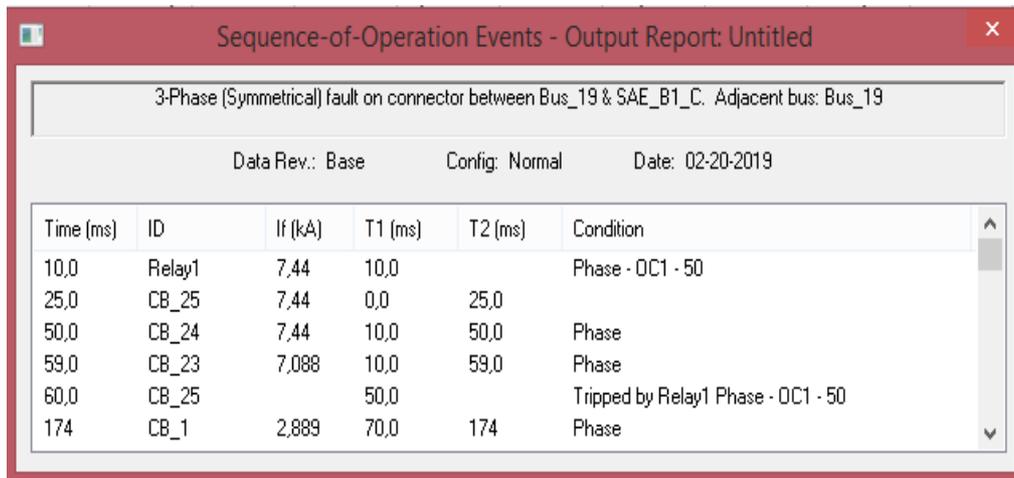
## 5.2.2 Análisis de falla trifásica en Motores de la U06

### 5.2.2.1 SAE Bomba Principal



**Figura 5.4** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 100HP

**Fuente:** Elaboración propia



Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay1	7,44	10,0		Phase - OC1 - 50
25,0	CB_25	7,44	0,0	25,0	
50,0	CB_24	7,44	10,0	50,0	Phase
59,0	CB_23	7,088	10,0	59,0	Phase
60,0	CB_25		50,0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 50
174	CB_1	2,889	70,0	174	Phase

**Figura 5.5** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 100HP

**Fuente:** Elaboración propia

En el diagrama unifilar de la Figura 5.4 se visualiza la operación de las protecciones CB25, CB24, CB23 y sus corrientes de falla correspondientes, con respecto a la falla analizada en el motor de 100HP.

Los resultados del funcionamiento del relé se ilustran en la Figura 5.5, así como los interruptores asociados a este, y los tiempos de acción de cada unidad de protección. Por lo tanto, se observa claramente que la selectividad por tiempo se realizó satisfactoriamente manteniendo la actuación en secuencia de las protecciones. Por las consideraciones anteriores para falla trifásica en el motor de 100HP, el interruptor CB25 detecta la corriente de falla y entra en funcionamiento su unidad instantánea, eliminando el aporte del grupo de motores para corregir la falla.

### 5.3 Coordinación de Protecciones en los Motores de Servicios Auxiliares con el ETAP

#### 5.3.1 Motores Auxiliares de la U05

##### 5.3.1.1 SAE Bomba Principal

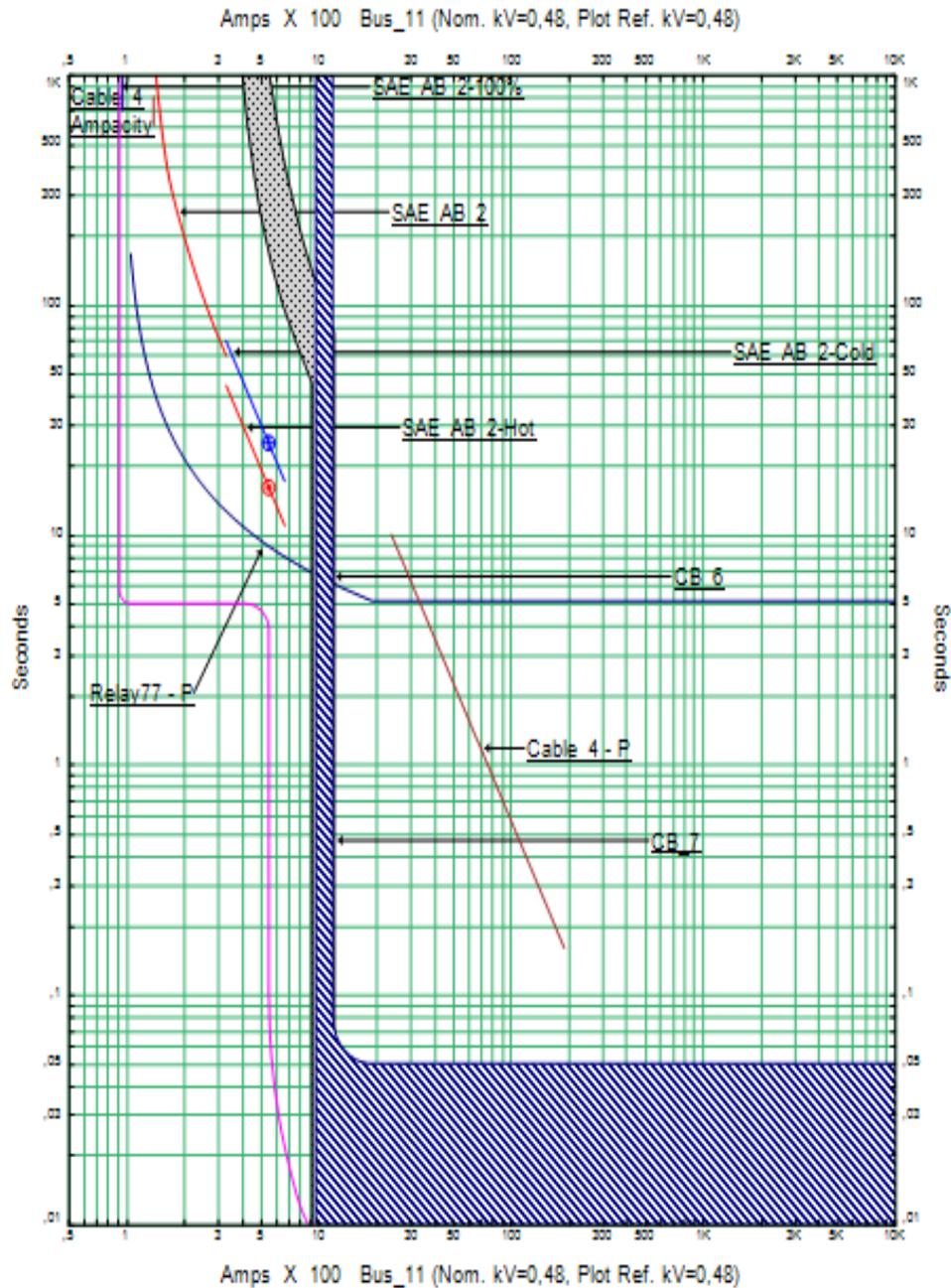


Figura 5.6 Coordinación de protecciones para un motor de 75HP

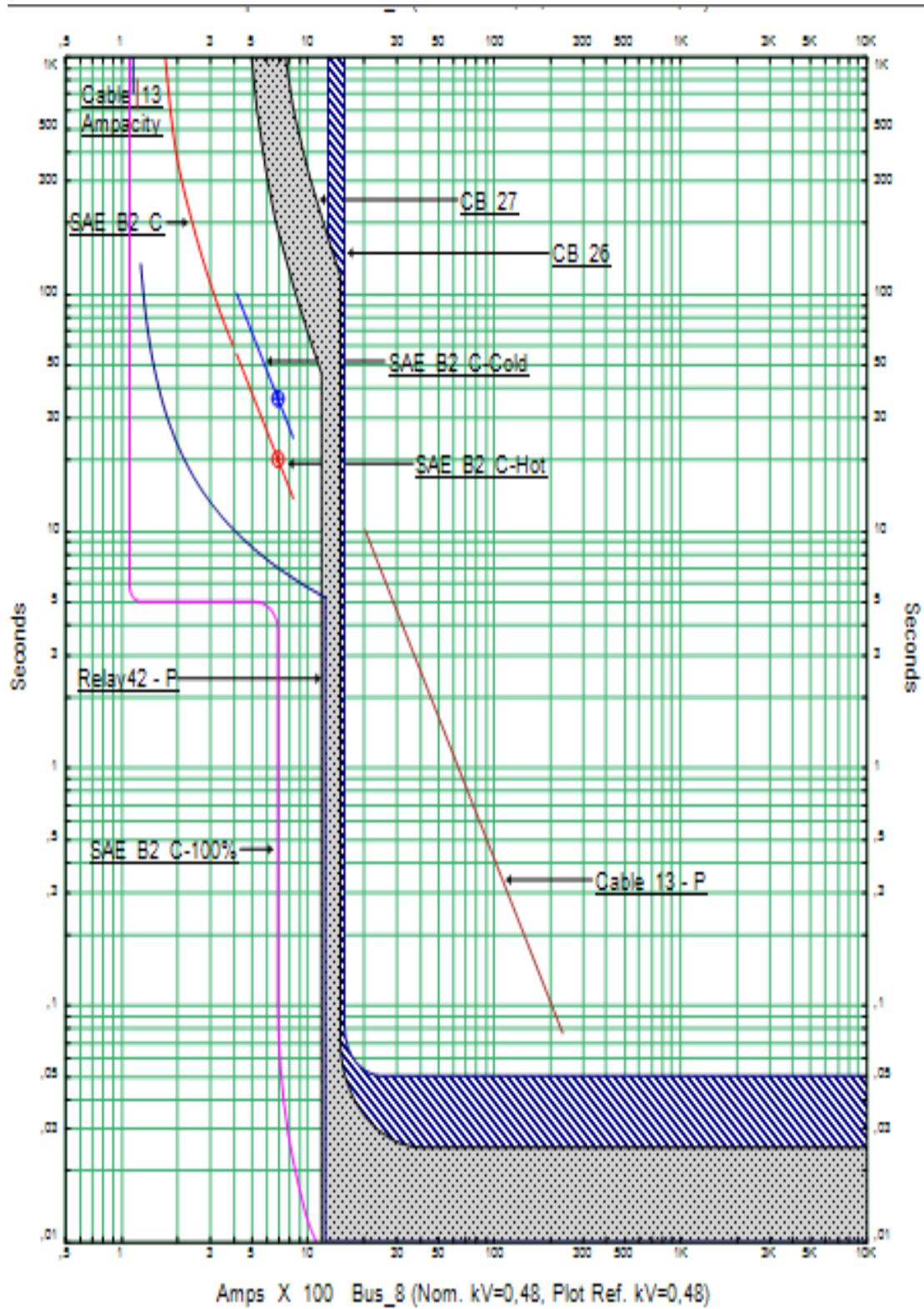
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.6 se presenta la carta de coordinación del motor de 75 HP. Las curvas de color rojo y azul indican los límites térmicos para este motor, mientras que la curva magenta representa el arranque del motor a plena carga, dichas curvas servirán para el correcto ajuste del relé de sobrecorriente. La corriente de cortocircuito trifásico se usa para ajustar la corriente de operación de los interruptores CB7 y CB6. Estableciendo así la correcta coordinación de las protecciones para esta condición de falla con los criterios que establece la norma IEEE Std C37.96-2012 (IEEE, 2013). Con esto, se puede verificar el correcto funcionamiento del motor según sus características técnicas.

### **5.3.2 Motores Auxiliares de la U06**

#### **5.3.2.1 SAE Bomba Principal**

La carta de coordinación del motor de 100HP se presenta en la Figura 5.7. Las curvas de color rojo y azul indican los límites térmicos para este motor, mientras que la curva magenta representa el arranque del motor a plena carga, dichas curvas servirán para el correcto ajuste del relé de sobrecorriente. Es evidente entonces que la corriente de cortocircuito trifásico se usa para ajustar la corriente de operación de los interruptores CB27 y CB26. Estableciendo así la correcta coordinación de las protecciones para esta condición de falla con los criterios que establece la norma IEEE Std 37.96-2012 (IEEE, 2013). Dadas las condiciones que anteceden, se puede verificar el correcto funcionamiento del motor según sus características técnicas.



**Figura 5.7** Coordinación de protecciones para un motor de 100HP

**Fuente:** Elaboración propia

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

El presente estudio se enfocó en analizar el comportamiento de la resistencia de aislamiento de los motores de inducción, con la finalidad de determinar el estado de su aislamiento y posteriormente, proponer un rediseño de protecciones basado en la norma IEEE Std C37.96-2012. Por lo cual, se optó por un análisis estadístico descriptivo sobre las resistencias de aislamiento en las pruebas eléctricas a motores de sistemas auxiliares ejecutado por un personal especializado en los últimos 18 años. Considerándose como parte del estudio el método puntual que, en conjunto a un análisis y cálculo de medidas de tendencia, variabilidad y gráficas de tendencias permitieron conocer y visualizar el comportamiento de las resistencias de aislamiento. Sin embargo, se emplea el uso de un programa cotidiano de Microsoft, denominado Excel, para la inclusión de datos que no fueron registrados en los mantenimientos y posteriormente fueron importados al software de análisis estadístico RStudio.

Existen factores influyentes en el funcionamiento de motores afectando principalmente la resistencia de aislamiento, entre ellos, se encuentra la humedad, polvo, temperatura y cambios suscitados por el nivel de contaminación. Por ende, para el estudio se procedió a dividir los motores según las dos fases de construcción de la central con sus respectivos motores.

El análisis descriptivo de resistencia de aislamiento de la U05 demostró que los motores cumplen con los parámetros establecidos en la norma IEEE Std 43-2013, a pesar de los cambios suscitados por los factores antes mencionados se concluye que la proyección lineal a través del tiempo genera un comportamiento ascendente, considerándose una actuación positiva de las resistencias de aislamiento dentro del periodo analizado (2000-2018).

De igual manera, ocurre con el grupo U06 o fase C, ambas regulaciones efectuadas presentan una correcta resistencia de aislamiento, concluyéndose que no existe afectaciones por causa de la humedad y acumulación de polvo y mantiene un comportamiento ascendente dentro los 18 años analizados, lo cual determinó que los motores pueden continuar en funcionamiento sin la necesidad de recurrir a un reemplazo de equipo o maquinaria.

No obstante, resultó importante establecer un rediseño de protecciones que permita prolongar el efectivo funcionamiento de los motores principalmente contra sobrecorrientes con la implementación o uso de interruptores, relés, fusibles y protección térmica. Así como también, se realizó un estudio de cortocircuito para promover modalidades de protección para aumentar la vida útil de equipos o maquinarias y mitigar fallas en los motores.

De acuerdo a la norma IEEE Std C37.96-2012 se ejecutó un diseño de protecciones con los debidos criterios y recomendaciones descritas en la norma, considerándose las principales características técnicas de los motores como son: el voltaje, potencia, NEMA, factor de servicio, entre otros. Además, se integró el diagrama unifilar de servicios auxiliares para el estudio de cortocircuitos y operación de protecciones eléctricas en los motores de las unidades de generación bajo manejo del software ETAP.

Por otra parte, se procedió al cálculo de cortocircuitos para estimar las corrientes de falla con base a los parámetros detallados en el Anexo D de los motores auxiliares y de esta manera desarrollar un estudio y coordinación de protecciones aplicando una falla en cada motor y conocer el comportamiento de cada protección. En sí, se destacó que las protecciones existentes y sus ajustes son favorables para el correcto funcionamiento del sistema auxiliar de la central Molino.

## 6.2 Recomendaciones

Debido al análisis descriptivo de pruebas de aislamiento en los motores auxiliares se propuso la modernización de protecciones para la central Paute-Molino, el cual se diseñó en el software ETAP con base a datos técnicos de los motores en estudio para la debida aplicación de equipos de protección para mitigar una falla trifásica.

Por ende, es aconsejable emplear un correcto análisis de coordinación de las protecciones por subdivisiones, subgrupos o subcircuitos originados por la agrupación de motores según su nivel de potencia, de tal manera que se pueda obtener resultados eficientes y objetivos.

Con base a los resultados obtenidos de la coordinación en los motores U05 y U06 de servicios auxiliares bajo software ETAP, es recomendable el sistema de protección que se propone ya que identifica y contrarresta la falla trifásica ocasionando un mejor funcionamiento de los motores acorde a los límites térmicos y curvas de arranque a plena carga.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya, O. (1997). *Simulador Interactivo Para La Coordinación De Protecciones En Sistemas Eléctricos Industriales*. México D.F: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Blackburn, J. L., & Domin, T. (2006). *Protective Relaying - Principles and Applications*. New York: Taylor & Francis Group.

CELEC EP HIDROPAUTE. (2013). *CELEC EP HIDROPAUTE*. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/proyectos/11-espanol/perfil->

Chapman, S. (2000). *Máquinas Eléctricas*. Bogotá: McGRAW-HILL.

Chauvin Arnoux. (Marzo de 2010). *Chauvin Arnoux Group*. Obtenido de [https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat\\_guia\\_de\\_medicion\\_de\\_aislamiento.pdf](https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_aislamiento.pdf)

Chou, Y.-L. (1990). *Análisis Estadístico* (2da. ed.). México, DF: McGraw-Hill.

Conde, A. (Septiembre de 2002). *Universidad Autonoma de Nuevo León*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/5831/1/1020150646.PDF>

Dicovski, L. (21 de Diciembre de 2008). *Facultad Regional Reconquista*. Obtenido de [http://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/2101/mod\\_resource/content/0/DEPOSITO\\_DE\\_MATERIALES/estadistica1\\_1\\_.pdf](http://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/2101/mod_resource/content/0/DEPOSITO_DE_MATERIALES/estadistica1_1_.pdf)

Enríquez, G. (1996). *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores* (2da. ed.). México: Limusa. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/217191869/Fundamentos-de-Proteccion-de-Sistemas-Elctricos-Por-Relevadores>

Fraile, J. (2003). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS* (5ta. ed.). España: McGRAW-HILL. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/221612221/Maquinas-Electricas-Jesus-Fraile-Mora-5ta-Edicion>

Gómez, F. (Diciembre de 2006). *Instituto Politécnico Nacional*. Obtenido de <https://www.sepielectrica.esimez.ipn.mx/Tesis/2006/Analisis%20De%20La%20Coordinacion%20De%20Protecciones%20En%20Centrales%20Electricas.pdf>

Grupo WEG. (Diciembre de 2016). *WEG*. Obtenido de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6e/h82/WEG-motores-electricos-guia-de-especificacion-50039910-brochure-spanish-web.pdf>

IEEE. (17 de Diciembre de 2001). *IEEE Xplore - Digital Library*. doi:10.1109/IEEESTD.2001.93369

IEEE. (20 de Febrero de 2013). *IEEE Xplore - Digital Library*. doi:10.1109/IEEESTD.2013.6468048

IEEE. (6 de Marzo de 2014). *IEEE Xplore - Digital Library*. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6754109>

Madrigal, R. (2018). *Control Estadístico de la Calidad. Un enfoque creativo*. México: Patria Educación.

Mell, P., & Grance, T. (Septiembre de 2011). *The National Institute of Standards and Technology*. Obtenido de NIST: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>

Mendieta, S. (2015). *Universidad de La Salle*. Obtenido de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18090/42971034\\_2015.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR1bxM6er8oNH-FrsBaEjPUUQjPJEtVWbb27kXhXhC6RmuZurVmFgat5QcQ](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18090/42971034_2015.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR1bxM6er8oNH-FrsBaEjPUUQjPJEtVWbb27kXhXhC6RmuZurVmFgat5QcQ)

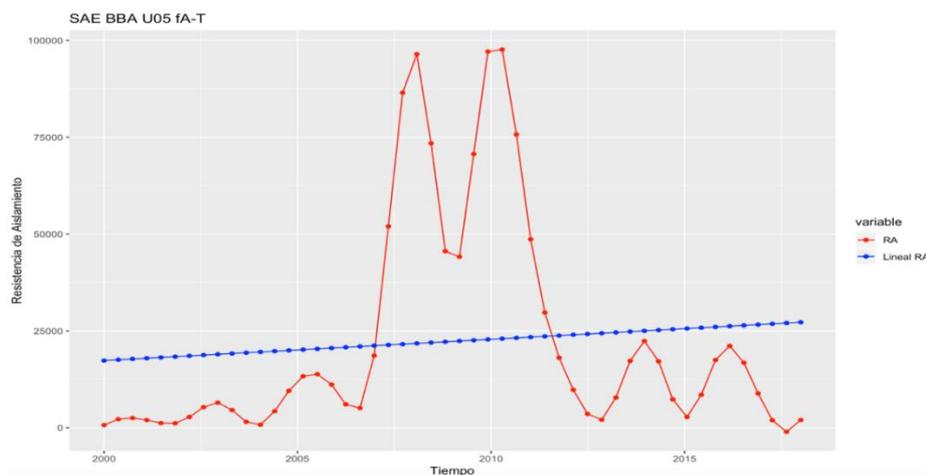
- Motortico. (Agosto de 2013). *Motortico*. Obtenido de <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2013%20AGO%20-%20Clase%20de%20Aislamiento%20-%20Materiales.pdf>
- National Electrical Code Committee. (1999). *Mr Franzen*. Obtenido de <http://mfranzen.ca/docs/gen/nec-1999.pdf>
- Pierre, C., & Wolny, T. (1986). Standardization of Benchmarks for Protective Device Time-Current Curves. Industry Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 623 - 633. doi:10.1109/TIA.1986.4504772
- Sanz, J., & Almecija, C. (2008). *Energia hidroelectrica*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Sen, P. (2014). *PRINCIPLES OF ELECTRIC MACHINES AND POWER ELECTRONICS*. Kingston, Ontario: Wiley & Sons.

## ANEXOS

### Anexo A: Análisis Estadístico de Pruebas Eléctricas a Motores de Servicios Auxiliares

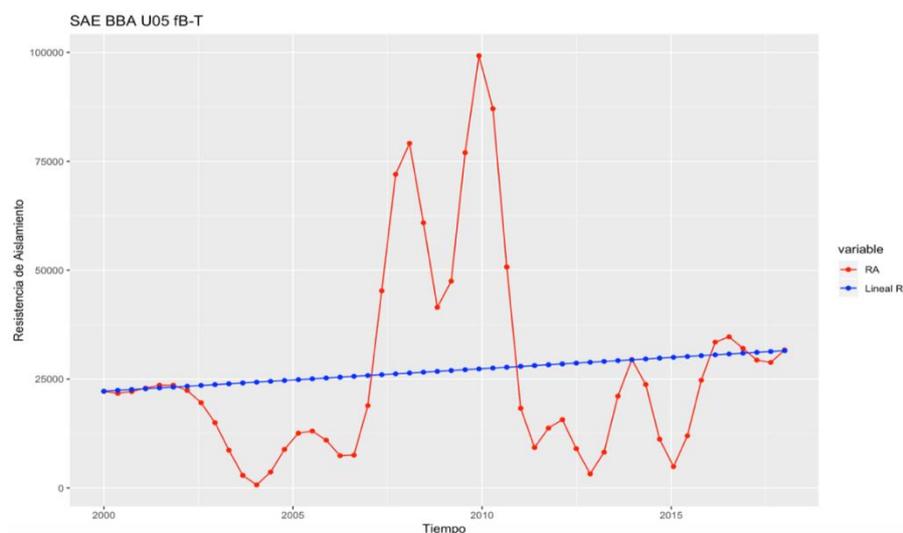
#### A1 Motores U05

##### A1.1 SAE BBA



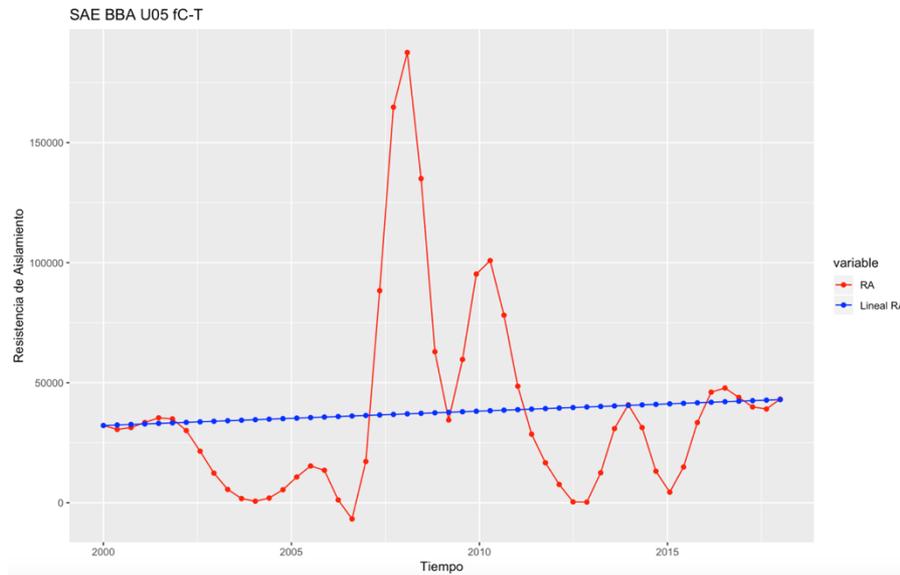
**Figura A.1** SAE BBA fA - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE



**Figura A.2** SAE BBA fB - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE



**Figura A.3** SAE BBA fC - T

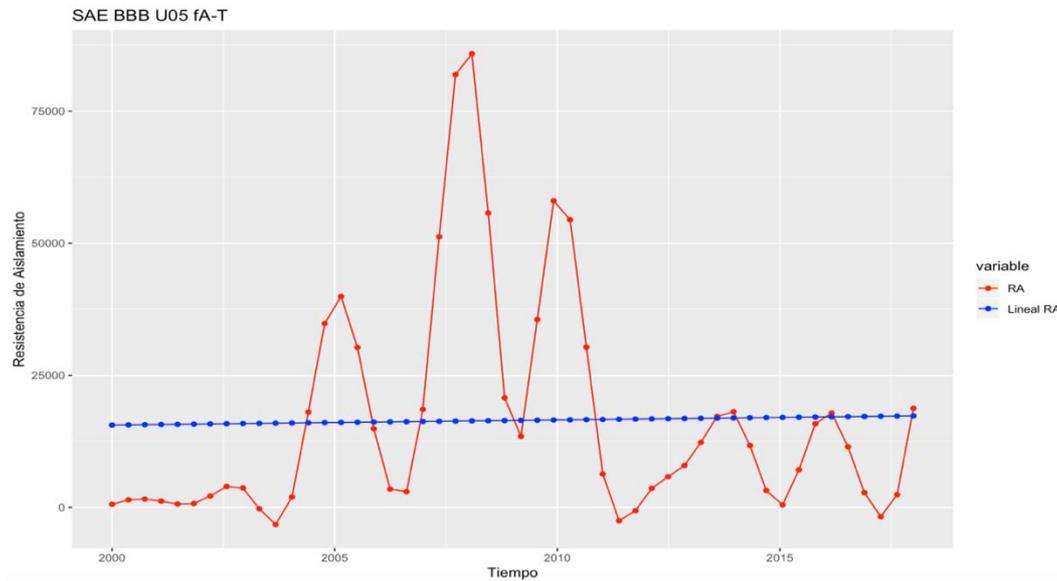
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.1** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento  
en el SAE BBA de la U05.

	fA -T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	30333.58	24835.25	43711.03
<b>MEDIA</b>	21644.36	26913.87	37683.86
<b>MEDIANA</b>	9600.00	22150.22	32793.71
<b>MIN</b>	650.00	650.00	650.00
<b>MAX</b>	100000.00	100000.00	190000.00

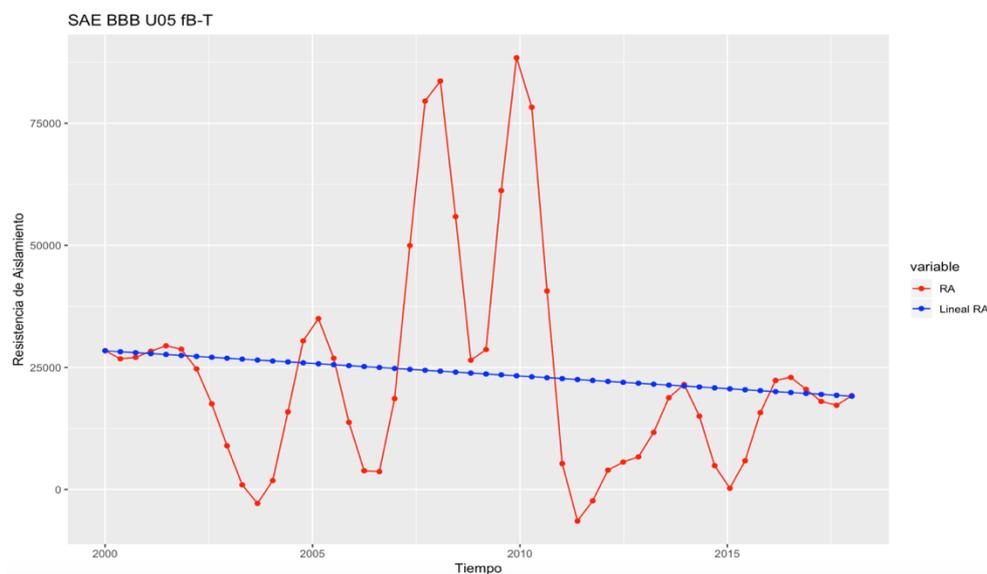
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A1.2 SAE BBB



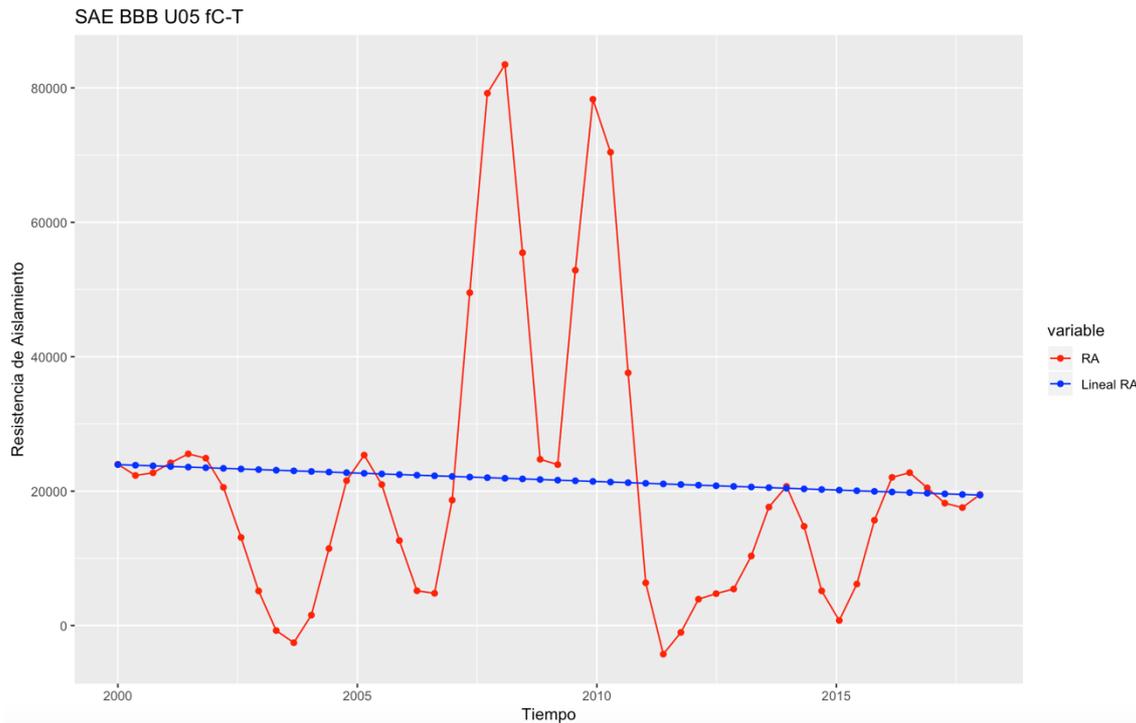
**Figura A.4** SAE BBB fA - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.5** SAE BBB fB - T.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.6** SAE BBB fC – T

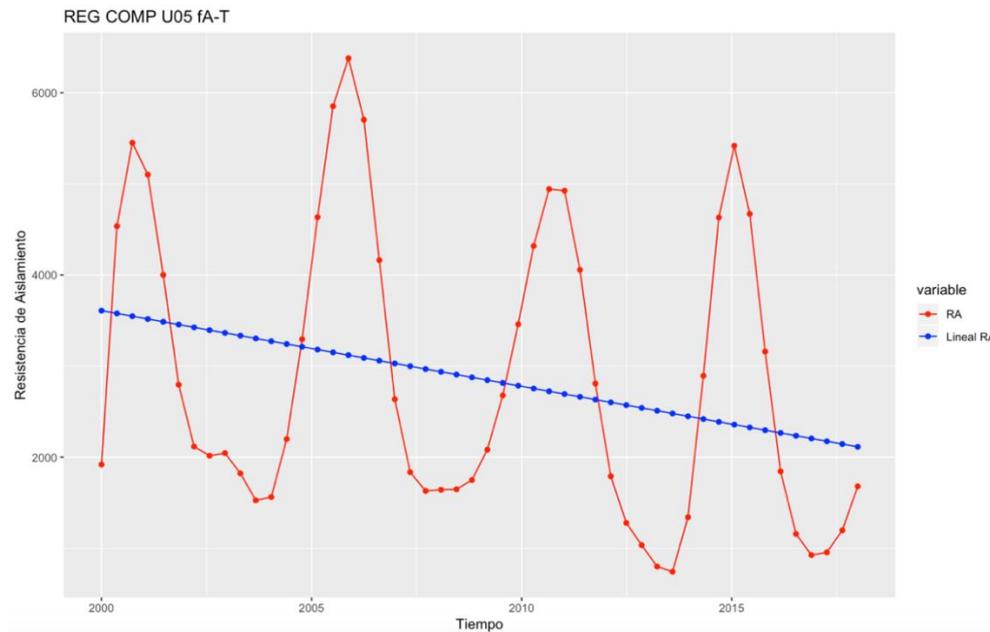
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.2** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en el SAE BBB de la U05

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	23212.13	24793.80	23193.47
<b>MEDIA</b>	16450.21	23821.05	21749.74
<b>MEDIANA</b>	9300.00	20000.00	19752.73
<b>MIN</b>	200.00	261.00	750.00
<b>MAX</b>	88500.00	90000.00	85900.00

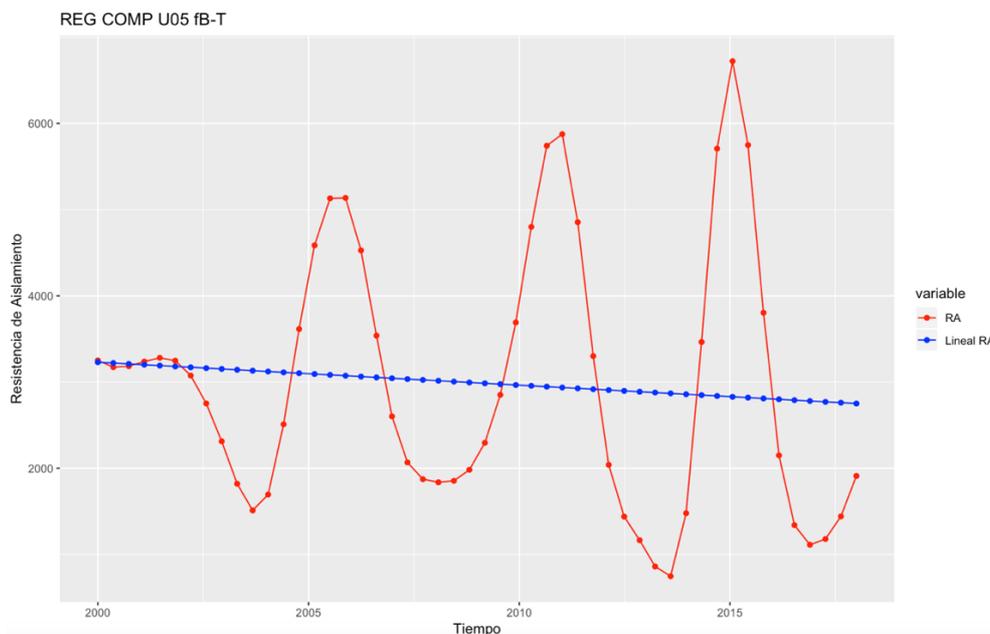
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### A1.3 Regulación Compresor



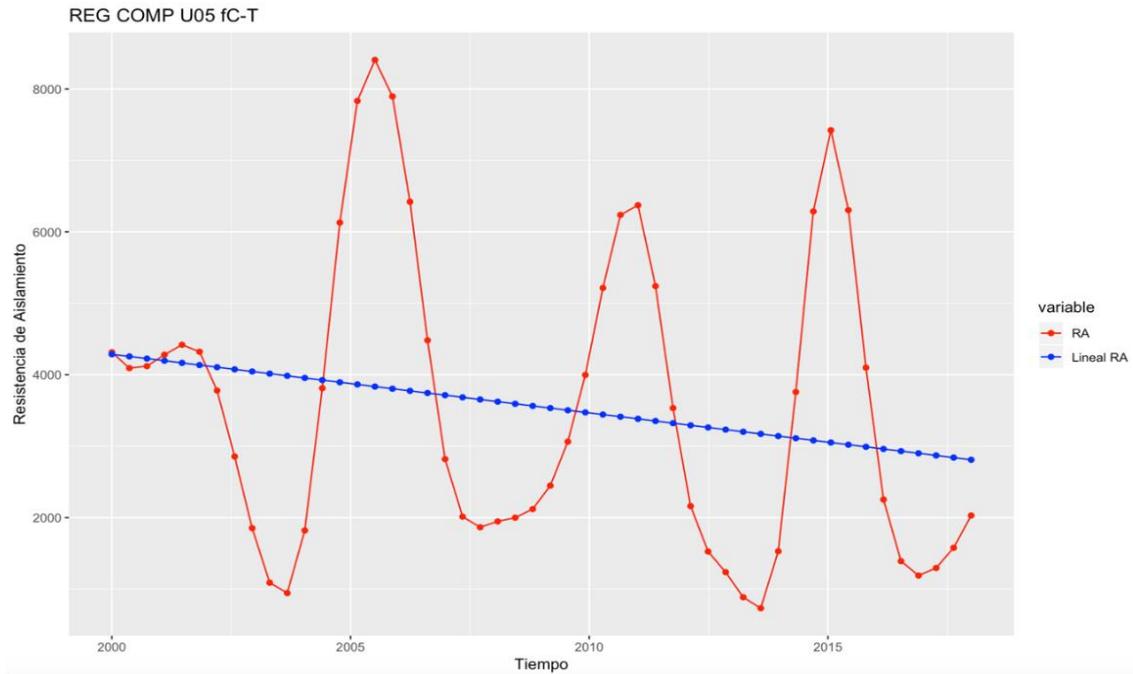
**Figura A.7** REG COMP fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.8** REG COMP fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.9** REG COMP fC – T

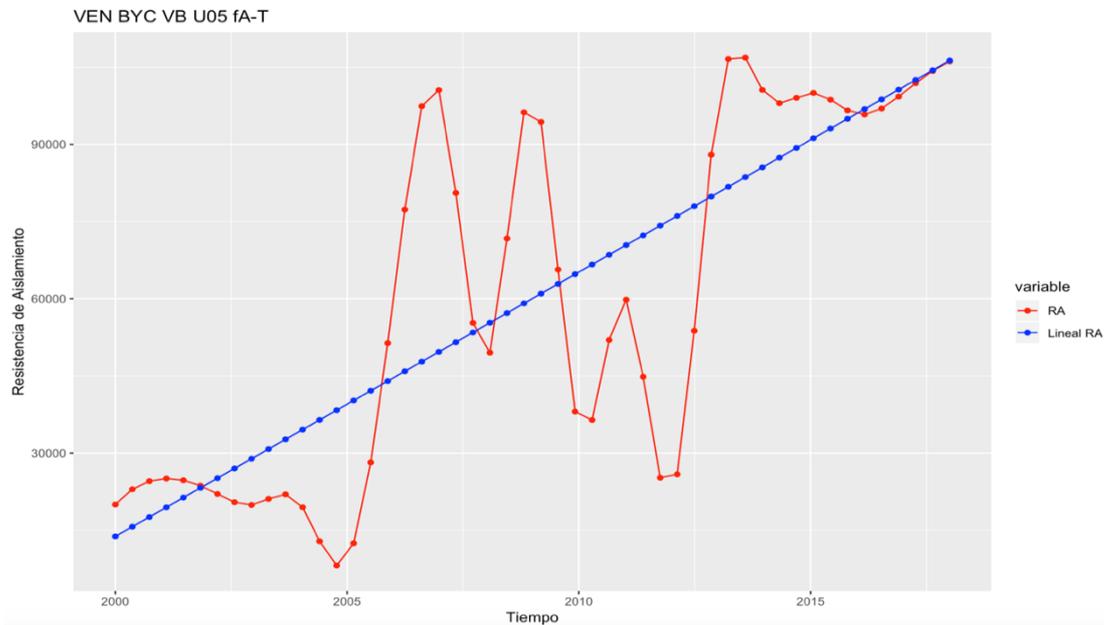
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.3** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG COMP de la U05

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	1640.08	1567.61	2172.77
<b>MEDIA</b>	2794.97	2983.59	3545.59
<b>MEDIANA</b>	2070.00	2560.00	2750.00
<b>MIN</b>	914.00	1060.00	1120.00
<b>MAX</b>	6300.00	6700.00	7500.00

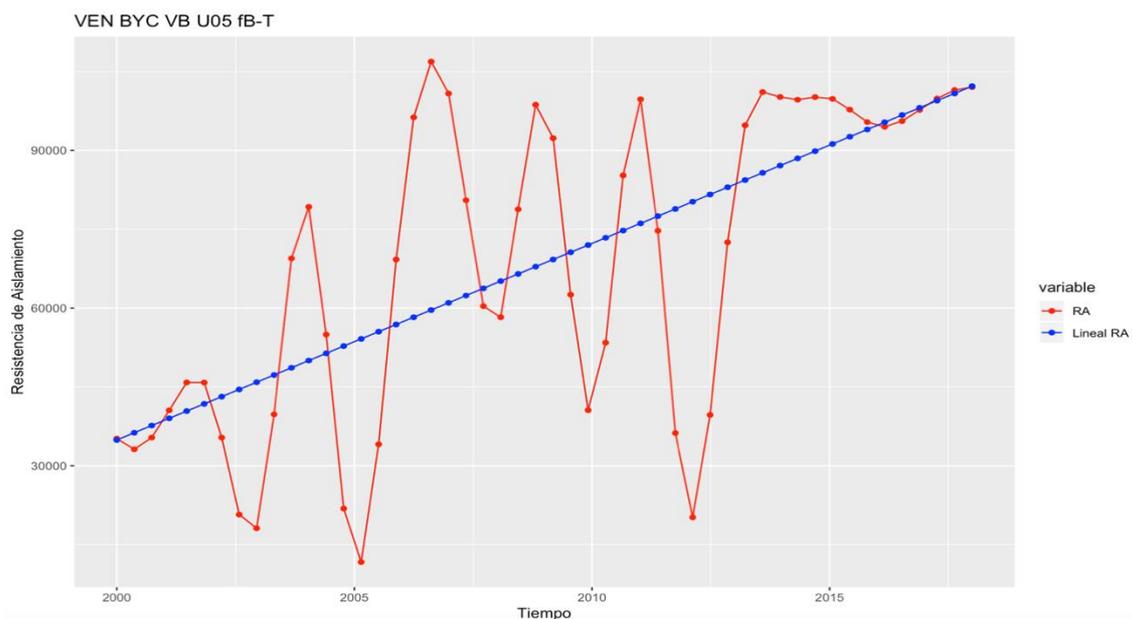
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A1.4 Ventilación BYC VB



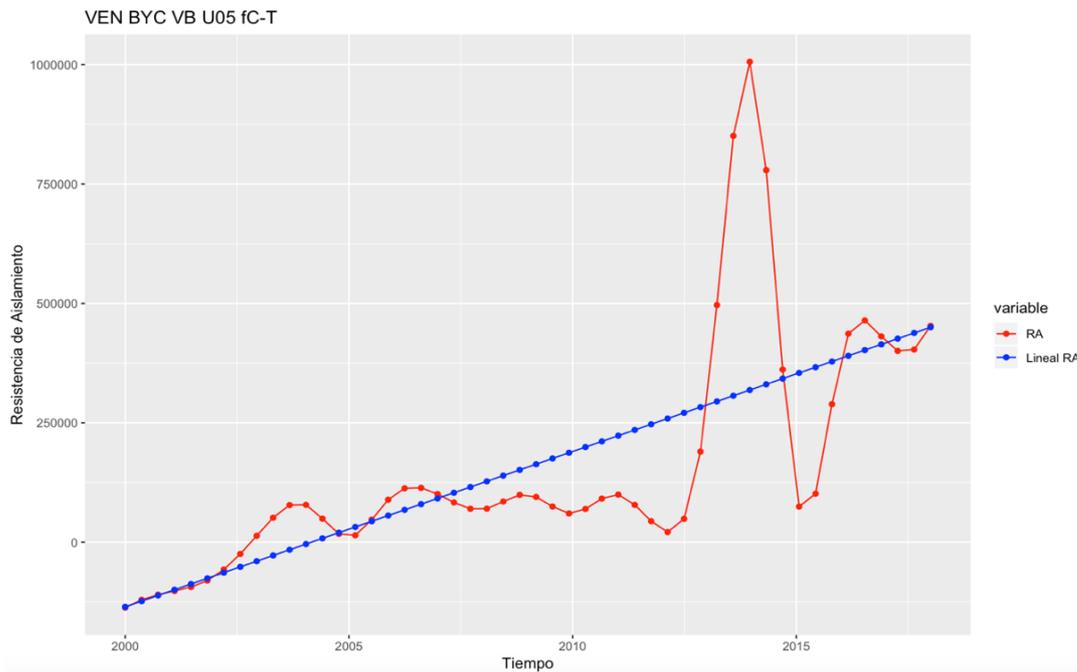
**Figura A.10** VEN BYC VB fA - T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.11** VEN BYC VB fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.12** VEN BYC VB fC – T

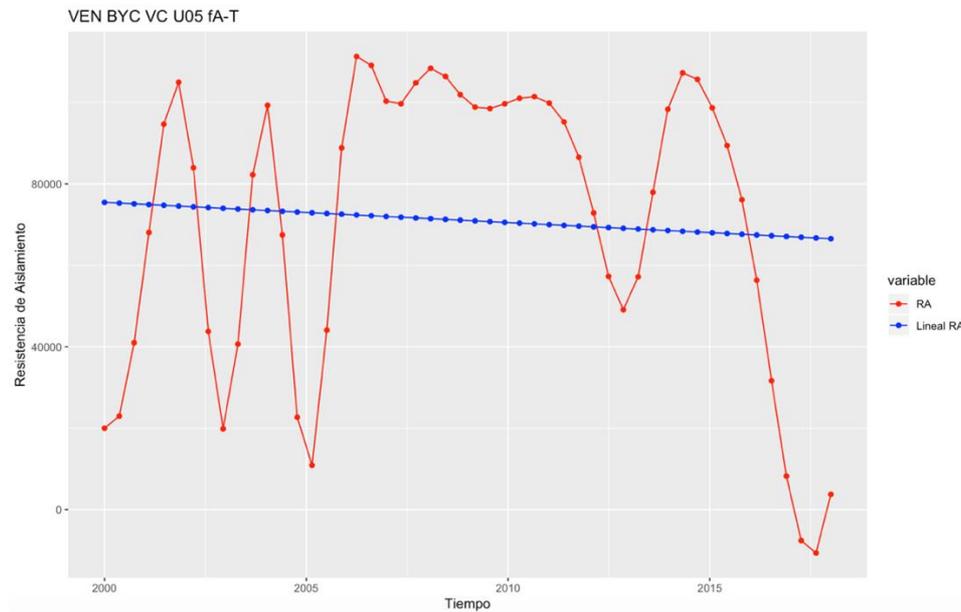
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.4** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VB de la U05

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	37296.34	33056.63	262623.42
<b>MEDIA</b>	60116.06	68605.06	158014.27
<b>MEDIANA</b>	60000.00	80000.00	100000.00
<b>MIN</b>	9300.00	11100.00	10500.00
<b>MAX</b>	106113.36	102041.70	1000000.00

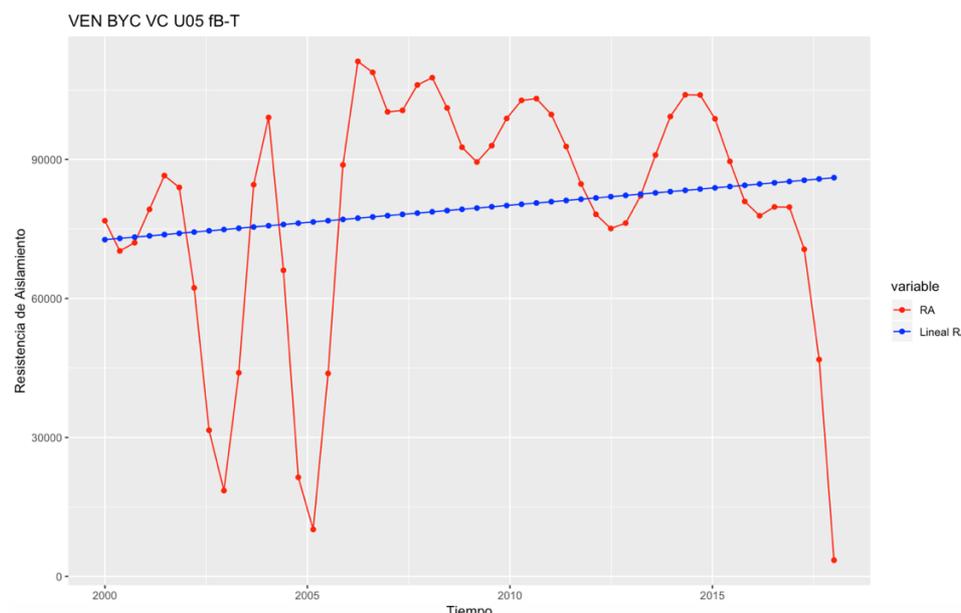
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A1.5 Ventilación BYC VC



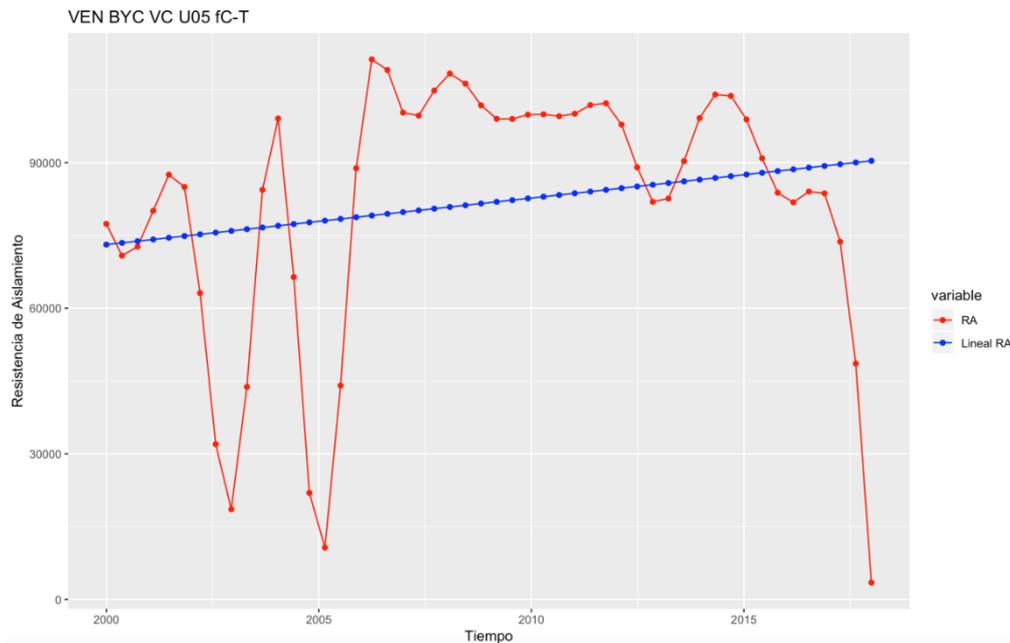
**Figura A.13** VEN BYC VC fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.14** VEN BYC VC fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.15** VEN BYC VC fC - T

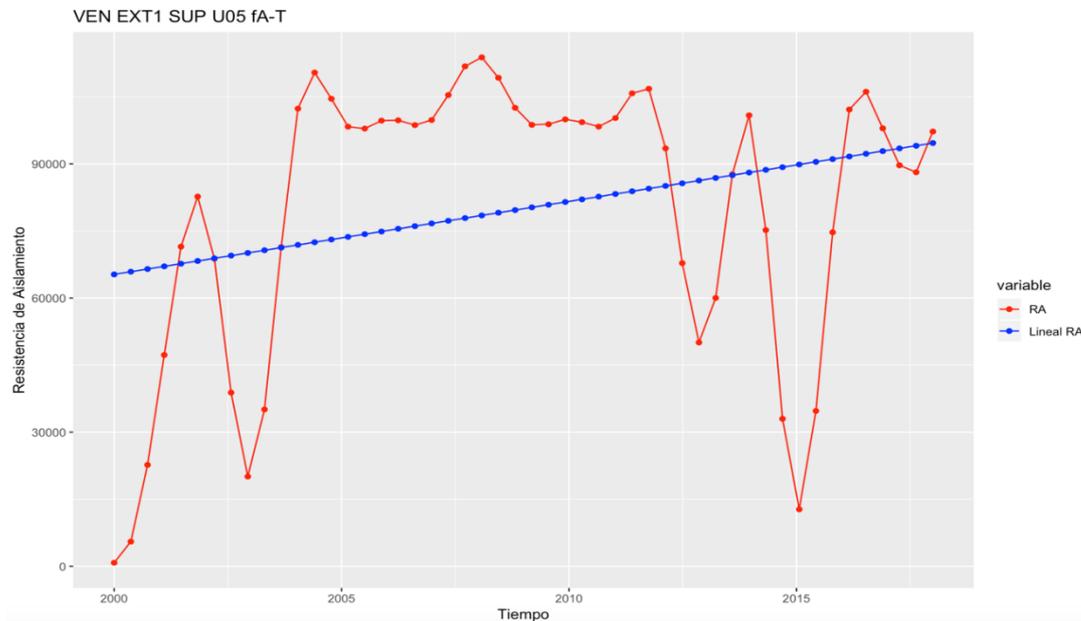
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.5** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VC de la U05.

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	39258.37	31847.77	32463.11
<b>MEDIA</b>	69353.18	77624.51	79904.53
<b>MEDIANA</b>	100000.00	80000.00	100000.00
<b>MIN</b>	2830.00	3500.00	3470.00
<b>MAX</b>	108090.00	108090.00	108090.00

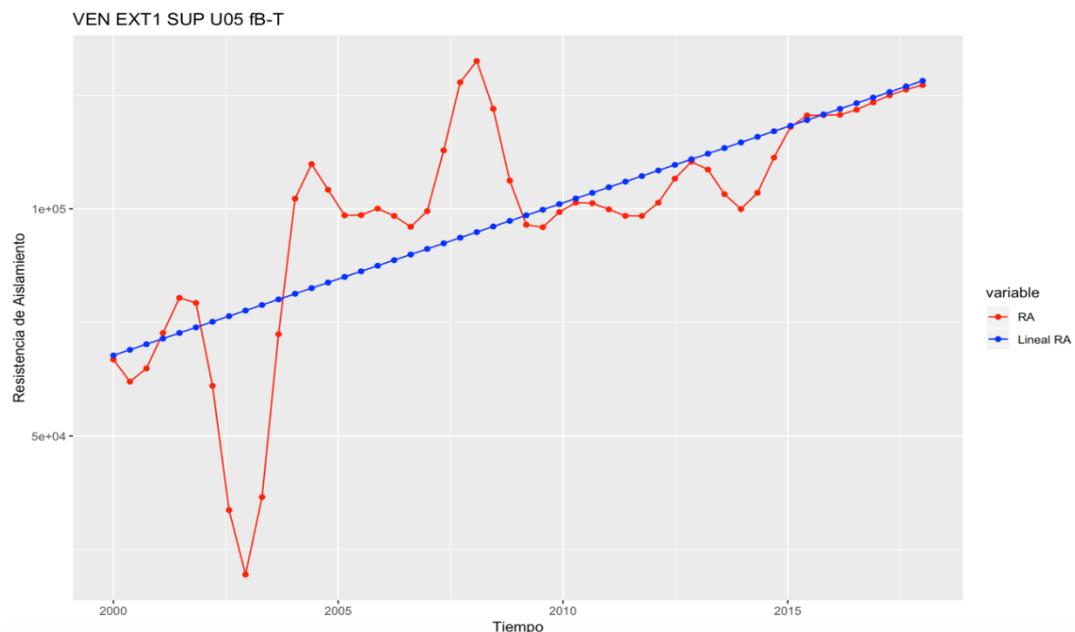
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico

## A1.6 Ventilación SUP



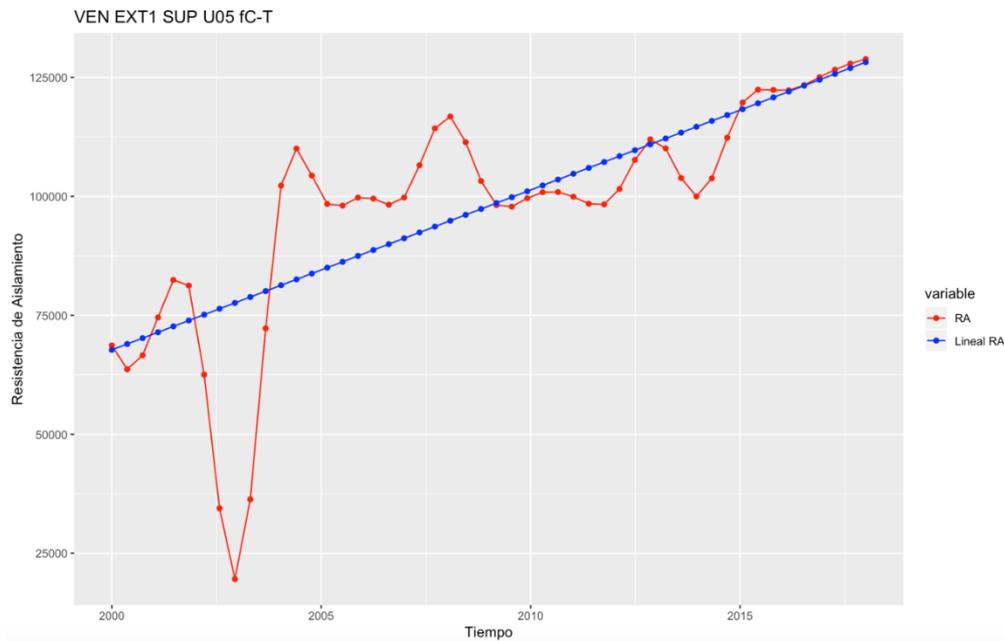
**Figura A.16** VEN EXT1 SUP fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.17** VEN EXT1 SUP fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.18** VEN EXT1 SUP fC – T

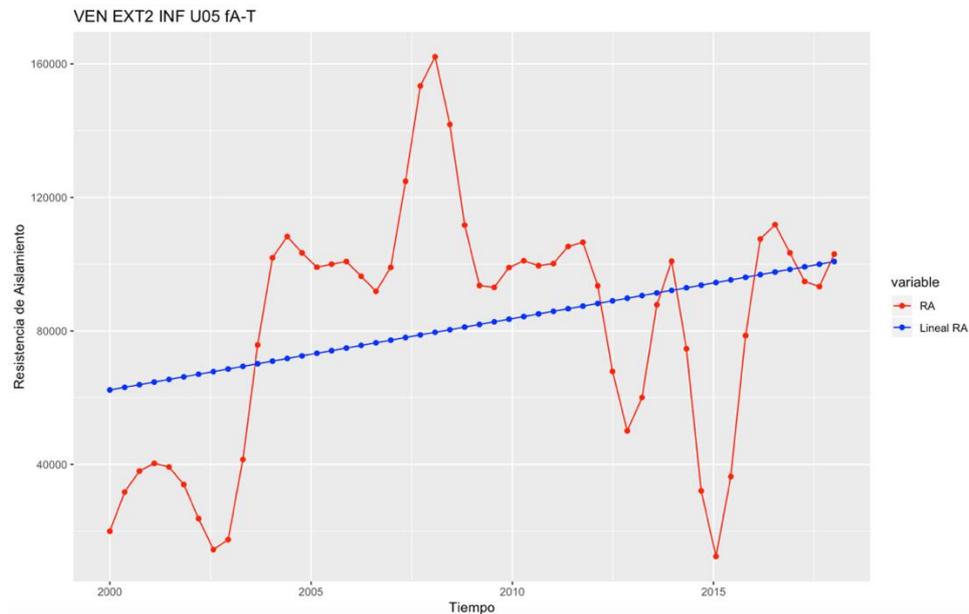
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.6** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN EXT1 SUP de la U05

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	35201.79	26087.15	25227.81
<b>MEDIA</b>	79128.00	98052.63	97924.81
<b>MEDIANA</b>	100000.00	100000.00	100000.00
<b>MIN</b>	802.00	20000.00	20000.00
<b>MAX</b>	114000.00	133000.00	128859.40

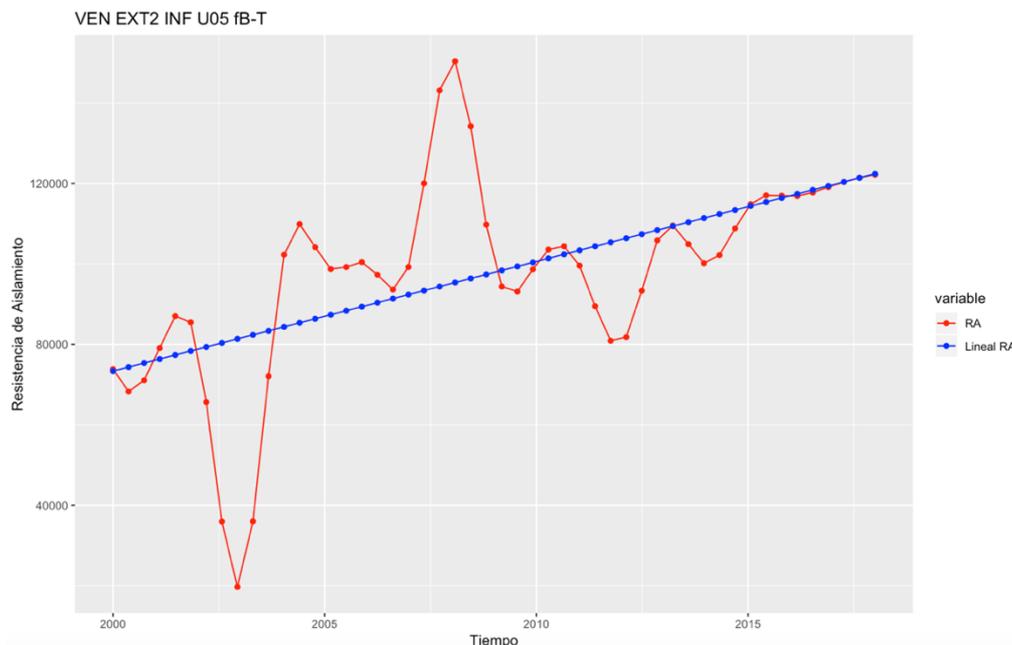
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico

### A1.7 Ventilación INF



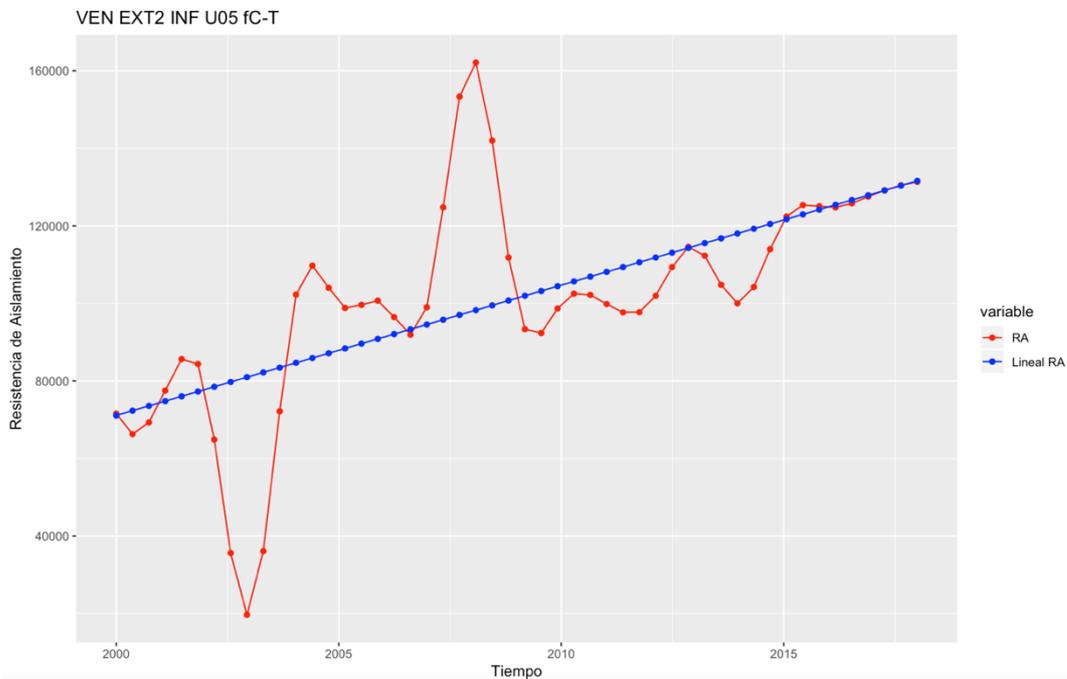
**Figura A.19** VEN EXT2 INF fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.20** VEN EXT2 INF fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.21** VEN EXT2 INF fC – T

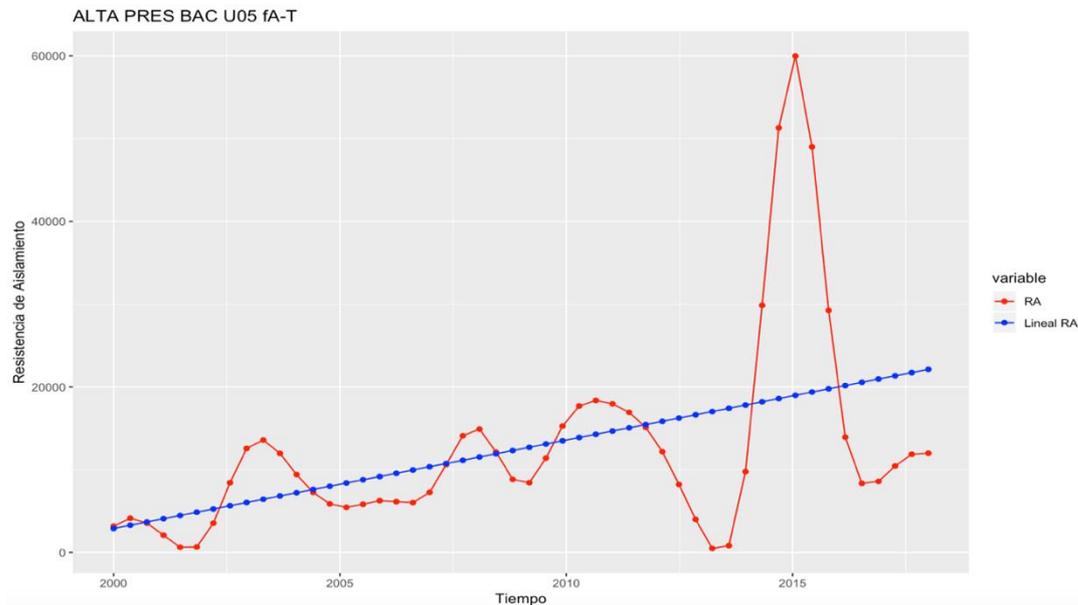
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.7** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN EXT2 INF de la U05

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	39797.77181	26264.26448	29150.87793
<b>MEDIA</b>	80903.676	97984.962	101473.684
<b>MEDIANA</b>	100000.000	100000.000	100000.000
<b>MIN</b>	12500.000	20000.000	20000.000
<b>MAX</b>	163000.000	151000.000	163000.000

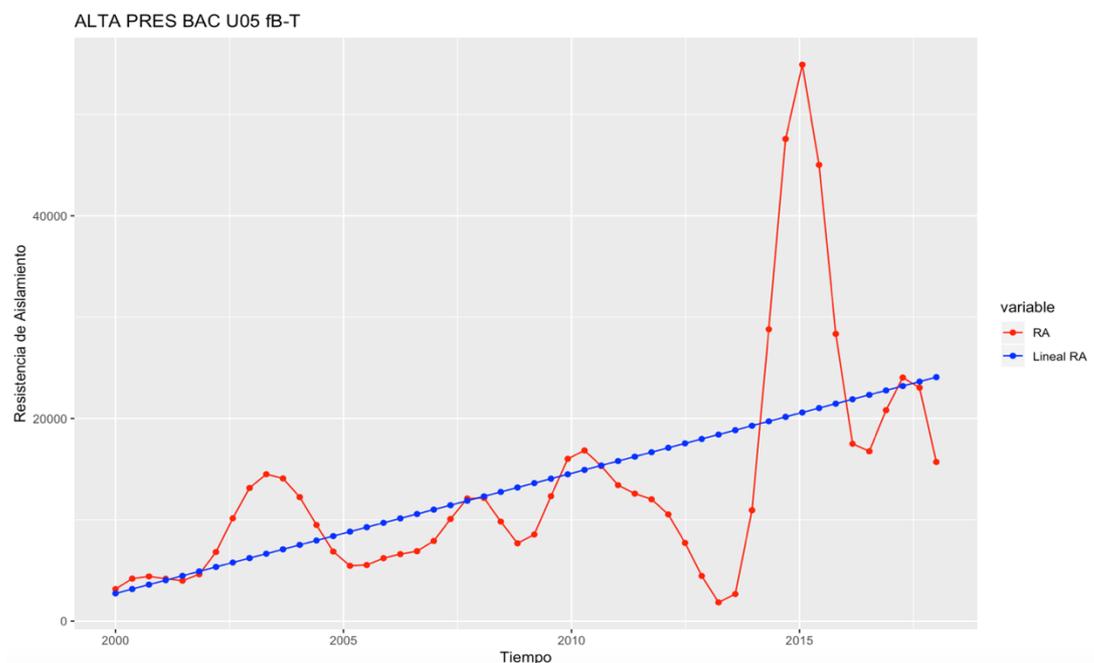
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A1.8 Alta Presión



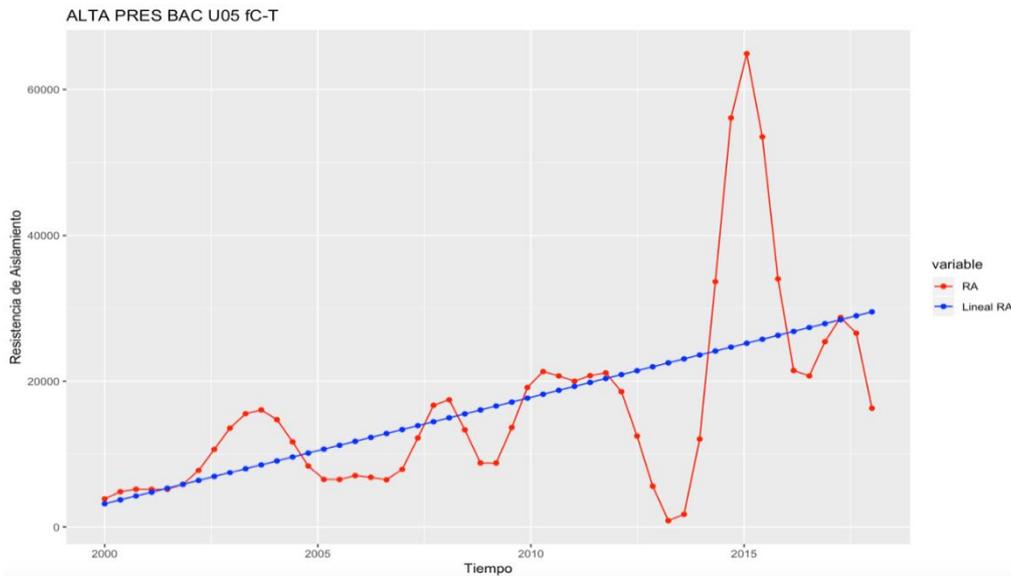
**Figura A.22** ALTA PRES BAC fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.23** ALTA PRES BAC fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.24 ALTA PRES BAC fC – T**

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.8** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en ALTA PRES BAC de la U05

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	12722.80	11562.23	13872.53
<b>MEDIA</b>	12325.81	13136.06	15959.42
<b>MEDIANA</b>	9700.00	12400.00	14000.00
<b>MIN</b>	1550.00	3160.93	3340.00
<b>MAX</b>	60000.00	55000.00	65000.00

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

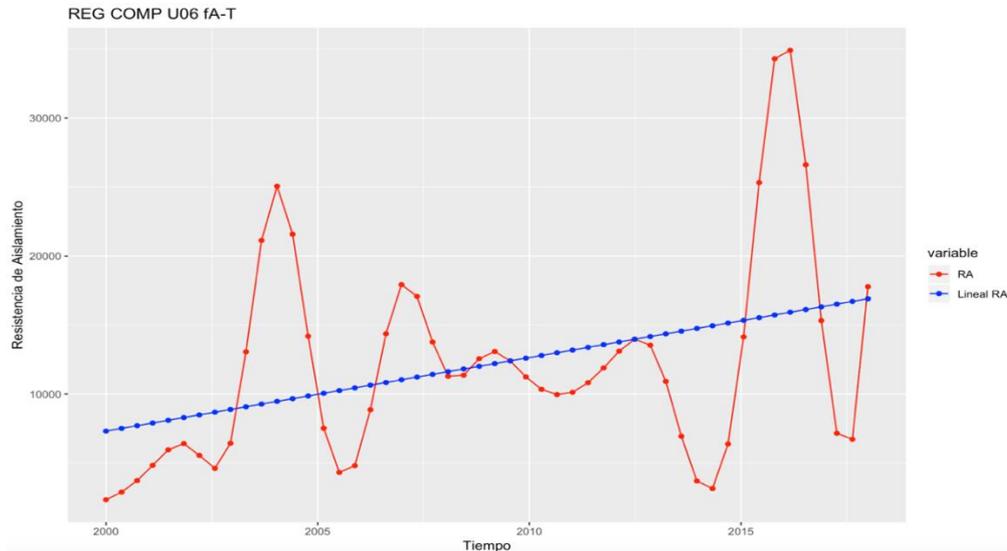
**Tabla A.9** Análisis de la Resistencia de Aislamiento en Motores de la U05

<b>MOTOR</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>
<b>SAE BBA</b>	Continúa en operación.
<b>SAE BBB</b>	Continúa en operación.
<b>REGULACIÓN COMPRESOR</b>	Continúa en operación.
<b>VENTILACIÓN BYC VB</b>	Continúa en operación
<b>VENTILACIÓN BYC VC</b>	Continúa en operación
<b>VENTILACIÓN SUPERIOR</b>	Continúa en operación
<b>VENTILACIÓN INFERIOR</b>	Continúa en operación
<b>ALTA PRESIÓN</b>	Continúa en operación

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

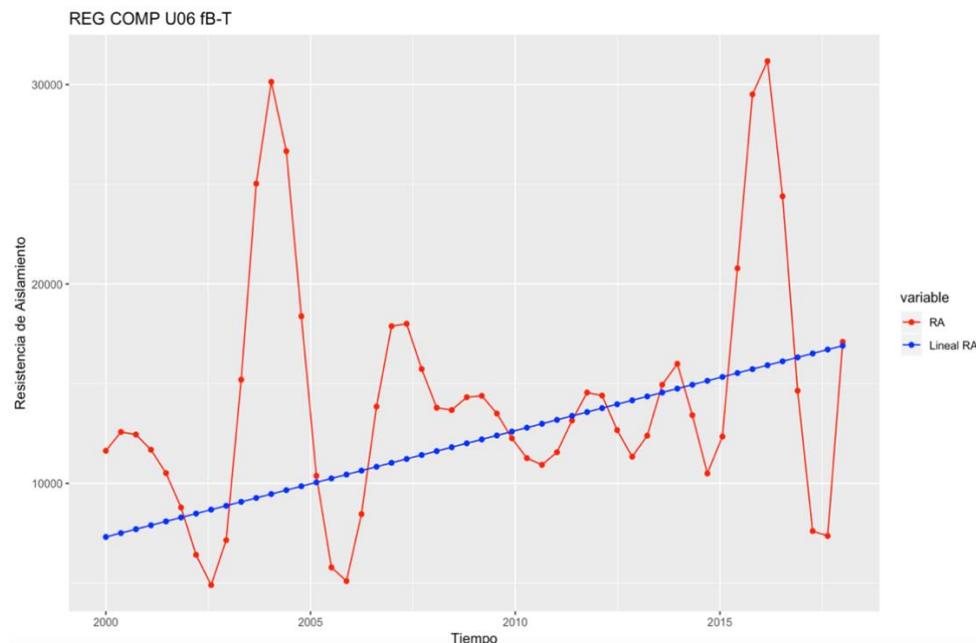
## A2 Motores U06

### A2.1 Regulación Compresor



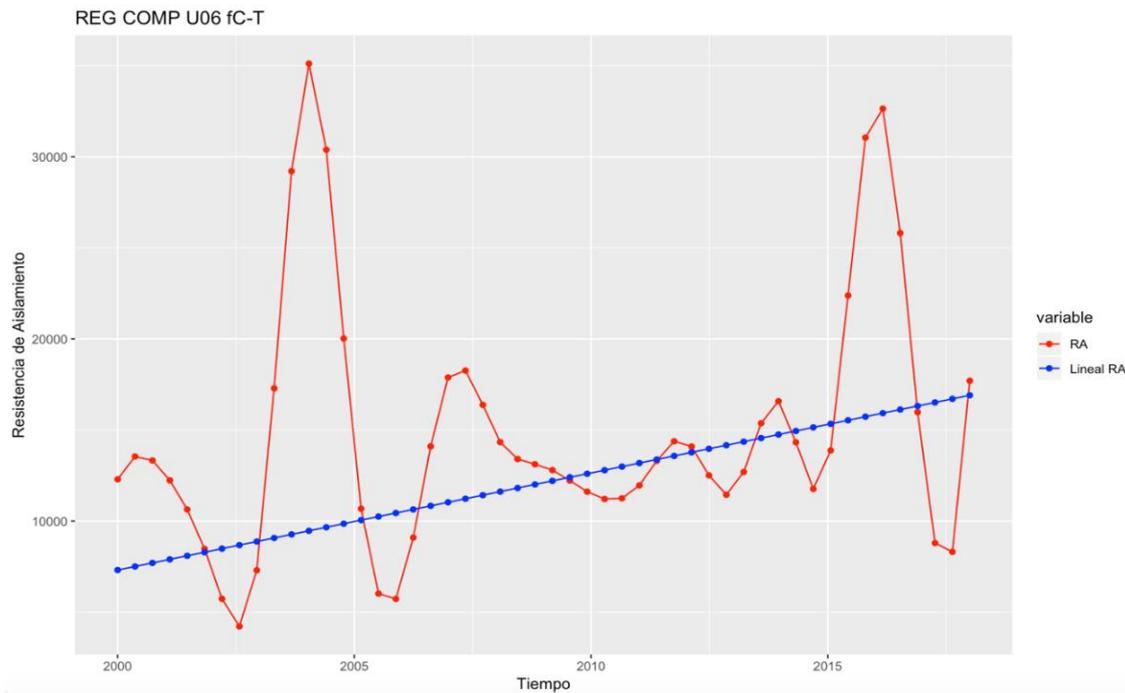
**Figura A.25** REG COMP fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.26** REG COMP fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.27** REG COMP fC – T

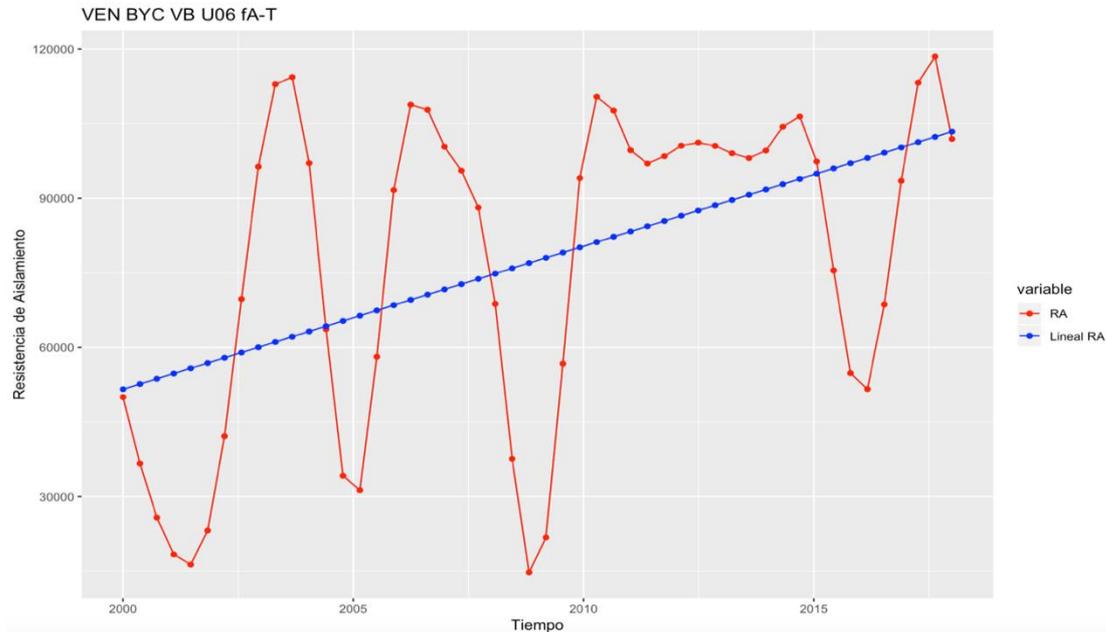
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.10** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en REG COMP de la U06

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	7970.14	6558.18	7387.06
<b>MEDIA</b>	12223.87	14367.06	14999.79
<b>MEDIANA</b>	11605.89	12200.00	13000.00
<b>MIN</b>	2340.00	5800.00	6500.00
<b>MAX</b>	36000.00	31700.00	35000.00

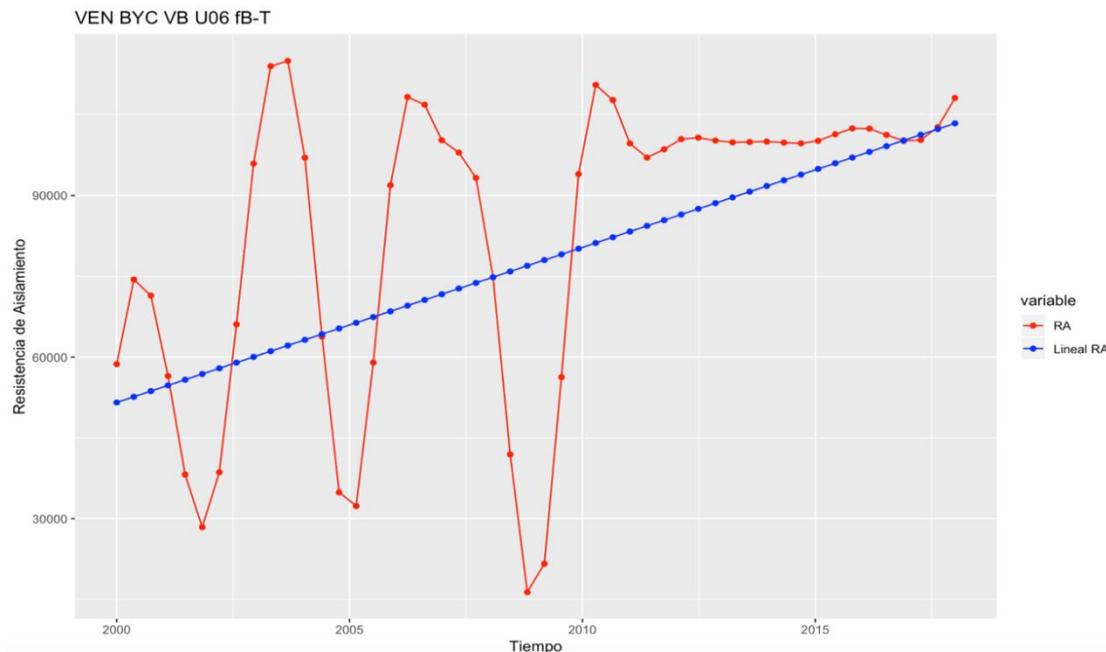
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A2.2 Ventilación BYC VB



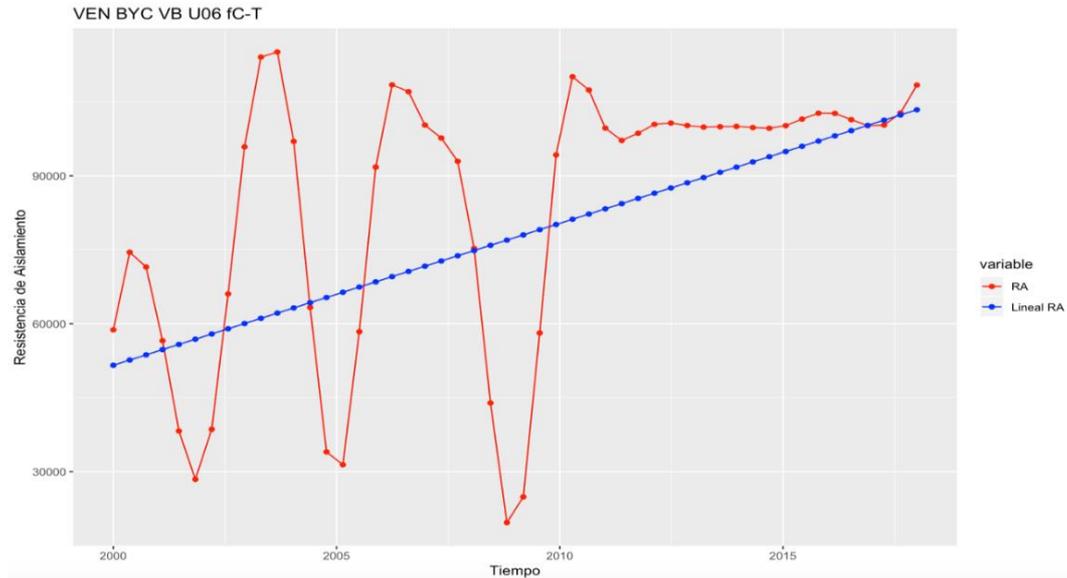
**Figura A.28** VEN BYC VB fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.29** VEN BYC VB fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.30 VEN BYC VB fC – T**

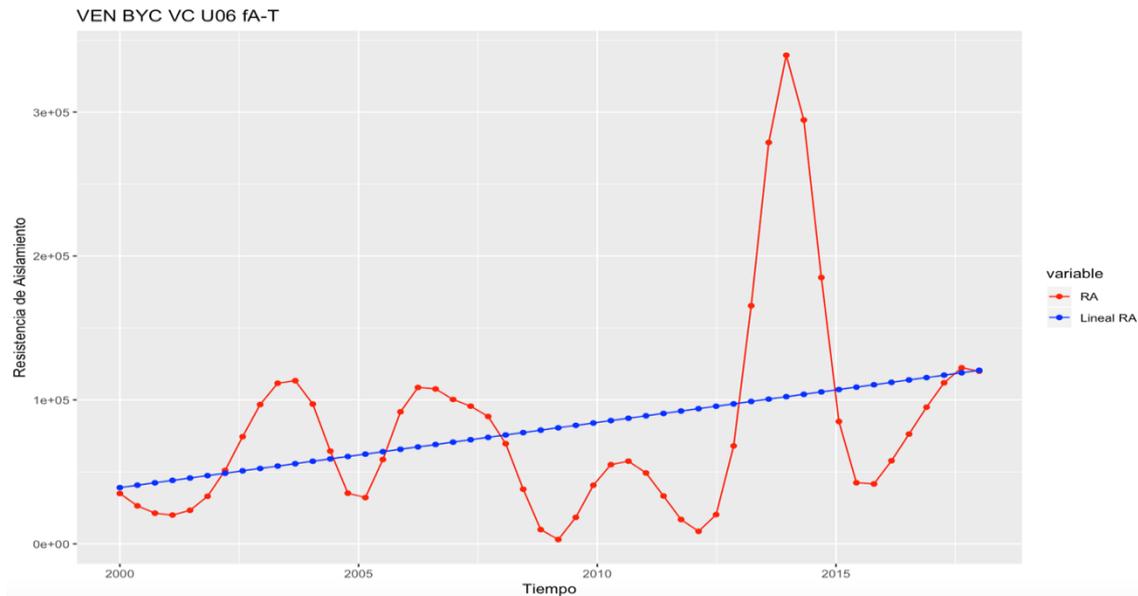
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.11** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VB de la U06

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	33160.48	29570.18	29242.15
<b>MEDIA</b>	77258.99	83393.48	83570.28
<b>MEDIANA</b>	100000.00	100000.00	100000.00
<b>MIN</b>	13500.00	14000.00	17500.00
<b>MAX</b>	101899.66	108104.09	108392.51

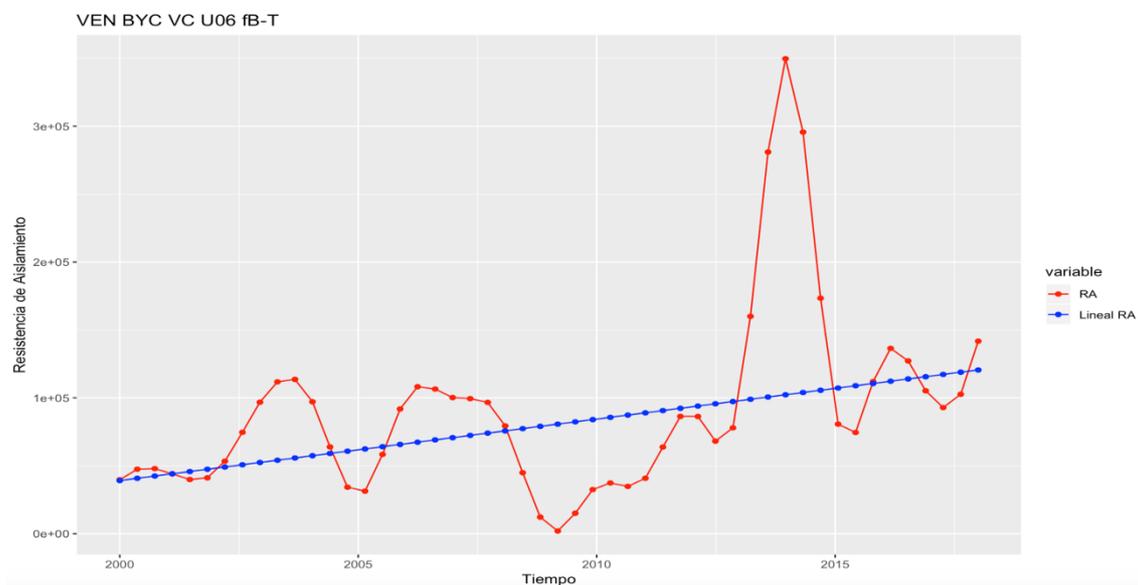
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A2.3 Ventilación BYC VC



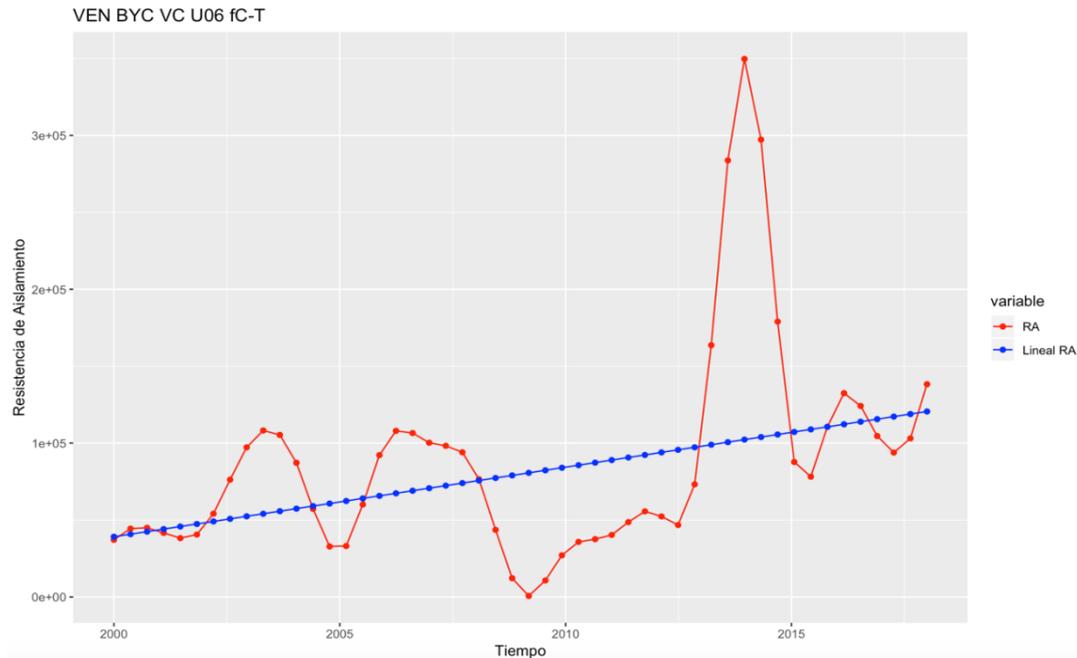
**Figura A.31** VEN BYC VC fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.32** VEN BYC VC fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.33** VEN BYC VC fC - T

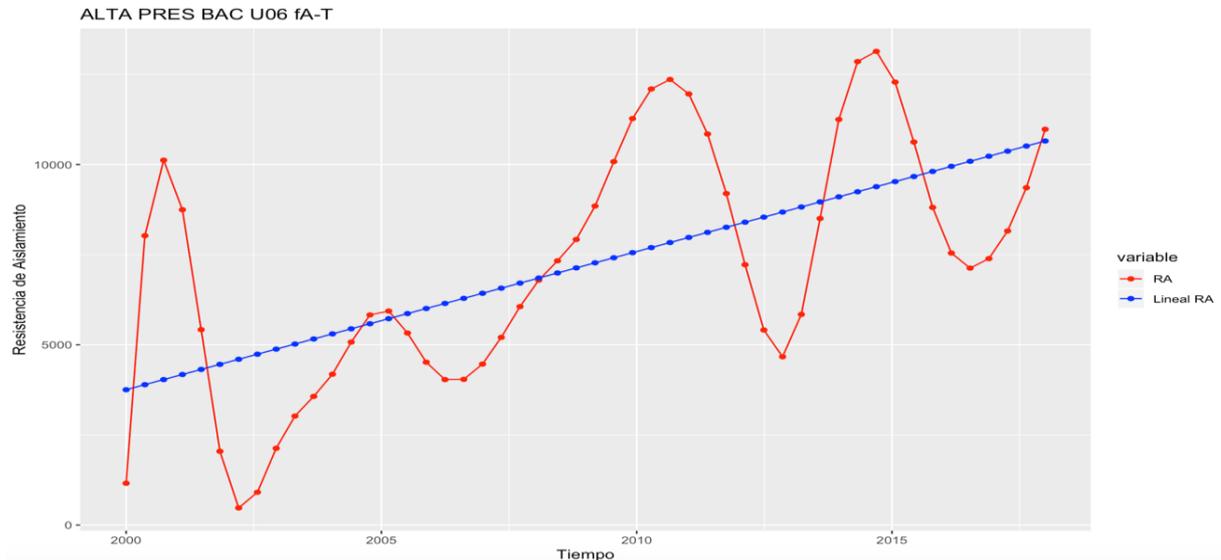
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.12** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en VEN BYC VC de la U06

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	72890.06	73014.47	73591.19
<b>MEDIA</b>	79744.53	90710.19	87711.67
<b>MEDIANA</b>	75277.41	90000.00	90000.00
<b>MIN</b>	2920.00	3280.00	3000.00
<b>MAX</b>	340000.00	350000.00	350000.00

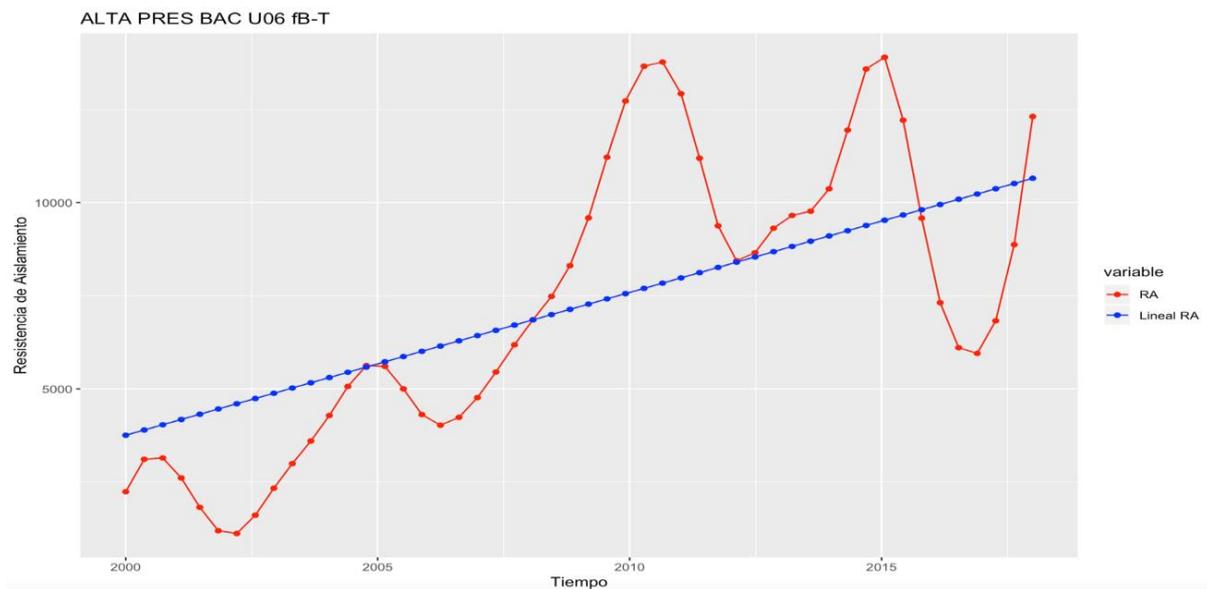
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A2.4 Alta Presión BAC



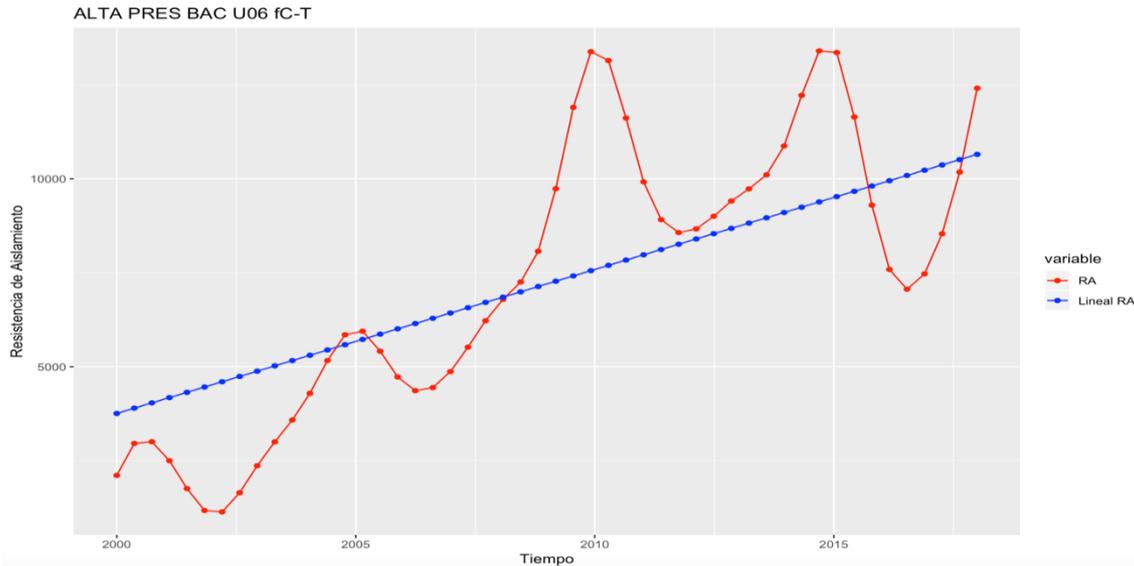
**Figura A.34** ALTA PRES BAC fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.35** ALTA PRES BAC fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.36** ALTA PRES BAC fC – T

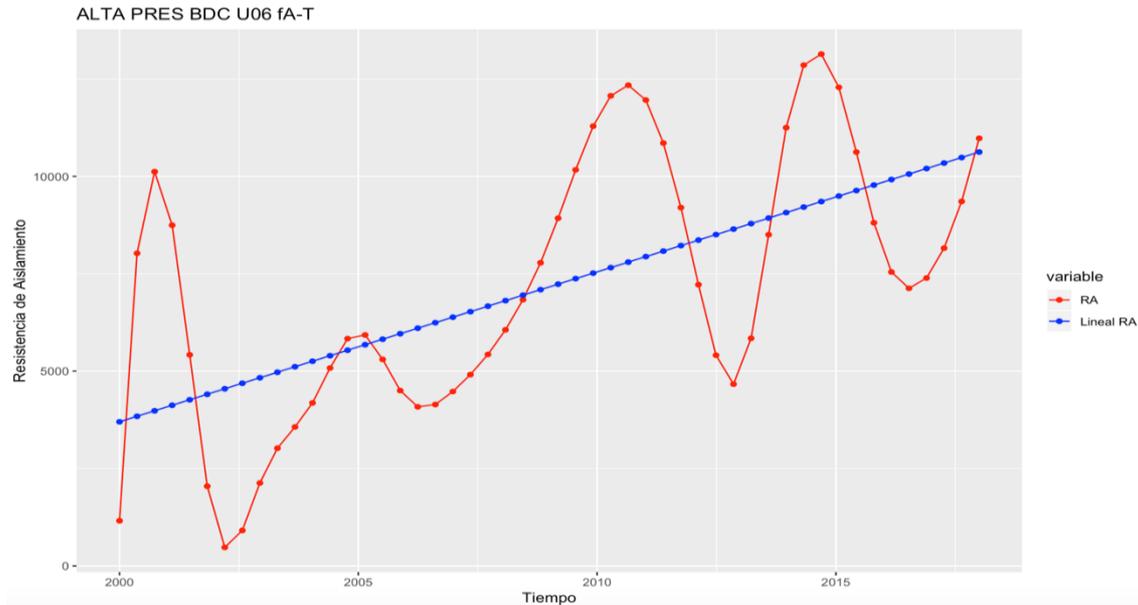
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla A.13** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en ALTA PRES BAC de la U06

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	3653.21	4037.97	3867.89
<b>MEDIA</b>	7084.74	7274.41	7259.04
<b>MEDIANA</b>	7560.00	6714.75	7710.00
<b>MIN</b>	1040.00	1070.00	1070.00
<b>MAX</b>	12500.00	14000.00	13500.00

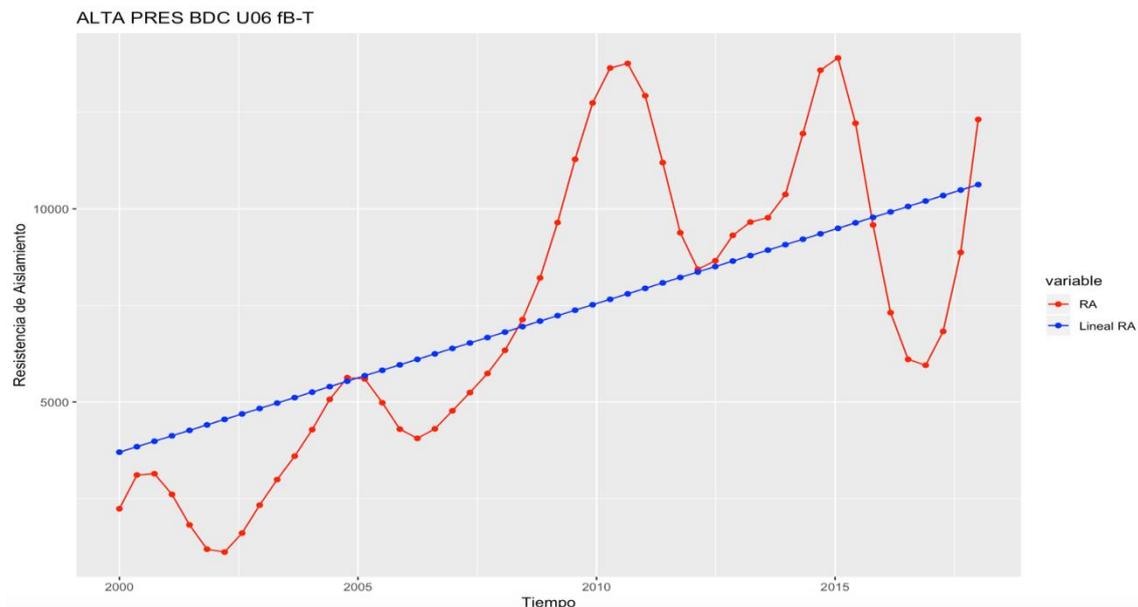
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## A2.5 Alta Presión BDC



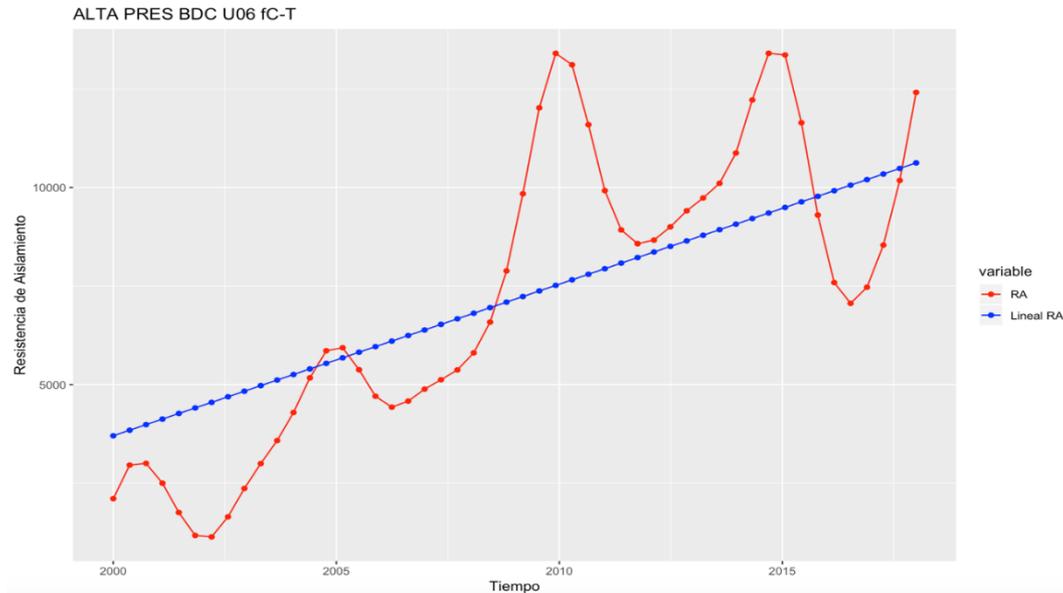
**Figura A.37** ALTA PRES BDC fA – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.38** ALTA PRES BDC fB – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE



**Figura A.39** ALTA PRES BDC fC – T

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

**Tabla A.14** Análisis Descriptivo de las mediciones de Resistencia de Aislamiento en ALTA PRES BDC de la U06

	fA - T	fB - T	fC - T
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	3757.58	4152.70	3977.47
<b>MEDIA</b>	7108.77	7305.50	7290.86
<b>MEDIANA</b>	7730.00	7145.00	7955.00
<b>MIN</b>	1040.00	1070.00	1070.00
<b>MAX</b>	12500.00	14000.00	13500.00

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

**Tabla A.15** Análisis de la Resistencia de Aislamiento en Motores de la U06

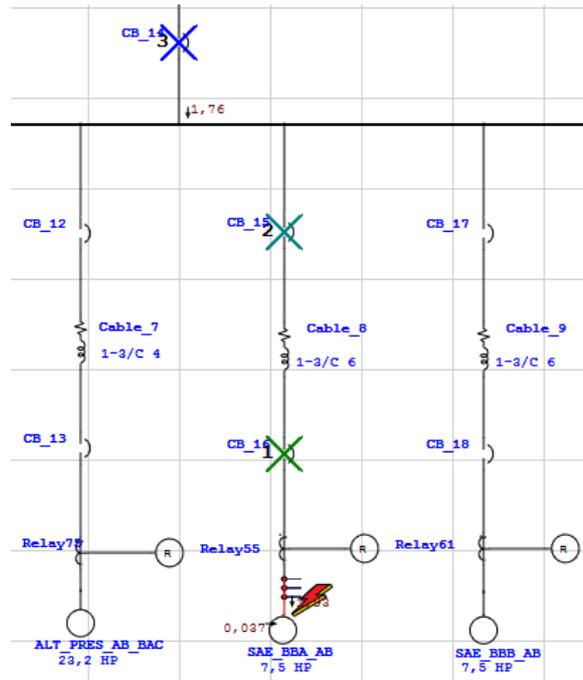
<b>MOTOR</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>
<b>REGULACIÓN COMPRESOR</b>	Continúa en operación
<b>VENTILACIÓN BYC VB</b>	Continúa en operación
<b>VENTILACIÓN BYC VC</b>	Continúa en operación
<b>ALTA PRESIÓN BAC</b>	Continúa en operación
<b>ALTA PRESIÓN BDC</b>	Continúa en operación

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## Anexo B: Análisis de Falla Trifásica

### B1 Motores U05

#### B1.1 SAE Bomba Booster



**Figura B.1** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 7.5HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_15 & SAE\_BBA\_AB. Adjacent bus: Bus\_15

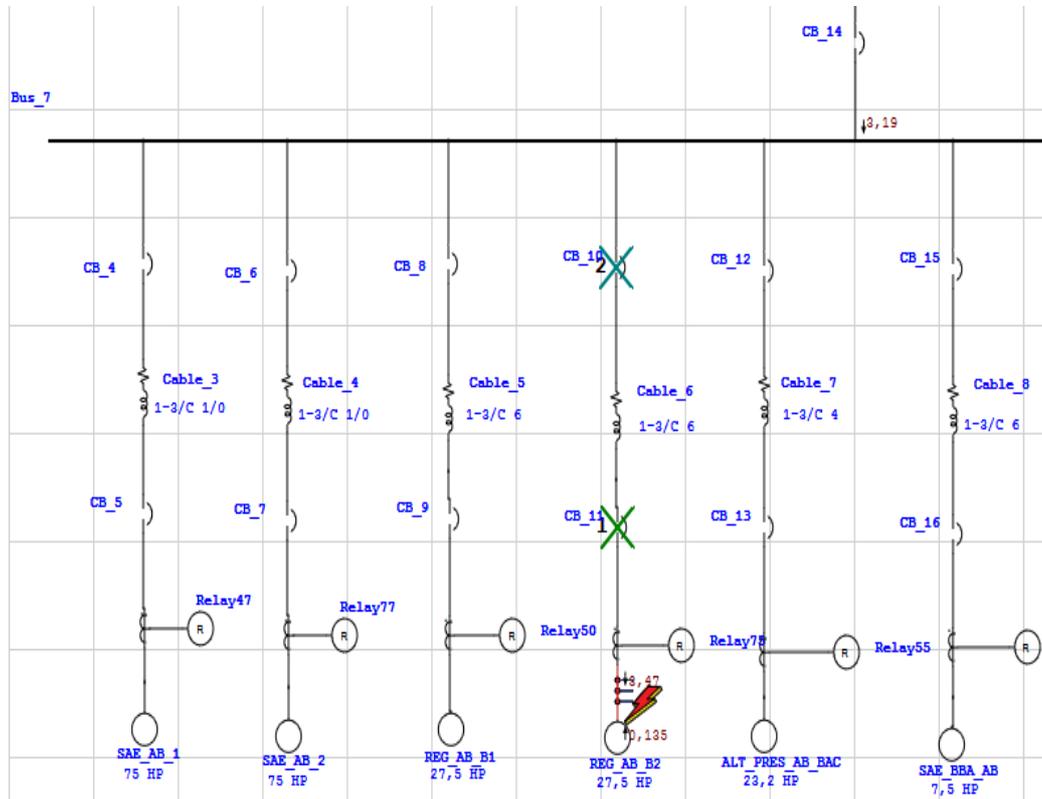
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
4,1	CB_16	1,929	0,0	< 4,1	
10,0	Relay61	1,929	10,0		Phase - OC1 - 50
50,0	CB_15	1,929	10,0	50,0	Phase
59,3	CB_14	1,765	10,0	59,3	Phase
60,0	CB_16		50,0		Tripped by Relay61 Phase - OC1 - 50
146609	CB_1	0,731	146497	> 146609	Phase

**Figura B.2** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 7.5HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## B1.2 Regulador



**Figura B.3** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 27.5HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between REG\_AB\_B2 & CT75. Adjacent bus: Bus87

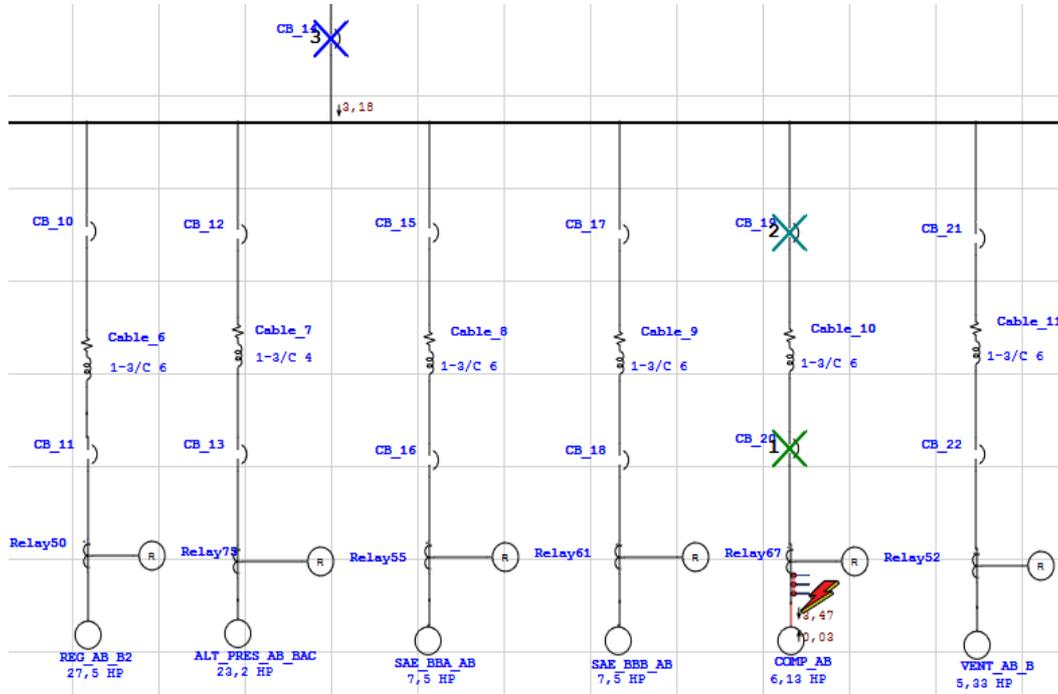
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay75	3,47	10,0		Phase - OC1 - 50
25,0	CB_11	3,47	0,0	25,0	
50,0	CB_10	3,47	10,0	50,0	Phase
50,0	CB_14	3,193	10,0	50,0	Phase
60,0	CB_11		50,0		Tripped by Relay75 Phase - OC1 - 50
55160	CB_1	1,322	35303	55160	Phase
57656	CB_2	1,623	36900	57656	Phase

**Figura B.4** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 27.5HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### B1.3 Compresor



**Figura B.5** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 6.13HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_17 & COMP\_AB. Adjacent bus: Bus\_17

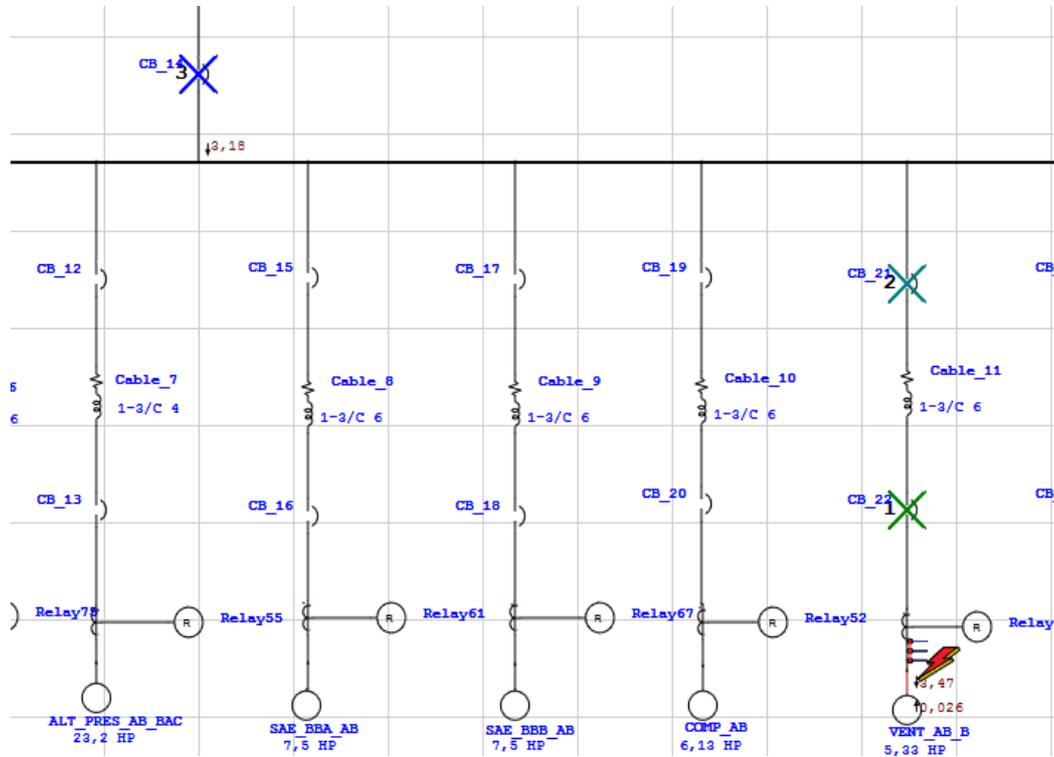
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay52	3,472	10,0		Phase - OC1 - 50
12,0	CB_20	3,472	1,0	12,0	
14,7	CB_19	3,472	1,0	14,7	
50,0	CB_14	3,176	10,0	50,0	Phase
55873	CB_1	1,315	35759	55873	Phase
58401	CB_2	1,614	37377	58401	Phase

**Figura B.6** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 6.13HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## B 1.4 Ventilador B



**Figura B.7** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 5.33HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_18 & VENT\_AB\_B. Adjacent bus: Bus\_18

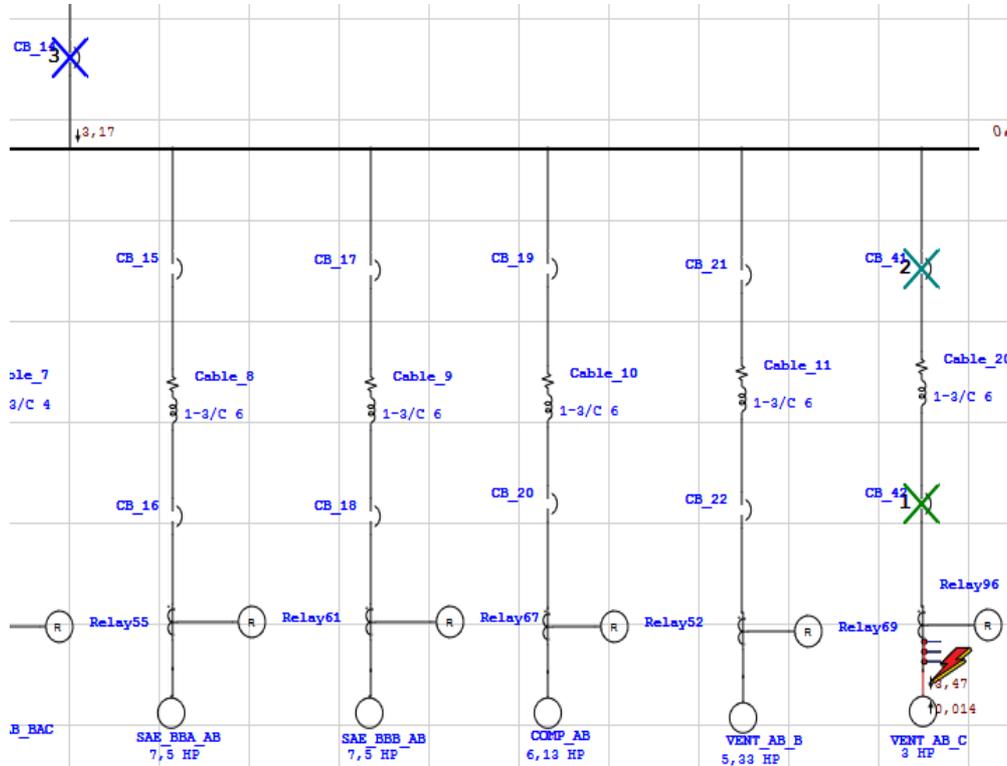
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay69	3,472	10,0		Phase - OC1 - 50
12,0	CB_22	3,472	1,0	12,0	
14,7	CB_21	3,472	1,0	14,7	
50,0	CB_14	3,175	10,0	50,0	Phase
55902	CB_1	1,315	35777	55902	Phase
58431	CB_2	1,614	37396	58431	Phase

**Figura B.8** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 5.33HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP HIDROPAUTE

### B 1.5 Ventilador C



**Figura B.9** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 3HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_13 & VENT\_AB\_C. Adjacent bus: Bus\_13

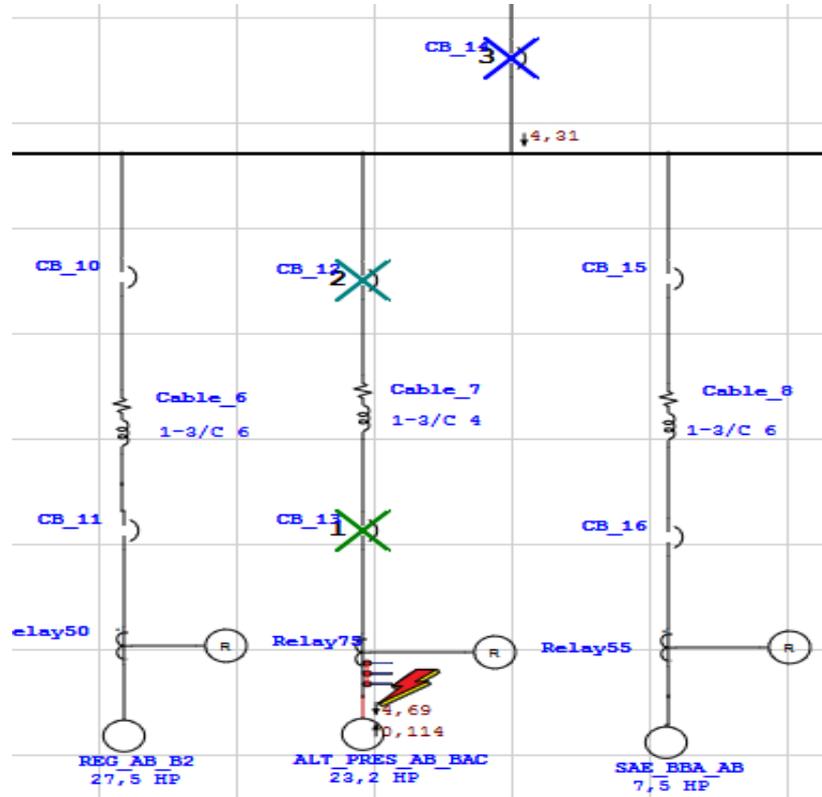
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay96	3,472	10,0		Phase - OC1 - 50
13,3	CB_42	3,472	1,0	13,3	
18,3	CB_41	3,472	10,0	18,3	
50,0	CB_14	3,173	10,0	50,0	Phase
55989	CB_1	1,314	35833	55989	Phase
58521	CB_2	1,613	37454	58521	Phase

**Figura B.10** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 3HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### B 1.6 Alta Presión



**Figura B.11** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 23.2HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_14 & ALT\_PRES\_AB\_BAC. Adjacent bus: Bus\_14

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10.0	Relay55	4,686	10.0		Phase - OC1 - 50
25.0	CB_13	4,686	0.0	25.0	Phase
50.0	CB_12	4,686	10.0	50.0	Phase
50.0	CB_14	4,308	10.0	50.0	Phase
60.0	CB_13		50.0		Tripped by Relay55 Phase - OC1 - 50
26886	CB_1	1,784	17207	26886	Phase
28102	CB_2	2,189	17985	28102	Phase

**Figura B.12** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 23.2HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## B2 Motores U06

### B 2.1 Regulador

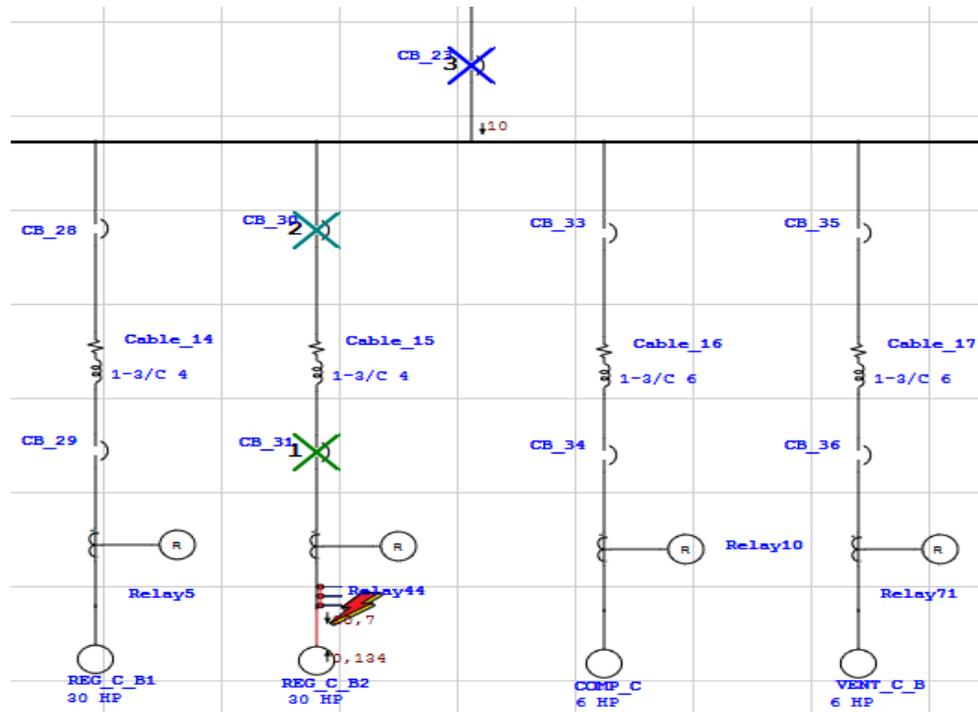


Figura B.13 Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 30HP

Fuente: Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_22 & REG\_C\_B2. Adjacent bus: Bus\_22

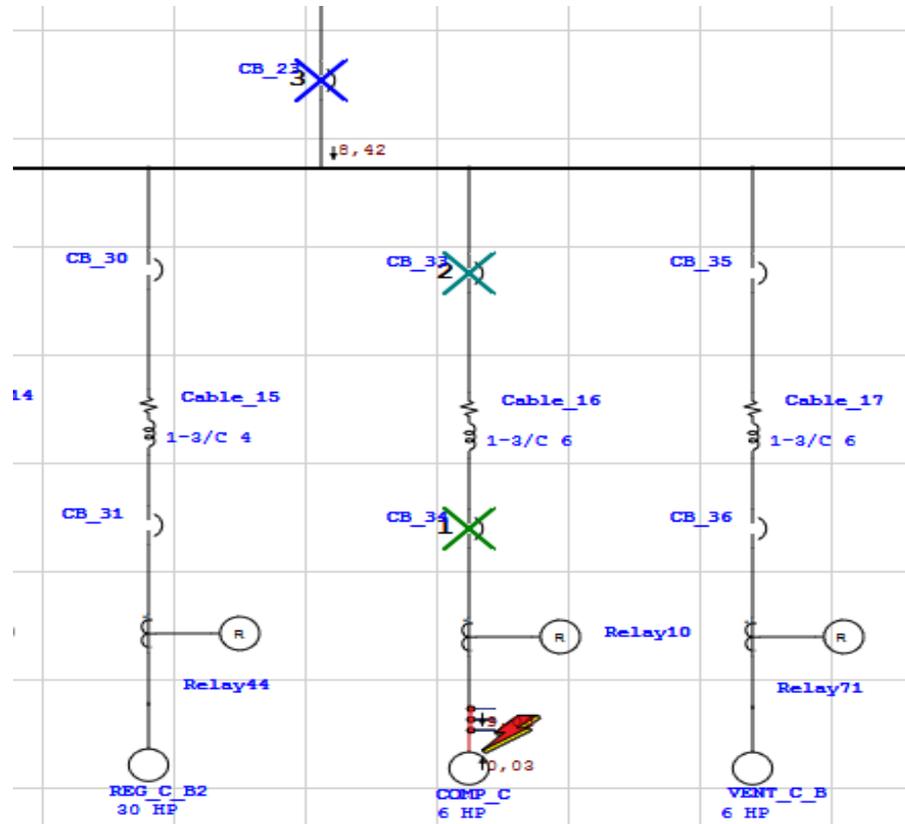
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay44	10,695	10,0		Phase - OC1 - 50
25,0	CB_31	10,695	0,0	25,0	
50,0	CB_30	10,695	10,0	50,0	Phase
50,0	CB_23	10,001	10,0	50,0	Phase
60,0	CB_31		50,0		Tripped by Relay44 Phase - OC1 - 50
170	CB_1	4,076	70,0	170	Phase

Figura B.14 Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 30HP

Fuente: Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## B 2.2 Compresor



**Figura B.15** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 6HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_23 & COMP\_C. Adjacent bus: Bus\_23

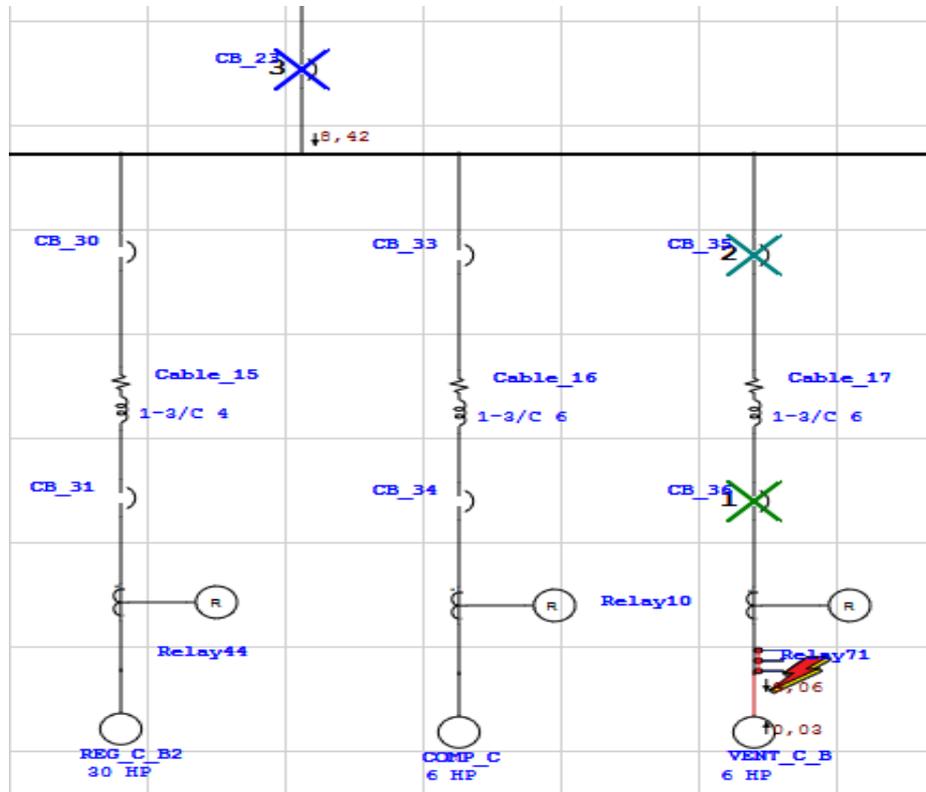
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
4,1	CB_34	9,062	0,0	< 4,1	
10,0	Relay10	9,062	10,0		Phase - OC1 - 50
50,0	CB_33	9,062	10,0	50,0	Phase
51,9	CB_23	8,422	10,0	51,9	Phase
60,0	CB_34		50,0		Tripped by Relay10 Phase - OC1 - 50
170	CB_1	3,433	70,0	170	Phase

**Figura B.16** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 6HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### B 2.3 Ventilador B



**Figura B.17** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 6HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_24 & VENT\_C\_B. Adjacent bus: Bus\_24

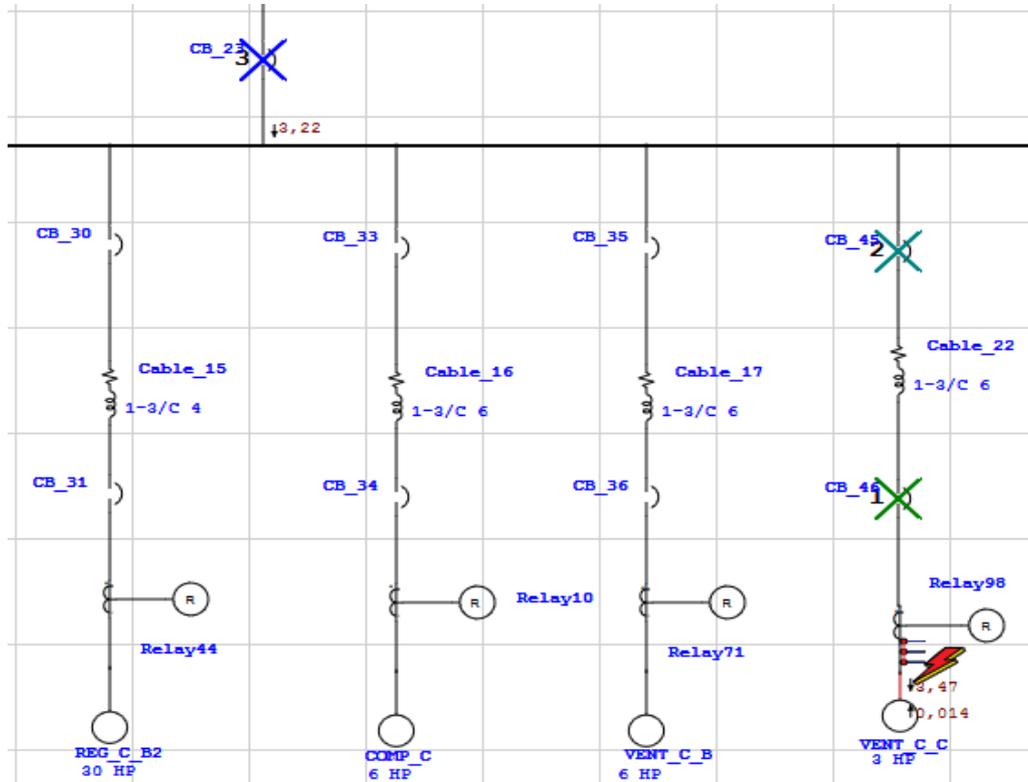
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
4,1	CB_36	9,062	0,0	< 4,1	
10,0	Relay71	9,062	10,0		Phase - OC1 - 50
50,0	CB_35	9,062	10,0	50,0	Phase
51,9	CB_23	8,422	10,0	51,9	Phase
60,0	CB_36		50,0		Tripped by Relay71 Phase - OC1 - 50
170	CB_1	3,433	70,0	170	Phase

**Figura B.18** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 6HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### B 2.4 Ventilador C



**Figura B.19** Esquema de protección con relé e interruptor de potencia para motor de 3HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between Bus\_27 & VENT\_C\_C. Adjacent bus: Bus\_27

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 02-20-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay98	3,472	10,0		Phase - OC1 - 50
13,3	CB_46	3,472	1,0	13,3	
18,3	CB_45	3,472	10,0	18,3	
195	CB_23	3,225	95,0	195	Phase
55989	CB_1	1,314	35833	55989	Phase
58521	CB_2	1,613	37454	58521	Phase

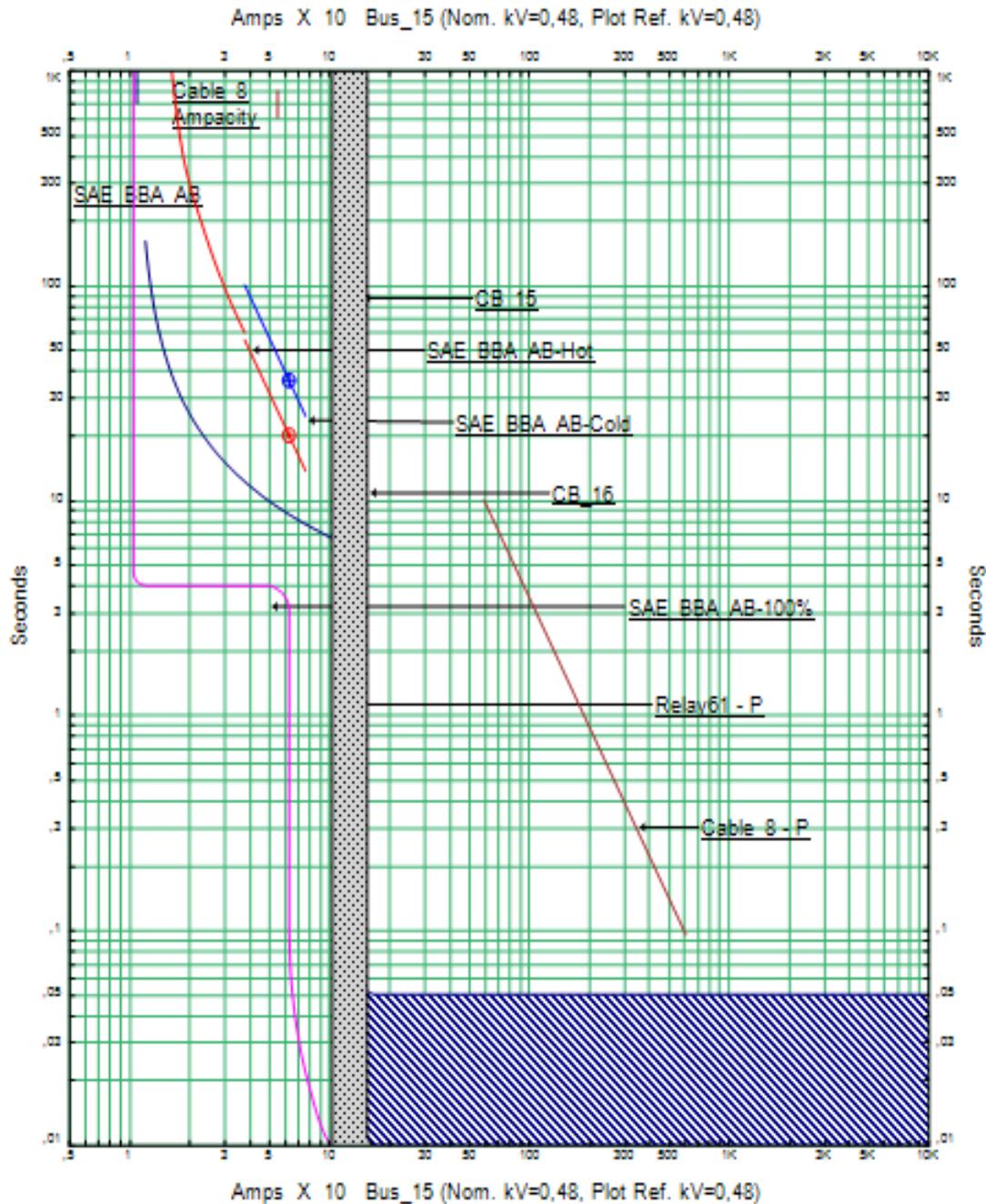
**Figura B.20** Secuencia de Operación de los dispositivos de protección del motor de 3HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## Anexo C: Cartas de Coordinación

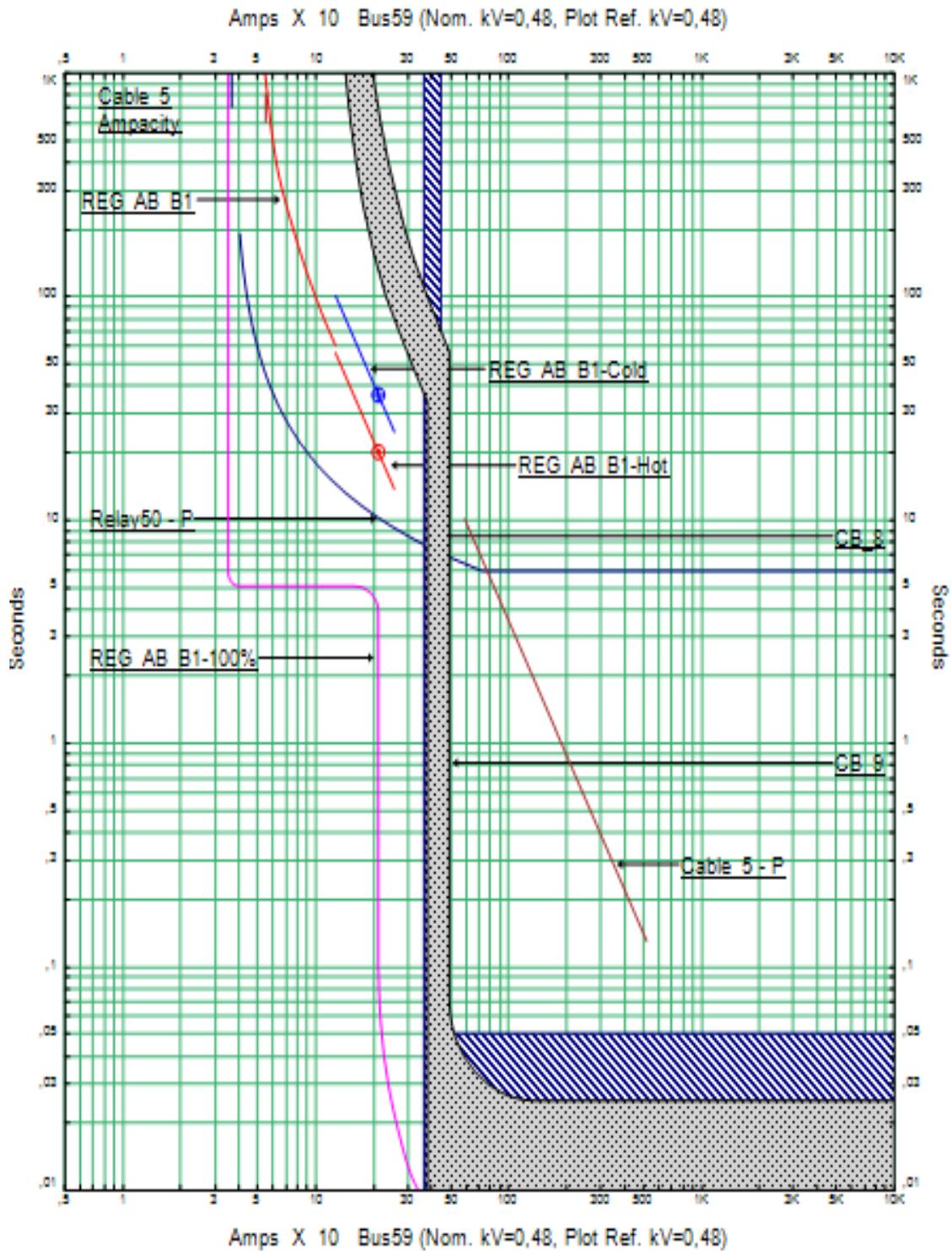
### C1 Carta de Coordinación Motores de U05

#### C1.1 SAE Bomba Booster



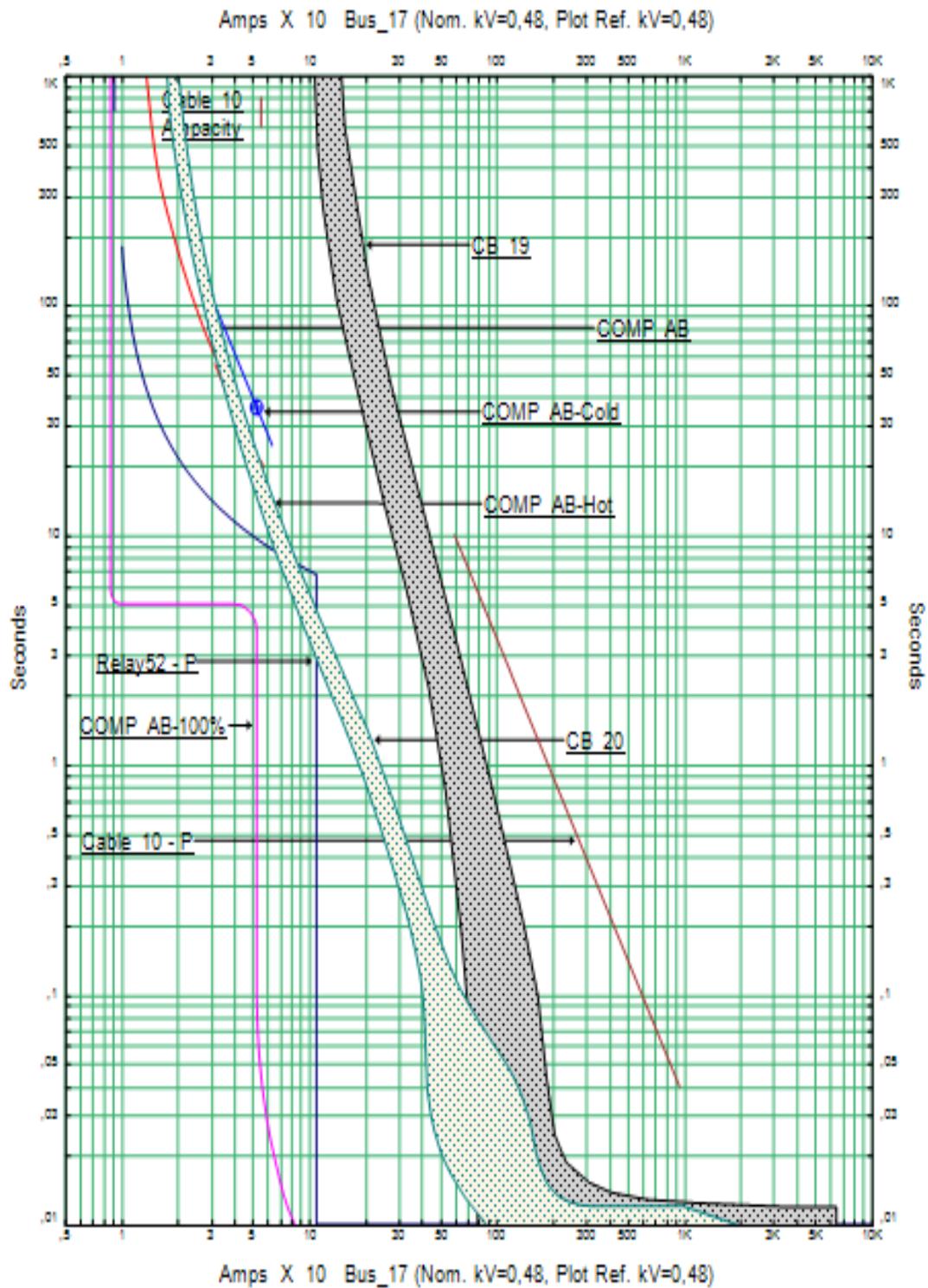
**Figura C.1** Coordinación de protecciones para un motor de 7.5HP  
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## C1.2 Regulador



**Figura C.2** Coordinación de protecciones para un motor de 27.5HP  
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### C1.3 Compresor

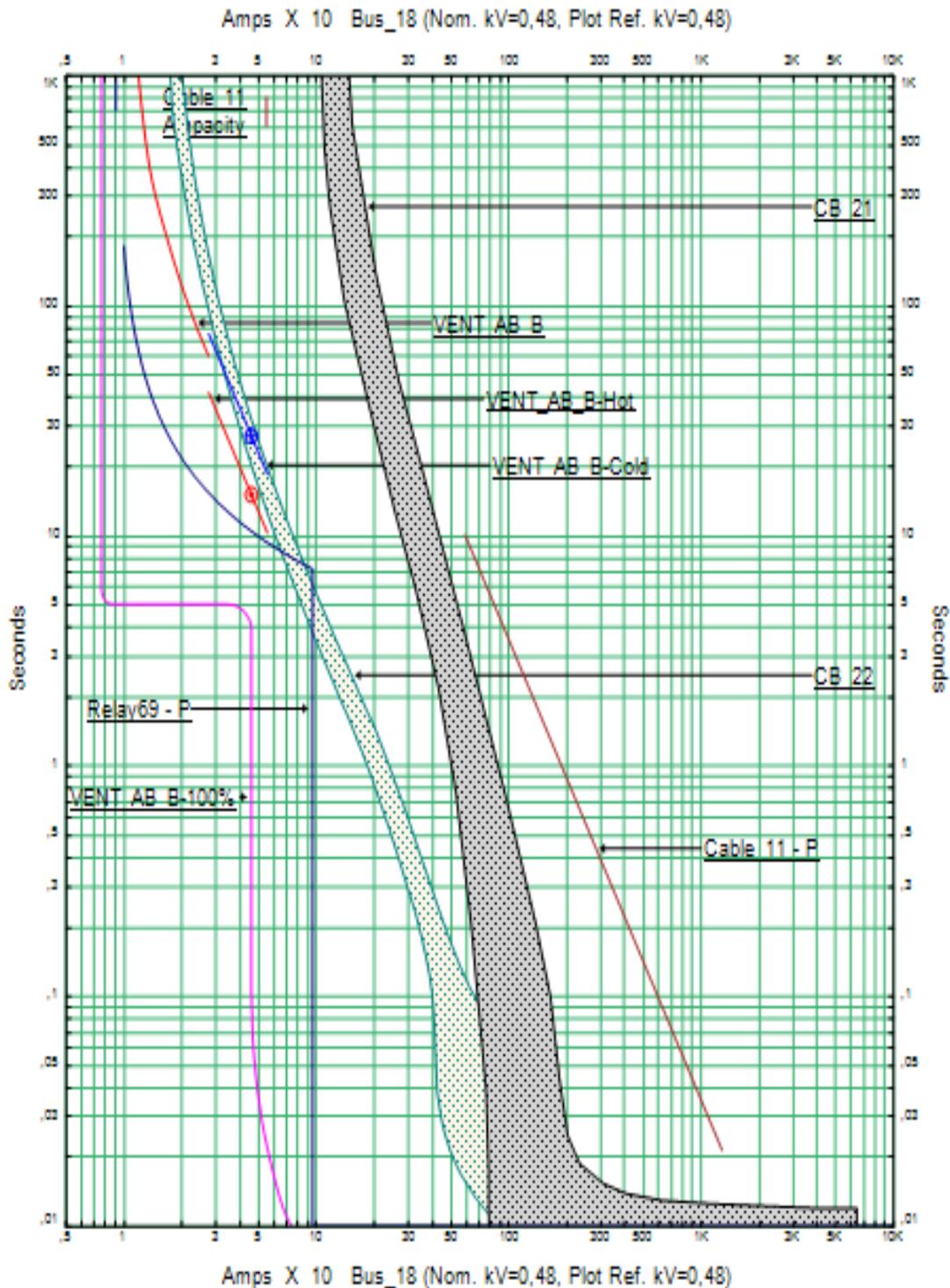


**Figura C.3** Coordinación de protecciones para un motor de 6.13HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP

HIDROPAUTE

### C1.4 Ventilador B

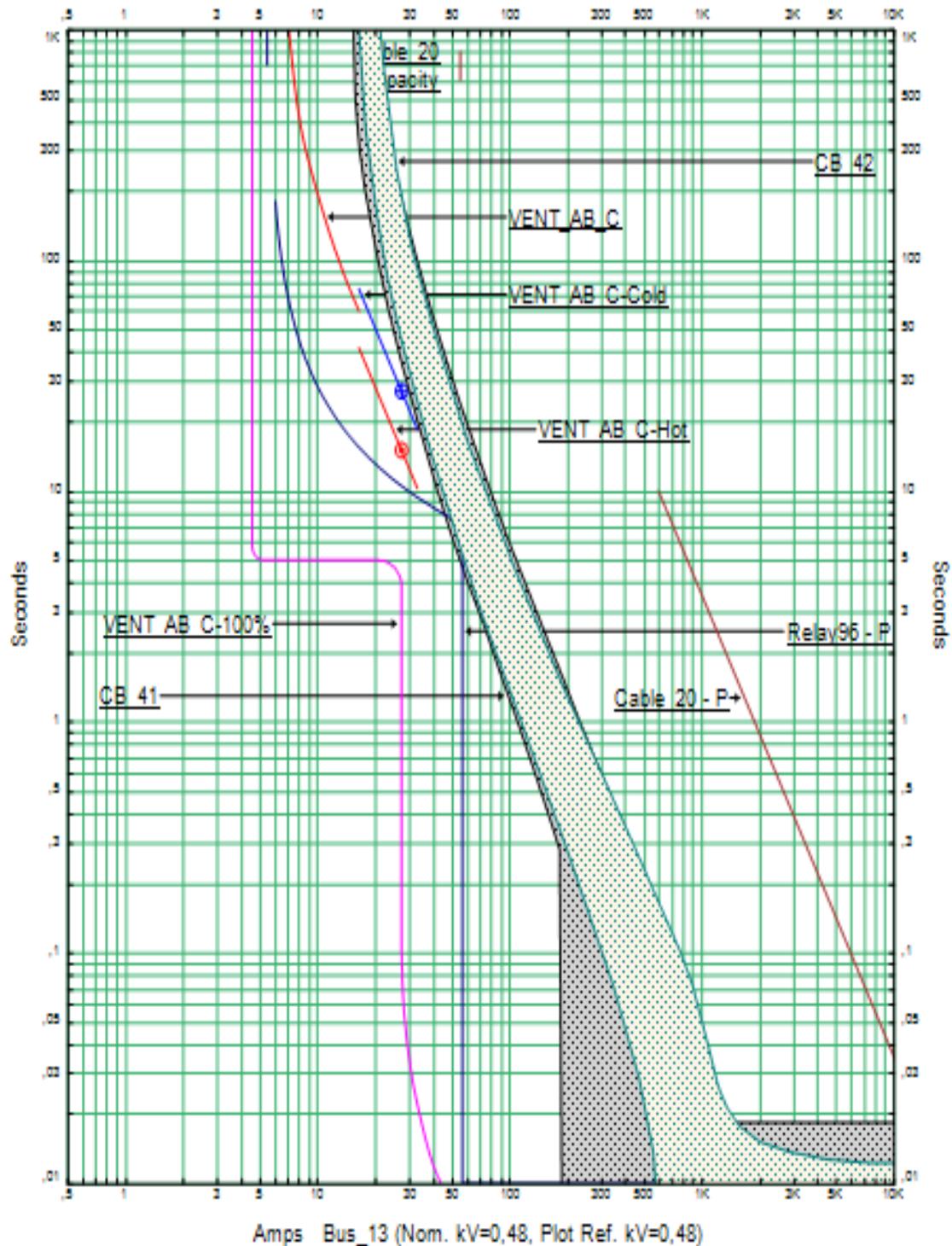


**Figura C.4** Coordinación de protecciones para un motor de 5.33HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP

HIDROPAUTE

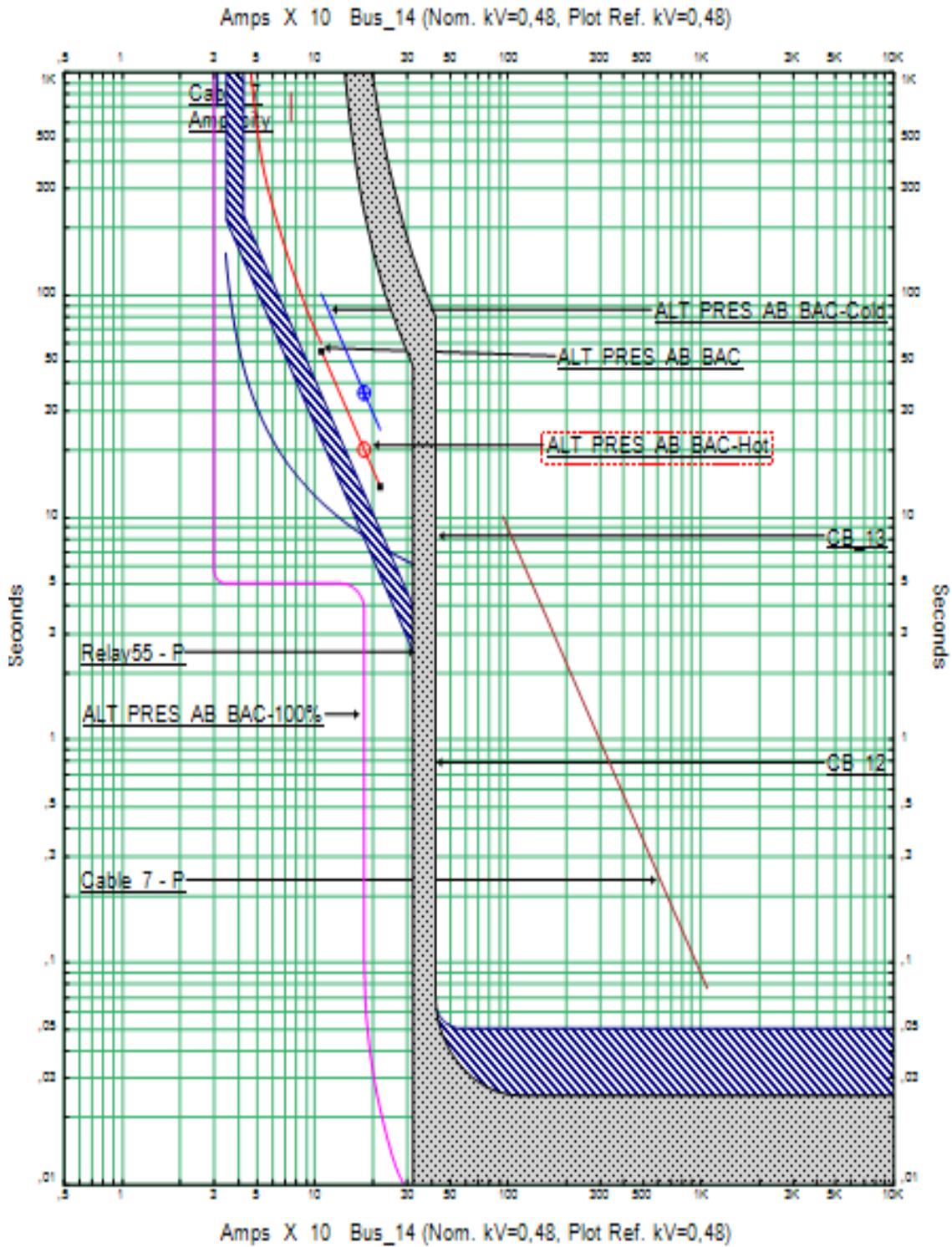
### C1.5 Ventilador C



**Figura C.5** Coordinación de protecciones para un motor de 3HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## C1.6 Alta Presión



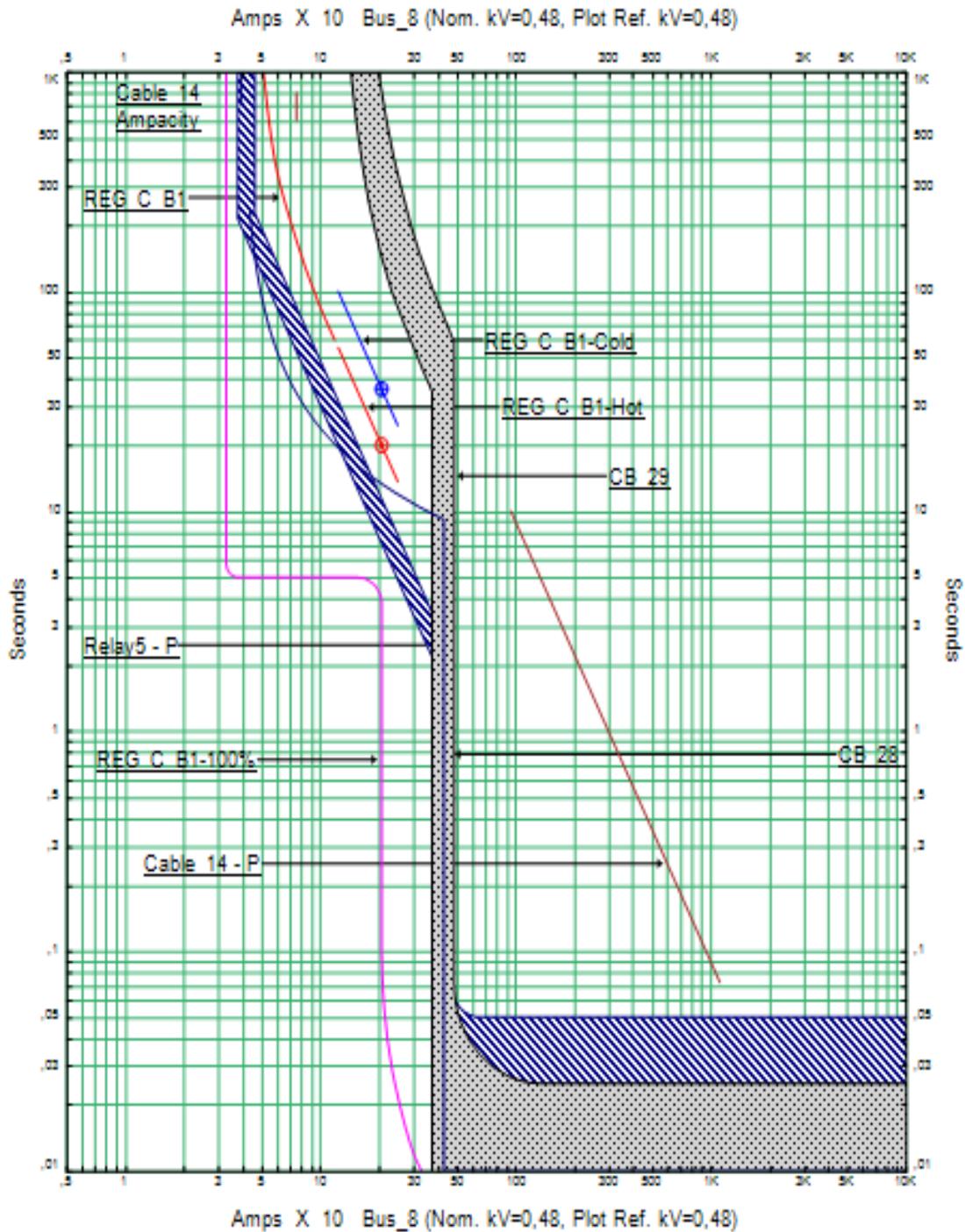
**Figura C.6** Coordinación de protecciones para un motor de 23.2HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP

HIDROPAUTE

## C2 Carta de Coordinación Motores de U06

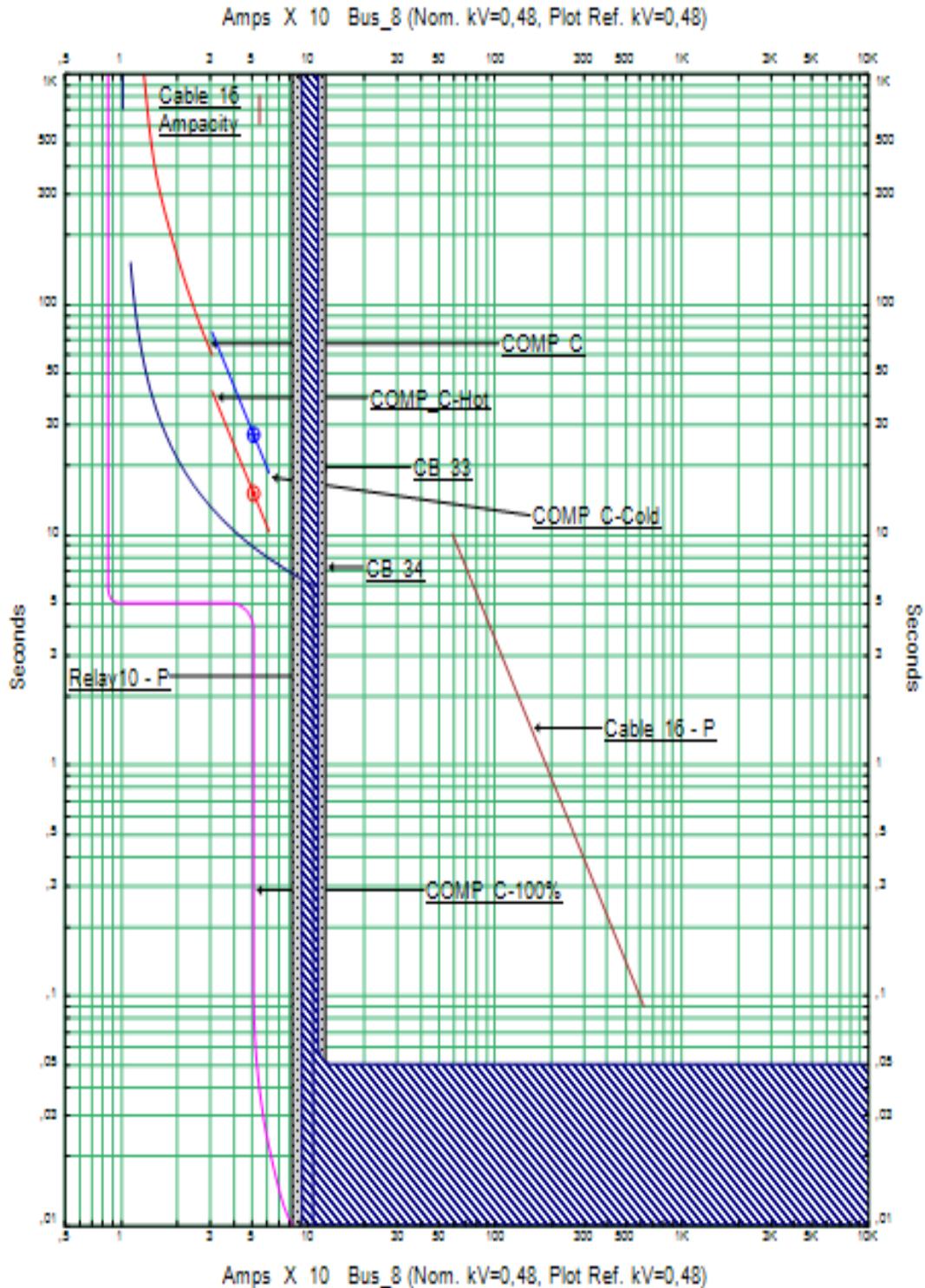
### C2.1 Regulador



**Figura C.7** Coordinación de protecciones para un motor de 30HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

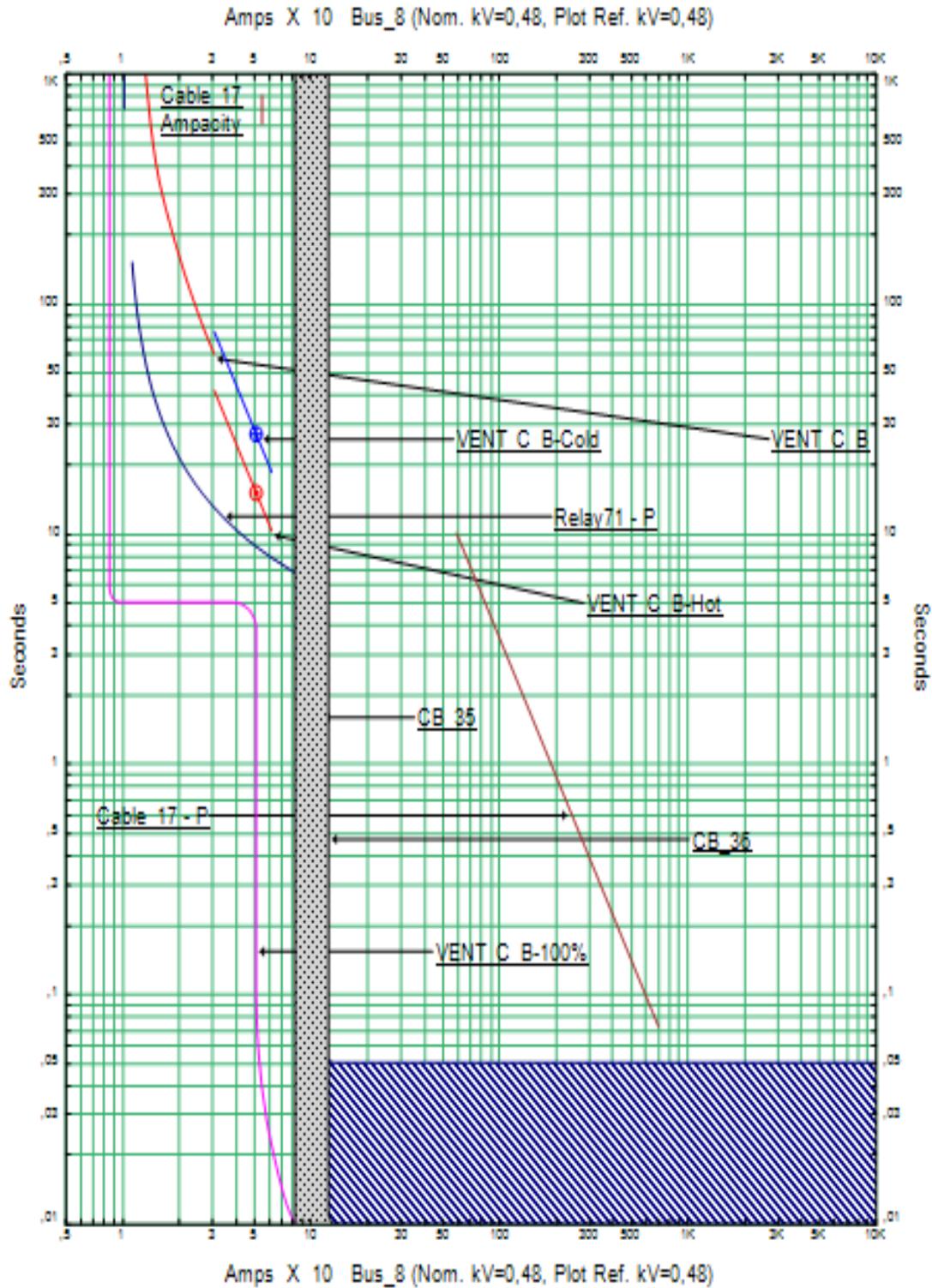
## C2.2 Compresor



**Figura C.8** Coordinación de protecciones para un motor de 6HP

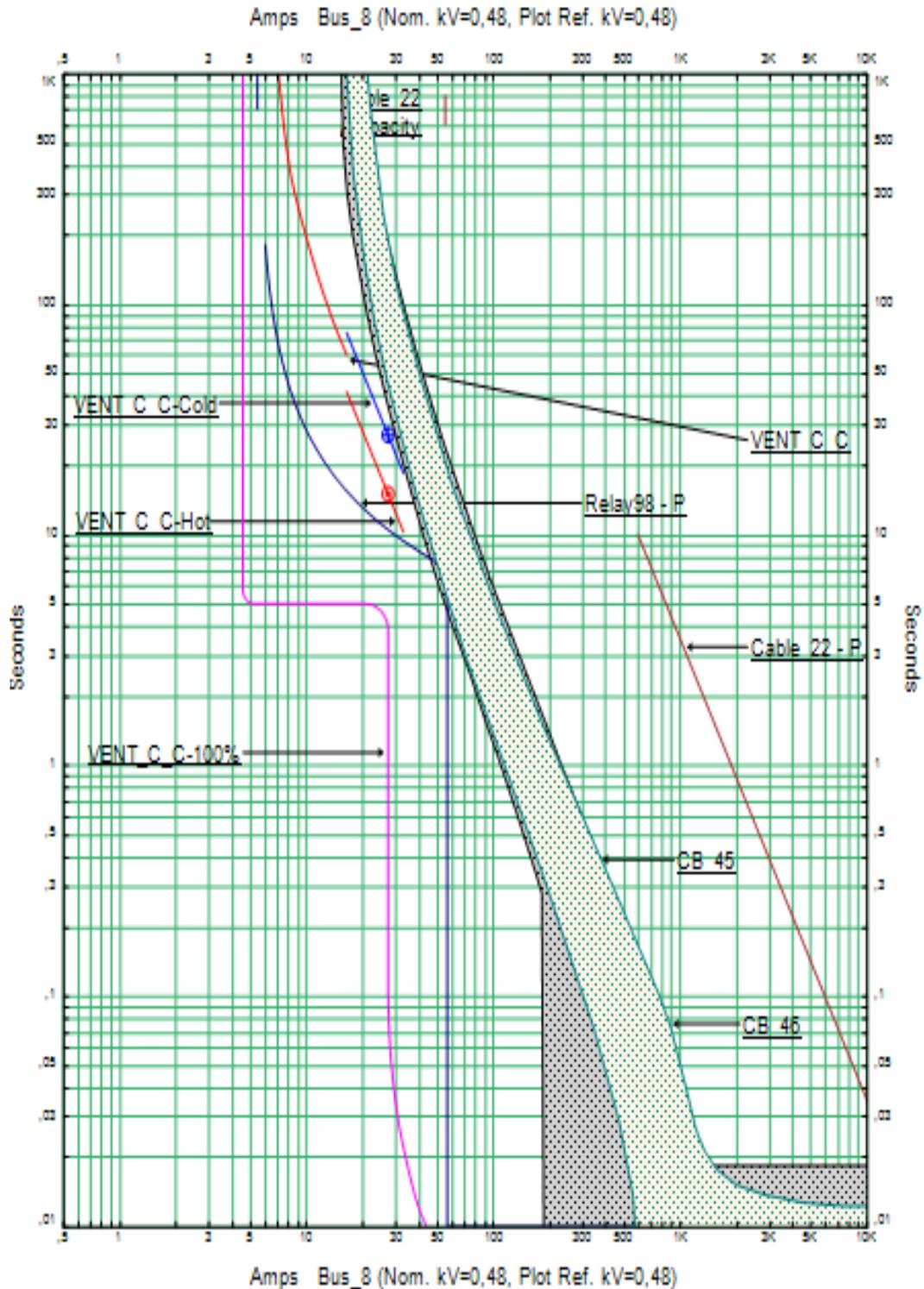
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### C2.3 Ventilador B



**Figura C.9** Coordinación de protecciones para un motor de 6HP  
**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
 HIDROPAUTE

## C2.4 Ventilador C



**Figura C.10** Coordinación de protecciones para un motor de 3HP

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## Anexo D: Motores de Sistemas Auxiliares

### D1 Motores U05

#### D1.1 Bomba Booster A y B



Figura D.1 Bomba Booster A y B.

Fuente: Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Tabla D.1 Bomba Booster A y B.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
TIPO:	OPEN
NÚMERO DE FASES:	3
HP DE SALIDA:	7.5 (5.6 kW)
FRECUENCIA:	60
VELOCIDAD NOMINAL (rpm):	1745
VOLTAJE NOMINAL (V):	460 (230)
CORRIENTE NOMINAL (A):	10.5
AUMENTO PERMISIBLE DE TEMPERATURA:	40°C
CLASE DE AISLAMIENTO NEMA:	B
CLASE DE DISEÑO NEMA:	F
CÓDIGO DE ROTOR BLOQUEADO:	J
FACTOR DE SERVICIO:	1.15
NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN ASIGNADO POR EL FABRICANTE:	F0406160889
MODELO:	JMM3311T
EFICIENCIA:	85.50%
FACTOR DE POTENCIA:	75%

Fuente: Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D1.2 Regulación Bomba 1 y Bomba 2



**Figura D.2** Regulación Bomba 1 y 2.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.2** Regulación Bomba 1 y 2.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
FABRICANTE:	ANSALDO
MODELO:	B/C 1872
FRAME:	180 L4
SERIE:	759336
POTENCIA (kW):	20.5 (27.5 HP)
VOLTAJE (V):	460
# DE FASES:	3
CORRIENTE (A):	34,5
CONEXIÓN:	TRIÁNGULO
FRECUENCIA (Hz):	60
FACTOR DE POTENCIA:	0.84
FACTOR DE SERVICIO:	1
RPM:	1770
CLASE DE AISLAMIENTO:	B
PROTECCIÓN IP:	45
PESO (kg):	127
NORMA:	IEC 132 MA6
HECHO EN:	ITALIA
RODAMIENTO DE:	6311-2Z
DIÁMETRO EJE DE:	55 mm
RODAMIENTO ODE:	6311-2Z
DIÁMETRO EJE ODE:	55 mm

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### D1.3 Compresor



**Figura D.3** Regulación Compresor.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

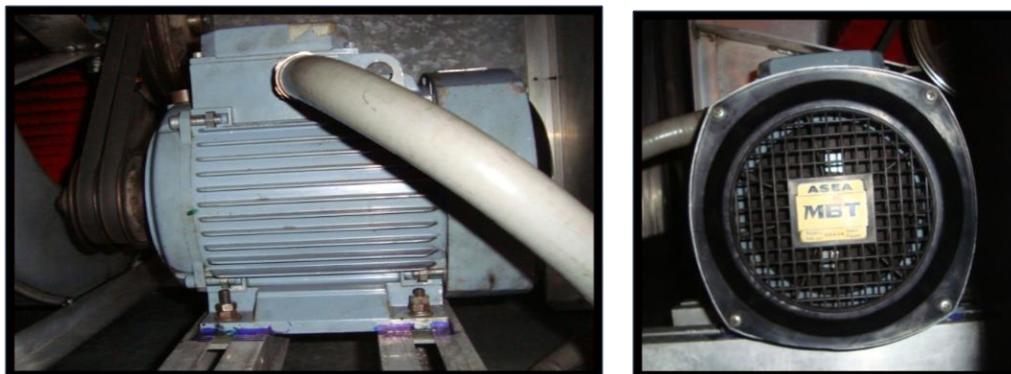
**Tabla D.3** Regulación Compresor.

<b>DATOS DE PLACA DEL MOTOR</b>	
<b>FABRICANTE:</b>	ANSALDO
<b>TIPO:</b>	A1C 133 3A A108
<b>FRAME:</b>	132 MA6
<b>POTENCIA (kW)</b>	4.6
<b>VOLTAJE (V):</b>	460
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	10,5
<b>CONEXIÓN</b>	TRIANGULO
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE POTENCIA:</b>	0.78
<b>FACTOR DE SERVICIO:</b>	1
<b>RPM:</b>	1150
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>HECHO EN:</b>	ITALIA
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6308-2Z
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	40mm
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6308-2Z
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	40mm

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D1.4 Ventilación B y C

### Ventilador B



**Figura D.4** Ventilador B.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.4** Ventilador B.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
<b>FABRICANTE:</b>	ASEA
<b>TIPO:</b>	MBT112MC-4
<b>FRAME:</b>	34-1
<b>SERIE:</b>	L410854085/27
<b>POTENCIA (kW)</b>	4
<b>VOLTAJE (V):</b>	460
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	8.5
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE POTENCIA:</b>	0.78
<b>RPM:</b>	1735
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>NORMA:</b>	IEC 34-1
<b>HECHO EN:</b>	ESPAÑA
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6206-2Z
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	30 mm
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6306-2Z
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	30 mm

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## Ventilación C



Figura D.5 Ventilador C.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

Tabla D.5 Ventilador C.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
<b>FABRICANTE:</b>	ERCOLE MARELLI
<b>MODELO:</b>	31B32323
<b>FRAME:</b>	12M6
<b>POTENCIA (kW)</b>	2.2
<b>VOLTAJE (V):</b>	460
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	5.2
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE SERVICIO:</b>	CONTINUO
<b>RPM:</b>	1150
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6206-2Z
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	30 mm
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6306-2Z
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	30 mm

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### D1.5 Ventiladores Excitación (Sup – Inf)



**Figura D.6** Ventilador Sup - Inf.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.6** Ventilador Sup - Inf.

<b>DATOS DE PLACA DEL MOTOR</b>	
<b>FABRICANTE:</b>	SIEMENS
<b>MODELO:</b>	MBT 1 12 MC-4
<b>FRAME:</b>	80
<b>POTENCIA (kW)</b>	1.2 (1.6 HP)
<b>VOLTAJE (V):</b>	380 (220)
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	2.7
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE SERVICIO:</b>	1
<b>RPM:</b>	3410
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	54
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6204-2Z
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	20 mm
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6304-2Z
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	20 mm

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D1.6 Alta Presión

### Bomba AC



**Figura D.7** Alta Presión Bomba AC.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.7** Alta Presión Bomba AC

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
<b>FABRICANTE:</b>	SIEMENS
<b>MODELO:</b>	1LA3166-4AA91
<b>FRAME:</b>	160L
<b>POTENCIA (kW)</b>	17.3 (23,2 HP)
<b>VOLTAJE (V):</b>	480
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	26,8
<b>CONEXIÓN</b>	TRIANGULO
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE POTENCIA:</b>	0.85
<b>FACTOR DE SERVICIO:</b>	1.1
<b>RPM:</b>	1735
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	B
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	54
<b>NORMA:</b>	IEC/EN60034
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6209C3
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	45
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6209C3
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	45

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D2 Motores U06

### D2.1 Regulación Bomba 1 y Bomba 2



**Figura D.8** Regulación Bomba 1 y 2.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.8** Regulación Bomba 1 y 2.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
FABRICANTE:	BROWN BOVERI
MODELO:	FL962664
FRAME:	180M4
POTENCIA (kW):	21 (28 HP)
VOLTAJE (V):	460
# DE FASES:	3
CORRIENTE (A):	34
CONEXIÓN:	Triángulo
FRECUENCIA (Hz):	60
FACTOR DE POTENCIA:	0.86
FACTOR DE SERVICIO:	1
RPM:	1755
CLASE DE AISLAMIENTO:	F
PROTECCIÓN IP:	IP55
NORMA:	IEC 60032-1
HECHO EN:	Alemania
RODAMIENTO DE:	6311-2z
DIÁMETRO EJE DE:	55
RODAMIENTO ODE:	6311-2z
DIÁMETRO EJE ODE:	55

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D2.2 Compresor



**Figura D.9** Regulación Compresor.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

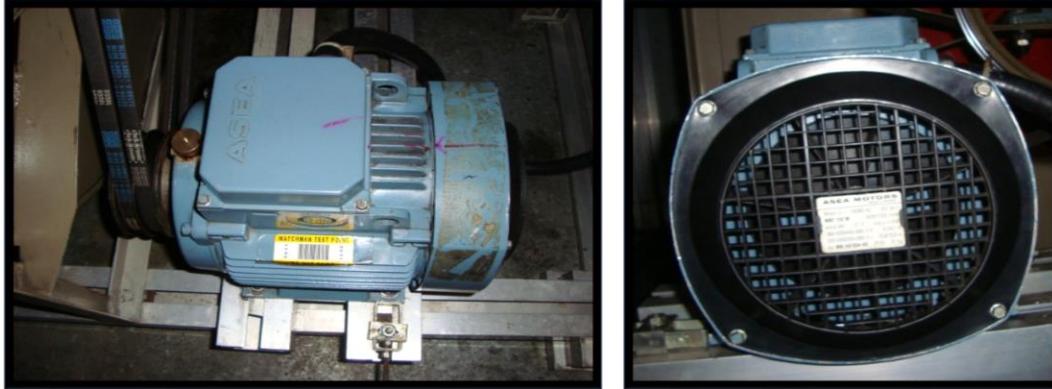
**Tabla D.9** Regulación Compresor.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
<b>FABRICANTE:</b>	BROWN BOVERI
<b>TIPO:</b>	COMPAX
<b>FRAME:</b>	132MR6
<b>POTENCIA (kW)</b>	4.5 (6 HP)
<b>VOLTAJE (V):</b>	460
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	8.9
<b>CONEXIÓN</b>	Triángulo
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE POTENCIA:</b>	0.77
<b>FACTOR DE SERVICIO:</b>	1
<b>RPM:</b>	1125
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>NORMA:</b>	NFC 51111; CEI 34-1
<b>HECHO EN:</b>	Francia
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6308-2z
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	40
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6308-2z
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	40

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D2.3 Ventilación B y C

### Ventilador B



**Figura D.10** Ventilador B.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.10** Ventilador B.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
<b>FABRICANTE:</b>	ASEA
<b>TIPO:</b>	MBT 112M
<b>FRAME:</b>	M3AA 112 M4
<b>SERIE:</b>	MK 142 034-AS
<b>POTENCIA (kW)</b>	4.6 (6 HP)
<b>VOLTAJE (V):</b>	480
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	9.1
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE POTENCIA:</b>	0.80
<b>RPM:</b>	1735
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>NORMA:</b>	IEC 34-1
<b>HECHO EN:</b>	SUECIA
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6205-2z
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	25
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6206-2z
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	35

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

*Ventilador C***Figura D.11** Ventilador C.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.11** Ventilador C.

<b>DATOS DE PLACA DEL MOTOR</b>	
<b>FABRICANTE:</b>	ISGEV
<b>TIPO:</b>	837001
<b>FRAME:</b>	A112M6
<b>POTENCIA (kW)</b>	2.2 (3 HP)
<b>VOLTAJE (V):</b>	460
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	4.5
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE POTENCIA:</b>	0.78
<b>RPM:</b>	1130
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>HECHO EN:</b>	ARZIGNANO VICENZA ITALIA
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6306
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	30
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6306
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	30

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D2.4 Ventiladores Excitación (Sup – Inf)



**Figura D.12** Ventilador Sup - Inf.

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.12** Ventilador Sup - Inf.

<b>DATOS DE PLACA DEL MOTOR</b>	
<b>FABRICANTE:</b>	BIMA
<b>MODELO:</b>	1210704
<b>FRAME:</b>	C100L4
<b>POTENCIA (kW)</b>	3 (4 HP)
<b>VOLTAJE (V):</b>	480
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	7.8
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE SERVICIO:</b>	1
<b>RPM:</b>	1680
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6206-2z
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	30
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6206-2z
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	30

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

## D2.5 Alta Presión

### Bomba AC

Tabla D.13 Alta Presión Bomba AC.

DATOS DE PLACA DEL MOTOR	
FABRICANTE:	GIEM
MODELO:	E3246
FRAME:	160M4
POTENCIA (kW)	12,5 (16,8 HP)
VOLTAJE (V):	460
# DE FASES:	3
CORRIENTE (A):	23,5
FRECUENCIA (Hz):	60
FACTOR DE SERVICIO:	1
RPM:	1750
CLASE AISLAMIENTO:	F
PROTECCIÓN IP:	55
RODAMIENTO DE:	6310-Z C3
DIAMETRO EJE DE:	50
RODAMIENTO ODE:	6209-Z C3
DIAMETRO EJE ODE:	45

Fuente: Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

### Bomba DC



Figura D.13 Alta Presión Bomba DC.

Fuente: Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE

**Tabla D.14** Alta Presión Bomba DC.

<b>DATOS DE PLACA DEL MOTOR</b>	
<b>FABRICANTE:</b>	GIEM
<b>MODELO:</b>	GP2306
<b>FRAME:</b>	160L
<b>POTENCIA (kW)</b>	5,5 (7,4 HP)
<b>VOLTAJE (V):</b>	125
<b># DE FASES:</b>	3
<b>CORRIENTE (A):</b>	50
<b>FRECUENCIA (Hz):</b>	60
<b>FACTOR DE SERVICIO:</b>	1
<b>RPM:</b>	1500
<b>CLASE AISLAMIENTO:</b>	F
<b>PROTECCIÓN IP:</b>	55
<b>RODAMIENTO DE:</b>	6310-Z C3
<b>DIAMETRO EJE DE:</b>	50
<b>RODAMIENTO ODE:</b>	6209-Z C3
<b>DIAMETRO EJE ODE:</b>	45

**Fuente:** Registros de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico CELEC EP  
HIDROPAUTE