

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**EVALUACIÓN DE RESILIENCIA DE EQUIPOS DE  
AUTOMATIZACIÓN EN PRESENCIA DE HUECOS DE  
TENSIÓN**

PRESENTADO POR:

**KAREN AMANDA AGREDA RIVAS**

**JUAN JOSÉ ERAZO RECINOS**

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR:

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERON**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título:

**EVALUACIÓN DE RESILIENCIA DE EQUIPOS DE  
AUTOMATIZACIÓN EN PRESENCIA DE HUECOS DE  
TENSIÓN**

Presentado por:

**KAREN AMANDA AGREDA RIVAS**

**JUAN JOSÉ ERAZO RECINOS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ**

SAN SALVADOR, OCTUBRE 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

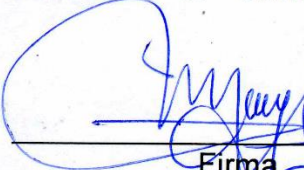
Docente Asesor:


**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ**


## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, jueves 5 de marzo 2020, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón  
Director

  
Firma


  
Firma



2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. JOSE ROBERTO RAMOS LOPEZ  
(Docente Asesor)

  
Firma

- ING. ARMANDO MARTINEZ CALDERÓN

  
Firma

- MSC. LUIS ROBERTO CHEVEZ PAZ

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

EVALUACIÓN DE RESILIENCIA DE EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN EN PRESENCIA DE HUECOS DE TENSIÓN

A cargo de los Bachilleres:

- AGREDA RIVAS KAREN AMANDA

- ERAZO RECINOS JUAN JOSÉ

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 7.5

(SIETE PUNTO CINCO)

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a mis padres Eduardo Agreda y Amanda Rivas por su cariño, apoyo y motivación para lograr siempre cumplir mis metas y desafíos. A mis hermanos Eduardo Agreda, Giovanni Agreda y mi hermana Yeni Rivas por estar siempre conmigo a lo largo de mi carrera tanto personal como académicamente.

A Erick Calderón, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en este proceso y por alentarme siempre a crecer en todos los aspectos de mi vida.

A mi compañero en este trabajo de graduación y amigo, Juan Erazo, con quien a pesar de las dificultades supimos equilibrar y sacar adelante nuestros objetivos.

A Rodrigo Rivas, Kevin Comayagua, Julio López, Javier Hernández, Nairobi Ventura, Merlly Mendoza, Fidel Cortez, Elvis Larios, Cristian Quintanilla, Ernesto Vela, Iván Díaz, Marvin Miranda, Byron Cantor e Isaías Chafoya por su amistad a lo largo de mi estancia en la EIE y por las experiencias que pude compartir con cada uno de ellos.

A Reinita por su total disposición en ayudarnos a nosotros los estudiantes de la EIE en nuestros procesos académicos y especialmente agradezco su amistad y cariño el cual es mutuo.

A mis instructores y docentes por el conocimiento adquirido, su paciencia y dedicación en las clases impartidas y laboratorios prácticos.

A nuestro asesor de tesis, el ing. José Roberto Ramos, por permitirnos realizar nuestro trabajo de graduación en base a sus consejos, paciencia y guiados por su conocimiento en el tema.

A Juancito y Don Posada por su trato siempre amable, su ayuda con el equipo de laboratorio y especialmente por su amistad.

Finalmente quiero agradecer a cada una de las personas que directa o indirectamente ha contribuido a este logro que este día puedo decir ¡lo he logrado!

**Karen Agreda**

A mi familia, mi madre María Elba Recinos y mi padre Salvador Amílcar Erazo Deras, por siempre darme su apoyo incondicional, motivarme de tal manera que nunca me diera por vencido en esta carrera y darme consejos a lo largo de este viaje. A mis hermanos Gilberto Erzo, Dina Elizabeth Erazo y Edwin Erazo, por estar presentes en lo largo de mi vida y ayudarme en todo lo que pudieron y siempre alentarme a seguir, a todos ellos les dedico este trabajo de graduación.

A mi amiga y compañera en este trabajo de graduación, Karen Agreda que juntos logramos superar dificultades y sacar con éxito esta carrera, al final decir que si se pudo.

A Cristóbal Chafoya y Byron Cantor, por proporcionar toda la documentación y programación necesaria para hacer funcionar el equipo generador de sags de una manera óptima.

A mis amigos Julio López, Rodrigo Rivas, Nelson Cortez y Napoleón Castaneda por su amable e incondicional ayuda a la hora de proporcionar los equipos para este trabajo de graduación.

A todos los compañeros y grandes amigos de la ASEIE, Kevin Comayagua, Fidel Cortez, Jorge Merino, Jesús Díaz, Saúl Vela, Ernesto Vela, Iván Díaz, Gabriela Flores, Allan Montenegro, Javier Eduardo, Fátima Calvo, Amaru Flores, José Preza y David Martínez, por a ver tenido grandes experiencias a lo largo de esta carrera y a ver pasado buenos y malos momentos. A Jennifer Mejía por su gran apoyo en las buenas y en las malas que resultaron en este largo proceso y su cariño incondicional.

A Reina Vides por su gran colaboración en todo y siempre estar al pendiente que todo salga de la mejor manera posible

A don Posada y Juancito por su amable atención a la hora de prestar el equipo necesario para realizar las pruebas

**Juan Erazo**

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	2
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
CAPÍTULO 1:    GENERALIDADES .....	3
1.1.    ANTECEDENTES .....	3
1.2.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.3.    JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4.    ALCANCES Y LIMITACIONES .....	4
1.4.1    ALCANCES .....	4
1.4.2    LIMITACIONES.....	4
CAPÍTULO 2:    CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO .....	5
2.1    INSTITUTOS NORMALIZADORES .....	5
2.1.1    INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS (IEEE).....	5
2.1.2    INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC).....	6
2.2    TIPOS DE PERTURBACIONES.....	7
2.2.1    CORTES DE TENSIÓN O INTERRUPCIONES .....	7
2.2.2    VARIACIONES LENTAS DE TENSIÓN .....	8
2.2.3    DISTORSIÓN ARMÓNICA.....	11
2.2.4    FLICKER O PARPADEO.....	13
2.3    HUECOS DE TENSIÓN.....	15
2.3.1    CARACTERIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN.....	17
2.3.2    HUECOS DE TENSIÓN DEBIDO A FALLAS .....	21
2.3.3    HUECOS DE TENSION DEBIDO A ARRANQUES DE MOTORES. ....	23
2.3.4    HUECOS DE TENSION DEBIDOS A LA ENERGIZACION DE TRANSFORMADORES.....	24
2.3.5    CLASIFICACION FASORIAL DE HUECOS DE TENSION EN LINEAS TRIFASICAS.....	25
2.3.6    HUECOS DE TENSION EN SERIE.....	25
2.4    CURVA ITIC .....	26
2.4.1    APLICACIÓN DE LA CURVA ITIC .....	26
2.4.2    NUEVA CURVA ITIC.....	28
2.4.3    LIMITACIÓN DEL USO DE LA CURVA ITIC (NUEVA CURVA CBEMA) .....	29



CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	30
3.1 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	30
3.2 VOLTAGE SAGS SIMULATOR 1.0.....	31
3.3 PROCESO DE PRUEBA DE ROBUSTEZ A EQUIPOS MONOFÁSICOS.....	32
3.4 PRESENTACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS.....	34
3.5 MEDICIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN EN LA RED.....	36
3.5.1 MEDICIONES CON EQUIPO DRANETZ 4400 EN TABLERO GENERAL.....	36
3.5.2 SOFTWARE DRAN-VIEW 7.....	37
3.5.3 COMPARACION HUECOS DE TENSIÓN VS CURVA DE ROBUSTEZ.....	38
CAPÍTULO 4: PRUEBAS DE ROBUSTEZ Y CARACTERIZACIÓN DE RESILIENCIA ...	40
4.1 PRUEBAS REALIZADAS A EQUIPOS.....	40
□ LOGO BM 230RCE.....	40
□ LOGO BM 230RC.....	41
□ LOGO BM 230RC CON CARGA.....	43
□ LOGO SIEMENS 230 RCL.....	44
□ CONTACTOR CHINT NC1-09.....	46
□ CONTACTOR SIEMENS 3TA22.....	50
□ PLC OMRON SYSMAC CP1H.....	53
□ PLC SIEMENS S7 200.....	55
□ PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2.....	56
□ PLC MOELLER EASY 412-AC-RC.....	59
□ PLC OMRON SYSMAC CPM2A.....	61
□ PLC SIEMENS S7 300.....	62
□ PLC OMRON SYSMAC CPM1.....	64
4.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE ROBUSTEZ CON HUECOS DE TENSIÓN MEDIDOS EN LA EIE.....	66
4.2.1 SEMANA 1: 16 DE JULIO AL 26 DE JULIO DEL 2019.....	66
4.2.2 SEMANA 2: 12 DE AGOSTO AL 19 DE AGOSTO DEL 2019.....	74
4.2.3 SEMANA 3: 19 DE AGOSTO AL 26 DE AGOSTO DEL 2019.....	81
4.2.4 SEMANA 4: 28 DE AGOSTO AL 4 DE SEPTIEMBRE DEL 2019.....	91
4.2.5 SEMANA 5: 30 DE SEPTIEMBRE AL 7 DE OCTUBRE DEL 2019.....	101
CONCLUSIONES.....	109
REFERENCIAS.....	110
ANEXOS.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diseño típico de un usuario conectado en media tensión. ....	8
Figura 2.2 Variación de voltaje. ....	9
Figura 2.3 Sobretensión permanente. ....	10
Figura 2.4 Hueco de tensión en las tres fases. ....	15
Figura 2.5 Circuito típico de distribución. ....	16
Figura 2.6 Hueco de tensión 65% valor RMS y duración 75 ms. ....	17
Figura 2.7 Salto de fase de un hueco de tensión. ....	19
Figura 2.8 Representación de ángulo de inicio y ángulo de recuperación de un hueco de tensión [15]. .....	20
Figura 2.9 Angulo de Inicio hueco de tensión Figura 2.8 [15] .....	20
Figura 2.10 Angulo de recuperación hueco de tensión Figura 2.8 [15] .....	20
Figura 2.11 Simulación de un cortocircuito monofásico en red trifásica con 70% voltaje nominal a 100 ms. ....	21
Figura 2.12 Simulación de cortocircuito bifásico 80% voltaje nominal 100 ms. ....	22
Figura 2.13 Simulación de un cortocircuito trifásico 50% del voltaje nominal 100 ms. ....	23
Figura 2.14 Simulación en MATLAB/SIMULINK de hueco de tensión debido al arranque de un motor [16]. ....	24
Figura 2.15 Simulación en MATLAB/SIMULINK de un hueco de tensión debido a la energización de transformadores [16]. ....	24
Figura 2.16 Curva ITIC. ....	27
Figura 2.17 Nueva curva ITIC. ....	28
Figura 3.1 Diagrama unifilar del Generador de huecos de tensión. ....	30
Figura 3.2 Parte trasera del generador de sags. ....	31
Figura 3.3 Panel Frontal del programa Voltaje Sags Simulator. ....	32
Figura 3.4 Diagrama de proceso según equipo diseñado en el trabajo de graduación “Análisis del efecto de los sags sobre PLC’s” y norma IEC 61000-4-11. ....	33
Figura 3.5 Parámetros guía para construcción de curva de robustez. ....	36
Figura 3.6 Tablero general de la escuela de ingeniería eléctrica. ....	37
Figura 3.7 Software Dran-View 7 .....	38
Figura 3.8 Interfaz Software Dran-View 7 .....	38

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Curva de robustez LOGO 230RCE. ....	41
Gráfico 4.2 Curva de robustez LOGO 230RC.....	42
Gráfico 4.3 Curva de robustez LOGO 230RC con carga.....	44
Gráfico 4.4 Curva de robustez LOGO SIEMENS 230 RCL.....	45
Gráfico 4.5 Comparación de robustez logo. ....	46
Gráfico 4.6 Curva de robustez contactor CHINT NC1-09.....	48
Gráfico 4.7 Curva de robustez contactor CHINT NC1-09 con carga. ....	49
Gráfico 4.8 Curva de robustez contactor SIEMENS 3TA22. ....	51
Gráfico 4.9 Curva de robustez contactor Siemens 3TA22 con carga.....	52
Gráfico 4.10 Curva de robustez comparativa contactores. ....	53
Gráfico 4.11 Curva de robustez PLC OMRON SYSMACCP1H. ....	54
Gráfico 4.12 Curva de robustez PLC SIEMENS S7 200.....	56
Gráfico 4.13 Curva de robustez PLC Omron ZEN-10C1AR-A-V2 .....	57
Gráfico 4.14 Curva de robustez PLC Omron ZEN-10-C1AR-A-V2 Con Carga. ....	59
Gráfico 4.15 Curva de robustez PLC Moeller EASY 412-AC-RC.....	60
Gráfico 4.16 Curva de robustez PLC OMRON SYSMAC COM2A. ....	62
Gráfico 4.17 Curva de robustez PLC Siemens S7 300. ....	63
Gráfico 4.18 Curva de robustez PLC OMRON SYSMAC CPM1.....	65
Gráfico 4.19 Curva de robustez comparativa PLC. ....	65
Gráfico 4.20 Curva ITIC datos semana 1. ....	67
Gráfico 4.21 Huecos de tensión por debajo de curva de tolerancia semana 1.....	68
Gráfico 4.22 Huecos críticos semana 1 vs curva de robustez de logos. ....	70
Gráfico 4.23 Huecos críticos semana 1 vs curva de robustez contactores. ....	70
Gráfico 4.24 Huecos críticos semana 1 vs. curva de robustez PLCs. ....	72
Gráfico 4.25 Curva ITIC semana 2. ....	74
Gráfico 4.26 Puntos de interés resaltados curva ITIC semana 2.....	74
Gráfico 4.27 Huecos de tensión por debajo de la curva ITIC semana 2. ....	76
Gráfico 4.28 Puntos resaltos de huecos de tensión por debajo de la curva ITIC semana 2.....	76
Gráfico 4.29 Huecos críticos semana 2 vs. curva de robustez Logos. ....	78
Gráfico 4.30 Huecos críticos semana 2 vs. Curva de robustez contactores. ....	79
Gráfico 4.31 Huecos críticos semana 2 vs. Curva de robustez PLCs.....	80
Gráfico 4.32 Curva ITIC semana 3. ....	82
Gráfico 4.33 Puntos resaltados curva ITIC semana 3.....	82

Gráfico 4.34 Huecos de tensión por debajo curva ITIC semana 3.....	84
Gráfico 4.35 Huecos de tensión semana 3 vs. Curva de robustez logos. ....	86
Gráfico 4.36 Huecos de tensión semana 3 vs. Curva de robustez contactores. ....	87
Gráfico 4.37 Huecos de tensión semana 3 vs. Curva de robustez PLCs. ....	89
Gráfico 4.38 Curva ITIC semana 4. ....	91
Gráfico 4.39 Puntos resaltados curva ITIC semana 4. ....	92
Gráfico 4.40 Huecos de tensión por debajo curva ITIC semana 4.....	93
Gráfico 4.41 Huecos críticos semana 4 vs. Curva de robustez Logos. ....	96
Gráfico 4.42 Huecos críticos semana 4 vs. Curva de robustez contactores. ....	97
Gráfico 4.43 Huecos críticos semana 4 vs. Curva de robustez PLCs.....	99
Gráfico 4.44 Curva ITIC semana 5. ....	101
Gráfico 4.45 Puntos resaltados curva ITIC semana 5. ....	102
Gráfico 4.46 Huecos de tensión por debajo curva ITIC semana 5.....	103
Gráfico 4.47 Huecos críticos semana 5 vs. Curva de robustez Logos. ....	105
Gráfico 4.48 Huecos críticos semana 5 vs. Curva de robustez contactores. ....	105
Gráfico 4.49 Huecos críticos semana 5 vs. Curva de robustez PLCs.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS SEGÚN IEC 61000-2-4.....	6
TABLA 2.2 COMPARATIVA DE REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA NORMA IEC61000-4-11 Y SEMI F47 [2]. .....	7
TABLA 2.3 NIVELES DE VARIACIÓN DE TENSIÓN SEGÚN SIGET. ....	10
TABLA 2.4 LÍMITES ARMÓNICOS SEGÚN SIGET [5]. ....	12
TABLA 2.5 LÍMITES PARA FLICKER PST GENERADO POR EL USUARIO [5]. ....	14
TABLA 2.6 LÍMITES PARA FLICKER PLT [5]. ....	14
TABLA 2.7 CLASIFICACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEGÚN STD IEEE 1159-2009 [4].	16
TABLA 3.1 CUADRO DE RECOLECCIÓN DE DATOS CON PARÁMETROS SEGÚN PRUEBAS DE ROBUSTEZ.....	35
TABLA 3.2 CUADRO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CURVA DE ROBUSTEZ.....	35
TABLA 3.3 DETALLE DE LOS HUECOS DE TENSION. ....	38
TABLA 3.4 COMPARACION DE LOS HUECOS DE TENSION OBTENIDOS CON LOS EQUIPOS PUESTOS APRUEBA. ....	39
TABLA 4.1 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA IEC 61000-4-11 LOGO 230RCE.....	40
TABLA 4.2 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO BM 230RCE.....	40
TABLA 4.3 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA IEC 61000-4-11 LOGO 230RC.....	41
TABLA 4.4 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO 230RC.....	42
TABLA 4.5 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA LOGO 230RC CON CARGA. ....	43
TABLA 4.6 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO 230RC CON CARGA. ....	43
TABLA 4.7 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA LOGO SIEMENS 230 RCL. ....	44
TABLA 4.8 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO SIEMENS 230 RCL. ....	45
TABLA 4.9 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA CHINT NC1-09.....	47
TABLA 4.10 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ CHINT NC1-09.....	47
TABLA 4.11 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA CHINT NC1-09 CON CARGA.....	48
TABLA 4.12 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ CHINT NC1-09 CON CARGA...	49
TABLA 4.13 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA SIEMENS 3TA22. ....	50
TABLA 4.14 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ SIEMENS 3TA22. ....	50
TABLA 4.15 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA SIEMENS 3TA22 CON CARGA. ....	51

TABLA 4.16 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ SIEMENS 3TA22 CON CARGA. .....	52
TABLA 4.17 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON SYSMAC CP1H. ....	53
TABLA 4.18 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON SYSMAC CP1H..	54
TABLA 4.19 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC SIEMENS S7 200. ....	55
TABLA 4.20 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC SIEMENS S7 200. ....	55
TABLA 4.21 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2.....	56
TABLA 4.22 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2 .....	57
TABLA 4.23 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2 CON CARGA. ....	58
TABLA 4.24 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2 CON CARGA. ....	58
TABLA 4.25 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC MOELLER EASY 412-AC-RC.....	59
TABLA 4.26 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC MOELLER EASY 412-AC- RC.....	60
TABLA 4.27 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON SYSMAC CPM2A. ....	61
TABLA 4.28 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON SYSMAC CPM2A. .....	61
TABLA 4.29 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC SIEMENS S7 300. ....	62
TABLA 4.30 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC SIEMENS S7 300. ....	63
TABLA 4.31 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON SYSMAC CPM1.....	64
TABLA 4.32 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON SYSMAC CPM1. 64	
TABLA 4.33 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 1. ....	67
TABLA 4.34 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 1. ....	68
TABLA 4.35 ANÁLISIS DE EQUIPOS LOGO'S Y CONTACTORES CON MEDICIONES SEMANA 1.....	69
TABLA 4.36 ANÁLISIS DE EQUIPOS DE PRUEBA CON MEDICIONES SEMANA 1 EQUIPOS PLC.....	71
TABLA 4.37 ANÁLISIS DE EQUIPOS DE PRUEBA CON CARGA CON MEDICIONES SEMANA 1.....	73
TABLA 4.38 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 2. ....	75
TABLA 4.39 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 2. ....	77

TABLA 4.40 ANÁLISIS DE EQUIPO LOGO'S Y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 2.....	77
TABLA 4.41 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 2 EQUIPOS PLC.....	79
TABLA 4.42 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 2.....	81
TABLA 4.43 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 3.....	83
TABLA 4.44 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 3.....	84
TABLA 4.45 ANÁLISIS DE EQUIPOS LOGO'S y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 3.....	85
TABLA 4.46 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 3 EQUIPOS PLC.....	87
TABLA 4.47 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 3.....	89
TABLA 4.48 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 4.....	92
TABLA 4.49 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 4.....	94
TABLA 4.50 ANÁLISIS DE EQUIPO LOGO'S Y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 4.....	94
TABLA 4.51 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 4 EQUIPOS PLC.....	97
TABLA 4.52 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 4.....	99
TABLA 4.53 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 5.....	102
TABLA 4.54 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 5.....	103
TABLA 4.55 ANÁLISIS DE EQUIPO LOGO'S Y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 5.....	104
TABLA 4.56 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 5 EQUIPOS PLC.....	106
TABLA 4.57 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 5.....	108

## INTRODUCCIÓN

En el pasado, las inversiones en las redes eléctricas (transporte y distribución) se adoptaban casi exclusivamente con el objetivo prioritario de asegurar la continuidad de suministro. La creciente aparición de elementos electrónicos cada vez más sensibles y el uso generalizado de ordenadores en el ámbito industrial ha hecho necesario redefinir las pautas de actuación por parte de empresas eléctricas y consumidores, y así empezar a hablar de calidad del servicio, calidad de onda o calidad del producto

Los huecos de tensión conocidos como sags o dips (lenguaje técnico en idioma inglés), ocurren muy a menudo en las redes eléctricas de El Salvador y es el consumidor quien finalmente experimenta el verdadero problema de la incidencia de huecos de tensión en un sistema eléctrico, un hueco de tensión es capaz de provocar la desconexión de un PLC, variador de frecuencia, etc. Lo cual se traduce en el paro o mal funcionamiento del sistema que controle, dependiendo de su robustez o diseño, el sistema puede requerir la intervención del hombre, lo cual se traduce en tiempo perdido de producción. Para analizar este fenómeno se presenta el diseño y construcción de un equipo capaz de generar variaciones de tensión, se presenta una interfaz generada en LabView para el control de este equipo y procedimientos de prueba para los equipos en estudio.

En el presente trabajo se muestran varias pruebas a equipos utilizados frecuentemente en el ámbito de la industria de automatización, se han sometido a varias pruebas con huecos de tensión y se compara con las normas IEC61000-4-11 y SEMI F47, para comprobar si son capaces de mantener el funcionamiento normal. Por último, se realizó una simulación de estos equipos conectados a la red eléctrica de la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de El Salvador, estudiando los huecos de tensión ocurridos en dicha red eléctrica y comparando con los equipos puestos a prueba para conocer cuáles de estos saldrían de funcionamiento.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar la resiliencia de PLC's, contactores, lámparas de descarga y otros equipos sensibles en presencia de huecos de tensión (sags en la terminología IEEE) mediante la prueba de estos equipos aplicando el generador de sags construido en el trabajo de graduación "Análisis del efecto de los sags sobre PLC's".

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Aplicar el generador de perturbaciones diseñado en el Trabajo de Graduación "Análisis del efecto de los sags sobre PLC's", aplicando las normativas para huecos de tensión IEC61000-4-11 y la curva ITIC.
2. Caracterizar la resiliencia de los equipos de automatización más utilizados en la industria salvadoreña en presencia de huecos de tensión.

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

En el año 2017 ciclo II, se realizaron dos proyectos de Ingeniería titulados, “Investigación de tecnologías de PLC’s en El Salvador” y “Diseño de un generador de perturbaciones eléctricas”, realizados por los estudiantes: Byron Cantor Pérez, Cristóbal Isaías Chafoya Castro y Víctor Salomón Sagastume Peñate, en los cuales se realizaron investigaciones sobre marcas de tecnología PLC’s más utilizadas en El Salvador y el diseño de un generador de perturbaciones de Sags y Swells.

En febrero del 2019, concluyó el trabajo de graduación “Análisis del efecto de los sags sobre PLC’s” realizado por: Byron Cantor Pérez, Cristóbal Isaías Chafoya Castro y Víctor Salomón Sagastume Peñate, en el cual se implementó el diseño de un generador de sags, realizando pruebas a diferentes modelos de PLC, verificando si estos cumplen con las normativas CBEMA96, SEMIF47 Y curva ITIC.

En el año 2018 ciclo I, se realizó un proyecto de ingeniería titulado “Incidencia en la calidad de energía de un sistema fotovoltaico instalado en la Universidad de El Salvador”, realizado por: Karen Amanda Agreda Rivas y Juan José Erazo Recinos, donde se estudiaron las diferentes perturbaciones que genera un sistema fotovoltaico y como este afecta en la calidad de energía de la escuela de ingeniería eléctrica. Se categorizó y se verificó su cumplimiento con las normativas de SIGET y se comparó con normas internacionales.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las variaciones de tensión de corta duración son muy comunes debido principalmente a la actuación de los relés de protección en presencia de fallas que se originan como consecuencia del funcionamiento normal del sistema de distribución. Las variaciones de tensión de corta duración, también se originan como consecuencia de otros fenómenos electromagnéticos de influencia más local. Por lo anterior, es importante conocer cómo se comportan los equipos de electrónica sensible aplicados en la automatización de procesos de manufactura y accionamientos, en presencia de estos fenómenos electromagnéticos asociados con la calidad de energía, los cuales no se incluyen en la norma SIGET de calidad de energía. A partir de 2019, la Universidad de El Salvador cuenta tanto con protocolos de prueba, como con un generador de sags desarrollados en el TG “Análisis del efecto de los sags sobre PLC’s”.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Las variaciones de tensión de corta duración (principalmente huecos de tensión), provocan costos elevados para el sector manufacturero a nivel mundial. El Salvador no es la excepción. Adicionalmente se debe señalar que los motores y accionamientos representan la aplicación principal de la energía en el sector industrial. Los accionamientos de velocidad variable (ASD por sus iniciales en inglés), son los más utilizados debido a razones de eficiencia energética. Sin embargo, son sensibles a algunos fenómenos electromagnéticos, principalmente a las variaciones de tensión de corta duración. Estos fenómenos no se incluyen en muchas normas de calidad energía, incluida la norma SIGET, por razones de racionalidad económica, ya que, para eliminar estos fenómenos en todo el sistema, el costo de la energía eléctrica debería aumentar significativamente. Por lo anterior, son los consumidores los que deben enfrentar el problema. El primer paso en esta dirección es el más económico: incrementar la resiliencia de los equipos individuales. Este TG pretende contribuir en esta dirección aplicando protocolos de prueba y un generador de sags construido localmente para evaluar la resiliencia de equipos electrónicos sensibles en presencia de huecos de tensión. En base a los resultados de estas pruebas, los consumidores pueden decidir con mejor criterio entre diferentes opciones tecnológicas.

### **1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES**

#### **1.4.1 ALCANCES**

Evaluar la resiliencia de la carga sensible utilizada en la aplicación de automatismo en presencia de huecos de tensión.

#### **1.4.2 LIMITACIONES**

La principal limitación en este trabajo de graduación son los equipos de automatización bajo estudio. Estos no se encuentran a nuestro alcance por los altos costos que implica obtenerlos por lo que es necesario gestionar el préstamo de los mismos con empresas o instituciones que hagan uso de estos equipos y que esté en la disponibilidad de que estos sean sometidos a pruebas lo que conlleva a paros en sus procesos y funcionamiento.

## **CAPÍTULO 2: CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO**

### **2.1 INSTITUTOS NORMALIZADORES**

La calidad del servicio se define como el conjunto de características, técnicas y comerciales, exigible al suministro eléctrico por parte de consumidores y por los órganos competentes de la Administración [1]. En el apartado técnico debe cumplir dos puntos diferenciados, por un lado, la continuidad del suministro, y por el otro la forma de onda de la potencia suministrada debe ser senoidal, correctamente definida por su amplitud y su frecuencia, las definiciones de estos fenómenos se basan en los estudios realizados por organismos internacionales que invierten recursos en el análisis de la importancia y consecuencias en la calidad de energía. Basados en estos organismos, El Salvador regula estos fenómenos por medio de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET). Para homogeneizar los criterios, en este estudio se usará la normativa SIGET Normas de calidad de servicio de los sistemas de distribución en su edición de diciembre 2014, IEC 61000 y SEMI F47.

#### **2.1.1 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS (IEEE)**

El IEEE define la calidad de la energía eléctrica como “una gran variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un punto determinado de la red eléctrica”. El IEEE es el instituto mundial de ingenieros dedicado a la normalización y desarrollo en áreas técnicas. Poseen tres niveles de aplicabilidad y validez.

- i. Guide (Guía), da ejemplo de diseño típico y práctica operativa.
- ii. Recommended Practice (Práctica Recomendada), reconoce la existencia de varias soluciones, pero aconseja una como mejor que las otras. En caso que se indiquen límites, estos se usan como objetivos de diseño.
- iii. Standard (Norma), son códigos consensuados y adoptados por la industria, el gobierno y los usuarios. En algunos estados de Estados Unidos tienen fuerza de ley.

Los tres niveles anteriores, son ascendentes, pasando de guía a práctica recomendada y finalmente a norma.

- IEEE 1250-1995: IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances: Describe disturbios momentáneos, su efecto potencial en equipos sensibles y su mitigación, asimismo informa de los límites de distorsión armónica.
- IEEE 1346-1998: IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment: Orientada a aquellos sistemas que se encuentran en la etapa de diseño y planeamiento, donde pueden resolverse las incompatibilidades que se presentan.

- IEEE 1159-2009: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality: Se trata de un resumen relacionado con el monitoreo de calidad de potencia, incluyendo descripciones detalladas de los fenómenos electromagnéticos que se presentan en los sistemas de potencia.
- -IEEE 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems: Establece objetivos para el diseño de sistemas eléctricos que incluyen cargas lineales y no lineales. Se describen las formas de onda de corriente y tensión que pueden existir en el sistema, estableciendo los valores deseables.

### 2.1.2 INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC)

La IEC define la calidad de energía como las características de la electricidad en un punto dado de una red de energía eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y de tecnologías relacionadas, su normativa posee conceptos y recomendaciones que se presentan a continuación:

- IEC 61000-1-x General. Aplicación e interpretación de definiciones y términos fundamentales.
- IEC 61000-2-x Ambiente. Define las características del ambiente donde se instalarán los equipos.
- IEC 61000-3-x Límites de emisión: Dan los límites permisibles de perturbaciones que pueden ser ocasionadas por los equipos conectados al sistema de potencia.
- IEC 61000-4-x Técnicas de medición y pruebas. Proveen directivas detalladas para los equipos de medición y procedimientos de prueba para asegurar el cumplimiento con las restantes partes de la norma.
- IEC 61000-5-x Directivas de mitigación e instalación. Suministran una guía detallada de los equipos, tales como filtros, acondicionadores de energía, mitigadores, supresores de sobretensiones, etc.
- IEC 61000-6-x Normas genéricas y de productos. Definen los niveles de inmunidad requeridos para los equipos específicos o generales.

La norma IEC 61000-4-11 especifica una serie de inmersiones recomendadas y patrones de interrupción para equipos con corrientes menores a 16 A / fase, mientras que IEC 61000-4-34 es la contrapartida para equipos más grandes con corrientes más altas.

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS SEGÚN IEC 61000-2-4.

Clasificación de resultados de pruebas de inmunidad	
Criterio de desempeño: A	Rendimiento dentro de los límites de especificación
Criterio de desempeño: B	Degradación temporal auto recuperable
Criterio de desempeño: C	Degradación temporal que requiere intervención del operador
Criterio de desempeño: D	Pérdida de función no recuperable

TABLA 2.2 COMPARATIVA DE REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA NORMA IEC61000-4-11 Y SEMI F47 [2].

Norma	Peor caso para el punto de prueba del Sag de Voltaje	Define los requisitos y configuración del instrumento de prueba
SEMI F47-0706 para: Herramientas, subsistemas y componentes de semiconductores	10/12 ciclos 50% Vnom	En su mayor parte se refiere a documentos IEC
IEC 61000-4-11 No específico de la industria: Equipo eléctrico <16A	10/12 ciclos 40% Vnom (Clase 3)	Si

## 2.2 TIPOS DE PERTURBACIONES

Existen varios tipos de perturbaciones atendiendo a los parámetros de la señal, aunque en general, no es necesario medir la totalidad de estas ya que pueden agruparse en cuatro categorías según afecten a la amplitud, forma de onda, frecuencia o simetría de la tensión. Se estudiará con cierto detalle cada una de las más importantes:

- Cortes de tensión o interrupciones.
- Huecos de tensión.
- Niveles de tensión.
- Distorsión Armónica.
- Parpadeo (flicker).

### 2.2.1 CORTES DE TENSIÓN O INTERRUPCIONES

Se considera una interrupción en el suministro eléctrico a un cliente cuando se abre uno de los elementos de cortes que alimenta dicho cliente.

La siguiente figura muestra un cliente conectado a una línea de media tensión (MT),

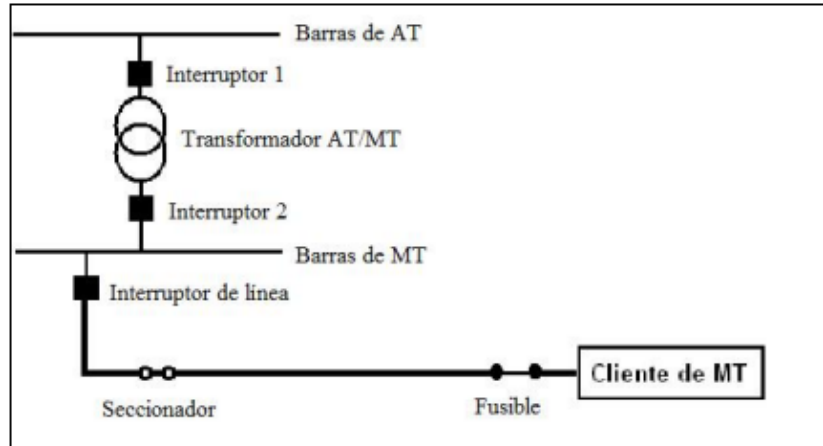


Figura 2.1 Diseño típico de un usuario conectado en media tensión.

La apertura de cualquier interruptor, seccionador o fusible ocasionará que el cliente tenga un corte o desconexión de la red eléctrica. Si se trata de una interrupción programada prevista por la empresa distribuidora y previo aviso a los clientes afectados, se puede paliar su efecto reorganizando los procesos más sensibles. Si el tipo de maniobra lo permite se puede recurrir a la realización de “trabajos en tensión”, de esta forma se logra mantener la continuidad del suministro eléctrico en muchas de las labores de mantenimiento de las compañías eléctricas. Sin embargo, existen trabajos que no pueden realizarse con tensión en las líneas por motivos de seguridad. En estos casos es necesario aislar el tramo en el que se realizan los trabajos, lo que da lugar a interrupciones en aquellos suministros que disponen de un solo punto de alimentación.

Las interrupciones accidentales son debidas, en su mayoría, a cortocircuitos que suceden en la red y, de forma muy poco frecuente, por sobrecargas. Los cortocircuitos son despejados por el sistema de protecciones mediante el interruptor de la línea en falta o el fusible. De esta manera se extingue el arco eléctrico y se evitan daños permanentes en las instalaciones.

## 2.2.2 VARIACIONES LENTAS DE TENSIÓN

Se define como variación de tensión o voltaje, al aumento o disminución de voltaje provocada normalmente por variaciones de carga.

### 2.2.2.1 NIVELES DE TENSIÓN

En el caso que el sistema eléctrico no tuviese cargas, las tensiones en cada punto de la red dependerán únicamente de las relaciones de transformación de los transformadores que existen en la red. Sin embargo, la conexión de cargas a la red eléctrica produce una circulación de corriente. Es precisamente esta corriente la que produce caídas de tensión, al

circular por ella cada una de las impedancias del sistema, debido a las características de las líneas y transformadores. Por otra parte, si la carga fuera constante la caída de la tensión en la red también lo sería y en consecuencia no se producirían fluctuaciones de tensión.

Las variaciones de voltaje son las responsables de más del 85 % de las fallas en los sistemas eléctricos y electrónicos. Este tipo de fenómeno es extremadamente frecuente en los ambientes industriales, comerciales y domésticos en donde la calidad del servicio eléctrico es pobre debido a una sobrecarga de la red eléctrica en horas pico.

Las variaciones de voltaje en una línea eléctrica provocan daños parciales o totales en aparatos eléctricos debido a que la maquinaria o equipo electrónico opera en un voltaje mayor o menor para el cual ha sido diseñado.

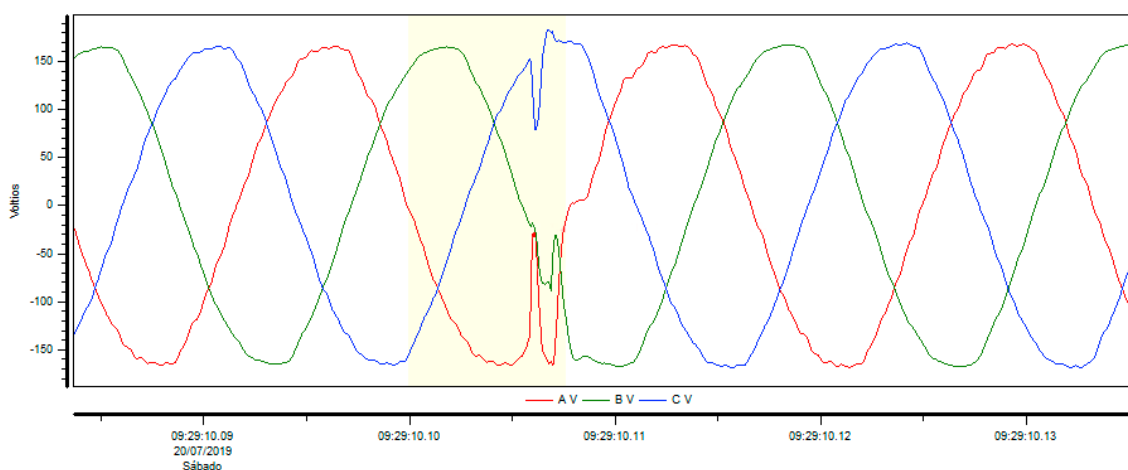


Figura 2.2 Variación de voltaje.

Existen dos tipos de variaciones de voltaje:

- **Variación de voltaje planeada:** se debe a la necesidad de las subestaciones eléctricas de disminuir o aumentar temporalmente el voltaje eléctrico en horas pico por causa de una demanda excesiva durante estos periodos de tiempo.
- **Variación de voltaje imprevista:** Surgen cuando el voltaje cae sin ninguna razón aparente y puede ser provocada por cortos circuitos, arranque de maquinaria, fallas, etc. Este tipo de variaciones provoca la mayor cantidad de problemas debido a que no existe ningún control y las variaciones son repentinas.

En el salvador los límites establecidos para variaciones de voltaje, están regulados por el ente SIGET, los cuales presenta la siguiente tabla [5].



TABLA 2.3 NIVELES DE VARIACIÓN DE TENSIÓN SEGÚN SIGET.

NIVEL DE TENSION	$\Delta V_k$		
	Densidad de carga alta	Densidad de carga baja	Aislado
Baja Tensión ( $\leq 600V$ )	$\pm 7\%$	$\pm 8\%$	$\pm 8.5\%$
Media Tensión ( $600V < V < 115kV$ )	$\pm 6\%$	$\pm 7\%$	$\pm 8.5\%$

### 2.2.2.2 SOBRETENSIONES PERMANENTES.

Las sobretensiones permanentes son un aumento de tensión por encima del 10% de la tensión nominal durante un periodo de tiempo indeterminado. Las sobretensiones permanentes son causantes de grandes problemas. Este aumento de la tensión eléctrica puede suponer la reducción de la vida útil de los aparatos eléctricos o, incluso, puede provocar incendios.

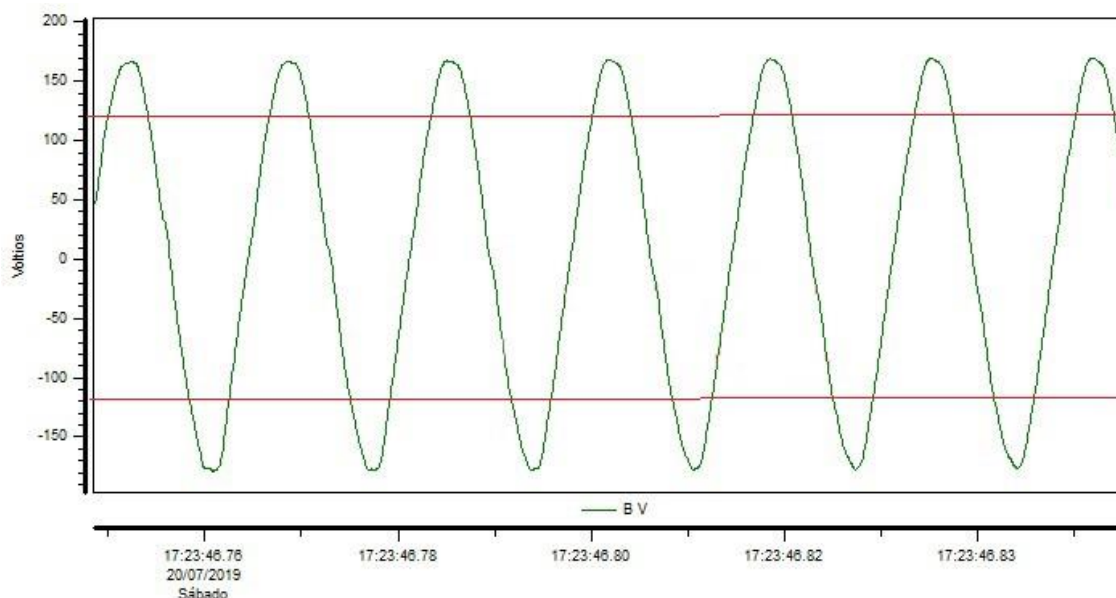


Figura 2.3 Sobretensión permanente.

Las sobretensiones permanentes tienen su origen en problemas de la red de distribución eléctrica o, muy habitualmente, en el mal conexionado o ruptura del conductor neutro. La mayoría de sistemas de distribución eléctrica del mundo utilizan un conductor neutro, generalmente conectado a tierra, el cual actúa como una referencia de las tensiones de fase. Por dicho conductor circula una corriente de retorno que permite que la tensión eficaz entre en cada una de las fases y el neutro (tensión simple) se mantenga constante. Por tal motivo, en caso de ruptura de este se produce una descompensación de las tensiones simples: la tensión que recibe toda la instalación conectada entre fase y neutro es flotante y depende del desequilibrio de la carga en la red trifásica.

Un aumento de la tensión eficaz puede originar el envejecimiento prematuro de los receptores, el aumento de consumo o la eventual destrucción con el consiguiente riesgo de incendio.

Se puede considerar una sobretensión permanente cuando la tensión fuera superior al 10% sobre la tensión de referencia, y su duración tuviera límites análogos a los de los huecos de tensión. Además, las faltas a tierra pueden provocar elevaciones de tensión de la tierra en unos puntos cercanos a la falla y a la subestación. Cuando la falla se produce en sistemas de MT o AT. Esto puede dar lugar a severas sobretensiones permanentes en sistemas de baja tensión referenciados a tierra en los puntos que experimentan las citadas elevaciones de tensión de tierra.

Las sobretensiones permanentes se caracterizan por su duración y la tensión máxima alcanzada durante el aumento de tensión, en valor porcentual sobre la tensión de referencia.

### **2.2.3 DISTORSIÓN ARMÓNICA.**

Según SIGET, es la distorsión de la onda senoidal, de corriente o de tensión eléctrica, de frecuencia nominal ocasionada por la presencia de señales eléctricas senoidales de frecuencia y múltiplos de dicha frecuencia nominal.

Cuando se habla de un problema de armónicos en la red, realmente se habla de una distorsión armónica de la forma de onda. Es importante tomar en cuenta que toda señal tendrá armónicos. La cuestión en sí, es si los armónicos que contiene nuestra instalación tienen un nivel suficiente para causar problemas a los equipos o procesos. Generalmente son más sensibles los sistemas de comunicaciones o los variadores de velocidad.

Los equipos eléctricos presentes en diferentes tipos de industria se comportan de manera diversa. Hay equipos muy sensibles a los armónicos y otros prácticamente inmunes, los hay fuertemente generadores de armónicos y otros que los absorben y eliminan. Todos estos equipos se encuentran interconectados entre sí, en mayor o menor grado, a través de la red eléctrica, En estas condiciones, el funcionamiento correcto de una instalación eléctrica se puede considerar una cuestión de equilibrio entre equipos perturbadores y equipos sensibles.

En El Salvador la empresa distribuidora deberá limitar la distorsión armónica de tensión en los niveles de media y baja tensión a fin de no sobrepasar los valores especificados en la siguiente tabla.

TABLA 2.4 LÍMITES ARMÓNICOS SEGÚN SIGET [5].

Orden de armónica	Tasa de distorsión (%)
2	2.0
3	5.0
4	1.0
5	6.0
6	0.5
7	5.0
8	0.5
9	1.5
10	0.5
11	3.5
12	0.2
Pares mayores a 12	0.2
13	3.0
15	0.3
17	2.0
19	1.5
21	0.2
Impares múltiplos de tres mayores a 21	0.2
23	1.5
25	1.5
Impares mayores a 25	0.2+1.3*25/n
LIMITE DE LA TASAS DE DISTORSION ARMONICA TOTAL = 8%	

Las tasas de distorsión individual (TDI) y distorsión armónica total (VDAT) se determinarán porcentualmente con respecto a la componente de voltaje de la frecuencia fundamental (60 Hz) de la forma siguiente:

$$TDI = \frac{U_n}{U_1} \times 100$$

$$VDAT = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{25} U_n^2} \times 100}{U_1}$$

En donde:

TDI: Tasa de distorsión individual.

VDAT: Tasas de distorsión armónica total.

Un: Amplitud del voltaje de la armónica n.

U1: Amplitud del voltaje de la frecuencia fundamental (60Hz).

## 2.2.4 FLICKER O PARPADEO

El parpadeo, en inglés “*flicker*”, se define como la “*impresión subjetiva de la fluctuación luminosa*”. La presencia de la palabra “subjetiva” en la definición indica que es un fenómeno fisiológico, en la medida que un determinado observador puede verse afectado por dichas variaciones luminosas cuando están presentes en el sistema de iluminación. La forma en que los equipos de alumbrado afectan a los usuarios, depende del sistema de iluminación, de la naturaleza de la perturbación y del propio observador. Esto supone una dificultad añadida al estudio del fenómeno, ya que se han de realizar estudios poblacionales, para poder evaluar la molestia producida por el parpadeo a un observador medio en distintas condiciones de iluminación.

El origen del parpadeo está en el comportamiento de los sistemas de iluminación (lámparas incandescentes y descarga) ante fluctuaciones en la tensión de alimentación. Estas variaciones de la tensión se producen sobre todo por cambios bruscos en las cargas conectadas a la red de energía eléctrica, tal y como sucede durante el funcionamiento normal de un horno de arco, motores con cargas pulsantes y las máquinas de soldadura por arco.

El fenómeno del parpadeo está relacionado con las variaciones del valor eficaz de la tensión y la frecuencia con la que estas ocurren. Es necesario, por lo tanto, definir dichas fluctuaciones. Las fluctuaciones de tensión se pueden suponer como una modulación de la tensión de la red, prácticamente sinusoidal, en un punto con otra señal de más baja frecuencia cuya forma es, en principio, aleatoria. Es la presencia de esta última la que hace la tensión eficaz no tenga un valor constante si no que oscila entre unos determinados valores.

El flicker es un caso particular de una variación rápida de tensión, donde esta se presenta en forma repetitiva y permanente. Su magnitud oscila entre un 90% y un 10 % del voltaje nominal.

Algunos daños y consecuencias generados por parpadeos normalmente son:

- Cambio de intensidad de lámparas
- Parpadeos en televisores o pantallas de las computadoras.
- Variación de velocidad en motores.
- Provoca desgaste prematuro en fuente de alimentación y elementos eléctricos y electrónicos.

La severidad del Flicker se puede expresar en función de dos parámetros: El Pst (corta duración) y Plt (larga duración), ambos son unidades de medida adimensionales.

### 2.2.4.1 ÍNDICE PST

Evalúa la severidad del flicker en periodos cortos de tiempo en intervalos de 10 minutos. El Pst deberá ser menor o igual a 1.0 para todos los niveles de tensión de distribución. SIGET

plantea un índice de Flicker generado por el usuario, determinado por el índice de severidad de Flicker de corto plazo (Pst) medido en cada fase del punto de entrega del usuario final, cumpliendo con las especificaciones de la norma IEC 61000-4-15.

A continuación, se presenta los valores del índice de severidad de Flicker de corto plazo (Pst) que no deben ser excedidos por el usuario:

TABLA 2.5 LÍMITES PARA FLICKER PST GENERADO POR EL USUARIO [5].

Carga (SI) kW	Pst
Tensión: ( $\leq 600$ V)	
$SI \leq 20$	1.00
$20 < SI \leq 30$	1.26
$30 < SI \leq 50$	1.58
$SI > 50$	1.86
Tensión: ( $600 < V \leq 115$ kV)	
$SI/Scc \leq 0.005$	0.37
$0.005 < SI/Scc \leq 0.02$	0.58
$0.02 < SI/Scc \leq 0.004$	0.74
$SI/Scc > 0.04$	0.80

Donde:

Scc: Capacidad de corto circuito del sistema en el punto de medición del Flicker [kVA].

SI: Potencia total máxima registrada en el periodo de medición en kW (Carga).

#### 2.2.4.2 ÍNDICE PLT

Evalúa la severidad del flicker a largo plazo, con intervalos de 2 horas de observación. La normativa nacional (SIGET) no lo considera para el análisis de calidad de servicio técnico, sin embargo, este es el parámetro estudiado en las normativas internacionales como la EN50160. Los límites mostrados en la tabla IV deben cumplirse para el 95% de los datos de la medición.

TABLA 2.6 LÍMITES PARA FLICKER PLT [5].

Nivel de tensión	Límite Plt
Baja tensión ( $\leq 600$ V)	1.0
Media tensión ( $600 < V \leq 115$ kV)	1.0

## 2.3 HUECOS DE TENSIÓN

Dentro de toda la gama de posibles faltas, la que más reportes causa son los huecos de tensión que son incidencias en el suministro que provocan una caída de tensión durante un corto espacio de tiempo, produciendo pequeños picos de intensidad o deformaciones de la onda de tensión capaces de parar procesos industriales o borrar memorias de maquinaria especializada.

No hay un consenso claro sobre la definición de hueco de tensión. Un hueco de tensión es una disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado entre el 90% y el 1% de la tensión declarada, seguida de un restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Por convenio un hueco dura entre 10 ms a 1 min. La profundidad de un hueco de tensión es definida como la diferencia entre la tensión eficaz mínima durante el hueco de tensión y la tensión declarada. Las variaciones de tensión que no reducen la tensión de alimentación a un valor inferior al 90% de la tensión declarada no son consideradas como huecos de tensión

- **Según IEEE:** Conocido por el nombre de sag, es la disminución en el valor rms de voltaje entre 0,1 p.u. y 0.9 p.u. para duraciones de 0.5 ciclo a 1 minuto [4] [10].
- **Según IEC:** Una repentina reducción de voltaje en un punto particular de un sistema de suministro de electricidad, por debajo de un límite de caída especificado seguido por su recuperación después de un breve intervalo. En la IEC se conoce como dip [1].

Para calcular esta duración se considera que el hueco de tensión comienza en el momento en que el valor eficaz de la tensión cae por debajo del umbral establecido para la medida de huecos y que termina cuando recupera el valor nominal.

En la figura que se presenta a continuación se muestra un ejemplo tomado de un circuito trifásico que sufre un hueco de tensión en las tres fases en simultaneo, en la primera figura se ilustra la forma de onda y en la segunda se representa su valor eficaz.

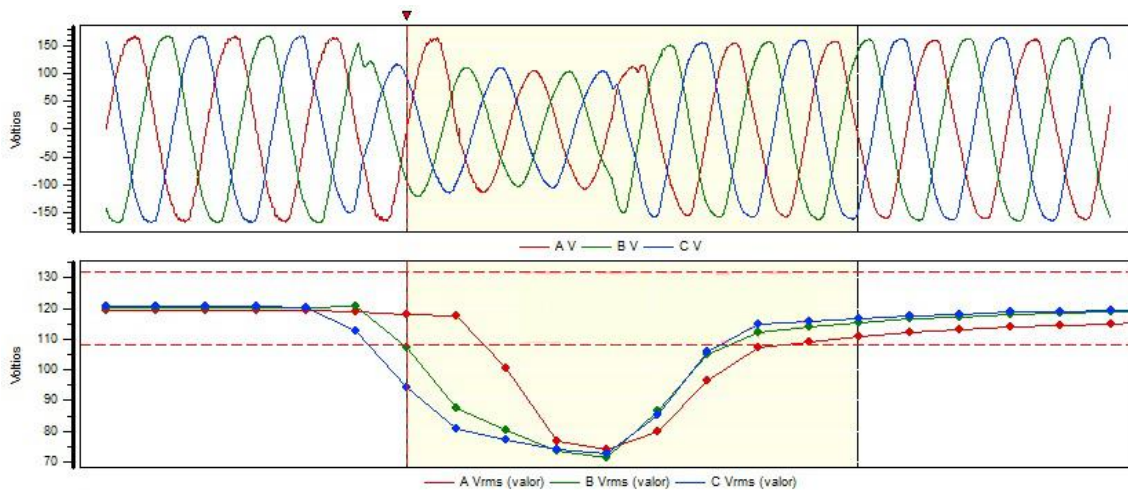


Figura 2.4 Hueco de tensión en las tres fases.

La principal causa de los huecos de tensión son los cortocircuitos provocados por fallas en la red. Estas perturbaciones crean un hueco de tensión con una caída brusca y recuperación rápida de tensión una vez despejada la falla. Existen otras perturbaciones como el arranque de grandes motores o la energización de transformadores, que generan huecos de tensión de forma no rectangular. La caída de tensión es igual de brusca pero su recuperación es sostenida en el tiempo formando una línea más suave.

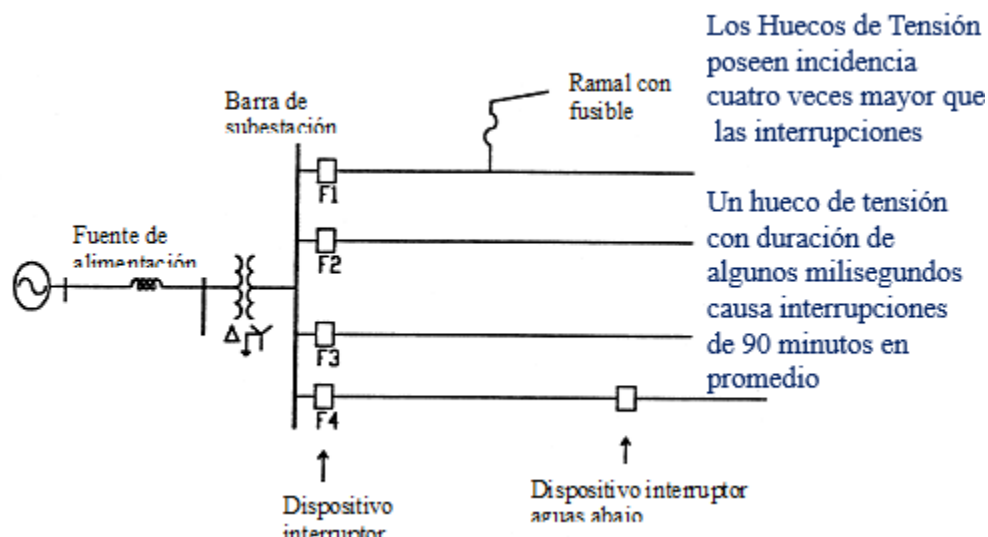


Figura 2.5 Circuito típico de distribución.

En promedio, los huecos de tensión representan el 80% de los reclamos de los usuarios por perturbaciones transitorias.

A continuación, se presenta la clasificación de las perturbaciones en función de su duración y profundidad.

TABLA 2.7 CLASIFICACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEGÚN STD IEEE 1159-2009 [4].

	Duración Típica	Magnitud de voltaje típica
2.1 Instantáneo		
2.1.1 Sag	0.5 – 30 Ciclos	0.1 – 0.9 pu
2.1.2 Swell	0.5 – 30 Ciclos	1.1 – 1.8 pu
2.2 Momentánea		
2.2.1 Interrupción	0.5 Ciclos – 3 Seg	< 0.1 pu
2.2.2 Sag	30 Ciclos – 3 Seg	0.1 – 0.9 pu
2.2.3 Swell	30 Ciclos – 3 Seg	1.1 – 1.4 pu
2.3 Temporal		
2.3.1 Interrupción	> 3 Seg – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag	> 3 Seg – 1 min	0.1 – 0.9 pu
2.3.3 Swell	> 3 Seg – 1 min	1.1 – 1.2 pu

Se pueden establecer distintos grados de riesgo para cada perturbación en función del daño potencial sobre las instalaciones y los procesos industriales. Existe un consenso en las fuentes

consultadas que determinan que las interrupciones tienen una gravedad alta o muy alta, mientras que los huecos de tensión se consideran de gravedad media.

Sin embargo, la probabilidad mucho más baja de aparición de las interrupciones frente a los huecos de tensión conlleva que se consideren a estos últimos como potencialmente más peligrosos. A pesar de su efecto menos grave, su mayor frecuencia de aparición significa un mayor número de paradas de procesos productivos o el aumento de deterioro de las instalaciones.

Como puntos en común se debe destacar que no hay pérdida completa de tensión, en cuyo caso se considera interrupción y la duración del evento.

### 2.3.1 CARACTERIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN.

Estos son generados por maniobras y fallas en el sistema, descargas atmosféricas, conexión de cargas importantes, imprecisiones respecto a su origen y los principales afectados son los usuarios de equipos sensibles, aunque no dañan equipos ni salidas de servicio. Su transmisión es a distancia inversamente con la magnitud. Las soluciones a estos son una buena coordinación de protecciones y el uso de equipos mitigadores. Con el fin de comprender en su totalidad las magnitudes expuestas en el punto anterior se van a estudiar los parámetros que caracterizan los huecos de tensión.

Para tener una idea clara de los dos parámetros más influyentes en un hueco de tensión (magnitud y tiempo) se presenta una imagen de un hueco de tensión con variación de 65% de la tensión nominal y duración de 75 ms.

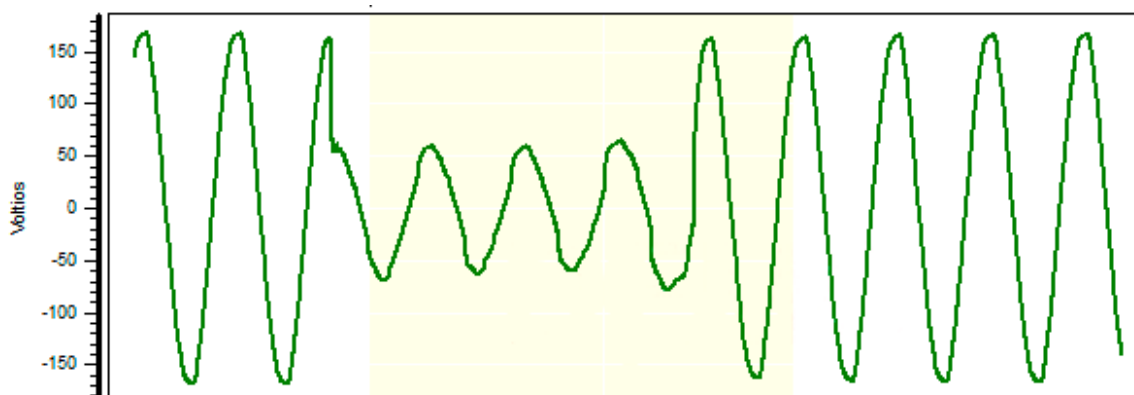


Figura 2.6 Hueco de tensión 65% valor RMS y duración 75 ms.



### **2.3.1.1 MAGNITUD**

Hace referencia a la profundidad del hueco de tensión, es decir, la caída de tensión sufrida durante la perturbación. Hay diversos procedimientos para calcular este valor. La mayoría de los equipos de medición obtienen la magnitud del hueco de tensión por medio de la tensión eficaz. Existen varias alternativas de cuantificación del nivel de tensión durante un evento, por ejemplo, la caracterización de la magnitud de los huecos de tensión puede hacerse también por medio de la magnitud de la componente fundamental de la tensión por medio de un análisis de Fourier, o por la tensión de pico.

### **2.3.1.2 DURACIÓN**

La caída de tensión en las líneas o en los nodos durante un cortocircuito, dentro de los límites establecidos para provocar un hueco de tensión, va a activar las protecciones que tratan de aislar el cortocircuito. Una vez despejada la falla el sistema retomará sus valores originales. La duración de un hueco de tensión es principalmente determinada por el tiempo de despeje, aunque este puede ser mayor a este tiempo de despeje bajo algunas condiciones. Generalmente las faltas en los sistemas de transporte son despejadas de manera más rápida que en los sistemas de distribución.

Los sistemas de transporte y subtransporte que operan en un sistema de potencia utilizan principalmente protecciones de distancia (impedancia) y diferencial. En distribución se utiliza más la protección de sobre corriente. La definición comúnmente utilizada de la duración de un hueco de tensión es el número de ciclos durante los cuales la tensión cae por debajo de un umbral dado.

### **2.3.1.3 SALTO DE FASE**

La fase del ángulo de la onda de tensión durante un segmento de evento es a menudo diferente de la fase del ángulo de la onda de tensión previa al evento. Esta diferencia es denominada como “desplazamiento de fase” o “salto de fase”. Para huecos con múltiples segmentos de eventos de duración, el salto de fase puede ser distinto en cada uno de los segmentos presentes. Al igual que la magnitud de tensión, la fase del ángulo puede variar en el tiempo a lo largo de un segmento de duración-evento, como una función continua en el tiempo, o en pasos discretos (por ejemplo, cuando el tipo de hueco cambia) [6].

Si este es el caso, el mayor (en valor absoluto) o el valor medio del desplazamiento de fase puede usarse para la caracterización del segmento de duración-evento. Para medidas multicanal, las fases de los ángulos típicamente son distintas en cada uno de los canales. El desplazamiento de fase puede cuantificarse desde la detección de los instantes de cruce por

cero de la onda de tensión instantánea en los segmentos pre-evento y duración-evento. Alternativamente, el argumento (fase de ángulo) o las componentes fundamentales de tensión del segmento pre-evento y duración-evento pueden utilizarse para cuantificar el salto de fase.

Para este propósito, tanto una transformada de Fourier discreta como cualquier otro método coherente puede ser usado. El segmento de recuperación de tensiones muestra un post-desplazamiento de fase que lentamente tiende hacia punto de régimen permanente del nuevo estado del sistema. Este valor de tendencia debe ser próximo a cero (por ejemplo, los ángulos de la fase de tensión son los mismos que estaban presentes en las tensiones del segmento pre-evento), o presentar una pequeña desviación en unos grados de cero.

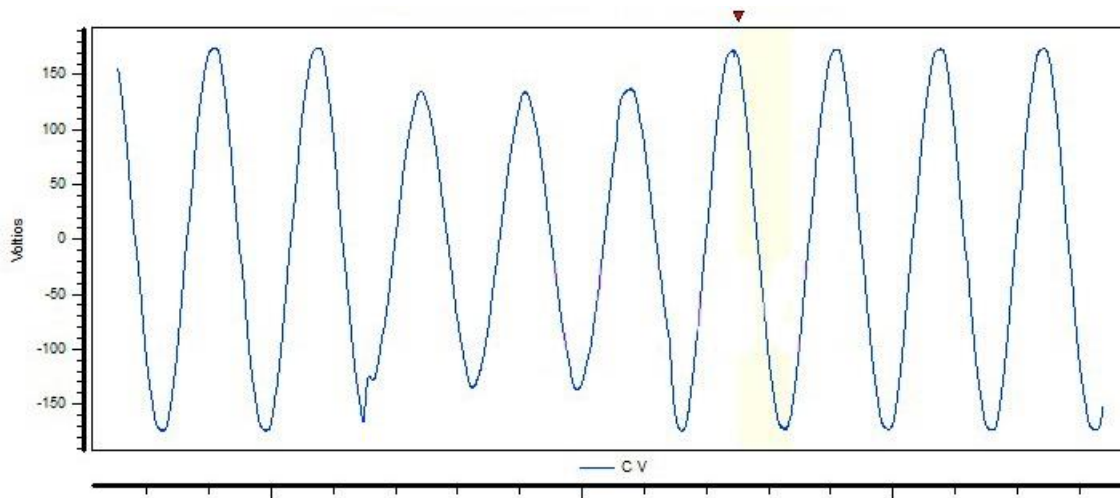


Figura 2.7 Salto de fase de un hueco de tensión.

### 2.3.1.4 ÁNGULO DE INICIO

Considerando la perturbación perfectamente rectangular, todo hueco de tensión posee un instante inicial  $t_i$ , donde se produce caída de tensión, y un instante final  $t_f$ , donde se restituye la tensión. El punto inicial se corresponde con un punto de la onda de tensión  $\psi_i$ .

$$V_a = V_{max} \text{sen}(\omega t + \alpha)$$

Para el instante inicial del hueco.

$$\psi_i = \omega t_i + \alpha$$

Si se considera que el hueco de tensión comienza en  $t_i = 0$ , la fase inicial del hueco coincide con la fase inicial de la tensión. En general para los huecos trifásicos, se toma como referencia de ángulo a la tensión de la fase A.

El ángulo inicial respecto al máximo está dado por los siguientes parámetros:

- En el 60 % de las fallas el ángulo de inicio está en el promedio de  $\pm 5\%$ .
- En el 80 % de las fallas el ángulo de inicio está en el promedio de  $\pm 10\%$ .

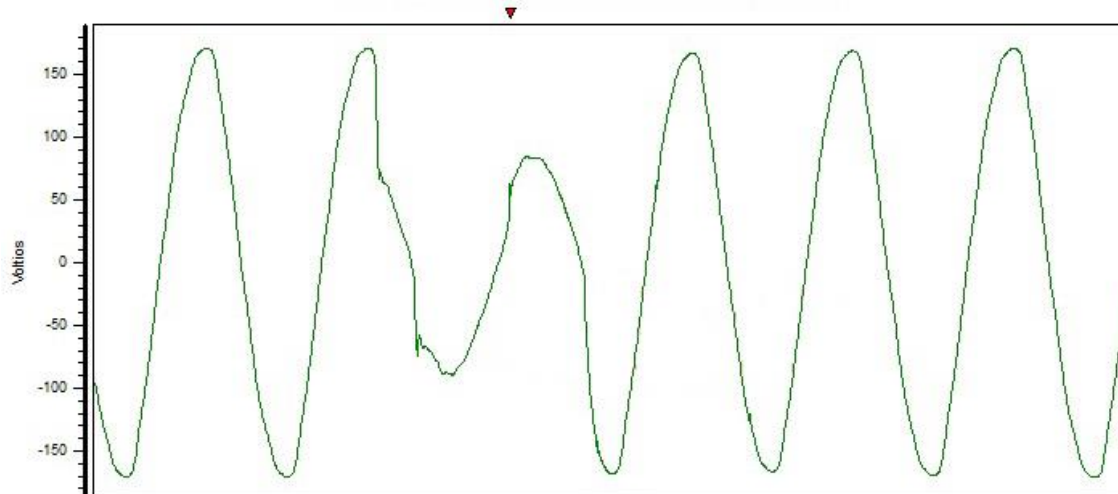


Figura 2.8 Representación de ángulo de inicio y ángulo de recuperación de un hueco de tensión [15].

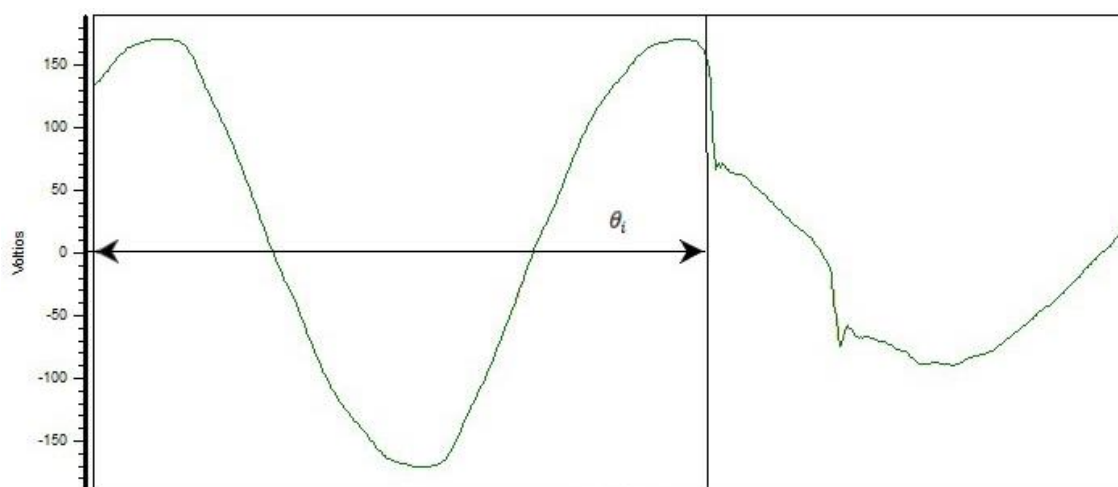


Figura 2.9 Angulo de Inicio hueco de tensión Figura 2.8 [15]

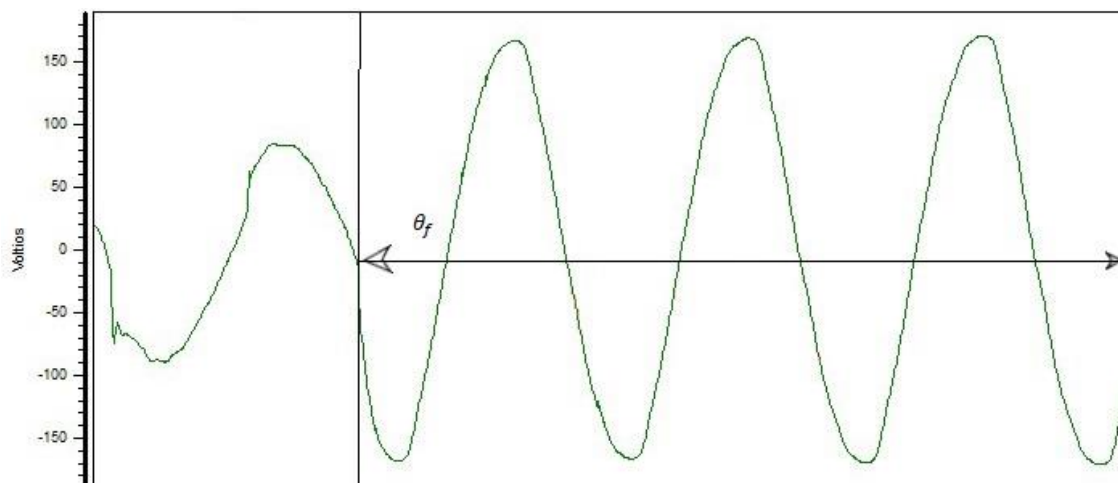


Figura 2.10 Angulo de recuperación hueco de tensión Figura 2.8 [15]

## 2.3.2 HUECOS DE TENSIÓN DEBIDO A FALLAS

A continuación, se presentan diferentes tipos de cortocircuitos y su efecto sobre la alimentación de la carga. Para este caso se supone que las tres fases tienen un desfase de  $120^\circ$  sin desviaciones del caso ideal.

### 2.3.2.1 CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO

El cortocircuito monofásico (contacto de una fase y tierra) supone la mayor parte de cortocircuitos del sistema.

En la siguiente figura se muestra una simulación realizada en el programa Power Quality Teaching Toy versión 3.0.4 realizada por Alex McEachern, como se observa en la fase a (onda sinusoidal roja) ha sufrido un cortocircuito. El hueco de tensión en esa fase tiene una magnitud del 70% y duración 100 ms. Las fases b y c no se ven afectadas y por lo tanto su tensión se mantiene en rango. La línea azul se muestra la potencia que llega a la carga y esta no se ve afectada por este cortocircuito.

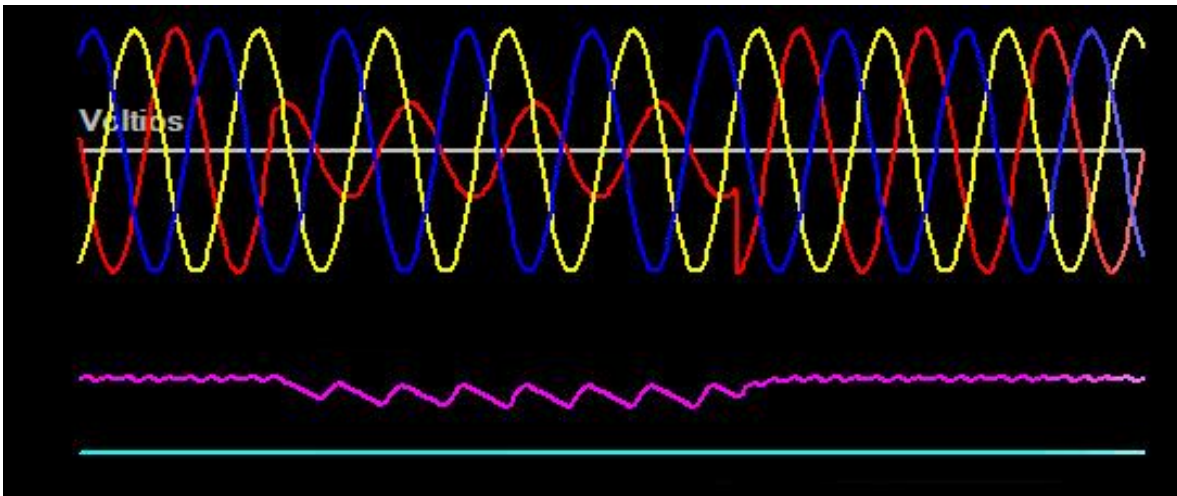


Figura 2.11 Simulación de un cortocircuito monofásico en red trifásica con 70% voltaje nominal a 100 ms.

### 2.3.2.2 CORTOCIRCUITO BIFÁSICO

El cortocircuito bifásico se produce al contactar dos fases entre sí, o dos fases entre sí y tierra. Este tipo de cortocircuito provoca un desequilibrio de corrientes entre las fases.

Para este caso se consideró una caída del 80% del voltaje nominal y una duración de 100 ms, en las fases a y b.

En este caso la carga si sufrirá el efecto de los huecos de tensión, y podría afectar a equipos especialmente sensibles como equipos dedicados a control, derivando en posibles fallas de funcionamiento y paradas de equipos que no se hayan visto afectados directamente.

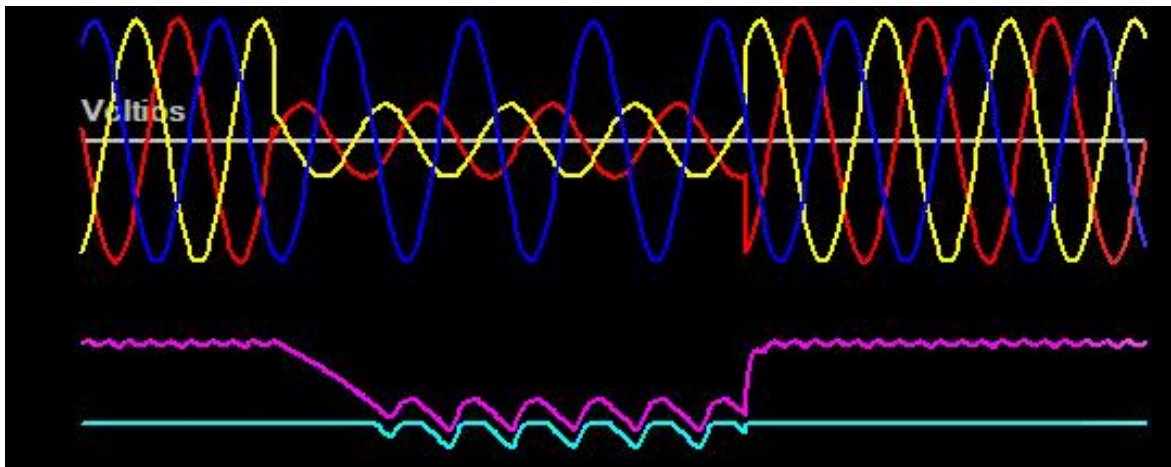


Figura 2.12 Simulación de cortocircuito bifásico 80% voltaje nominal 100 ms.

### 2.3.2.3 CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

Este cortocircuito supone que las tres fases tienen contacto entre sí o a través de una impedancia muy baja. Es el más grave que puede darse. Las corrientes de cortocircuito son iguales en las tres fases. Se considera, un hueco de tensión en cada fase del 50% y con una duración de 100 ms.

Como se observa en la figura se puede ver una disminución de la potencia bastante considerable durante el hueco de tensión, capaz de dañar equipos con electrónica sensible.

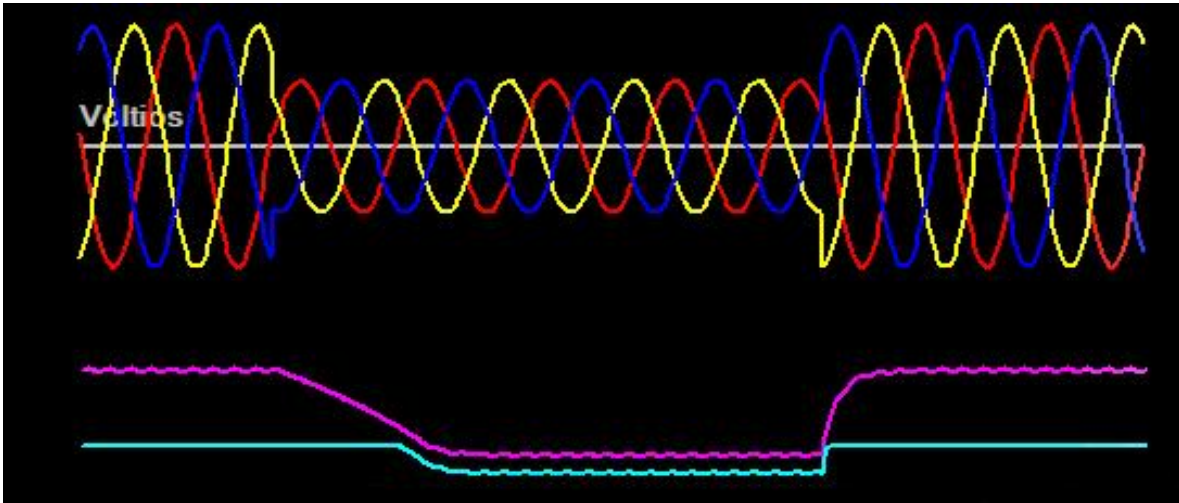


Figura 2.13 Simulación de un cortocircuito trifásico 50% del voltaje nominal 100 ms.

En este trabajo las fallas que se generan para el estudio son monofásicas.

### 2.3.3 HUECOS DE TENSION DEBIDO A ARRANQUES DE MOTORES.

El arranque de un motor de inducción demanda grandes corrientes. Puede demandar hasta 5 veces más la corriente nominal y todo esto a un factor de potencia muy bajo. Para evitar perturbaciones, se limita la demanda de intensidad en el arranque con reóstatos equivalente.

A diferencia de las faltas de red, la duración del hueco de tensión está determinado por la inercia de la máquina, una vez alcance el estado estable la corriente disminuye provocando que el hueco de tensión desaparezca.

Esta clase de huecos de tensión se caracterizan por la recuperación de tipo exponencial que sigue la tensión. Este comportamiento hace que sea clasificado como un hueco de tensión no rectangular [7]. Generalmente, los huecos de tensión producidos por motores son menos severos que los producidos por cortocircuitos en la red eléctrica. El motor de inducción presenta importantes efectos sobre huecos de tensión, de tal forma que puede modificar la característica rectangular del hueco debido a la generación de un hueco pos falla, que se produce de la reaceleración de la máquina una vez se da el despeje de la falla generadora del hueco de tensión original [8].

En la siguiente figura se muestra una simulación de un hueco de tensión originado por el arranque de un motor de inducción en un sistema de 13.8 kV [7]

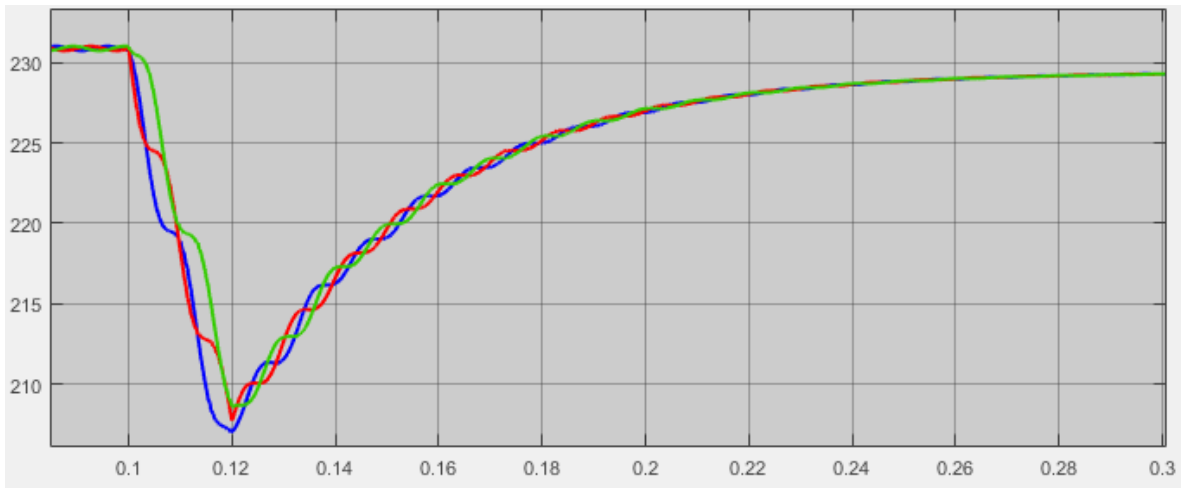


Figura 2.14 Simulación en MATLAB/SIMULINK de hueco de tensión debido al arranque de un motor [16].

### 2.3.4 HUECOS DE TENSION DEBIDOS A LA ENERGIZACION DE TRANSFORMADORES

Durante la energización de un transformador se presentan transitorios en el flujo magnético del transformador [7] y originándose elevadas corrientes de magnetización en el transformador. Esta perturbación es simulada [11] y se obtiene tras energizar el transformador que alimenta directamente la carga.

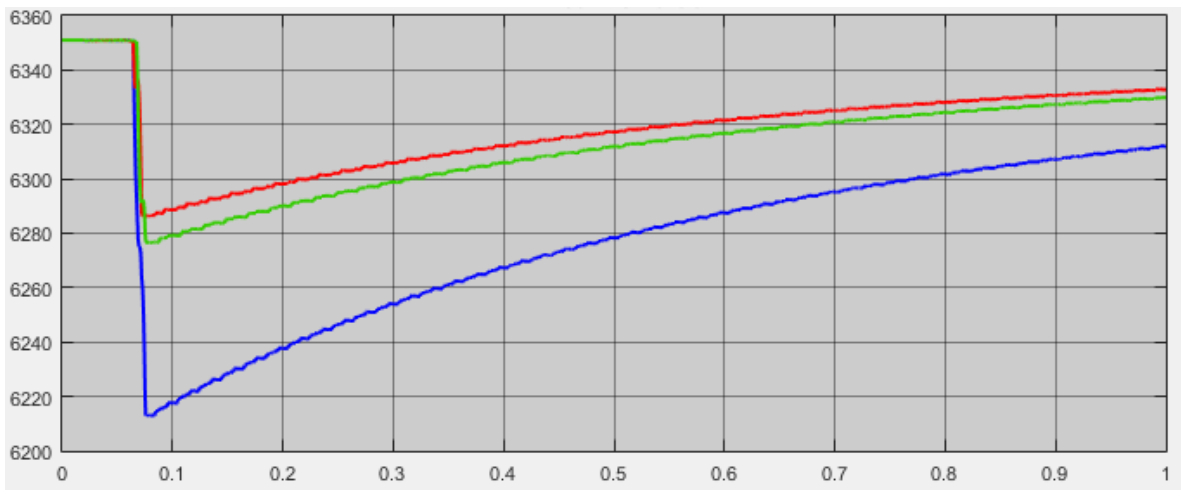


Figura 2.15 Simulación en MATLAB/SIMULINK de un hueco de tensión debido a la energización de transformadores [16].

Una característica importante de los huecos de tensión originados por la energización de transformadores es el desbalance que se presenta entre las tensiones de fase y el contenido significativo de armónicos de corrientes inyectados por el transformador. Esto resulta importante para distinguir entre huecos de tensión por el arranque de motores de inducción ya que estos últimos, aunque presenta una recuperación tipo exponencial, no inyectan armónicos a la red. Se han formulado modelos y algoritmos para cuantificar las corrientes

transitorias originadas por la saturación del núcleo del transformador durante su energización. Los resultados de estas investigaciones han permitido estimar y valorar las perturbaciones originadas por la energización de transformadores a partir del modelamiento eléctrico de los mismos [12].

### **2.3.5 CLASIFICACION FASORIAL DE HUECOS DE TENSION EN LINEAS TRIFASICAS**

Para facilitar el estudio se han definido huecos de tensión en fases ideales y que se mantienen en  $120^\circ$  entre sí. Sin embargo, en la clasificación más común de huecos de tensión trifásicos se añade información respectiva al desfase que se genera durante el hueco de tensión [13].

Esta clasificación tiene 7 tipos de huecos de tensión, en función del tipo de cortocircuito y de si la carga está conectada en delta o estrella. Esta información es importante a la hora de estudiar la propagación de los huecos de tensión a través de los transformadores ya que cambiara el tipo de huecos de tensión al pasar del devanado primario al devanado secundario.

Para la finalidad de este proyecto no es necesario profundizar en el desfase de los huecos de tensión en sistemas trifásicos ya que no es necesario hacer este tipo de distinciones a la hora de diseñar una protección adecuada.

### **2.3.6 HUECOS DE TENSION EN SERIE**

Se establecido anteriormente que los huecos de tensión son aleatorios debido a que no es posible predecir su aparición, pero no se distribuyen de igual forma a lo largo del año. Son más frecuentes, por ejemplo, en periodos de clima adverso.

Durante una tormenta podrían producirse dos o más huecos de tensión en un corto periodo de tiempo. En este caso, el primer hueco de tensión es menos pronunciado, pero con una duración mayor que el segundo [14].

En general, el impacto de una serie de eventos es mayor que la suma de impactos de los eventos por separado. En conclusión, pueden encadenarse efectos agravando el resultado final.

Cuando este evento ocurre sobre los equipos, se requiere una atención especial. Un equipo puede soportar cierto hueco de tensión, y sin embargo puede fallar ante un segundo hueco de tensión de igual magnitud y duración del primero.

También es posible que el primer hueco de tensión tenga suficiente profundidad o duración (o ambas) para hacer fallar el equipo, y el siguiente ya no tenga efecto debido a la actuación de protecciones. Existe cierto debate sobre cómo tratar este tipo de incidencias en serie, aunque suele optarse por aplicar el efecto de la perturbación más severa.



## 2.4 CURVA ITIC

La curva ITIC es publicada por el Information Technology Industry Council (ITIC), anteriormente conocido como Computer & Business Equipment Manufacturer's Association (CBEMA). Esta curva proporciona un límite de voltaje de AC que la mayoría de los equipos de tecnología de la información (ITE) pueden tolerar sin experimentar paradas inesperadas o fallas de funcionamiento. El equipo de tecnología de la información puede incluir computadoras, impresoras, escáneres, etc. La curva CBEMA es precursor de la curva ITIC y se publicó en la década de 1970 [9].

El origen de la curva CBEMA se remonta a 1977 cuando se le pidió al grupo de trabajo ESC-3 de la Asociación de Fabricantes de Computadoras y Equipos de Negocios que proporcionara su aporte en un perfil de rendimiento energético para los equipos de computadoras que se propuso publicar en IEEE Std 446. Después de algunas modificaciones menores a la propuesta, el grupo de trabajo ESC-3 aprobó esta versión inicial de la curva que permaneció sin cambios hasta principios de 1996. Durante los siguientes 20 años que se publicó la versión original, creció en estatura a partir de una curva simple que describe el rendimiento de equipo de computadora central (PC no estaban disponibles), hasta una curva que se utilizó para definir todo, desde criterios de especificación para equipos electrónicos hasta la base de contratos de desempeño de calidad de energía entre empresas eléctricas y grandes clientes industriales. Obviamente, Esta es una gran extensión de la intención inicial de describir el rendimiento de calidad de energía de las computadoras mainframe típicas.

Aunque los nombres ITIC y CBEMA se usan indistintamente, existen diferencias sutiles.

### 2.4.1 APLICACIÓN DE LA CURVA ITIC

La curva está destinada principalmente a sistemas de 120V, 120 / 208V y 120 / 240V 60Hz. Otros voltajes no son especificados y es responsabilidad del usuario verificar que la curva se aplique correctamente a otros voltajes. Las personas tienden a extrapolar estas curvas a 480 V o incluso a voltajes más altos y también como medida general de la calidad de la energía entrante. Si bien no es perjudicial usar esto como referencia para establecer una calidad de energía de referencia, es importante reconocer que la intención original de la curva era para equipos informáticos monofásicos de 120V. La curva describe una envoltura de voltaje de CA que normalmente puede ser tolerada por el equipo ITE. La curva describe tanto el estado estacionario como las condiciones transitorias.

El equipo ITE incluye equipo de oficina común, como computadoras y su equipo periférico relacionado. La mayoría de los equipos ITE modernos funcionan con una fuente de alimentación de modo conmutado. El extremo frontal de la fuente de alimentación de modo conmutado tiene un puente rectificador que rectifica la entrada de CA a CC. La CC rectificada se almacena en el condensador del bus. El voltaje de CC se convierte aún más al

voltaje requerido y, a su vez, se utiliza para alimentar los diversos subsistemas dentro del equipo ITE.

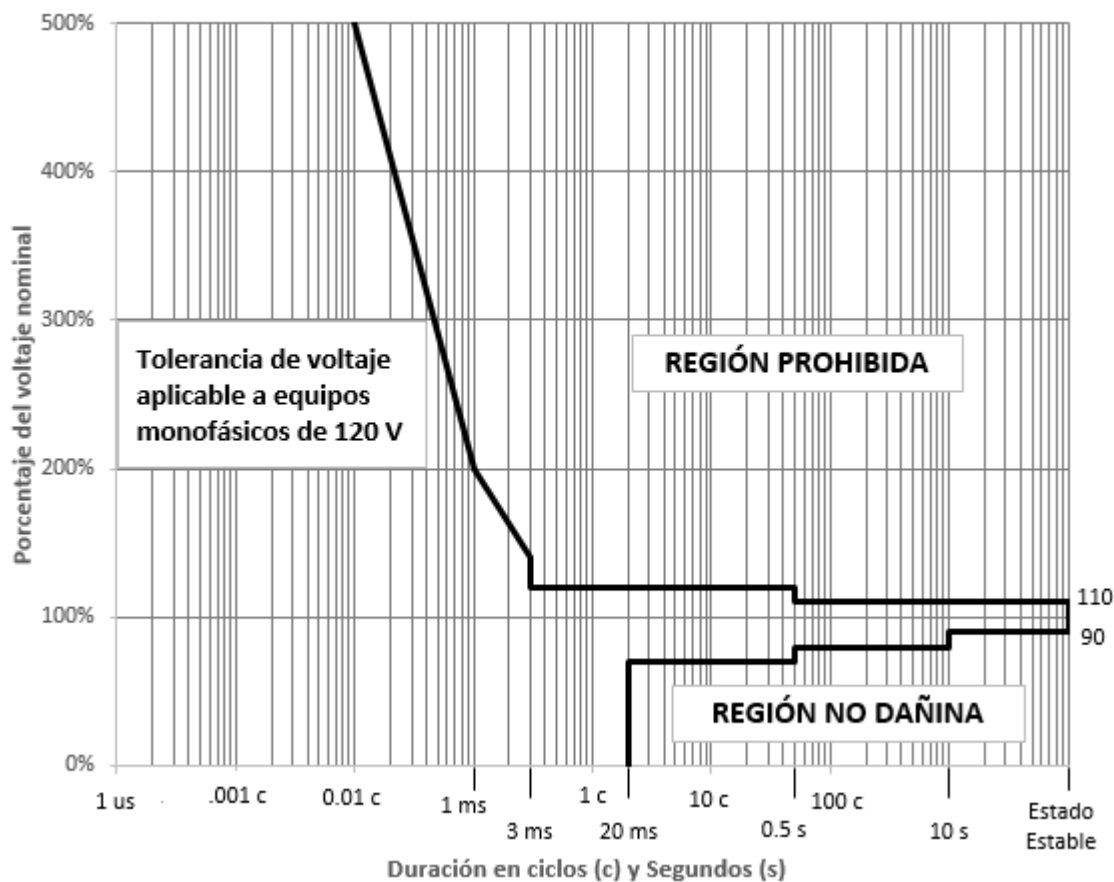


Figura 2.16 Curva ITIC.

Durante una perturbación del sistema de alimentación, como una caída de tensión, un aumento o una tensión transitoria, por ejemplo, la tensión del bus de CC puede ser muy baja o muy alta y, a su vez, afectar el funcionamiento confiable del equipo ITE. La curva ITIC es esencialmente un diagrama de rendimiento de voltaje de entrada frente a duración que cubre subidas, transitorios, sags, swells, interrupciones y variación de voltaje en estado estable en los terminales de entrada al equipo ITE.

Cabe señalar que el rendimiento de los fabricantes individuales para la fluctuación de voltaje de entrada es difícil de cuantificar, ya que cada uno usa una tecnología diferente dentro de su fuente de alimentación de modo conmutado.

## 2.4.2 NUEVA CURVA ITIC.

Debido a la importancia de la curva CBEMA anterior, un grupo de trabajo y varios patrocinadores se encargaron de revisar la curva en función de los resultados reales de la prueba. La base de esta curva está respaldada por pruebas que se realizaron en una muestra representativa de ocho fuentes de alimentación para PC suministradas por ocho fabricantes diferentes.

La curva CBEMA anterior es muy 'suave' mientras que la curva ITIC (Nueva curva CBEMA) tiene pasos discretos y es relativamente más fácil de programar en medidores de calidad de energía y en plataformas de hoja de cálculo.

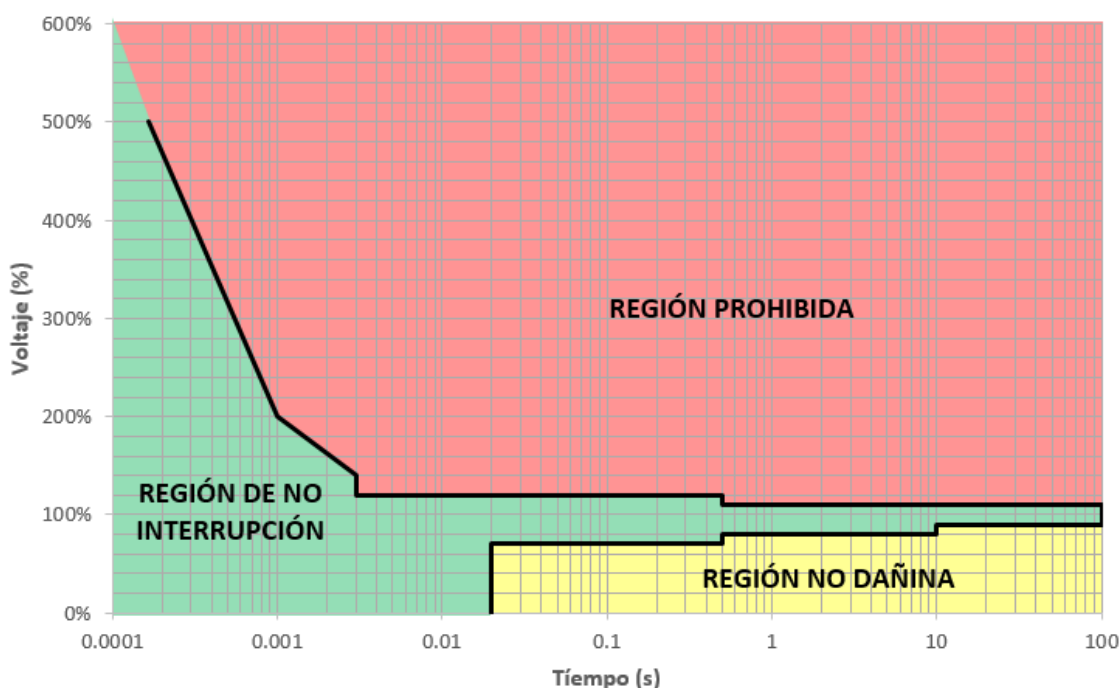


Figura 2.17 Nueva curva ITIC.

Algunas condiciones que se presentan se describen a continuación:

- **Voltaje nominal:** el voltaje nominal se considera 120 V RMS, 60 Hz.
- **Tolerancia de estado estacionario:** +/- 10% del voltaje nominal. Esto se muestra en la parte derecha de la curva.
- **Línea de Voltaje Swell:** hasta 120% del voltaje nominal RMS con una duración de hasta 0.5 segundos.
- **Onda de baja frecuencia:** esta región describe la onda de anillo decadente que resulta de la conmutación de bancos de condensadores. La frecuencia de transitorios puede variar de 200Hz a 5KHz. La magnitud del transitorio se expresa como un porcentaje del pico del voltaje nominal de 60Hz (no el valor RMS). Se supone que el

transitorio ocurre cerca del pico de la forma de onda de voltaje nominal. Se supone que el transitorio está completamente decaído al final del medio ciclo en el que ocurre. La amplitud de transitorios varía de 140% a 200%.

- **Impulso de alta frecuencia:** esta región superior al 200% describe los transitorios que generalmente resultan de los rayos. La forma de onda aplicable a este transitorio y las condiciones generales de prueba se describen en ANSI / IEEE C62.41-1991.
- **Sag:** se describen dos caídas de voltaje RMS diferentes. Por debajo al 80% del valor nominal durante un máximo de 10 segundos (600 ciclos) y por debajo al 70% del valor nominal durante un máximo de 0,5 segundos (30 ciclos). Sag es una reducción RMS en el voltaje de CA, a la frecuencia de alimentación, durante un período de medio ciclo a pocos segundos. La terminología IEC para este fenómeno es el sag. Los sag's suelen ser causadas por fallas en el sistema de servicios públicos, aunque pueden ser causadas por fallas dentro de la instalación o por grandes arranques del motor. El estándar IEEE 1159 define el sag como una disminución en el voltaje RMS a la frecuencia de potencia durante un tiempo de 0.5 ciclos a 1 minuto, reportado como el voltaje restante.
- **Caídas de voltaje:** incluye tanto caídas severas de voltaje RMS como interrupciones completas del voltaje aplicado, seguido de una nueva aplicación inmediata del voltaje nominal. La interrupción puede durar hasta 20 milisegundos (1.2 ciclos). Este transitorio podría ocurrir durante una falla temporal en el sistema de alimentación seguido de la eliminación de la falla.
- **Región sin daños:** no se espera que las caídas de voltaje, los sag's y los voltajes de estado estacionario en esta región dañen el equipo ITE. El funcionamiento normal del equipo ITE tampoco se espera en la región.
- **Región prohibida:** cualquier sobretensión o aumento en esta región podría dañar el equipo ITE.

### 2.4.3 LIMITACIÓN DEL USO DE LA CURVA ITIC (NUEVA CURVA CBEMA)

La compatibilidad del equipo de tecnología de la información con las curvas ITIC no necesariamente da como resultado un funcionamiento sin problemas de la infraestructura de TI. La curva ITIC solo aborda la calidad de la energía entrante al equipo de TI. Existen muchas otras variables que podrían afectar el funcionamiento confiable de los equipos de TI. Algunos de los cuales son potenciales de tierra desiguales, interferencia de ruido electromagnético, etc.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Para poder realizar un estudio más a fondo y correctamente del efecto de los huecos de tensión en los equipos de automatización y comprobar la resiliencia de los mismos fue primordial hacer uso del equipo generador de sag's para pruebas de robustez realizado en el trabajo de graduación “Análisis del efecto de sag's sobre PLC” [3].

### 3.1 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

El equipo utilizado es capaz de intercambiar dos señales con diferente tensión, sin variar su frecuencia, con diferentes tiempos cada una de las señales y con la misma fase. Además, es capaz de alimentar una carga considerable por lo que se utilizó un equipo con una buena capacidad para suministrar energía.

En la entrada del Generador de sag's se alimenta un variac el cual entrega una tensión reducida que pasa a través de relés de estado sólido (SSR). Estos relés son controlados desde un software llamado “VSS” de sus siglas en inglés “Voltage Sag Simulator” [3], desarrollado en la plataforma LabView, se comunica a través del equipo NI USB 6008 que controla transistores conectados a una etapa de control proporcionando la precisión correcta al momento de generar los huecos de tensión.

En la siguiente imagen se presenta el diagrama unifilar del Generador de sag's para pruebas de robustez. Este equipo está diseñado para proteger de daños al equipo puesto a prueba y a su vez también al mismo equipo, por lo que se utilizan protecciones a la entrada de alimentación y así como a la salida de los relés de estado sólido.

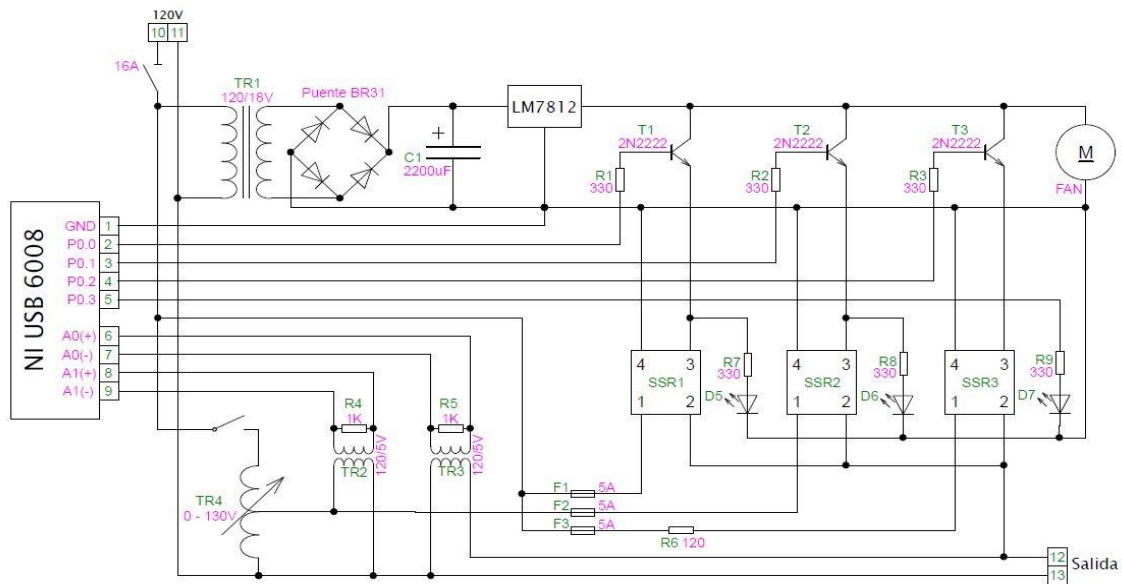


Figura 3.1 Diagrama unifilar del Generador de huecos de tensión.

Como se puede observar el equipo está compuesto por una etapa de control, la cual tiene un rectificador de onda completa conectado a la salida de un transformador de 120/18V que provee la potencia necesaria para que funcione el sistema de control. Luego del rectificador, un capacitor elimina el rizado de la señal para luego pasar por el integrado que estabiliza la señal de tensión a 12V.

Como se aprecia en la figura el equipo está compuesto por tres transistores 2N2222 protegidos por tres resistencias de  $330\Omega$  colocados al base de los transistores, un colector colocado al LM7812 y la salida emisor conectado a los SSR.

En la etapa de potencia se utilizan tres SSR con una capacidad de hasta 10 Amperios cada uno, con lo que se manejan tres entradas diferentes, señal normal de AC (SSR1), señal de la salida del autotransformador (SSR2) y señal de transición (SSR3), conectados todos a la misma salida.

Como se puede observar hay tres leds indicadores, dos conectados a los SSR y uno cuya conexión está en la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6008.



Figura 3.2 Parte trasera del generador de sags.

### 3.2 VOLTAGE SAGS SIMULATOR 1.0

VSS 1.0, por sus siglas en inglés Voltage Sags Simulator, es la primera versión de un programa desarrollado en la interfaz de LabVIEW para el control del Generador de sag's implementado en el trabajo de graduación Análisis del efecto de los sag's sobre plc.

Este programa configura los puertos de la DAQ USB 6008 como el puente entre LabVIEW y el generador de sag's. En la interfaz el usuario tiene la capacidad de modificar el tiempo de duración de un sag y el tiempo de espera para que ocurra. A su vez, el programa es capaz de realizar mediciones de tensión a tiempo real en dos puntos de interés.

El funcionamiento del programa desarrollado se segmenta en 6 etapas fundamentales.

1. Parámetros iniciales.
2. Medición a tiempo real.
3. Etapa de generación de huecos de tensión.
4. Almacenamiento de datos en archivo.
5. Procesamiento de datos.
6. Interfaz gráfica.

Como se ha mencionado antes, todo VI tiene un panel frontal en el cual el usuario puede interactuar con el programa, ya sea ingresando datos o visualizando indicadores o gráficas. En el panel frontal del programa Voltage Sags Simulator 1.0, se encuentran cinco pestañas:

1. Guía rápida.
2. Configuraciones.
3. Mediciones a tiempo Real.
4. Análisis post simulación.
5. Ayuda.

Si se encuentra algún error en la comunicación de LabVIEW, o de la tarjeta de adquisición de datos utilizada, es posible que el programa se detenga por sí solo, o que aparezca una pantalla mostrando el error ocurrido.



Figura 3.3 Panel Frontal del programa Voltaje Sags Simulator.

### 3.3 PROCESO DE PRUEBA DE ROBUSTEZ A EQUIPOS MONOFÁSICOS

El equipo diseñado en el trabajo de graduación “Análisis del efecto de los sags sobre PLC’s” plantea un proceso adaptado siguiendo los parámetros de la norma IEC 61000-4-11.

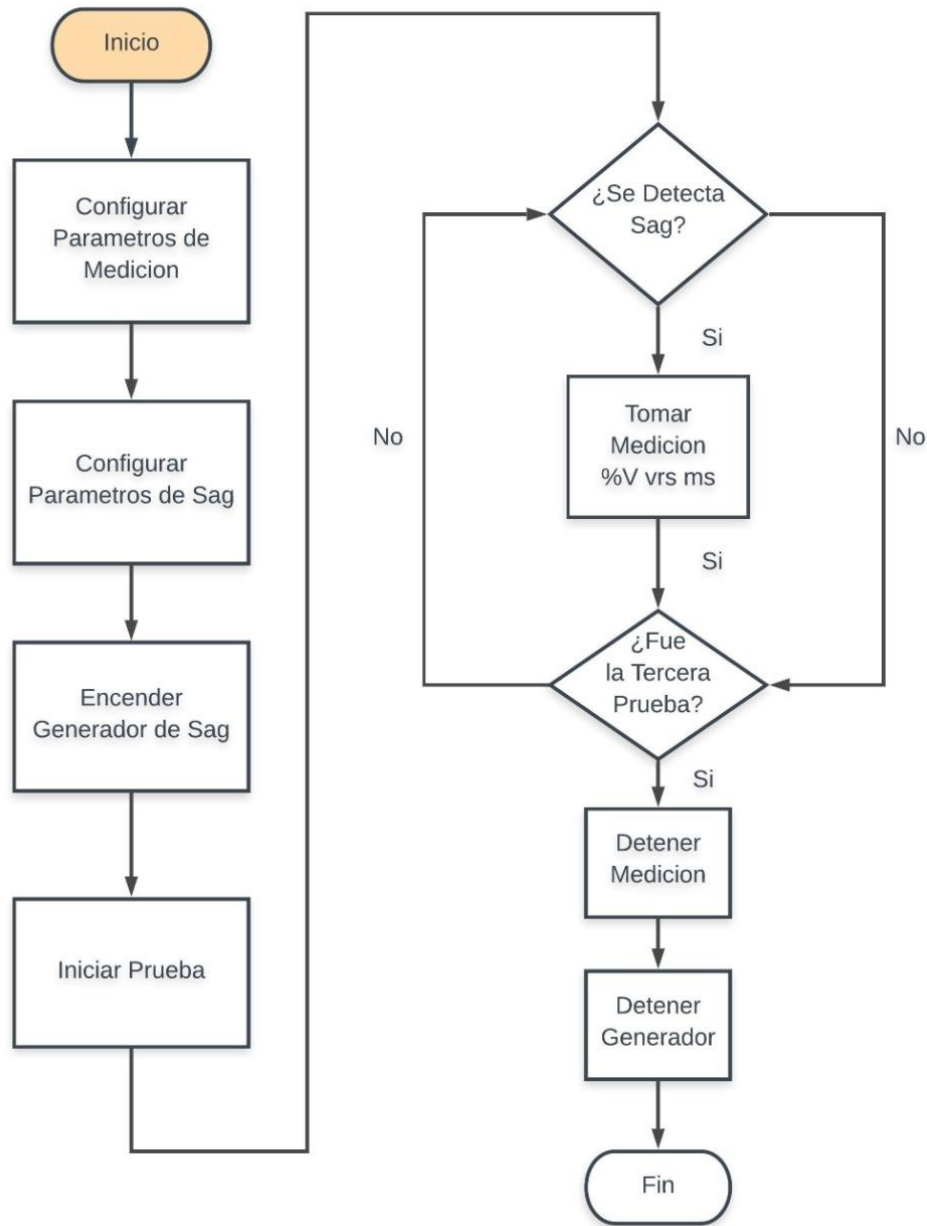


Figura 3.4 Diagrama de proceso según equipo diseñado en el trabajo de graduación “Análisis del efecto de los sags sobre PLC’s” y norma IEC 61000-4-11.

La descripción del proceso paso a paso se detalla a continuación:

1. Es necesario conectar el ordenador y ejecutar el software VSS antes de alimentar el equipo generador de sagas, esto es debido a que en su estado de reposo la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6008 manda una señal alta a los SSR con el cual si se llegar a conectar una carga si antes ejecutar el programa los SSR se pueden dañar al tener una señal alta en sus entradas.



2. Una vez conectado y ejecutado el programa se establecen los parámetros de sag, se realiza una prueba rápida para determinar si la tarjeta NI USB 6008 funciona correctamente.
3. Realizado el procedimiento anterior se procede a conectar una carga a la salida del equipo generador de sag.
4. Con la carga conectada y el software ejecutado se procede a encender el equipo, primero se enciende el autotransformador, siguiente el interruptor del equipo generador de sags se verifica que los leds estén apagados a excepción del led indicador verde que es el que nos demuestra que hay voltaje a sus salidas y que el equipo funciona correctamente.
5. Verificado todo lo anterior se procede a realizar las pruebas, el voltaje o nivel de inmersión del sag se maneja manualmente desde el autotransformador.
6. El tiempo deseado se maneja desde la interfaz del programa, se puede determinar un tiempo de entre 23ms hasta varios segundos, esto es debido a las limitaciones del programa y del equipo utilizado.
7. Al dar click en el botón inicio la tarjeta NI USB recibe la orden de comenzar el proceso y se activan los relés de estado sólido que están configurados para realizar el disparo según el tiempo programado. Mientras la prueba no se está ejecutando, el autotransformador suministra el voltaje nominal para que el equipo que está bajo prueba funcione normalmente.
8. El proceso descrito en la figura anterior implica probar el equipo tres veces; este es un requisito de la norma IEC. La prueba se debe hacer un mínimo de tres veces con un espacio mínimo entre inmersiones de 10 segundos.
9. El proceso para determinar la curva de robustez se realiza con la misma lógica, partiendo del punto en el tiempo en el que, el equipo no soporte una variación de tensión del 0%, para esto se debe de realizar la prueba con valores fuera de los establecidos en la norma.

### **3.4 PRESENTACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS**

Se determinan los valores que se debe programar el generador de sag's y así como los espacios para determinar el cheque si el equipo supera la prueba establecida y con una X si el equipo se vio afectado por la perturbación, cada prueba debe realizarse tres veces con el mismo valor según lo indica la norma.

TABLA 3.1 CUADRO DE RECOLECCIÓN DE DATOS CON PARÁMETROS SEGÚN PRUEBAS DE ROBUSTEZ

Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	% v	t(ms)												
1	80	5000												
2	70	500												
3	40	200												
4	0	16.6												
5	0	8.3												

La curva de robustez se determina sometiendo los equipos a huecos de tensión de diferente duración a 0% del voltaje. Luego se varía el nivel de voltaje hasta conocer el punto donde no el equipo no se ve afectado.

TABLA 3.2 CUADRO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CURVA DE ROBUSTEZ

Duración de sag (ms)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P

Al igual que la prueba anterior, esta se realiza tres veces con cada valor según lo establece la norma. Una vez obtenidos los datos, se procede a graficar los valores para trazar la curva de robustez correspondiente al equipo en estudio.

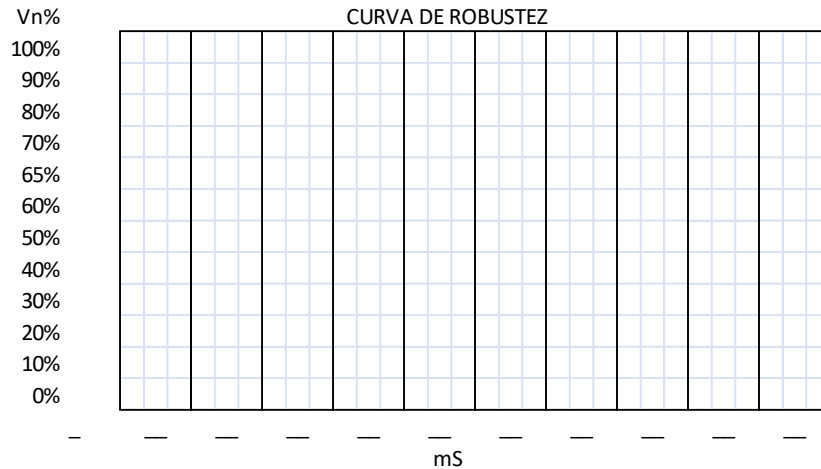


Figura 3.5 Parámetros guía para construcción de curva de robustez.

### 3.5 MEDICIÓN DE HUECOS DE TENSION EN LA RED

Para realizar el estudio correspondiente y saber cuáles de los equipos puestos a prueba son más sensibles y propensos a fallar en una situación de funcionamiento continuo y que un sag vea afectada la red eléctrica del lugar, se procedió a medir en el tablero general de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador los huecos de tensión ocurridos en el transcurso de 5 semanas. Para esto fue necesario la utilización del equipo de medición de calidad de energía Dranetz Power Guide 440.

#### 3.5.1 MEDICIONES CON EQUIPO DRANETZ 4400 EN TABLERO GENERAL.

En la siguiente figura se muestra el tablero general de la escuela donde se procedió a conectar el dranetz. Cabe mencionar que solo se obtuvieron parámetros calidad de energía ya que únicamente se necesitaba visualizar los huecos de tensión ocurridos en las semanas de estudio.



Figura 3.6 Tablero general de la escuela de ingeniería eléctrica.

### **3.5.2 SOFTWARE DRAN-VIEW 7.**

Con las mediciones realizadas es necesario un software capaz de leer los datos obtenidos, para nuestro caso se utilizó el software Dran-View en su versión número 7 del mismo fabricante dranetz, a continuación, se muestran unas imágenes del funcionamiento del programa, así como su interfaz.



Figura 3.7 Software Dran-View 7

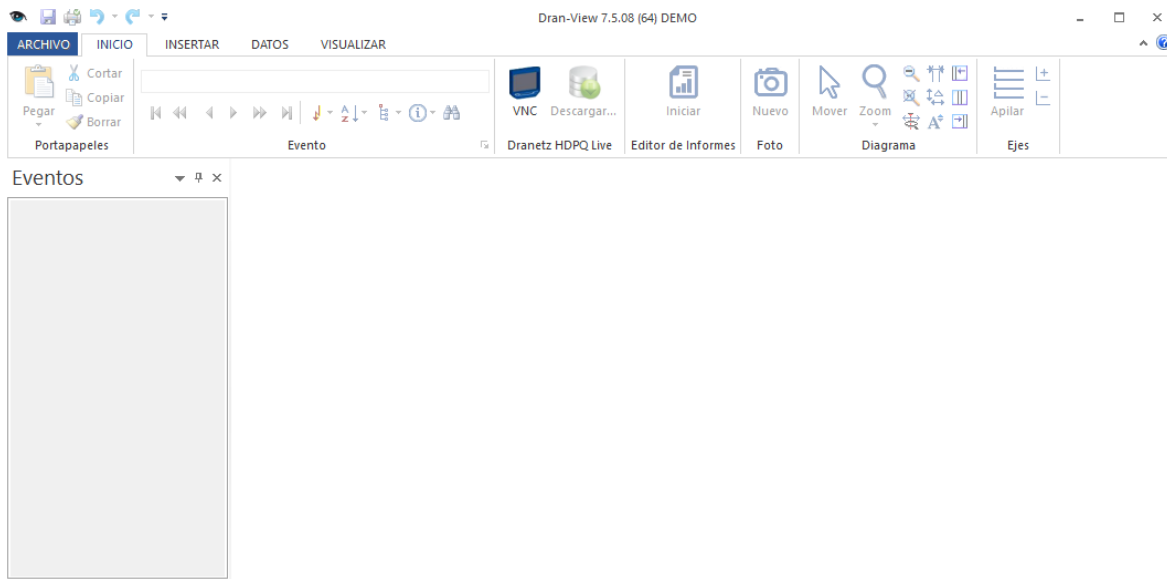


Figura 3.8 Interfaz Software Dran-View 7

### 3.5.3 COMPARACION HUECOS DE TENSION VS CURVA DE ROBUSTEZ.

Obtenidos los huecos de tensión que ocurrieron en las 5 semanas de estudio se procedió a contabilizar cada uno de ellos y describirlos según su magnitud, duración de sag y la fase en que este hueco de tensión ocurrió. En la siguiente tabla se muestra la descripción básica de los huecos de tensión ocurridos en una semana.

TABLA 3.3 DETALLE DE LOS HUECOS DE TENSION.

Fecha	Hora	Fase A [V]	Fase B [V]	Fase C [V]	Duración (ms)	Descripción
20/07/2019	06:26 a. m	114.14	96.6	101.12	75	Hueco Instantáneo Fase A y B

En la tabla se describe la hora en que este ocurrió, en las siguientes tres columnas se muestra el voltaje en cada una de las fases en ese momento en que la perturbación se dio, en la sexta columna se presenta la duración de sag en ms y en la columna final se presenta en qué fase ocurrió el hueco de tensión, así como si el sag fue instantáneo, momentáneo o si se encuentra por debajo de la curva de tolerancia.

Contabilizados todos los sag ocurridos en una semana y con la curva de robustez de los equipos puestos a prueba se procedió a comparar cada hueco de tensión ocurrido con cada equipo y se verifico si el hueco estaba dentro de los parámetros establecidos. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de las comparaciones obtenidas.

TABLA 3.4 COMPARACION DE LOS HUECOS DE TENSION OBTENIDOS CON LOS EQUIPOS PUESTOS APRUEBA.

Huecos de tensión			Equipo de Ensayo						
			LOGO		Contactores		PLC		
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	230 RCE	230 RC	Chint NC1-09	Siemens 3TA22	Omron Sysmac CP1H	Siemens S7 200	Omron Zen-10C1AR-A-V2
80.5	75	B							
84.26	75	C							

En las tres primeras columnas se muestra la magnitud, duración y en qué fase ocurrió el hueco de tensión, en las columnas siguientes se presenta cada uno de los equipos puestos a prueba junto con un espacio donde se procederá a marcar con un cheque si el equipo soporta dicho hueco de tensión y con una X si el equipo no soporta la perturbación. Con esto se caracterizará cada equipo y se conocerá cuantas veces saldría de funcionamiento al ocurrir un hueco de tensión

## CAPÍTULO 4: PRUEBAS DE ROBUSTEZ Y CARACTERIZACIÓN DE RESILIENCIA

### 4.1 PRUEBAS REALIZADAS A EQUIPOS

El equipo a utilizar para realizar las pruebas a los diferentes dispositivos es el diseñado e implementado en el trabajo de graduación “Análisis del efecto de los sags sobre PLC’s”, cuyo funcionamiento y modo de uso se explica en la misma.

Las pruebas realizadas se muestran a continuación:

- **LOGO BM 230RCE**

El logo BM 230RCE fue sometido a distintos huecos de tensión en determinado tiempo, estos datos se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 4.1 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA IEC 61000-4-11 LOGO 230RCE.

LOGO BM 230RCE														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.2 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO BM 230RCE

LOGO 230 RCE					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
180	0	✓	✓	✓	✓
190	0	X	X	X	X
190	10	X	X	X	X
190	20	✓	✓	✓	✓
200	20	X	✓	X	X
200	30	✓	✓	✓	✓
1000	30	✓	✓	✓	✓

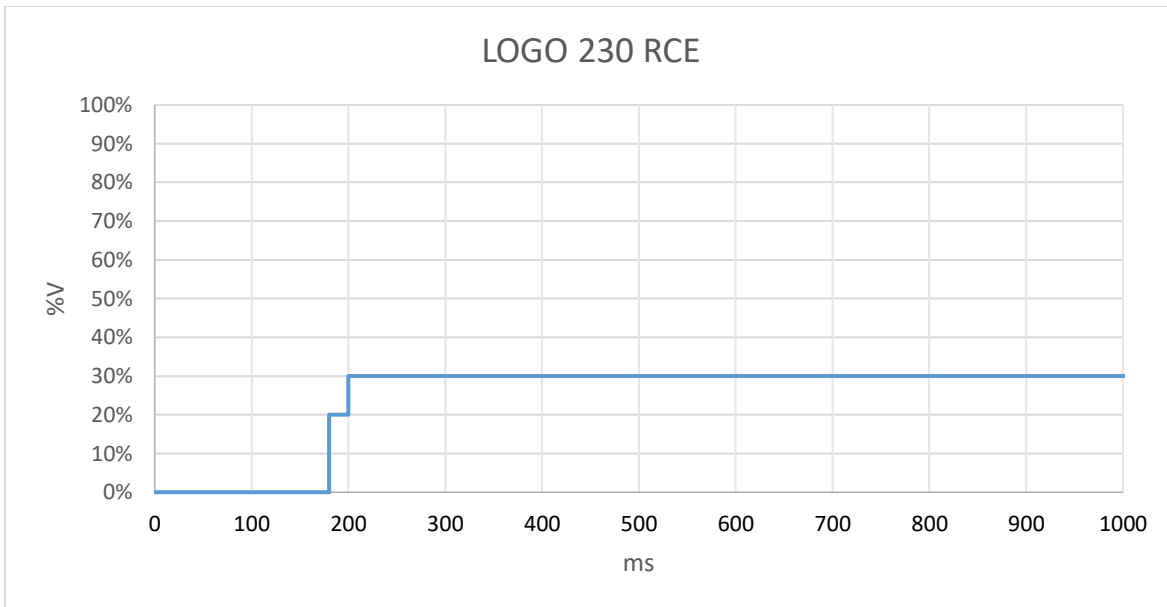


Gráfico 4.1 Curva de robustez LOGO 230RCE.

El equipo soporta variaciones de tensión 0% V en el rango 0 a 180 ms y del 20% para 190 mS y con variación mínima de trabajo del 30% en un rango de 200mS, por lo que se dice que el equipo cumple con las normas IEC6100-4-11 y SEMI F47.

- **LOGO BM 230RC**

TABLA 4.3 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA IEC 61000-4-11 LOGO 230RC.

LOGO 230RC														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



TABLA 4.4 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO 230RC.

LOGO 230 RC					
Duración de sag (ms)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
30	0	✓	✓	✓	✓
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
150	0	✓	✓	✓	✓
160	0	✓	✓	✓	✓
160	10	✓	✓	✓	✓
160	20	X	X	X	X
170	10	X	X	X	X
170	20	X	X	X	X
170	30	✓	✓	✓	✓
200	30	✓	✓	✓	✓
1000	30	✓	✓	✓	✓

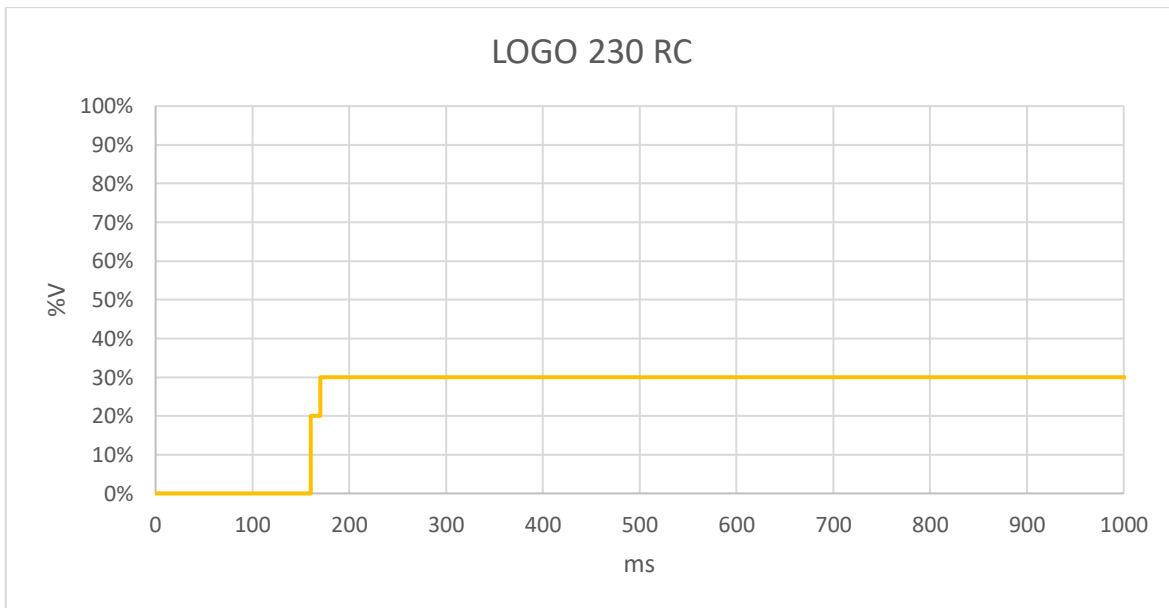


Gráfico 4.2 Curva de robustez LOGO 230RC.

El equipo en estudio soporta variaciones de tensión de 0% V en el rango de 0 a 160 ms, para 20% 170 ms y 30% para 170 ms, por lo que el equipo según las normas IEC 61000-4-11 y SEMI F47 cumple los parámetros mínimos de funcionamiento.

Con el propósito de hacer un mejor estudio en la capacidad de los equipos de automatización utilizados para resiliencia de huecos de tensión, se procedió a realizar una pequeña

programación en el LOGO 230 RC conectándole a unas de sus terminales de salida un pequeño de baja capacidad para comprobar si los resultados obtenidos se mantienen con respecto a la prueba anterior los resultados se presentan a continuación.

- **LOGO BM 230RC CON CARGA**

TABLA 4.5 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA LOGO 230RC CON CARGA.

LOGO 230RC Con carga														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
Nº	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.6 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO 230RC CON CARGA.

LOGO 230 RC Con carga 14 W					
Duración de sag (ms)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
30	0	✓	✓	✓	✓
50	0	✓	✓	✓	✓
90	0	✓	✓	✓	✓
90	0	✓	✓	✓	✓
90	0	✓	✓	✓	✓
100	0	X	X	X	X
100	10	X	X	X	X
100	20	X	✓	X	X
100	30	✓	✓	✓	✓
200	30	✓	✓	✓	✓
1000	30	✓	✓	✓	✓



Gráfico 4.3 Curva de robustez LOGO 230RC con carga.

Como se observa, el equipo soporta una variación de voltaje 0% V en un tiempo de 90 ms y con variación mínima de funcionamiento en 30% V en un tiempo de 90 ms, con lo que se dice que el equipo cumple con lo establecido por las normas IEC 61000-1-11 y SEMI F47.

- **LOGO SIEMENS 230 RCL**

TABLA 4.7 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA LOGO SIEMENS 230 RCL.

LOGO SIEMENS 230 RCL														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

TABLA 4.8 DATOS DE PRUEBA PARA CURVA DE ROBUSTEZ LOGO SIEMENS 230 RCL.

LOGO SIEMENS 230 RCL					
Duración de sag (ms)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
200	0	✓	✓	✓	✓
220	0	X	X	X	X
220	10	X	X	X	X
220	20	✓	✓	✓	✓
230	20	✓	✓	✓	✓
240	20	X	X	X	X
240	30	✓	✓	✓	✓
250	30	✓	✓	✓	✓
340	30	✓	✓	✓	✓
350	30	X	X	X	X
350	40	✓	✓	✓	✓
1000	40	✓	✓	✓	✓
1500	40	✓	✓	✓	✓

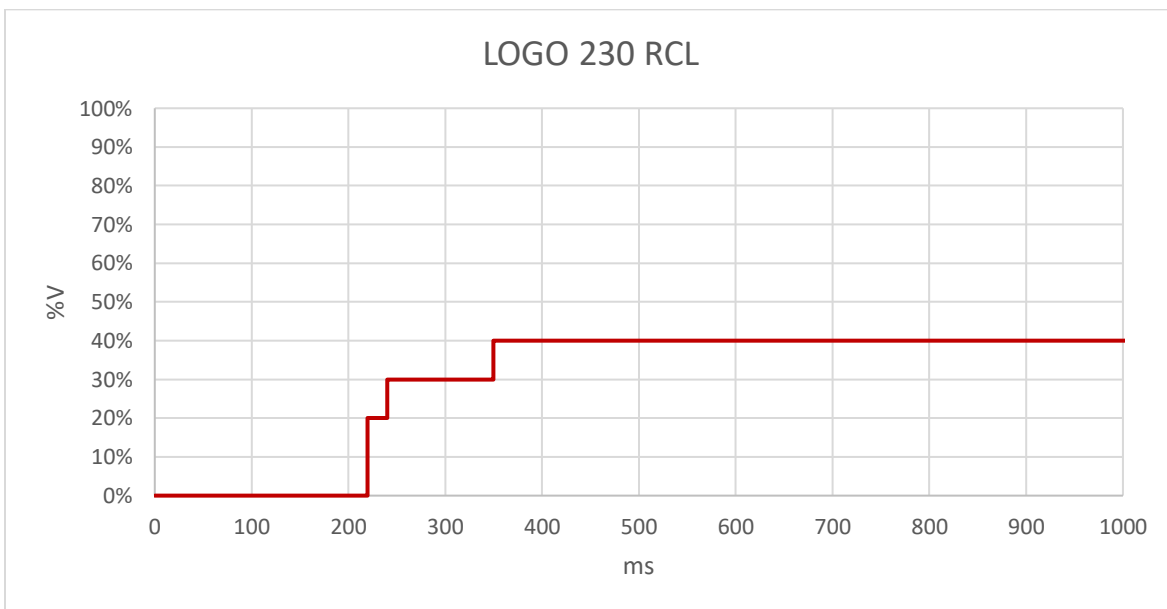


Gráfico 4.4 Curva de robustez LOGO SIEMENS 230 RCL.

El equipo puesto a prueba, soporta variaciones de voltaje de 0% en un lapso 0 a 210 ms, para el 20% V en 220 ms, soporta una variación de 30% de voltaje nominal en un lapso de 230 a 340 ms y con variación mínima de funcionamiento en 40% V en un tiempo 350 ms por lo que el equipo cumple los parámetros establecidos por la norma IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

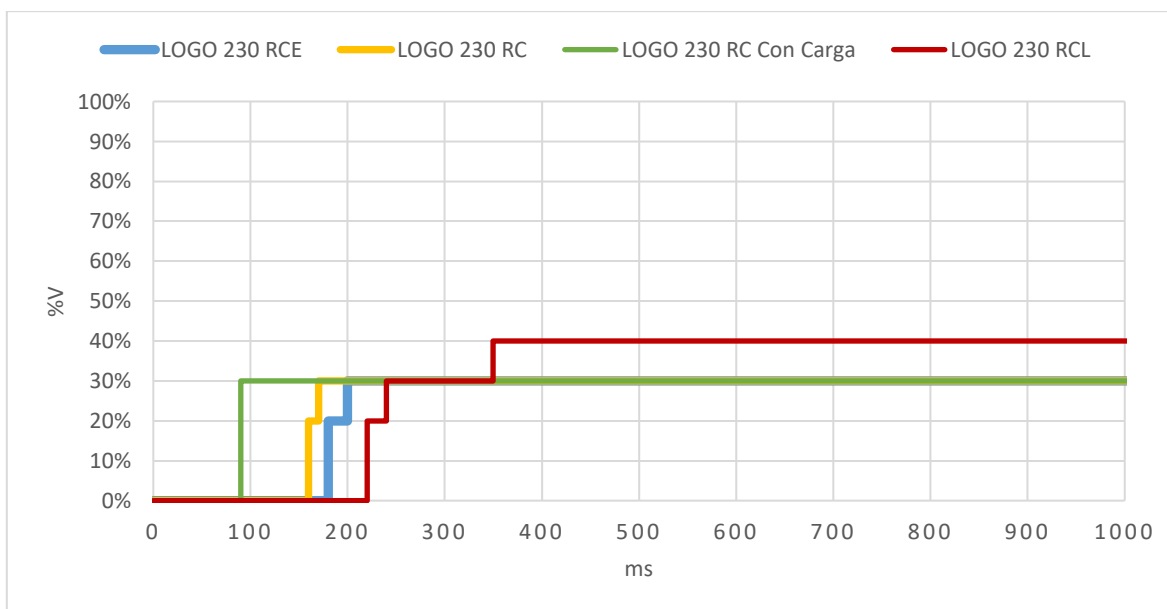


Gráfico 4.5 Comparación de robustez logo.

Los tres logos en estudio cumplen los parámetros mínimos requeridos por IEC 61000-4-11 y SEMI F47, siendo el logo siemens 230RCL el que tiene una mejor robustez comparada con los demás equipos ya que es capaz de soportar una variación de tensión del 0% en un lapso de tiempo más pronunciado que los demás logos.

- **CONTACTOR CHINT NC1-09**

Se realizaron pruebas a tres tipos diferentes de contactores, el primero de ellos es un contactor de la marca chint NC1-09 los resultados de la prueba de robustez se presentan a continuación.

TABLA 4.9 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA CHINT NC1-09.

Contactor Chint NC1-09														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.10 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ CHINT NC1-09.

Contactor Chint NC1-09					
Duración de sag (ms)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
23	0	✓	✓	✓	✓
25	0	✓	✓	✓	✓
30	0	X	X	X	X
30	10	X	X	X	X
30	20	X	X	X	X
30	30	X	X	X	X
30	40	X	X	X	X
30	50	X	X	X	X
30	60	✓	✓	✓	✓
40	60	✓	✓	✓	✓
50	60	✓	✓	✓	✓
100	60	✓	✓	✓	✓
200	60	✓	✓	✓	✓
1000	60	✓	✓	✓	✓

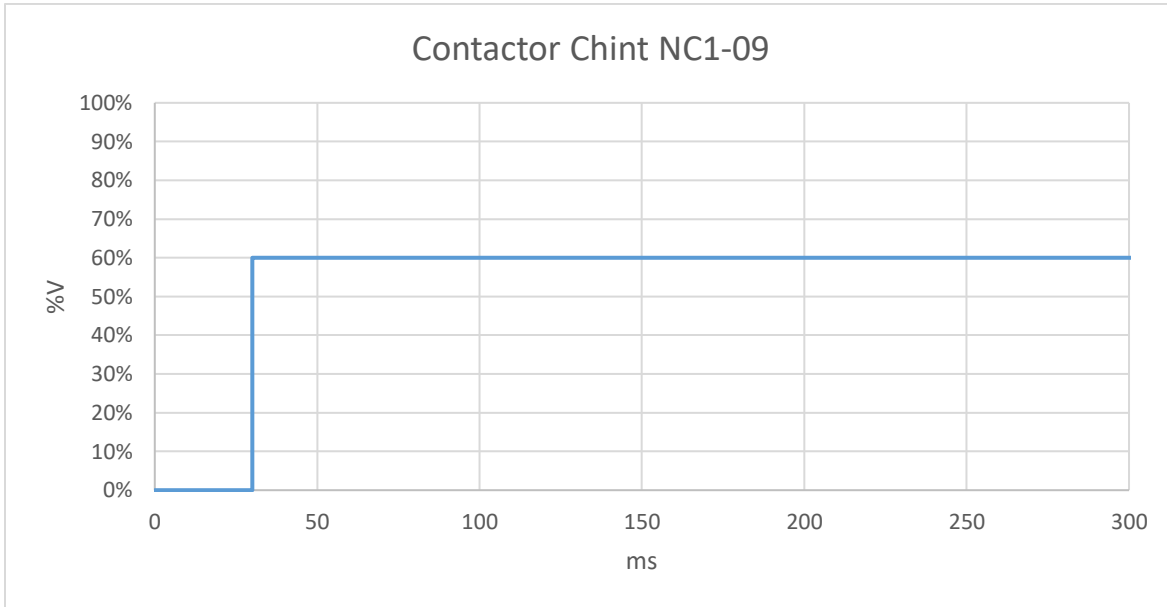


Gráfico 4.6 Curva de robustez contactor CHINT NC1-09.

El quipo utilizado soporta una variación de 0% V en un lapso de 25 ms, con variación mínima de funcionamiento de 60% V durante 30 ms, por lo que se concluye que le equipo no está dentro de las normas SEMI F37 e IEC61000-4-11.

Ahora para conocer si el quipo soporta un hueco de tensión con una carga, se realizó un pequeño circuito con una botonera para hacer girar un motor, ahora el contactor maneja una pequeña carga de 14 W a su salida. Los resultados son los siguientes:

TABLA 4.11 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMATIVA CHINT NC1-09 CON CARGA.

Contactor Chint NC1-09 con carga														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.12 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ CHINT NC1-09 CON CARGA.

Contactor Chint NC1-09 con carga					
Duración de sag (ms)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
23	0	✓	✓	✓	✓
25	0	✓	✓	✓	✓
30	0	X	X	X	X
30	10	X	X	X	X
30	20	X	X	X	X
30	30	X	X	X	X
30	40	X	X	X	X
30	50	X	X	X	X
30	60	✓	✓	✓	✓
40	60	✓	✓	✓	✓
50	60	✓	✓	✓	✓
100	60	X	✓	X	X
100	70	✓	✓	✓	✓
200	70	✓	✓	✓	✓
1000	70	✓	✓	✓	✓

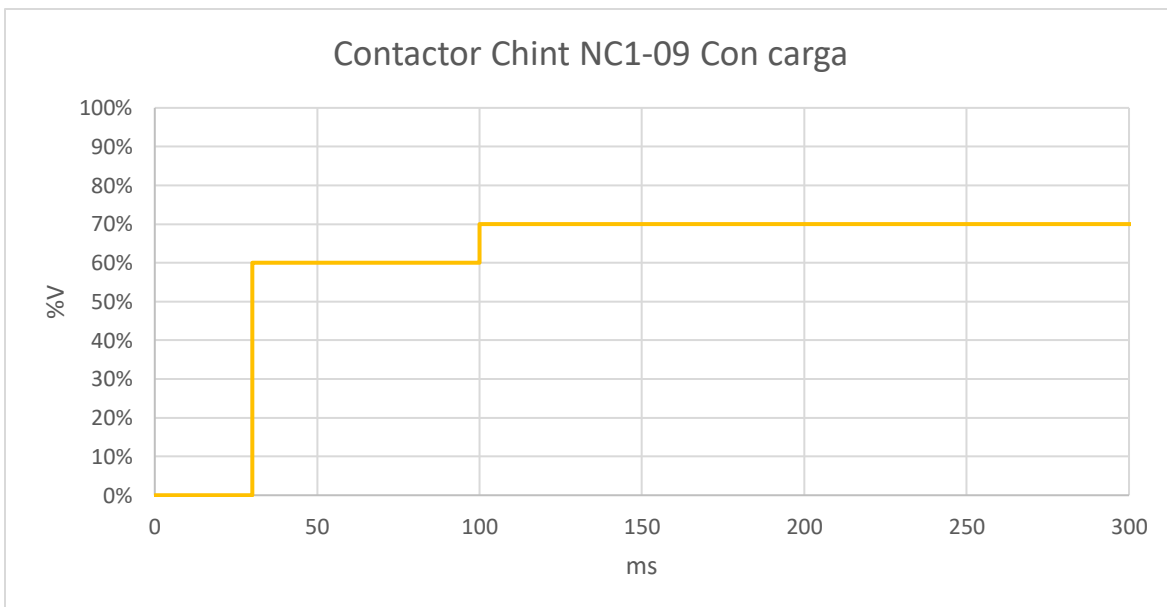


Gráfico 4.7 Curva de robustez contactor CHINT NC1-09 con carga.

Al colocar una carga vemos una ligera variación en los datos ya que este soporta un hueco de tensión de 0%V en un lapso de 25ms, igual a la prueba anterior, con la diferencia que el equipo vario mínimamente su funcionamiento en 70%V en un tiempo de 100ms, por lo tanto,



el equipo con carga no está dentro de las normas IEC61000-4-11 y SEMI F47, con lo que se concluye que le quipo tiene una mala robustez.

- **CONTACTOR SIEMENS 3TA22**

TABLA 4.13 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA SIEMENS 3TA22.

Contactor Siemens 3TA22														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	40	200	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.14 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ SIEMENS 3TA22.

Contactor Siemens 3TA22 10-0A					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
23	0	✓	✓	✓	✓
25	0	✓	✓	✓	✓
30	0	X	X	X	X
30	10	X	X	X	X
30	20	X	X	X	X
30	30	X	X	X	X
30	40	X	X	X	X
30	50	X	X	X	X
30	60	X	X	X	X
30	70	X	X	X	X
30	80	✓	✓	✓	✓
40	80	✓	✓	✓	✓
100	80	✓	✓	✓	✓
200	80	✓	✓	✓	✓
1000	80	✓	✓	✓	✓

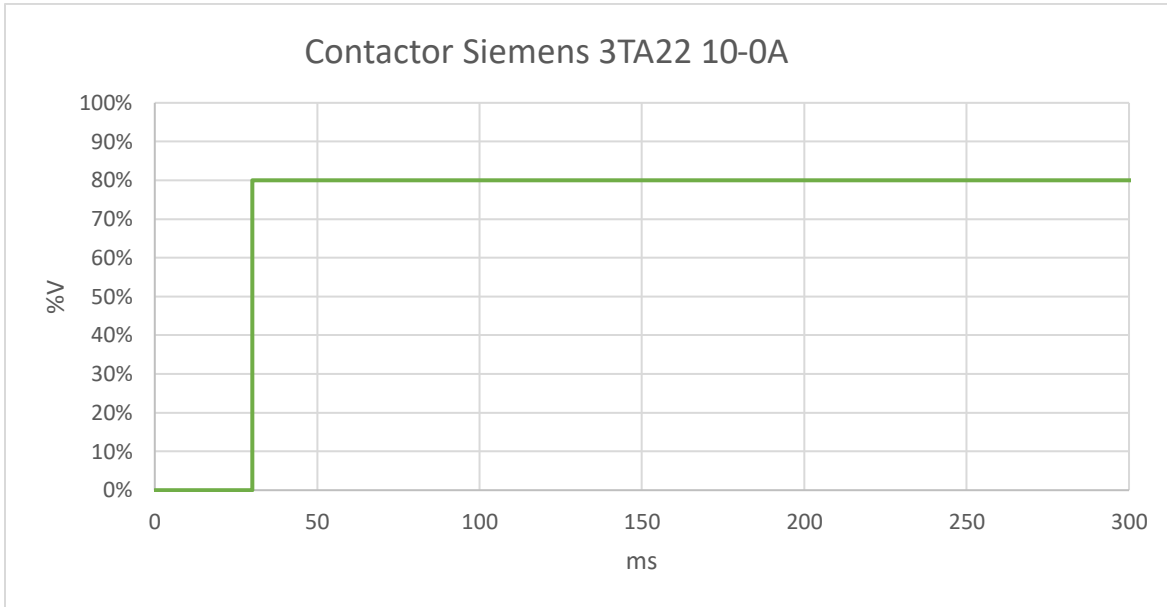


Gráfico 4.8 Curva de robustez contactor SIEMENS 3TA22.

El equipo utilizado en la siguiente curva es un contactor de la marca Siemens modelo 3TA22. Como se observa en la curva, el equipo soporta 25ms con una variación de voltaje del 0%V y con una mínima pérdida en 80%V del voltaje a un lapso de 25ms, con esto el equipo no cumple los parámetros SEMI F47 ni IEC61000-4-11, teniendo una mala robustez con respecto a otros equipos del mercado.

Esta prueba se realizó una segunda vez con una pequeña carga colocada al contactor los resultados fueron los mismo realizados anteriormente

TABLA 4.15 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA SIEMENS 3TA22 CON CARGA.

Contactor Siemens 3TA22 con carga														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	40	200	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.16 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ SIEMENS 3TA22 CON CARGA.

Contactor Siemens 3TA22 10-0A con carga					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (% V)	Pruebas			
		1	2	3	P
23	0	✓	✓	✓	✓
25	0	✓	✓	✓	✓
30	0	X	X	X	X
30	10	X	X	X	X
30	20	X	X	X	X
30	30	X	X	X	X
30	40	X	X	X	X
30	50	X	X	X	X
30	60	X	X	X	X
30	70	X	X	X	X
30	80	✓	✓	✓	✓
40	80	✓	✓	✓	✓
100	80	✓	✓	✓	✓
200	80	✓	✓	✓	✓
1000	80	✓	✓	✓	✓

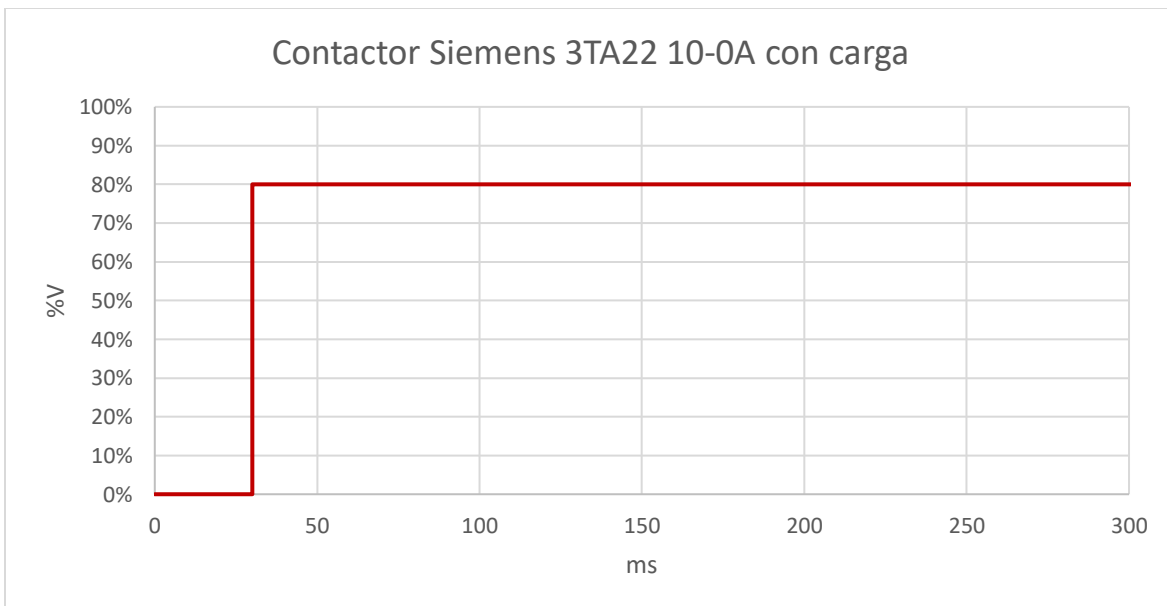


Gráfico 4.9 Curva de robustez contactor Siemens 3TA22 con carga.

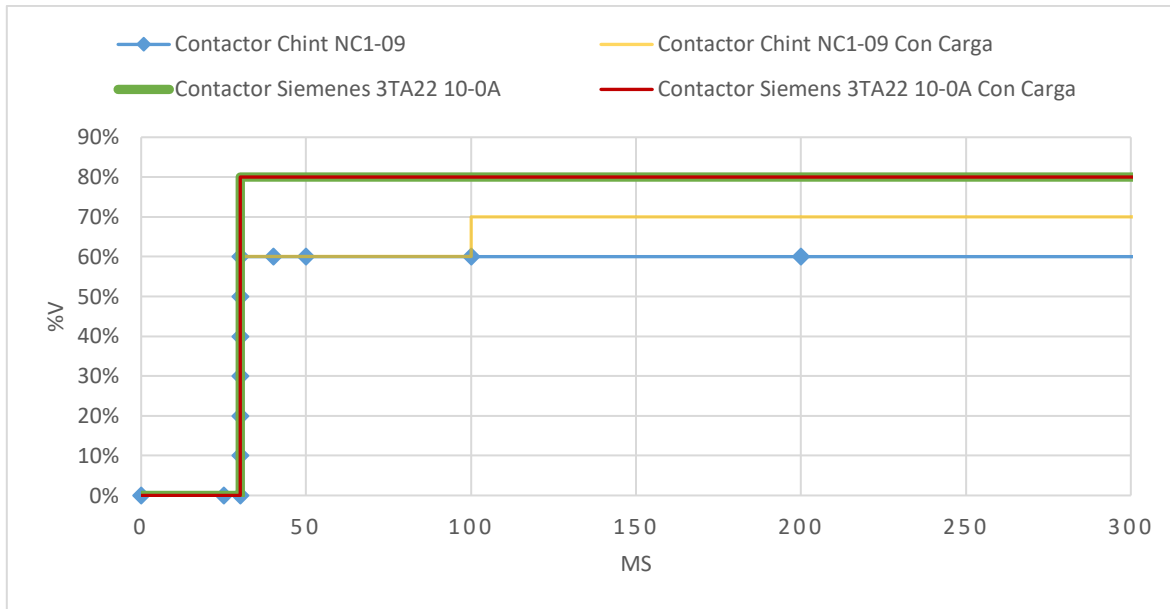


Gráfico 4.10 Curva de robustez comparativa contactores.

El contactor con mayor robustez es el chint NC1-09 teniendo una mayor capacidad para soportar huecos de tensión, aun así, ninguno de los equipos puesto en estudio cumple los parámetros mínimos según las normas IEC61000-4-11 y SEMI F47.

- **PLC OMRON SYSMAC CP1H**

TABLA 4.17 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON SYSMAC CP1H.

OMRON SYSMAC CP1H														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.18 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON SYSMAC CP1H.

PLC OMRON SYSMAC CP1H					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
200	0	✓	✓	✓	✓
400	0	✓	✓	✓	✓
450	0	✓	✓	✓	✓
460	0	✓	✓	✓	✓
470	0	✓	✓	✓	✓
470	10	✓	✓	✓	✓
470	20	✓	✓	✓	✓
470	30	✓	✓	✓	✓
470	40	✓	✓	✓	✓
1000	40	✓	✓	✓	✓
1200	40	✓	✓	✓	✓
1400	40	✓	✓	✓	✓

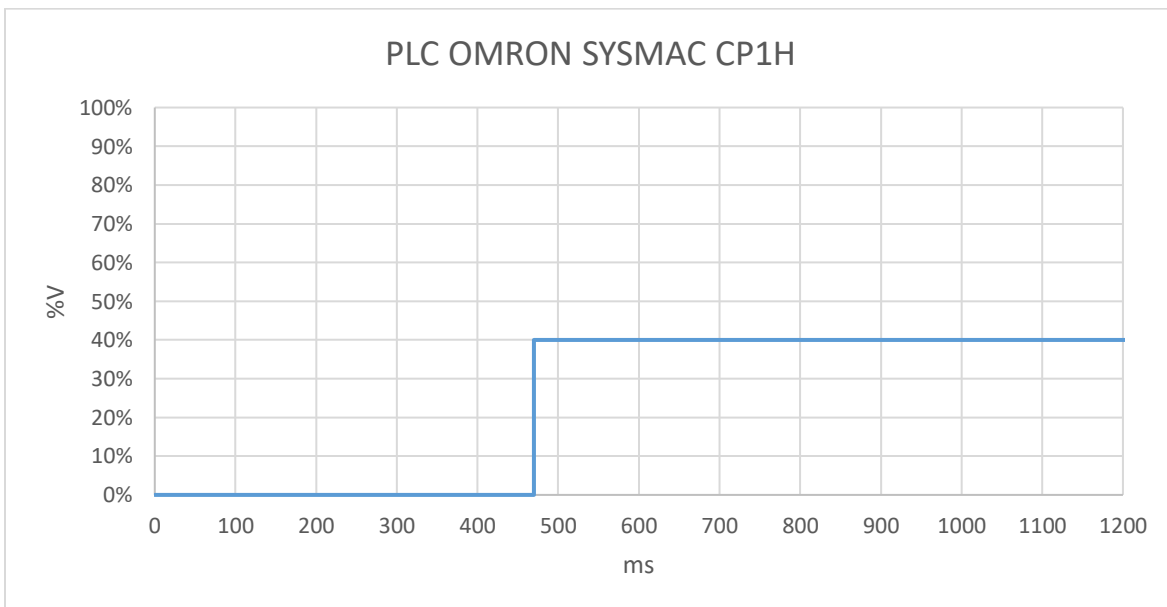


Gráfico 4.11 Curva de robustez PLC OMRON SYSMACCP1H.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 470 mili segundos, del 40% como variación mínima de trabajo se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- **PLC SIEMENS S7 200**

TABLA 4.19 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC SIEMENS S7 200.

PLC SIEMENS S7 200														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.20 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC SIEMENS S7 200.

PLC SIEMENS S7 200					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
200	0	✓	✓	✓	✓
500	0	✓	✓	✓	✓
1000	0	✓	✓	✓	✓
1010	0	X	X	X	X
1000	10	✓	✓	✓	✓
1000	20	✓	✓	✓	✓
1000	30	✓	✓	✓	✓
1050	30	✓	✓	✓	✓
1100	30	✓	✓	✓	✓
1150	30	✓	✓	✓	✓
1200	30	✓	✓	✓	✓
1400	30	✓	✓	✓	✓

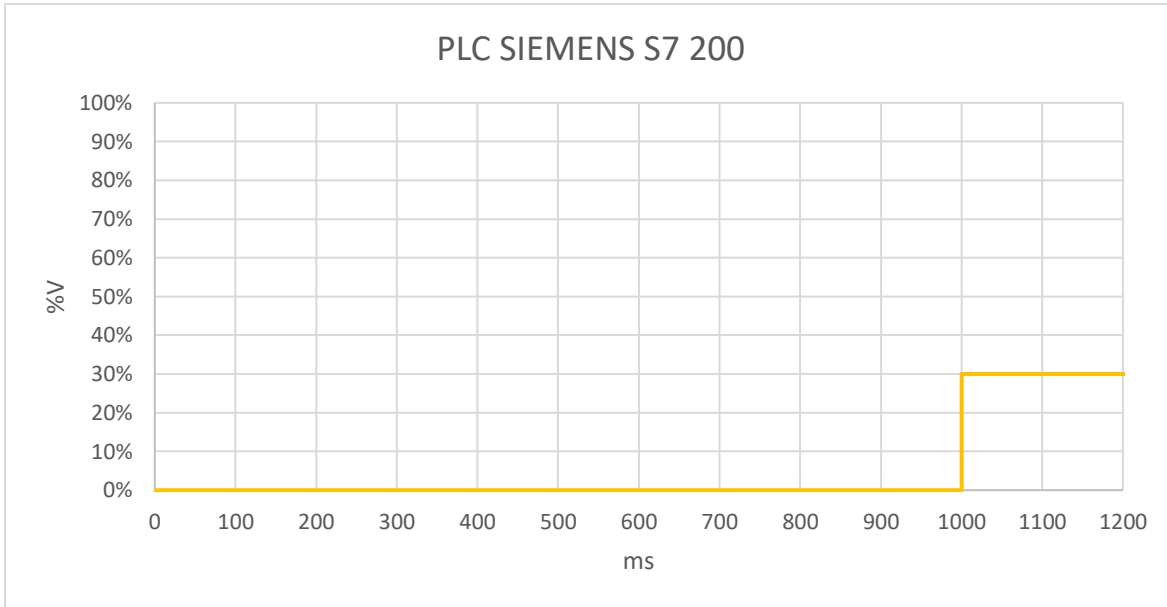


Gráfico 4.12 Curva de robustez PLC SIEMENS S7 200.

El equipo en estudio soporta variaciones de tensión del 0% en un lapso de 1000 ms y presenta una variación mínima de funcionamiento del 40 %, por lo tanto, el equipo se encuentra bajo las normas IEC61000-4-11 y SEMI F47.

- **PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2**

TABLA 4.21 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2

PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.22 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2

PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
200	0	X	X	X	X
150	0	X	X	X	X
140	0	✓	✓	✓	✓
150	10	✓	✓	✓	✓
160	10	X	X	X	X
160	20	X	X	X	X
160	30	X	X	X	X
160	40	✓	✓	✓	✓
250	40	✓	✓	✓	✓
1000	40	✓	✓	✓	✓
1200	40	✓	✓	✓	✓
1400	40	✓	✓	✓	✓

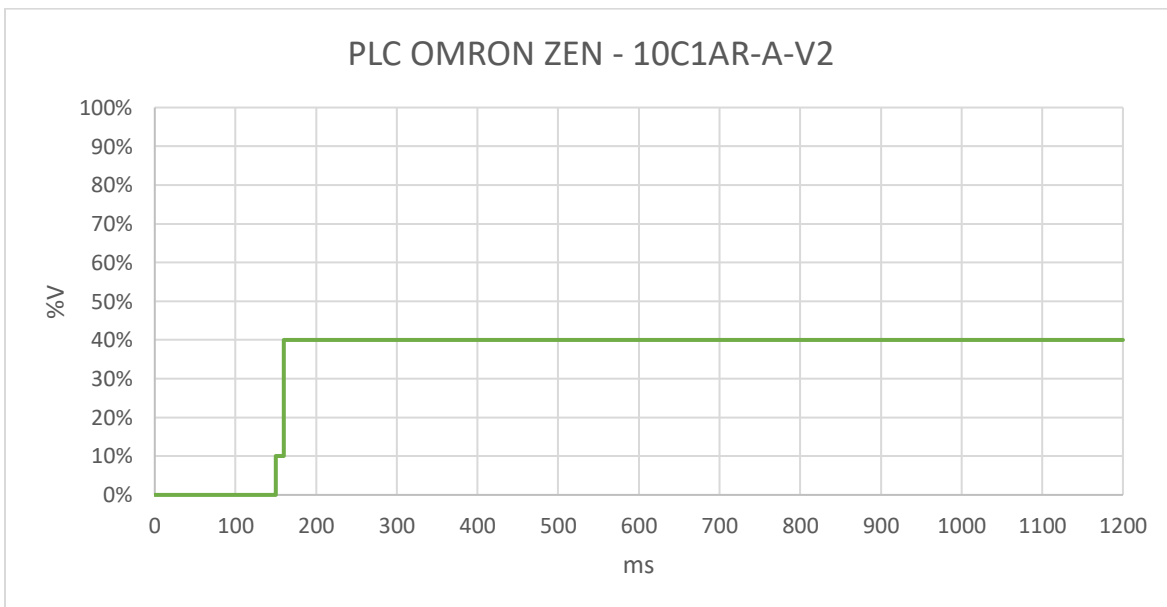


Gráfico 4.13 Curva de robustez PLC Omron ZEN-10C1AR-A-V2

El equipo en estudio soporta variaciones de tensión del 0% en un lapso de 140 ms y soporta variaciones del 10% a 150 ms con variación mínima de funcionamiento del 40% en 160 ms, por lo tanto, el equipo se encuentra en límite de lo que rige la norma.



Para realizar una prueba más exhaustiva se procedió a colocar una carga pequeña y realizar un pequeño circuito de funcionamiento para la activación de un motor pequeño de 14 Watts colocado a la salida del PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2, con la finalidad de conocer como esta carga afectan el funcionamiento del equipo los resultados se presentan a continuación.

TABLA 4.23 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2 CON CARGA.

PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2 Con Carga														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.24 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2 CON CARGA.

PLC OMRON ZEN-10C1AR-A-V2 Con Carga					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
110	0	✓	✓	✓	✓
120	0	X	X	X	X
120	10	X	X	X	X
120	20	X	X	X	X
120	30	X	X	X	X
120	40	✓	✓	✓	✓
130	40	✓	✓	✓	✓
160	40	✓	✓	✓	✓
250	40	✓	✓	✓	✓
1000	40	✓	✓	✓	✓
1200	40	✓	✓	✓	✓
1400	40	✓	✓	✓	✓

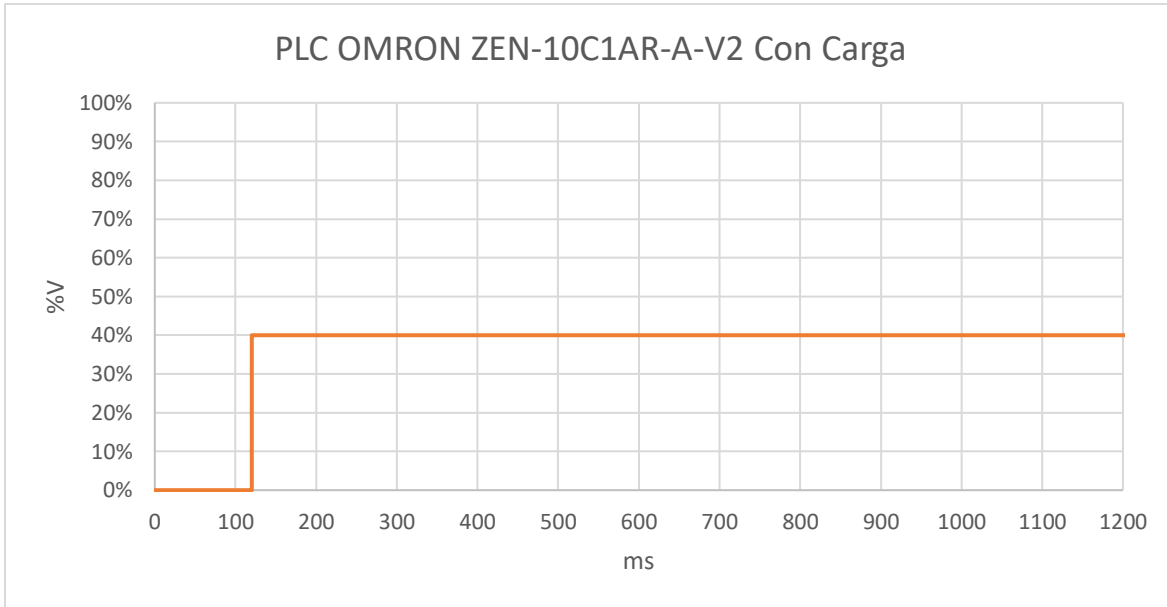


Gráfico 4.14 Curva de robustez PLC Omron ZEN-10-C1AR-A-V2 Con Carga.

El equipo al tener una carga colocada en su salida, podemos observar que como varia ligeramente sus resultados con respecto a la prueba anterior ahora, el equipo soporta variación de 0% del voltaje nominal a un tiempo 110 ms y con variación mínima de funcionamiento al 40% con lo cual el equipo aun con una carga cumple con las normas IEC61000-4-11 y SEMI F47.

- **PLC MOELLER EASY 412-AC-RC**

TABLA 4.25 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC MOELLER EASY 412-AC-RC.

PLC Moeller EASY 412-AC-RC														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.26 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC MOELLER EASY 412-AC-RC.

Moeller EASY 412-AC-RC					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
200	0	✓	✓	✓	✓
210	0	✓	✓	✓	✓
220	0	✓	✓	✓	✓
230	0	X	X	X	X
230	10	X	X	X	X
230	20	X	X	X	X
230	30	X	X	X	X
230	40	X	X	X	X
230	50	X	X	X	X
230	60	X	X	X	X
230	70	✓	✓	✓	✓
400	70	✓	✓	✓	✓
1000	70	✓	✓	✓	✓

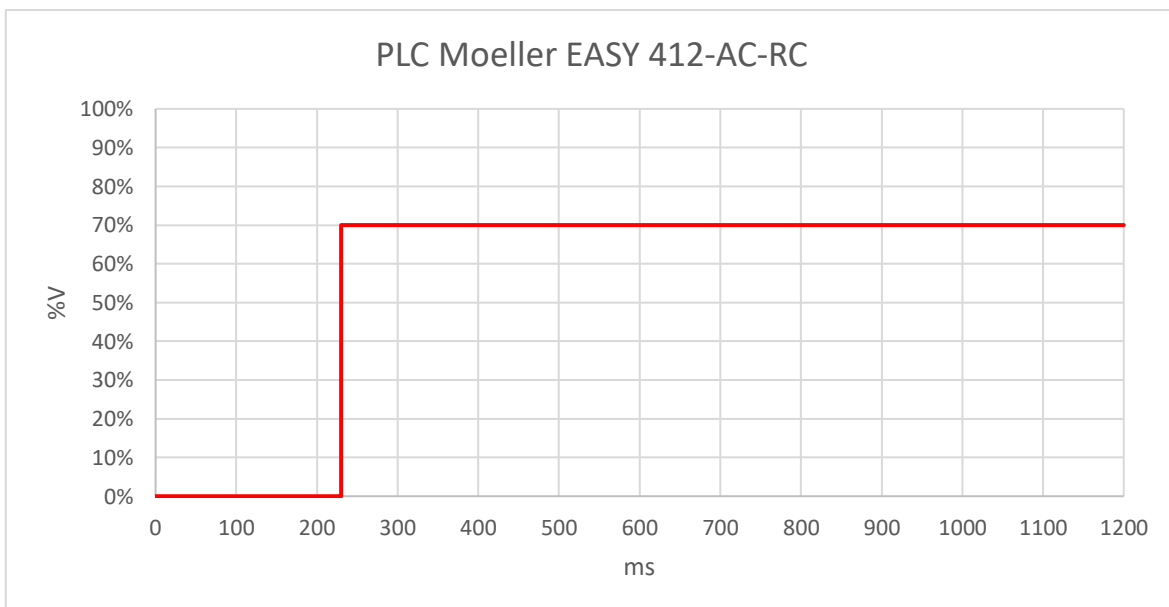


Gráfico 4.15 Curva de robustez PLC Moeller EASY 412-AC-RC.

El equipo soporta variaciones de tensión del 0% V en un lapso de 0 a 220 ms, y con variación mínima de funcionamiento en 70% del voltaje nominal en un periodo de tiempo de 230 ms, por lo que el equipo en cuestión cumple los parámetros de IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- **PLC OMRON SYSMAC CPM2A**

TABLA 4.27 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON SYSMAC CPM2A.

PLC OMRON SYSMAC CPM2A														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.28 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON SYSMAC CPM2A.

OMRON SYSMAC CPM2A					
Duracion de sag (mS)	Variacion de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
200	0	✓	✓	✓	✓
300	0	✓	✓	✓	✓
500	0	✓	✓	✓	✓
700	0	✓	✓	✓	✓
710	0	✓	✓	✓	✓
720	0	✓	✓	✓	✓
740	0	✓	✓	✓	✓
750	0	X	X	X	X
750	10	X	X	X	X
750	20	✓	✓	✓	✓
760	20	✓	✓	✓	✓
800	20	✓	✓	✓	✓
1000	20	✓	✓	✓	✓
1500	20	✓	✓	✓	✓

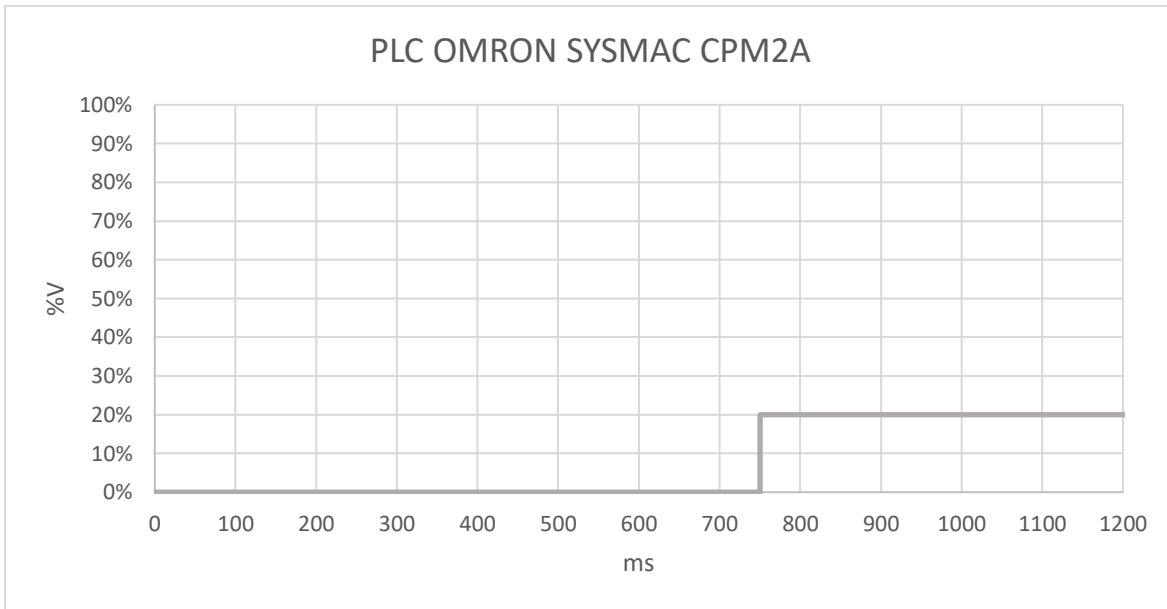


Gráfico 4.16 Curva de robustez PLC OMRON SYSMAC COM2A.

El equipo en estudio soporta una variación de tensión de 0% en un lapso de 0 a 740 ms y una variación mínima de funcionamiento en un tiempo de 750 ms con una variación de voltaje de 20%, siendo un equipo bastante robusto ya que el equipo sigue funcionando correctamente con una variación del voltaje del 20%, con lo que el equipo está dentro de los parámetros establecidos por las normas IEC y SEMIF.

- **PLC SIEMENS S7 300**

TABLA 4.29 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC SIEMENS S7 300.

PLC SIEMENS S7 300														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.30 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC SIEMENS S7 300.

Siemens S7 300					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
200	0	✓	✓	✓	✓
500	0	✓	✓	✓	✓
510	0	✓	✓	✓	✓
520	0	✓	✓	✓	✓
530	0	X	X	X	X
530	10	✓	✓	✓	✓
540	10	✓	✓	✓	✓
550	10	✓	✓	✓	✓
560	10	X	X	X	X
560	20	✓	✓	✓	✓
570	20	✓	✓	✓	✓
580	20	✓	✓	✓	✓
600	20	✓	✓	✓	✓
700	20	✓	✓	✓	✓
1000	20	✓	✓	✓	✓
1500	20	✓	✓	✓	✓

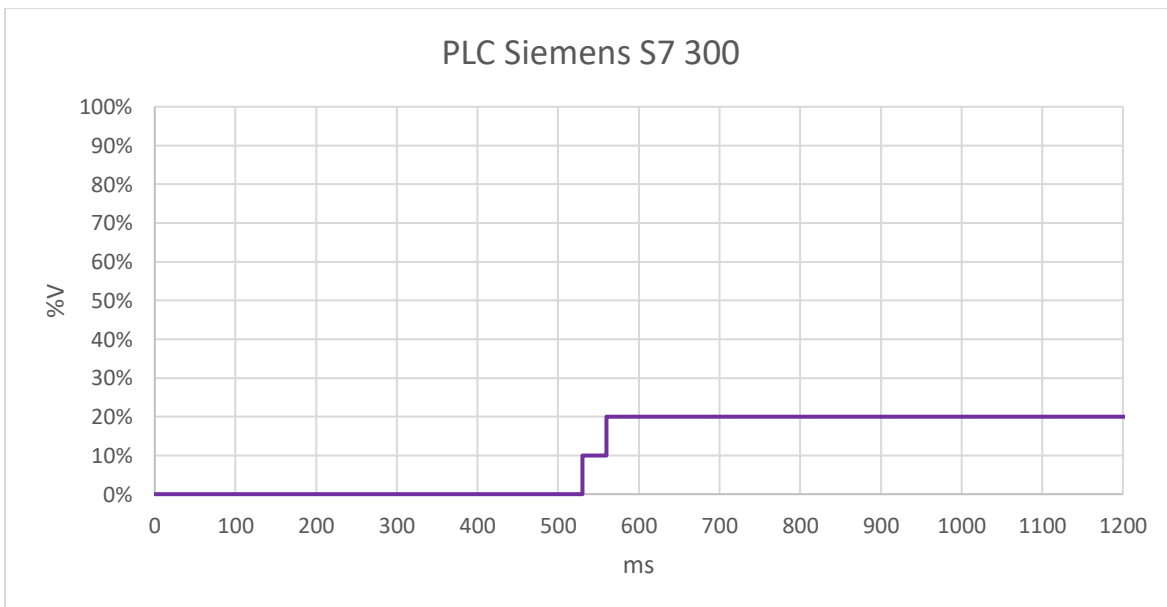


Gráfico 4.17 Curva de robustez PLC Siemens S7 300.

En la siguiente figura se muestra los datos obtenido del equipo en estudio donde este soporta variaciones de tensión del 0% en un lapso de 0 a 520 ms y de 10% del voltaje nominal en un tiempo de 530 a 550 ms de tiempo de sag y con una variación mínima de funcionamiento en 20% V a un tiempo de 560 ms. Por lo que el equipo se encuentra dentro de las normas establecidas.

- **PLC OMRON SYSMAC CPM1**

TABLA 4.31 DATOS DE PRUEBA SEGÚN NORMA PLC OMRON SYSMAC CPM1.

PLC OMRON SYSMAC CPM1														
Niveles de prueba IEC 61000-4-11														
N°	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	%v	t(ms)												
1	80	5000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	70	500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	40	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	16.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

TABLA 4.32 DATOS DE PRUEBA CURVA DE ROBUSTEZ PLC OMRON SYSMAC CPM1.

OMRON SYSMAC CPM1					
Duración de sag (mS)	Variación de voltaje (%V)	Pruebas			
		1	2	3	P
50	0	✓	✓	✓	✓
100	0	✓	✓	✓	✓
200	0	✓	✓	✓	✓
300	0	✓	✓	✓	✓
540	0	✓	✓	✓	✓
550	0	X	X	X	X
550	10	X	X	X	X
550	20	✓	✓	✓	✓
570	20	X	X	X	X
570	30	X	X	X	X
570	40	✓	✓	✓	✓
1500	40	✓	✓	✓	✓

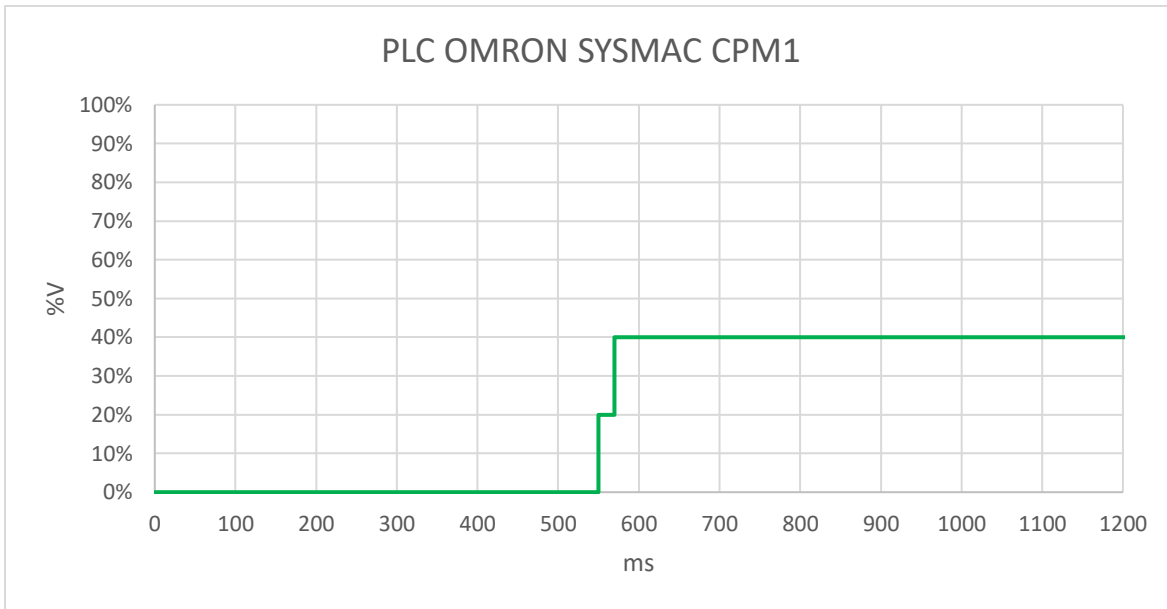


Gráfico 4.18 Curva de robustez PLC OMRON SYSMAC CPM1.

El equipo puesto a prueba soporta un hueco de tensión de 0 voltios en un lapso de tiempo 0 a 540 ms y del 20% del voltaje nominal en un tiempo de sag de 550 ms y con variación mínima de funcionamiento con un voltaje del 40% en un tiempo de 570 ms, por lo que el equipo está dentro de los parámetros establecidos por las normas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

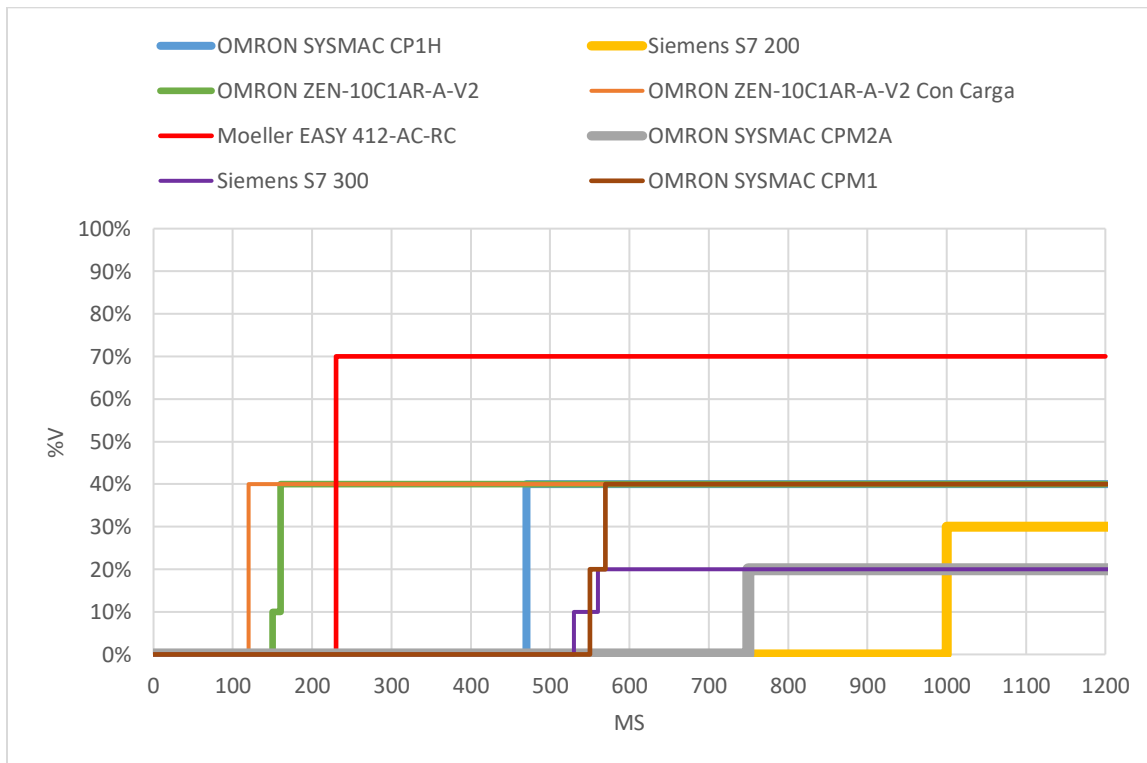


Gráfico 4.19 Curva de robustez comparativa PLC.



## **4.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE ROBUSTEZ CON HUECOS DE TENSIÓN MEDIDOS EN LA EIE.**

Con los datos obtenidos anteriormente de las pruebas de robustez, se puede observar cuales equipos son sensibles a estas variaciones de voltaje y sus límites de funcionamiento cuando un sag es aplicado. Para conocer si estos límites de operación son sobre pasados se hizo un estudio en la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de El Salvador. Este estudio consiste en realizar varias mediciones en el tablero general de la escuela con tal de conocer si este edificio y su instalación eléctrica son afectados por huecos de tensión y cuáles de estos dañarían los equipos en estudio.

Las mediciones realizadas se hicieron entre las fechas 16 de julio del 2019 al 7 de octubre del 2019 tomando como resultado cinco semanas de medición,

1. Semana 1: 16 de Julio de 2019 al 26 de Julio del 2019.
2. Semana 2: 12 de agosto del 2019 al 19 de agosto del 2019.
3. Semana 3: 19 de agosto del 2019 al 26 de agosto del 2019.
4. Semana 4: fechas 28 de agosto del 2019 al 4 de septiembre del 2019.
5. Semana 5: del 30 septiembre del 2019 al 7 de octubre del 2019.

En cada semana de estudio se realizarán tres tablas comparativas, la primera tabla con los equipos LOGO's y contactores, la segunda tabla contiene los equipos PLC puestos a prueba y la tercera tabla de cada apartado contendrá los equipos que se pusieron a prueba colocándosele una pequeña carga a sus salidas, cabe mencionar que no ha todos los equipos se le realizó dicha prueba esto es debido a que esos equipos tenían una programación y por razones de seguridad no se nos dejó borrar dicha programación y no se pudo realizar la prueba con carga, esta fue una de nuestras limitantes en este trabajo de graduación

Para realizar este análisis con los datos obtenidos de los huecos de tensión producidos por la escuela de ingeniería eléctrica y comparándose con las curvas de robustez ya antes obtenidas en este documento se simuló que equipos saldrían de funcionamiento si se utilizaran en esta instalación eléctrica.

### **4.2.1 SEMANA 1: 16 DE JULIO AL 26 DE JULIO DEL 2019.**

En la siguiente imagen se muestra los diferentes eventos obtenidos durante esa semana de medición junto a su respectiva curva ITIC.

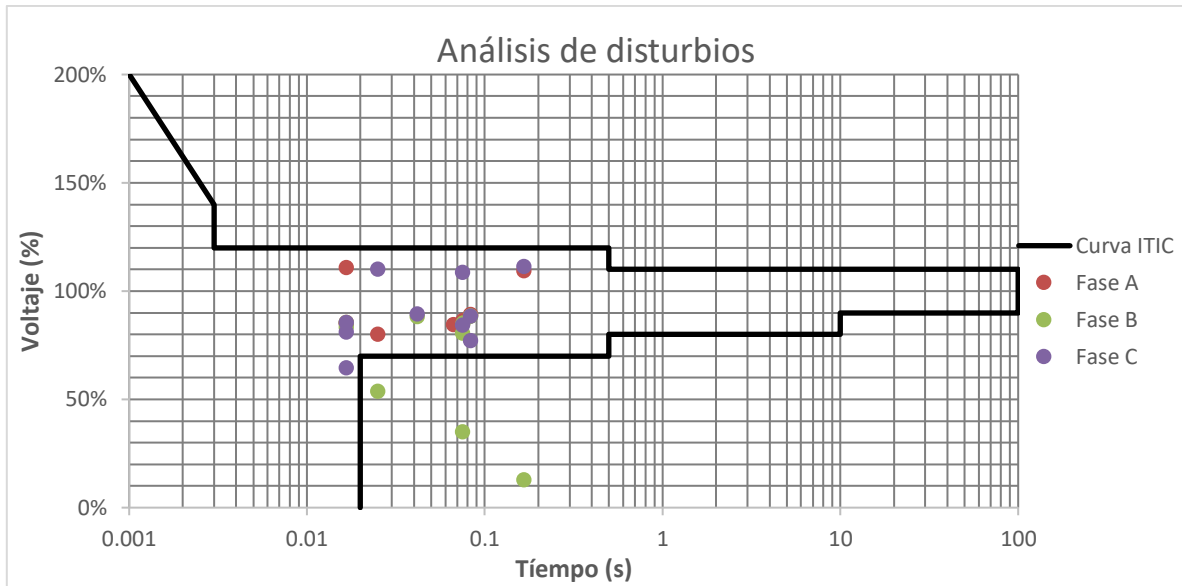


Gráfico 4.20 Curva ITIC datos semana 1.

La tabla mostrada a continuación presenta todos los huecos de tensión que resultaron la primera semana de medición, junto con su respectiva fecha y hora del evento, así como la magnitud de voltaje y duración del sag y en qué fase se encuentra.

TABLA 4.33 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 1.

Fecha	Hora	Fase A [V]	Fase B [V]	Fase C [V]	Duración (ms)	Descripción
20/07/2019	06:26 a. m	114.14	96.6	101.12	75	Hueco Instantáneo Fase A y B
20/07/2019	08:04 a. m	123.9	125.06	102.41	16	Hueco Instantáneo Fase C
20/07/2019	12:54 p. m	96.14	115.58	119.66	25	Hueco Instantáneo Fase A
20/07/2019	05:23 p. m	138.43	15.345	138.32	160	Hueco Instantáneo Por Debajo de la Curva de Tolerancia Fase B y Sobretensión Fase A y C
20/07/2019	05:23 p. m	101.29	121.86	114.95	66	Hueco Instantáneo Fase A
21/07/2019	06:28 a. m	131.75	41.9	137.38	74	Hueco Instantáneo Por Debajo de la Curva de Tolerancia Fase B y Sobretensión Fase C
21/07/2019	01:28 p. m	118.9	102.48	115.92	16	Hueco Instantáneo Fase B
22/07/2019	03:56 a. m	102.08	117.08	122.09	16	Hueco Instantáneo Fase A
22/07/2019	09:17 a. m	106.59	106.18	106.05	83	Hueco Instantáneo Fase A, B y C
23/07/2019	02:44 a. m	132.86	131.2	77.37	16	Hueco Instantáneo Fase C
23/07/2019	09:08 p. m	122.22	99.89	116.9	16	Hueco Instantáneo Fase B
23/07/2019	08:58 p. m	128.11	64.52	135.71	24	Hueco Instantáneo Por Debajo de la Curva de Tolerancia Fase B
23/07/2019	09:55 p. m	107.08	106	92.36	83	Hueco Instantáneo Fase A, B y C
24/07/2019	10:04 a. m	120.24	90.85	114.74	16	Hueco Instantáneo Fase B
24/07/2019	05:32 a. m	108.36	105.94	107.2	41	Hueco Instantáneo Fase A, B y C
24/07/2019	04:29p. m	115.43	118.49	97.26	16	Hueco Instantáneo Fase C
24/07/2019	11:48 p. m	103.85	102.13	116.76	75	Hueco Instantáneo Fase A y B

Cabe destacar que en la presente semana de medición hubo tres eventos por debajo de la curva de tolerancia con un valor de voltaje RMS muy por debajo de los límites establecidos por la curva ITIC.

La siguiente figura muestra esos huecos de tensión con su respectiva magnitud y duración.

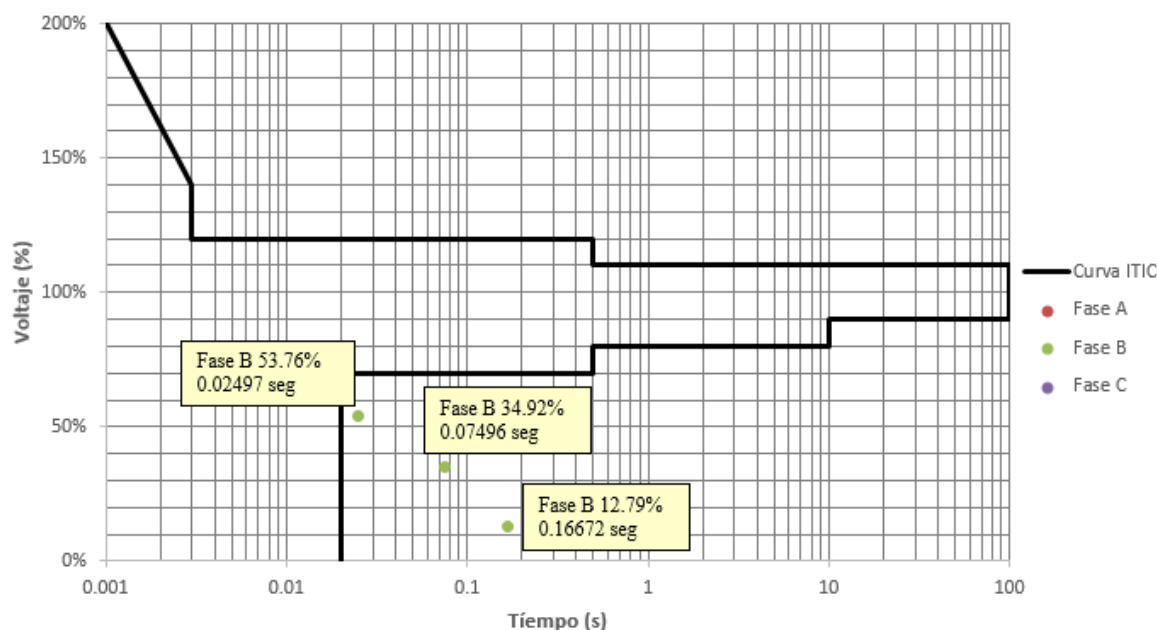


Gráfico 4.21 Huecos de tensión por debajo de curva de tolerancia semana 1.

Los tres huecos de tensión marcados en la figura mostrada se encuentran por debajo de la curva de tolerancia se puede apreciar en la imagen que los tres sag's están por debajo del 60 % del voltaje nominal y tienen una duración mayor a 24 ms.

En totalidad en esa semana se contabilizaron 25 huecos de tensión, en los cuales tres de ellos se encuentran por debajo de la curva de tolerancia. Los datos se presentan en la siguiente tabla resumen con su respectiva magnitud de sag y su duración, así como la fase en la que esta se produjo.

TABLA 4.34 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 1.

Huecos de tensión semana 19 de Julio al 26 de Julio del 2019							
N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase
1	80.5	75	B	14	83.24	16	B
2	84.26	75	C	15	53.76	24	B
3	80.11	25	A	16	89.23	83	A
4	85.34	16	C	17	75.7	83	B
5	12.78	160	B	18	76.96	83	C
6	84.4	66	A	19	75.7	16	B
7	34.91	74	B	20	90.3	41	A
8	85.4	16	B	21	88.28	41	B
9	85.06	16	A	22	89.33	41	C
10	88.82	83	A	23	81.05	16	C

11	88.48	83	B	24	86.54	75	A
12	88.37	83	C	25	85.1	75	B
13	64.47	16	C				

Con los datos obtenidos en las mediciones se procedió a realizar una comparación de los huecos de tensión obtenidos y los equipos puestos a prueba con el generador de sag y los datos se presentan a continuación.

TABLA 4.35 ANÁLISIS DE EQUIPOS LOGO'S Y CONTACTORES CON MEDICIONES SEMANA 1.

Huecos de tensión			Equipos de Ensayo				
			LOGO			Contactores	
Magnitud (% V)	Duración (ms)	Fase	230 RCE	230 RC	230 RCL	Chint NC1-09	Siemens 3TA22
80.5	75	B	✓	✓	✓	✓	✓
84.26	75	C	✓	✓	✓	✓	✓
80.11	25	A	✓	✓	✓	✓	✓
85.34	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
12.78	160	B	X	X	X	X	X
84.4	66	A	✓	✓	✓	✓	✓
34.91	74	B	✓	✓	✓	X	X
85.4	16	B	✓	✓	✓	✓	✓
85.06	16	A	✓	✓	✓	✓	✓
88.82	83	A	✓	✓	✓	✓	✓
88.48	83	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.37	83	C	✓	✓	✓	✓	✓
64.47	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
83.24	16	B	✓	✓	✓	✓	✓
53.76	24	B	✓	✓	✓	✓	✓
89.23	83	A	✓	✓	✓	✓	✓
75.7	83	B	✓	✓	✓	✓	✓
76.96	83	C	✓	✓	✓	✓	✓
75.7	16	B	✓	✓	✓	✓	✓
90.3	41	A	✓	✓	✓	✓	✓
88.28	41	B	✓	✓	✓	✓	✓
89.33	41	C	✓	✓	✓	✓	✓
81.05	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
86.54	75	A	✓	✓	✓	✓	✓
85.1	75	B	✓	✓	✓	✓	✓

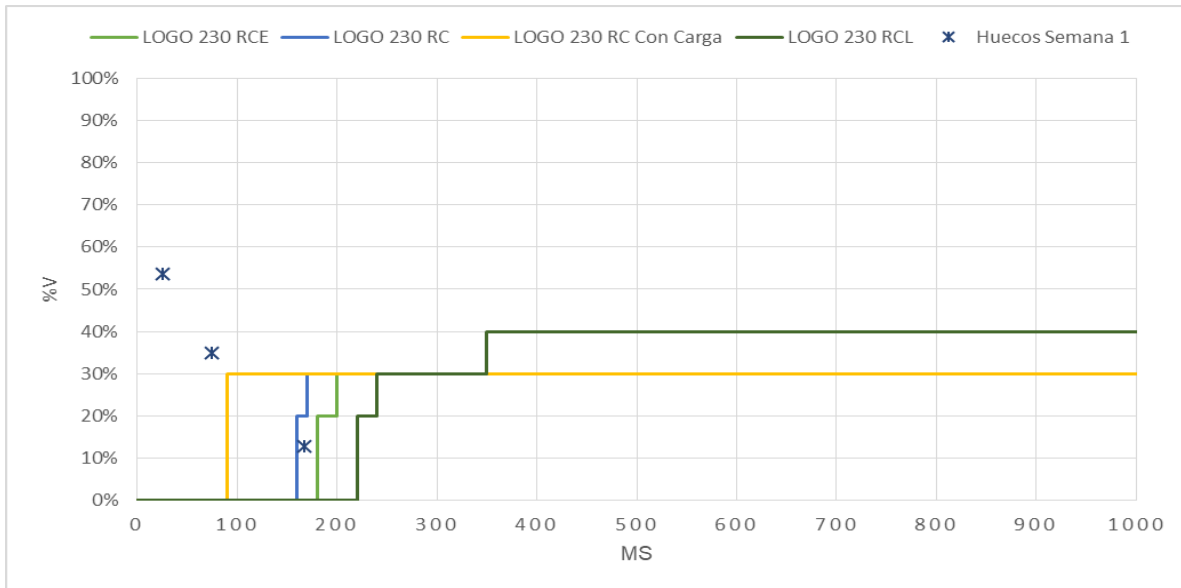


Gráfico 4.22 Huecos críticos semana 1 vs curva de robustez de logos.

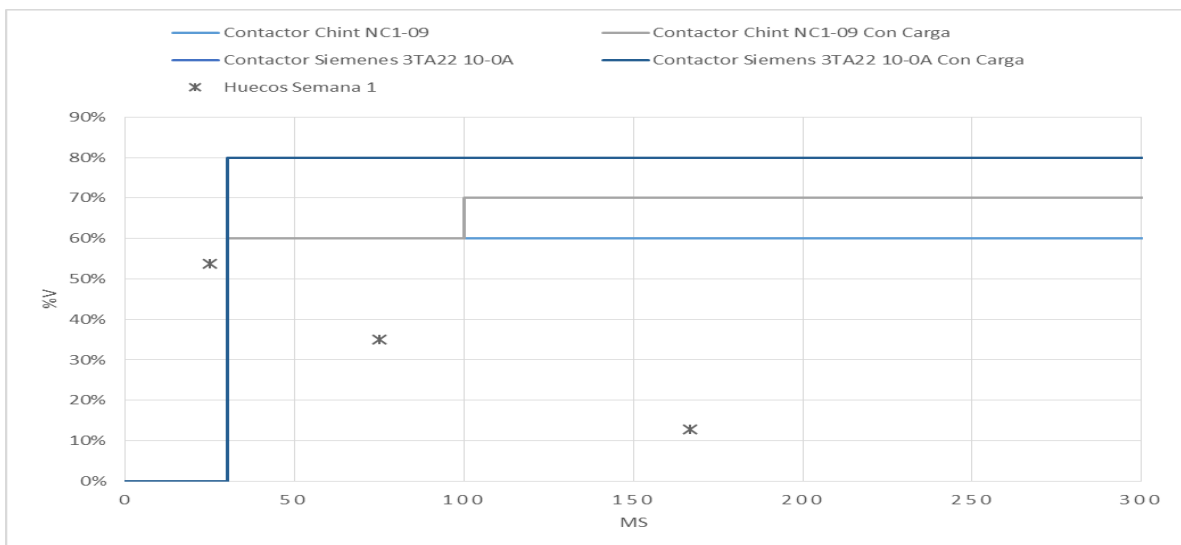


Gráfico 4.23 Huecos críticos semana 1 vs curva de robustez contactores.

Las zonas mostradas con un tono gris son los equipos que salieron de operación durante el evento. Como se puede observar en la tabla todos los equipos salieron de operación durante el hueco de tensión de magnitud 12.78% con duración 160 ms y los dos contactores salieron de operación durante el hueco de tensión de 34.91% con duración 74 ms.

TABLA 4.36 ANÁLISIS DE EQUIPOS DE PRUEBA CON MEDICIONES SEMANA 1 EQUIPOS PLC.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo						
Magnitud (% V)	Duración (ms)	Fase	PLC						
			Omron CP1H	Siemens S7 200	Omron Zen	Moeller EASY	Omron CPM2A	Siemens S7 300	Omron CPM1
80.5	75	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.26	75	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
80.11	25	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.34	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12.78	160	B	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
84.4	66	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
34.91	74	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.4	16	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.06	16	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.82	83	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.48	83	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.37	83	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
64.47	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
83.24	16	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
53.76	24	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.23	83	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
75.7	83	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
76.96	83	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
75.7	16	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
90.3	41	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.28	41	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.33	41	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
81.05	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.54	75	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.1	75	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

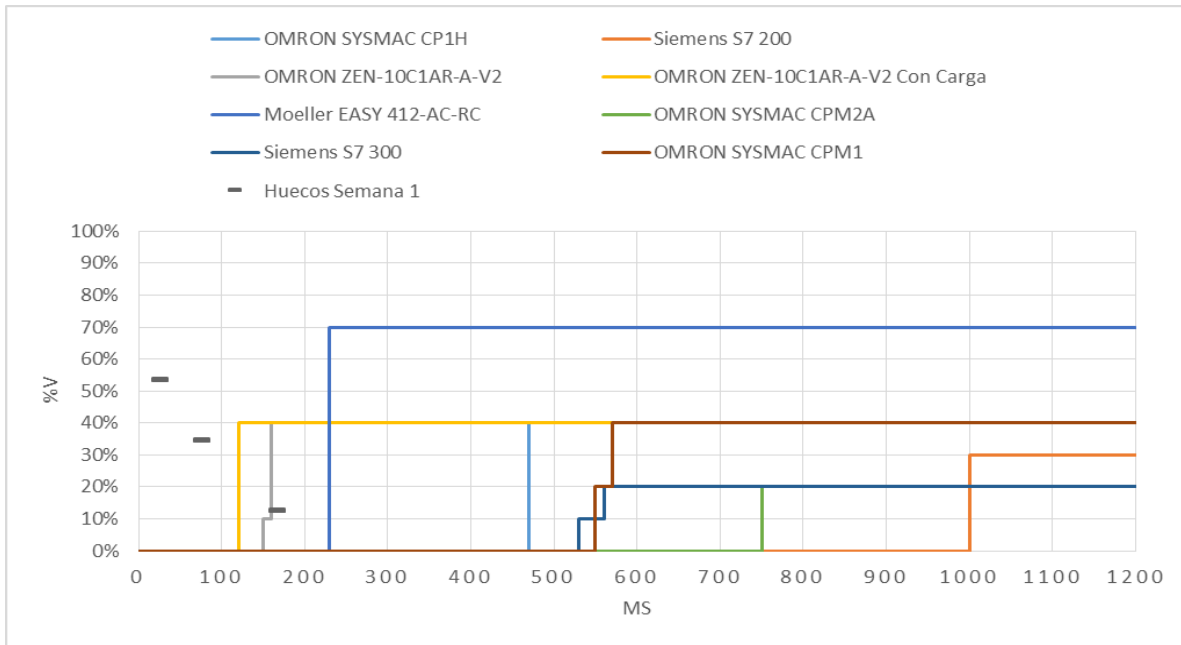


Gráfico 4.24 Huecos críticos semana 1 vs. curva de robustez PLCs.

Analizando la tabla anterior para equipos PLC puestos a prueba, se puede observar que solo el PLC OMRON ZEN salió de operación durante esta semana de mediciones, en el hueco de tensión de magnitud 12.78% con duración 160 ms cabe destacar que los demás equipos PLC no salieron de funcionamiento ni una vez en la semana de medición.

TABLA 4.37 ANÁLISIS DE EQUIPOS DE PRUEBA CON CARGA CON MEDICIONES SEMANA 1.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo			
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	LOGO	Contactores		PLC
			230 RC	Chint NC1-09	Siemens 3TA22	Omron Zen-10C1AR-A-V2
80.5	75	B	✓	✓	✓	✓
84.26	75	C	✓	✓	✓	✓
80.11	25	A	✓	✓	✓	✓
85.34	16	C	✓	✓	✓	✓
12.78	160	B	X	X	X	X
84.4	66	A	✓	✓	✓	✓
34.91	74	B	✓	X	X	✓
85.4	16	B	✓	✓	✓	✓
85.06	16	A	✓	✓	✓	✓
88.82	83	A	✓	✓	✓	✓
88.48	83	B	✓	✓	✓	✓
88.37	83	C	✓	✓	✓	✓
64.47	16	C	✓	✓	✓	✓
83.24	16	B	✓	✓	✓	✓
53.76	24	B	✓	X	X	✓
89.23	83	A	✓	✓	✓	✓
75.7	83	B	✓	✓	X	✓
76.96	83	C	✓	✓	X	✓
75.7	16	B	✓	✓	X	✓
90.3	41	A	✓	✓	✓	✓
88.28	41	B	✓	✓	✓	✓
89.33	41	C	✓	✓	✓	✓
81.05	16	C	✓	✓	✓	✓
86.54	75	A	✓	✓	✓	✓
85.1	75	B	✓	✓	✓	✓

Las zonas marcadas en gris son los equipos que salieron de funcionamiento en la semana de medición, como se aprecia en la tabla 4.37, son equipos puestos a pruebas con la diferencia que ha estos se les aplico una carga pequeña, los resultados tienen una leve variación a los ya antes vistos ya que tenemos más equipos saliendo de operación durante la semana 1 de medición, siendo el contactor SIEMENS 3TA22 el menos robusto de los equipos en estudio ya que salió de operación 9 veces y con un funcionamiento similar el contactor CHINT NC1-09 saliendo de operación 3 veces en la presente semana, cabe destacar que todos los equipos salieron de funcionamiento durante el hueco de tensión de magnitud 12.78% con duración 160 ms.



#### 4.2.2 SEMANA 2: 12 DE AGOSTO AL 19 DE AGOSTO DEL 2019.

En la siguiente imagen se muestra los diferentes eventos obtenidos durante esa semana de medición junto a su respectiva curva ITIC.

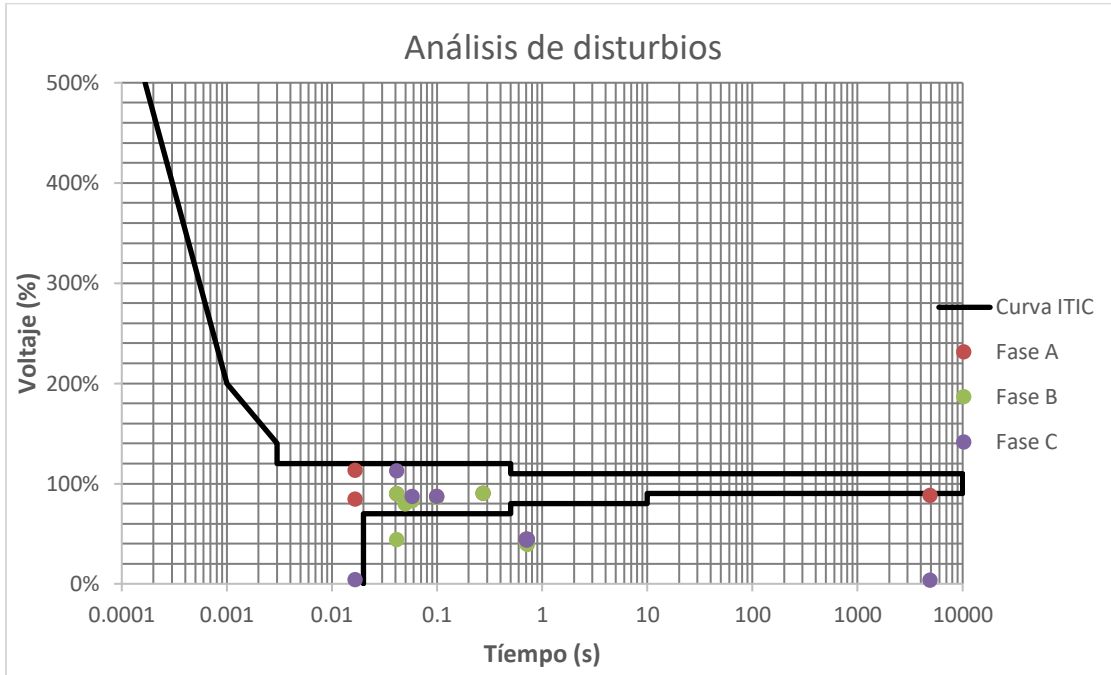


Gráfico 4.25 Curva ITIC semana 2.

Para apreciar mejor la imagen se procedió hacer un zoom en las zonas de interés.

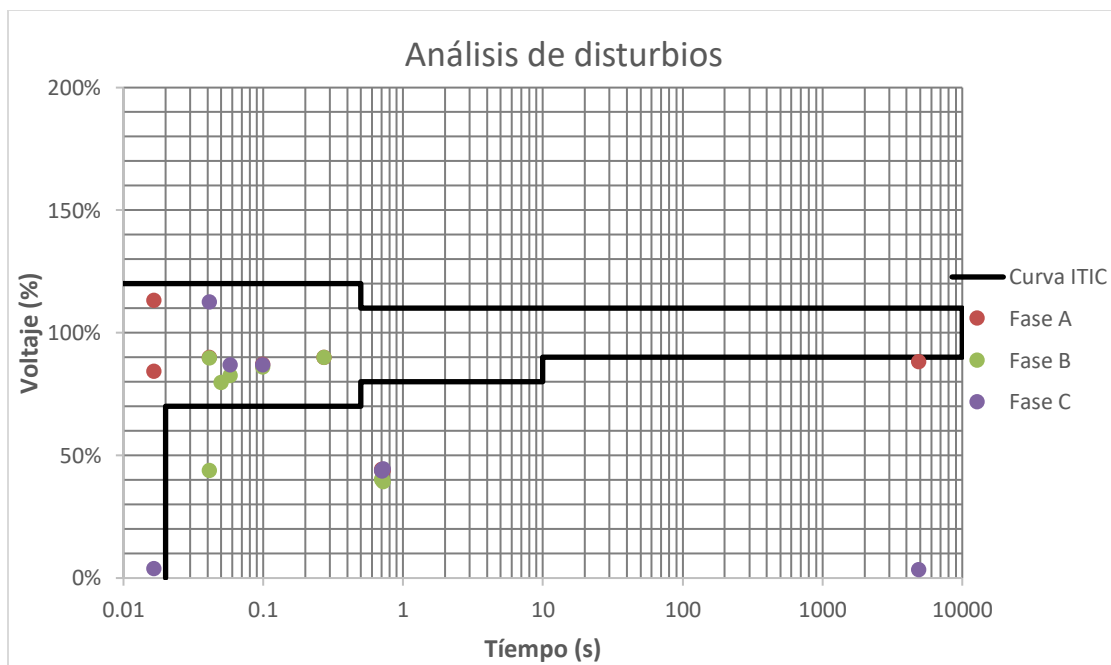


Gráfico 4.26 Puntos de interés resaltados curva ITIC semana 2.

La tabla que se muestra a continuación se presenta un detalle de los huecos de tensión obtenidos en esa semana de medición con respectiva descripción, fecha, hora, duración y magnitud.

TABLA 4.38 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 2.

Fecha	Hora	Fase A [V]	Fase B [V]	Fase C [V]	Duración (ms)	Descripción
14/08/2019	06:44 a.m.	127.31	52.53	134.98	41	Hueco instantáneo Fase B y Sobretensión Fase C
15/08/2019	07:32 a.m.	135.69	128.37	30.082	16	Hueco instantáneo Fase C y Sobretensión Fase A
15/08/2019	07:32 a.m.	127.31	121.67	4.586	16	Hueco instantáneo Fase C
15/08/2019	07:32 a.m.	127.31	121.67	4.586	4932000	Interrupción Temporal Fase C
15/08/2019	01:00 p.m.	107.73	107.54	108.52	41	Hueco Instantáneo Fases A, B y C
15/08/2019	06:13 a.m.	118.31	95.5	115.47	50	Hueco Instantáneo Fase B
15/08/2019	06:48 a.m.	115.81	98.97	104.1	58	Hueco instantáneo Fase B y C
16/08/2019	02:19 p.m.	104.45	103.18	104.06	100	Hueco Instantáneo Fases A, B y C
16/08/2019	10:53 a.m.	100.95	122.52	121.84	16	Hueco instantáneo Fase A
17/08/2019	04:14 a.m.	52.59	50.07	53.92	724	Hueco Momentáneo Fases A, B y C
17/08/2019	04:17 a.m.	52.09	48.5	52.17	716	Hueco Momentáneo Fases A, B y C
17/08/2019	04:15 a.m.	53.04	48.02	52.58	708	Hueco Momentáneo Fases A, B y C
17/08/2019	08:59 a.m.	107.93	107.89	109.85	275	Hueco instantáneo Fases A y B

Se presentaron 12 puntos que se encuentran por debajo de la curva de tolerancia, así como un evento pronunciado ya que, en el 15 de agosto del presente año, a la hora 7:32 a.m. Hubo una interrupción temporal del servicio en la fase C con una duración de 4932 segundos (82.20 minutos) y una magnitud de voltaje 3.209% (4.58 Voltios)

La siguiente figura muestra esos puntos de interés, así como la interrupción que se produjo.

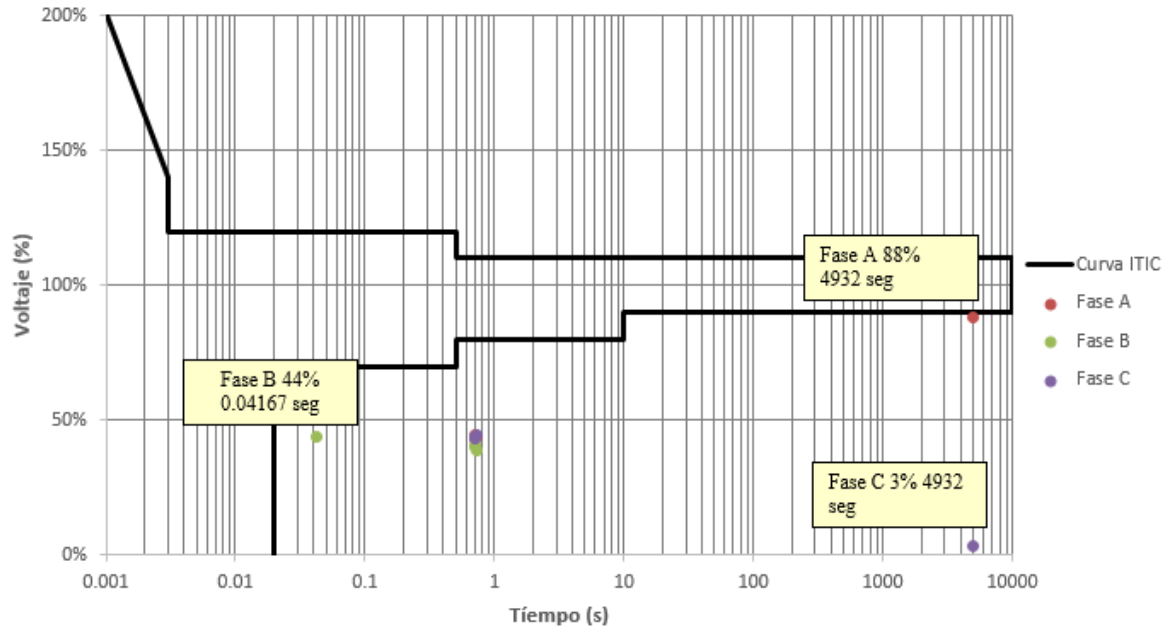


Gráfico 4.27 Hucos de tensión por debajo de la curva ITIC semana 2.

En la figura anterior se puede observar varios puntos de interés que no se marcan estos es debido a que hubo varios eventos en la misma hora por lo que los puntos se encuentran muy cerca entre sí. Para un mejor estudio se procedió a realizar un zoom en esos puntos para visualizar mejor las magnitudes y duraciones de esos sag's.

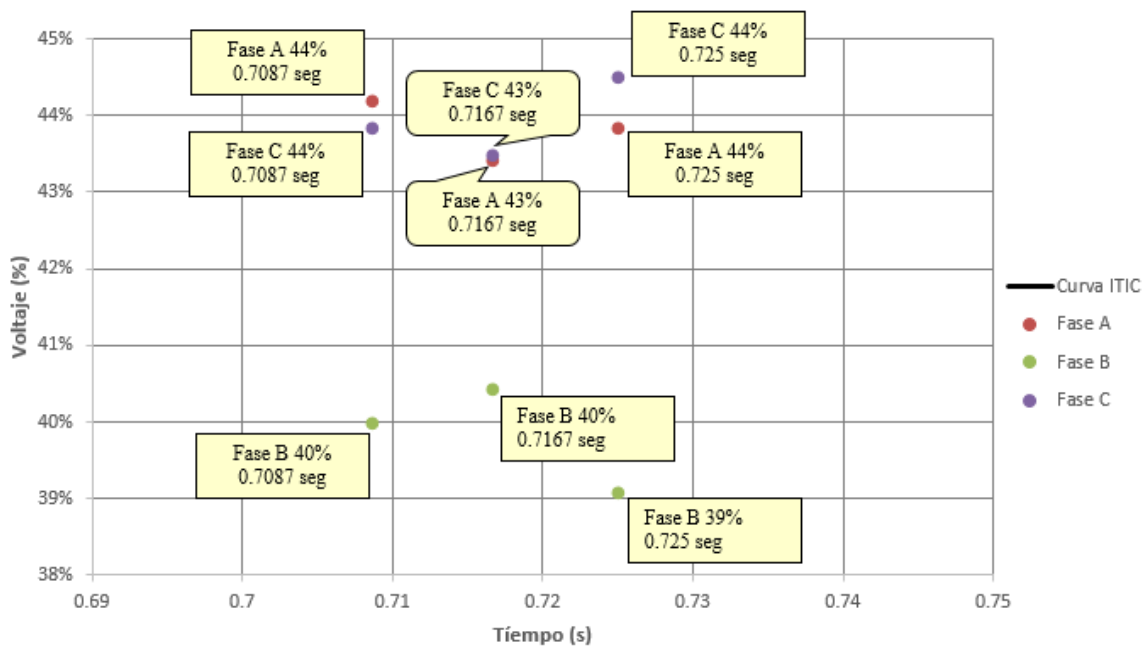


Gráfico 4.28 Puntos resaltos de huecos de tensión por debajo de la curva ITIC semana 2.

Con una mejor visualización se observa los 9 puntos de interés con su respectiva magnitud y duración.

En totalidad esta semana de medición hubo 25 huecos de tensión donde 12 de ellos se encuentran por debajo de la curva de tolerancia. La siguiente tabla muestra un resumen de estos huecos de tensión con su respectiva magnitud y duración, así como su fase en la que se produjo.

TABLA 4.39 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 2.

Huecos de tensión 12 de agosto al 19 de agosto del 2019							
N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase
1	43.77	41	B	14	44.93	724	C
2	25.06	16	C	15	43.4	716	A
3	3.82	16	C	16	40.41	716	B
4	3.82	4932000	C	17	43.47	716	C
5	89.77	41	A	18	44.2	708	A
6	89.61	41	B	19	40.04	708	B
7	90.43	41	C	20	43.81	708	C
8	79.58	50	B	21	87.04	100	A
9	82.47	58	B	22	85.98	100	B
10	86.75	58	C	23	86.71	100	C
11	84.12	16	A	24	89.94	275	A
12	43.82	724	A	25	89.9	275	B
13	41.72	724	B				

Con los datos obtenidos en las mediciones se procedió a realizar una comparación de los huecos de tensión obtenidos y los equipos puestos a prueba con el generador de sag y los datos se presentan a continuación.

TABLA 4.40 ANÁLISIS DE EQUIPO LOGO'S Y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 2.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo				
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	LOGO			Contactores	
			230 RCE	230 RC	230 RCL	Chint NC1-09	Siemens 3TA22
43.77	41	B	✓	✓	✓	X	X
25.06	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
3.82	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
3.82	4932000	C	X	X	X	X	X
89.77	41	A	✓	✓	✓	✓	✓
89.61	41	B	✓	✓	✓	✓	✓
90.43	41	C	✓	✓	✓	✓	✓
79.58	50	B	✓	✓	✓	✓	X
82.47	58	B	✓	✓	✓	✓	✓
86.75	58	C	✓	✓	✓	✓	✓
84.12	16	A	✓	✓	✓	✓	✓
43.82	724	A	✓	✓	✓	X	X
41.72	724	B	✓	✓	✓	X	X
44.93	724	C	✓	✓	✓	X	X
43.4	716	A	✓	✓	✓	X	X

40.41	716	B	✓	✓	✓	X	X
43.47	716	C	✓	✓	✓	X	X
44.2	708	A	✓	✓	✓	X	X
40.04	708	B	✓	✓	✓	X	X
43.81	708	C	✓	✓	✓	X	X
87.04	100	A	✓	✓	✓	✓	✓
85.98	100	B	✓	✓	✓	✓	✓
86.71	100	C	✓	✓	✓	✓	✓
89.94	275	A	✓	✓	✓	✓	✓
89.9	275	B	✓	✓	✓	✓	✓

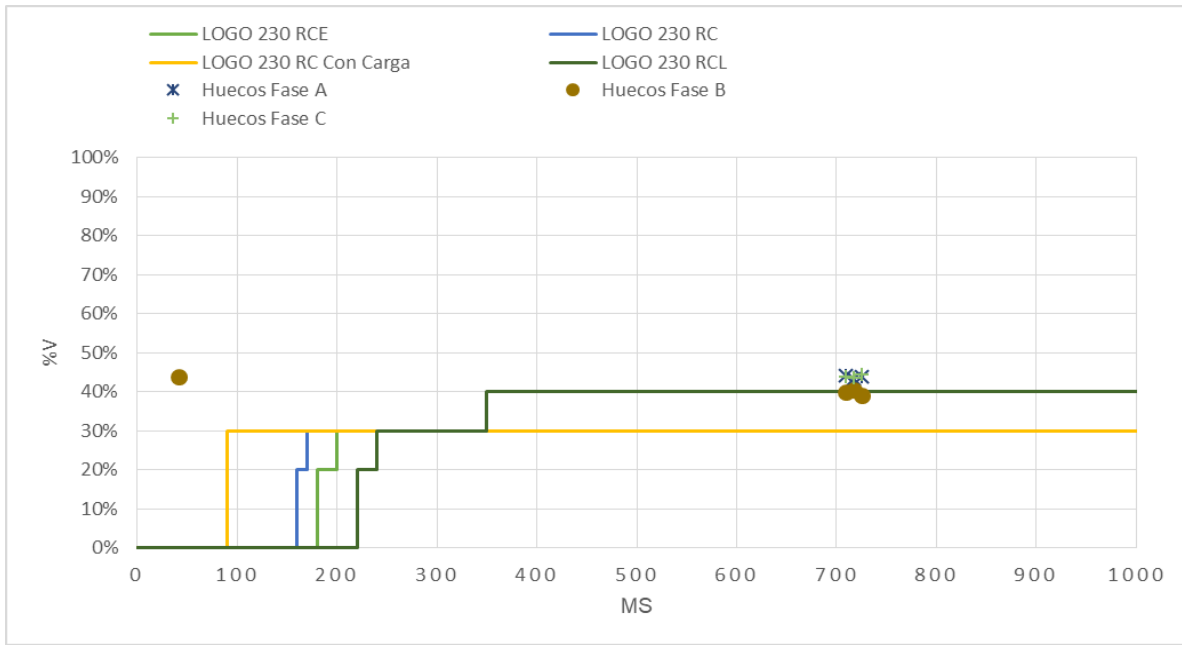


Gráfico 4.29 Huecos críticos semana 2 vs. curva de robustez Logos.

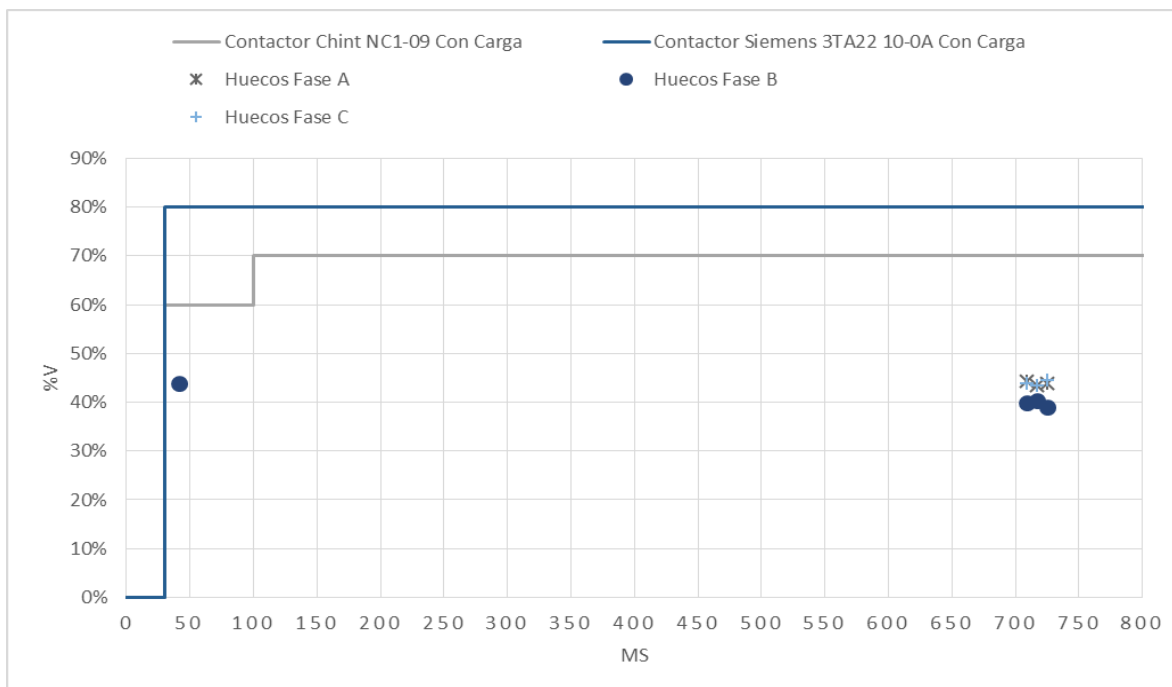


Gráfico 4.30 Huecos críticos semana 2 vs. Curva de robustez contactores.

En la descripción de los huecos de tensión (ver tabla 4.38) se mencionó que en la presente semana de medición hubo muchos más huecos de tensión por debajo de la curva de tolerancia que los que se produjeron en la semana 1 dando como resultado un mayor número de veces en los que estos equipos salieron de funcionamiento, como se observa en las zonas marcadas con gris todos los equipos salieron de operación en la interrupción temporal (duración 4932 segundos con magnitud 3.82% V) donde los contactores salieron de operación más veces que los equipos LOGO'S, siendo el contactor SIEMENS 3TA22 el equipo menos robusto saliendo de servicio un total de 10 y con un funcionamiento similar el contactor CHINT NC01-09

TABLA 4.41 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 2 EQUIPOS PLC.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo						
			PLC						
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	Omron CP1H	Siemens S7 200	Omron Zen	Moeller EASY	Omron CPM2A	Siemens S7 300	Omron CPM1
43.77	41	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
25.06	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.82	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.82	4932000	C	X	X	X	X	X	X	X
89.77	41	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.61	41	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
90.43	41	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
79.58	50	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
82.47	58	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.75	58	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.12	16	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

43.82	724	A	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
41.72	724	B	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
44.93	724	C	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
43.4	716	A	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
40.41	716	B	X	✓	X	X	✓	✓	X
43.47	716	C	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
44.2	708	A	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
40.04	708	B	X	✓	X	X	✓	✓	✓
43.81	708	C	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
87.04	100	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.98	100	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.71	100	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.94	275	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.9	275	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

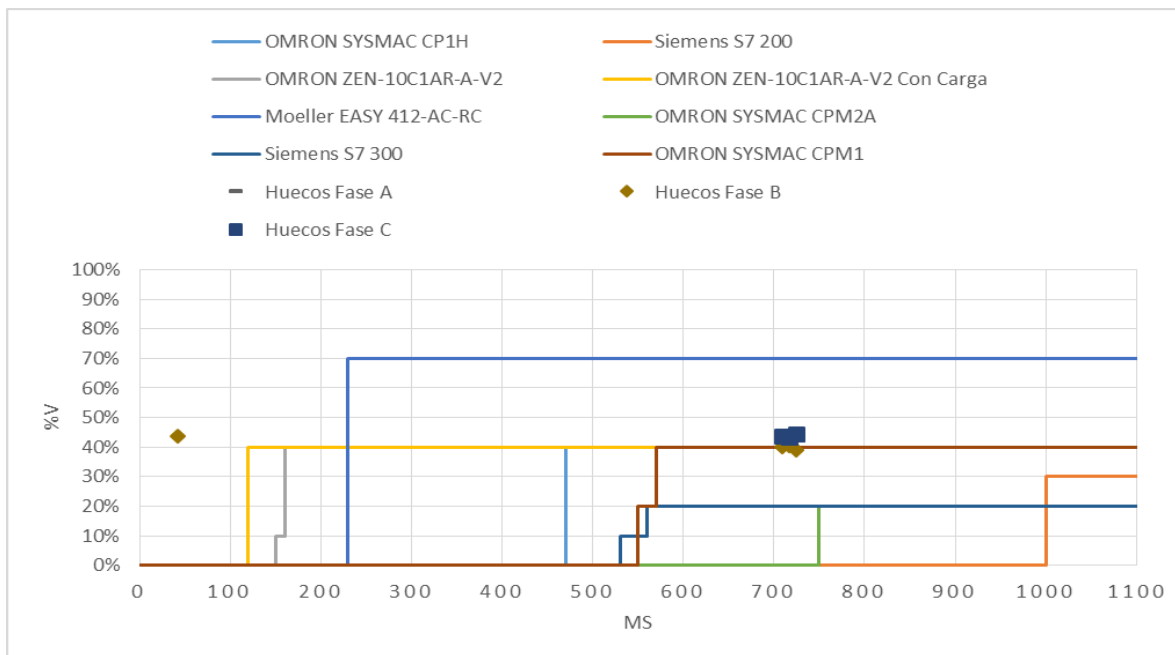


Gráfico 4.31 Huecos críticos semana 2 vs. Curva de robustez PLCs.

Los puntos de interés marcados con un tono gris muestran las salidas del servicio del equipo. Como se aprecia en esta semana hubo más salidas del servicio sobre todo en la interrupción temporal ya que todos los equipos conectados a esa fase hubieran quedado fuera de servicio por el tiempo estimado de la falla, como se aprecia en la tabla el equipo PLC menos sensible es MOELLER EASY saliendo de servicio un total de 10 veces en la semana.

TABLA 4.42 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 2.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo			
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	LOGO	Contactores		PLC
			230 RC	Chint NC1-09	Siemens 3TA22	Omron Zen-10C1AR-A-V2
43.77	41	B	✓	X	X	✓
25.06	16	C	✓	✓	✓	✓
3.82	16	C	✓	✓	✓	✓
3.82	4932000	C	X	X	X	X
89.77	41	A	✓	✓	✓	✓
89.61	41	B	✓	✓	✓	✓
90.43	41	C	✓	✓	✓	✓
79.58	50	B	✓	✓	X	✓
82.47	58	B	✓	✓	✓	✓
86.75	58	C	✓	✓	✓	✓
84.12	16	A	✓	✓	✓	✓
43.82	724	A	✓	X	X	✓
41.72	724	B	✓	X	X	✓
44.93	724	C	✓	X	X	✓
43.4	716	A	✓	X	X	✓
40.41	716	B	✓	X	X	✓
43.47	716	C	✓	X	X	✓
44.2	708	A	✓	X	X	✓
40.04	708	B	✓	X	X	✓
43.81	708	C	✓	X	X	✓
87.04	100	A	✓	✓	✓	✓
85.98	100	B	✓	✓	✓	✓
86.71	100	C	✓	✓	✓	✓
89.94	275	A	✓	✓	✓	✓
89.9	275	B	✓	✓	✓	✓

En la tabla 4.42 se pueden apreciar los diferentes equipos que se pusieron a prueba colocándoles una carga, como era de esperar todos los equipos salieron de operación durante la interrupción temporal siendo el contactor SIEMENS 3TA22 el que más veces salió de operación en la semana de estudio.

#### 4.2.3 SEMANA 3: 19 DE AGOSTO AL 26 DE AGOSTO DEL 2019.

En la siguiente imagen se muestra los diferentes eventos obtenidos durante esa semana de medición junto a su respectiva curva ITIC.



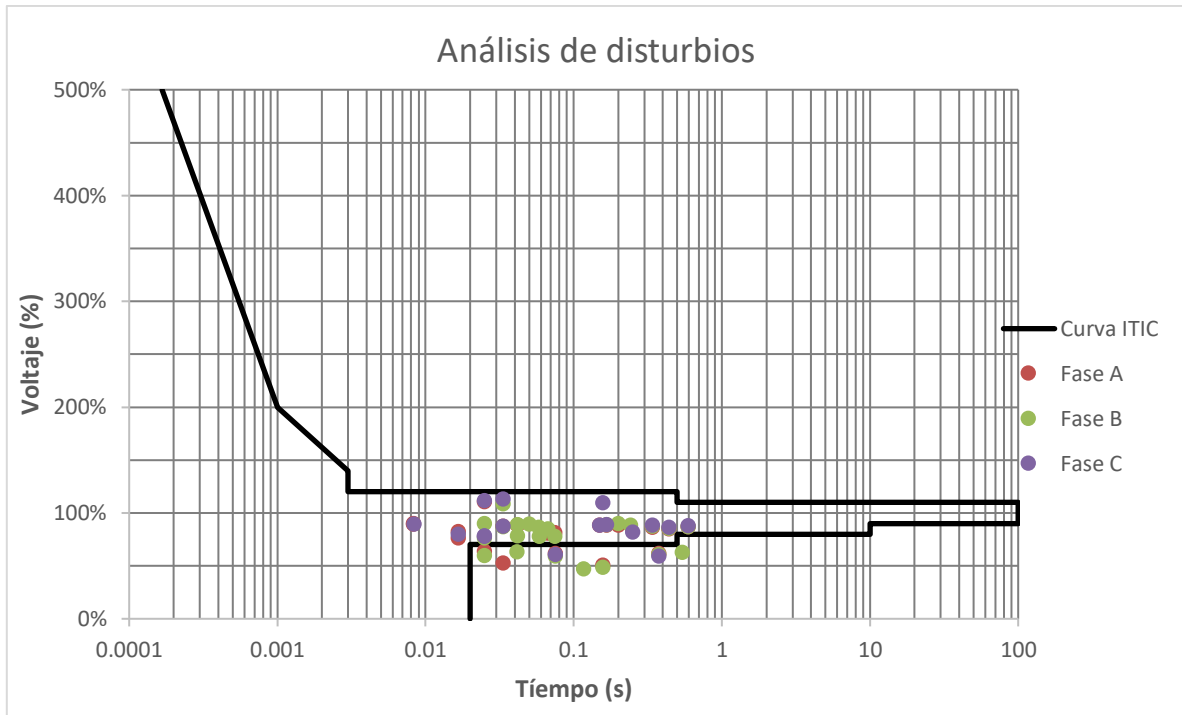


Gráfico 4.32 Curva ITIC semana 3.

Para visualizar mejor los puntos de interés se procedió a realizar un zoom. La siguiente figura muestra los puntos más detalladamente.

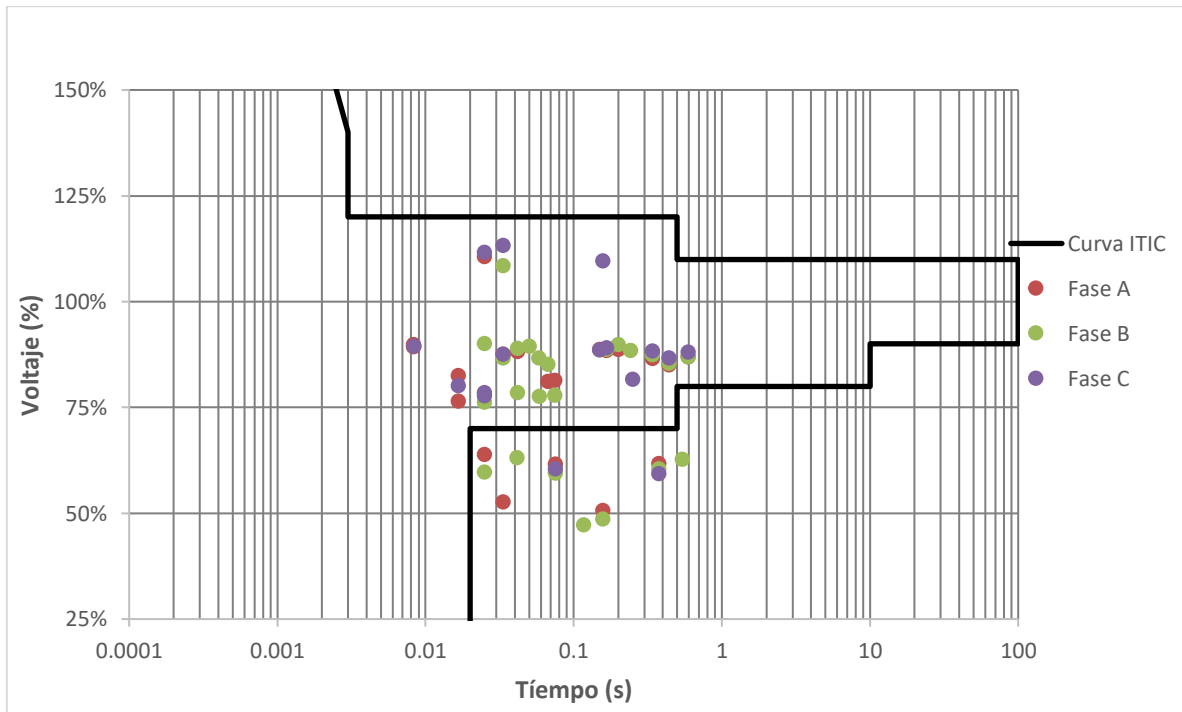


Gráfico 4.33 Puntos resaltados curva ITIC semana 3.

La tabla presentada a continuación muestra en detalle los huecos de tensión obtenidos en esa semana de medición.

TABLA 4.43 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 3.

Fecha	Hora	Fase A [V]	Fase B [V]	Fase C [V]	Duración (ms)	Descripción
20/08/2019	07:29 a.m.	107.11	117.28	121.34	8	Hueco instantáneo Fase A
21/08/2019	07:05 a.m.	107.72	116.65	120.02	8	Hueco instantáneo Fase A
21/08/2019	02:47 p.m.	122.03	91.39	115.62	25	Hueco instantáneo Fase B
21/08/2019	11:03 a.m.	76.56	129.53	125.4	24	Hueco instantáneo Fase A
21/08/2019	05:50 a.m.	63.08	139.52	135.85	33	Hueco instantáneo Fase A y sobretensión Fase B y C
21/08/2019	02:10 p.m.	116.02	75.19	108.33	541	Hueco instantáneo Fase B
21/08/2019	04:21 p.m.	119.59	94.08	115.4	41	Hueco instantáneo Fase B
22/08/2019	09:10 a.m.	125.02	75.74	124.46	41	Hueco instantáneo Fase B
22/08/2019	07:34 a.m.	73.86	71.28	72.56	75	Hueco instantáneo Trifásico
22/08/2019	01:18 p.m.	106.36	108.14	106.2	150	Hueco instantáneo Trifásico
22/08/2019	02:23 a.m.	106.14	106.44	106.84	166	Hueco instantáneo Trifásico
22/08/2019	08:16 a.m.	114.08	119.97	97.98	249	Hueco instantáneo Fase C
22/08/2019	06:48 a.m.	103.76	104.85	105.9	341	Hueco instantáneo Trifásico
22/08/2019	10:52 a.m.	74.09	72.52	71.07	375	Hueco instantáneo Trifásico
22/08/2019	08:59 p.m.	97.29	102.12	117.78	67	Hueco instantáneo Fase A y B
22/08/2019	01:18 a.m.	104.3	104.2	105.7	591	Hueco momentáneo Trifásico
23/08/2019	06:28 a.m.	99	124.45	125.73	16	Hueco instantáneo Fase A
23/08/2019	07:24 a.m.	131.35	71.63	134.74	24	Hueco instantáneo Fase B y Sobretensión Fase C
23/08/2019	12:53 p.m.	105.02	103.97	106.06	33	Hueco instantáneo Trifásico
23/08/2019	11:18 a.m.	105.79	106.72	115.13	41	Hueco instantáneo Fase A y B
23/08/2019	11:43 a.m.	106.36	107.81	113.42	200	Hueco instantáneo Fase A y B
23/08/2019	12:37 p.m.	115.12	106.07	110.43	241	Hueco instantáneo Fase B
23/08/2019	09:39 p.m.	97.58	93.3	114.23	75	Hueco instantáneo Fase A y B
23/08/2019	12:09 p.m.	102	102.5	103.9	441	Hueco instantáneo Trifásico
24/08/2019	08:44 a.m.	91.76	128.73	124.73	16	Hueco instantáneo Fase A
24/08/2019	01:46 a.m.	133.97	122.26	93.24	25	Hueco instantáneo Fase c
24/08/2019	10:10 a.m.	113.33	107.96	110.13	24	Hueco instantáneo Fase B
24/08/2019	07:14 a.m.	119.02	93.07	115.22	58	Hueco instantáneo Fase B
24/08/2019	06:00 a.m.	60.74	58.35	137.55	156	Hueco instantáneo Fase A y B
25/08/2019	09:08 a.m.	119.71	119.14	107.25	8	Hueco instantáneo Fase C
25/08/2019	06:17 a.m.	124.98	126.31	94.19	24	Hueco instantáneo Fase C
25/08/2019	06:51 a.m.	125.78	103.88	122.38	58	Hueco instantáneo Fase B
25/08/2019	12:26 p.m.	119.1	56.6	110.5	116	Hueco instantáneo Fase B

En la semana de medición se presentaron 14 puntos por debajo de la curva de tolerancia, siendo esta la semana de más eventos de la ya antes estudiadas.

La siguiente figura muestra los 14 puntos debajo de la curva con su respectiva magnitud y duración.

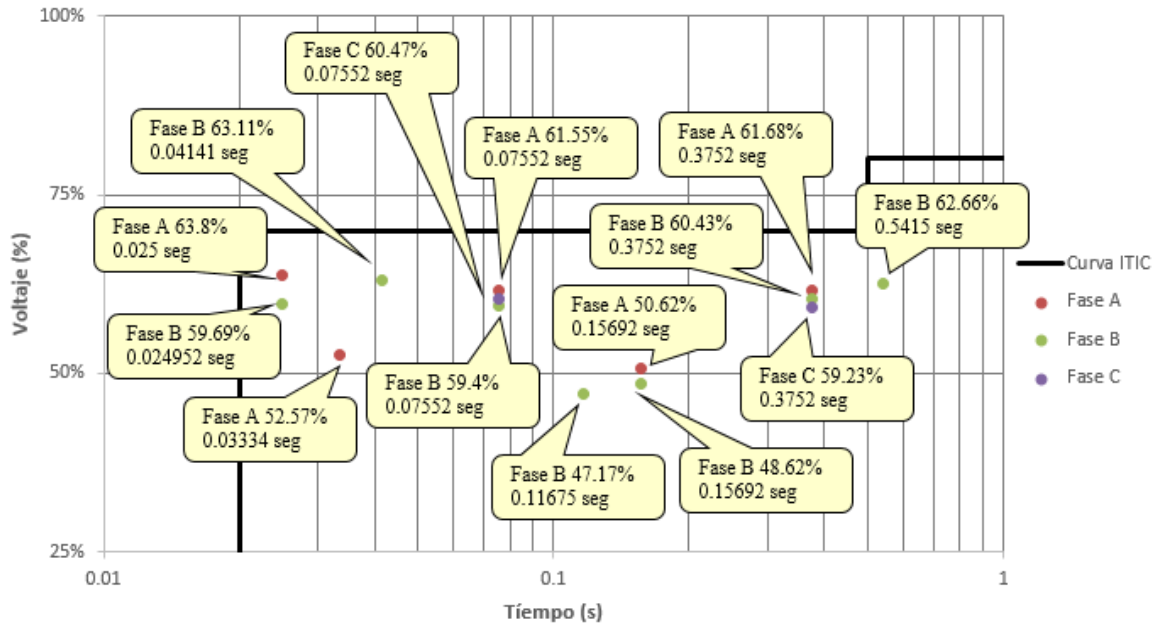


Gráfico 4.34 Huecos de tensión por debajo curva ITIC semana 3.

Como se observa en la figura todos los puntos tienen una magnitud de voltaje RMS menor 64% y con una duración de sag mayor a 25 ms.

En totalidad en esa semana de mediciones hubo 54 huecos de tensión en los cuales 14 estuvieron por debajo de la curva de tolerancia, la tabla mostrada a continuación presenta un resumen de los huecos de tensión mostrando su magnitud, duración y la fase en la que esta se produjo.

TABLA 4.44 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 3.

Huecos de tensión							
N	Magnitud (% V)	Duración (ms)	Fase	N	Magnitud (% V)	Duración (ms)	Fase
1	89.25	8	A	28	59.69	24	B
2	89.76	8	A	29	87.51	33	A
3	76.15	25	B	30	86.64	33	B
4	63.8	24	A	31	88.38	33	C
5	52.56	33	A	32	88.15	41	A
6	78.4	41	B	33	88.93	41	B
7	63.11	41	B	34	81.07	67	A
8	61.55	75	A	35	85.1	67	B
9	59.4	75	B	36	88.63	200	A
10	60.46	75	C	37	89.84	200	B
11	88.63	150	A	38	88.39	241	B
12	90.11	150	B	39	85	441	A
13	88.5	150	C	40	85.41	441	B
14	88.45	166	A	41	86.58	441	C
15	88.7	166	B	42	76.46	16	A
16	89.03	166	C	43	77.7	25	C
17	81.65	249	C	44	89.96	24	B
18	86.46	341	A	45	77.55	58	B

19	87.37	341	B	46	81.37	75	A
20	88.25	341	C	47	77.75	75	B
21	61.74	375	A	48	50.61	156	A
22	60.43	375	B	49	48.62	156	B
23	59.22	375	C	50	62.65	541	B
24	86.91	591	A	51	89.37	8	C
25	86.83	591	B	52	78.49	24	C
26	88.08	591	C	53	86.56	58	B
27	82.5	16	A	54	47.16	116	B

TABLA 4.45 ANÁLISIS DE EQUIPOS LOGO'S y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 3.

Huecos de tensión			Equipos de Ensayo				
			LOGO			Contactores	
Magnitud (% V)	Duración (ms)	Fase	230 RCE	230 RC	230 RCL	Chint NC1-09	Siemens 3TA22
89.25	8	A	✓	✓	✓	✓	✓
89.76	8	A	✓	✓	✓	✓	✓
76.15	25	B	✓	✓	✓	✓	X
63.8	24	A	✓	✓	✓	✓	X
52.56	33	A	✓	✓	✓	X	X
78.4	41	B	✓	✓	✓	✓	X
63.11	41	B	✓	✓	✓	✓	X
61.55	75	A	✓	✓	✓	✓	X
59.4	75	B	✓	✓	✓	X	X
60.46	75	C	✓	✓	✓	X	X
88.63	150	A	✓	✓	✓	✓	✓
90.11	150	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.5	150	C	✓	✓	✓	✓	✓
88.45	166	A	✓	✓	✓	✓	✓
88.7	166	B	✓	✓	✓	✓	✓
89.03	166	C	✓	✓	✓	✓	✓
81.65	249	C	✓	✓	✓	✓	✓
86.46	341	A	✓	✓	✓	✓	✓
87.37	341	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.25	341	C	✓	✓	✓	✓	✓
61.74	375	A	✓	✓	✓	✓	✓
60.43	375	B	✓	✓	✓	X	X
59.22	375	C	✓	✓	✓	X	X
86.91	591	A	✓	✓	✓	✓	✓
86.83	591	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.08	591	C	✓	✓	✓	✓	✓
82.5	16	A	✓	✓	✓	✓	✓
59.69	24	B	✓	✓	✓	X	X
87.51	33	A	✓	✓	✓	✓	✓
86.64	33	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.38	33	C	✓	✓	✓	✓	✓
88.15	41	A	✓	✓	✓	✓	✓
88.93	41	B	✓	✓	✓	✓	✓

81.07	67	A	✓	✓	✓	✓	✓
85.1	67	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.63	200	A	✓	✓	✓	✓	✓
89.84	200	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.39	241	B	✓	✓	✓	✓	✓
85	441	A	✓	✓	✓	✓	✓
85.41	441	B	✓	✓	✓	✓	✓
86.58	441	C	✓	✓	✓	✓	✓
76.46	16	A	✓	✓	✓	✓	✓
77.7	25	C	✓	✓	✓	✓	X
89.96	24	B	✓	✓	✓	✓	✓
77.55	58	B	✓	✓	✓	✓	X
81.37	75	A	✓	✓	✓	✓	✓
77.75	75	B	✓	✓	✓	✓	X
50.61	156	A	✓	✓	✓	X	X
48.62	156	B	✓	✓	✓	X	X
62.65	541	B	✓	✓	✓	✓	X
89.37	8	C	✓	✓	✓	✓	✓
78.49	24	C	✓	✓	✓	✓	X
86.56	58	B	✓	✓	✓	✓	✓
47.16	116	B	✓	✓	✓	X	X

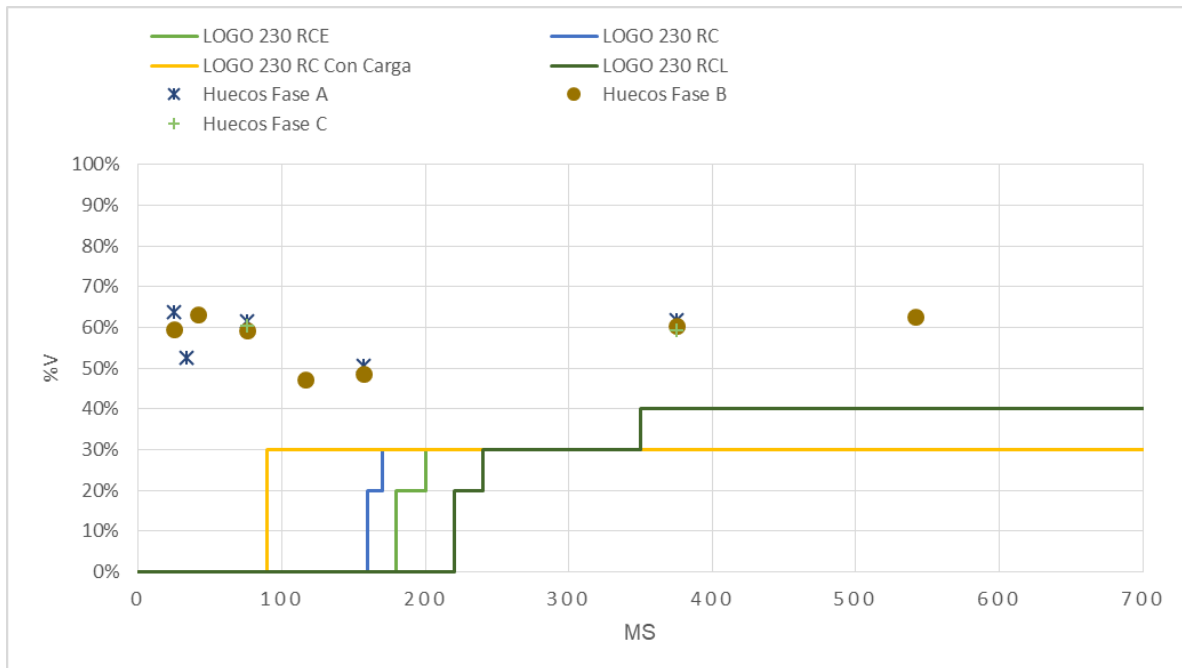


Gráfico 4.35 Huecos de tensión semana 3 vs. Curva de robustez logos.

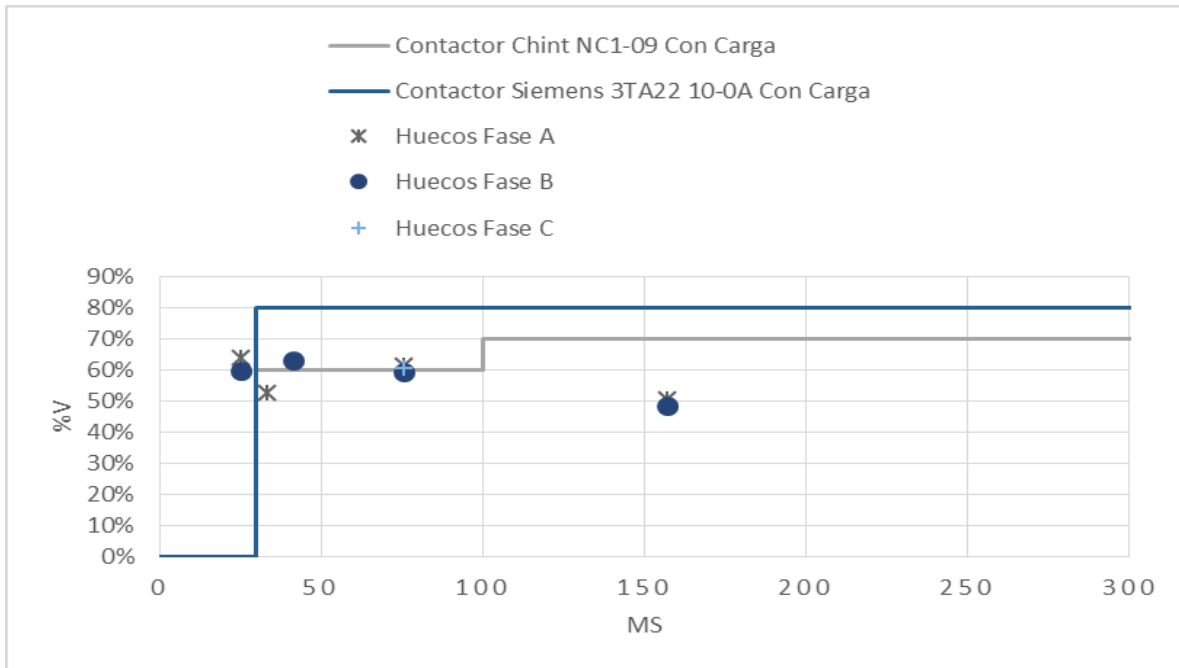


Gráfico 4.36 Huecos de tensión semana 3 vs. Curva de robustez contactores.

Como se observa en las zonas marcadas con todo gris solo los contactores salieron de operación durante la tercera semana de estudio siendo el contactor SIEMENS 3TA22 el que más salió de operación con un total 18 veces mientras que los equipos LOGO'S en ningún momento se vio afectado su funcionamiento en esta semana.

TABLA 4.46 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 3 EQUIPOS PLC.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo						
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	PLC						
			Omron CPH	Siemens S7 200	Omron Zen	Moeller EASY	Omron CPM2A	Siemens s7 300	Omron CPM1
89.25	8	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.76	8	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
76.15	25	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
63.8	24	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
52.56	33	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
78.4	41	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
63.11	41	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
61.55	75	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
59.4	75	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
60.46	75	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.63	150	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
90.11	150	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.5	150	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.45	166	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.7	166	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.03	166	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

81.65	249	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.46	341	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
87.37	341	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.25	341	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
61.74	375	A	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
60.43	375	B	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
59.22	375	C	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
86.91	591	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.83	591	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.08	591	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
82.5	16	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
59.69	24	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
87.51	33	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.64	33	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.38	33	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.15	41	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.93	41	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
81.07	67	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.1	67	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.63	200	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.84	200	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.39	241	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85	441	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.41	441	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.58	441	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
76.46	16	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
77.7	25	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.96	24	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
77.55	58	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
81.37	75	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
77.75	75	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
50.61	156	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
48.62	156	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
62.65	541	B	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
89.37	8	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
78.49	24	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.56	58	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
47.16	116	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

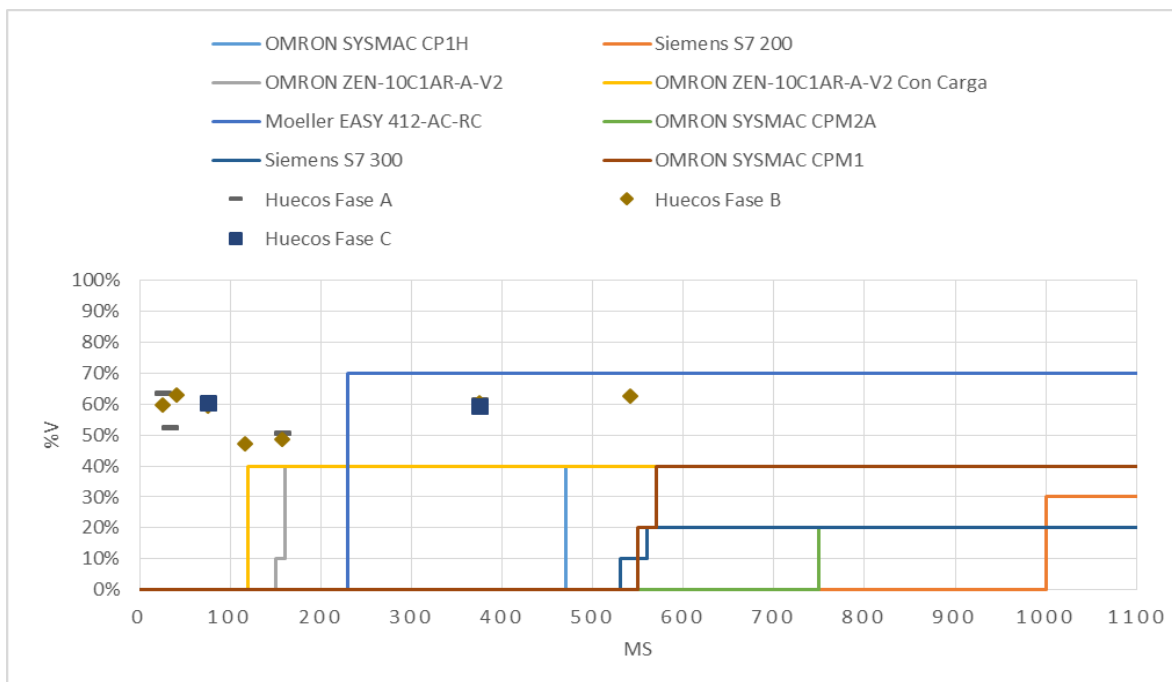


Gráfico 4.37 Huecos de tensión semana 3 vs. Curva de robustez PLCs.

Los puntos de interés marcados en gris muestran las salidas de servicio de los equipos puestos a prueba.

Como se observa en la tabla en esta semana de medición el único equipo afectado por estos huecos de tensión obtenidos fue el PLC MOELLER EASY a parte de ese equipo ningún PLC sufrió pérdida de funcionamiento en la presente semana.

TABLA 4.47 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 3.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo			
			LOGO	Contactores		PLC
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	230 RC	Chint NC1-09	Siemens 3TA22	Omron Zen-10C1AR-A-V2
89.25	8	A	✓	✓	✓	✓
89.76	8	A	✓	✓	✓	✓
76.15	25	B	✓	✓	X	✓
63.8	24	A	✓	✓	✓	✓
52.56	33	A	✓	X	X	✓
78.4	41	B	✓	✓	X	✓
63.11	41	B	✓	✓	X	✓
61.55	75	A	✓	✓	X	✓
59.4	75	B	✓	✓	X	✓
60.46	75	C	✓	X	X	✓
88.63	150	A	✓	✓	✓	✓
90.11	150	B	✓	✓	✓	✓
88.5	150	C	✓	✓	✓	✓



88.45	166	A	✓	✓	✓	✓
88.7	166	B	✓	✓	✓	✓
89.03	166	C	✓	✓	✓	✓
81.65	249	C	✓	✓	✓	✓
86.46	341	A	✓	✓	✓	✓
87.37	341	B	✓	✓	✓	✓
88.25	341	C	✓	✓	✓	✓
61.74	375	A	✓	✓	X	✓
60.43	375	B	✓	✓	X	✓
59.22	375	C	✓	X	X	✓
86.91	591	A	✓	✓	✓	✓
86.83	591	B	✓	✓	✓	✓
88.08	591	C	✓	✓	✓	✓
82.5	16	A	✓	✓	✓	✓
59.69	24	B	✓	✓	✓	✓
87.51	33	A	✓	✓	✓	✓
86.64	33	B	✓	✓	✓	✓
88.38	33	C	✓	✓	✓	✓
88.15	41	A	✓	✓	✓	✓
88.93	41	B	✓	✓	✓	✓
81.07	67	A	✓	✓	✓	✓
85.1	67	B	✓	✓	✓	✓
88.63	200	A	✓	✓	✓	✓
89.84	200	B	✓	✓	✓	✓
88.39	241	B	✓	✓	✓	✓
85	441	A	✓	✓	✓	✓
85.41	441	B	✓	✓	✓	✓
86.58	441	C	✓	✓	✓	✓
76.46	16	A	✓	✓	✓	✓
77.7	25	C	✓	✓	X	✓
89.96	24	B	✓	✓	✓	✓
77.55	58	B	✓	✓	X	✓
81.37	75	A	✓	✓	✓	✓
77.75	75	B	✓	✓	X	✓
50.61	156	A	✓	X	X	✓
48.62	156	B	✓	X	X	✓
62.65	541	B	✓	X	X	✓
89.37	8	C	✓	✓	✓	✓
78.49	24	C	✓	✓	✓	✓
86.56	58	B	✓	✓	✓	✓
47.16	116	B	✓	X	X	✓

Con los equipos con carga, la diferencia es casi nula siendo con respecto a los otros estudios, siempre los contactores son los equipos que salieron de servicio con la misma cantidad de interrupciones 18 veces.

#### 4.2.4 SEMANA 4: 28 DE AGOSTO AL 4 DE SEPTIEMBRE DEL 2019.

En la presente figura se muestran los diferentes sag's ocurridos en la semana, así como su respectiva curva ITIC.

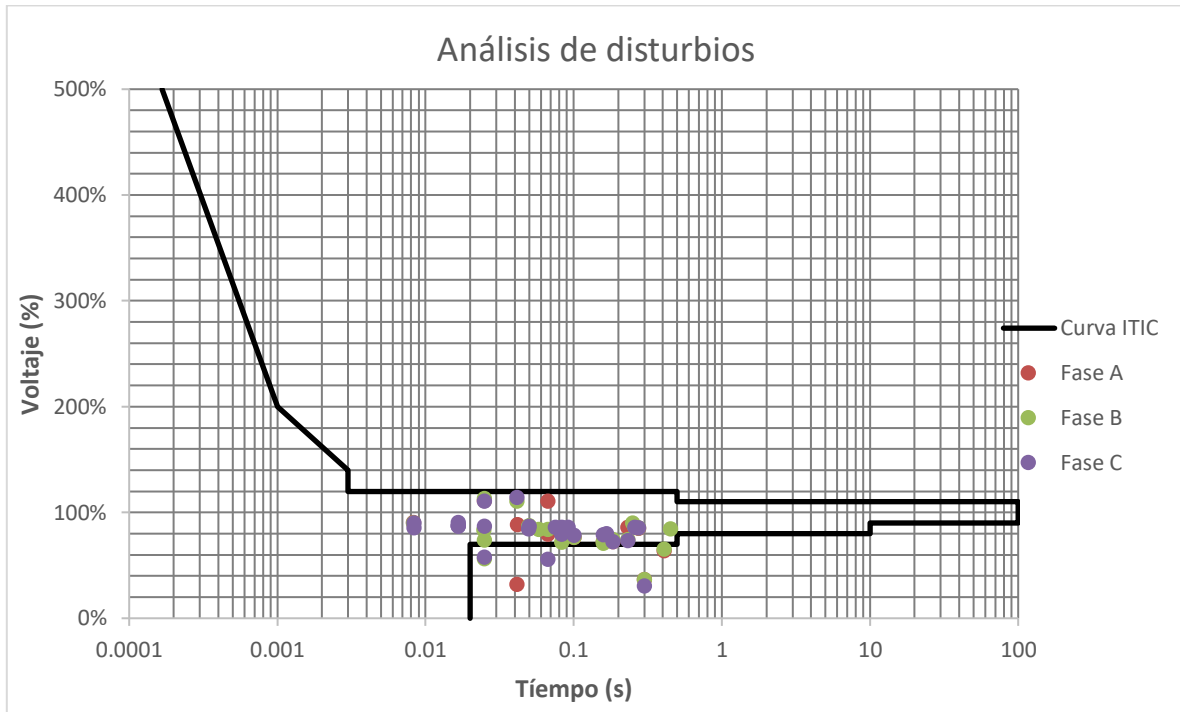


Gráfico 4.38 Curva ITIC semana 4.

Para visualizar de una mejor forma los eventos ocurridos, se procedió a realizar un zoom en los puntos de interés como resultado la siguiente imagen presenta todos los puntos ya antes mencionados.

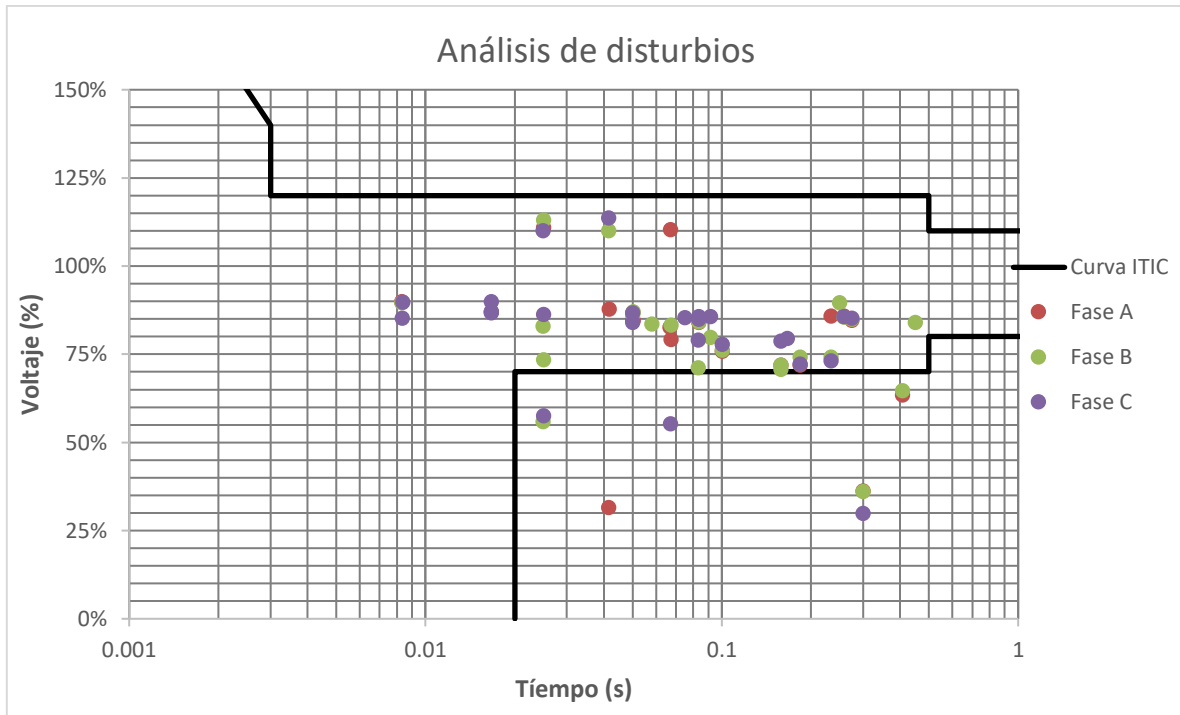


Gráfico 4.39 Puntos resaltados curva ITIC semana 4.

La siguiente tabla se muestra una descripción de todos los eventos ocurridos en el lapso de esa semana.

TABLA 4.48 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 4.

Fecha	Hora	Fase A [V]	Fase B [V]	Fase C [V]	Magnitud (ms)	Descripción
28/08/2019	12:54 p.m.	104.3	118.37	121.86	16	Hueco instantáneo Fase A
29/08/2019	05:22 a.m.	120.4	107.55	18.73	8	Hueco instantáneo Fase B
29/08/2019	05:59 a.m.	120.11	122.11	107.84	16	Hueco instantáneo Fase C
29/08/2019	06:21 a.m.	118.42	121.19	104.35	16	Hueco instantáneo Fase C
29/08/2019	10:16 a.m.	95	99.93	116.25	67	Hueco instantáneo Fase A y B
29/08/2019	06:46 p.m.	120.34	122.3	102.43	75	Hueco instantáneo Fase C
29/08/2019	11:10 p.m.	112.16	107.42	109.76	250	Hueco instantáneo Fase B
30/08/2019	02:13 p.m.	130.59	67.05	140.92	24	Hueco instantáneo Fase B y Sobretensión Fase C
30/08/2019	02:19 p.m.	124.42	99.54	124.79	24	Hueco instantáneo Fase B
30/08/2019	02:12 p.m.	101.47	103.85	100.72	49	Hueco instantáneo Trifásico
30/08/2019	03:16 p.m.	121.64	123.57	104.02	50	Hueco instantáneo Fase C
30/08/2019	12:17 p.m.	134.57	129.54	66.35	67	Hueco instantáneo Fase C y Sobretensión Fase A
30/08/2019	02:11 p.m.	101.81	101.14	102.83	83	Hueco instantáneo Trifásico
30/08/2019	09:06 a.m.	86.18	84.77	120.41	158	Hueco instantáneo Fase A y B
30/08/2019	02:52 p.m.	43.39	43.32	35.79	300	Hueco instantáneo Trifásico
30/08/2019	11:13 p.m.	86.29	88.95	86.58	183	Hueco instantáneo Trifásico
30/08/2019	11:24 p.m.	122.53	100.8	119.52	449	Hueco instantáneo Fase B
30/08/2019	02:29 p.m.	76.12	77.63	122.53	408	Hueco instantáneo Fase A y B
31/08/2019	08:32 p.m.	37.86	143.43	138.86	41	Hueco instantáneo Fase A y sobretensión Fase B y C

31/08/2019	10:01 p.m.	103.01	102.51	102.83	258	Hueco instantáneo Trifásico
01/09/2019	07:48 a.m.	118.23	120.85	103.97	16	Hueco instantáneo Fase C
01/09/2019	06:11 a.m.	133.13	135.53	68.93	25	Hueco instantáneo Fase C
01/09/2019	05:39 p.m.	119.6	108.01	104.34	16	Hueco instantáneo Fase C
01/09/2019	07:54 a.m.	118.35	121.51	95.41	166	Hueco instantáneo Fase C
02/09/2019	08:20 a.m.	123.27	123.76	107.7	8	Hueco instantáneo Fase C
02/09/2019	05:53 p.m.	118.88	123.12	102.21	8	Hueco instantáneo Fase C
02/09/2019	06:16 p.m.	107.09	120.89	123.34	16	Hueco instantáneo Fase A
02/09/2019	09:53 a.m.	113.82	96.06	102.83	91	Hueco instantáneo Fase B y C
02/09/2019	07:38 a.m.	117.47	120.9	94.42	158	Hueco instantáneo Fase C
02/09/2019	07:59 a.m.	102.89	88.96	87.76	233	Hueco instantáneo Trifásico
03/09/2019	07:18 a.m.	122.29	100.24	120.12	58	Hueco instantáneo Fase B
03/09/2019	07:18 a.m.	99.21	120.02	122.93	66	Hueco instantáneo Fase A
03/09/2019	05:36 a.m.	110.51	85.39	94.74	83	Hueco instantáneo Fase B y C
03/09/2019	09:13 p.m.	124.94	88.16	103.56	25	Hueco instantáneo Fase B y C
03/09/2019	09:07 p.m.	101.43	104.37	118.87	50	Hueco instantáneo Fase A y B
04/09/2019	11:32 a.m.	120.26	103.27	118.87	49	Hueco instantáneo Fase B
04/09/2019	12:11 a.m.	100.74	100.99	101.95	83	Hueco instantáneo Trifásico
04/09/2019	09:06 p.m.	90.95	91.32	93.39	100	Hueco instantáneo Trifásico
04/09/2019	08:57 p.m.	101.45	101.92	102.26	275	Hueco instantáneo Trifásico

En la presente semana se presentaron 9 huecos de tensión por debajo de la curva de tolerancia, estos puntos están resaltados en la siguiente figura.

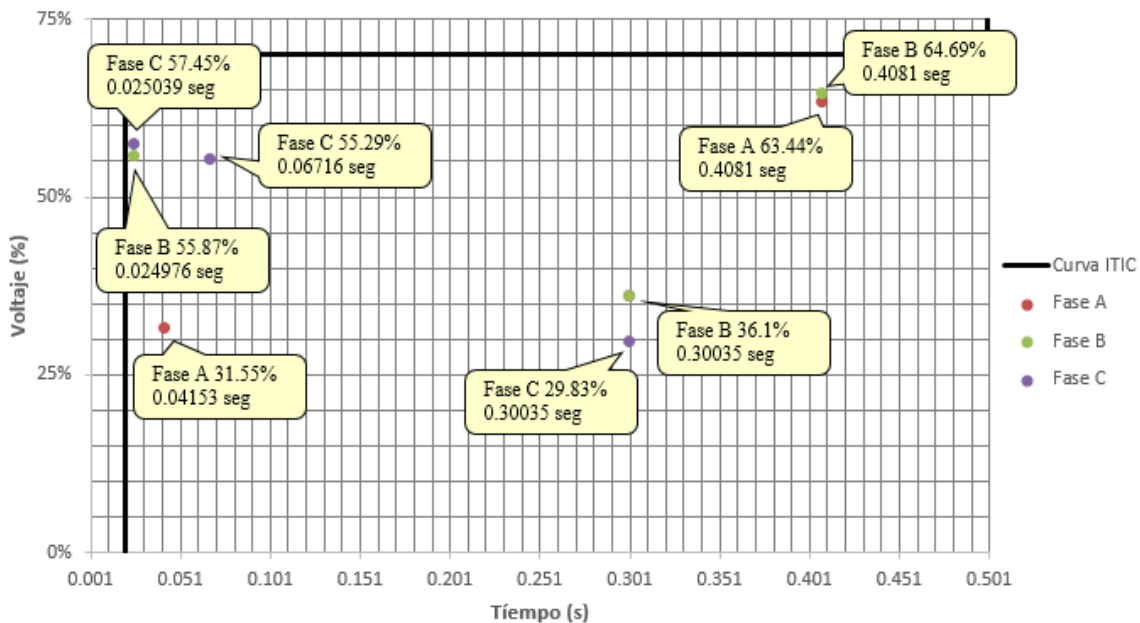


Gráfico 4.40 Huecos de tensión por debajo curva ITIC semana 4.

Como se observa en la figura los huecos de tensión están por debajo del 70% del voltaje nominal RMS con lo cual se considera un sag bastante profundo.

En esta semana se presentaron un total de 64 eventos de los cuales 9 de estos huecos de tensión están bajo la curva de tolerancia la presente tabla muestra un resumen de esos huecos de tensión.

TABLA 4.49 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 4.

N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase
1	86.91	16	A	33	85.69	258	C
2	89.62	8	B	34	86.64	16	C
3	89.86	16	C	35	57.44	25	C
4	86.95	16	C	36	86.95	16	C
5	79.16	67	A	37	79.5	166	C
6	83.27	67	B	38	89.75	8	C
7	85.35	75	C	39	85.17	8	C
8	89.51	250	B	40	89.24	16	A
9	55.87	24	B	41	80.05	91	B
10	82.95	24	B	42	85.69	91	C
11	84.55	49	A	43	78.68	158	C
12	86.54	49	B	44	85.74	233	A
13	83.93	49	C	45	74.13	233	B
14	86.68	50	C	46	73.13	233	C
15	55.29	67	C	47	83.53	58	B
16	84.84	83	A	48	82.67	66	A
17	84.28	83	B	49	71.15	83	B
18	85.69	83	C	50	78.95	83	C
19	71.81	158	A	51	73.46	25	B
20	70.64	158	B	52	86.3	25	C
21	36.15	300	A	53	84.52	50	A
22	36.1	300	B	54	86.97	50	B
23	29.82	300	C	55	86.05	49	B
24	71.9	183	A	56	83.95	83	A
25	74.12	183	B	57	84.15	83	B
26	72.15	183	C	58	84.95	83	C
27	84	449	B	59	75.79	100	A
28	63.43	408	A	60	76.1	100	B
29	64.69	408	B	61	77.82	100	C
30	31.55	41	A	62	84.54	275	A
31	85.84	258	A	63	84.93	275	B
32	85.42	258	B	64	85.21	275	C

TABLA 4.50 ANÁLISIS DE EQUIPO LOGO'S Y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 4

Huecos de tensión			Equipos de Ensayo				
			LOGO			Contactores	
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	230 RCE	230 RC	230 RCL	Chint NC1-09	Siemens 3TA22
86.91	16	A	✓	✓	✓	✓	✓
89.62	8	B	✓	✓	✓	✓	✓
89.86	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
86.95	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
79.16	67	A	✓	✓	✓	✓	X
83.27	67	B	✓	✓	✓	✓	✓
85.35	75	C	✓	✓	✓	✓	✓

89.51	250	B	✓	✓	✓	✓	✓
55.87	24	B	✓	✓	✓	✓	✓
82.95	24	B	✓	✓	✓	✓	✓
84.55	49	A	✓	✓	✓	✓	✓
86.54	49	B	✓	✓	✓	✓	✓
83.93	49	C	✓	✓	✓	✓	✓
86.68	50	C	✓	✓	✓	✓	✓
55.29	67	C	✓	✓	✓	X	X
84.84	83	A	✓	✓	✓	✓	✓
84.28	83	B	✓	✓	✓	✓	✓
85.69	83	C	✓	✓	✓	✓	✓
71.81	158	A	✓	✓	✓	✓	X
70.64	158	B	✓	✓	✓	✓	X
36.15	300	A	✓	✓	✓	X	X
36.1	300	B	✓	✓	✓	X	X
29.82	300	C	X	X	X	X	X
71.9	183	A	✓	✓	✓	✓	X
74.12	183	B	✓	✓	✓	✓	X
72.15	183	C	✓	✓	✓	✓	X
84	449	B	✓	✓	✓	✓	✓
63.43	408	A	✓	✓	✓	✓	X
64.69	408	B	✓	✓	✓	✓	X
31.55	41	A	✓	✓	✓	X	X
85.84	258	A	✓	✓	✓	✓	✓
85.42	258	B	✓	✓	✓	✓	✓
85.69	258	C	✓	✓	✓	✓	✓
86.64	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
57.44	25	C	✓	✓	✓	X	X
86.95	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
79.5	166	C	✓	✓	✓	✓	X
89.75	8	C	✓	✓	✓	✓	✓
85.17	8	C	✓	✓	✓	✓	✓
89.24	16	A	✓	✓	✓	✓	✓
80.05	91	B	✓	✓	✓	✓	✓
85.69	91	C	✓	✓	✓	✓	✓
78.68	158	C	✓	✓	✓	✓	X
85.74	233	A	✓	✓	✓	✓	✓
74.13	233	B	✓	✓	✓	✓	X
73.13	233	C	✓	✓	✓	✓	X
83.53	58	B	✓	✓	✓	✓	✓
82.67	66	A	✓	✓	✓	✓	✓
71.15	83	B	✓	✓	✓	✓	X
78.95	83	C	✓	✓	✓	✓	X
73.46	25	B	✓	✓	✓	✓	✓
86.3	25	C	✓	✓	✓	✓	✓
84.52	50	A	✓	✓	✓	✓	✓
86.97	50	B	✓	✓	✓	✓	✓

86.05	49	B	✓	✓	✓	✓	✓
83.95	83	A	✓	✓	✓	✓	✓
84.15	83	B	✓	✓	✓	✓	✓
84.95	83	C	✓	✓	✓	✓	✓
75.79	100	A	✓	✓	✓	✓	X
76.1	100	B	✓	✓	✓	✓	X
77.82	100	C	✓	✓	✓	✓	X
84.54	275	A	✓	✓	✓	✓	✓
84.93	275	B	✓	✓	✓	✓	✓
85.21	275	C	✓	✓	✓	✓	✓

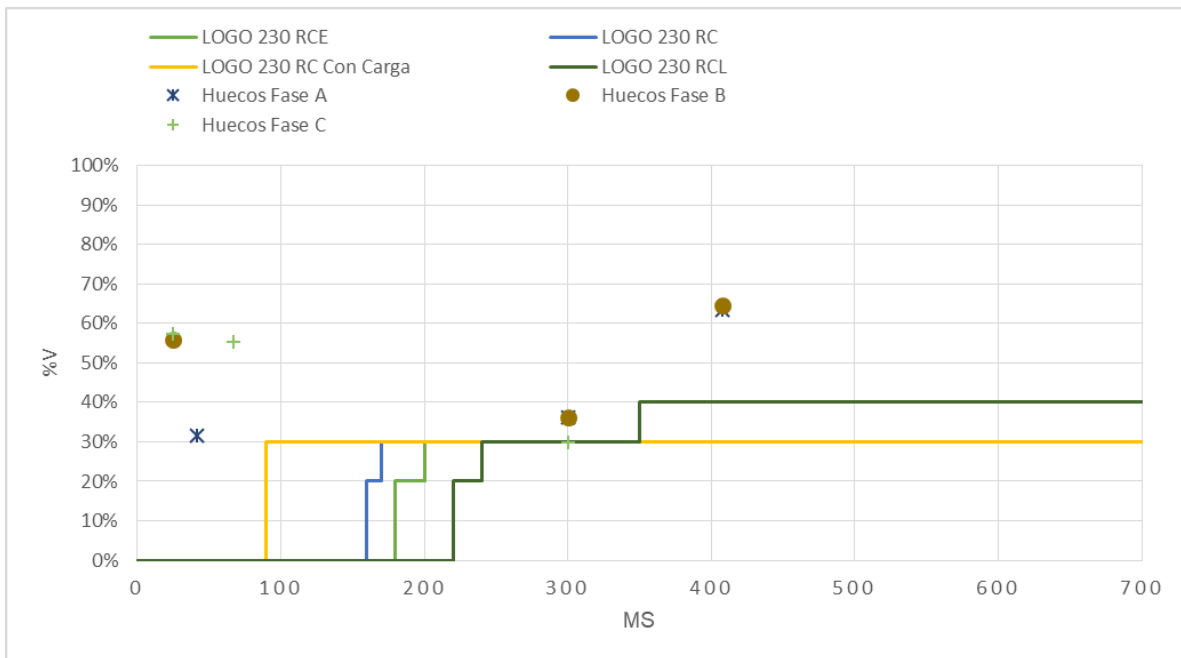


Gráfico 4.41 Huecos críticos semana 4 vs. Curva de robustez Logos.

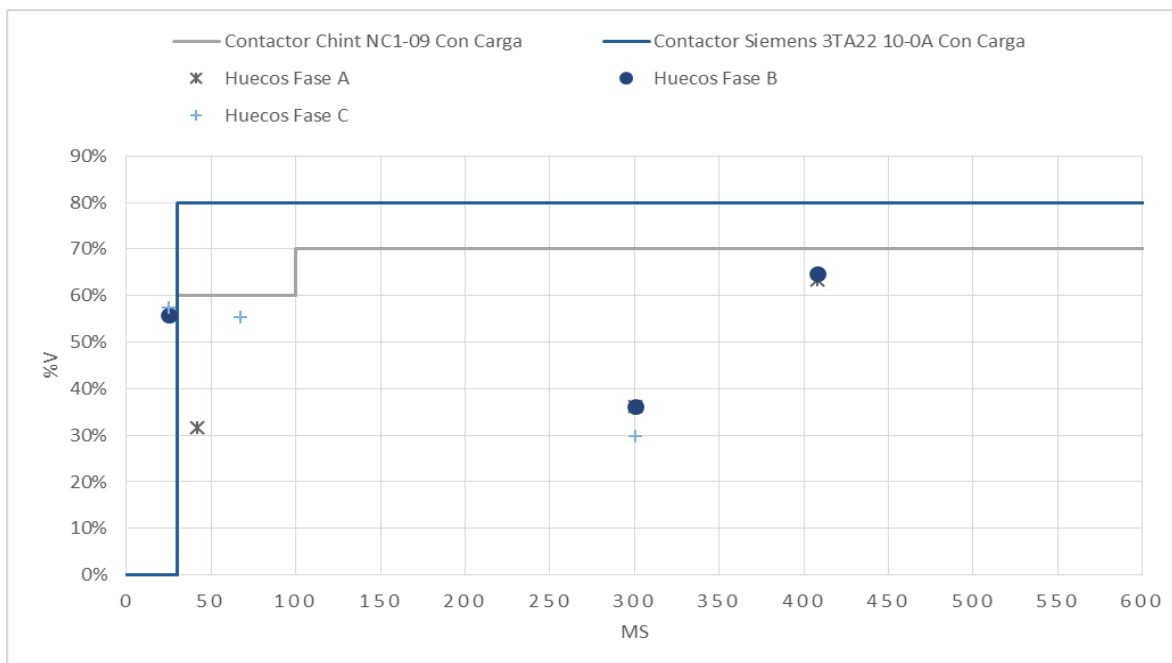


Gráfico 4.42 Huecos críticos semana 4 vs. Curva de robustez contactores.

Como se aprecia en las zonas marcadas en gris que son las veces que el equipo salió de funcionamiento solo en un evento en especial saco de servicio todos los equipos en estudio, el evento en si tuvo una magnitud del 29.82% del voltaje nominal con una duración de 300ms, y como es recurrente los contactores son los equipos que más salen de servicio con un total de 23 veces para el contactor menos robusto, el SIEMENS 3TA22.

TABLA 4.51 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 4 EQUIPOS PLC.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo						
			PLC						
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	Omron CP1H	Siemens S7 200	Omron Zen	Moeller EASY	Omron CPM2A	Siemens S7 300	Omron CPM1
86.91	16	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.62	8	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.86	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.95	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
79.16	67	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
83.27	67	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.35	75	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.51	250	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
55.87	24	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
82.95	24	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.55	49	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.54	49	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
83.93	49	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.68	50	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
55.29	67	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



84.84	83	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.28	83	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.69	83	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
71.81	158	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
70.64	158	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
36.15	300	A	✓	✓	X	X	✓	✓	✓
36.1	300	B	✓	✓	X	X	✓	✓	✓
29.82	300	C	✓	✓	X	X	✓	✓	✓
71.9	183	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
74.12	183	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
72.15	183	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84	449	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
63.43	408	A	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
64.69	408	B	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
31.55	41	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.84	258	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.42	258	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.69	258	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.64	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
57.44	25	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.95	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
79.5	166	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.75	8	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.17	8	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.24	16	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
80.05	91	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.69	91	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
78.68	158	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.74	233	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
74.13	233	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
73.13	233	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
83.53	58	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
82.67	66	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
71.15	83	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
78.95	83	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
73.46	25	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.3	25	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.52	50	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.97	50	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.05	49	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
83.95	83	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.15	83	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.95	83	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
75.79	100	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
76.1	100	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
77.82	100	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
84.54	275	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

84.93	275	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.21	275	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

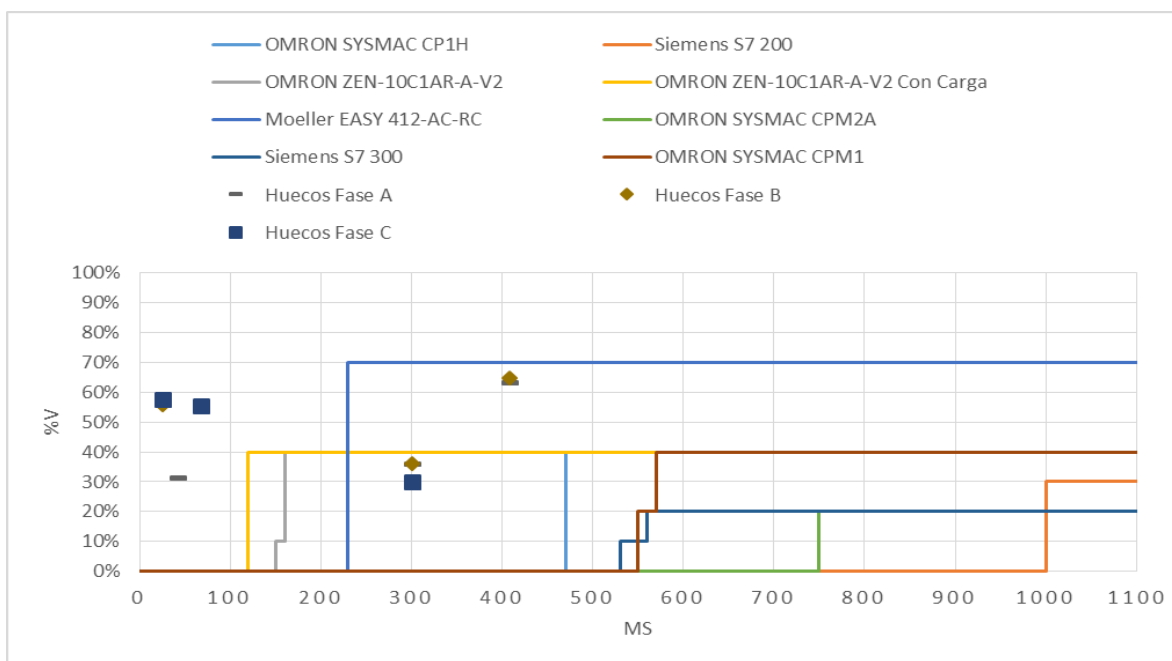


Gráfico 4.43 Huecos críticos semana 4 vs. Curva de robustez PLCs.

Los puntos resaltados en gris son las salidas de servicio de los equipos PLC puesta a prueba.

En esta semana de medición solo dos equipos salieron de funcionamiento en lo huecos de tensión ocurridos el PLC MOELLER EASY salio de servicio 5 veces, mientras que el OMRON ZEN solo 3 veces, los demás PLC en estudio no dejaron de funcionar en esa semana.

TABLA 4.52 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 4.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo			
			LOGO	Contactores		PLC
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	230 RC	Chint NC1-09	Siemens 3TA22	Omron Zen-10C1AR-A-V2
86.91	16	A	✓	✓	✓	✓
89.62	8	B	✓	✓	✓	✓
89.86	16	C	✓	✓	✓	✓
86.95	16	C	✓	✓	✓	✓
79.16	67	A	✓	✓	X	✓
83.27	67	B	✓	✓	✓	✓
85.35	75	C	✓	✓	✓	✓
89.51	250	B	✓	✓	✓	✓
55.87	24	B	✓	✓	✓	✓
82.95	24	B	✓	✓	✓	✓
84.55	49	A	✓	✓	✓	✓

86.54	49	B	✓	✓	✓	✓
83.93	49	C	✓	✓	✓	✓
86.68	50	C	✓	✓	✓	✓
55.29	67	C	✓	X	X	✓
84.84	83	A	✓	✓	✓	✓
84.28	83	B	✓	✓	✓	✓
85.69	83	C	✓	✓	✓	✓
71.81	158	A	✓	✓	X	✓
70.64	158	B	✓	✓	X	✓
36.15	300	A	✓	X	X	X
36.1	300	B	✓	X	X	X
29.82	300	C	X	X	X	X
71.9	183	A	✓	✓	X	✓
74.12	183	B	✓	✓	X	✓
72.15	183	C	✓	✓	X	✓
84	449	B	✓	✓	✓	✓
63.43	408	A	✓	X	X	✓
64.69	408	B	✓	X	X	✓
31.55	41	A	✓	X	X	✓
85.84	258	A	✓	✓	✓	✓
85.42	258	B	✓	✓	✓	✓
85.69	258	C	✓	✓	✓	✓
86.64	16	C	✓	✓	✓	✓
57.44	25	C	✓	X	X	✓
86.95	16	C	✓	✓	✓	✓
79.5	166	C	✓	✓	X	✓
89.75	8	C	✓	✓	✓	✓
85.17	8	C	✓	✓	✓	✓
89.24	16	A	✓	✓	✓	✓
80.05	91	B	✓	✓	✓	✓
85.69	91	C	✓	✓	✓	✓
78.68	158	C	✓	✓	X	✓
85.74	233	A	✓	✓	✓	✓
74.13	233	B	✓	✓	X	✓
73.13	233	C	✓	✓	X	✓
83.53	58	B	✓	✓	✓	✓
82.67	66	A	✓	✓	✓	✓
71.15	83	B	✓	✓	X	✓
78.95	83	C	✓	✓	X	✓
73.46	25	B	✓	✓	X	✓
86.3	25	C	✓	✓	✓	✓
84.52	50	A	✓	✓	✓	✓
86.97	50	B	✓	✓	✓	✓
86.05	49	B	✓	✓	✓	✓
83.95	83	A	✓	✓	✓	✓
84.15	83	B	✓	✓	✓	✓
84.95	83	C	✓	✓	✓	✓

75.79	100	A	✓	✓	X	✓
76.1	100	B	✓	✓	X	✓
77.82	100	C	✓	✓	X	✓
84.54	275	A	✓	✓	✓	✓
84.93	275	B	✓	✓	✓	✓
85.21	275	C	✓	✓	✓	✓

Con los equipos que se les colocó una carga vemos que no la variación es mínima con respecto al análisis anterior el contactor SIEMENS 3TA22 sigue siendo el menos robusto y el equipo que salió de servicio más veces en la semana.

#### 4.2.5 SEMANA 5: 30 DE SEPTIEMBRE AL 7 DE OCTUBRE DEL 2019.

A continuación, se muestran los eventos ocurridos en la semana de medición.

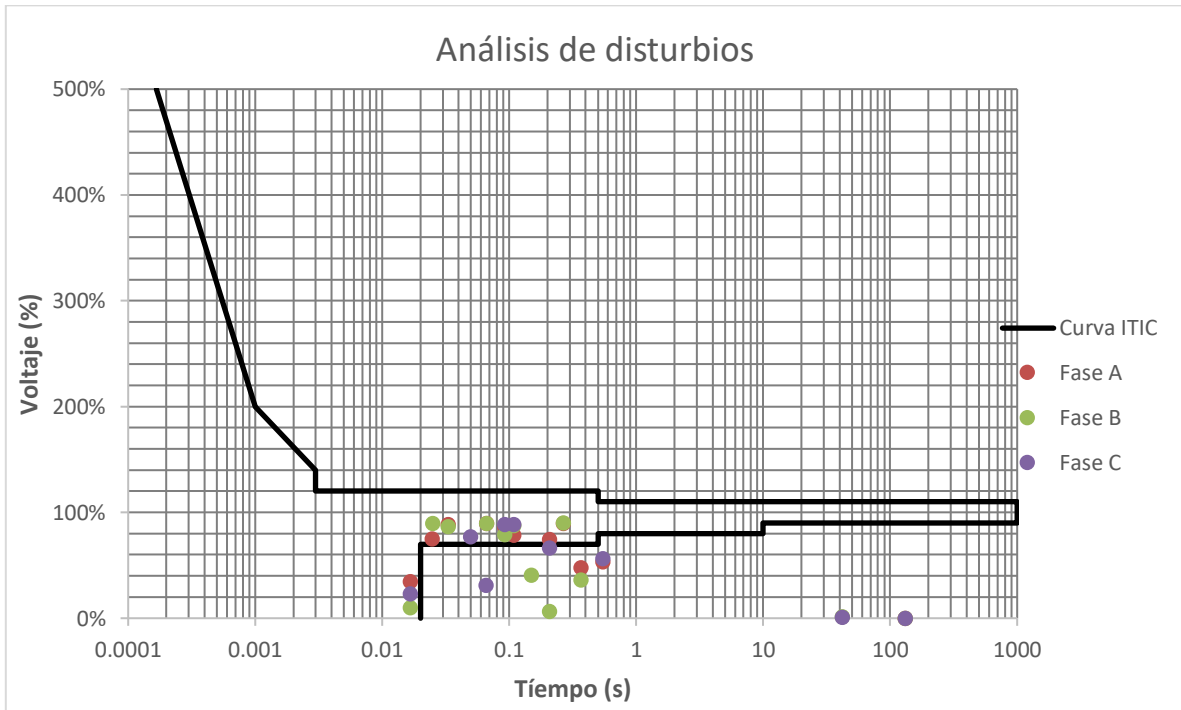


Gráfico 4.44 Curva ITIC semana 5.

Para una mejor visualización de los eventos se procedió a realizar un zoom en los eventos tomados.

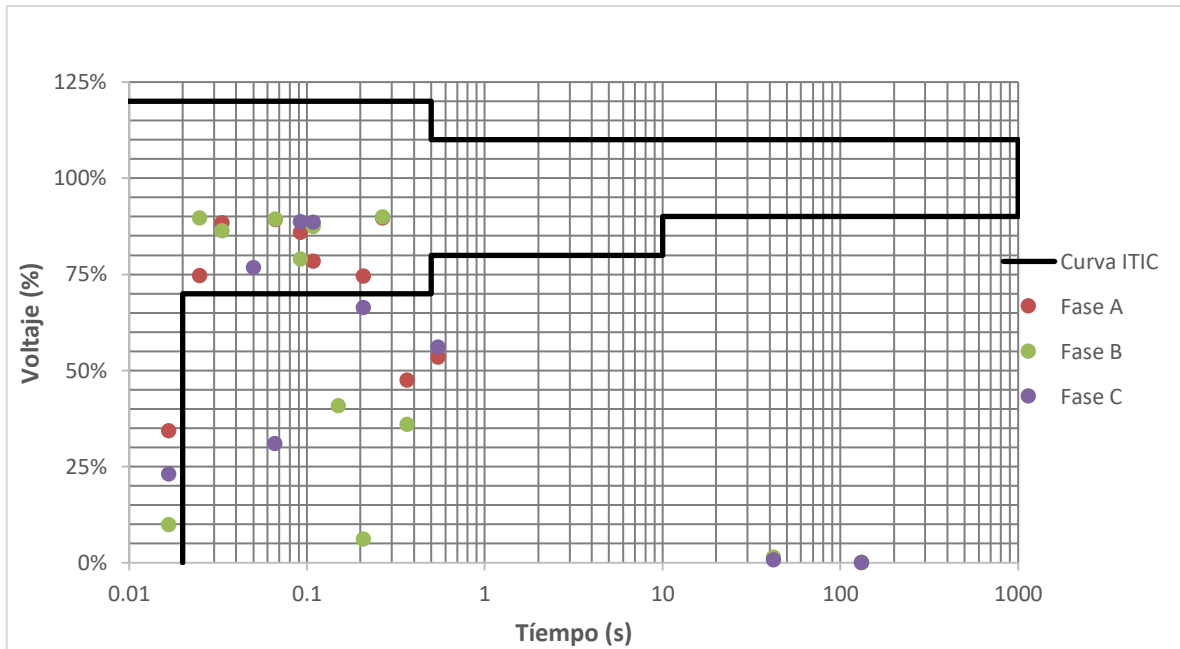


Gráfico 4.45 Puntos resaltados curva ITIC semana 5.

La siguiente tabla muestran las especificaciones de cada evento ocurrido durante la quinta semana.

TABLA 4.53 DESCRIPCIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 5.

Fecha	Hora	Fase A [V]	Fase B [V]	Fase C [V]	Magnitud (ms)	Descripción
01/10/2019	04:50 a.m.	106.13	103.53	119.05	33	Hueco instantáneo Fase A y B
01/10/2019	10:23 a.m.	125.68	48.98	130.25	149	Hueco instantáneo Fase B
01/10/2019	04:49 a.m.	56.99	43.18	118.87	366	Hueco instantáneo Fase A y B
02/10/2019	02:31 p.m.	107.55	107.93	109.49	266	Hueco instantáneo fase A y B
03/10/2019	10:49 p.m.	89.64	122.72	124.11	24	Hueco instantáneo Fase A
03/10/2019	02:17 p.m.	103	94.69	106.46	92	Hueco instantáneo Trifásico
03/10/2019	06:03 a.m.	89.43	7.334	79.58	208	Hueco instantáneo Trifásico
03/10/2019	06:03 a.m.	41.2	11.88	27.66	16	Hueco instantáneo Trifásico
03/10/2019	02:55 p.m.	94.05	104.92	106.31	108	Hueco instantáneo Trifásico
03/10/2019	06:05 a.m.	0.0427	0.0424	0.0350	132000	Interrupción sostenida trifásica
04/10/2019	05:29 a.m.	117.93	121.04	92.06	49	Hueco instantáneo Fase C
05/10/2019	05:41 a.m.	111.23	107.52	110.8	24	Hueco instantáneo Fase B
05/10/2019	06:33 a.m.	108.59	114.96	37.23	66	Hueco instantáneo Fase C
05/10/2019	07:24 a.m.	64.06	111.3	67.33	546	Hueco momentánea Fase A y C
06/10/2019	10:00 a.m.	122.7	1.7713	0.966	42100	Interrupción Temporal Fase B y C
07/10/2019	04:33 a.m.	107.14	107.27	108.97	66	Hueco instantáneo fase A y B

En la presente semana de medición se encuentran un total de 13 huecos de tensión por debajo de la curva de tolerancia, con la variedad que en esta semana hubo dos eventos de mayor importancia. La primera, el 03 de octubre hubo una interrupción sostenida en las tres fases a

las 06:05 de la mañana teniendo una duración de 132 segundos (2.2 minutos), con un voltaje promedio de 0.04 % del voltaje nominal.

El segundo evento de mayor importancia se produjo el 06 de octubre se presente una interrupción temporal en las fases B y C a las 10 de la mañana teniendo una duración de 42.1 segundos, con una variación de voltaje de 1.77 % para la fase B y 0.96% para la fase C.

Para tener una idea más clara de estos eventos su ubicación en la curva ITIC y su profundidad se procedió a marcarlos en la siguiente figura.

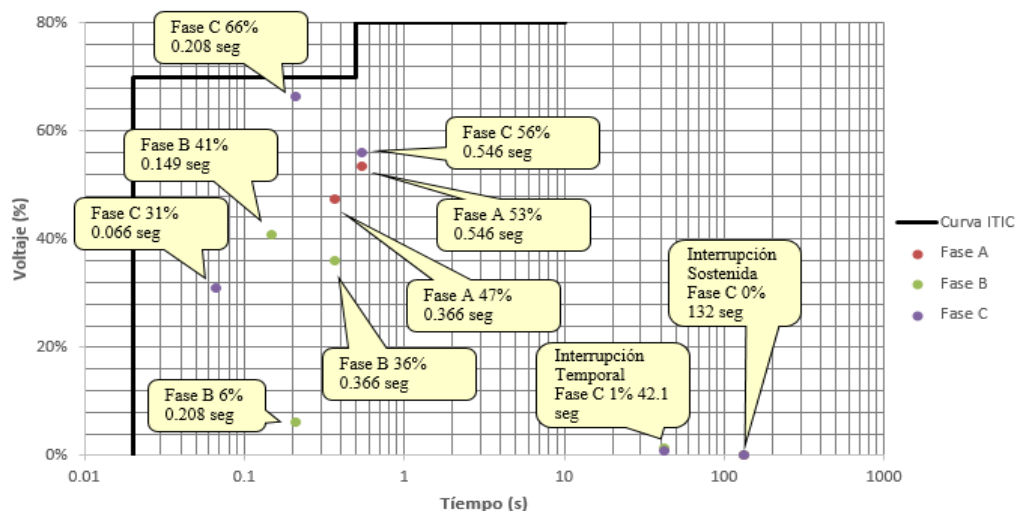


Gráfico 4.46 Huecos de tensión por debajo curva ITIC semana 5.

En totalidad se contabilizaron 32 huecos de tensión, donde 13 se encuentran por debajo de la curva de tolerancia.

En la presente tabla se presenta un resumen de los huecos de tensión ocurridos esa semana.

TABLA 4.54 RESUMEN DE HUECOS DE TENSIÓN SEMANA 5.

N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	N	Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase
1	88.44	33	A	17	23.05	16	C
2	86.27	33	B	18	78.37	108	A
3	40.81	149	B	19	87.43	108	B
4	47.49	366	A	20	88.59	108	C
5	35.98	366	B	21	0.035	132000	A
6	89.62	266	A	22	0.042	132000	B
7	89.94	266	B	23	0.029	132000	C
8	74.7	24	A	24	76.71	49	C
9	85.83	92	A	25	89.6	24	B
10	78.9	92	B	26	31.02	66	C
11	88.71	92	C	27	53.38	546	A
12	74.52	208	A	28	56.1	546	C
13	6.11	208	B	29	1.47	42100	B
14	66.31	208	C	30	0.805	42100	C
15	34.33	16	A	31	89.28	66	A
16	9.9	16	B	32	89.39	66	B

TABLA 4.55 ANÁLISIS DE EQUIPO LOGO'S Y CONTACTORES CON LOS DATOS SEMANA 5.

Huecos de tensión			Equipos de Ensayo				
Magnitud (% V)	Duración (ms)	Fase	LOGO			Contactores	
			230 RCE	230 RC	230 RCL	Chint NC1-09	Siemens 3TA22
88.44	33	A	✓	✓	✓	✓	✓
86.27	33	B	✓	✓	✓	✓	✓
40.81	149	B	✓	✓	✓	X	X
47.49	366	A	✓	✓	✓	X	X
35.98	366	B	✓	✓	✓	X	X
89.62	266	A	✓	✓	✓	✓	✓
89.94	266	B	✓	✓	✓	✓	✓
74.7	24	A	✓	✓	✓	✓	✓
85.83	92	A	✓	✓	✓	✓	✓
78.9	92	B	✓	✓	✓	✓	X
88.71	92	C	✓	✓	✓	✓	✓
74.52	208	A	✓	✓	✓	✓	X
6.11	208	B	X	X	✓	X	X
66.31	208	C	✓	✓	✓	✓	X
34.33	16	A	✓	✓	✓	✓	✓
9.9	16	B	✓	✓	✓	✓	✓
23.05	16	C	✓	✓	✓	✓	✓
78.37	108	A	✓	✓	✓	✓	X
87.43	108	B	✓	✓	✓	✓	✓
88.59	108	C	✓	✓	✓	✓	✓
0.035	132000	A	X	X	X	X	X
0.042	132000	B	X	X	X	X	X
0.029	132000	C	X	X	X	X	X
76.71	49	C	✓	✓	✓	✓	X
89.6	24	B	✓	✓	✓	✓	✓
31.02	66	C	✓	✓	✓	X	X
53.38	546	A	✓	✓	✓	X	X
56.1	546	C	✓	✓	✓	X	X
1.47	42100	B	X	X	X	X	X
0.805	42100	C	X	X	X	X	X
89.28	66	A	✓	✓	✓	✓	✓
89.39	66	B	✓	✓	✓	✓	✓

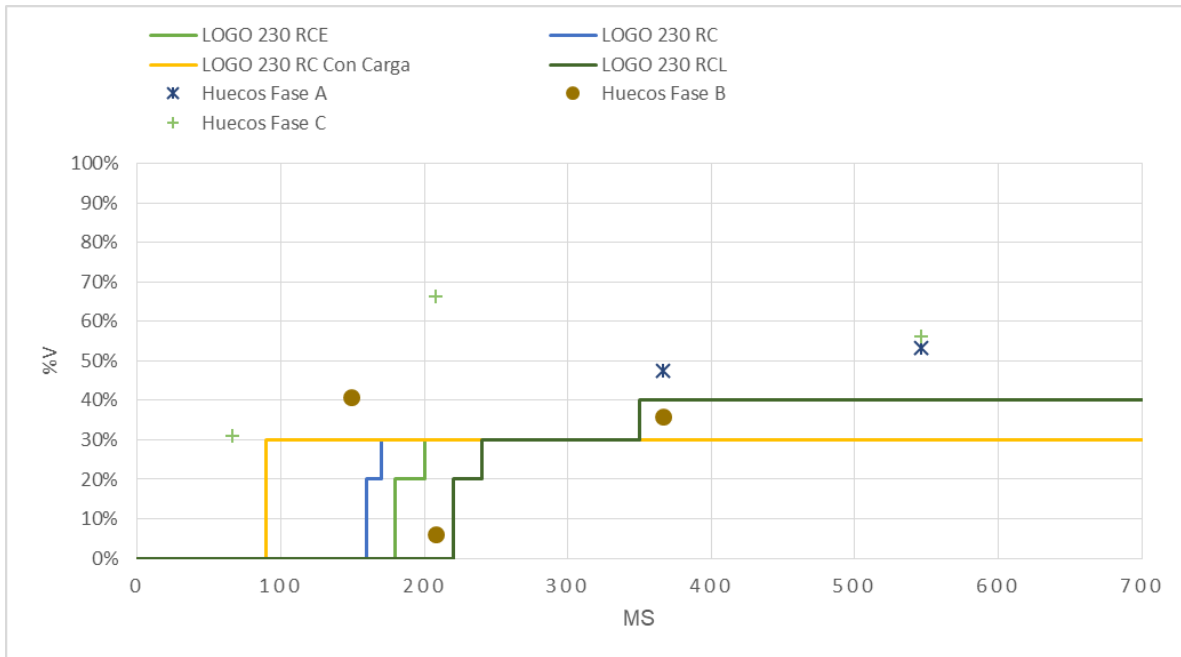


Gráfico 4.47 Huecos críticos semana 5 vs. Curva de robustez Logos.

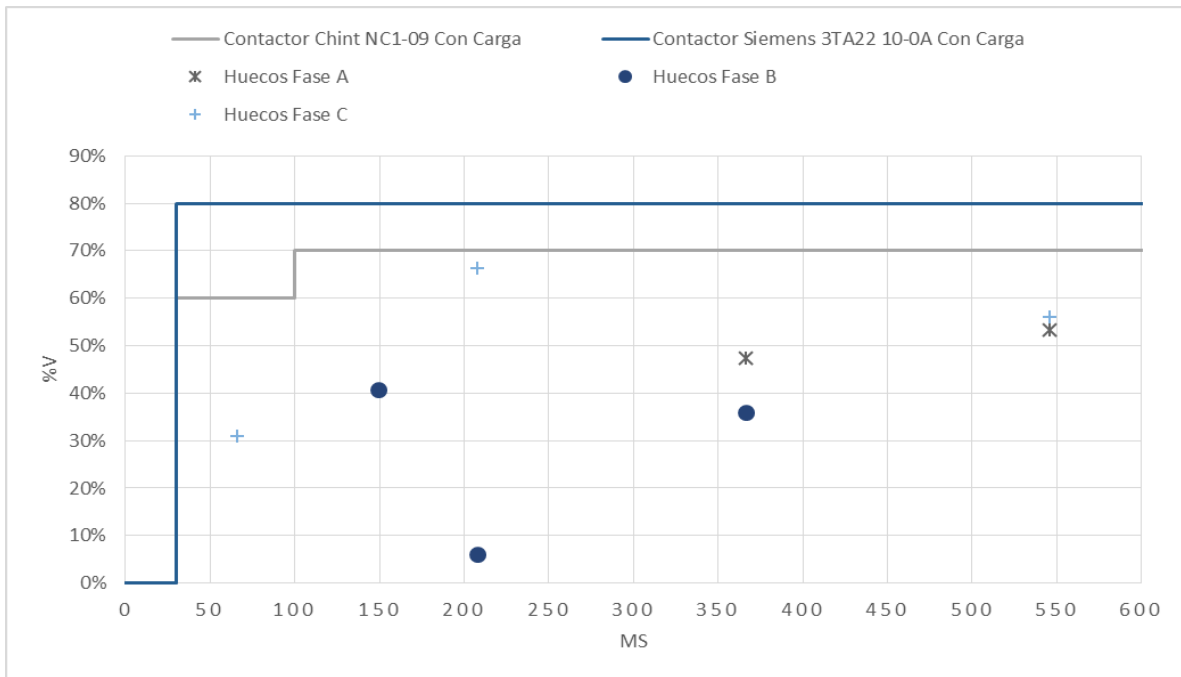


Gráfico 4.48 Huecos críticos semana 5 vs. Curva de robustez contactores.

Dado que en la presente semana de estudio hubo dos eventos importantes se puede visualizar un mayor número de fallas del servicio en estos equipos. Todos los equipos salieron de funcionamiento durante la interrupción sostenida trifásica (0.30% V promedio de las tres fases con duración 132 segundos) y una interrupción sostenida de 1.47% V para la fase B con duración 42.1 segundos y 0.805% V para la fase C con duración 42.1 segundos.



TABLA 4.56 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON LOS DATOS SEMANA 5 EQUIPOS PLC.

Huecos de tension			Equipos de ensayo						
Magnitud (%V)	Duracion (ms)	Fase	PLC						
			Omron CPIH	Siemens S7 200	Omron Zen	Moeller EASY	Omron CPM2A	Siemens s7 300	Omron CPM1
88.44	33	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
86.27	33	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
40.81	149	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
47.49	366	A	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
35.98	366	B	✓	✓	X	X	✓	✓	✓
89.62	266	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.94	266	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
74.7	24	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
85.83	92	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
78.9	92	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.71	92	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
74.52	208	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6.11	208	B	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
66.31	208	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
34.33	16	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9.9	16	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
23.05	16	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
78.37	108	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
87.43	108	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
88.59	108	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
0.035	132000	A	X	X	X	X	X	X	X
0.042	132000	B	X	X	X	X	X	X	X
0.029	132000	C	X	X	X	X	X	X	X
76.71	49	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.6	24	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
31.02	66	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
53.38	546	A	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
56.1	546	C	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
1.47	42100	B	X	X	X	X	X	X	X
0.805	42100	C	X	X	X	X	X	X	X
89.28	66	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
89.39	66	B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

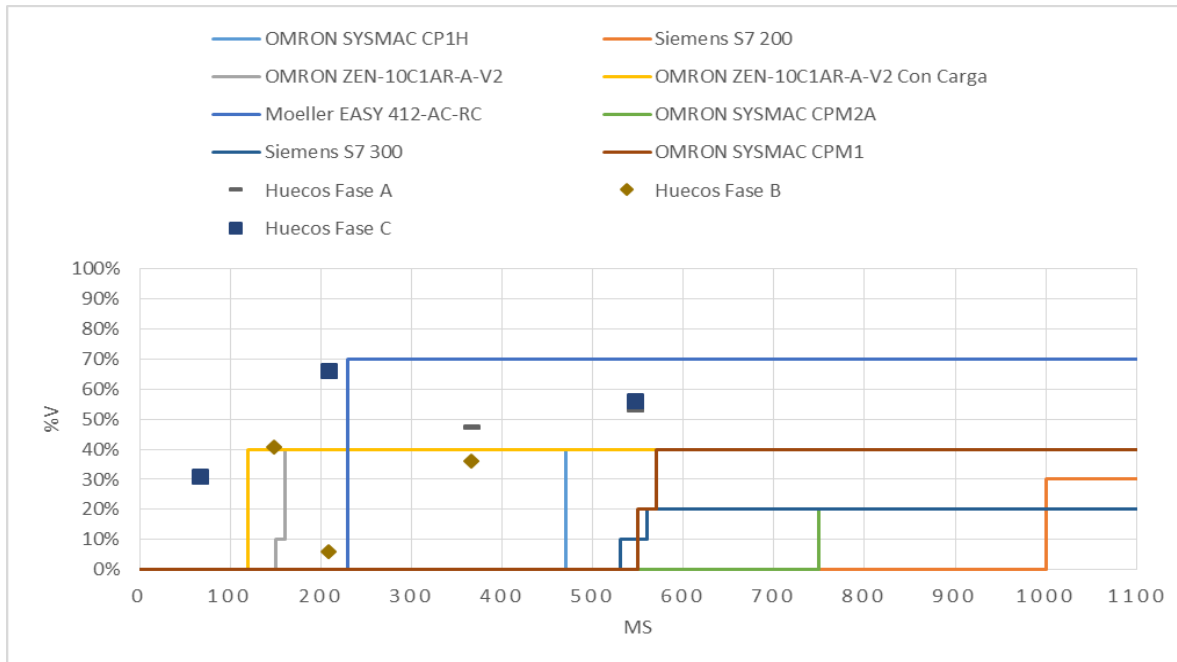


Gráfico 4.49 Huecos críticos semana 5 vs. Curva de robustez PLCs.

Las zonas marcadas con gris muestra salida del servicio de los equipos puestos apruebas.

Como se aprecia en la tabla anterior en la presenté semana de medición todos los equipos sufrieron caídas del servicio esto es debido a las interrupciones presentadas en la semana, siendo siempre los quipos más robustos los PLC Siemens S7 200 y Onrom Sysmach que solo presentaron pérdidas durante las interrupciones, mientras que los contactores presentan un mayor número de caídas de funcionamiento en la semana.

TABLA 4.57 ANÁLISIS DE EQUIPO DE PRUEBA CON CARGA CON LOS DATOS SEMANA 5.

Huecos de tensión			Equipos de ensayo			
			LOGO	Contactores		PLC
Magnitud (%V)	Duración (ms)	Fase	230 RC	Chint NC1-09	Siemens 3TA22	Omron Zen-10C1AR-A-V2
88.44	33	A	✓	✓	✓	✓
86.27	33	B	✓	✓	✓	✓
40.81	149	B	✓	X	X	✓
47.49	366	A	✓	X	X	✓
35.98	366	B	✓	X	X	X
89.62	266	A	✓	✓	✓	✓
89.94	266	B	✓	✓	✓	✓
74.7	24	A	✓	✓	✓	✓
85.83	92	A	✓	✓	✓	✓
78.9	92	B	✓	✓	X	✓
88.71	92	C	✓	✓	✓	✓
74.52	208	A	✓	✓	X	✓
6.11	208	B	X	X	X	X
66.31	208	C	✓	X	X	✓
34.33	16	A	✓	✓	✓	✓
9.9	16	B	✓	✓	✓	✓
23.05	16	C	✓	✓	✓	✓
78.37	108	A	✓	✓	X	✓
87.43	108	B	✓	✓	✓	✓
88.59	108	C	✓	✓	✓	✓
0.035	132000	A	X	X	X	X
0.042	132000	B	X	X	X	X
0.029	132000	C	X	X	X	X
76.71	49	C	✓	✓	X	✓
89.6	24	B	✓	✓	✓	✓
31.02	66	C	✓	X	X	✓
53.38	546	A	✓	X	X	✓
56.1	546	C	✓	X	X	✓
1.47	42100	B	X	X	X	X
0.805	42100	C	X	X	X	X
89.28	66	A	✓	✓	✓	✓
89.39	66	B	✓	✓	✓	✓

Con los equipos estudiados con una carga se muestra una leve variación en los datos, aunque manteniendo constante las caídas de servicio en los eventos principales de esa semana.

## CONCLUSIONES

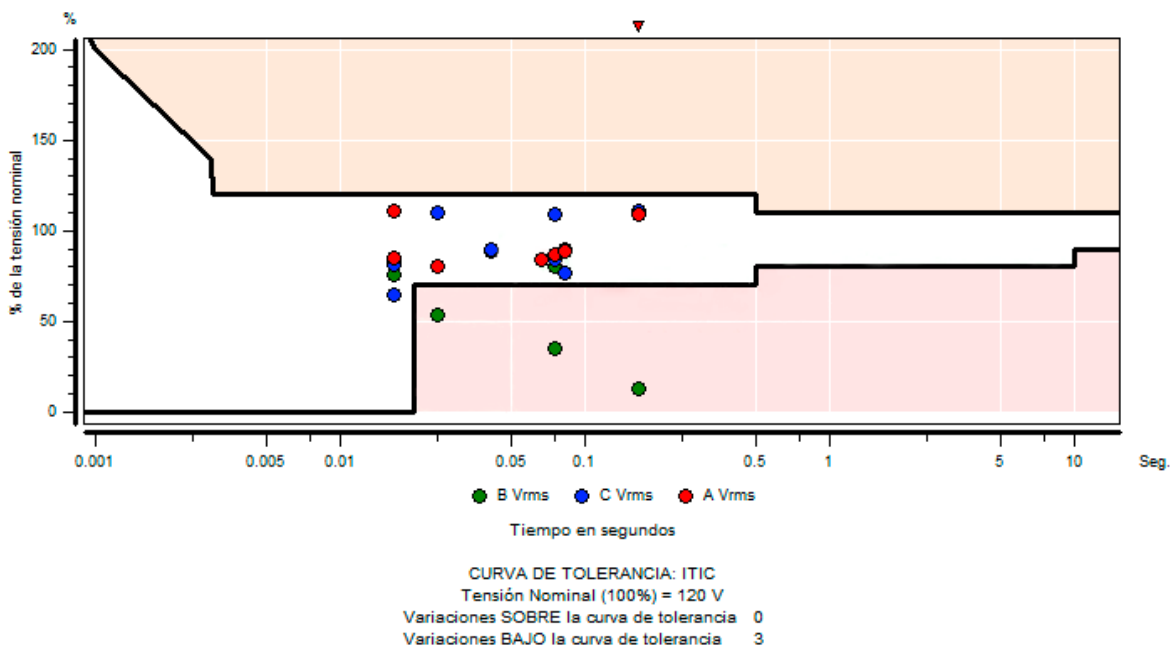
- Los equipos en estudio al conectarles una carga en sus terminales de salida presentan una menor robustez y resiliencia al detectar un hueco de tensión, esto es debido a que en una prueba normal de funcionamiento en vacío, el equipo no está forzado a entregar una carga determinada por lo tanto al manejar un pequeño motor en sus terminales de salida y detectarse un hueco de tensión, la carga absorbería toda la energía residual manejada por el equipo haciéndolo más sensible a huecos de tensión de menor magnitud.
- Al someter a huecos de tensión los mismos equipos en estudio sin una carga conectada a ellos presentaron una mayor robustez y resiliencia, siendo los PLC marca SIEMENS los de mayor robustez y resiliencia.
- Se ha observado que los equipos que tienen un año de fabricación mayor tienden a presentar una menor robustez y resiliencia a la hora de someterse a un hueco de tensión. Esto se demostró con los equipos LOGO'S, se presentan tres modelos similares, con diferentes años de fabricación, los resultados obtenidos se pueden observar que el equipo más nuevo, siendo el LOGO SIEMENS BM 230 RCE, tiene una mayor robustez comparada con sus antecesores, esto se debe a muchos factores entre ellos: el tiempo de operación de los equipos más viejos, el mantenimiento que han recibido dichos equipos y así como la electrónica diferente que maneja el LOGO en estudio.
- Los contactores al ser equipos de maniobra y no presentar dispositivos de electrónica, manejan una menor resiliencia comparado a otros equipos estudiados, siendo estos muy sensibles a disminuciones de voltaje bruscas, como se vio en este trabajo de graduación, al someterse a un 70% de voltaje nominal el equipo tiende a salir de servicio.
- De las cinco semanas de medición, la más significativa fue la semana cinco, ya que en esta los equipos con mayor robustez, siendo los PLC, salieron de servicio en mayor proporción que en las semanas restantes, detectándose 32 huecos de tensión el cual el de mayor magnitud tuvo un 6% del voltaje nominal con una duración de 0.208 s.

## REFERENCIAS

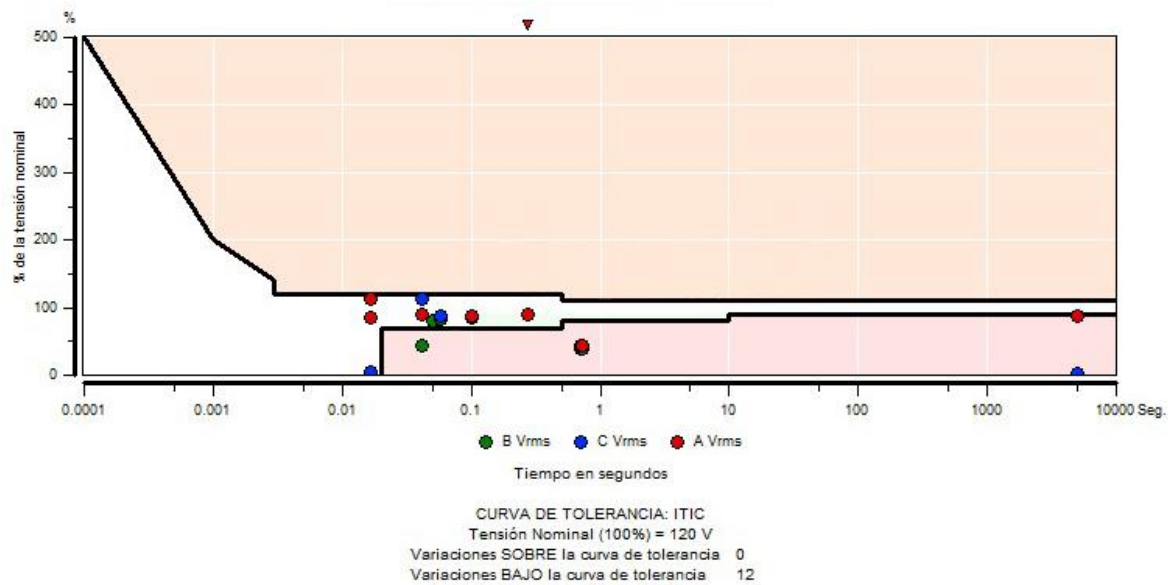
- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests mayo 2017.
- [2] SEMI F47-0706:2006. Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity, 2006.
- [3] Byron Cantor Pérez, Cristobal Isaias Chafoya Castro, Victor Salomon Sagastume Peñate “Análisis del Efecto de los Sag’s en PLC”, Universidad de El Salvador, febrero 2019.
- [4] “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”, IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), pp. c1-81, 2009
- [5] SIGET “Normas de Calidad de Servicio de los Sistemas de Distribucion”, El Salvador, diciembre 2014.
- [6] MHJ. Bollen. “Undertanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions“. John Wiley & Sons, New Jersey, 2000.
- [7] G. Yalginkaya, MHJ. Bollen, PA. Crossley. “Characterization of Voltage Sags in Industrial Distribution Systems”. 1998.
- [8] MHJ. Bollen, E. Styvaktakis, I. Yu-Hua Gu. “Classification of Power Systems Events: Voltage Dips”. 2000.
- [9] Information Technology Industry Council (ITI), ITI (CBEMA) curve application note, October 2000.
- [10] Juan José Mora, Joaquim Melendez, “Caracterización de los Huecos de Tensión para Localización de Fallas en Sistemas de Distribución – Un Primer Paso Hacia un Método Hibrido”, agosto 2004.
- [11] K. Yao, D. Koval, W. Su, J. Salmon, “Modelling Consumer Voltage Sags by Distribution Primary Faults”, Electrical and Computer Engineering, IEEE Canadian Conference on, ISSN 0840-7789, 1999.
- [12] K. Smith, L. Ran, B. Leyman. “Analysis of Transformer Inrush Transients in offshore Electrical System” Generation, Transmission and Distribution, IEEE, 1999.
- [13] A. Tompson. “An Accurate Falutl Classification Technique for Power System Monitoring Devices” Power Delivery, IEEE Transactions on. 2002.

- [14] MHJ. Bollen, E. Styvaktakis. "Characterization of three phase unbalanced dips" Power. Atlanta: Engineering Society Summer Meeting. 2000.
- [15] Juan José Mora Flórez. "Perturbaciones en la onda de tensión: Huecos [sag] y Sobretensiones [swell]". Girona, marzo 2003.
- [16] R. Tan and V. Ramachandaramurthy, A Comprehensive Modeling and Simulation of Power Quality Disturbances Using MATLAB/SIMULINK. pp. 83-107.

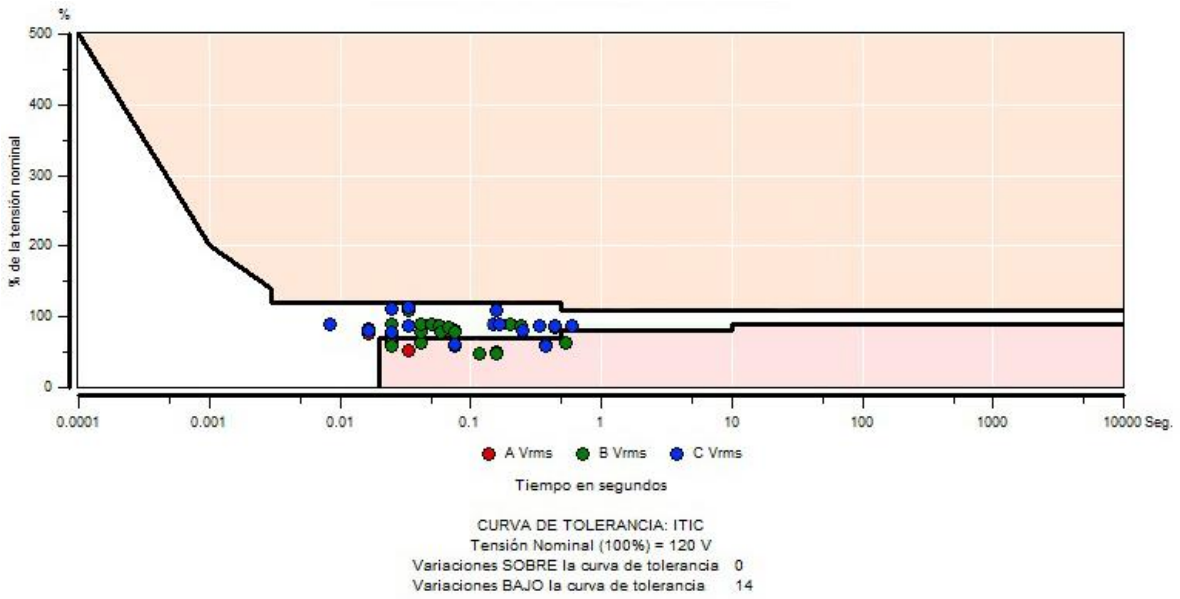
## ANEXOS



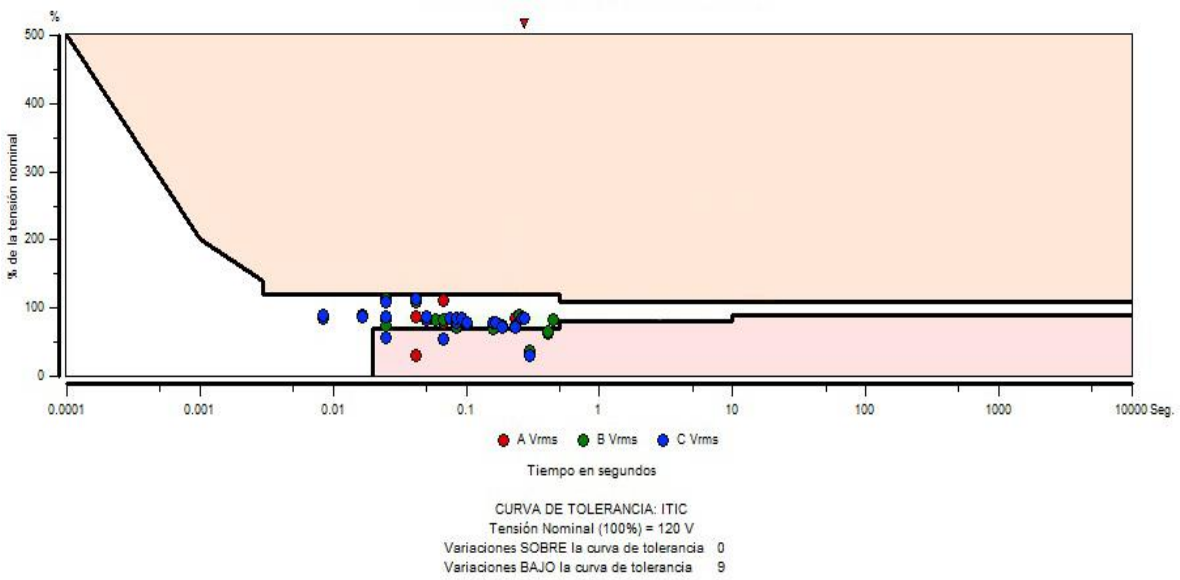
A 1: Curva ITIC semana 1 extraída de dran-view 7



A 2: Curva ITIC semana 2 extraída de dran-view 7

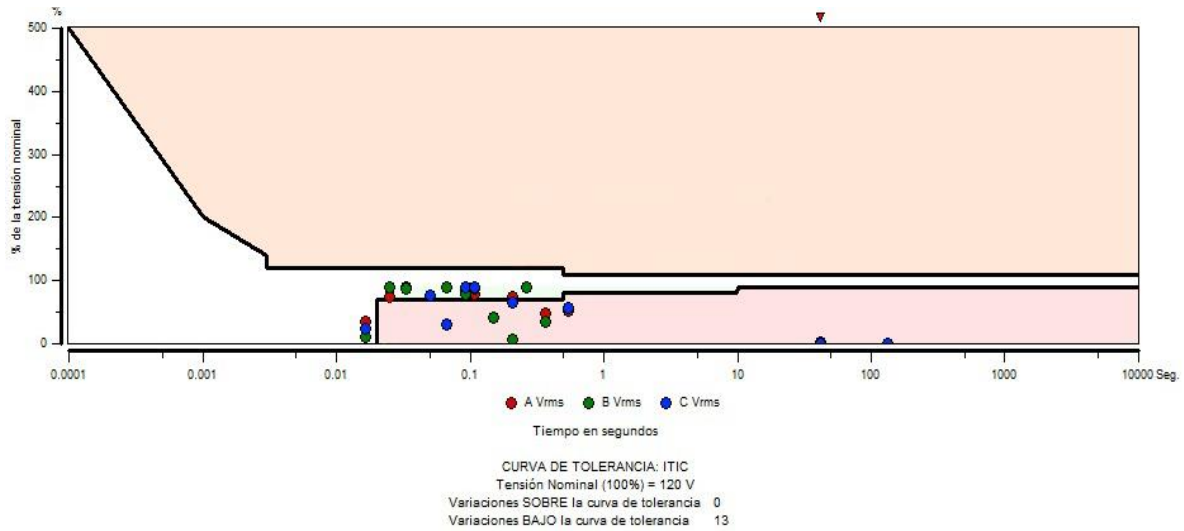


A 3: Curva ITIC semana 3 Extraída de dran-view 7



A 4: Curva ITIC semana 4 extraída de dran-view 7





A 5: Curva ITIC semana 5 extraída de dran-view 7

Efectos de los huecos de tensión 3.0.3

Juguete Didáctico de los Efectos de los Huecos de Tensión de Alex McEACHERN

Salida CC de la fuente de alimentación  
 Trifásica  Monofásica

Impedancia fuente Condensador CC Eficiencia regulador Carga

Huevo de tensión  
 Huevo de tensión  
 Huevo monofásico  
 Huevo bifásico  
 Huevo trifásico

Profundidad Vectores Duración

Fase a fase

IEC 61000-4-34  
 Fig 3a  
 Fig 3b  
 Fig 3c  
 Fig 3d

Ajuste ángulo desplazamiento

Valores iniciales Copiar

A 6: Software simulador de huecos de tensión