

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA PROTECTORES  
DE VOLTAJE MONOFÁSICO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. León Ch., Ayarith M.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2008.

## TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

# **DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA PROTECTORES DE VOLTAJE MONOFÁSICO**

Profesor Guía: Ing. Tamara Pérez

Tutor Industrial: Ing. Bartolomé Milá de la Roca

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. León Ch., Ayarith M.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2008.

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 07. de noviembre de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Ayarith León:

### “DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA PROTECTORES DE VOLTAJE MONOFÁSICO”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Gustavo Gutiérrez

Jurado



Prof. Panayotis Tremante

Jurado



Prof. Tamara Pérez

Prof. Guía

## DEDICATORIA

A **Dios Todopoderoso**, por estar presente en mi vida y darme la fuerza para sobrellevar todas las situaciones difíciles y las no tan difíciles no solo a nivel académico sino también personal.

A mi madre **Ariani** por ser una gran mujer y enseñarme tantas cosas que me han hecho quien soy hoy.

A mi padre **Victor**, eres un gran hombre y un ejemplo a seguir.

A mi novio **Ricardo** por tu apoyo en todo momento, por enseñarme a ser una persona ordenada y a dedicarle el tiempo que se merece cada cosa Te Amo.

A **Adolfo**, gracias por brindarme una sincera amistad y por escucharme todos los cuentos, todos los días tenía un cuento diferente “jajaja” y siempre me escuchaste gracias.

A mis amigos: Jorge, Karina, Antonio, León, Andrés, Gaby, Claudio, David y Fariñas por ser grandes amigos en todo momento.

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios Todopoderoso**, por escucharme, ayudarme y hacerme entender que todo pasa por un motivo, que siempre es lo mejor y que todo tiene un propósito.

Gracias mami por tus palabras de aliento siempre que me veías súper estresada aunque no entendieras mucho lo que estaba haciendo estabas pendiente de cómo salían las cosas al final te quiero muchísimo mami.

A mi padre, gracias por aconsejarme y hacerme entender que es posible lograr lo que uno se proponga, a pesar de las demás personas. Gracia papi te quiero.

A mi hermana **Areanella** gracias por aconsejarme en todo momento y entenderme cuando me amargaba toda por algún proyecto “Gracias herma”.

A mi novio, **Ricardo**, gracias ti por estar siempre pendiente de mi y de apoyarme como nadie. Gracias por darme ánimo cuando pensaba que no podía mas. Eres la persona mas especial es mi vida “Te amo ti”.

A mi tutor industrial, **Ing. Bartolomé Milá de la Roca**, quien confió en mi y me dió la oportunidad de demostrar mis conocimientos y habilidades. Tuvo siempre la mayor disposición para orientarme y apoyarme durante la elaboración de este trabajo. “Muchas gracias Bart”.

A mi profesora guía, **Ing. Tamara Pérez**, por dedicar parte de su tiempo para guiarme y aconsejarme durante el desarrollo de este trabajo. “Gracias Profe”.

Al equipo de profesionales de Investigación y Desarrollo de GENTE: Roger Rivera, Jesús María Borges, Verónica Rojas, Gianbatista, Felipe, Romel, Lilian y Oscar por poner su granito de arena para que este trabajo pudiese culminarse. “Gracias por todo su cariño y por su valiosa colaboración, aunque se que a veces me ponía fastidiosa”. “Vero mil gracias por todo el apoyo que me distes desde el primer día eres una gran amiga”.

León Ch., Ayarith M.

## **DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA PROTECTORES DE VOLTAJE MONOFÁSICO**

**Prof. Guía: Ing. Tamara Pérez. Tutor Industrial: Ing. Bartolomé Milá de la Roca. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica y Control. Institución: Generación de Tecnología. 2008. 84+anexos.**

**Palabras Claves; Banco de pruebas, Protectores de voltaje, Controlador programable.**

**Resumen.** Se realizó el diseño e implementación de un prototipo de banco de pruebas unitario para protectores de voltaje monofásico, a fin de mejorar la confiabilidad del producto final y aumentar la productividad de la Empresa Generación de Tecnología. El diseño del banco de pruebas está dividido en dos partes el hardware y software. El hardware se desarrolló tomando en cuenta la seguridad del operador, la estructura de prueba, el circuito acondicionador de señales y el controlador programable. En el software se configuraron los módulos de entrada/salida y de comunicación de dicho controlador y se implementó un programa que maneja los periféricos en las pruebas del nuevo protocolo. El banco de pruebas identifica si el producto cumple con sus especificaciones, en caso contrario clasifica la falla encontrada, así mismo almacena la información generada en las pruebas, el serial del producto y la fecha y hora, en una base de datos. Con la puesta en funcionamiento del banco de pruebas se comprobó que dicho prototipo puede ser insertado en una línea de producción no solo cumpliendo con la demanda diaria de la línea, sino aumentando la capacidad productiva en un 20% debido a la disminución del tiempo de prueba. A través de los reportes generados por la base de datos se pueden realizar estudios estadísticos sobre el comportamiento de los productos, proporcionando de esta forma información de la que no disponía la empresa.

# ÍNDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	xvi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	2
<b>1. ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO</b> .....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Reseña Histórica de Generación de Tecnología.....	5
1.4.1. Planificación estratégica.....	5
1.4.2. Estructura organizacional de la empresa.....	7
<b>CAPÍTULO II</b> .....	8
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	8
2.1. Proceso productivo.....	8
2.1.1. Recepción de materia Prima.....	8
2.1.2. Ensamble de PCB.....	9
2.1.3. Pruebas Básicas.....	9
2.2. Circuito impreso (Printed Circuit Board, PCB).....	10
2.2.1. Diseño de los PCBs.....	11
2.2.2. Fabricación de los Circuitos Impresos.....	14

2.2.3.	Ensamble de productos. ....	15
2.2.4.	Fallas comunes en los PCBs. ....	15
2.3.	Métodos tradicionales para realizar pruebas a los PCBs .....	19
2.4.	Normas de calidad Venezolana .....	19
2.4.1.	Determinación de las tensiones de desconexión: .....	22
2.4.2.	Determinación del tiempo de retardo a la conexión: .....	23
2.4.3.	Determinación de las tensiones de reconexión: .....	24
2.5.	Métodos matemáticos para el análisis de datos experimentales .....	26
2.5.1.	Ajuste por mínimos cuadrados.....	26
2.5.2.	Búsqueda binaria o dicotómica .....	27
2.6.	Mecanismos de trazabilidad .....	27
2.6.1.	Código de barras .....	27
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>29</b>
<b>3. MARCO REFERENCIAL</b>	.....	<b>29</b>
3.1.	Gerencia de Investigación y Desarrollo (I&D).....	29
3.2.	Línea Exceline. ....	29
3.2.1.	Productos.....	30
3.3.	Protector de nevera (GSM-N).....	31
3.3.1.	Especificaciones de GSM-N .....	32
3.3.2.	Prueba In Circuit Test (ICT).....	32
3.3.3.	Protocolo de pruebas actual. ....	33
3.4.	Controladores de Automatización Programables (PAC).....	35
3.4.1.	OPTO 22. ....	36
3.4.2.	Software del PAC OPTO22 .....	41
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	<b>42</b>
<b>4. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS</b>	.....	<b>42</b>
4.1.	Consideraciones del Diseño.....	42
4.2.	Hardware.....	44
4.2.1.	Controlador SNAP UP1-ADS.....	44
4.2.2.	Fuente Aislada.....	44

4.2.3.	Fuente de Referencia.....	45
4.2.4.	Estructura de Prueba .....	45
4.2.5.	Señalización .....	50
4.2.6.	Lector de código de barras.....	51
4.2.7.	Esquema de conexión del banco de pruebas.....	51
4.3.	Software.....	53
4.4.	Protocolo de pruebas: .....	55
4.4.1.	Tiempo de conexión.....	56
4.4.2.	Umbral de alto y bajo voltaje.....	57
4.4.3.	Conexión Rápida.....	59
4.4.4.	Tiempo de detección .....	59
4.4.5.	Histéresis de umbral de bajo voltaje .....	60
4.4.6.	Histéresis de umbral de alto voltaje .....	60
4.4.7.	Funcionamiento de los Leds.....	60
4.5.	Propuesta de Expansión del Banco de Pruebas .....	61
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>63</b>
<b>5. VALIDACIÓN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>63</b>
5.1.	Prueba piloto.....	63
5.2.	Prueba de verificación del banco de pruebas.....	69
5.3.	Base de datos .....	74
5.4.	Diferencias entre el banco de pruebas actual y el piloto .....	76
5.5.	Archivos de la prueba de ICT.....	77
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>82</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>		<b>85</b>
<b>[ANEXO N°1] .....</b>		<b>87</b>
<b>[ANEXO N°2] .....</b>		<b>90</b>
<b>[ANEXO N°3] .....</b>		<b>92</b>
<b>[ANEXO N°4] .....</b>		<b>94</b>
<b>[ANEXO N°5] .....</b>		<b>103</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Ancho de las pistas en los PCBs según la tensión de alimentación. ....	11
Tabla N° 2. Especificaciones del GSM-N. ....	32
Tabla N° 3. Reporte de la prueba ICT para el GSM-N. ....	33
Tabla N° 4. Elementos del banco de pruebas diseñado. ....	51
Tabla N° 5. Resultado de la prueba de verificación. ....	69
Tabla N° 6. Productos Reprocesados. ....	69
Tabla N° 7. Falsos negativos del los bancos de prueba. ....	70
Tabla N° 8. Base de datos. ....	75
Tabla N° 9. Comparación entre el Banco Actual y el Banco Piloto. ....	77
Tabla N° 10. Comparación del archivo original y el modificado. ....	79
Tabla N° 11. Base de datos de la prueba ICT. ....	80
Tabla N° 12. Análisis de un archivo de la prueba ICT para GSM-MT-V08. ....	81
Tabla N° 13. Análisis de un archivo de la prueba ICT para REGLETA-BASICO. ....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Organigrama de la empresa.....	7
Figura N° 2. Diagrama de bloques del proceso productivo.....	8
Figura N° 3. Tipos de componentes.....	10
Figura N° 4. Ubicación de los componentes en el PCB.....	12
Figura N° 5. Ramificación de las pistas en forma de “T”.....	12
Figura N° 6. Corrección de las ramificaciones en forma de “T”.....	13
Figura N° 7. Segmentos pequeños de pistas.....	13
Figura N° 8. Lazos entre pistas de tierra y de señal.....	13
Figura N° 9. Falla de cortocircuito entre pistas.....	16
Figura N° 10. Falla de pista levantada vista lateral.....	16
Figura N° 11. Falla de pista levantada vista frontal.....	16
Figura N° 12. Falla por componente faltante en el PCB.....	17
Figura N° 13. Falla por componente invertido.....	17
Figura N° 14. Falla por componente equivocado.....	18
Figura N° 15. Falla por soldadura fría.....	18
Figura N° 16. Cama de Clavos.....	19
Figura N° 17. Código de Barras unidimensional.....	28
Figura N° 18. Imagen del GSM-N.....	31
Figura N° 19. Diagrama de tiempo del banco actual.....	34
Figura N° 20. Diagrama de Flujo de las pruebas del banco actual.....	34
Figura N° 21. Módulo de entrada analógica y dos canales.....	38
Figura N° 22. Módulo de entrada analógica y dos canales aislados.....	38
Figura N° 23. Módulo de entrada digital y cuatro canales.....	39
Figura N° 24. Módulo de salida digital y cuatro canales.....	39
Figura N° 25. Módulo de salida digital y cuatro canales.....	40
Figura N° 26. Módulo de comunicación serial y dos puertos.....	40

Figura N° 27. Diagrama de bloques del banco de pruebas diseñado.....	43
Figura N° 28. Estructura de prueba.....	45
Figura N° 29. Circuito impreso del acondicionador de señales.....	47
Figura N° 30. Esquema circuital del acondicionador de señales de la estructura de prueba.....	48
Figura N° 31. Diagrama de bloques del protector de nevera y los puntos de detección de fallas. ....	49
Figura N° 32. Identificación de los Leds. ....	50
Figura N° 33 Diagrama de Bloques del circuito de temporización del protector de nevera.....	50
Figura N° 34. Esquema de conexión del banco de pruebas.....	52
Figura N° 35. Diagrama de Flujo del software. ....	54
Figura N° 36. Diagrama de flujo del banco de pruebas diseñado.....	55
Figura N° 37. Diagrama de tiempo del protocolo de pruebas.....	56
Figura N° 38. Imagen del GSM-N.....	94
Figura N° 39. Imagen del GSM-NP.....	95
Figura N° 40. Imagen del GSM-RE.....	95
Figura N° 41 Imagen del GSM-R 120B y GSM-R 220B. ....	96
Figura N° 42. Imagen del GSM-RT 120 y GSM-RT 220.....	96
Figura N° 43. Imagen del GSM-RF 120 y GSM-RF 220.....	97
Figura N° 44. Imagen del GSM-M 120B y GSM-RM 220B.....	97
Figura N° 45. Imagen del GSM-C.....	97
Figura N° 46. Imagen del GST-R. ....	98
Figura N° 47. Imagen del GSM-E. ....	98
Figura N° 48. Imagen del GSM-MP.....	99
Figura N° 49. Imagen del GSM-EP.....	99
Figura N° 50. Imagen del GTC-A 120.....	100
Figura N° 51. Imagen del GTC-E.....	100
Figura N° 52. Imagen del GTC-B1L y GTC-B1L 220.....	101
Figura N° 53. Imagen del GTC-B1C y GTC-B1C 220.....	101

Figura N° 54. Imagen del GCF. ....	102
Figura N° 55. Imagen del GRF-S.....	102

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1. Umbral de bajo voltaje IN real vs calculado. ....	64
Gráfica N° 2. Porcentaje de error del umbral de bajo voltaje IN.....	64
Gráfica N° 3. Umbral de sobre voltaje IN real vs calculado.....	65
Gráfica N° 4. Porcentaje de error del umbral de sobre voltaje IN.....	65
Gráfica N° 5. Histéresis de umbral de bajo voltaje real vs calculado.....	65
Gráfica N° 6. Porcentaje de error del umbral de bajo voltaje out.....	66
Gráfica N° 7. Histéresis de umbral de sobre voltaje real vs calculado.....	66
Gráfica N° 8. Porcentaje de error del umbral alto out.....	66
Gráfica N° 9. Tiempo de Conexión real vs calculado.....	67
Gráfica N° 10. Porcentaje de error del tiempo de conexión.....	67
Gráfica N° 11. Histograma del tiempo de conexión.....	71
Gráfica N° 12. Histograma del umbral de bajo voltaje.....	71
Gráfica N° 13. Histograma del umbral de sobre voltaje.....	71
Gráfica N° 14. Histograma de la histéresis de umbral de bajo voltaje.....	72
Gráfica N° 15. Histograma de la histéresis de umbral de sobre voltaje.....	72
Gráfica N° 16. Histograma de la tensión nominal del los leds.....	73

## ACRÓNIMOS

AOI: Inspección Óptica Automatizada (siglas derivadas del inglés, Automated Optical Inspection).

AXI: Inspección con rayos X Automatizada (siglas derivadas del inglés, Automated X-ray Inspection).

COVENIN: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

FPT: Prueba con Sondas Móviles sin Contactos (siglas derivadas del inglés, Flying Probe Test).

GCF : Gente Celda Fotoeléctrica.

GRF-S: Gente Receptáculo para Fococelda Standard.

GSM-C: Gente Supervisor Monofásico de Control.

GSM-E: Gente Supervisor Monofásico para Electrónicos.

GSM-EP: Gente Supervisor Monofásico Enchufable Profesional.

GSM-M 120B y 220B Gente Supervisor Monofásico para Motores de Borneras.

GSM-MP: Gente Supervisor Monofásico Multipropósito.

GSM-N: Gente Supervisor Monofásico para Neveras.

GSM-NP: Gente Supervisor Monofásico para Neveras Premium.

GSM-R 120B y 220B: Gente Supervisor Monofásico Regulado de Borneras.

GSM-RE 120 y 220: Gente Supervisor Monofásico Regulado Enchufable.

GSM-RF 120 y 220: Gente Supervisor Monofásico Regulado Fijo.

GSM-RT 120 y 220: Gente Supervisor Monofásico Regulado de Tomacorriente.

GST-R: Gente Supervisor Trifásico Regulado.

GTC-A 120: Gente Time Controller Aqua 120VAC.

GTC-B1C: Gente Time Controller Bornera 1 Control.

GTC-B1L: Gente Time Controller Bornera 1 Load.

GTC-E: Gente Time Controller Electrónico.

ICT: Test Sobre el Circuito (siglas derivadas del inglés, In Circuit Test).

IDE: Ambiente de Desarrollo Integrado (siglas derivadas del inglés, Integrated Development Environment).

IP: Protocolo de Internet (siglas derivadas del inglés, Internet Protocol).

- I&D: Investigación y Desarrollo.
- M2M: Máquina a Máquina (siglas derivadas del inglés, Machine-to-Machine).
- PAC: Controlador de Automatización Programable (siglas derivadas del inglés, Programmable Automation Controller).
- PCB: Tarjeta de Circuito Impreso (siglas derivadas del inglés, Printed Circuit Board).
- SMD: Componentes de Montaje Superficial (siglas derivadas del inglés, Surface Mount Device).
- THD: Componentes "Through-Hole" (siglas derivadas del inglés, Through Hole Device).

## INTRODUCCIÓN

La calidad de un producto final está determinada por los puntos de control ubicados estratégicamente en las diversas etapas de desarrollo. Estos puntos de control se realizan tanto en su diseño, validación y pruebas, como en la inspección exhaustiva durante el proceso productivo. Generación de Tecnología es una empresa venezolana dedicada al desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras en las áreas de protección, supervisión y control de cargas. Esta empresa se encuentra desarrollando un proyecto de automatización integral de su proceso productivo para lograr obtener una mayor trazabilidad y confiabilidad en sus productos.

Se realizó un estudio para mejorar la eficiencia de las pruebas funcionales implementadas durante el proceso de producción de los protectores de voltaje monofásicos. Dichas mejoras están orientadas a la disminución del tiempo de prueba, adquisición de datos, identificación de fallas y trazabilidad de los productos, con la finalidad de proporcionar a la empresa información acerca del comportamiento de los mismos, en cuanto a la tendencia de los valores críticos que determinan si el producto se encuentra dentro de sus especificaciones. Al identificar las fallas más comunes se pueden corregir algunos aspectos del diseño para minimizar el rechazo por parte del banco de pruebas y por ende del cliente final.

El presente trabajo se divide en cinco capítulos, el capítulo I expone el planteamiento del problema y los objetivos del estudio. Los capítulos II y III contienen los conceptos generales y específicos respectivamente para la realización de esta investigación, el capítulo IV describe el diseño implementado y las pruebas realizadas. El capítulo V muestra los resultados obtenidos y sus análisis correspondientes. Por último se encuentran las conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento del Problema.

Actualmente la empresa Generación de Tecnología se encuentra ejecutando un plan piloto para la automatización integral del proceso productivo, razón por la cual surge este Trabajo Especial de Grado. En el proceso de producción actual no existe un mecanismo de seguimiento para asegurar la calidad de sus productos. Esto se puede lograr a través de la codificación de las tarjetas de circuito impreso, la realización de un nuevo banco de pruebas y la generación de una base de datos.

El desarrollo de un nuevo banco de pruebas surge de la necesidad de la empresa en incorporar en sus líneas de producción un dispositivo de tipo unitario que sea capaz de mantener o mejorar la producción diaria. Así como también, se requiere almacenar los resultados de cada producto en algún formato que permita su trazabilidad. Por todo lo antes expuesto, se deben reducir los tiempos prueba, disminuyendo así los costos de producción y por ende aumentando la productividad y la confiabilidad del producto final.

En el proceso de producción actual, se tienen dos tipos de bancos de pruebas uno para producto final y otro del tipo ICT (In Circuit Tester) para la validación de los PCBs ensamblados. Estos bancos generan reportes aislados de la calidad del proceso de manufactura y empaque. Por ausencia de seriales en los circuitos impresos no se puede obtener información acerca del número productos reparados ni cuántas veces se procesan en los bancos de pruebas, por lo que el proceso disminuye su eficiencia.

Con los PCBs enumerados se puede realizar una base de datos donde se podrá observar la evolución de un producto desde el ensamblaje hasta la venta del mismo. Si se reporta una falla por el cliente, se podría revisar el historial y de ser necesario corregir o rediseñar el protector de voltaje monofásico.

## **1.2. Antecedentes**

En la empresa no existen antecedentes del desarrollo de bancos de pruebas unitarios que generen reportes específicos por cada producto, los cuales puedan ser insertados en una línea de producción sin afectar la producción diaria. Sin embargo en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela existe un Trabajo Especial de Grado titulado Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Lámparas de Emergencia, en el cual se diseña y construye un banco de pruebas unitario, que almacena los resultados obtenidos en una base de datos [1]. En dicho trabajo el tiempo de prueba no parece ser un aspecto importante en el desarrollo del mismo. Por lo antes expuesto, aunque existen antecedentes de algunos aspectos de éste estudio, no se puede afirmar que existan trabajos en la misma línea de investigación que el presente.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Diseñar un banco de pruebas para protectores de voltaje monofásico como parte de un plan piloto para la automatización integral del proceso productivo.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Plantear mejoras al proceso general de aseguramiento de calidad actual del producto.
- Diseñar el protocolo de prueba para el protector de voltaje.
- Diseñar y desarrollar un prototipo del banco de pruebas para el protector de voltaje, para el cual se requiere:
  - Mantener el rechazo en banco de pruebas de producto final a menos del 0,1%.
  - Determinar el rechazo real por montaje de PCB.
  - Mejorar los tiempos de prueba al menos en 50%.
  - Limitar el número de reprocesamiento de los productos.
- Diseñar el mecanismo de almacenamiento de la data generada en los bancos.
- Diseñar el formato de los archivos de datos de los bancos, el formato de los reportes e informes de prueba.
- Proponer un diseño que permita la expansión del banco de pruebas piloto al resto de los protectores de voltaje monofásico de la línea.

#### **1.4. Reseña Histórica de Generación de Tecnología.**

Generación de Tecnología C.A. (GENTE CA) es una empresa que diseña, desarrolla, fabrica y comercializa, dispositivos electrónicos de supervisión, protección y control de cargas y sistemas eléctricos en baja tensión.

GENTE diseña y manufactura sus propios productos, utilizando avanzados procesos y los mejores insumos, obteniendo como resultado una alta calidad reconocida a nivel mundial. Este logro se debe al esfuerzo de la compañía, por más de 20 años, en conocer e identificar las necesidades del cliente, investigar y evaluar continuamente el comportamiento de los diseños, en condiciones extremas, e incluyendo nuevas tecnologías. Posee uno de los centros de Investigación y Desarrollo en electrónica más completo, con equipos de última tecnología.

Su proceso de fabricación está diseñado dentro de un sistema de aseguramiento de calidad, que garantiza una producción con un bajo nivel de rechazo por parte del cliente final. Este proceso tiene como principales fortalezas una estricta inspección de entrada de la materia prima y la prueba funcional del 100% de la producción.

##### **1.4.1. Planificación estratégica.**

La planificación estratégica define la misión y la visión de la compañía e incluye además de los objetivos estratégicos, los valores que se fomentarán en su personal para llegar exitosamente a esta visión.

##### **1.4.1.1. Misión.**

”Somos una empresa que desarrolla soluciones tecnológicas innovadoras (hardware, software y diseño mecánico), en respuesta a las necesidades de nuestros clientes en las áreas de protección, supervisión y control de cargas de sistemas eléctricos de

media y baja tensión, atendiendo a las industrias manufacturera, petrolera, energética, telecomunicaciones y mercado de consumo nacional e internacional, siendo una referencia de emprendedores en sectores no tradicionales y estableciendo un nuevo paradigma de desarrollo tecnológico en el país, basado en la investigación e identificación de las necesidades del cliente.” [2]

#### **1.4.1.2. Visión.**

“Generación de Tecnología, C.A. es una empresa a la vanguardia del desarrollo tecnológico en la generación de soluciones en protección, control y supervisión de cargas y sistemas eléctricos en media y baja tensión.

Gracias al dominio de la tecnología electrónica, software y diseño mecánico; a la identificación de las necesidades de nuestros clientes y a la experiencia acumulada en la investigación y desarrollo de productos innovadores y de alta calidad, Generación de Tecnología es reconocida nacional e internacionalmente y considerada por sus clientes como un aliado tecnológico.

El ámbito principal de la acción de la empresa es el continente americano, para lo cual ha establecido alianzas productivas y comerciales.

Generación de Tecnología C.A. se ha constituido en el vehículo organizativo para que sus miembros y entorno se realicen humana y profesionalmente.” [2]

### 1.4.2. Estructura organizacional de la empresa.

En la Figura N° 1 se puede observar el organigrama de GENTE. Existen cuatro gerencias las cuales a su vez están conformadas por departamentos.

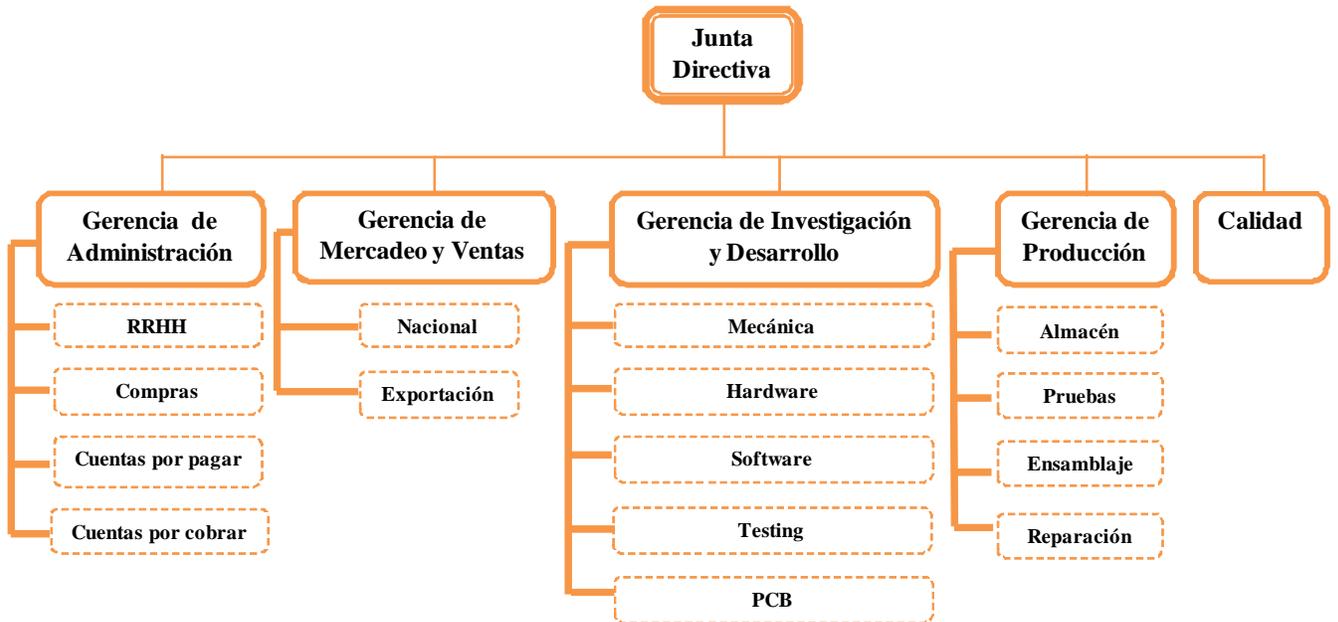


Figura N° 1. Organigrama de la empresa.

En la Gerencia de I&D es donde se desarrolla éste Trabajo Especial de Grado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Proceso productivo

El proceso productivo para los protectores de voltaje monofásicos de GENTE está dividido en diversas etapas las cuales se muestran en la Figura N° 2, y algunas de ellas se describen a continuación.

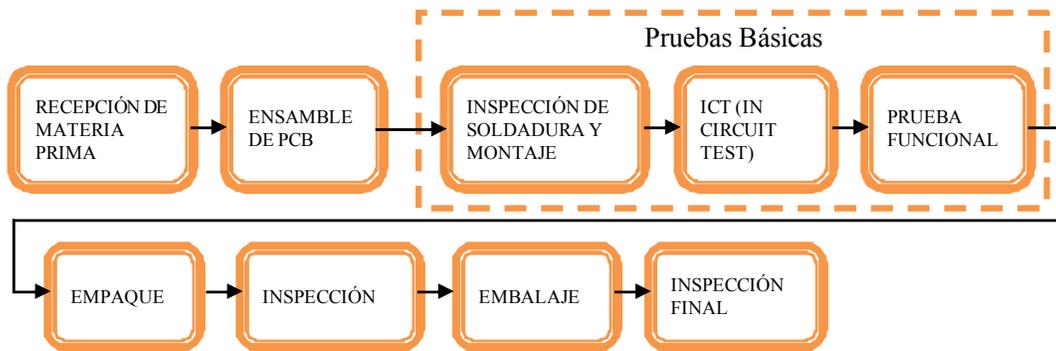


Figura N° 2. Diagrama de bloques del proceso productivo.

##### 2.1.1. Recepción de materia Prima

La recepción de la materia prima es el primer punto de inspección del control de calidad en el proceso productivo, ya que se aceptan o se rechazan los componentes, tarjetas impresas, las etiquetas y los empaques según sus características físicas y funcionales.

### **2.1.2. Ensamble de PCB**

Se ensambla cada PCB siguiendo la lista de partes para cada producto. Este proceso se realiza de forma manual y en una línea de producción. Luego los componentes son soldados por una máquina de soldadura de ola.

### **2.1.3. Pruebas Básicas**

#### **2.1.3.1. Inspección de soldadura y montaje**

Se inspecciona si el PCB tiene alguna soldadura fría, alguna pista abierta, algún componente faltante o si está invertido, entre otros. Esta inspección se realiza de forma visual.

#### **2.1.3.2. ICT (In Circuit Test)**

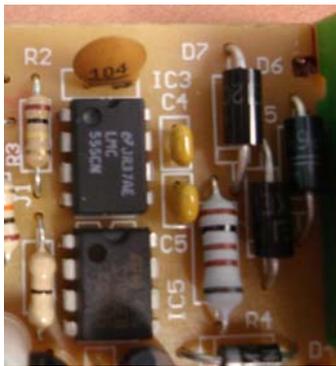
Esta prueba revisa que el proceso de ensamble se realizó sin fallas. Estas fallas pueden ser pistas abiertas, componentes faltantes, corto entre dos o mas nodos, componentes defectuosos, entre otras. Cada componente se prueba de forma individual dentro del circuito. Esta prueba genera archivos de donde se reportan las fallas encontradas, así como los componentes o pistas involucrados en la falla.

#### **2.1.3.3. Prueba Funcional**

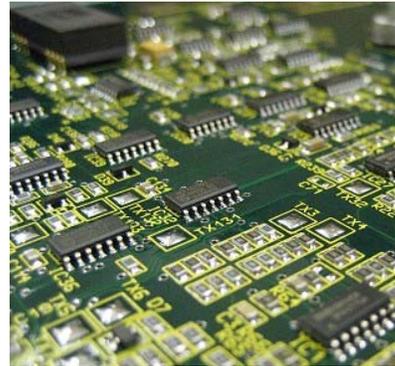
Se verifica la funcionalidad del circuito, es decir, que el producto cumpla con las especificaciones del fabricante. Por lo cual la empresa definió una serie de pruebas dependiendo del producto. Por ejemplo, algunas pruebas realizadas para los protectores de voltaje monofásicos son la detección de voltaje bajo y alto y la del tiempo de conexión.

## 2.2. Circuito impreso (Printed Circuit Board, PCB).

Es un circuito realizado sobre una placa, conformada por capas de material aislante y conductor intercaladas entre sí. Los componentes electrónicos están conectados a través de pistas o rutas del material conductor. Existen diferentes tipos de circuitos impresos los simple cara, doble cara y de múltiples caras. También existen dos tipos de componentes electrónicos según su forma de colocación en los circuitos impresos, los estándar (THD Through Hole Device) y los de montaje superficial (SMD Surface Mount Device) los cuales se muestran en la Figura N° 3 (a) y (b) respectivamente.



(a)



(b)

Figura N° 3. Tipos de componentes.

(a) Componentes through hole. (b) Componentes de superficie.

El ancho de las pistas en los circuitos impresos esta definido según la tensión de alimentación. En la Tabla N° 1 se pueden observar el ancho que deben tener las pistas tanto en milímetros y milésimas de pulgadas (mils).

Tabla N° 1. Ancho de las pistas en los PCBs según la tensión de alimentación.

Línea	Tensión de Alimentación					
	480(V)		220(V)		110(V)	
	mm	mils	Mm	mils	mm	mils
Alta	3-4	150	3	120	2-3	80
Media	2	80	2	60	1.5-2	40
Fuente	0.6-1	35-40	0.6-1	35-40	0.6-1	35-40
Señal	0.4	15-20	0.4	15-20	0.4	15-20

Para desarrollar un circuito impreso se debe cumplir con las siguientes etapas: diseño, fabricación y ensamble.

### 2.2.1. Diseño de los PCBs. [3]

Para diseñar un circuito impreso se deben tomar en consideración algunos aspectos:

- Ubicación de los elementos de interfaz hombre-máquina. Es necesario tomar en cuenta todos los elementos de interfaz como los interruptores, indicadores luminosos y tornillos de fijación al empaque, para ensamblar el producto sin inconvenientes.
- Ubicación de los componentes: cuando el proceso de colocación de componentes es manual se deben seguir algunas directivas para minimizar los errores de ensamble. Por ejemplo los diodos deben orientarse en una misma dirección o intercalados. En la Figura N° 4 (a) se muestra una configuración incorrecta debido a que no cumple con una orientación intercalada o todos en una misma dirección.

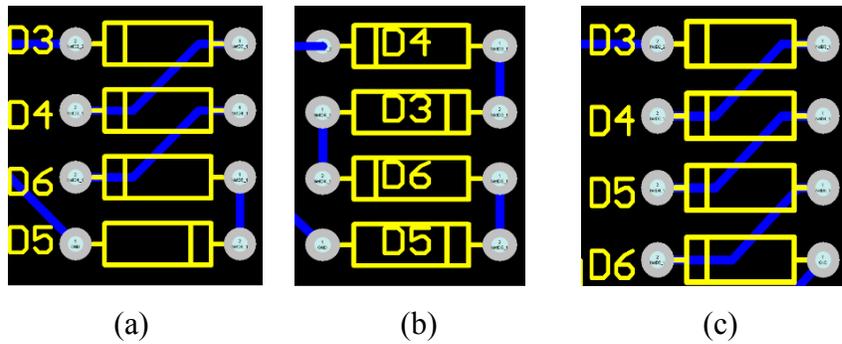


Figura N° 4. Ubicación de los componentes en el PCB.

(a) Incorrecta. (b) y (c) Correctas.

- Trazado de pistas:

- Las pistas no deben generar ángulos rectos sino de 45°: esto se debe a dos razones específicas, la primera es que al dilatarse el cobre con el aumento de la temperatura, las pistas ejercen presión entre sí y es posible que se desprendan del PCB. El ángulo de 45° minimiza la posibilidad del desprendimiento de las pistas. La segunda razón es que en alta frecuencia produce reflexión de las señales que transportan y se comportan como antenas. En la Figura N° 5 se muestra una ramificación “T” y en la Figura N° 6 las correcciones respectivas.

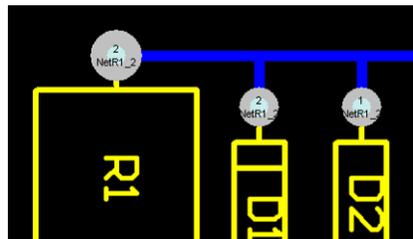


Figura N° 5. Ramificación de las pistas en forma de “T”.

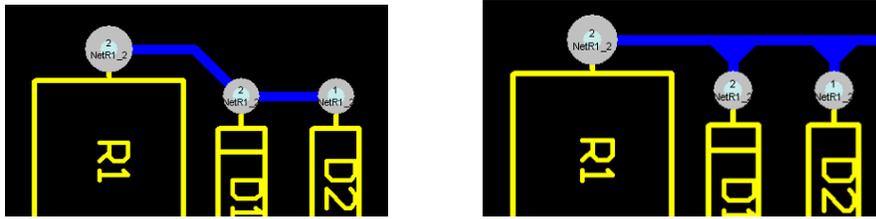
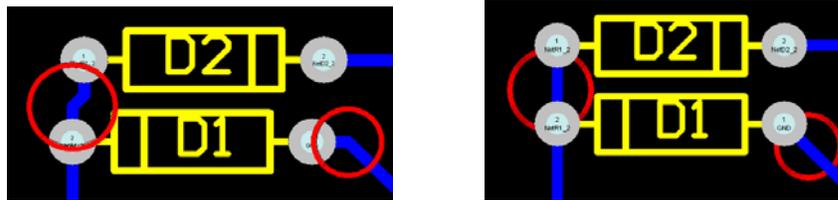


Figura N° 6. Corrección de las ramificaciones en forma de “T”.

- Evitar segmentos de rectas muy pequeños: En la Figura N° 7 (a) se muestran segmentos muy pequeños de pistas los cuales debilitan la misma, especialmente cerca del pad de un componente. En la Figura N° 7 (b) se muestra la corrección.



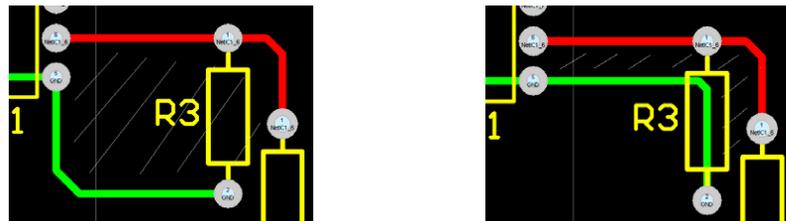
(a)

(b)

Figura N° 7. Segmentos pequeños de pistas.

(a) Incorrecto. (b) Correcto.

- Evitar la formación de lazos entre pistas que transporten señales y las de tierra, ya que esto puede causar interferencias en las señales del circuito. En la Figura N° 8 (a) se observa el área del lazo formado por las pistas de tierra y de señal y en la Figura N° 8 (b) se observa la disminución de dicha área.



(a)

(b)

Figura N° 8. Lazos entre pistas de tierra y de señal.

(y) Incorrecta. (b) Corrección.

## **2.2.2. Fabricación de los Circuitos Impresos.**

Existen dos métodos para la fabricación de circuitos impresos, el químico y el mecánico.

### **2.2.2.1. Método Químico.**

En el método químico, para el grabado de las pistas en el cobre de la placa, existen diversas técnicas, algunas de ellas son:

- Fotograbado
- Impresión en material termosensible.

Para eliminar el cobre sobrante de la placa se utilizan procesos donde se encuentran involucradas algunas sustancias químicas las cuales reaccionan al entrar en contacto con dicho cobre.

### **2.2.2.2. Método Mecánico.**

El método mecánico esta basado en un programa especial que controla una fresa mecánica, la cual puede ser de dos o tres ejes, que elimina el cobre que no corresponde al circuito.

Una vez que se elimina el cobre sobrante de la lámina del circuito impreso, bien sea a través de la técnica química o mecánica, se ejecutan los siguientes pasos:

- Se realizan las perforaciones necesarias correspondientes al producto que se va a ensamblar.
- Para metalizar las pistas existen diversas opciones, las más comunes son con oro o estaño.

- Se coloca una mascara anti-soldante, compuesta por una combinación de resinas, para proteger las pistas contra la contaminación y evitar su deterioro. Esta mascara deja libre los pads para permitir utilizar el proceso de soldadura por ola. De no aplicar este método, no se podría utilizar el proceso de soldadura por ola ya que quedaría soldadura adherida a las pistas y podría causar cortos entre componentes cercanos.

### **2.2.3. Ensamble de productos.**

Existen dos técnicas para ensamblar productos:

- Automatizada: a través de equipos especializados se colocan los componentes en el PCB.
- Manual: el proceso de ensamble lo realiza uno o varios operadores, en una línea de producción, siguiendo una lista de partes donde se detallan los tipos de componentes, valores comerciales, entre otros.

### **2.2.4. Fallas comunes en los PCBs.**

Existen fallas que ocurren al ensamblar los productos a través de las dos técnicas mencionadas en el apartado 2.2.3, aunque se encuentran con mayor frecuencia cuando los productos son ensamblados de forma manual. Las fallas más comunes son:

- Cortos entre pistas: en la Figura N° 9 se puede observar un cortocircuito entre dos pistas.

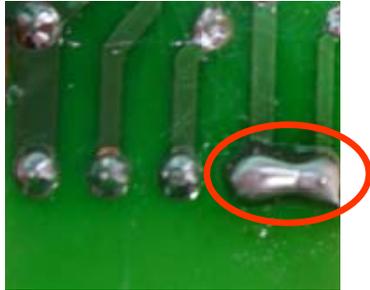


Figura N° 9. Falla de cortocircuito entre pistas.

- Pistas abiertas o levantadas: en las Figuras N° 10 y 11 se puede observar una misma pista levantada en dos vistas, una lateral y otra frontal respectivamente.



Figura N° 10. Falla de pista levantada vista lateral.

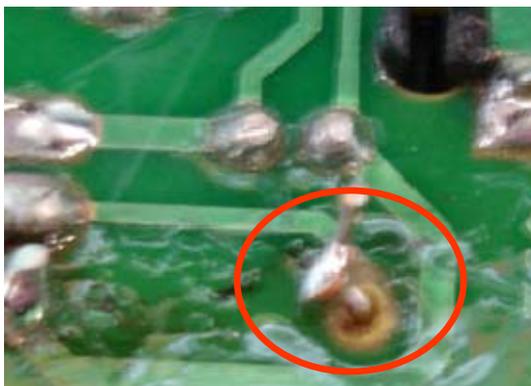


Figura N° 11. Falla de pista levantada vista frontal.

- Componentes faltantes: es muy frecuente encontrar elementos faltantes en el ensamble de un producto, en la Figura N° 12 a través de la serigrafía se observa la ausencia de un componente entre el led amarillo y el rojo.



Figura N° 12. Falla por componente faltante en el PCB.

- Componentes invertidos: existen componentes lo cuales poseen una polaridad definida que se debe respetar durante el ensamble del producto. En la Figura N° 13 se muestra un diodo invertido ya que no cumple con la serigrafía.

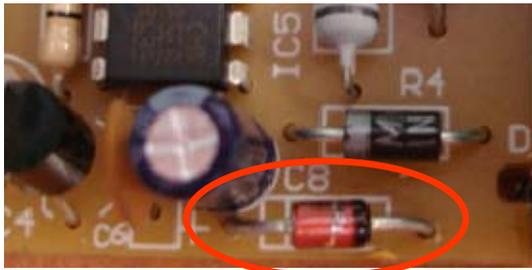


Figura N° 13. Falla por componente invertido.

- Componentes equivocados: debido al parecido físico entre los componentes, es posible confundirlos al momento de ensamblar, en la Figura N° 14 (a) se muestra una resistencia de 220Ω, la cual debería tener un valor de 2kΩ (ver Figura N° 14 (b)).

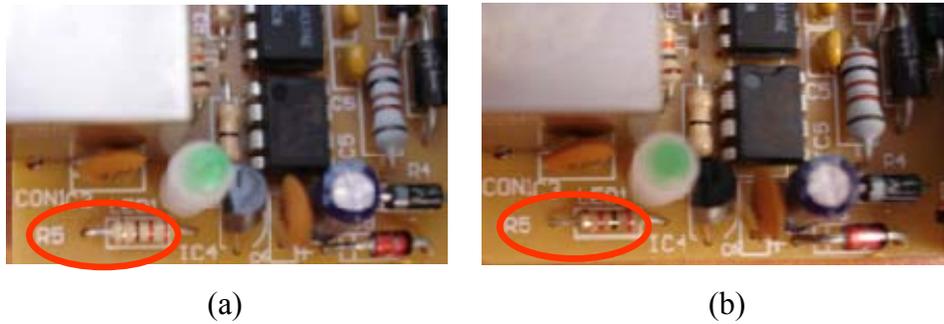


Figura N° 14. Falla por componente equivocado.

(a) Resistencia equivocada, (b) Resistencia correcta.

- Componentes dañados: los amplificadores operacionales son componentes los cuales a simple vista no se puede detectar si tienen alguna falla funcional. En el proceso de ensamble no se realizan pruebas funcionales a los componentes por lo cual se detecta si un componente falla en las pruebas posteriores realizadas al producto final.
- Soldaduras frías: una buena soldadura se identifica por su forma de “volcán” y color brillante, por el contrario cuando se tiene una soldadura fría su color es opaco y su forma de puede ser de “bolita” o presentar picos. Dicha soldadura causa un mal contacto entre el componente y la tarjeta del circuito impreso. En la Figura N° 15 se observa una soldadura fría



Figura N° 15. Falla por soldadura fría.

### 2.3. Métodos tradicionales para realizar pruebas a los PCBs

Existen diversas estructuras para realizar pruebas a los PCBs dependiendo si el método a utilizar es de tipo intrusivo o no. Un método intrusivo es aquel que causa interferencia al circuito, como ejemplo se encuentra la cama de clavos. Este probador consiste en un conjunto de pines insertados en un bloque de acrílico, los cuales están alineados para hacer contacto con el punto de medición o nodo del PCB (Ver Figura N° 16). Los pines también están conectados a través de un grupo de cables a algún equipo de medición. Si los pines utilizados son muy afilados las tarjetas pueden mostrar evidencias de que han sido probadas con este equipo.

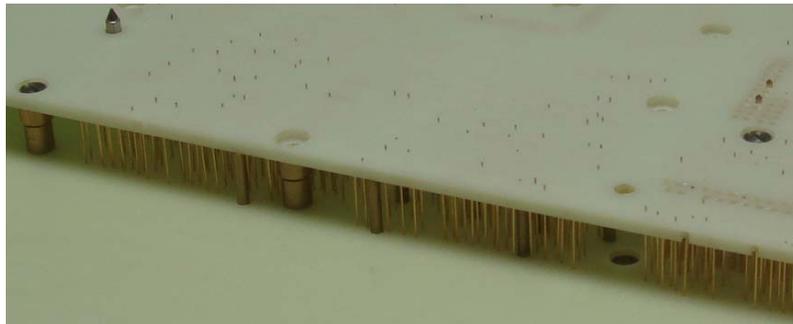


Figura N° 16.Cama de Clavos.

Otros métodos como la inspección óptica automatizada (AOI), inspección con rayos X automatizada (AXI), pruebas con sondas móviles sin contacto (FPT), no serán descritos en el presente trabajo.

### 2.4. Normas de calidad Venezolana

La norma COVENIN número 3445:1999 titulada Dispositivos Protectores Electrónicos Contra Perturbaciones de la Tensión de Línea “establece los requisitos mínimos y de seguridad que debe cumplir un protector electrónico, así como los procedimientos de ensayo para verificarlos. Se aplica a dispositivos protectores diseñados para limitar, cortar o impedir de forma automática, que las variaciones o fallas de tensión, frecuencia u otras características del suministro eléctrico puedan

causar daños significativos a los apartados que se protegen. Abarca a protectores tanto monofásicos como polifásicos, tanto aquellos que interrumpen directamente el suministro eléctrico como aquellos diseñados para actuar sobre los circuitos de control o como limitadores. También incluyen aquellos con características adicionales como protección de líneas de datos o voz, detección de la secuencia de rotación, supresores de transitorios, desbalance y otros similares.” [4]

La norma COVENIN define los parámetros que deben utilizarse al diseñar un circuito impreso.

- “El material base empleado en las tarjetas de circuitos impresos debe tener las propiedades mecánicas y eléctricas aceptables para la máxima temperatura nominal de funcionamiento del circuito impreso terminado. El espesor debe ser adecuado para la aplicación.”[4]
- Las características de inflamabilidad de este material deben ser tales que cumplan al menos con el nivel de clasificación V-2 según el ensayo definido en la norma internacional UL94, 20mm Vertical Burning Test; V-0, V-1, o V-2 (ASTM D 3801, IEC 707, o ISO 1210). [4]
- “El material conductor del circuito impreso debe ser cobre, aleaciones de cobre, oro, cobre recubierto con oro o con soldadura de estaño, aluminio u otro material con similares propiedades de resistencia a la corrosión.”[4]
- “Las pistas de circuito impreso destinadas a conducir la corriente de salida del protector deben tener las dimensiones (ancho y espesor) adecuadas para tal fin, o en su defecto ser apropiadamente reforzadas mediante puentes o alambres del calibre adecuado, estañado o cualquier otro método.”[4]

- “Las pistas de circuito impreso adyacentes con polaridades opuestas deben tener una separación adecuada a la diferencia de potencial que habrá entre ellas durante la operación del protector, con el fin de minimizar el riesgo de arcos eléctricos. Como referencia se puede consultar la norma internacional UL244A, segunda edición, 1995, sección 17, separación mínima entre partes de polaridades opuestas.”[4]
- “La colocación de componentes que se calienten se debe hacer de forma de no perjudicar su capacidad de disipación de calor, ni deteriorar o perjudicar el funcionamiento de otros componentes.”[4]

La norma COVENIN 3445:1999 también establece los métodos y tipos de ensayo que deben ser aplicados a los protectores de voltaje.

“Se entiende por un ensayo de tipo, aquel que se realiza para determinar que un modelo o tipo de protector cumple con sus características o especificaciones de diseño; el ensayo de rutina es aquel que se realiza para comprobar que un modelo o tipo aprobado continúe satisfaciendo los requisitos que se le exigen; y el ensayo especial es aquel que se realiza por solicitud expresa del cliente y es objeto de acuerdo entre este y el fabricante.

Se aplica nuevamente un ensayo de tipo cuando los exámenes de rutina determinan que cambiaron o se alteraron las características de diseño, o cuando explícitamente se indique el cambio de las mismas.

Los ensayos de rutina se aplican con la frecuencia que determine la autoridad competente, o mas frecuentemente si esto es objeto de acuerdo entre el cliente y el fabricante.”[4]

### 2.4.1. Determinación de las tensiones de desconexión:

En esta sección se describe el ensayo para la determinación de las tensiones de desconexión. La norma indica que “se debe verificar la conformidad de las tensiones de desconexión obtenidas en el ensayo con las especificaciones del equipo.”[4]

- Las condiciones de ensayo son las siguientes
  - “Antes de iniciar los barridos debe esperarse a que el protector active la salida.
  - Esta prueba se realizará a carga máxima.
  - En caso de que el equipo posea ajustes de tensión de desconexión se hará la prueba con cada ajuste al mínimo y se repetirá para el ajuste en máximo.”[4]

“El aparato de ensayo se ensambla conectando la fuente variable al protector. Un(os) voltímetros(s) se conectara(n) de forma apropiada para medir la tensión(es) de entrada del protector. Se conectará la carga a la salida del protector en paralelo con un(os) indicador(es) o voltímetros(s) para determinar cuando la salida esta energizada.”[4]

- Los procedimientos:
  - Con el equipo conectado a tensión nominal y la salida activada se inicia un barrido en sentido descendente a razón de 1 volt/tr, siendo tr un tiempo definido, hasta alcanzar el punto en que el protector desconecte la salida. Tomar nota de la tensión a la cual esto ocurre.[4]
  - Repetir el ensayo anterior para un barrido en sentido ascendente a partir de la tensión nominal, tomando nota de la tensión a la que el protector desconecta la carga.”[4]

#### **2.4.2. Determinación del tiempo de retardo a la conexión:**

En cuanto a la determinación del tiempo de conexión la norma establece lo siguiente: “El tipo y la duración del retardo de un protector dependen en gran medida de su aplicación. Algunos retardos se especifican a partir del instante de desconexión de la carga. Otros a partir del tiempo en que se estabilizan nuevamente las condiciones de la línea. Debe consultarse el manual de operación o los catálogos del fabricante para determinar el tipo de retardo y su forma de operación.”[4]

- Las condiciones de ensayo son las siguientes:
  - “Determinar a partir de las especificaciones del fabricante todas las condiciones que inician la temporización, por ejemplo, variaciones de tensión, conexión o desconexión de la carga o de la fuente de poder.
  - Se realizará un ensayo para medir el tiempo de retardo por cada uno de los eventos que inicien el ciclo de retardo.
  - En caso de equipos con retardo variable se repetirán los ensayos programados según 8.7.5.2, para cada uno de los extremos del ajuste, esto es, el mínimo y máximo retardo. Considerar la tolerancia de la escala
  - Antes de aplicar cada una de las condiciones de inicio de la temporización, el protector estará conectado a tensión nominal, carga mínima y con la salida activada.”[4]

“El apartado de este ensayo se arma conectando la fuente variable, junto con el o los voltímetros indicadores de la tensión a la entrada del protector, y conectando el indicador o voltímetro a la salida del mismo para determinar cuando esta se activa.”[4]

- Los procedimientos
  - “Se instala el protector en condiciones de tensión nominal con la carga mínima requerida y la salida activada.
  - Colocar una de las condiciones de inicio del retardo, retornar a la condición nominal y medir el tiempo de duración del retardo. Se anotará el resultado.
  - Dependiendo del tipo de retardo, la medición comienza al aplicar la condición de inicio del retardo (retardo al arranque a partir de la orden de desconexión: “delay on break”) o al regresar a condiciones nominales (retardo al arranque a partir de la orden de reconexión, “delay on make”). Se consultan las especificaciones del fabricante para determinar el tipo de retardo.”[4]

### **2.4.3. Determinación de las tensiones de reconexión:**

El ensayo que permite determinar las tensiones de reconexión del protector, según la norma indica que “para determinar estas tensiones se requiere conocer o determinar cuando el protector esta detectando una tensión que deba impedir la reconexión. Hay dos maneras de conocer esto: Si el protector de tensión posee indicadores de falla de tensión entonces podrá usarse esta indicación como ayuda para determinar la tensión de reconexión, y se usara en ese caso el método A. En caso contrario, deberá usarse el método B.”[4]

- Método A:
 

“El método A se usa siempre que el protector posea uno o varios indicadores que señalen cuando la tensión de línea está en un valor tal que el protector no permite la reconexión de la carga. Cuando se realiza un barrido desde la tensión de desconexión hacia la tensión nominal, los indicadores determinan el instante y la tensión nominal que el protector autoriza la reconexión de la carga, aunque esta no se produzca inmediatamente debido a alguna función de

temporización inherente a los requerimientos de protección. Usualmente, pero no siempre, un indicador de falla de tensión que permite visualizar el punto de reconexión. Por el contrario, aquellos indicadores asociados al suiche o conmutador del protector, o a su salida, no permiten hacerlo. En caso de que existan dudas sobre el funcionamiento del indicador o indicadores, se usara el método B.

El apartado de ensayo se ensambla conectando la fuente variable a la entrada del protector del protector y al voltímetro o voltímetros para medir la tensión de entrada.” [4]

- Las condiciones de ensayo son las siguientes:  
“El protector debe tener la salida activada y estar a tensión nominal al iniciar el ensayo. El protector debe estar sin carga o con la carga mínima que requiera.
  
- Procedimiento.
  - Reducir la tensión hasta alcanzar el nivel de desconexión inferior. El indicador correspondiente deberá señalar que la tensión está en la región en que el protector suprime la salida. Una vez que la salida se desconecte iniciar un barrido manual, a una rata menor a 1V/s, desde la tensión de desconexión hacia la tensión nominal, hasta que el indicador muestre el punto en que se alcanza la tensión de reconexión anotar la magnitud de la tensión.” [4]
  
  - Repetir el procedimiento descrito en el punto anterior, elevando la tensión hasta el nivel de desconexión superior, y repitiendo el barrido hacia tensión nominal, para determinar la tensión de reconexión superior.

## 2.5. Métodos matemáticos para el análisis de datos experimentales

Existen diversos métodos matemáticos para analizar un conjunto de datos obtenidos experimentalmente. Dependiendo de la aplicación se puede escoger dentro de una gama de métodos. Una aplicación utilizada con frecuencia es el ajuste de dichos datos a una curva definida para lo cual se pueden utilizar el método de regresión lineal, polinomial, lineal múltiple o interpolación.

### 2.5.1. Ajuste por mínimos cuadrados. [5]

El método de mínimos cuadrados es una técnica de optimización matemática para hallar la curva que mejor se aproxime a un conjunto de números. Este método se basa en minimizar la sumatoria de los residuos elevados al cuadrado. Estos residuos son el resultado de la resta entre cada valor del conjunto de números ( $y_i$ ) y su valor correspondiente de la curva evaluada en cada punto ( $f(x_i)$ ), en la ecuación N° 1 se muestra la sumatoria.

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (1)$$

El método de mínimos cuadrados se divide en dos categorías los problemas lineales y los no lineales. Los problemas no lineales normalmente se resuelven por refinamiento iterativo, donde en cada iteración del sistema se utiliza una aproximación lineal, por lo que el cálculo es similar en ambos casos. Se logra minimizar la suma a través del gradiente (ver ecuación N° 2).

$$\frac{\partial S}{\partial \theta_j} = 2 \sum_i \frac{\partial f(x_i, \theta)}{\partial \theta_j} \cdot r_i = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

La ecuación del gradiente se aplica para todos los problemas, de mínimos cuadrados, donde la derivada de la función particular exista.

### **2.5.2. Búsqueda binaria o dicotómica**

La búsqueda binaria consiste en encontrar el valor de una variable, en un intervalo definido, a través de comparaciones. El intervalo de búsqueda debe abarcar todo el rango de posibles valores que pueda tomar la variable, según la aplicación requerida. El número de comparaciones depende del intervalo de búsqueda y se obtiene a través de la expresión  $\log_2 n$ . Por ejemplo si el intervalo tiene 128 valores el número de comparaciones es igual a 7 ( $\log_2 128 = 7$ ). [6]

Este método consiste en dividir repetidamente el intervalo de búsqueda a la mitad. Se compara el punto medio del intervalo con el valor buscado, si el resultado es menor o mayor se escoge entre el intervalo inferior o superior respectivamente. [7]

## **2.6. Mecanismos de trazabilidad**

Los mecanismos de trazabilidad más comunes son las bases de datos y los códigos de barras dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, para la identificación de productos en tiendas por departamentos son necesarios los códigos de barras mientras en un consultorio médico el número de la cédula de identidad es suficiente para ubicar una historia médica.

### **2.6.1. Código de barras**

Es un código basado en un conjunto de líneas verticales, paralelas entre sí y con distinto grosor, las cuales proporcionan una información específica. Los códigos de barras se clasifican en dos grupos:

- Continua o unidimensional: los códigos de simbología continua tiene al inicio un espacio y luego comienzan las barras o viceversa. Los unidimensionales contienen barras al inicio y al final y los espacios se ignoran. La información

está representada por el ancho de las líneas verticales. Algunos códigos de una dimensión son:

- UPC – 12
- UPC – 6
- EAN – 13
- EAN – 8
- Código 39
- Código 128
- Código 93
- Codabar
- DUN14

En la Figura N° 17 se observa un código de barras unidimensional.



Figura N° 17. Código de Barras unidimensional.

- Bidimensional o multidimensional: en los códigos bidimensionales las barras pueden tener anchos variables. Los códigos multidimensionales tienen un grosor definido ( $X$ ) y las barras solo pueden tener un grosor múltiplo de dicho valor. Cada dimensión es un multiplicador de  $X$ , por ejemplo si es de cuatro dimensiones el ancho de las barras debe ser  $4X$ . Algunos códigos bidimensionales son:



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **3.1. Gerencia de Investigación y Desarrollo (I&D).**

El departamento I&D se encarga de diseñar nuevos e innovadores productos, desarrollando hardware, software y empaques, de acuerdo a los criterios de calidad definidos. El departamento se divide en cuatro líneas:

- Exceline.
- Genius.
- Medidores.
- RTU (Remote Terminal Unit).

También cuenta con tres secciones para las líneas de proyectos:

- Diseño Mecánico.
- PCB (Printed Circuit Board).
- Laboratorio.

#### **3.2. Línea Exceline.**

Exceline es la línea doméstica de GENTE, está compuesta por protectores contra alto y bajo voltaje, relojes programables de aplicaciones domésticas, comerciales e industriales de fácil y sencilla instalación y programación.

### **3.2.1. Productos.**

Dentro de la línea Exceline se encuentra una gama de productos para todas las necesidades del hogar, como por ejemplo proteger equipos electrodomésticos, de refrigeración, aires acondicionados entre otros. Estos se dividen en tres categorías (ver ANEXO 4):

#### **3.2.1.1. Protectores de voltaje.**

- Equipos de refrigeración, aire acondicionado y motores:
  - GSM-N (Gente Supervisor Monofásico para Neveras).
  - GSM-NP (Gente Supervisor Monofásico para Neveras Premium).
  - GSM-RE 120 y 220 (Gente Supervisor Monofásico Regulado Enchufable).
  - GSM-R 120B y 220B (Gente Supervisor Monofásico Regulado de Borneras).
  - GSM-RT 120 y 220 (Gente Supervisor Monofásico Regulado de Tomacorriente).
  - GSM-RF 120 y 220 (Gente Supervisor Monofásico Regulado Fijo).
  - GSM-M 120B y 220B (Gente Supervisor Monofásico para Motores de Borneras).
  - GSM-C (Gente Supervisor Monofásico de Control).
  - GST-R (Gente Supervisor Trifásico Regulado).
  
- Equipos electrónicos:
  - GSM-E (Gente Supervisor Monofásico para Electrónicos).
  - GSM-MP (Gente Supervisor Monofásico Multipropósito).
  - GSM-EP (Gente Supervisor Monofásico Enchufable Profesional).

### 3.2.1.2. Relojes programables.

- GTC-A 120 (Gente Time Controller Aqua 120VAC).
- GTC-E (Gente Time Controller Electrónico).
- GTC-B1L (Gente Time Controller Bornera 1 Load).
- GTC-B1C (Gente Time Controller Bornera 1 Control).

### 3.2.1.3. Fotocontrol.

- GCF (Gente Celda Fotoeléctrica).
- GRF-S (Gente Receptáculo para Fotocelda Standard).

## 3.3. Protector de nevera (GSM-N)

El GSM-N (Gente Supervisor Monofásico de Nevera) es un supervisor monofásico para la protección de equipos electrodomésticos, en la Figura N°18 se puede observar su imagen. Es capaz de detectar alto voltaje y bajo voltaje y, en presencia de alguna de estas dos anomalías, desconectar la alimentación del equipo que protege, indicando de manera unívoca la condición de funcionamiento. Los umbrales de protección han sido ajustados para la óptima protección de neveras de uso doméstico. Cuando se produce alguna de las condiciones de falla descritas anteriormente el indicador correspondiente deberá encender inmediatamente, sin embargo se actuará sobre la carga un segundo después. El GSM-N presenta un único modelo de 120 V.



Figura N° 18. Imagen del GSM-N.

### 3.3.1. Especificaciones de GSM-N

En la Tabla N° 2 se muestran las especificaciones del protector de voltaje para neveras.

Tabla N° 2. Especificaciones del GSM-N.

Características	Valores Teóricos	Tolerancia
Umbral de Bajo Voltaje (VAC)	90	3%
Umbral de Alto Voltaje (VAC)	140	3%
Histéresis en los Umbrales (VAC)	5	4-8 VAC
Tiempo de Desconexión (s)	1	30%
Tiempo de Conexión (s)	180	30%

### 3.3.2. Prueba In Circuit Test (ICT)

ICT es la primera prueba que se realiza luego de ensamblar el producto, donde se detectan las fallas mas comunes mencionados en el apartado 2.2.4. Esta prueba genera un reporte diario donde se registran los resultados obtenidos por cada PCB probado. Estos resultados están clasificados según tres pruebas principales, estas son la de cortocircuito, circuitos abiertos y falla de componentes. En las dos primeras se verifica que no existan pistas en corto o abiertas respectivamente. En la falla de componentes se comparan los valores medidos con los comerciales y los valores que debe tener dicho componente dentro del circuito. En la Tabla N° 3 se observa un ejemplo de dicho reporte. Primero se encuentra la fecha y la hora, luego se define si la prueba es normal o es una tarjeta reprocesada. Se inicia la secuencia de pruebas comenzando por la de corto y abierto, si pasa dicha prueba, se continúa con la de componentes, de lo contrario se muestra cual fue la falla y entre qué nodos ocurrió. Al tener una falla de corto o abierto inmediatamente se detiene la secuencia de pruebas. En esta prueba se asignan números a todos los nodos y pistas del circuito, de tal forma de identificar fácilmente donde ocurrió la falla, por ejemplo: “Link 9: [9]-[38]-[39]”, significa que la pista 9 incluye los nodos 9, 38 y 39.

Si no se encuentran fallas de cortos o abiertos se procede a realizar la prueba de componentes. Cuando el PCB falla por componentes se indica el nombre del mismo, por ejemplo D7 (el diodo 7), cual fue la medición, el valor comercial que le corresponde y el valor que se debe obtener al medir dicho componente dentro del circuito.

Tabla N° 3. Reporte de la prueba ICT para el GSM-N.

Prueba sin Fallas	Falla por Corto	Falla por Componente
Dec 20,2007 19:41 * * Normal Test * * [[[ BOARD :1 ]]] Open Short Start Open Short Pass Component Test Start Component Test Pass Open/Short Test Time: 115 ms Component Test Time : 890 ms  OverAll Test Time : 1057 ms	Dec 20,2007 19:43 * * Normal Test * * [[[ BOARD :1 ]]] Open Short Start ***** Open/Short Fail ***** Short Error Link 9: [9]-[38]-[39] Link 25: [31]  **** End Open/Short Fail **** Open/Short Test Time: 169 ms Component Test Time : 0 ms  OverAll Test Time : 252 ms	Dec 29,2007 08:09 * * Normal Test * * [[[ BOARD :1 ]]] Open Short Start Open Short Pass Component Test Start Component Test Result 0038 D7 ( 7, 11) 655.46m 655.46m 2.10 220.4% +35.0% -35.0% 0040 D8 ( 11, 3) 645.62m 645.62m 2.10 225.3% +35.0% -35.0% Component Test Fail  Open/Short Test Time: 98 ms Component Test Time : 2411 ms  OverAll Test Time : 2580 ms

### 3.3.3. Protocolo de pruebas actual.

En la Figura N° 19 se muestra el diagrama de tiempos de la prueba funcional para el protector de nevera y en la Figura N° 20 se muestra el diagrama de flujo de dichas pruebas.

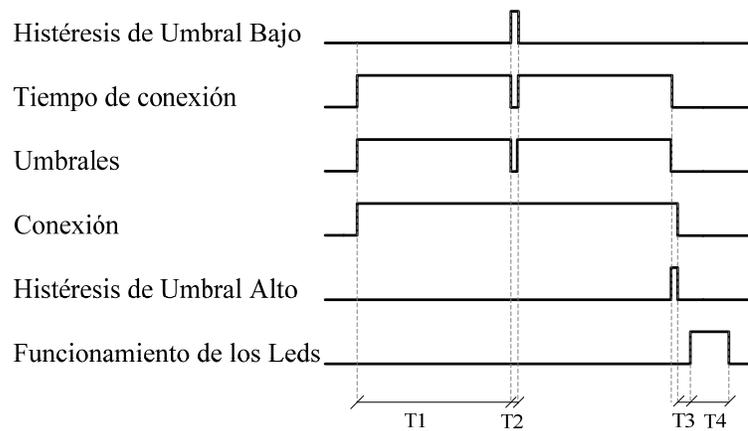


Figura N° 19. Diagrama de tiempo del banco actual.

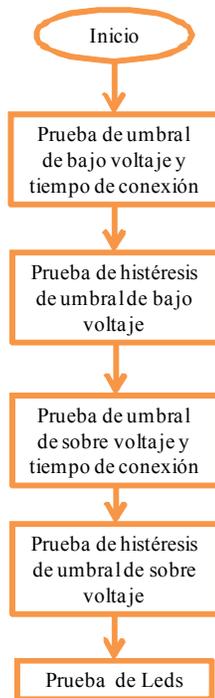


Figura N° 20. Diagrama de Flujo de las pruebas del banco actual.

- La prueba se inicia con una tensión de alimentación de 85V, donde todos los productos deben detectar falla de bajo voltaje.
- Se incrementa la tensión de alimentación hasta 99V donde deben comenzar a temporizar. Se espera el tiempo máximo (T1 igual a 234 segundos) según las

especificaciones del producto y se comprueba que los productos conectan la carga.

- Luego se programa la tensión de alimentación a 143V donde se debe detectar la falla de sobre voltaje y desconectar la carga (se espera un T2 de 10 segundos).
- Se coloca una tensión de 133V a la entrada del producto donde debe temporizar y una vez transcurrido el tiempo especificado debe conectar la carga. Una vez culminado el tiempo de esta prueba el operador debe verificar que el led verde este encendido y presionar un pulsador culminada la revisión, procedimiento que se repite para el resto de los leds.
- Se coloca el producto en modo de falla de voltaje bajo y alto y se verifica el encendido del led rojo de bajo y alto voltaje respectivamente.
- Por último se coloca en voltaje nominal y se verifica que el led amarillo este encendido.

#### **3.4. Controladores de Automatización Programables (PAC).**

Es un controlador con tecnología industrial orientada al diseño, el control y la medición. El PAC esta formado por un controlador, módulos de entradas y salidas, y uno o múltiples buses de datos que lo interconectan con los periféricos. Los PACs combinan las mejores características del PLC y de los PCs industriales, éstas son la fiabilidad y robustez de los PLCs y la flexibilidad, prestaciones y funcionalidad de un PC industrial. Lo que permite implementar funciones como el control de movimiento, lógica avanzada, entre otras.

Entre las características principales de los PACs están:

- Multifuncionales: Son capaces de realizar desde tareas simples de encendido y/o apagado hasta el desarrollo completo de control avanzado.

- Múltiples dominios y Multitarea: los PAC abarcan múltiples dominios, es decir, el mismo equipo se puede utilizar para la adquisición de data, monitoreo remoto, control de procesos y fabricación discreta o híbrida. Están diseñados para realizar dichas tareas simultáneas.
- Arquitectura modular: posee un diseño que permite escoger los módulos de forma eficiente para cada aplicación. Estos módulos se pueden cambiar o redistribuir en el rack sin complicaciones.
- Compatibilidad: es compatible con equipos y programas de otros fabricantes, lo que implica que puede ser insertado en un proceso ya constituido sin causar alteraciones que ameriten cambiar toda la estructura del proceso. Esta ventaja se traduce en una reducción en los costos al integrar este dispositivo en un proceso ya implementado.
- Ambiente integrado de desarrollo: el software diseñado para el PAC, se utiliza para todo el desarrollo del proceso que se desea realizar, esto se conoce como ambiente de desarrollo integrado (IDE sus siglas en inglés Integrate Development Environment), lo cual reduce el tiempo de ejecución del proyecto. El PAC emplea una plataforma simple de desarrollo utilizando etiquetas comunes y una base de datos simple para desarrollar tareas en un rango amplio de disciplinas. [8]-[9]

### **3.4.1. OPTO 22.**

Opto 22 es una empresa que fabrica equipos y desarrolla programas que acoplan máquinas y dispositivos eléctricos, mecánicos y electrónicos, a redes y a computadoras. Entre sus dispositivos se encuentran los controladores, unidades I/O (entrada / salida), relés de estado sólido y programas que son utilizados para la automatización industrial, monitoreo remoto, adquisición de datos y aplicaciones M2M (máquina a máquina).

#### **3.4.1.1. Módulo de Control.**

Existen dos tipos de módulos de control los Standalone (trabajan aislados) y los On-the-rack (deben estar conectados a un rack), se caracterizan por lo siguiente:

- Standalone: estos controladores se utilizan para grandes proyectos, comunicaciones con múltiples protocolos y múltiples redes.
- On-the-rack: se utilizan para automatizaciones localizadas, control y aplicaciones de adquisición de data.

#### **3.4.1.2. Módulos de entrada/salida**

Los módulos de entrada/salida se clasifican en tres grupos:

- Módulos analógicos de entrada/salida: trabaja con dispositivos que poseen un rango de valores definidos, como por ejemplo sensores de temperatura. Alguno de estos módulos son:

- SNAP-AIV (Analog Input Voltage): es un modulo analógico de entrada, tiene dos canales de entrada/salida y trabaja con tensiones entre +10VDC y -10VDC (ver Figura N° 21). Los canales no están aislados entre si, por lo que la referencia de ambos canales debe ser igual. El módulo esta aislado a través de un transformador y un opto acoplador de los demás módulos y dispositivos. Existen módulos similares a este con la diferencia que tienen mayor número de canales, estos módulos son el SNAP-AIV-4, SNAP-AIV-8 y SNAP-AIV-32.  
[10]



Figura N° 21. Módulo de entrada analógica y dos canales.

- SNAP-AIV-i: (Analog Input Voltage isolated): es un módulo analógico de entrada similar al SNAP-AIV con la diferencia que los canales están aislados entre si (ver Figura N° 22). [11]



Figura N° 22. Módulo de entrada analógica y dos canales aislados.

- Módulos digitales de entrada/salida: trabajan con dispositivos de dos estados. Estos estados pueden ser verdadero o falso, encendido o apagado, en ejecución o detenido. Un ejemplo de estos módulos son los pulsadores o los leds indicadores de encendido.
  - SNAP- IAC5 (Input AC): este módulo de entrada digital tiene cuatro canales, detecta un “1” lógico cuando la tensión de entrada está entre 90-140 VAC. Cada canal sensa el estatus de encendido o apagado de fuentes como interruptores, pulsadores o contactos auxiliares (ver Figura N°23). [12]



Figura N° 23. Módulo de entrada digital y cuatro canales.

- SNAP- OAC5 (Output AC): proporciona un voltaje de salida entre 12 y 250 VAC, tiene cuatro canales los cuales controlan cargas separadas (ver Figura N°24). Cada salida se activa con tensión cero (0V) y se desactiva con corriente cero (0A) a través de un interruptor libre de picos. [13]



Figura N° 24. Módulo de salida digital y cuatro canales.

- SNAP- ODC5SRC: tiene cuatro canales los cuales proveen una tensión de salida entre 5 y 60VDC, cada canal conecta una carga diferente (ver Figura N°25). [14]



Figura N° 25. Módulo de salida digital y cuatro canales.

- Módulos de comunicación serial: conectan dispositivos seriales vía RS-232 o RS-485/422, o utilizando los protocolos Profibus o Wiegand.
  - SNAP-SCM-232: este módulo tiene dos puertos de comunicación serial. Algunas de la aplicaciones mas utilizadas son la conexión de impresoras, lector de código de barras, dispositivos de monitoreo y adquisición de data (ver Figura N°26). [15]



Figura N° 26. Módulo de comunicación serial y dos puertos.

### **3.4.2. Software del PAC OPTO22**

EL PAC Control Profesional es una herramienta de OPTO22, basada en diagramas de flujo, para la programación de la automatización industrial, el monitoreo remoto y la adquisición de datos. Esta herramienta permite crear y depurar programas de control, también permite descargarlos y ejecutarlos desde los controladores SNAP PAC y Ultimate. Los comandos utilizados para procesos analógicos, control digital, funciones matemáticas, entre otros, están configurados en un lenguaje de fácil comprensión y la programación está basada en el lenguaje de alto nivel C y C<sup>++</sup>.

La base de datos de los puntos I/O, variables y otros elementos de datos, al ser creados en el PAC Control se convierten en simples etiquetas para otras bases de datos utilizadas en otros componentes del PAC Project Software Suite, como el PAC Display HMI, el OptoOPCServer y el OptoDataLink. [16]

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS**

#### **4.1. Consideraciones del Diseño.**

El diseño del banco de pruebas se basó en los siguientes requerimientos:

- Menor tiempo de prueba.
- Mayor información sobre el comportamiento de los productos.
- Compacto.
- Seguro.
- Trazabilidad de los productos probados.
- Capacidad de ser insertado en la línea de producción.
- Mayor confiabilidad.

Según la Norma COVENIN 3445:1999 los ensayos especiales son acuerdos alcanzados entre el cliente y la empresa. El departamento de calidad de GENTE, comportándose como el cliente, propuso las siguientes pruebas como ensayos especiales:

- Umbral alto y bajo.
- Tiempo de conexión.
- Conexión y desconexión del producto
- Histéresis de umbral alto y bajo.

Por razones de confidencialidad de la Empresa no se muestran ni el esquemático del protector de voltaje monofásico, con el cual se trabajó, ni los valores de los componentes del mismo, involucrados en éste diseño.

En la Figura N° 27 se muestra la arquitectura propuesta para el diseño del banco de pruebas. El primer habilitador en el diagrama de bloques, es el código de barras el cual se activa cuando el código leído corresponde a los establecidos por la empresa. Los habilitadores  $P_{inicio}$  y  $P_{emergencia}$  corresponden a los pulsadores de inicio y de parada de emergencia respectivamente, los cuales permiten que la prueba inicie o se detenga en cualquier momento activando los mecanismos de seguridad. Cuando  $P_{inicio}$  está activo ("1") y  $P_{emergencia}$  está desactivo ("0") se puede iniciar la prueba, de lo contrario se espera hasta que dicha condición se cumpla. Una vez culminada la prueba se activan los pilotos indicando la aceptación o rechazo del producto y se transmite la data a la base de datos en una PC.

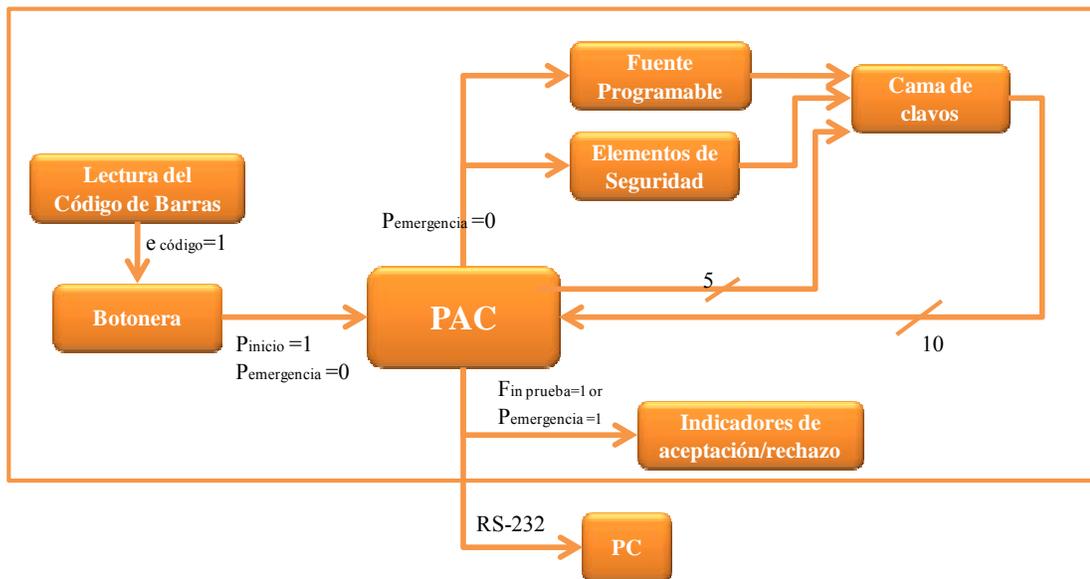


Figura N° 27. Diagrama de bloques del banco de pruebas diseñado.

## **4.2. Hardware**

El banco de pruebas se implementó a través de una cama de clavos, donde cada pin corresponde a un punto de medición. Estos pines, están soldados a un PCB el cual se encarga de distribuir cada señal a través de tres borneras, a los módulos de entrada/salida del OPTO22.

El banco de pruebas está compuesto por los siguientes elementos:

### **4.2.1. Controlador SNAP UP1-ADS**

Se usó un Ultimate como centro de control del banco de pruebas, el cual está compuesto por ocho módulos de entradas analógicas, entradas digitales, salidas digitales y comunicación serial, necesarios para las aplicaciones de medición, almacenamiento, transmisión, activación y señalización. El SNAP UP1-ADS fue seleccionado debido a su versatilidad y disponibilidad en la empresa (ver Anexo N°5), también se utilizaron todos los módulos de entrada/salida descritos en el apartado 3.4.1.2.

### **4.2.2. Fuente Aislada**

Se utilizaron dos fuentes de tensión, una con tensión fija en 120VAC y otra cuyos niveles varían entre 0 y 270VAC, debido a que los pines de la estructura de prueba se encuentran al alcance del operador, se utilizaron dos sistemas de seguridad uno para cada fuente. El primer sistema de seguridad involucra la fuente de tensión fija, el cual consiste en un relé de protección que se activa cuando se inicia la prueba alimentando así una parte de la estructura y se desactiva al finalizar la misma. La fuente variable se enciende cuando se inicia la prueba y se apaga cuando ésta culmina, el inconveniente se presenta durante el ensayo. Si la tarjeta en prueba por alguna razón se retira antes de tiempo y no se detiene la prueba los pines se mantienen energizados.

Por esta razón se colocó un microswitch el cual se activa al detectar la presencia de un producto, si este se retira se corta la alimentación de la fuente a la estructura.

#### **4.2.3. Fuente de Referencia**

Se utilizó una fuente con dos niveles de tensión fijos de salida para alimentar al PAC y una parte de la estructura de prueba, estos niveles son +12 VDC y +5 VDC.

#### **4.2.4. Estructura de Prueba**

Esta estructura de prueba está conformada por:

##### **4.2.4.1. Base de Acrílico**

Actúa como soporte para el acondicionador de señales y los pines, esta estructura se conoce como cama de clavos. Tiene varias piezas mecánicas para sostener y mantener correctamente la tarjeta en posición para la prueba (ver Figura N° 28).

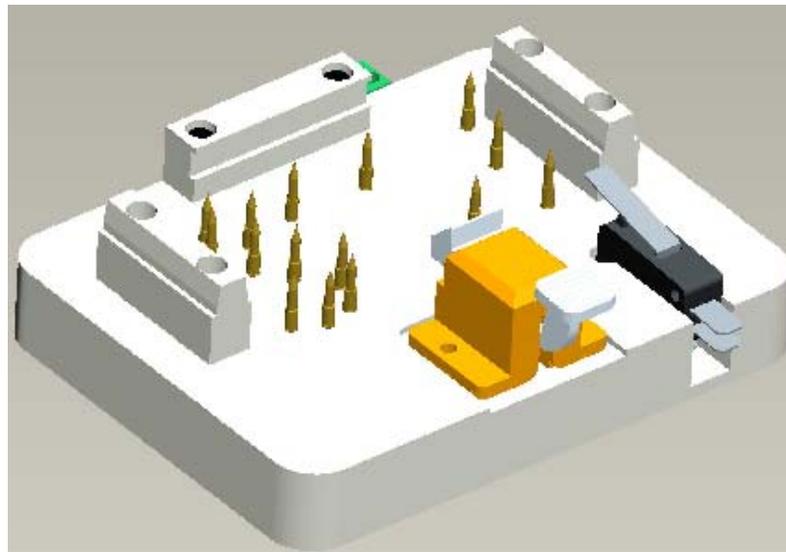


Figura N° 28. Estructura de prueba.

#### 4.2.4.2. Acondicionador de señales.

Es un circuito que se diseñó para medir variables internas del producto, minimizando el efecto intrusivo. Este efecto se debe a la impedancia de los elementos de medición, ya que causan interferencia sobre el producto medido.

El circuito impreso también permite la conexión de los puntos de medición con los módulos de entrada/salida del PAC. Este circuito se conformó a través de cuatro bloques funcionales en el diseño del banco de pruebas, estos son:

- **Seguidores de tensión:** los módulos del OPTO22 tienen una impedancia de entrada en el mismo orden de magnitud que las impedancias del circuito en prueba. Esto genera una carga al circuito que afecta tanto las mediciones como el funcionamiento del mismo. Por lo cual se utilizaron seguidores de tensión, con amplificadores operacionales de alta impedancia de entrada en cada señal medida. Aunque los seguidores de tensión minimizan el efecto intrusivo igual afecta al circuito por lo cual fue necesario observar el efecto a través de las ecuaciones del circuito tomando en cuenta la impedancia de los amplificadores operacionales. Todos los cálculos matemáticos referentes al efecto de las impedancias de los amplificadores operacionales sobre el producto en prueba se muestran en el ANEXO N° 1.
  
- **Acople de impedancias:** a la salida de cada seguidor de tensión se colocó una resistencia de carga para obtener un acople de impedancias entre la salida del operacional y la entrada de los módulos del PAC.
  
- **Relé:** al ser activado conecta una resistencia en paralelo a un punto específico del circuito, lo cual acelera el tiempo de conexión del producto.

Este elemento se utilizó para reducir el tiempo de la prueba de conexión rápida.

- **Divisor de Tensión:** una de las tensiones medidas tiene un valor teórico de 12VDC y los módulos de entradas analógicas utilizados del PAC miden entre -10VDC y +10VDC por lo cual no era posible medir dicho valor directamente. Se utilizó un divisor de tensión a la mitad, para poder medir dicha tensión sin inconvenientes.

En la Figura N° 29 se observa el circuito impreso del acondicionador de señales y en la Figura N° 30 se muestra el esquemático del mismo.

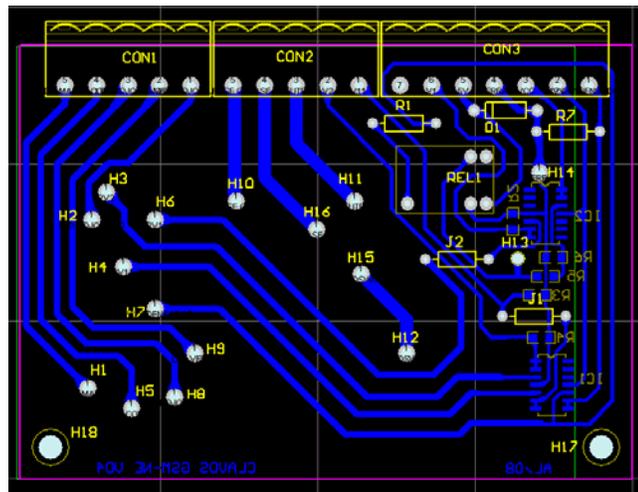


Figura N° 29. Circuito impreso del acondicionador de señales.

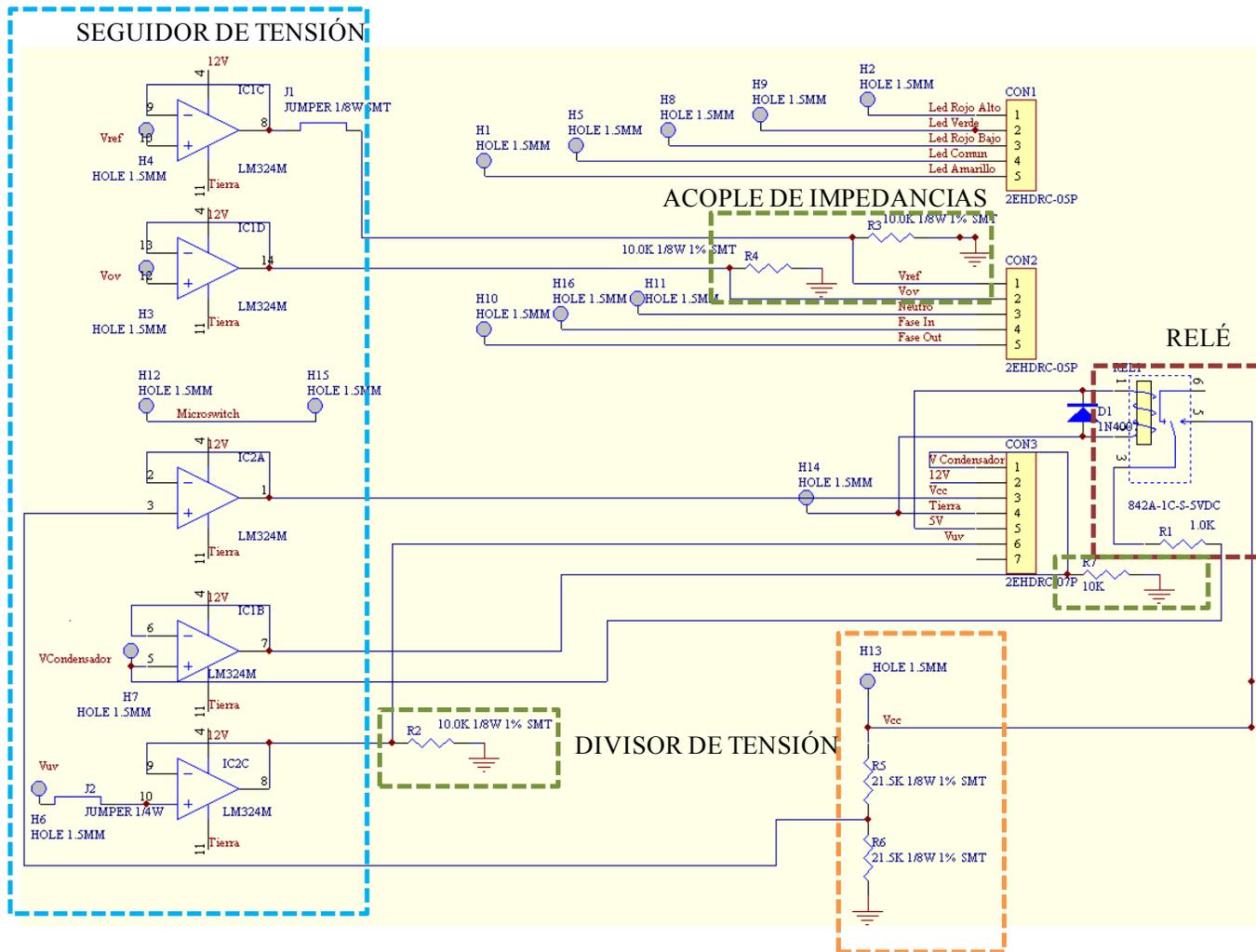


Figura N° 30. Esquema circuital del acondicionador de señales de la estructura de prueba.

#### 4.2.4.3. Elementos de medición

Son pines que permiten la conexión eléctrica entre el producto y el sistema de acondicionamiento de señal. Cada pin corresponde a un punto de medición dentro del circuito, estos puntos son:

- $V_{UV}$  y  $V_{OV}$  a tensión nominal (umbral bajo y alto respectivamente ver Figura N° 31).
- $V_{cc}$ ,  $V_{ref}$ ,  $V_{cond}$  con respecto a tierra (ver Figura N° 31 y 33).
- $V_{UV}$  en falla de bajo voltaje y  $V_{OV}$  y  $V_{ref}$  en falla de alto voltaje (ver Figura N° 31).
- Los Led's rojo alto, rojo bajo, amarillo y verde (entre sus terminales ver Figura N° 32).
- Salida del producto.



Figura N° 31. Diagrama de bloques del protector de nevera y los puntos de detección de fallas.

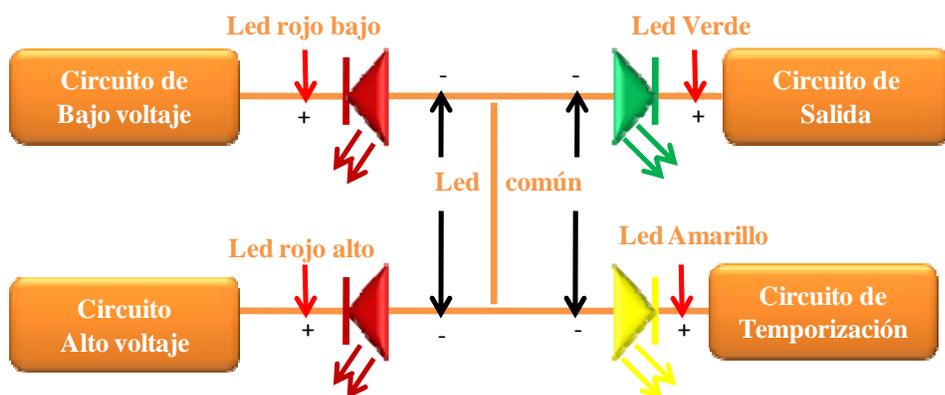


Figura N° 32. Identificación de los Leds.

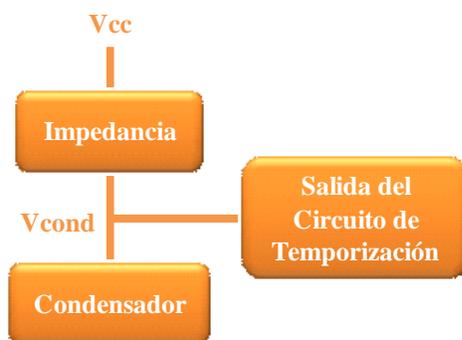


Figura N° 33 Diagrama de Bloques del circuito de temporización del protector de nevera.

#### 4.2.5. Señalización

Al iniciar la prueba se debe leer un código de barras. Se usó una luz piloto verde que enciende de forma intermitente si el código corresponde a los establecidos por la empresa. Si el código es incorrecto o el producto ha sido procesado el número de veces establecido como reprocesamientos permitido, un piloto rojo enciende de forma intermitente. Una vez culminada la prueba si el producto está dentro de sus especificaciones se enciende el piloto verde, de lo contrario enciende el piloto rojo.

#### 4.2.6. Lector de código de barras.

Se escogió un lector de código de barras de tipo móvil debido a la disponibilidad del mismo en la empresa. Dicho lector envía a través de la comunicación serial la información del código del producto la cual se almacena en una variable del programa. El serial del producto se utiliza para identificar cada tarjeta procesada en una base de datos. Dicho serial corresponde al código unidimensional 128B, a través del cual se pueden utilizar caracteres en mayúscula y minúscula, dígitos y caracteres especiales.

#### 4.2.7. Esquema de conexión del banco de pruebas.

En la Figura N° 34 se muestra el esquema de conexiones del banco de pruebas. En la Tabla N° 4 se enumeran todos los elementos del prototipo.

Tabla N° 4. Elementos del banco de pruebas diseñado.

Ítem	Ubicación (canal del modulo)	Descripción
1	SNAP AIV-4 (2)	Led amarillo
2	SNAP AIV-4	Común de los leds
3	SNAP AIV-4 (4)	Led rojo de bajo voltaje
4	SNAP AIV-4 (1)	Led verde
5	SNAP AIV-4 (3)	Led rojo de sobre voltaje
6	Secundario 1	Fase OUT
7	SNAP IAC5 (2), Fase IN (Fuente programable)	Fase IN
8	Neutro (Fuente programable)	Neutro
9	SNAP AIV-i (1)	$V_{OV}$
10	SNAP AIV-i (2)	$V_{ref}$
11	SNAP AIV (1)	$V_{UV}$
12	SNAP ODC5SRC (1)	Relé (prueba de conexión rápida)
13	COM (Fuente de tres salidas $\pm 12VDC$ y $+5VDC$ )	Tierra
14	SNAP AIV (2)	$V_{cc}$
15	$12VDC$ (Fuente de tres salidas $\pm 12$ y $+5VDC$ )	Alimentación de los operacionales
16	SNAP AIV-i (1)	$V_{cond}$
17	SNAP IAC5 (1)	Pulsador de inicio
18	SNAP IAC5 (3)	Pulsador de parada de emergencia
19	SNAP OAC5 (1)	Relé de seguridad
20	SNAP OAC5 (2)	Piloto rojo
21	SNAP OAC5 (3)	Piloto verde
22	Lector de código de barras	Lector de código de barras

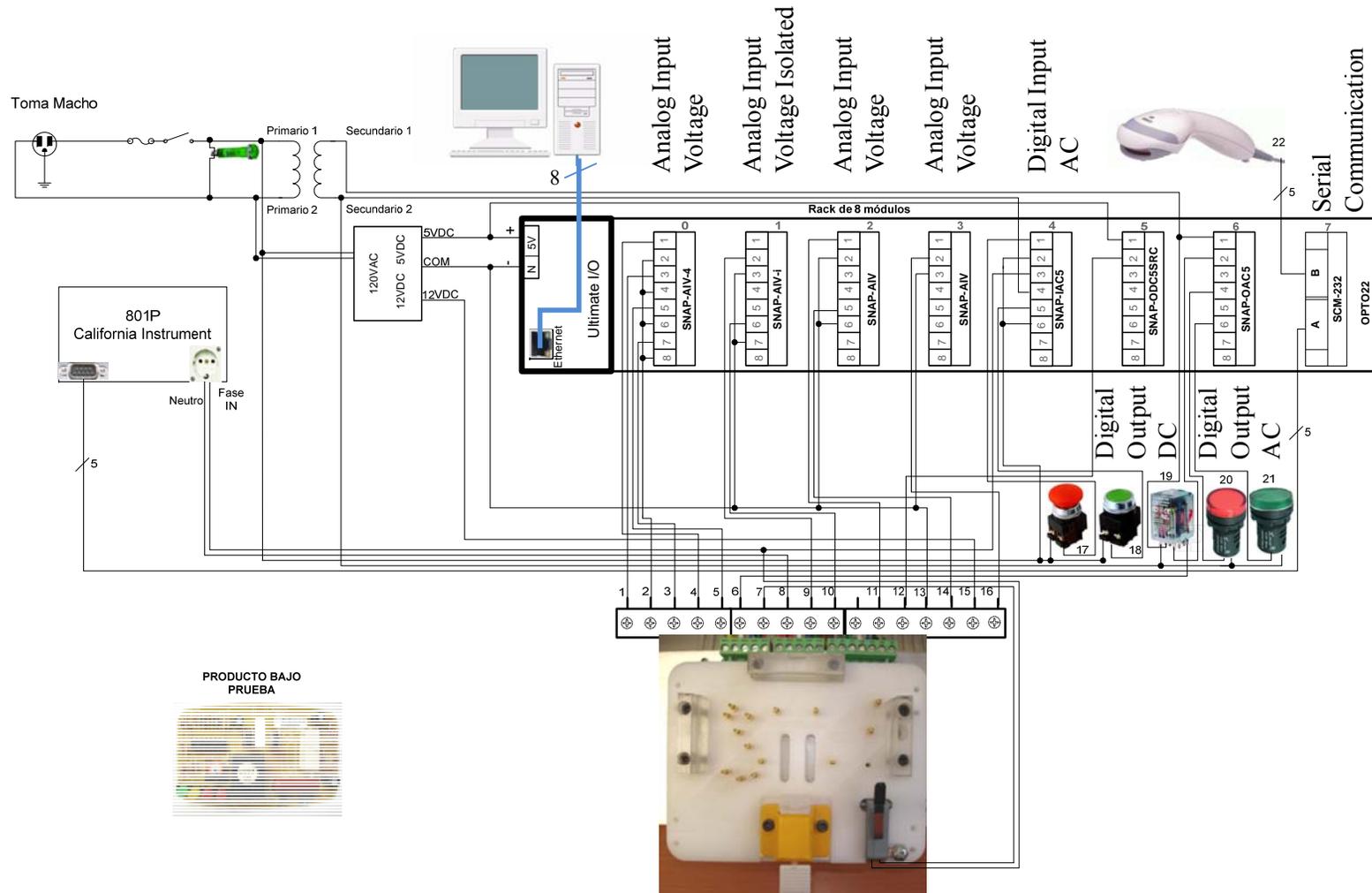


Figura N° 34. Esquema de conexión del banco de pruebas.

### 4.3. Software

Como se mencionó en los apartados 4.1 y 4.2 para la realización de las pruebas propuestas por el departamento de calidad de GENTE, el manejo de las señales medidas en el PCB por el circuito acondicionador y para el control de los periféricos se utilizó un Ultimate. El programa del mismo se desarrollo con PAC Control Professional, en el diagrama de flujo de la Figura N° 35 se muestra un esquema general de la secuencia de pasos involucrados en proceso de pruebas.

Los programas realizados en el PAC Control Professional están formados por los siguientes puntos:

- Control Engines: es donde se le indica al programa la dirección IP del PAC y el puerto del PC que se este utilizando.
- Charts: los charts permiten realizar múltiples tareas de forma simultánea, ya que se puede activar más de un chart a la vez.
- Variables: todas la variables de pueden iniciar con un valor predeterminado al encender el OPTO22 o al descargar el programa. Las variables se dividen en:
  - Numéricas: estas variables pueden ser de tipo enteros, punto flotante y contadores decrementales e incrementales.
  - Cadena de Caracteres: se puede escoger la longitud de dicha cadena.
  - Communication Handles: en éstas variables se configuran los puertos seriales utilizados dependiendo del slot en el rack y el número del puerto en el módulo de comunicación, por ejemplo para el slot 8 y el Puerto A del modulo la dirección IP es “tcp:xxx.xxx.xxx.xxx:22514”
- Unidades de entrada/salida: en ésta unidad se configura módulo a módulo según su colocación en el rack y el tipo de módulo si es analógico o digital y de entrada o de salida.

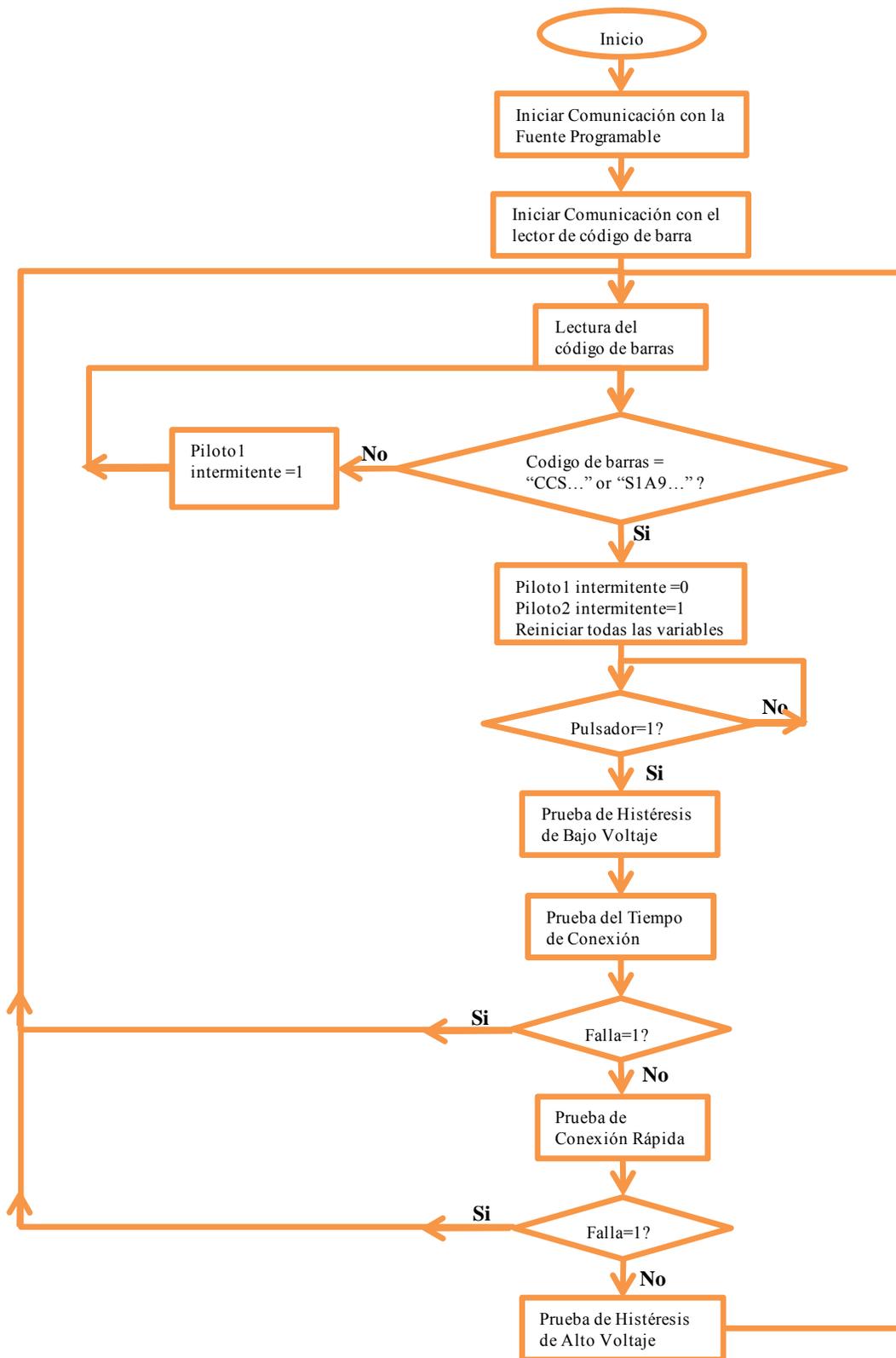


Figura N° 35. Diagrama de Flujo del software.

#### 4.4. Protocolo de pruebas:

El protocolo diseñado está formado por un conjunto de pruebas propuestas por el departamento de control de calidad de la empresa. Aparte de dichas pruebas se agregó una y se automatizó otra, estas son tiempo de detección y funcionamiento de los leds respectivamente. El funcionamiento de los leds dependía exclusivamente del operador. Se puede observar en la Figura N° 36 el diagrama de flujo del protocolo de pruebas así como en la Figura N° 37 el diagrama de tiempo. Los tiempos mostrados en dicha figura se mencionan en cada prueba. En los siguientes puntos se describen las pruebas utilizadas en el banco de prueba:

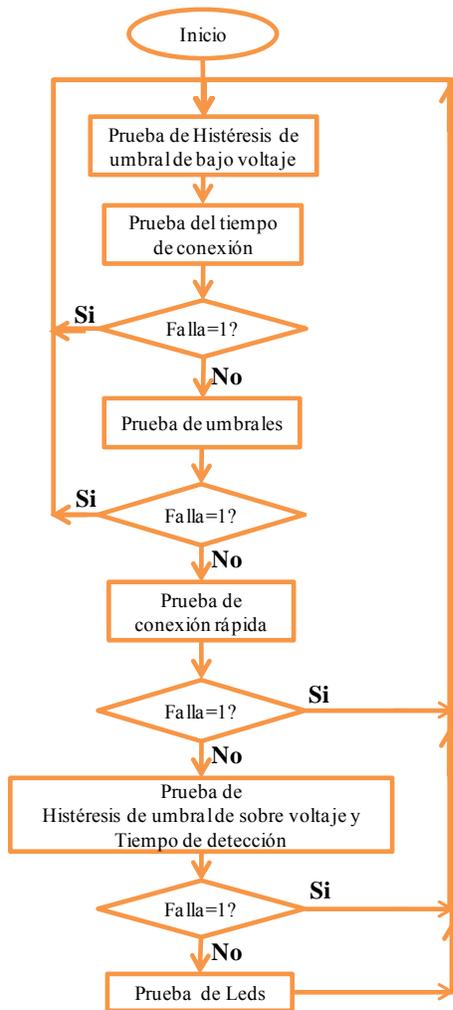


Figura N° 36. Diagrama de flujo del banco de pruebas diseñado.

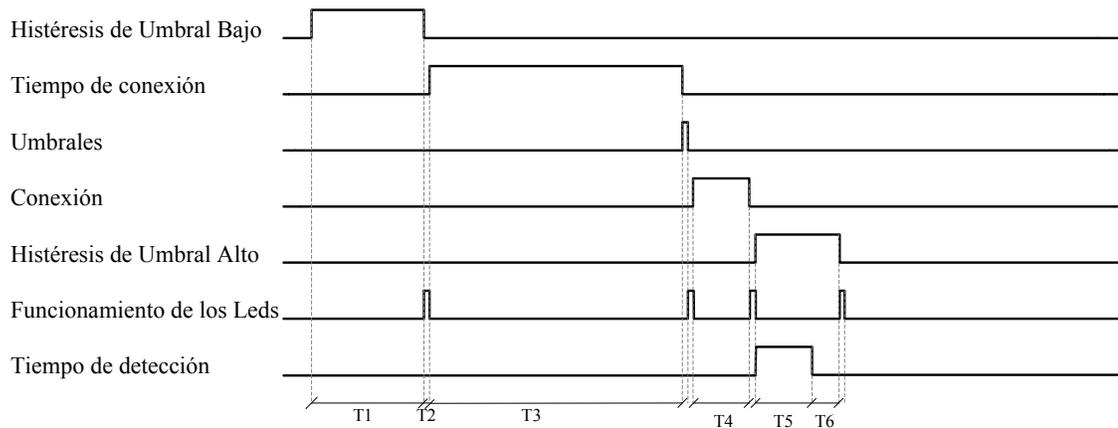


Figura N° 37. Diagrama de tiempo del protocolo de pruebas.

#### 4.4.1. Tiempo de conexión

Esta prueba calcula el tiempo de conexión y su duración es de 9 segundos (T3). Se implementó la prueba del tiempo de conexión basada en la curva de carga del condensador de temporización. Al medir distintos puntos de esta curva es posible a través de métodos matemáticos estimar el tiempo de conexión del producto. Para lo cual son necesarios tres puntos de medición,  $V_{cc}$  (tensión a la cual se carga el condensador de temporización),  $V_{ref}$  (tensión a la cual debe llegar el condensador para que el producto conecte) y  $V_{cond}$  (tensión del condensador con respecto a tierra). Esta prueba consiste en medir la tensión del condensador  $V_{cond}$  en intervalos de 0.5 segundos durante 4 segundos. Transcurrido este tiempo se procede a medir las tensiones  $V_{cc}$  y  $V_{ref}$ . Para obtener el tiempo de conexión del producto probado se utilizaron cálculos los cuales están basados en los métodos de mínimos cuadrados y de búsqueda binaria para hallar la curva que mejor se ajuste a los valores medidos correspondientes a la curva de carga del condensador. Este ajuste está basado en la búsqueda de la constante RC, una vez encontrada dicha constante se calcula el tiempo de conexión. La ecuación N° 3 corresponde a la tensión a la cual se carga el

condensador. Las ecuaciones N° 4, 5 y 6 se utilizan para calcular el tiempo de conexión.

$$V_f = V_{cc} * 2.00232342 * \frac{R_{condmin}}{R_{te} + R_{condmin}} \quad (3)$$

$$\text{residuo} := v - \left[ V_f - (V_f - v_0) \cdot e^{\frac{-t}{RC}} \right] \quad (4)$$

$$d_{\text{residuo}}(V_f, RC, i) := 2 \cdot \left[ v_i - V_f + (V_f - v_0) \cdot e^{\frac{-t_i}{RC}} \right] \cdot (V_f - v_0) \cdot \frac{t_i}{RC^2} \cdot e^{\frac{-t_i}{RC}} \quad (5)$$

$$t_{\text{conexion}} := \left[ -\ln \left[ \frac{-[(-V_{comp}) + V_f]}{-V_f + V_0} \right] \right] \cdot RC + TD \quad (6)$$

#### 4.4.2. Umbrales de alto y bajo voltaje

Esta prueba calcula los umbrales de sobre voltaje y bajo voltaje su duración es menor a 0.5 segundos (T2). Para calcular los umbrales es necesario medir la tensión de referencia y la tensión de comparación del circuito de bajo o alto voltaje. Estas mediciones están afectadas por las impedancias de los seguidores de tensión mencionados en el punto 4.2.4.2. Fue necesario eliminar el efecto que introducen al circuito a través de cálculos matemáticos, para hallar el valor real de los umbrales. Esto se logró realizando un estudio a un circuito equivalente al original con la diferencia que se integraron las impedancias de los amplificadores operacionales como parte del mismo. Como las mediciones corresponden a este nuevo circuito a través de relaciones matemáticas se pueden obtener cuales serían la mediciones sin los operacionales. A partir de estos nuevos valores se utilizan las ecuaciones teóricas (7 y 8) del diseño del producto para calcular los umbrales de falla.

$$V_{\text{Ref}} = \frac{(\text{Umbral\_Bajo} \cdot \sqrt{2} - V_{\text{diodo}} \cdot 2) \cdot (R1 + R3)}{(R19 + R1 + R3)} \cdot \text{Factor} \quad (7)$$

$$V_{\text{Ref}} = \frac{(\text{Umbral\_Alto} \cdot \sqrt{2} - V_{\text{diodo}} \cdot 2) \cdot R1}{(R19 + R1 + R3)} \cdot \text{Factor} \quad (8)$$

### 4.4.3. Conexión Rápida

La prueba de conexión rápida tiene como finalidad comprobar si el producto es capaz de conectar la carga y su duración es de 2 segundos (T4). El tiempo de conexión del producto depende de un circuito de temporización que consiste en la carga de un condensador hasta una tensión definida. Esta carga está limitada por una resistencia de temporización. En esta prueba se reduce el tiempo de conexión del producto de 180 segundos a un tiempo inferior a un segundo. Esto se logró al activar un relé que coloca una resistencia en paralelo a la resistencia de temporización. Para determinar el valor de la resistencia, que se coloca en paralelo, se deben cumplir con dos condiciones.

- Garantizar un tiempo de conexión menor a 1 segundo.
- La corriente que circula a través de dicha resistencia debe ser menor a 10mA.

Para los cálculos del tiempo de conexión se utilizó la ecuación N° 9.

$$t_{\text{conexion}} := -\ln \left[ \frac{-[(-V_{\text{ref}}) + V_{\text{cc}}]}{(-V_{\text{cc}}) + V_0} \right] \cdot R \cdot C \quad (9)$$

### 4.4.4. Tiempo de detección

En esta prueba se determina el tiempo de detección de falla del producto y su duración varia entre 1 y 2 segundos (T5). Cuando el producto está alimentado con voltaje nominal y la carga está conectada, se cambia la tensión de alimentación para que el producto entre en modo de falla. Luego se inicia un contador y se detiene cuando el producto desconecta la carga.

#### **4.4.5. Histéresis de umbral de bajo voltaje**

Esta prueba determina el valor de la histéresis de umbral bajo y tiene una duración de 4 segundos (T1). Se coloca el producto en modo de falla, se miden las tensiones de referencia y la de comparación en el circuito de bajo voltaje. Con la ecuación N° 7 se calcula la tensión de salida de la falla, luego se resta con el umbral bajo y se obtiene como resultado la histéresis.

#### **4.4.6. Histéresis de umbral de alto voltaje**

Esta prueba consiste en calcular la histéresis de umbral alto y su duración es de 3 segundos (T5+T6). Al igual que la prueba anterior se coloca el producto en modo de falla, se miden la tensión de referencia y la de comparación en el circuito de alto voltaje. Se calcula la tensión de salida de la falla, con la ecuación N° 8, y se resta dicho valor con el umbral alto obteniendo la histéresis.

#### **4.4.7. Funcionamiento de los Leds**

Esta prueba determina si el led correspondiente al estatus del producto está encendido y el resto apagados. La duración de esta prueba es menor a un segundo. Se mide la tensión entre los terminales de cada led en falla de voltaje bajo y alto, a voltaje nominal durante la temporización y a voltaje nominal cuando la carga está conectada.

Debido a un estudio realizado se determinó que existen dos modos de falla que permiten observar la tensión nominal en los terminales de los leds y que éste no encienda. Estas fallas son desgaste por uso y la migración de los átomos fuera de la región activa, debido a que fueron sometidos a una alta densidad de corriente [17]. Como no existen las condiciones para que estas fallas se presenten en el circuito, se utilizó dicho método de prueba.

#### **4.5. Propuesta de Expansión del Banco de Pruebas**

Debido a la amplia gama de protectores de voltaje monofásicos de la empresa, mencionados en el apartado 3.2.1.1, se propone utilizar un mismo banco de pruebas para los distintos productos. Esta propuesta está basada en los siguientes puntos.

- Pruebas a realizar: la mayoría de los protectores de voltaje monofásico tienen un protocolo de pruebas similar, las diferencias principales se encuentran en las tensiones de detección de falla, la cual cambia de un modelo a otro, así como los tiempos de conexión o desconexión. Por lo que se propone re-definir los protocolos de pruebas actuales, para cada modelo incorporando las nuevas pruebas aplicadas en el protocolo de GSM-N.
- Puntos de medición: partiendo del protocolo de pruebas se identifican los puntos de medición necesarios para realizar los cálculos de cada prueba. Luego se ubican dichos puntos en el PCB del producto y se diseñan las camas de clavos correspondientes a cada modelo.
- Cálculos matemáticos: una vez definido el protocolo de pruebas se plantea realizar un estudio de las ecuaciones del circuito para definir las constantes y cálculos necesarios para determinar los valores de umbrales y tiempos en función de las mediciones.
- Interfaz de selección: se propone colocar un selector para identificar el producto que se requiere probar. De esta manera dentro del programa se pueden realizar los cambios en cuanto a cálculos y límites de aceptación. Otras interfaces que pueden ser incorporadas al banco de pruebas son una pantalla táctil con la cual seleccionar el modelo del producto a probar y un código de barra que identifique la cama de clavos, configurando fácilmente el equipo entre los distintos modelos de productos.

- Acondicionador de señales: cada cama de clavos tiene una tarjeta de circuito impreso la cual se encarga de distribuir las señales del producto a los módulos de entrada/salida del PAC. Debido a que se requiere realizar los cambios entre un producto y otro de forma rápida y sencilla, no se puede recablear el banco de pruebas ni cambiar la posición de dichos cables de las borneras. Por lo que se plantea mantener la configuración de entradas/salidas establecidas en las borneras del equipo actualmente, implementando los cambios necesarios por simple ruteo, es decir, mediante el trazado de las pistas en circuito impreso de cada cama de clavos.
- Estructura de pruebas: diseñar una estructura en la cual se pueda enganchar la cama de clavos sin tener que atornillar a una base, como es el caso actual, a través de unos canales o rieles, semejante a una gaveta o unas piezas mecánicas robustas tipo ganchos. Las cuales permiten cambiar rápidamente la cama de clavos de acuerdo al producto que se quiere probar.

## CAPÍTULO V

### VALIDACIÓN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

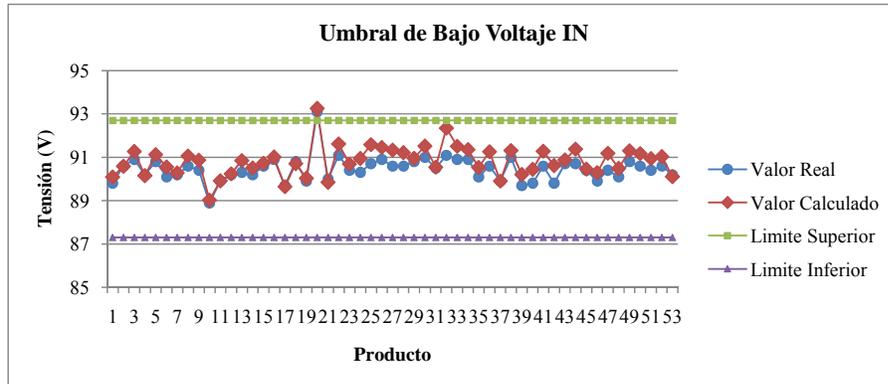
#### 5.1. Prueba piloto.

Se realizó una prueba piloto con 60 productos de los cuales 30 estaban rechazados por el banco actual y 30 se encontraban sin ensayar. Esta prueba piloto consistió en ensayar cada producto de forma individual según la norma COVENIN 3445:1999 para conocer los valores de:

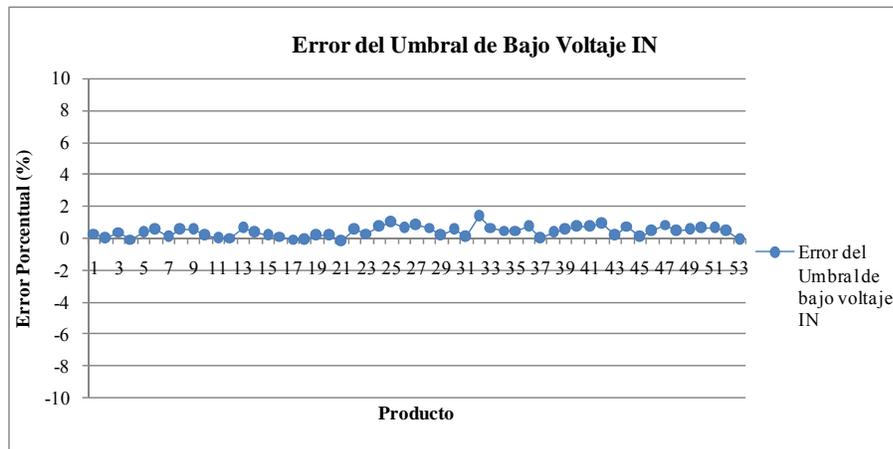
- Tiempo de conexión.
- Tensión de desconexión en falla de bajo voltaje (umbral de voltaje bajo IN).
- Tensión de desconexión en falla de sobre voltaje (umbral de voltaje alto IN).
- Tensión de reconexión en falla de bajo voltaje (umbral de voltaje bajo OUT).
- Tensión de reconexión en falla de alto voltaje (umbral de voltaje alto OUT).
- Histéresis de bajo voltaje.
- Histéresis de alto voltaje.

El ensayo del tiempo de conexión se realizó midiendo a través de un cronómetro desde el momento que se enciende la fuente a tensión nominal hasta que conecte el producto. Los ensayos de tensión están basados en rampas incrementales o decrementales dependiendo del caso, es decir, se comienza desde la tensión nominal y se aumenta o disminuye la tensión en intervalos de tiempo cortos hasta alcanzar la tensión de umbral de falla de sobre voltaje o bajo voltaje respectivamente. Este procedimiento aplica para las pruebas de histéresis de igual manera.

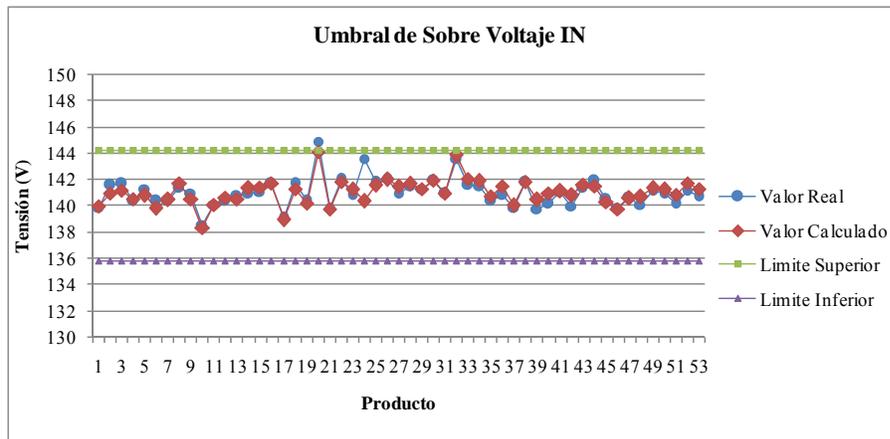
Una vez obtenidos los valores reales de cada producto se procedió a probarlos en el banco de pruebas diseñado como parte de esta investigación. Se compararon los valores reales con los valores calculados por este banco de pruebas. Las comparaciones se muestran en las graficas (1, 3, 5, 7 y 9). Se calculó el error porcentual entre dichos valores, Ver graficas (2, 4, 6, 8 y 10).



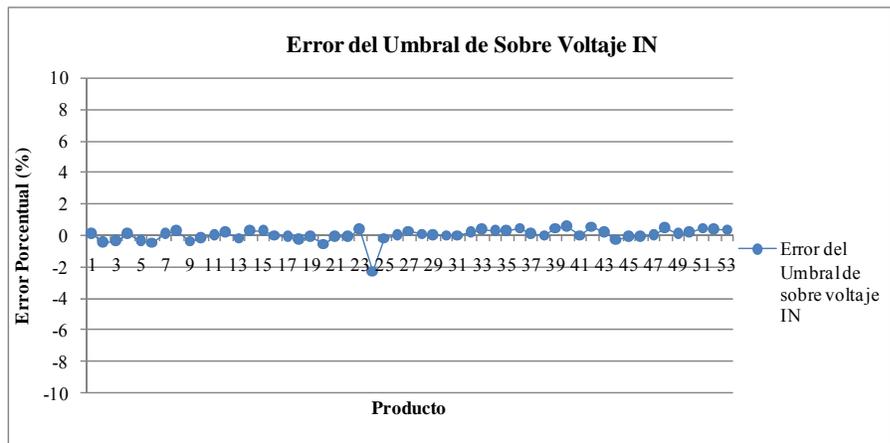
Gráfica N° 1. Umbral de bajo voltaje IN real vs calculado.



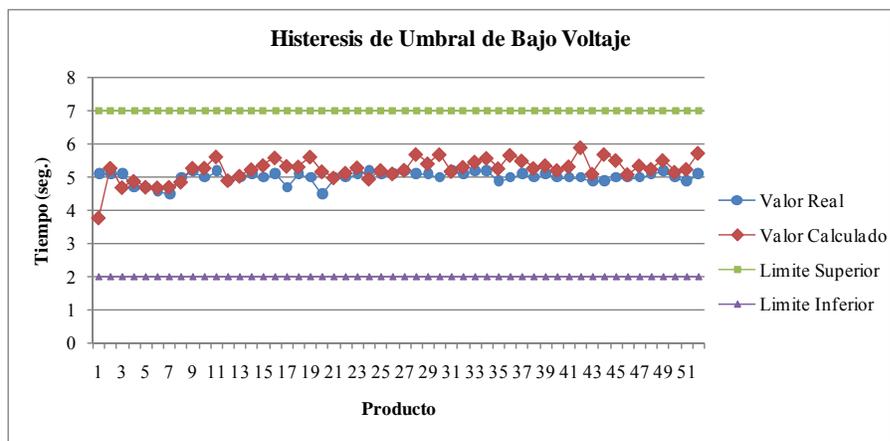
Gráfica N° 2. Porcentaje de error del umbral de bajo voltaje IN.



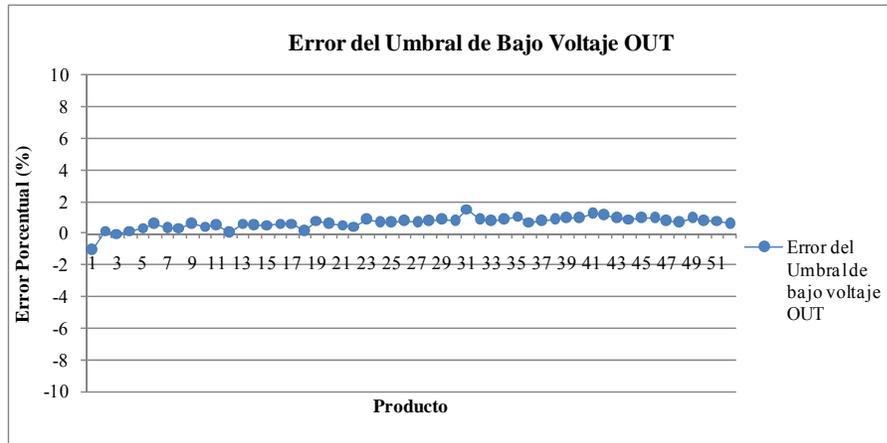
Gráfica N° 3. Umbral de sobre voltaje IN real vs calculado.



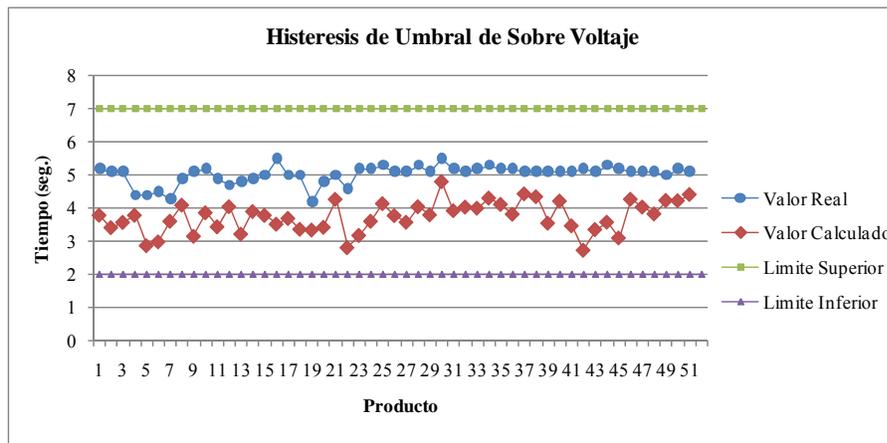
Gráfica N° 4. Porcentaje de error del umbral de sobre voltaje IN.



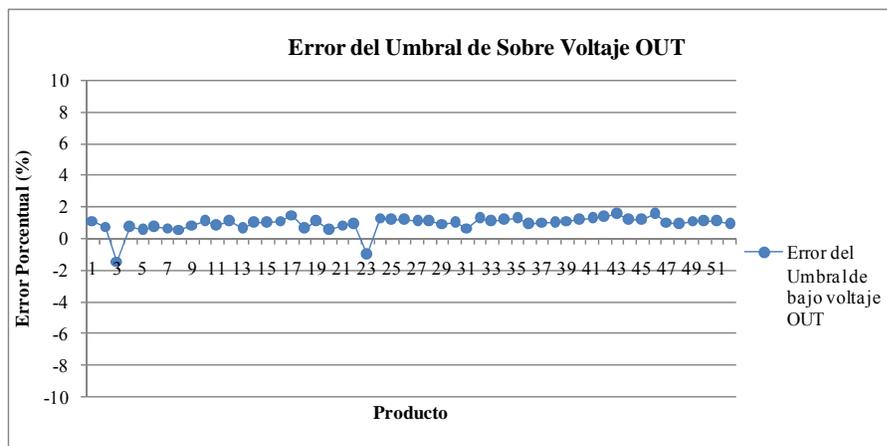
Gráfica N° 5. Histéresis de umbral de bajo voltaje real vs calculado.



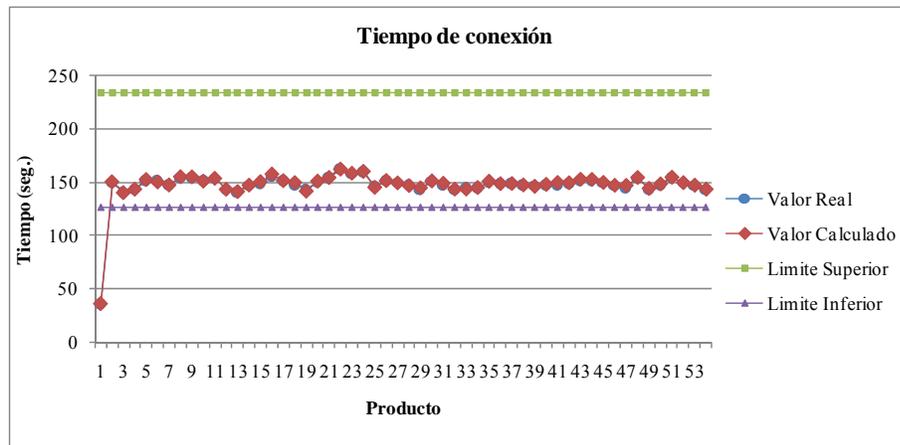
Gráfica N° 6. Porcentaje de error del umbral de bajo voltaje out.



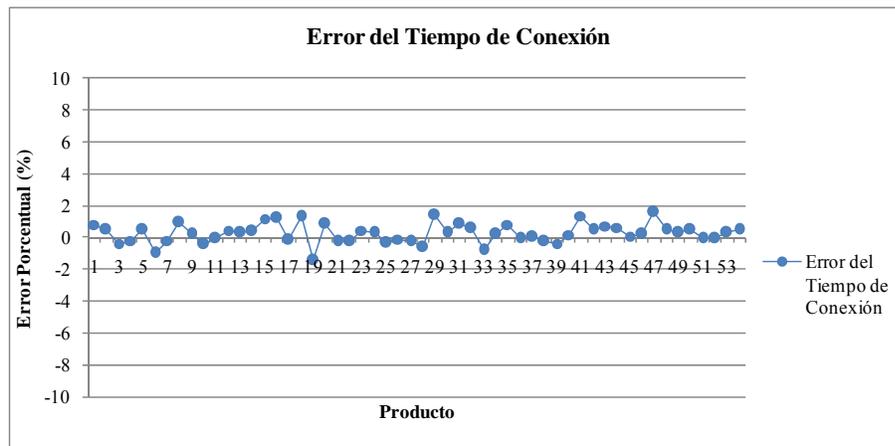
Gráfica N° 7. Histéresis de umbral de sobre voltaje real vs calculado.



Gráfica N° 8. Porcentaje de error del umbral alto out.



Gráfica N° 9. Tiempo de Conexión real vs calculado.



Gráfica N° 10. Porcentaje de error del tiempo de conexión.

En esta prueba se encontró:

- De los 30 productos rechazados por el banco de pruebas actual, 16 cumplían con las especificaciones, según los resultados obtenidos en ensayos individuales. Lo que se considera un falso negativo del banco actual.
- En las graficas (2, 4, 6, 8 y 10) se muestran los errores porcentuales de los cálculos realizados, se puede observar que en general los errores se encuentran entre  $\pm 2\%$ . Estos resultados tienen mayor precisión que los del

banco actual, ya que dicho banco trabaja con los límites establecidos por el fabricante, por ejemplo en la prueba del tiempo de conexión se aceptan todos los productos que conecten  $\pm 30\%$  de 180 segundos (entre 126 y 234 segundos).

- En la histéresis de umbral de sobre voltaje se puede observar una diferencia considerable entre el valor calculado y el real, esto se debe a que la histéresis es el resultado de la resta del umbral de sobre voltaje IN y OUT. En la gráficas de los errores porcentuales se puede observar que el umbral de sobre voltaje OUT tiene un error en promedio cercano al 1% lo que implica 1.4V aproximadamente, tensión de offset que se observa en la gráfica N° 7 de dicha histéresis.
- En las gráficas 1, 3 y 9 se pueden observar picos fuera de los límites teóricos establecidos, esto se debe a que el producto no cumple con las especificaciones por lo que se clasifica dentro de las fallas definidas.

El banco de pruebas es capaz de detectar 10 fallas distintas, estas son:

- Falla en la conexión o desconexión
- Falla por histéresis de umbral de bajo voltaje o umbral de sobre voltaje
- Falla por Tiempo de conexión.
- Falla de umbral de bajo voltaje o alto voltaje
- Falla en el encendido de los leds verde, amarillo, rojo (sobre voltaje) y rojo (bajo voltaje)
- Falla en la tensión de referencia
- Falla en la red de entrada.

## 5.2. Prueba de verificación del banco de pruebas

Consiste en probar una cantidad definida de productos, primero en el banco de pruebas piloto y luego en el banco de pruebas actual. El objetivo de esta prueba es conocer el desempeño del prototipo en un ambiente de producción masivo y encontrar los falsos positivos y negativos del banco piloto. También se requiere un análisis del comportamiento de los productos, en cuanto a los valores calculados en las pruebas expuestas en el punto 4.2, para su aceptación o rechazo por el banco de pruebas.

Se tomó una muestra de 1186 productos para la prueba de verificación del banco piloto. Se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las Tablas N° 5, 6 y 7:

Tabla N° 5. Resultado de la prueba de verificación.

Resultado del Producto	Numero de Productos	Porcentaje según el resultado (%)	Porcentaje de aceptados y rechazados (%)
F. Ciclado	2	0.152091255	16.27376426
F. Conexión	36	2.737642586	
F. Histéresis	18	1.368821293	
F. Tiempo de conexión	81	6.159695817	
F. Umbral	37	2.813688213	
F. Vref	4	0.30418251	
Fuente apagada	22	1.673003802	
Parada de emergencia	14	1.064638783	
Producto OK	1101	83.72623574	83.72623574
Total probados	1315		

Tabla N° 6. Productos Reprocesados.

Total de Productos	Numero de Productos	Porcentaje (%)
Reprocesados	129	9.81
Efectivos	1186	90.19
Probados	1315	

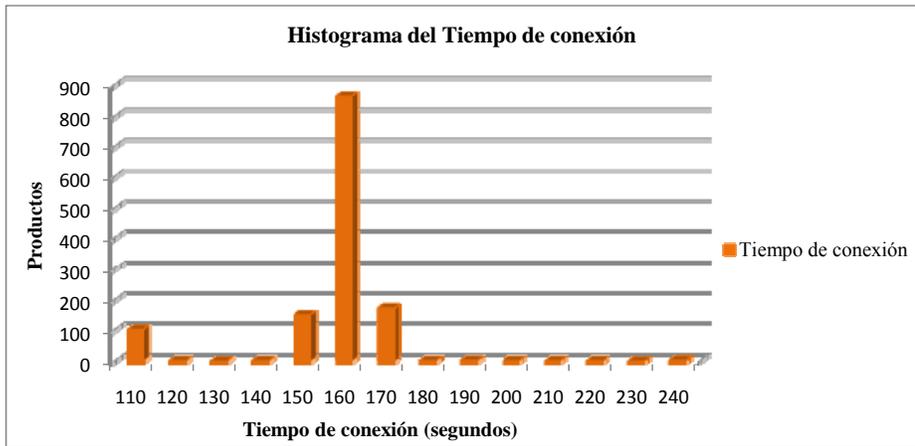
Tabla N° 7. Falsos negativos del los bancos de prueba.

<b>Banco de Pruebas</b>	<b>Numero de Falsos Negativos</b>
Actual	7
Piloto	4

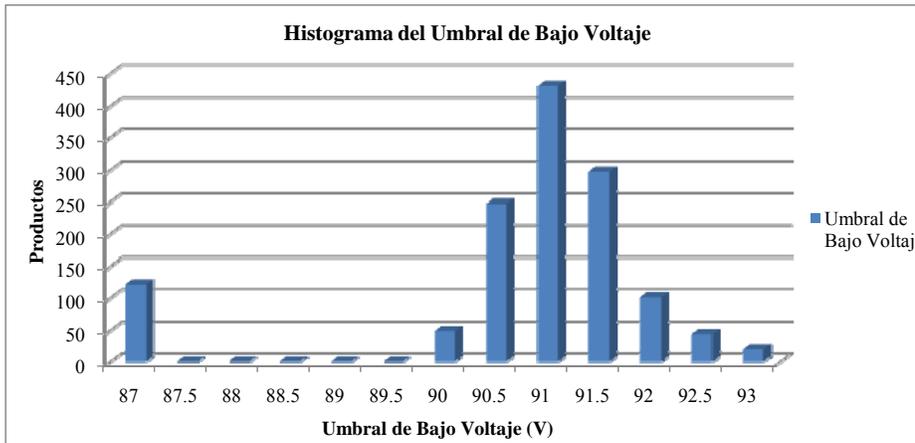
En la tabla 5 se puede observar que el total de productos (1315) es distinto al número de productos probados (1186), esta diferencia representa los reprocesamientos de las tarjetas, los cuales se ubicaron en un 10% aproximadamente. Los reprocesamientos en esta prueba son elevados debido a la tolerancia en cuanto al desplazamiento del producto en la cama de clavos, por lo cual se debe ajustar la estructura de pruebas para minimizar los falsos negativos por mal contacto.

Uno de los objetivos principales de esta prueba es encontrar aquellos productos que un banco dice que esta bueno y el otro que esta rechazado. Los productos que salen con resultados diferentes se han probado con los ensayos descritos en la norma y utilizados en la prueba piloto. Se encontró del total de productos que el banco actual genero 7 falsos negativos y el banco piloto genero 4 falsos negativos.

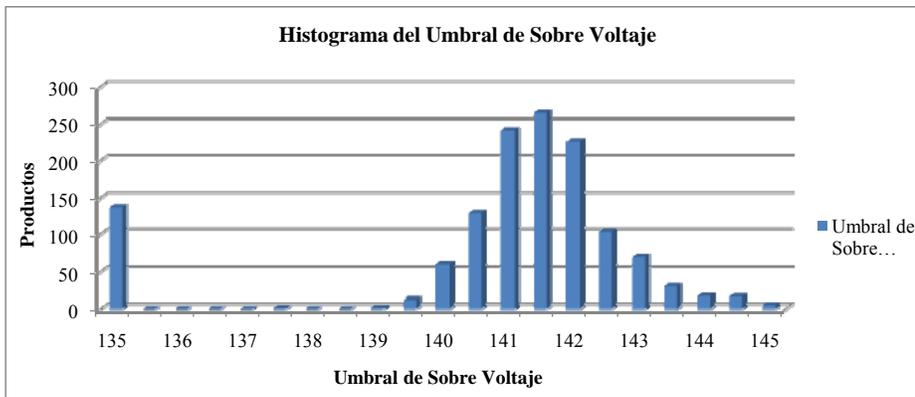
La prueba de verificación genera una serie de datos los cuales se muestran en los histogramas (ver Gráficas N° 11-15). Esta información es de gran importancia debido al aporte que proporciona a la empresa acerca del comportamiento de los productos. Con esta data se puede monitorear las tendencias de los tiempos de conexión, umbrales, histéresis entre otros valores. También es posible detectar cual es la falla que se presenta con mayor frecuencia, y de ser necesario rediseñar el producto para corregir dicha falla.



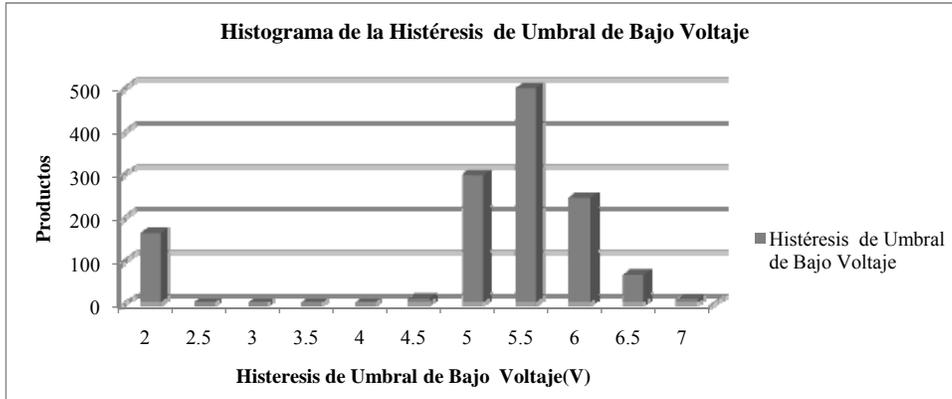
Gráfica N° 11. Histograma del tiempo de conexión.



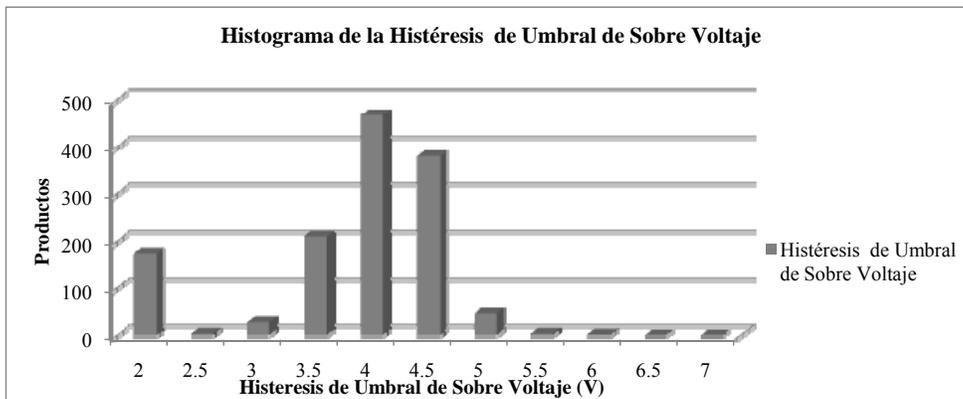
Gráfica N° 12. Histograma del umbral de bajo voltaje.



Gráfica N° 13. Histograma del umbral de sobre voltaje.



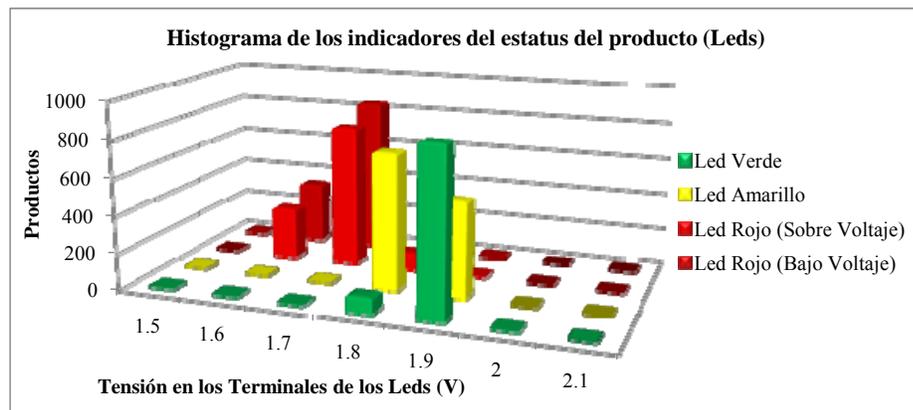
Gráfica N° 14. Histograma de la histéresis de umbral de bajo voltaje.



Gráfica N° 15. Histograma de la histéresis de umbral de sobre voltaje.

Se puede observar en los histogramas una cantidad de muestras en el extremo izquierdo, esto se debe a que la mayoría de los valores obtenidos por la prueba son calculados, cuando el producto no hace buen contacto con los pines es posible que los valores medidos no correspondan a la tensión en el producto. Al momento de realizar los cálculos con las tensiones medidas se obtienen resultados fuera de los límites. Además de los productos que presentan fallas por encontrarse fuera de los límites especificados.

En la gráfica N° 11 se puede observar un corrimiento en el tiempo teórico, es decir según las especificaciones del GSM-N el tiempo de conexión es de 180 segundos, aunque los valores están comprendidos entre  $\pm 30\%$ , la mayoría de las muestras se encuentra 20 segundos por debajo. Si este comportamiento se mantiene en el tiempo se debe revisar el diseño y las tolerancias de los componentes utilizados de manera de ajustar los valores para obtener una mejor precisión en el tiempo de conexión. En las graficas N° 12 y 13 también se observa un corrimiento, en éste caso la tensión calculada que supera por 1V a los valores teóricos. También se debe monitorear dicho comportamiento para tomar las acciones necesarias para corregir el corrimiento.



Gráfica N° 16. Histograma de la tensión nominal del los leds.

La identificación del color de los leds según la tensión en sus terminales, es una prueba que se estudió para observar su factibilidad. Aunque la tensión nominal de los leds son distintas su distribución estadística presenta una tolerancia. En la grafica N° 16 se muestran las tensiones medidas en los leds. Se observa que entre 1.8 y 1.9V existen muestras de los tres leds. Por esta razón no se puede distinguir mediante la tensión en los terminales del los leds su color.

### **5.3. Base de datos**

Se obtuvo una base de datos, la cual almacena datos básicos como fecha y hora y datos calculados que definen si el producto está dentro de sus especificaciones. Esta base de datos permite realizar estadísticas y llevar un control de calidad de la producción. En la Tabla N° 8 se muestran los resultados correspondientes a 10 PCBs probados.

Tabla N° 8. Base de datos.

Serial	Fecha	Hora	Producto_OK	T_conexion	Umbral_Bajo	Histeresis_UV	Umbral_Alto	Histeresis_OV	T_deteccion	Led_Verde	Led_Amarillo	Led_Rojo_Alto	Led_Rojo_Bajo
CCS 00000003	29/08/2008	13:32:05	F. Red de entrada	0	0	0	0	0	0	0	-1.41880035	0	-1.782400131
CCS 00000004	29/08/2008	13:33:33	Producto OK	146.862839	89.7838287	4.314903259	139.4786224	3.863937378	1.25800002	-1.9399995	-1.90839958	-1.869199753	-1.863200188
CCS 00000005	29/08/2008	13:35:17	Producto OK	142.026062	90.6833878	5.152229309	141.3626862	4.05897522	1.45599997	-1.9684	-1.89920044	-1.780799866	-1.786800385
CCS 00000006	29/08/2008	13:35:58	Producto OK	151.288788	90.3789597	4.468414307	140.8043823	4.408126831	1.23599994	-1.9244003	-1.89039993	-1.709600449	-1.709199905
CCS 00000007	29/08/2008	13:36:26	Producto OK	145.035431	91.0603561	5.226203918	141.5199432	4.320739746	1.352	0.03520012	-1.88160038	-1.774800301	-1.786399841
CCS 00000008	29/08/2008	13:36:53	F. Conexión	151.801468	90.3974228	4.002944946	139.7670135	3.607849121	2.00200009	10.1779995	-2.00519991	-1.785599709	-1.797200203
CCS 00000009	29/08/2008	13:37:19	F. Conexión	151.941391	91.0770187	3.770263672	141.0836334	3.731964111	2	9.03359985	-1.92679977	-1.866000175	-1.873999596
CCS 00000010	29/08/2008	13:37:52	F. Conexión	147.946945	90.2810898	4.517677307	140.3656769	3.488769531	2	-1.8831996	-1.94839954	-1.860799789	-1.865599632
CCS 00000011	29/08/2008	13:38:36	F. Conexión	155.76474	90.4441147	4.679718018	140.1062012	3.460998535	2.00200009	-1.8039999	-1.96720028	-1.883199692	-1.883600235
CCS 00000012	29/08/2008	13:39:05	Producto OK	155.578842	90.7895889	5.307731628	140.8574982	3.609420776	1.42799997	-2.0167999	-1.90359974	-1.784799576	-1.76760006

#### **5.4. Diferencias entre el banco de pruebas actual y el piloto**

Actualmente las pruebas se realizan por ventanas de aceptación, el banco de pruebas piloto proporciona valores numéricos como resultados. En la prueba del tiempo de conexión, actualmente se activa un timer de 234 segundos y se monitorea si el producto conecta o no. Si los productos conectaron entre 126 y 234 segundos son aceptados de lo contrario son rechazados. Esto asegura que se cumple con la especificación del  $\pm 30\%$  en el tiempo de conexión pero no se conoce el valor real. A diferencia del banco de pruebas actual el piloto genera como resultado el valor real, por ejemplo 145 segundos.

En el banco de pruebas actual, existe una prueba que se realiza de forma indirecta, llamada prueba de histéresis. Por ejemplo, para la histéresis de voltaje bajo, en el banco actual se coloca la mínima tensión para que el producto conecte, luego la máxima tensión a la cual el producto entra en falla. La ventana de aceptación es muy amplia y no se conoce si la histéresis cumple con las especificaciones, lo que se comprueba es que exista la histéresis. Por el contrario, el banco piloto calcula el valor de la histéresis para cada producto, nuevamente proporciona valores numéricos, tanto para las tensiones de desconexión y reconexión como para las fallas de bajo voltaje y sobre voltaje.

El banco de pruebas piloto es unitario, es decir prueba un producto a la vez, esto implica que puede ser insertado en la línea de producción. Mientras se prueba un producto se empaca el probado anteriormente. Esto reduce también el tiempo de prueba ya que actualmente se prueban por lotes y las personas que empacan se deben parar de sus puestos de trabajo para buscar un lote de producto llevarlo a un lugar de fácil acceso para continuar sus labores. El tiempo de la prueba se redujo en un 20% por producto sin contar el tiempo que se ahorra al tener al banco en una línea de producción. Es posible con este nuevo esquema implementar, por ejemplo tres bancos de pruebas, los cuales trabajen de forma simultánea y alimenten a una misma línea de

producción, ya que el tiempo para empacar el producto es menor al tiempo de prueba. De esta manera se aumenta aun más la eficiencia de la línea y la productividad diaria.

En la Tabla N° 9 se muestran las diferencias entre el banco actual y el banco piloto.

Tabla N° 9. Comparación entre el Banco Actual y el Banco Piloto.

	<b>Banco Actual</b>	<b>Banco Piloto</b>
Tiempo de la prueba	Aprox. 720 segundos (30 seg. por producto)	Aprox. 24 segundos
Numero de Pruebas	5	7
Base de Datos	Reporte del número de productos aceptados y rechazados	Se almacenan todos los valores calculados, si el producto fue aceptado o rechazado, tiempo de conexión, cual fue la falla, entre otros
Tipo de Pruebas	Ventana de Aceptación/Rechazo	Valores numéricos, por ejemplo umbrales, histéresis, tiempos, entre otros
Resultado	Aceptación - Rechazo	Aceptación – Rechazo y Reporte
Capacidad de productos	24	1
Dimensiones aprox. (cm)	51x58x210	40x40x18 (sin fuente)
Inserción en la línea de producción	En paralelo (acumula los productos y se liberan por lotes)	En la línea (se empaqueta un producto mientras se prueba otro)

### 5.5. Archivos de la prueba de ICT

Como el ICT es la primera prueba que se realiza por un equipo luego del ensamble del producto y es en esta prueba donde se detectan la mayoría de las fallas mencionadas en el apartado 2.2.4, es necesario interpretar correctamente los reportes generados. La data de estos reportes era abundante y confusa, además no se especificaba en una leyenda o en un archivo lo que significaba cada falla. Se plantearon algunas mejoras para procesar la información del ICT, estas son:

- Debido que en varios reportes se observó que en un mismo día se probaron distintos productos, al no estar identificados los productos, la información obtenida es la unión de los resultados de varios modelos y no se puede establecer ninguna conclusión con respecto a los resultados, por lo que se recomendó probar un producto al día, generar un archivo por cada modelo que se pruebe o identificar el producto.
- Si el producto tiene serial se recomendó cambiar en el archivo de texto `[[[BOARD :1 ]]]` por `[[[ GSM-RB220 :123456 ]]]`
- Existen algunos componentes que no se encuentran registrados en el ICT, por ejemplo el GSM-RB220 tiene un transistor y no se encuentra en la lista de componentes en “Component Editor”. Por lo cual no se tiene seguridad que el ICT este probando este componente. Se recomienda incluir todos los elementos del circuito que ameriten ser probados en el ICT.

Se desarrolló un programa para ordenar en una base de datos toda la información del archivo de texto, el cual ordena cada producto según las fallas encontradas, el tiempo, fecha y hora de la prueba, tipo de prueba y serial del PCB. Este último campo no es posible utilizarlo con la estructura actual de los archivos por lo cual se colocaron números de forma creciente mientras se comienzan a utilizar los seriales con códigos de barras y se modifique nuevamente el formato.

Partiendo de las modificaciones planteadas se logró identificar el producto que se encuentra en prueba. Como se observa en la Tabla N° 10, ahora se incorporaron tres líneas donde se especifica el producto y la versión del mismo. En la Tabla N° 11 se observa la base de datos generada como resultado del análisis de los reportes del ICT. Las Tablas N° 12 y 13 muestran los porcentajes de PCBs aceptados y rechazados por la prueba clasificados para dos modelos distintos.

Tabla N° 10. Comparación del archivo original y el modificado.

Archivo Anterior	Archivo Mejorado
<p>Dec 20,2007 19:41</p> <p>** Normal Test **</p> <p>[[[ BOARD :1 ]]]</p> <p>Open Short Start</p> <p>Open Short Pass</p> <p>Component Test Start</p> <p>Component Test Pass</p> <p>Open/Short Test Time: 115 ms</p> <p>Component Test Time : 890 ms</p> <p>OverAll Test Time : 1057 ms</p>	<p>Sep 19,2008 08:02</p> <p>** Normal Test **</p> <p>TP:P638(REGLETA-BASICO).tp</p> <p>Model:REGLETA-BASICO</p> <p>PCB:GSM-MT-V08 Ver:1.0</p> <p>[[[ BOARD :1 ]]]</p> <p>Open Short Start</p> <p>Open Short Pass</p> <p>Component Test Start</p> <p>Component Test Pass</p> <p>Open/Short Test Time: 145 ms</p> <p>Component Test Time : 3039 ms</p> <p>OverAll Test Time : 3348 ms</p>

Tabla N° 11. Base de datos de la prueba ICT

Serial	Fecha	Hora	Min	Tiempo Prueba OS	Tiempo Prueba Comp	Tiempo Total	Resultado	Tipo de Prueba
1	02/01/2008	8	7	103ms	2237ms	2416ms	Test Pass	** Normal Test **
2	02/01/2008	8	7	95ms	2242ms	2419ms	Test Pass	** Normal Test **
3	02/01/2008	8	8	95ms	2236ms	2384ms	Test Pass	** Normal Test **
4	02/01/2008	8	8	95ms	2242ms	2384ms	Test Pass	** Normal Test **
5	02/01/2008	8	9	95ms	2242ms	2425ms	Test Pass	** Normal Test **
6	02/01/2008	8	9	95ms	2236ms	2419ms	Test Pass	** Normal Test **
7	02/01/2008	8	9	175ms	0ms	253ms	Short Error	** Normal Test **
8	02/01/2008	8	9	95ms	2242ms	2404ms	Test Pass	** Normal Test **
9	02/01/2008	8	9	95ms	2242ms	2374ms	Test Pass	** Normal Test **
10	02/01/2008	8	9	95ms	2242ms	2419ms	Test Pass	** Normal Test **
11	02/01/2008	8	9	95ms	2466ms	2649ms	Component Error	** Normal Test **
12	02/01/2008	8	9	95ms	2468ms	2640ms	Test Pass	** Normal Test **
13	02/01/2008	8	10	95ms	2272ms	2458ms	Component Error	** Normal Test **
14	02/01/2008	8	10	96ms	2275ms	2434ms	Component Error	** Normal Test **
15	02/01/2008	8	22	95ms	2237ms	2374ms	Test Pass	** Normal Test **
16	02/01/2008	8	22	95ms	2467ms	2623ms	Component Error	** Normal Test **
17	02/01/2008	8	22	95ms	2462ms	2648ms	Component Error	** Normal Test **
18	02/01/2008	8	23	132ms	0ms	210ms	Short Error	** Normal Test **
19	02/01/2008	8	23	95ms	2463ms	2618ms	Component Error	** Normal Test **
20	02/01/2008	8	23	95ms	2464ms	2633ms	Component Error	** Normal Test **
21	02/01/2008	8	23	95ms	2239ms	2395ms	Test Pass	** Normal Test **

Tabla N° 12. Análisis de un archivo de la prueba ICT para GSM-MT-V08.

Producto	Prueba Normal	Número de PCBs	Porcentaje por falla (%)	Porcentaje de aceptados y rechazados (%)
GSM-MT-V08	Component Error	2224	11.07	21.99
GSM-MT-V08	Open Error	1472	7.33	
GSM-MT-V08	Short Error	722	3.59	
GSM-MT-V08	Test Pass	15672	78.01	78.01
	Total	20090		

Tabla N° 13. Análisis de un archivo de la prueba ICT para REGLETA-BASICO.

Producto	Prueba Normal	Número de PCBs	Porcentaje por falla (%)	Porcentaje de aceptados y rechazados (%)
REGLETA-BASICO	Component Error	3633	18.85	41.52
REGLETA-BASICO	Open Error	3942	20.45	
REGLETA-BASICO	Short Error	428	2.22	
REGLETA-BASICO	Test Pass	11272	58.48	58.48
	Total	19275		

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se diseñó, implementó y comprobó un nuevo concepto para banco de pruebas, lo que permitió una disminución del tiempo de prueba, la trazabilidad de los productos, generación de valores numéricos precisos para cada prueba, información estadística del comportamiento de los mismos y la inserción del prototipo en una línea de producción.

Se comprobó la factibilidad de realizar pruebas con resultados confiables, midiendo directamente en el producto y utilizando cálculos matemáticos.

El tiempo de la prueba se redujo en un 95.62% (de 8 min a 21s), sin embargo esto equivale a una reducción efectiva del tiempo de prueba por producto de un 20%, esta disminución se debe a que la relación entre los productos probados por el banco actual y el piloto es de 24:1. (de  $720s/24=30s$  a solo 24s por producto), lo que se traduce en un aumento en la producción diaria.

A través del banco de pruebas diseñado, se puede conocer con precisión los tiempos de conexión, los umbrales de falla, así como también la histéresis en los umbrales y el tiempo de detección de falla. Lo que aumenta la confiabilidad tanto de los resultados obtenidos por el banco de pruebas como del producto final.

Se disminuyen los riesgos ergonómicos para el operador debido a que la nueva disposición del banco de pruebas piloto permite que el operador este sentado en la misma.

El banco de pruebas diseñado genera una base de datos constituyendo el primer paso para la integración de toda la información relevante correspondiente a cada producto fabricado en la empresa, incluyendo la trazabilidad de los mismos.

Se identificó la información contenida en los reportes originales del ICT, lo que permitió mejorar el procesamiento y análisis de los mismos. Debido a que el formato variaba entre un reporte y otro, se plantearon e implementaron las modificaciones necesarias para mantener un mismo formato, además se agregó la identificación del producto en prueba, lo que proporciona a la empresa el comportamiento cada modelo durante el ensamble.

Con la inclusión de los seriales en cada PCB se logra identificar el reprocesamiento de cada producto en particular, ya que actualmente solo se obtuvo el porcentaje de reprocesamiento en general de los PCBs probados en el ICT.

Por todo lo antes expuesto se recomienda:

Colocar seriales a todos los productos, desde el momento del ensamble, de manera de tener una mayor trazabilidad, al momento de ser probados en el banco de pruebas y limitar el número de reprocesamientos en el conjunto de pruebas.

Evaluar e implementar las adaptaciones planteadas para adecuación del mismo banco de pruebas para diferentes productos.

La construcción de otros bancos de pruebas, similares al diseñado en el presente trabajo, para el resto de los protectores de voltaje monofásicos de la línea Exceline, logrando así un incremento de la producción.

Diseñar una estación de reparación de productos, la cual tenga acceso a la base de datos generada por el banco de pruebas. Reduciendo así el tiempo de reparación de los productos al entregar la información de falla al técnico de reparación.

Cambiar el lector de código de barras utilizado durante el desarrollo, ya que se determinó que el uso de un modelo fijo disminuiría los tiempos de prueba al evitar la manipulación del mismo por el personal de la línea de producción

Debido, a las fallas reportadas por mal contacto, entre el producto y los pines de medición se recomienda:

- Hacer la prueba antes de colocarle la laca protectora a los productos.
- Diseñar una estructura de prueba con menor tolerancia de movimiento del producto.

Añadir un indicador de mantenimiento del equipo para cambiar los pines de la cama de clavos, piezas mecánicas y componentes electrónicos, dependiendo del número de operaciones permitidas indicadas por los fabricantes de los mismos.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Gutiérrez, Gustavo. Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Lámparas de Emergencia/ Gutiérrez Gustavo (Tesis).-- Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2001.

[2] Plan Estratégico, Empresa Generación de Tecnología. Caracas (2004).

[3] Manual de Recomendaciones para el Trazado de Pistas: Versión (1.0). Generación de Tecnología C. A. (GENTE) Caracas, 2008. \_17p.

[4] Covenin (3445:1999) .— Dispositivos protectores electrónicos contra perturbaciones de la tensión de línea Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales. Ministerio Del Poder popular para las Industrias Ligeras y Comercio.-- 19 p.

[5] Wikipedia [en línea]. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Least\\_squares](http://en.wikipedia.org/wiki/Least_squares)> [Consulta:2008]

[6] Planetmath [en línea]. <<http://planetmath.org/encyclopedia/BinarySearch.html>> [Consulat:2008]

[7] Wikipedia [en línea].  
<[http://es.wikipedia.org/wiki/B%C3%BAsqueda\\_dicot%C3%B3mica](http://es.wikipedia.org/wiki/B%C3%BAsqueda_dicot%C3%B3mica)>  
[Consulta:2008]

[8] OPTO 22 [en línea]. <[http://www.opto22.com/site/le\\_demos\\_demo8.aspx](http://www.opto22.com/site/le_demos_demo8.aspx)>  
[Consulta:2008]

[9] OPTO 22 [en línea]. <[http://www.opto22.com/site/le\\_what\\_is\\_a\\_pac.aspx](http://www.opto22.com/site/le_what_is_a_pac.aspx)> [Consulta:2008]

[10] OPTO 22 [en línea]. <[http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?item=SNAP-AIV&q=100310031044,,,15,43&](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?item=SNAP-AIV&q=100310031044,,,15,43&)> [Consulta:2008]

[11] OPTO 22 [en línea].  
< [http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?item=SNAP-AIV-i&q=100310031044,,,19,43&](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?item=SNAP-AIV-i&q=100310031044,,,19,43&)> [Consulta:2008]

[12] OPTO 22 [en línea]. < [http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?item=SNAP-IAC5&q=100310071044,,,2,42&](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?item=SNAP-IAC5&q=100310071044,,,2,42&) >[Consulta:2008]

[13] OPTO 22 [en línea]. < [http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?item=SNAP-OAC5&q=100310071044,,,7,42&](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?item=SNAP-OAC5&q=100310071044,,,7,42&)>[Consulta:2008]

[14] OPTO 22 [en línea]. < [http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?item=SNAP-ODC5SRC&q=100310071044,,,33,42&](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?item=SNAP-ODC5SRC&q=100310071044,,,33,42&)>[Consulta:2008]

[15] OPTO 22 [en línea]. < [http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?item=SNAP-SCM-232&q=100310181044,,,3,5&](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?item=SNAP-SCM-232&q=100310181044,,,3,5&)>[Consulta:2008]

[16] OPTO 22 [en línea].  
<[http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?item=PACCONTROLPRO&q=100510241046,,,2,3&](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?item=PACCONTROLPRO&q=100510241046,,,2,3&)> >[Consulta:2008]

[17] Wikipedia [en línea]. <http://en.wikipedia.org/wiki/LED> [Consulta:2008]