

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



**Desarrollo de un mecanismo inteligente para la
prueba de resistencia entre Vcc y Tierra**

Componentes Intel de Costa Rica

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el
título de Ingeniero en Electrónica con el grado
académico de Licenciatura/Bachillerato**

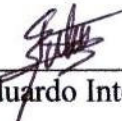
Juan Carlos Brenes Torres

Belén, Junio del 2007


INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Eduardo Interiano
Profesor lector



Ing. Francisco Navarro
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica


Cartago, 11 de Junio del 2007

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Belén, Junio del 2007



Juan Carlos Brenes Torres

Cédula: 1-1162-640

Resumen

En la empresa Intel, la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra se realiza para evitar que entren tarjetas BIB con fusibles quemados o con chipsets en corto, a la máquina que efectúa la prueba de envejecimiento acelerado.

El problema presente consiste en la ausencia de mecanismos que permitan realizar dicha prueba de manera rápida y confiable, disminuyendo la cabida al error humano a la hora de determinar si las tarjetas BIB presentan algún fusible quemado o alguna unidad en corto.

La ausencia de dichos mecanismos ocasiona que se presenten errores humanos a la hora de realizar la prueba resistencia entre Vcc y Tierra y que su tiempo de ejecución sea un parámetro considerable en los retrasos del proceso de producción.

Para brindar una solución a esta problemática, se desarrolló un instrumento de medición inteligente, con posibilidad de calibración y configurable a nuevos productos, que realiza todas las pruebas de resistencia entre Vcc y Tierra en una misma tarjeta BIB y según los criterios almacenados para los productos actuales, determina si la tarjeta BIB presenta algún fusible quemado o alguna unidad en corto.

Palabras clave: *Resistencia, Ohmímetro, Vcc, Tierra, Chipset, Tarjeta BIB.*

Abstract

At Intel Company, the Vcc Test is done to prevent that BIBs with burn out fuses or short circuited chipsets enter the Burn-In oven.

The existent problem is the absence of mechanisms for doing the Vcc Test in a quick and reliable way that would cause a reduction in the possibility of human errors in the determination of a burn out fuse in a BIB or a short circuit in a unit.

In a way to give a possible solution to this problem, an intelligent measuring device was developed, which has the possibility of being calibrated and configured to new products. This device measures all the resistances from Vcc to Ground in a BIB, and determines if that BIB has a burn out fuse or a short circuited Chipset.

Keywords: *Resistance, Ohmmeter, Vcc, Ground, Chipset, BIB*

Agradecimiento:

*A mi familia por darme
todo lo necesario para
poder estudiar.*

Índice general

Capítulo 1:	Problema existente e importancia de la solución	12
Capítulo 2:	Solución seleccionada.....	15
2.1	Requerimientos	15
2.2	Solución seleccionada.....	15
Capítulo 3:	Meta y objetivos	17
3.1	Meta.....	17
3.2	Objetivo general	17
3.3	Objetivos específicos.....	17
Capítulo 4:	Marco teórico.....	18
4.1	Descripción del proceso a mejorar	18
4.2	Antecedentes bibliográficos.....	27
4.3	Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.....	30
4.3.1	Resistencia Eléctrica	30
4.3.2	Ley de Ohm.....	30
4.3.3	Leyes de Kirchhoff.....	31
Capítulo 5:	Procedimiento metodológico	32
5.1	Reconocimiento y definición del problema	32
5.2	Obtención y análisis de información	32
5.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución	33
5.4	Implementación de la solución	33

Capítulo 6:	Descripción detallada de la solución	34
6.1	Descripción del hardware.	35
6.1.1	Interfaz mecánica y muestra del resultado.	35
6.1.2	Medición de resistencias.	42
6.1.3	Comparación de valores, toma de decisión y selección del producto (hardware).	46
6.2	Descripción del software.....	49
6.2.1	Comparación de valores, toma de decisión y selección del producto (software).....	49
6.2.2	Software de programación del dispositivo	56
Capítulo 7:	Análisis de Resultados	59
Capítulo 8:	Conclusiones y recomendaciones.....	67
8.1	Conclusiones.	67
8.1	Recomendaciones.....	68
Bibliografía	69
Apéndices	70
A.1	Glosario, abreviaturas y simbología.....	70
A.2	Tabla comparativa de las características de los distintos PLCs en el mercado.	71
A.3	Protocolos de medición.....	72

Índice de figuras

Figura 2.1. Diagrama de bloques de la solución seleccionada	16
Figura 4.1. Tarjetas de envejecimiento acelerado (BIBs).....	19
Figura 4.2. Diagrama de los carros transportadores de tarjetas de prueba	19
Figura 4.3. Carro transportador de tarjetas de prueba lleno con tarjetas BIB	20
Figura 4.4. Máquina encargada de realizar la prueba de envejecimiento acelerado	20
Figura 4.5. Operario realizando la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra. ...	21
Figura 4.6. Medición de valores de resistencia en los terminales de alimentación de las tarjetas BIBs.	21
Figura 4.7. Diagrama físico de la ubicación de los terminales de alimentación en una tarjeta BIB para Chipsets Lakeport P y G	22
Figura 4.8. Diagrama físico de la ubicación de los terminales de alimentación en una tarjeta BIB para Chipsets Calistoga	23
Figura 4.9. Diagrama físico de la ubicación de los terminales de alimentación en una tarjeta BIB para Chipsets Springdale	23
Figura 4.10. Zócalo dañado por un paso de corriente mayor al permitido.	24
Figura 4.11. Diagrama de flujo de la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra	25
Figura 4.12. Ohmímetro tipo serie.....	27
Figura 4.13. Ohmímetro tipo derivación	28
Figura 4.14. Ohmímetro tipo derivación.	29
Figura 6.1. Diagrama de bloques de la solución implementada.....	34
Figura 6.2. Diseño de las prensas metálicas utilizadas para realizar el contacto eléctrico.	36
Figura 6.3. Circuito interno de la interfaz mecánica.	37
Figura 6.4. Vistas del diseño de la interfaz mecánica sin componentes.	38
Figura 6.5. Vistas de la proyección de la interfaz mecánica terminada.....	39
Figura 6.6. Vistas laterales de la proyección de interfaz mecánica terminada...	39
Figura 6.7. Ejemplo de algunos de los planos de construcción del modelo.	40

Figura 6.8. Interfaz mecánica terminada.....	41
Figura 6.9. Interfaz mecánica haciendo contacto con los terminales de una tarjeta BIB.....	41
Figura 6.10. Principio de funcionamiento del diseño implementado para la medición de resistencias.....	42
Figura 6.11. Configuración del XTR105 utilizada en el proyecto.	43
Figura 6.12. Diagrama de bloques del circuito de medición de resistencias.....	44
Figura 6.13. Circuito de muestreo por relays.	44
Figura 6.14. Circuito de amplificación y calibración.	45
Figura 6.15. MicroPLC Unitronics modelo M91-2-T2C.....	47
Figura 6.16. Esquema simplificado de las entradas y salidas del microPLC. ...	48
Figura 6.17. Diagrama de bloques del menú implementado en la interfaz gráfica.....	49
Figura 6.18. Ejemplo de pantalla del menú principal.....	50
Figura 6.19. Organización del almacenaje de los parámetros de los productos en la memoria del microPLC.....	50
Figura 6.20. Ejemplo de la pantalla de selección del producto y realización de la prueba.....	51
Figura 6.21. Diagrama de flujo del proceso de selección y carga de productos y sus parámetros.	53
Figura 6.22. Diagrama de flujo del proceso de muestreo de resistencias.....	54
Figura 6.23. Diagrama de flujo del proceso de comparación de la resistencia medida con los límites del rango de resistencia.....	55
Figura 6.24. Ventana principal del software de programación de productos y parámetros.....	56
Figura 6.25. Ejemplo del manejo de errores en el software.	57
Figura 7.1. Valores obtenidos en las mediciones y su valor estándar.....	60
Figura 7.2. Valores de resistencia con el multímetro versus los valores con el dispositivo desarrollado.	63
Figura 7.3. Diferencias entre los valores medidos con el multímetro y con el dispositivo desarrollado.	65

Índice de tablas

Tabla 4.1. Rangos de valores de resistencia entre los terminales de alimentación y tierra de la tarjeta BIB para cada tipo de Chipset.....	22
Tabla 4.2. Valores reales de operación para las tensiones en los terminales de alimentación de las tarjetas BIB.....	26
Tabla 4.3. Valores máximos de tensión (V) y corriente (I) soportados por las tarjetas BIB	26
Tabla 7.1. Resultados de exactitud obtenidos de la prueba con valores estándar.....	59
Tabla 7.2. Resultados de precisión obtenidos de prueba con valores estándar.	61
Tabla 7.3. Chequeo de realidad de la comparación de resistencias y toma de resultados	62
Tabla 7.4. Resultados obtenidos de la curva de la figura 7.2.	64
Tabla 7.5. Tiempos promedio de la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra para Chipset Springdale.	66

Capítulo 1: Problema existente e importancia de la solución

En la empresa Componentes Intel de Costa Rica se fabrican dos clases de productos: microprocesadores y chipsets. Dentro del proceso productivo de cada uno, se les realizan extensivas pruebas para asegurarse así que el producto final está libre de defectos y funciona de acuerdo con los estándares de calidad de la empresa.

En una de estas pruebas, llamada prueba de envejecimiento acelerado, se someten los chipsets a condiciones adversas de funcionamiento como lo son tensiones y temperaturas superiores a las nominales, para así forzar a fallar de una vez a las unidades que están defectuosas o que tienen tendencia a estarlo, y que no fallen cuando estén en manos del cliente.

Para dicha prueba, los chipsets son puestos en unas tarjetas llamadas tarjetas de envejecimiento acelerado (BIB por sus siglas en inglés), las cuales contienen 15 zócalos para introducir respectivamente 15 chipsets. Luego estas tarjetas son puestas en unos carros transportadores de tarjetas de prueba que llevan 50 tarjetas; y a su vez estos carros son introducidos en la máquina que realiza la prueba de envejecimiento acelerado. Cada lote de producto consta de 1500 unidades, lo que corresponde a dos carros transportadores de tarjetas de prueba.

Antes de introducirse los carros transportadores de tarjetas de prueba a dicha máquina, se debe realizar una prueba a las tarjetas BIB llamada Prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra, en la cual el operario mide mediante un multímetro el valor de resistencia existente entre los diferentes terminales Vcc y el terminal de Tierra de cada tarjeta BIB, y se fija que esté dentro de el rango de valores determinado por la Corporación.

Entre el 23 de julio y el 6 de octubre del 2006, se procesaron un promedio de 85703 Chipsets por semana, de los cuales se rechazó un promedio de 32 semanales debido a la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra. Esto representa un 0,038% de la producción semanal, rechazado debido a esta prueba.

Si el valor medido de resistencia esta por debajo del rango determinado por la Corporación, entonces uno o varios de los chipsets presenta un corto entre Vcc y Tierra, y si está por encima del rango, entonces significa que uno de los fusibles de la tarjeta BIB está quemado.

Esta prueba es de suma importancia debido a que si uno de los fusibles de la tarjeta estuviera quemado, entonces dicha tarjeta no funcionaría a la hora de ser sometida a la prueba de envejecimiento acelerado, y se estaría en riesgo de llevar al mercado un producto defectuoso. Por otro lado, si una de las unidades chipset estuviera en corto, cuando se realice la prueba de envejecimiento acelerado se provocaría un paso de corriente mucho mayor al permitido, el cual ha llevado a la quema de la unidad en primera instancia, luego al daño del zócalo en que se encuentra la unidad, y se ha llegado incluso al daño de la tarjeta BIB.

Entre abril y septiembre del 2006 se tuvo 46 tarjetas BIB dañadas, esto debido a diversas razones entre las cuales se encuentra las corrientes elevadas por unidades con corto. De estas tarjetas, 23 pudieron ser reparadas, como por ejemplo cambiando uno o varios zócalos, los cuales tienen un costo cercano a los \$50 cada uno. Las otras 23 tarjetas estuvieron dañadas permanentemente, por lo que tuvieron que ser desechadas, y debido a que el costo de cada tarjeta es de aproximadamente \$2500, esto representó pérdidas para la empresa por \$57500.

Debido a que este proceso es realizado de manera manual mediante un multímetro, cuando una tarjeta tiene 4 terminales Vcc (existen diversos tipos de tarjetas), se requiere de 4 mediciones de resistencia entre Vcc y Tierra, y como son 50 tarjetas BIB por carro transportador y dos carros por lote; entonces se realizan 400 mediciones por lote, las cuales requieren un tiempo promedio de entre 6,4 minutos hasta 8,58 minutos (según el tipo de tarjeta) para ser completadas por parte del operario.

Además, debido a que es el operario el que lee los valores del multímetro y maneja los rangos permitidos en su mente, el error humano es recurrente. Se dan situaciones como manejo de valores incorrectos en los rangos permitidos y realización de menos mediciones de las requeridas.

El problema presente entonces es la ausencia de mecanismos que permitan realizar la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra de manera rápida y confiable, disminuyendo la carga al error humano a la hora de determinar si una tarjeta BIB presenta algún fusible quemado o alguna unidad en corto.

Capítulo 2: Solución seleccionada

2.1 Requerimientos

Al inicio del desarrollo del proyecto, la empresa estableció que este debe:

- Lograr una disminución del tiempo que se dura en realizar la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra para todo un lote.
- Realizar las mediciones de resistencia con la precisión y exactitud adecuada para cumplir con los estándares establecidos por la Corporación.
- Poseer la posibilidad de calibración en las mediciones, para así realizar ajustes.
- Realizar la determinación de si una tarjeta BIB presenta algún fusible quemado o alguna unidad en corto, de manera automática.
- Poseer la capacidad de ser reconfigurada para adaptarse a nuevos productos.

2.2 Solución seleccionada

La solución que se seleccionó (la cual fue propuesta por la empresa) consiste en el desarrollo de un ohmímetro inteligente que decide si una tarjeta BIB es aceptada o rechazada.

Más específicamente, este es un dispositivo que hace contacto con todas las terminales Vcc y Tierra de la tarjeta BIB, luego de manera automática realiza todas las mediciones de resistencia requeridas y en base a los rangos almacenados en memoria para los productos actuales, determina si una tarjeta BIB presenta algún fusible quemado o alguna unidad en corto.

Además cuenta con una interfaz mecánica que es la que hace el contacto eléctrico entre los terminales de la tarjeta BIB y el dispositivo desarrollado. Se previó que esta interfaz fuera un dispositivo manual manipulado por el operario.

Junto con dicha interfaz se tiene una etapa que realiza de forma automática las mediciones de resistencia en cada uno de los terminales, y que posee la capacidad de ser calibrada.

Se cuenta con una etapa en la que se puede seleccionar el producto que esta en la tarjeta BIB que se está midiendo. Luego automáticamente toma los valores medidos de resistencia y los compara con los rangos de valores que tiene almacenados y en base a eso determina el resultado de la prueba, y muestra dicho resultado.

Debido a que el sistema debe ser adaptable a nuevos productos, se desarrolló un software en el cual al conectar el dispositivo con una computadora, se puedan programar nuevos rangos de valores para introducir así nuevos productos.

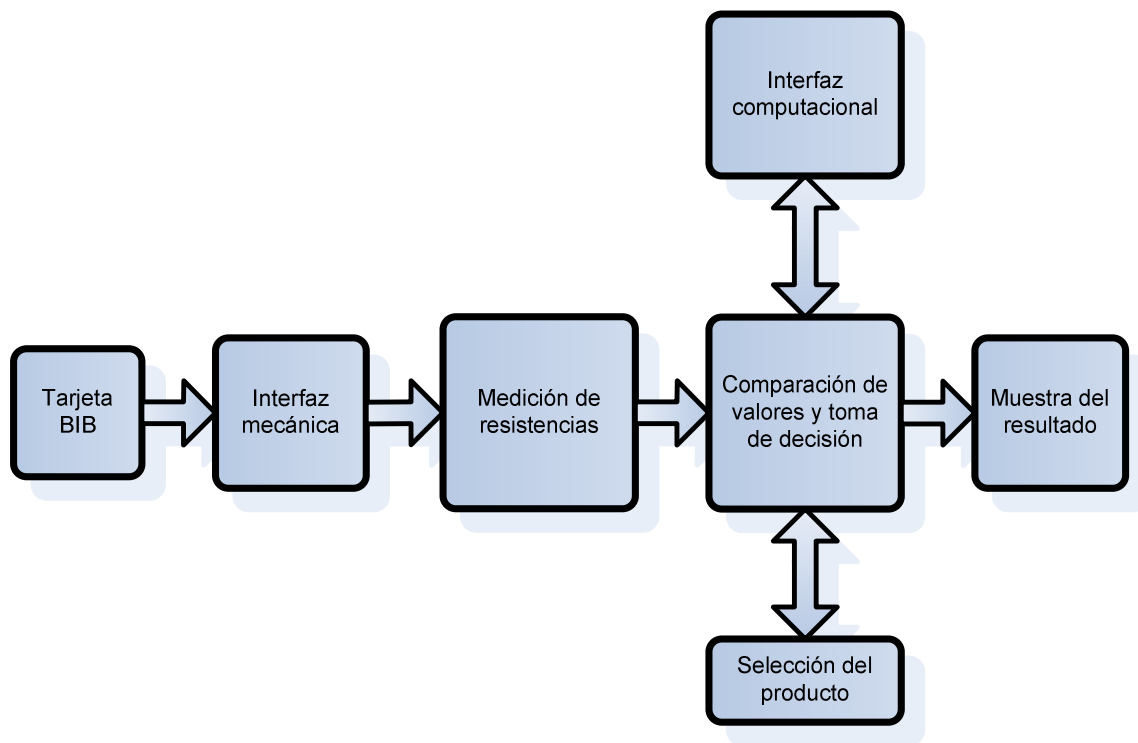


Figura 2.1. Diagrama de bloques de la solución seleccionada

Capítulo 3: Meta y objetivos

3.1 Meta

Impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías y procedimientos que permitan llevar a cabo la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra en un tiempo menor al actual y de una manera automatizada en la que no medie la decisión personal del operario.

3.2 Objetivo general

Desarrollar un mecanismo inteligente que realice las pruebas de resistencia entre Vcc y Tierra en una tarjeta BIB, y determine automáticamente si dicha tarjeta es aceptada o rechazada.

3.3 Objetivos específicos

- Diseñar un dispositivo mecánico que realice el contacto eléctrico con los terminales Vcc y Tierra de las tarjetas BIB.
- Implementar un sistema que realice la medición de resistencias y que posea la posibilidad de ser calibrado.
- Desarrollar un sistema que compare los valores medidos de resistencia con los valores para cada producto almacenados en la memoria del dispositivo, y determine si esa resistencia está dentro del rango.
- Diseñar una interfaz computacional que permita configurar el dispositivo para funcionar con nuevos productos que se manejen en un futuro.

Capítulo 4: Marco teórico

4.1 Descripción del proceso a mejorar

La Corporación Intel está dedicada a la producción de microprocesadores y chipsets alrededor del mundo. Dentro de su organización existen las fábricas de Ensamblaje y Prueba como la que está en Costa Rica y cuyo nombre legal es Componentes Intel de Costa Rica.

En esta fábrica se ensamblan las diferentes partes y estructura externa del procesador, y se les realizan extensivas pruebas para asegurar la calidad del producto final entregado al cliente.

Dentro de la empresa se maneja un concepto llamado “Mortalidad Infantil” el cual se refiere a las unidades que al parecer funcionan correctamente, pero que después de unos días de funcionamiento van a fallar.

Debido al riesgo que presenta sacar este tipo de unidades al mercado y que lleguen a fallar una vez que el cliente las tiene instaladas, es que se busca la manera de acelerar ese tiempo que duran en fallar. Para lograrlo, se ponen en operación los chipsets mientras se someten a altas tensiones y a un proceso de autocalentamiento, en el que debido a su mismo funcionamiento la temperatura de los chipsets aumenta. Esta es la llamada prueba de envejecimiento acelerado.

Para poder realizar esta prueba, se ponen las unidades en unas tarjetas llamadas tarjetas de envejecimiento acelerado (BIBs por sus siglas en inglés), las cuales tienen 15 zócalos para poner igual número de chipsets (Ver Figura 4.1). Los zócalos son los encargados de realizar el contacto con los terminales del chipset, y las tarjetas BIB realizan el contacto con los terminales de la máquina de envejecimiento acelerado.

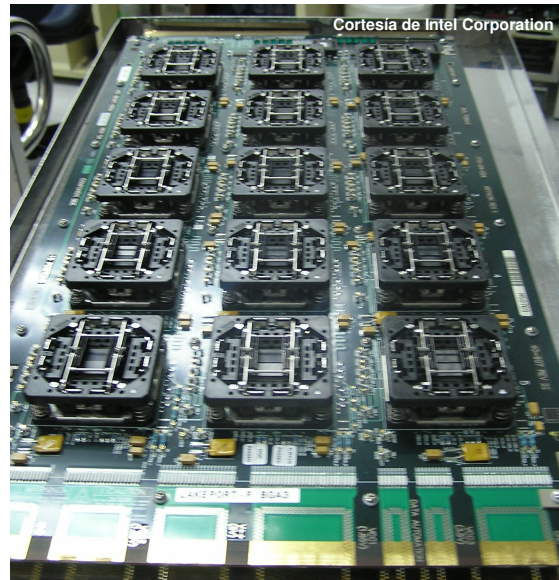


Figura 4.1. Tarjetas de envejecimiento acelerado (BIBs)

A su vez las tarjetas BIB son puestas en unos carros transportadores llamados carros transportadores de tarjetas de prueba, los cuales llevan 50 tarjetas (Ver Figura 4.2 y Figura 4.3). Un lote de producto está compuesto de 2 carros transportadores de tarjetas de prueba. Estos carros transportadores son los que se introducen en la máquina que realiza la prueba de envejecimiento acelerado. En la Figura 4.4 se aprecia dicha máquina, en donde en el extremo derecho hay un carro transportador de tarjetas de prueba introducido y el extremo izquierdo está vacío.

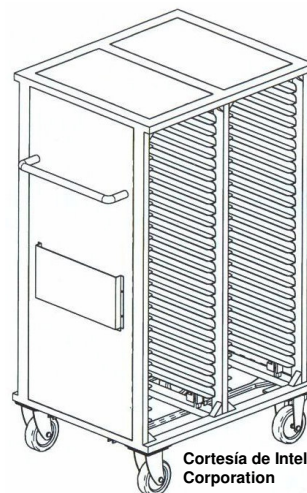


Figura 4.2. Diagrama de los carros transportadores de tarjetas de prueba

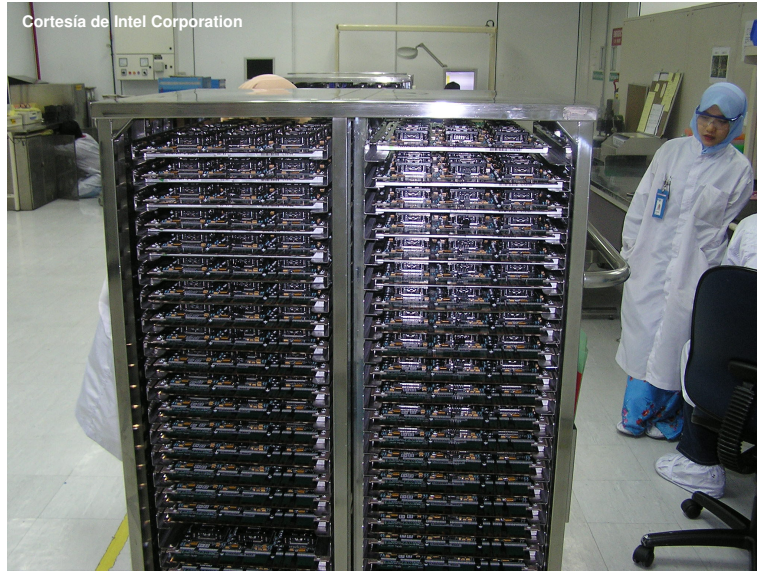


Figura 4.3. Carro transportador de tarjetas de prueba lleno con tarjetas BIB



Figura 4.4. Máquina encargada de realizar la prueba de envejecimiento acelerado

Antes de ingresar a dicha máquina un lote, se realiza la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra, la cual consiste en medir con un multímetro la resistencia que hay entre los distintos terminales de alimentación (Vcc) y el terminal de Tierra (Ver figuras 4.5 y 4.6). Los valores medidos deben estar dentro de un cierto rango de valores (Ver tabla 4.1), el cual es especificado por la Corporación.



Figura 4.5. Operario realizando la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra.



Figura 4.6. Medición de valores de resistencia en los terminales de alimentación de las tarjetas BIB.

Existen diversos tipos de tarjetas BIB, según el tipo de chipset para el que fueron diseñadas, y por ende también varían los rangos de resistencia determinados para cada una. Además el número de terminales de alimentación (Vcc) es diferente según cada tarjeta, teniéndose desde 2 terminales hasta 4 terminales, como se aprecia en los diagramas de las figuras 4.7, 4.8, y 4.9.

Tabla 4.1. Rangos de valores de resistencia entre los terminales de alimentación y tierra de la tarjeta BIB para cada tipo de Chipset

Tipo de Chipset	Terminal de alimentación	Rango permitido de resistencias	
		Límite inferior (Ω)	Límite Superior (Ω)
<i>Springdale G</i>	Vcc1	6	210
	Vcc2	133	143
<i>Lakeport P</i>	Vcc1	5	11
	Vcc2	13	22
	Vcc3	119	124
<i>Lakeport G</i>	Vcc1	1,5	8
	Vcc2	3	12
	Vcc3	69	130
<i>Calistoga</i>	Vcc1	2,8	4
	Vcc2	5,6	12
	Vcc3	70	140
	V++	5	7

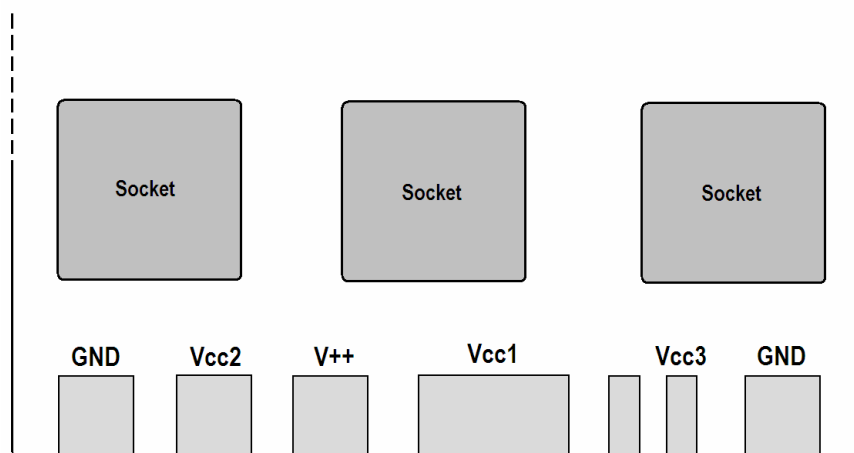


Figura 4.7. Diagrama físico de la ubicación de los terminales de alimentación en una tarjeta BIB para Chipsets Lakeport P y G

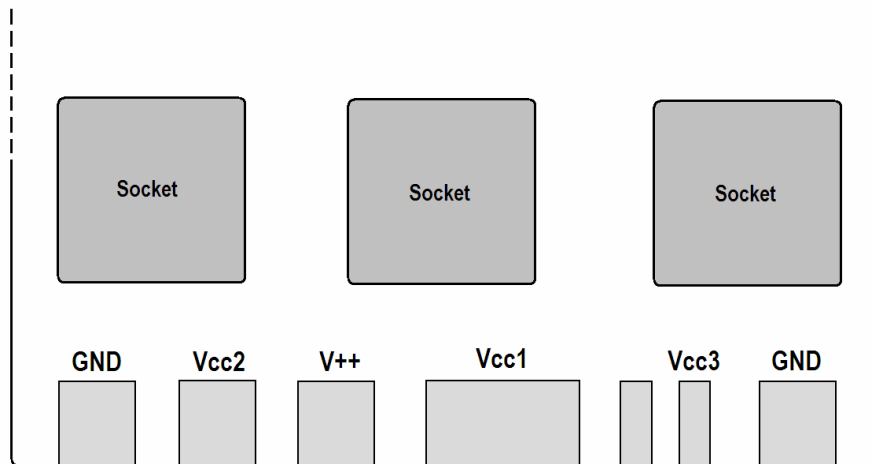


Figura 4.8. Diagrama físico de la ubicación de los terminales de alimentación en una tarjeta BIB para Chipsets Calistoga

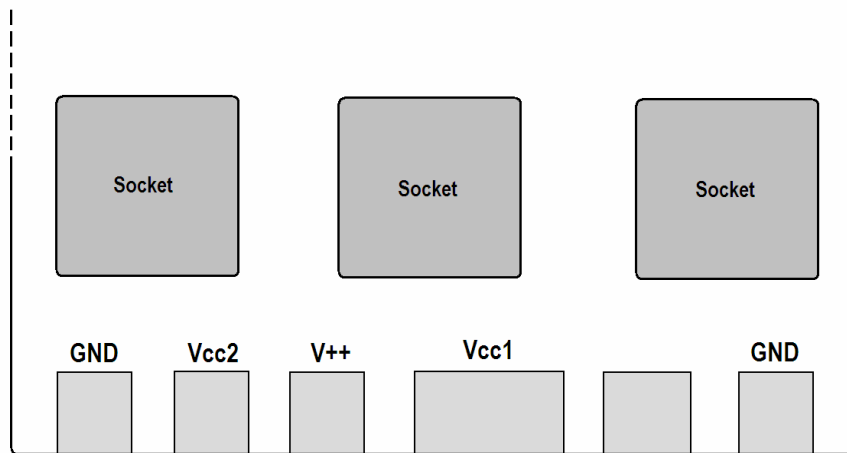


Figura 4.9. Diagrama físico de la ubicación de los terminales de alimentación en una tarjeta BIB para Chipsets Springdale

Si el valor medido de resistencia es mayor al límite superior del rango, esto significa que uno de los fusibles de la tarjeta BIB esta quemado, y por ende dicha tarjeta no funcionaría a la hora de ser activada por la máquina de envejecimiento acelerado y los productos que contenga no serían sometidos a dicha prueba, corriéndose el riesgo de llevar productos defectuosos al cliente.

Por otro lado, si el valor de resistencia que se midió fue menor al límite inferior del rango, esto significa que uno o varios de los chipsets posee un corto entre Vcc y Tierra. Si esta unidad fuera introducida a la máquina de envejecimiento acelerado se daría un paso de corriente a través de él mucho mayor al permitido, que provocaría el quemado en primera instancia de la unidad, luego del zócalo, e incluso de la tarjeta BIB. En la figura 4.10 se puede apreciar un zócalo que muestra un daño debido a un paso de corriente mucho mayor al permitido.

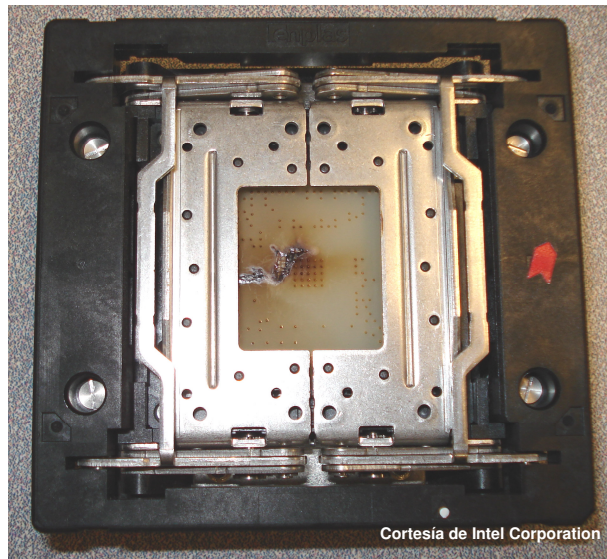


Figura 4.10. Zócalo dañado por un paso de corriente mayor al permitido.

El procedimiento que debe realizar el operario para completar correctamente la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra se explica con el siguiente diagrama de flujo (figura 4.11).

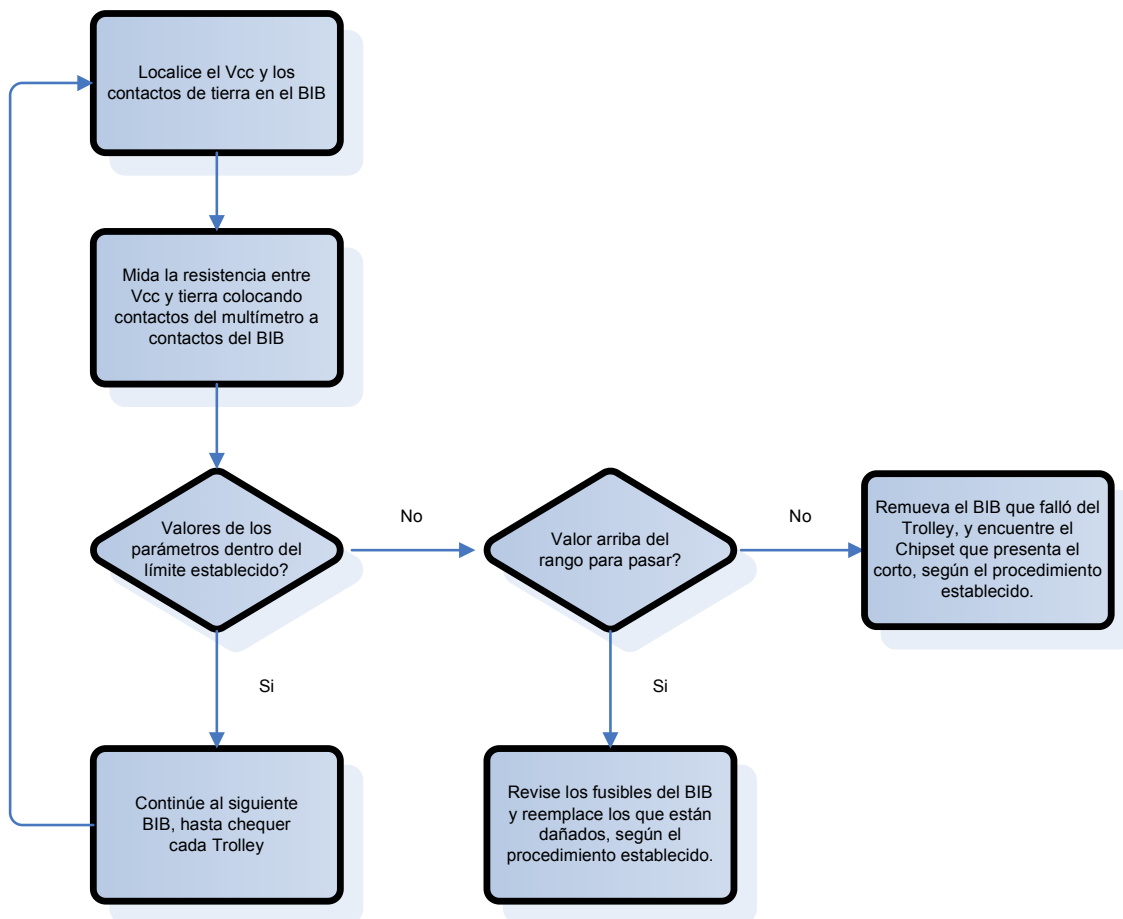


Figura 4.11. Diagrama de flujo de la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra

Las tensiones reales de alimentación en las distintas tarjetas BIB cuando están en funcionamiento se muestran en la tabla 4.2. Los valores máximos de tensión y corriente que soportan las tarjetas BIB se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.2. Valores reales de operación para las tensiones en los terminales de alimentación de las tarjetas BIB.

Terminal	Calistoga	Lakeport G y P	Springdale
<i>V₊₊</i>	5,3	10	7
<i>V_{cc1}</i>	1,775	1,91	2,1
<i>V_{cc2}</i>	1,775	1,91	3,5
<i>V_{cc3}</i>	2,6	2,81	-

Tabla 4.3. Valores máximos de tensión (V) y corriente (I) soportados por las tarjetas BIB

Terminal	Lakeport		Calistoga		Springdale	
	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)
<i>V_{cc1}</i>	48	10	48	10	48	10
<i>V_{cc2}</i>	32	10	32	10	32	10
<i>V_{cc3}</i>	16	10	16	10	16	10

4.2 Antecedentes bibliográficos

El ohmímetro es el instrumento de medición que mide la resistencia eléctrica. Existen ohmímetros analógicos y digitales.

Un ohmímetro analógico está compuesto por una batería que entrega una tensión a la resistencia a medir y por un “galvanómetro calibrado para apuntar hacia un rango de resistencias, basado en el movimiento de D’Arsonval... que se encarga de medir la intensidad que circula de tal manera que por una relación de proporcionalidad sencilla calcula el valor de la resistencia desconocida”¹.

Según el diseño del circuito que se utilice, los ohmímetros analógicos pueden ser tipo serie o derivación. El ohmímetro serie determina el valor de la resistencia por la aplicación de una tensión continuo (proveniente de una batería interna V_b) sobre tres resistencias en serie, una de valor conocido que actúa como limitadora de corriente (R_1), otra variable para el ajuste del cero (R_2) y la otra que es la resistencia a determinar (R_x). En serie con estas tres resistencias y la batería se encuentra el Galvanómetro, como se muestra en la Figura 4.12.

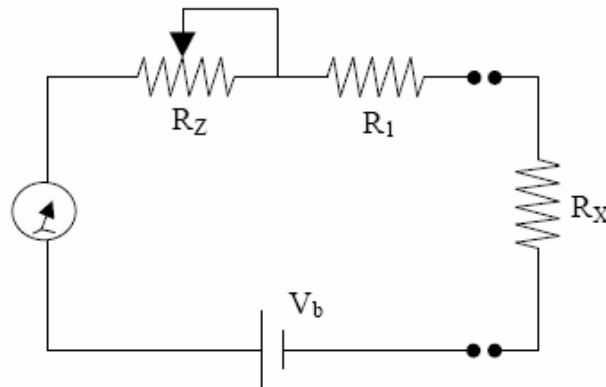


Figura 4.12. Ohmímetro tipo serie²

¹ García Fernández, Pedro. Electrometría. Colección apuntes.

² Fuente: García Fernández, Pedro. Electrometría. Colección apuntes.

El ohmímetro tipo serie presenta la desventaja de la disminución de la tensión de la batería interna con el tiempo y el uso, de forma que la corriente disminuye, la escala varía y el medidor no brinda un valor de cero cuando los terminales están en cortocircuito. La resistencia variable R_z provee un ajuste para contrarrestar el efecto de la descarga de la batería.

El ohmímetro tipo derivación consta de los mismos elementos que el serie: una batería (V_b), una resistencia de ajuste del cero (R_z) y un galvanómetro (ver Figura 4.13). La diferencia radica en que el galvanómetro se encuentra colocado en paralelo con la resistencia a medir, de tal forma que la corriente que genera la batería se divide por el galvanómetro y la resistencia desconocida. El giro del galvanómetro será proporcional al valor de la resistencia colocada en paralelo.

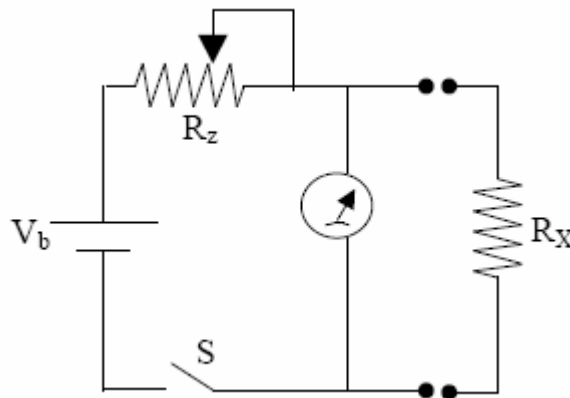


Figura 4.13. Ohmímetro tipo derivación³

En los ohmímetros tipo derivación es necesario un interruptor “S”, debido a que aún cuando no se está midiendo resistencias ($R_x = \infty$), el circuito está cerrado y circula una corriente a través del galvanómetro. Por lo que existirán pérdidas y un desgaste indeseado de la batería.

³ Fuente: García Fernández, Pedro. Electrometría. Colección apuntes.

El ohmímetro digital está compuesto por una fuente de corriente constante (I_r) que se conecta directamente con la resistencia a medir (R_x), y luego mediante otro circuito (V_m) se mide la tensión en los extremos de dicha resistencia (ver figura 4.14). Se debe tener en cuenta la resistencia de entrada (R_{in}), la cual puede introducir un error significativo cuando se hacen mediciones de resistencias de muy alto valor.

En este tipo de configuración la veracidad de la medición de resistencias recae principalmente en la exactitud de la fuente de corriente constante, y su capacidad de mantener su valor a pesar de los cambios de resistencia.

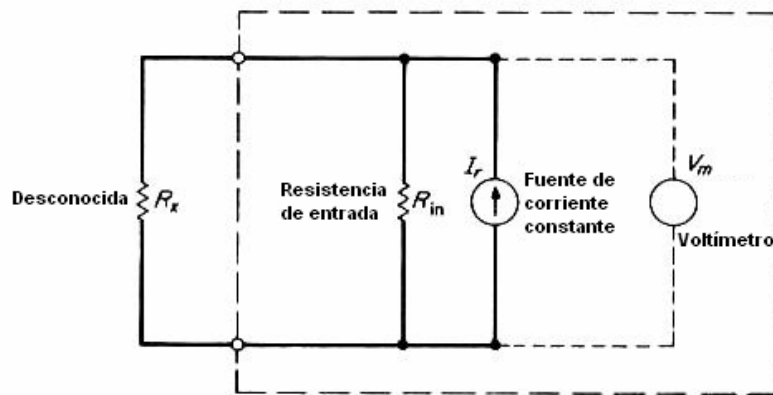


Figura 4.14. Ohmímetro tipo derivación⁴.

⁴ Fuente: Christiansen, Donald. Electronics Engineers' Handbook.

4.3 Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.

4.3.1 Resistencia Eléctrica

Se denomina resistencia eléctrica a la “propiedad de un objeto o sustancia que hace que se resista u oponga al paso de una corriente eléctrica... La unidad de resistencia es el ohmio, que es la resistencia de un conductor si es recorrido por una corriente de un amperio cuando se le aplica una tensión de 1 voltio. La abreviatura habitual para la resistencia eléctrica es R, y el símbolo del ohmio es la letra griega omega, Ω ”⁵.

Según el grado y forma de oposición a la corriente eléctrica, la materia se puede dividir en cuatro estados: Conductores, Semi-conductores, Resistores y Dieléctricos.

Esta definición de resistencia eléctrica sirve para corriente continua y para corriente alterna sólo cuando se trate de elementos resistivos puros, es decir, sin componente inductiva ni capacitiva; porque de tenerlos la oposición presentada a la circulación de corriente recibe el nombre de impedancia.

4.3.2 Ley de Ohm

La ley de Ohm se refiere a la expresión que define la resistencia eléctrica en función de la caída de potencial y la corriente que circula a través de una sustancia.

Esta ley establece que “la cantidad de corriente que fluye por un circuito formado por resistencias puras es directamente proporcional a la fuerza electromotriz aplicada al circuito, e inversamente proporcional a la resistencia total del circuito. Esta ley suele expresarse mediante la fórmula $I = V/R$, siendo I la intensidad de corriente en amperios, V la fuerza electromotriz en voltios y R la resistencia en ohmios”⁶.

⁵ Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation.

⁶ Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation.

4.3.3 Leyes de Kirchhoff

Cuando se realiza el análisis de circuitos con uno o varios lazos, el procedimiento se simplifica mucho mediante la utilización de las leyes de Kirchhoff.

La primera ley es la llamada ley de corrientes de Kirchhoff y establece que “la suma de las corrientes que entra en cualquier unión debe ser igual a la suma de las corrientes que sale de esa unión”.⁷

La segunda ley, llamada ley de tensiones de Kirchhoff, enuncia que “la suma algebraica de las caídas de potencial a través de todos los elementos alrededor de cualquier lazo de circuito cerrado debe ser cero”.⁸

⁷ Serway, Raymond. Física. Tomo II. Editorial Mcgraw-Hill. Cuarta Edición. México, 1999.

⁸ Serway, Raymond. Física. Tomo II. Editorial Mcgraw-Hill. Cuarta Edición. México, 1999.

Capítulo 5: Procedimiento metodológico

5.1 Reconocimiento y definición del problema

Para reconocer el problema existente en la empresa, primeramente se realizaron entrevistas con los ingenieros encargados del módulo de envejecimiento acelerado, dentro del cual se ubica la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra. Con ellos se comentó acerca de los puntos críticos que limitan el proceso, en aspectos como: tiempo, eficiencia, exactitud, y confiabilidad.

Además se realizaron visitas al piso de producción para observar directamente el proceso en el cual se iba a tener incidencia, y se analizaron factores de la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra como: el tiempo de duración, facilidad con que el operario la realiza, y la exactitud en la ejecución del operario.

A esto se le agregaron entrevistas informales con los operarios de turno para conocer sus opiniones acerca del proceso y los factores que resultan críticos en él.

Luego se tomó toda la información recopilada y se contrastó entre sí para especificar y delimitar cual era el problema que estaba afectando a la empresa.

5.2 Obtención y análisis de información

Para obtener la información necesaria para el desarrollo del proyecto se tuvo como fuente primaria a los ingenieros encargados del proceso, los cuales poseen una gran experiencia y conocimiento técnico del proceso y de las posibles fuentes en donde se podía ampliar información.

Además se utilizó el correo electrónico interno de la empresa para comunicarse con ingenieros de otras áreas que podían proveer algún tipo de información que se necesitaba.

Se utilizaron los manuales de especificaciones técnicas que posee la empresa, en los cuales se explican los procedimientos, normas de seguridad y demás datos importantes para un proceso o operación una máquina.

Se utilizó ampliamente Internet, tanto para investigar y recopilar información necesaria para el planteamiento y diseño del proyecto, así como para buscar materiales, componentes, equipo y proveedores para su implementación.

Se hicieron revisiones bibliográficas en los recursos de la biblioteca del ITCR y la biblioteca de la empresa.

El análisis y la recopilación de la información se hicieron tomando en cuenta aspectos de eficiencia, confiabilidad, exactitud, y costo económico.

5.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución

Para plantear las alternativas de la solución se hicieron revisiones bibliográficas, investigaciones de información en Internet, y consultas a los ingenieros de la empresa.

Luego se eligió entre las alternativas de solución para plantear así la solución propuesta, esta elección se hizo según análisis de costos, estabilidad y confiabilidad del diseño, facilidad de implementación, y futuro desempeño.

5.4 Implementación de la solución

La implementación de la solución se realizó en una primera etapa mediante simulaciones del circuito y pruebas en el laboratorio, luego se pasó a una etapa de pruebas preliminares con elementos resistivos específicos, para pasar a una última etapa de pruebas en el piso de producción con las tarjetas BIB.

La evaluación analítica de los resultados de las pruebas se realizó mediante el análisis estadístico de las mediciones y se cotejó con los parámetros establecidos por la corporación.

Por aspectos de confidencialidad, la difusión de los resultados del proyecto se realizará sólo internamente dentro de la empresa.

Capítulo 6: Descripción detallada de la solución

Para la solución del problema se desarrolló un ohmímetro inteligente que realiza mediciones de resistencia y determina si están dentro del rango adecuado, y con ello si la tarjeta BIB presenta algún fallo (ya sea un corto en un chipset o un fusible quemado en la tarjeta).

Como se aprecia en el diagrama de bloques de la figura 6.1, este sistema está compuesto por una interfaz mecánica encargada de realizar el contacto eléctrico con los terminales de la tarjeta BIB y presentar el resultado de la medición.

También por una etapa encargada de realizar la medición de resistencias, y otra etapa encargada de realizar la comparación de esos valores de resistencias con los rangos permitidos y determinar si pasa la prueba o no. En esta etapa también se selecciona el producto que se va a probar.

Por último, existe una etapa consistente en un software de programación, en el cual desde una computadora se le pueden configurar nuevos productos y rangos al dispositivo desarrollado.

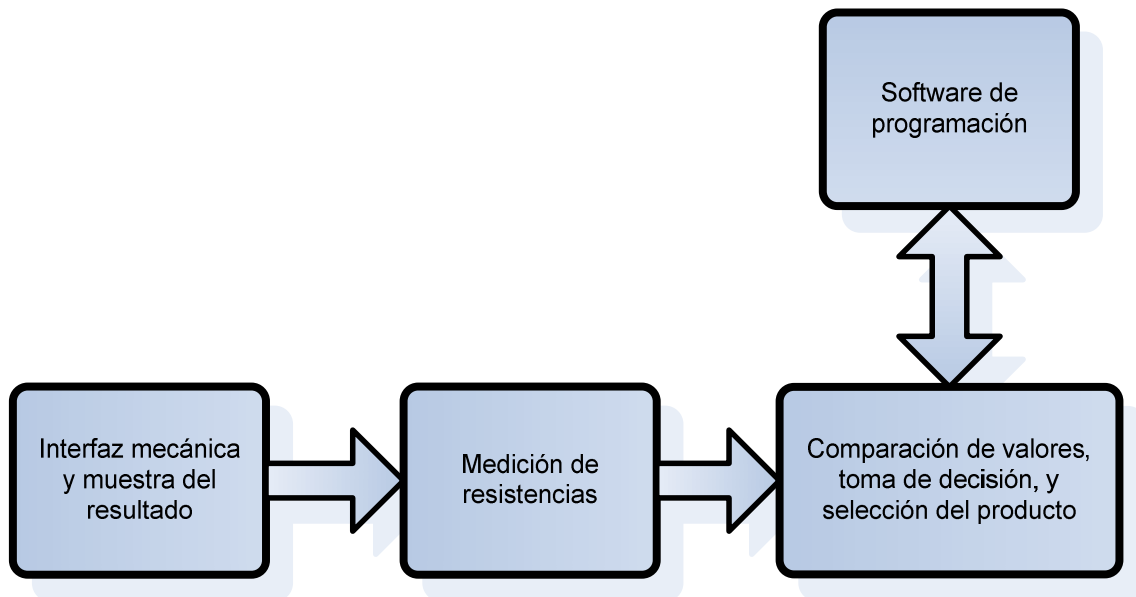


Figura 6.1. Diagrama de bloques de la solución implementada.

6.1 Descripción del hardware.

6.1.1 Interfaz mecánica y muestra del resultado.

Para realizar el contacto eléctrico entre los terminales de alimentación de la tarjeta BIB y la etapa de medición de resistencias, se diseñó e implementó una interfaz mecánica, la cual es un dispositivo manual que es manejado por el operario y que se conecta con los terminales de la tarjeta y tiene una salida para llevar las señales hacia la siguiente etapa.

Esta interfaz también posee un botón para activar el inicio la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra, y dos luces (una roja y una verde) que muestran el resultado de la prueba (verde si pasa, rojo si falla).

Para realizar en sí el contacto eléctrico con los terminales de alimentación de la tarjeta BIB se contrastaron varias opciones, bajo el criterio de que la solución seleccionada debía: ser de un material conductor de baja resistividad, para que las mediciones de resistencia no se vieran afectadas. También debía ser retráctil, ya que al realizar varios contactos al mismo tiempo, se debe prever de que estos no necesariamente van a estar a la misma altura, por lo que al ser retractiles y someterse a una presión, todos se adaptan a las distintas alturas y no se tienen contactos en el aire. La solución debían ser fuerte y robusta, ya que se iba a ver sometida a condiciones de uso continuo. Además debía existir la posibilidad de darle mantenimiento o tener repuestos de estos contactos.

Ante este grupo de requerimientos, se analizaron tres opciones: utilizar resortes conductores, utilizar bloques con pines retráctiles, y utilizar prensas metálicas; y se eligió esta última opción, más específicamente se decidió utilizar las prensas metálicas que utiliza la máquina de envejecimiento acelerado para alimentar las tarjetas BIB. En la figura 6.2 se observa un diseño de estas

prensas. Se eligió esta opción debido a que están creadas específicamente para hacer el contacto eléctrico en cuestión y presentan características aceptables de conductividad, robustez, flexibilidad (para la función retráctil) y principalmente se tiene la facilidad de que existe un banco de repuestos de estas piezas.

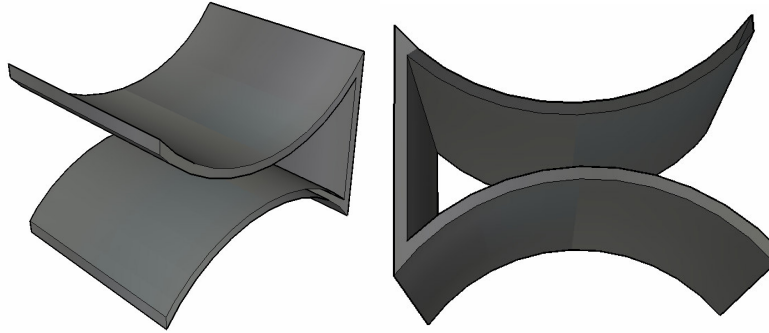


Figura 6.2. Diseño de las prensas metálicas utilizadas para realizar el contacto eléctrico.

Para mostrar el resultado de la prueba, es decir indicar si la tarjeta que esta bajo medición pasa o falla, se utilizaron LEDs de alta luminosidad, con lo cual se hace más notorio dicho resultado.

Debido a que la interfaz mecánica es un dispositivo manual, este tiene restricciones de tamaño, por lo que las demás etapas del proyecto se encuentran en otra unidad física. Se requería entonces algún medio de conexión física entre ambas unidades, para poder realizar así el envío de las señales necesarias, las cuales eran en este caso 8 señales. Por esto se eligió utilizar cable de red UTP categoría 5 con terminales RJ45, ya que cumplía con el número de hilos necesarios y además es de uso muy común, por lo que es fácil de adquirir y de reemplazar en caso de extravío o daño. Así también se colocó un receptor RJ45 en la interfaz mecánica.

El circuito interno de la interfaz se observa en la figura 6.3; en él se ve que eléctricamente no se manipula ninguna señal, simplemente sirve de conexión entre los terminales (de alimentación y tierra) de la tarjeta BIB y la siguiente etapa. Además se llevan las señales que activan los LEDs y la señal que indica que se cerró el botón que activa el inicio de la prueba de Resistencia entre Vcc y Tierra.

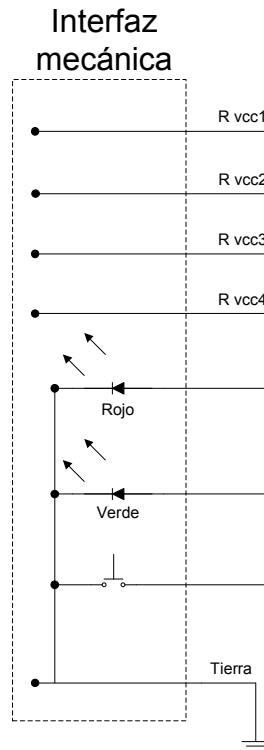


Figura 6.3. Circuito interno de la interfaz mecánica.

La interfaz se debía hacer de un material resistente a golpes y que no fuera conductor de electricidad. Se eligió utilizar acrílico para este fin, ya que cumplía con estas características, y además era de fácil manipulación para cuando se construyera la pieza. Se debió utilizar acrílico antiestático ya que los estándares de la corporación establecen que si se va a trabajar a menos de 12 pulgadas del producto, se deben utilizar materiales que no guarden electricidad estática, y el acrílico normal (el que se consigue comúnmente en el mercado nacional) se carga fácilmente con estática.

Para el diseño de la interfaz mecánica se partió del criterio de que al ser un dispositivo manual, debía entonces ser ergonómico y cómodo de utilizar. Además debía cumplir con las especificaciones de las posiciones de los terminales de alimentación de las tarjetas BIB (que coincidiera con ellos), y las especificaciones de tamaño de los componentes a utilizar (prensas metálicas, LEDs, botón, y terminal RJ45). Entonces se tomaron todos estos criterios y se hizo un diseño en tres dimensiones de la pieza a realizar, tanto la pieza sin los componentes (ver figura 6.4), como de la proyección de la pieza terminada (ver figuras 6.5 y 6.6).

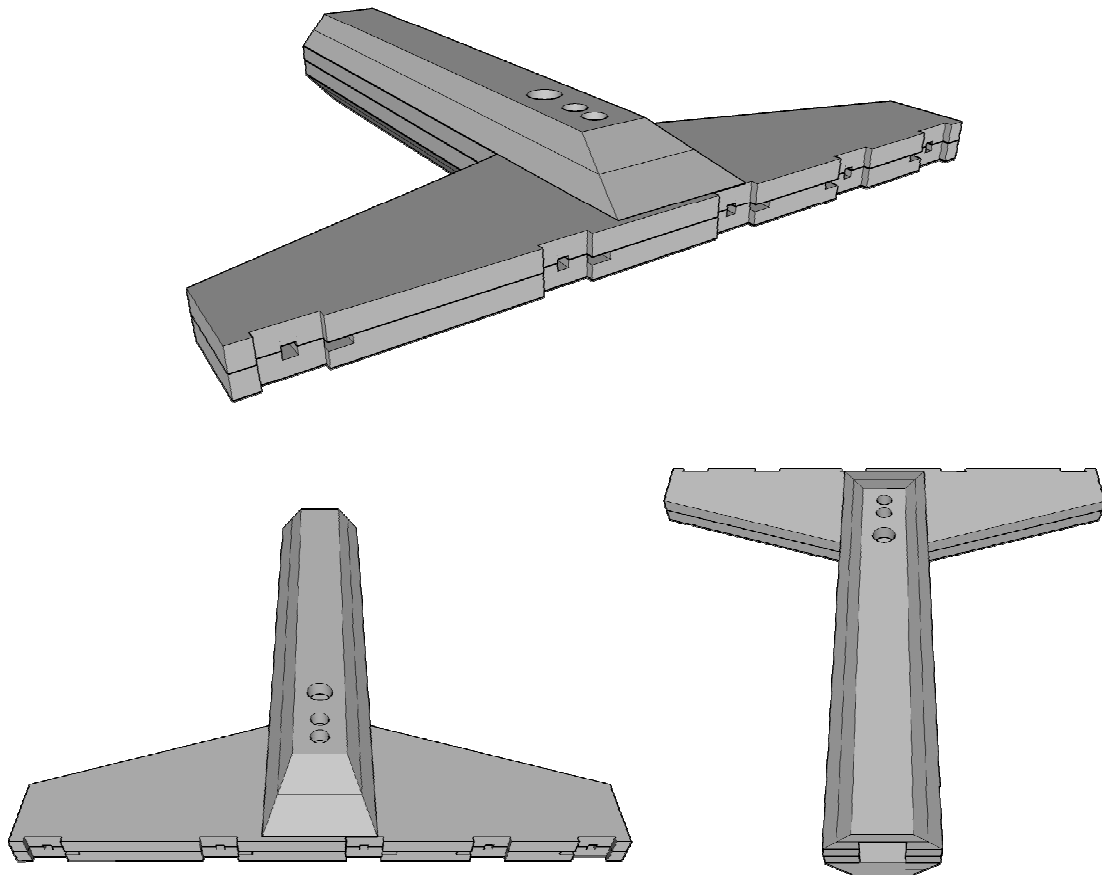


Figura 6.4. Vistas del diseño de la interfaz mecánica sin componentes.

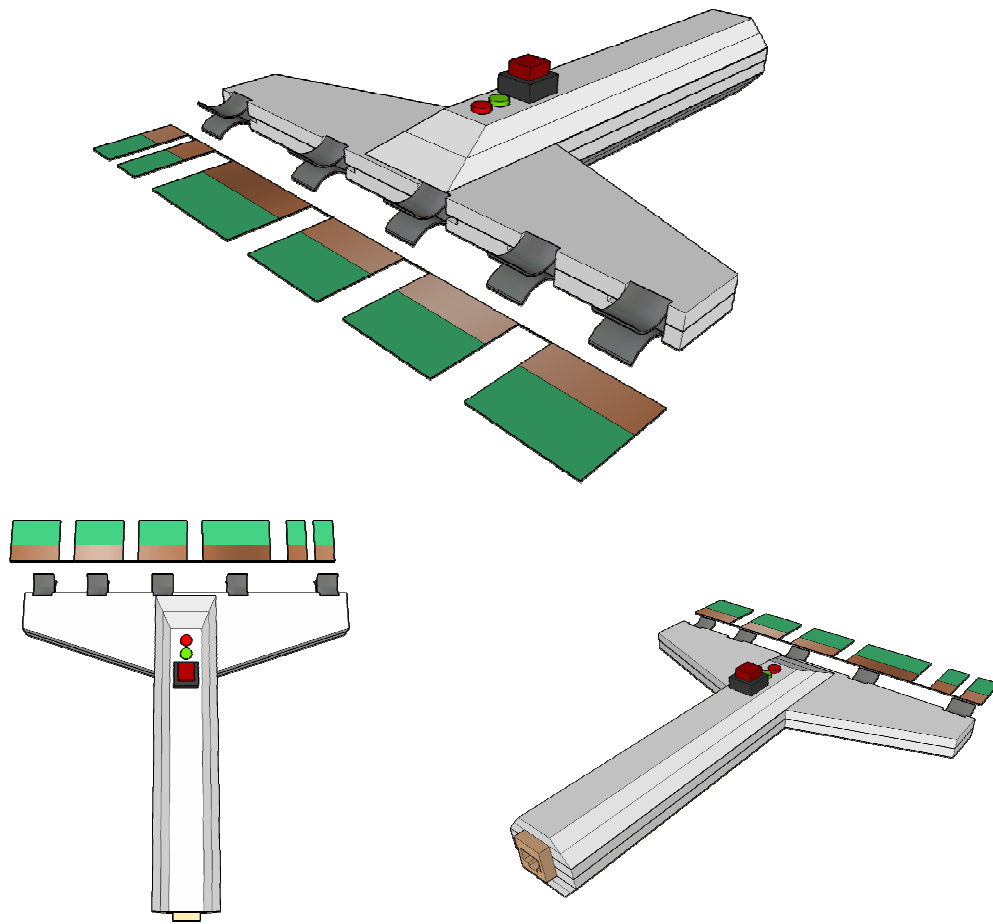


Figura 6.5. Vistas de la proyección de la interfaz mecánica terminada.

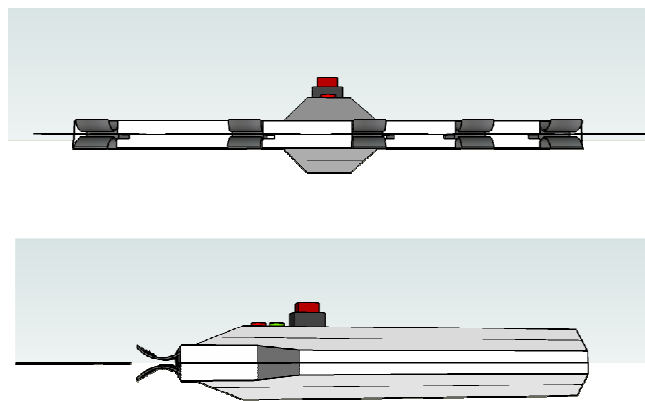


Figura 6.6. Vistas laterales de la proyección de la interfaz mecánica terminada.

Una vez realizado este diseño, se utilizó el mismo para crear los planos de construcción del modelo (ver figura 6.6), los cuales fueron llevados al taller de mecánica de precisión de la empresa, y con ellos se hizo la construcción de la pieza.

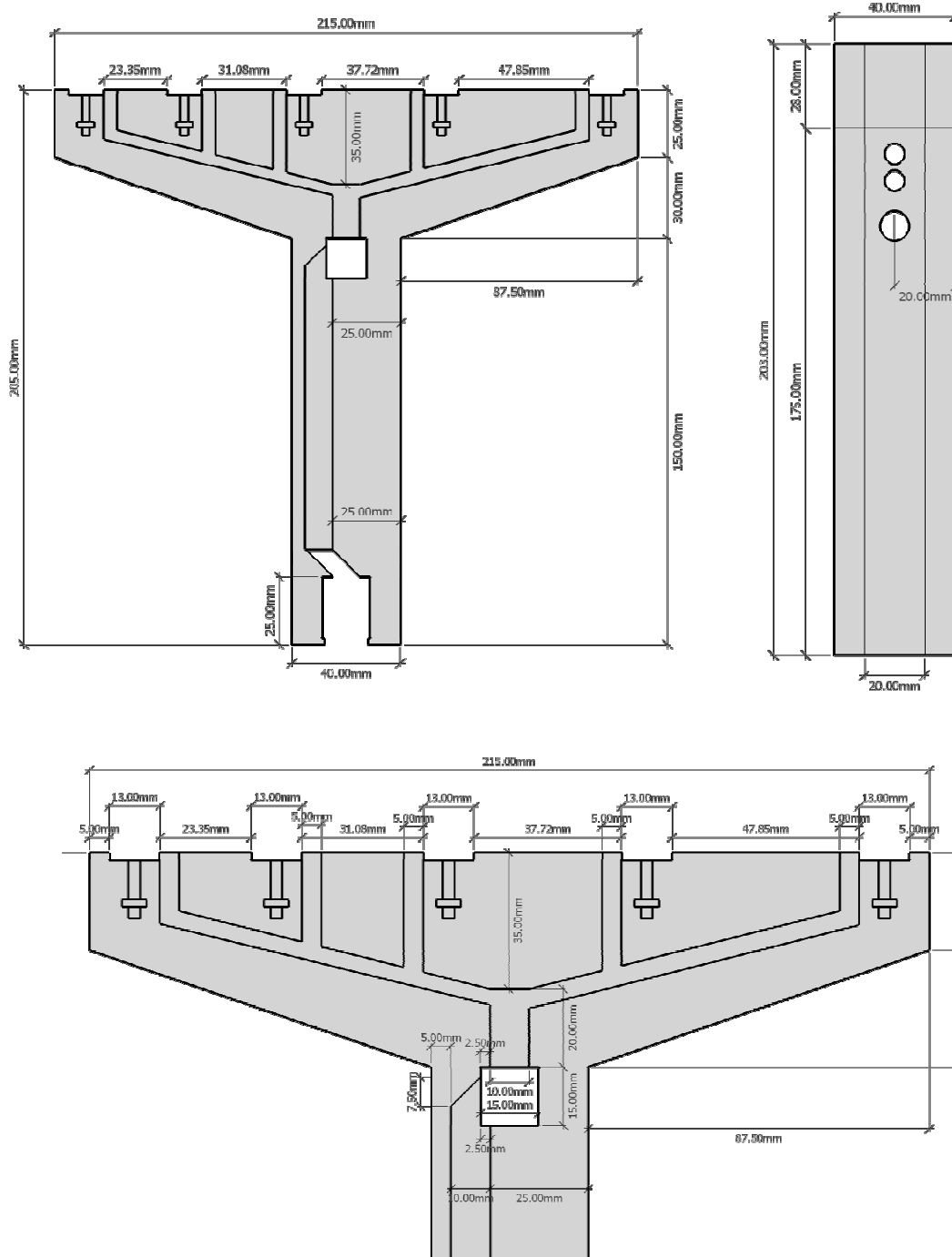


Figura 6.7. Ejemplo de algunos de los planos de construcción del modelo.

En las figuras 6.7 y 6.8 se puede ver la pieza una vez construida y su utilización en las tarjetas BIB.

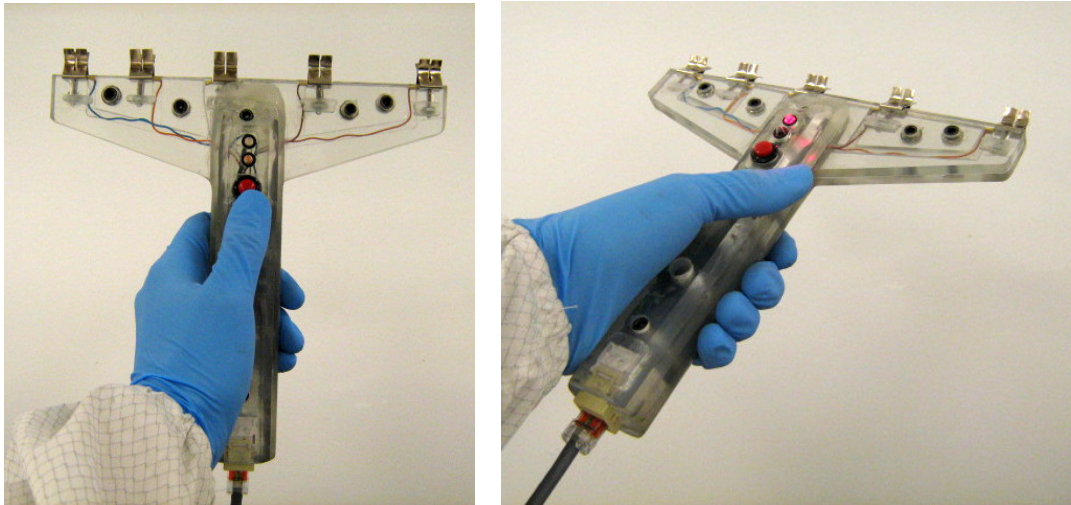


Figura 6.8. Interfaz mecánica terminada.



Figura 6.9. Interfaz mecánica haciendo contacto con los terminales de una tarjeta BIB.

6.1.2 Medición de resistencias.

El diseño de la etapa de medición de resistencias se hizo en base a la bibliografía revisada y a los principios mencionados en el marco teórico. Más específicamente se basó en el principio de funcionamiento de los ohmímetros digitales, en los cuales se aplica una corriente constante a la resistencia y mediante otro circuito se mide el voltaje (ver figura 6.9).

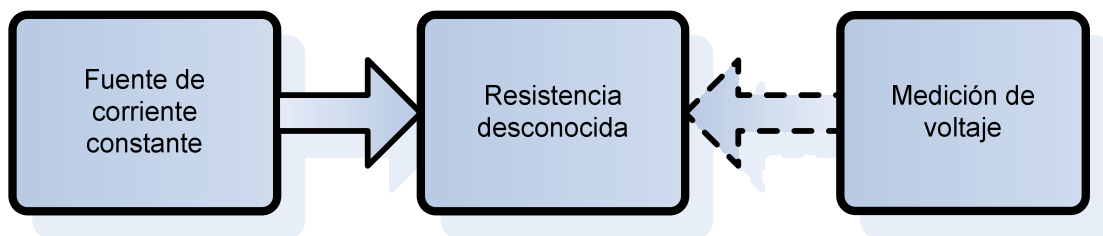


Figura 6.10. Principio de funcionamiento del diseño implementado para la medición de resistencias.

Para lograr aplicar una corriente que fuera constante a pesar de los cambios de resistencia (dentro de cierto rango de resistencias), se utilizó el circuito integrado XTR105, el cual es un transmisor de corriente, es decir envía un valor analógico de corriente proporcional a alguna variable física. Debido a que ese valor de corriente contiene información sobre algo, es que este circuito integrado funciona como una fuente muy constante y precisa de corriente.

El valor de la corriente de salida del integrado está determinado únicamente por la configuración de las resistencias de entrada, y éste puede suministrar de 4 a 20 mA. Con la configuración escogida para el proyecto (ver figura 6.10) se suministra una corriente constante de 9,8 mA, y se permiten resistencias de hasta 400 Ω (el valor máximo que se desea medir es de 210 Ω).

Fuente de corriente constante

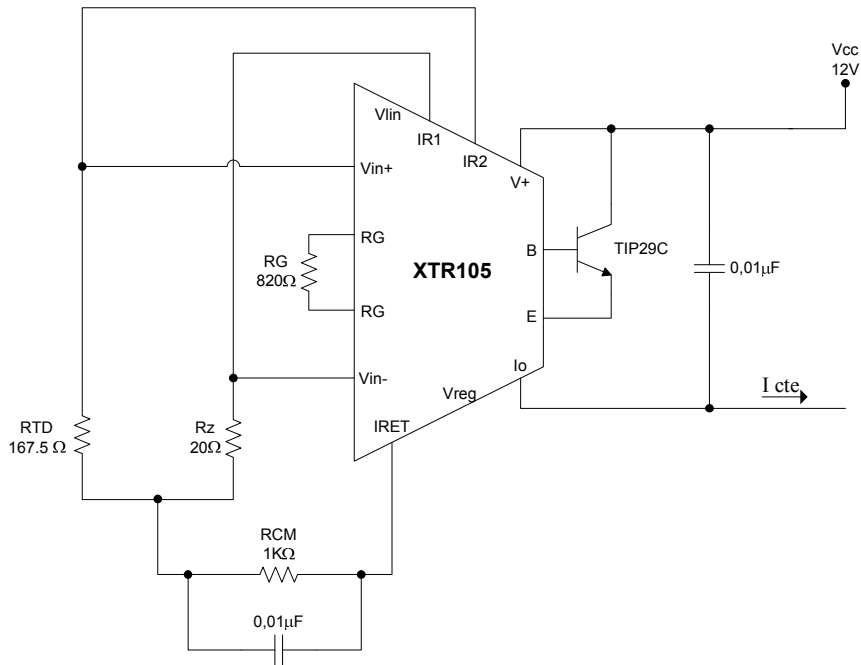


Figura 6.11. Configuración del XTR105 utilizada en el proyecto.

En la tarjeta BIB se deben realizar de 2 a 4 mediciones de resistencia, y como se verá en la siguiente sección, el dispositivo encargado de realizar la medición de voltaje sólo puede hacer una medición de voltaje a la vez. Por esto se eligió como solución medir secuencialmente las resistencias; esto se logra mediante un grupo de relays que se encargan de conectar y desconectar cada resistencia al circuito.

En la figura 6.11 se observa el diagrama de bloques que explica este funcionamiento, y en la figura 6.12 se aprecia el circuito correspondiente al bloque de muestreo. Nótese que las salidas que poseen la etiqueta “out #” corresponden a conexiones con el dispositivo de control para este proceso, el cual se explicará en la siguiente sección.

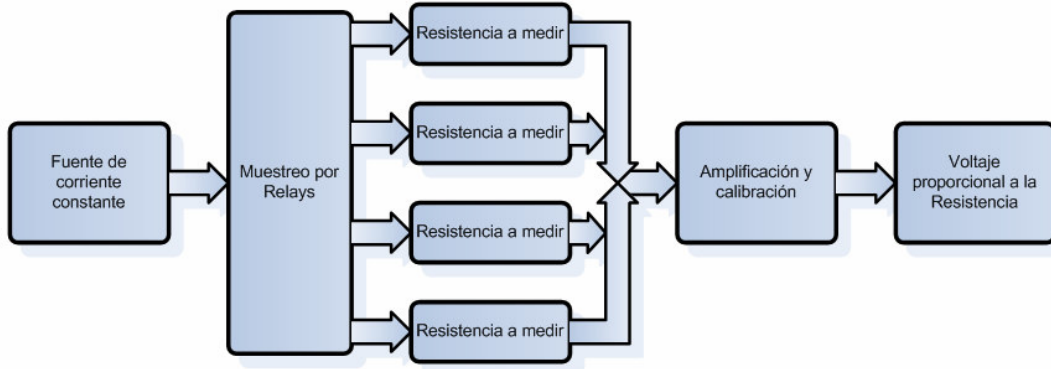


Figura 6.12. Diagrama de bloques del circuito de medición de resistencias.

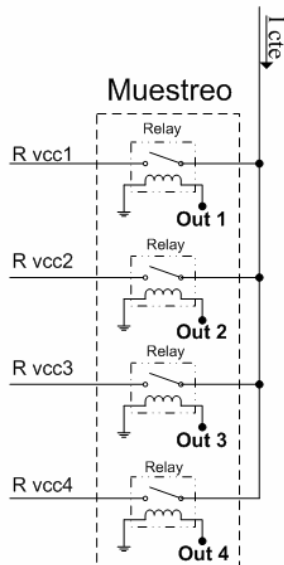


Figura 6.13. Circuito de muestreo por relays.

Como se aprecia en la figura 6.11, existe un bloque de amplificación y calibración del voltaje obtenido en las resistencias. Esta amplificación se realiza para acondicionar la señal de manera que abarque todo el rango que tiene el dispositivo medidor de voltaje. Se utilizó un amplificador operacional OPA2705, debido a que posee la posibilidad de funcionar con alimentación unipolar sin deformar la salida o añadirle un nivel, y además posee un bajo consumo de corriente.

Además se utilizó un potenciómetro de precisión en el amplificador, con el cual se puede ajustar el factor de amplificación y así funcionar para labores de calibración.

En la figura 6.13 se observa el circuito usado para el bloque de amplificación y calibración. Nótese que la salida “An 1” corresponde a una conexión con el dispositivo medidor de voltaje.

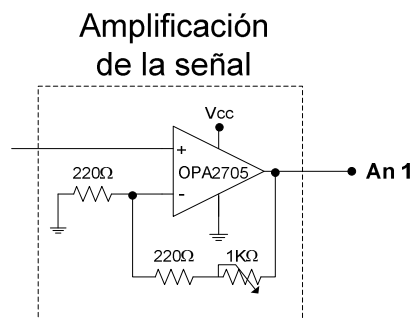


Figura 6.14. Circuito de amplificación y calibración.

6.1.3 Comparación de valores, toma de decisión y selección del producto (hardware).

Para la etapa de comparación de valores, toma de decisión y muestra del resultado se decidió por utilizar un dispositivo lógico programable, más específicamente se eligió utilizar un controlador lógico programable (PLC) debido a que estos son dispositivos creados para aplicaciones industriales, por lo que brindan la robustez que espera la empresa en una aplicación. Además poseen certificaciones de estabilidad, inmunidad al ruido, a vibraciones, a interferencias electromagnéticas y a golpes leves.

Para seleccionar un PLC entre las distintas opciones que ofrece el mercado, se definieron una serie de criterios como que: debía poseer una interfaz humano máquina (pantalla LCD y botones) para poder realizar así la selección del producto a medir. Debía tener comunicación por puerto serie y el LCD debía poderse programar mientras el PLC esta funcionando, para así no depender así del software de programación que brinda el fabricante del PLC, si no, poderse programar los nuevos valores de resistencia y productos a través de la computadora con el software desarrollado en el proyecto.

El PLC debía además poseer entradas analógicas, para así hacer la medición del voltaje en la resistencia, con el cual se va a calcular el valor de la misma.

Otro requerimiento importante es que en un futuro cercano el dispositivo se va a adaptar para que sea portátil, por lo que se requiere que el PLC pueda funcionar con bajos voltajes y tengo un bajo consumo de corriente, para que así esté en la capacidad de ser alimentado por baterías. Debido a este mismo requerimiento es que el tamaño del PLC también es un factor importante, ya que se busca que sea lo más compacto posible.

Ante estos criterios, se analizaron los productos presentes en el mercado y se contrastaron sus diferentes características (ver apéndice A.2). Se escogió un microPLC de marca Unitronics, modelo M91-2-T2C (ver figura 6.14), debido a que posee incorporado una interfaz humano máquina con 15 botones y un LCD de 2 líneas. Además posee la característica de que en el LCD se pueden desplegar posiciones de memoria como caracteres ASCII, lo cual permite que al modificar estas zonas de memoria, se modifique lo que se muestre en pantalla; todo esto mientras el microPLC está en funcionamiento. Este modelo posee comunicación serial y 2 entradas analógicas que se pueden configurar como entradas de voltaje o de corriente.

Este modelo de microPLC puede funcionar con 12V y tiene un consumo de 320mA, lo cual son ambos valores que pueden ser manejados por baterías. Es además la opción más compacta que se encontró en el mercado, mide 9,6cm por 8,9 cm de frente y 5,7 cm de grosor.



Figura 6.15. MicroPLC Unitronics modelo M91-2-T2C.

Como se explicará en la sección de software, este dispositivo se configuró para poder realizar en él la escogencia del producto al cual se le va a realizar la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra, también realiza la comparación del

valor medido con los parámetros almacenados y decide si este valor se encuentra dentro del rango permitido de resistencia.

Este dispositivo es el encargado de realizar el control de las diferentes etapas para la ejecución de la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra. Las salidas digitales de 12V del microPLC se conectaron a los relays para controlar el proceso del muestreo de resistencias. La salida del bloque de amplificación (explicado en la sección anterior) se conecto a la entrada analógica del dispositivo, que se configuró para funcionar como entrada de voltaje.

Además las luces que se encuentran en la interfaz mecánica también están conectadas a las salidas digitales del microPLC. El botón de dicha interfaz está conectado con una de las entradas del dispositivo.

Para coincidir con la nomenclatura presente en los diagramas de circuitos presentados en la sección anterior, se tiene el siguiente esquema simplificado de las salidas y entradas del microPLC.

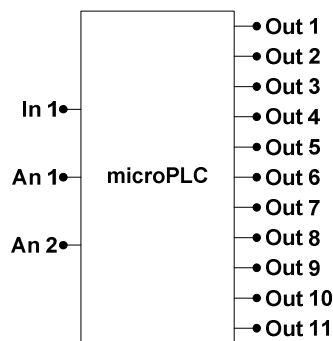


Figura 6.16. Esquema simplificado de las entradas y salidas del microPLC.

6.2 Descripción del software.

6.2.1 Comparación de valores, toma de decisión y selección del producto (software).

En la sección 6.1.3 se presentó el dispositivo que se escogió para realizar la comparación del valor medido de resistencia con los parámetros almacenados, y con ello decidir si está dentro del rango adecuado o no. Además en este dispositivo se hace la selección del producto que se va a medir en la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra.

En este dispositivo se programó un menú para ser desplegado por la interfaz gráfica, en el cual mediante los botones se pueden seleccionar las distintas funciones del proyecto, como lo son el la prueba de resistencia (llamada Vcc Test), programación de nuevos rangos y productos, y calibración (ver figura 6.15). En la figura 6.16 se aprecia un ejemplo de una de las pantallas del menú principal.

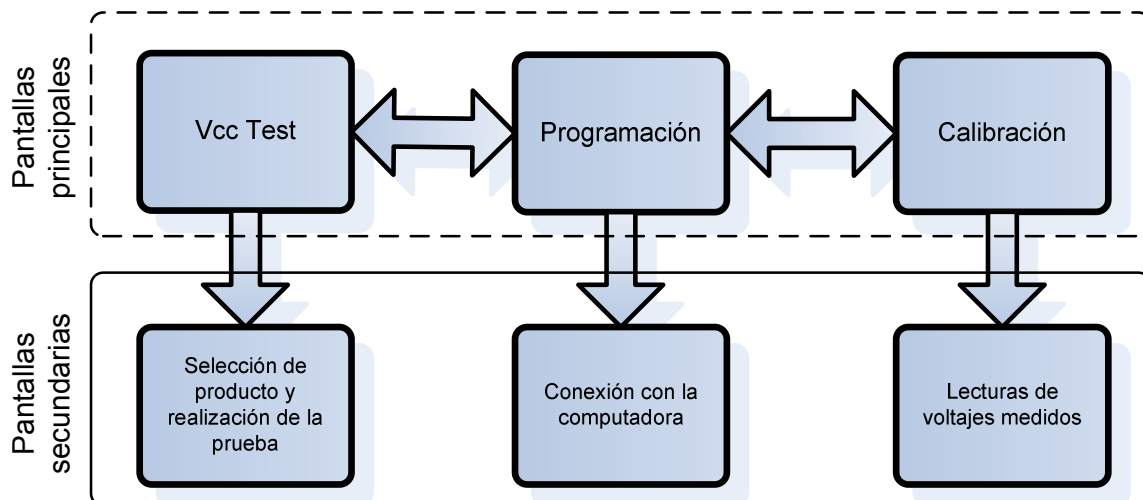


Figura 6.17. Diagrama de bloques del menú implementado en la interfaz gráfica.

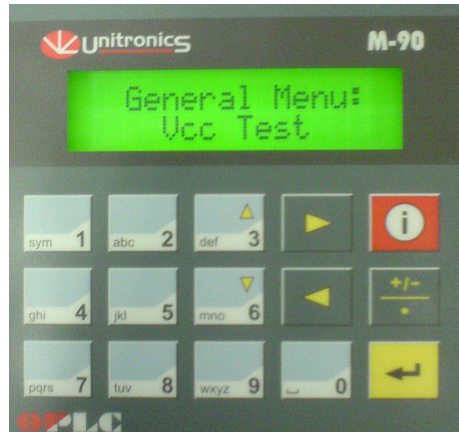


Figura 6.18. Ejemplo de pantalla del menú principal.

En el microPLC el nombre de los productos y sus parámetros de resistencia se encuentran almacenados en una sección de la memoria. Para tener un registro de donde está ubicado cada producto, existe en otra zona de la memoria un grupo de apuntadores, los cuales poseen el dato de donde inicia cada producto, de que largo es su nombre y cuantos parámetros tiene (ver figura 6.17)

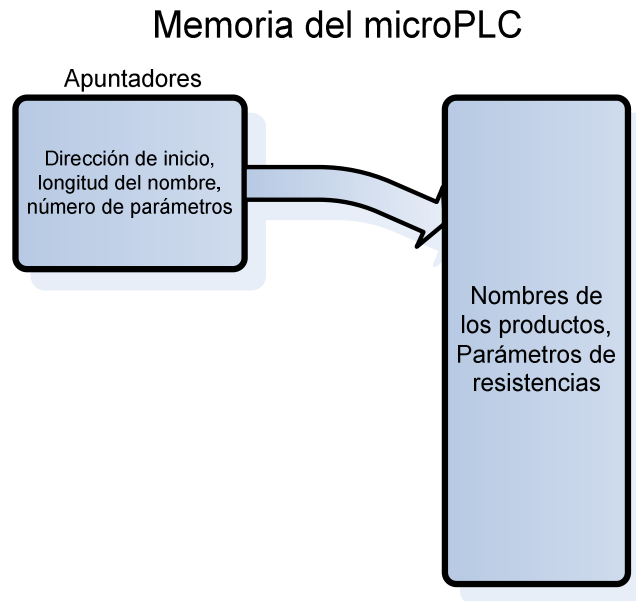


Figura 6.19. Organización del almacenaje de los parámetros de los productos en la memoria del microPLC.

Cuando se ingresa en la pantalla de selección del producto y realización de la prueba, el microPLC carga los valores de los apuntadores del último producto que fue seleccionado, luego limpia la pantalla y utilizando los apuntadores, carga el nombre del producto de la zona en memoria donde se encuentra y lo muestra en el LCD. Cabe resaltar que esta funcionalidad se da porque el microPLC permite mostrar como caracteres ASCII, valores almacenados en memoria. En la figura 6.18 se aprecia un ejemplo de la pantalla una vez que se ha cargado del nombre del producto.



Figura 6.20. Ejemplo de la pantalla de selección del producto y realización de la prueba

Una vez que se cargo el nombre del producto, se procede a cargar los valores de los límites de resistencia para ese producto. Luego se mantiene esperando a que se presione uno de los botones para cambiar de producto, en cuyo caso se revisa que no sea ni el primer o último producto en la lista (para evitar dirigirse a zonas de memoria que no contienen datos válidos para la aplicación), y luego se mueve hacia el siguiente o previo apuntador y por consiguiente al siguiente o previo producto. Este proceso se explica con el diagrama de flujo de la figura 6.19.

Cuando se está en la misma pantalla de selección del producto y realización de la prueba; y se activa el botón de la interfaz mecánica, se procede a iniciar el proceso de la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra. Esta prueba inicia con el muestreo de resistencias, en el cual se activa cada relay y se mide el voltaje obtenido. Cabe resaltar que se mide sólo el número de resistencias que está especificado en el apuntador. La figura 6.20 ilustra este proceso.

Luego de que se toman esos valores de resistencias, se procede a hacer el proceso de comparación. En este se compara el valor que se acaba de medir con los valores de los límites de resistencia que se cargaron al cargar el producto (ver figura 6.21).

Cabe aclarar que en realidad el dispositivo no compara resistencias, sino el valor de voltajes que se obtendrían con esas resistencias, pero por aspectos de facilitar la descripción de la solución se habla de comparación de resistencias.

En la pantalla de calibración se tiene la opción de que se puede agregar y aumentar o disminuir y eliminar un sesgo a los valores de datos medidos, esto para complementar así las funcionalidades de calibración, y con ello eliminar posibles desviaciones que existan en las mediciones.

Cuando se está en la pantalla de conexión con la computadora (para la programación), el microPLC recibe la información en grupos de 100 bytes, así entonces los primeros 4 grupos de datos corresponden a los apuntadores, los cuales son copiados a una zona de la memoria; luego los siguientes grupos recibidos corresponden a la información sobre el nombre de los productos y los límites de resistencia, la cual es copiada en otra zona de memoria como se explico anteriormente.

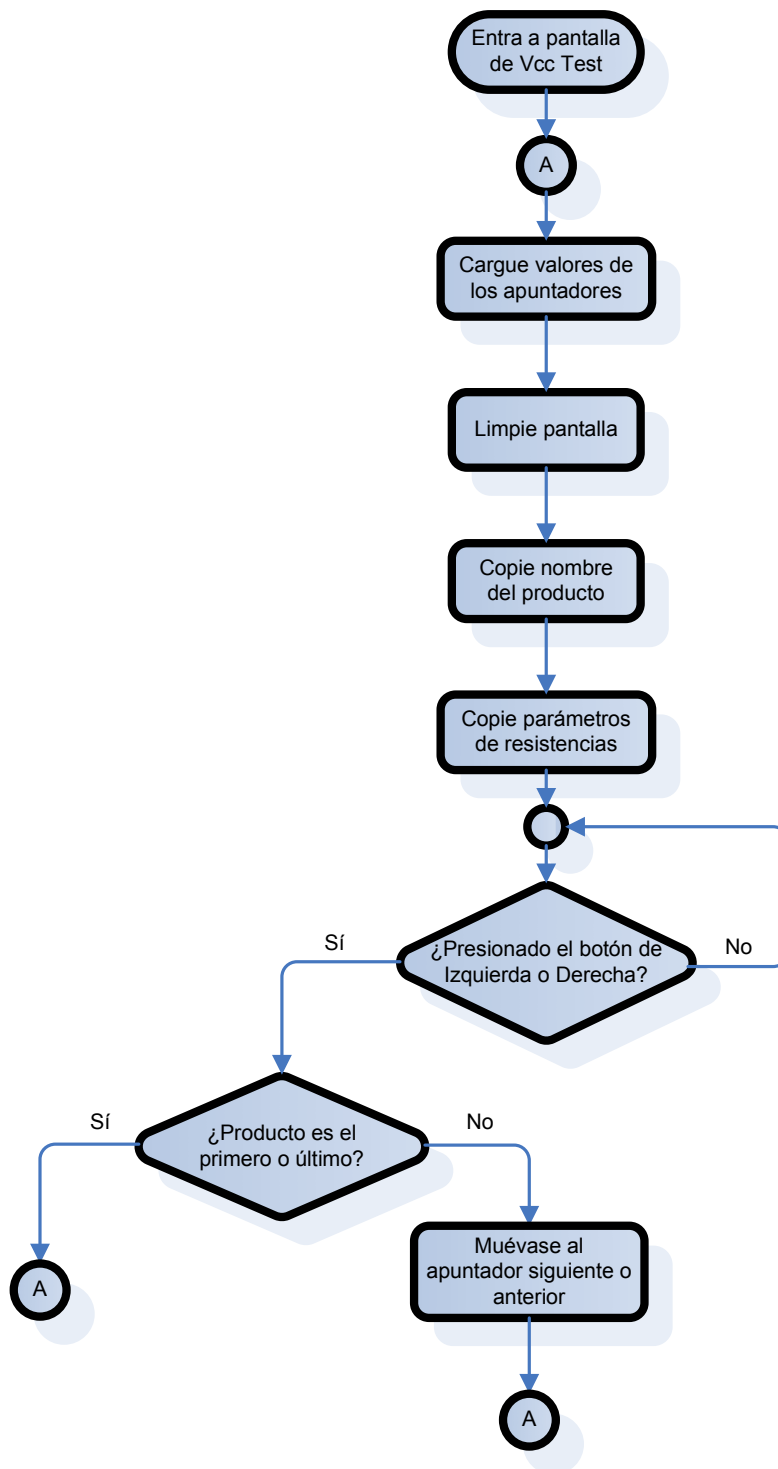


Figura 6.21. Diagrama de flujo del proceso de selección y carga de productos y sus parámetros.

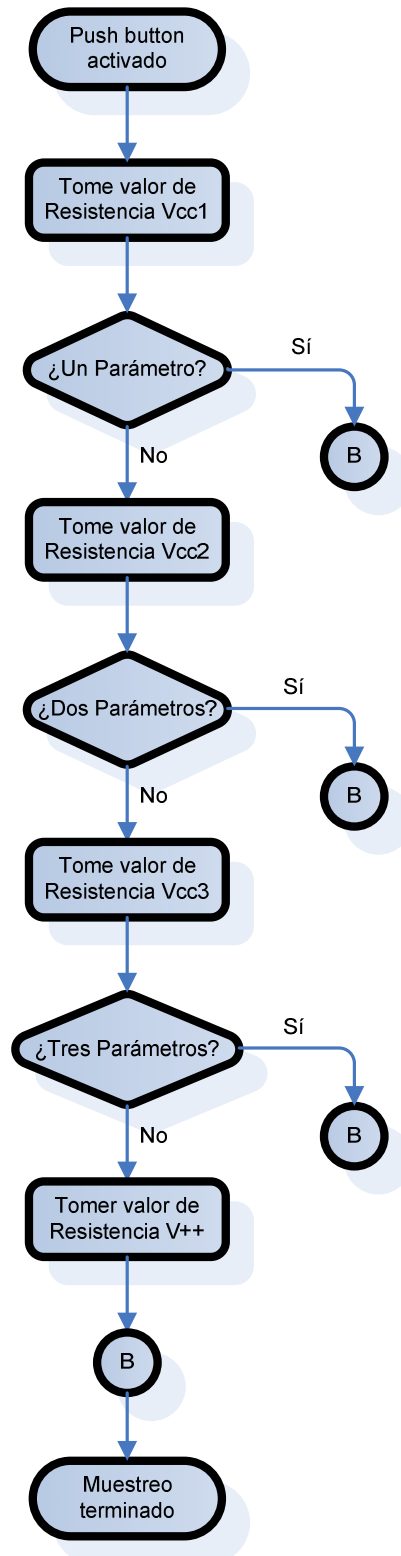


Figura 6.22. Diagrama de flujo del proceso de muestreo de resistencias

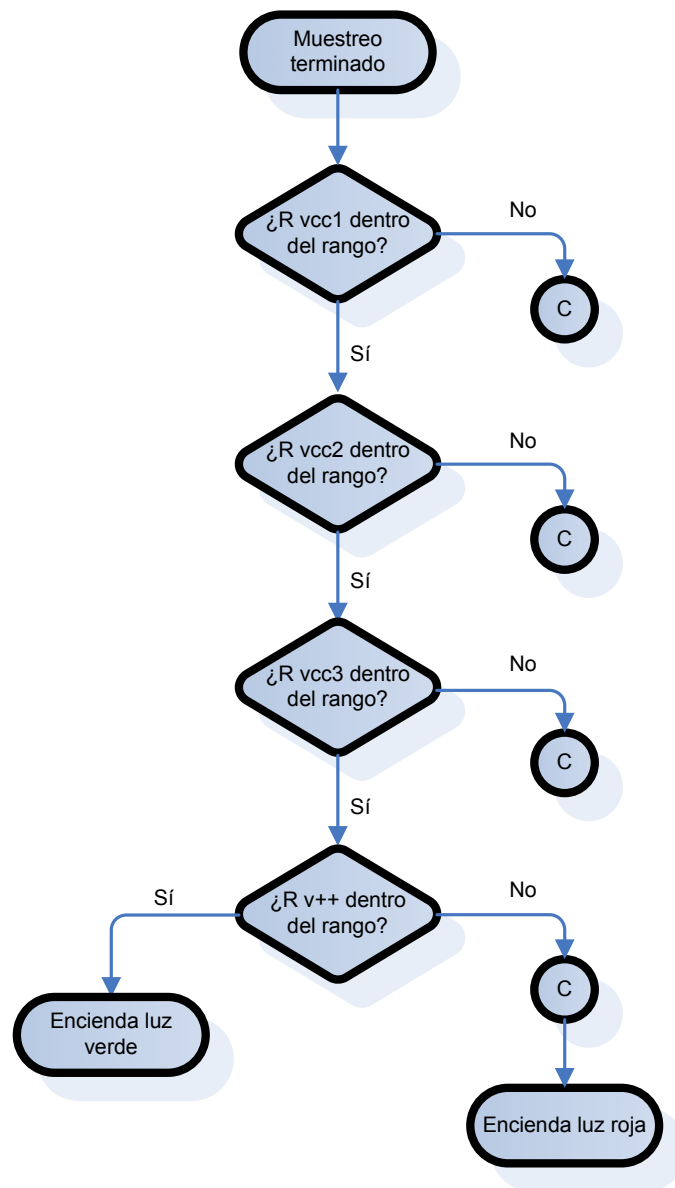


Figura 6.23. Diagrama de flujo del proceso de comparación de la resistencia medida con los límites del rango de resistencia.

6.2.2 Software de programación del dispositivo

Para poder programar nuevos parámetros y productos en el dispositivo desarrollado, se diseñó un software en la computadora utilizando el lenguaje de programación Visual Basic .NET. En este programa se pueden introducir nombres de productos y configurar sus parámetros, así como ver y modificar los parámetros de los productos ya existentes, y también borrar productos ya existentes. Por último el software está en la capacidad de enlazarse con el dispositivo desarrollado y enviarle todos los productos y parámetros.

El software está compuesto por una pantalla principal desde la cual en un menú se pueden seleccionar los productos y a la derecha aparecen sus parámetros y ahí mismo se pueden modificar los mismos si así lo desea. También posee botones para agregar un nuevo producto, borrar un producto ya existente, salvar en memoria los cambios realizados, y descargar los datos al dispositivo (ver figura 6.22).

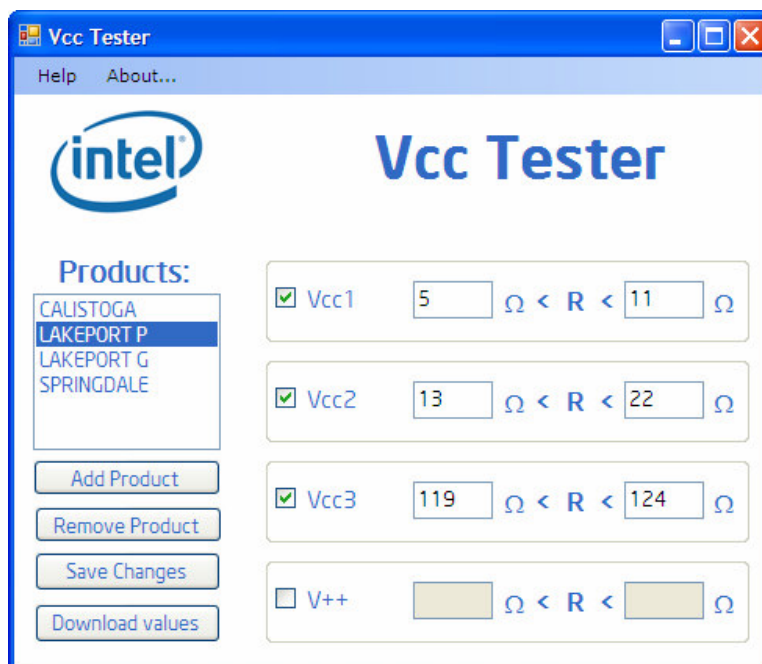


Figura 6.24. Ventana principal del software de programación de productos y parámetros.

El software presenta una interfaz muy amigable con el usuario y es de muy fácil uso, ya que las funciones están diseñadas de manera que se puedan acceder de manera casi intuitiva, sin necesidad de un entrenamiento complejo en el uso del programa.

Además el software cuenta con el manejo de todo tipo de errores, como por ejemplo la introducción de texto en las casillas de números, el introducir los límites invertidos (el mayor en el menor y viceversa), el introducir una resistencia de un valor mayor al máximo permitido, y el intentar borrar un producto cuando no hay ninguno seleccionado en el menú (ver figura 6.23).



Figura 6.25. Ejemplo del manejo de errores en el software.

Cuando se selecciona la opción de almacenar los cambios, el programa guarda los nombres de los productos y sus parámetros en un archivo de texto. Este archivo se carga cuando se abre el programa, esto brinda la funcionalidad de que en el programa se mantiene la última configuración usada y así no es necesario volver a escribirla cada vez que se va a usar el programa.

Además por funcionalidad, cada vez que se guardan los cambios en el archivo de texto, también se calculan y se guardan en el mismo archivo los apuntadores que luego serán transmitidos a la memoria del dispositivo. Estos apuntadores están constituidos por la dirección inicial en que van a estar los valores de cada producto, la longitud del tamaño del nombre, y el número de parámetros (es decir la cantidad de límites de resistencia que posee).

Cuando selecciona el botón de programar la información en el dispositivo, el software se basa en el archivo de texto con la información almacenada. En él lee primero la lista de apuntadores, luego va leyendo cada nombre de producto y sus parámetros. En el caso del nombre del producto convierte carácter por carácter a sus equivalentes decimales (usando la configuración ASCII). Luego en el caso de los parámetros, como se mencionó anteriormente el PLC realmente no maneja valores de resistencia, sino los valores de voltaje que se obtienen con esas resistencias y con la corriente especificada en la sección 6.1.2, por lo que en este momento el software debe convertir cada valor de resistencia a su equivalente de voltaje, y lo hace con la fórmula 6.1.

$$\text{Voltaje eq} = (\text{Resistencia}) \cdot (\text{Corriente}) \cdot (\text{Amplificación}) * \frac{1024}{10} \quad (6.1)$$

En donde Resistencia es el valor del límite de resistencia que se desea convertir, Corriente es el valor de la corriente entregada por la fuente de corriente (ver sección 6.1.2) que en este caso es de 9.8mA, y amplificación es el factor por el cual se amplifica el voltaje obtenido (en este caso es un factor de 3). El factor 1024/10 corresponde que el PLC maneja voltajes de 0 a 10V con una numeración de 0 a 1024.

Una vez que se ha cargado desde el archivo texto, los apuntadores, los nombres de los productos (en decimal) y sus parámetros (en voltaje equivalente), se dividen estos datos en grupos de 100 bytes y se envían por el puerto serie uno a uno cada grupo.

Capítulo 7: Análisis de Resultados

Para analizar el comportamiento del dispositivo desarrollado se diseñaron los experimentos estadísticos especificados en el apéndice A.3.

En el primero de estos experimentos se tomaron cuatro resistencias discretas de diferentes valores (tratando de cubrir todo el rango de funcionamiento), se midieron en el laboratorio de calibración de la empresa utilizando un multímetro de alta resolución, y se utilizó ese valor como estándar. Luego se usó como límite técnico un 5% del valor medido, es decir que sesgos de más de 5% en los datos medidos son considerados significativos.

Se realizaron 30 mediciones de cada valor estándar (se tomó este tamaño de muestra debido a que es el que la corporación establece como estándar para sistemas de metrología), y al hacer cada medición se conectó y luego se desconectó el estándar de las terminales de la interfaz mecánica, esto para poder abarcar también la variabilidad que brinda el sistema de medición a través de dicha interfaz.

En la tabla 4.1 se resumen los resultados obtenidos de dicha prueba.

Tabla 7.1. Resultados de exactitud obtenidos de la prueba con valores estándar.

Valor estándar	Media	Sesgo	Límite técnico
21,30395	21,26	-0,04	1,07
99,61027	101,65	2,04	4,98
180,8776	182,69	1,81	9,04
222,4247	226,438	4,01	11,12

Basado en la anterior tabla es que se puede decir que el dispositivo desarrollado tiene una exactitud adecuada, ya que las diferencias que presenta del valor estándar no son mayores al límite técnico, por lo que se consideran que no son diferencias técnicamente significativas.

En la figura 7.1 se puede ver un gráfico en el que se ven las diferentes mediciones y su cercanía con el valor estándar.

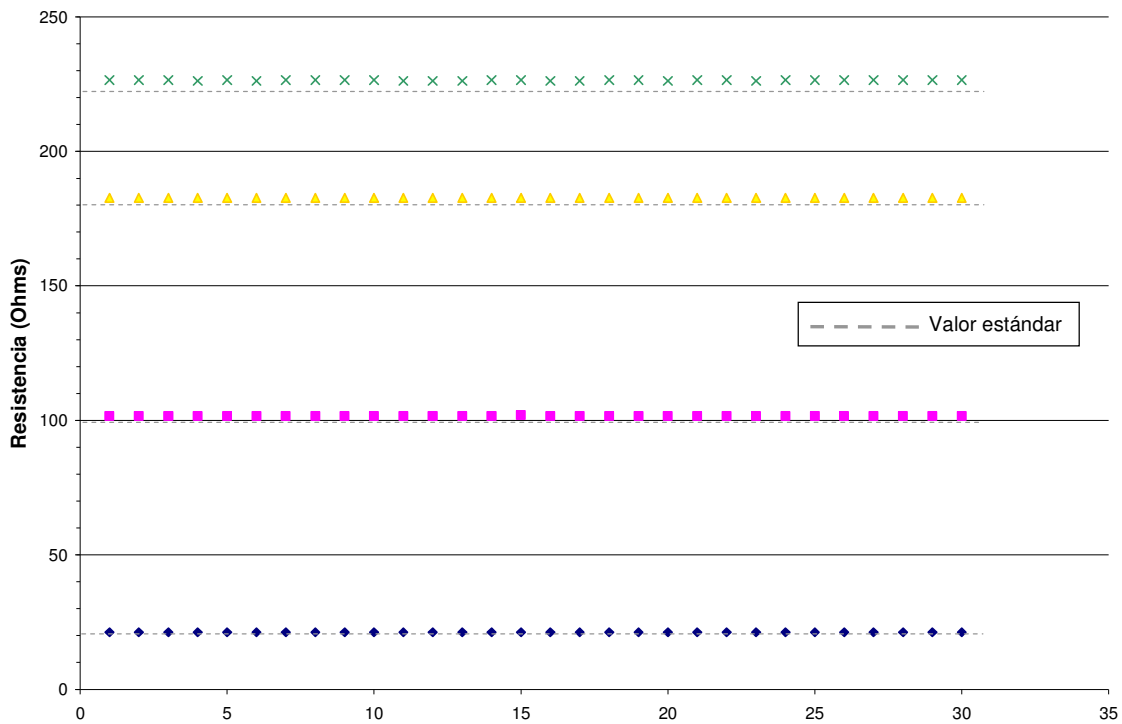


Figura 7.1. Valores obtenidos en las mediciones y su valor estándar.

Luego con esos mismos datos se hizo un análisis de repetitibilidad, para medir en él cuan preciso es el instrumento, es decir cuanta variabilidad tiene presente. Este análisis se basa en cociente de precisión sobre tolerancia (Cociente P/T) el cual se calcula con la fórmula (ver siguiente página):

$$\text{Cociente } P/T = \frac{6 \sigma}{LS - LI} \quad (7.1)$$

Donde (σ) es la desviación estándar de las mediciones, y LS y LI son el límite superior y el límite inferior, calculados al sumarle y restarle respectivamente al valor estándar, la diferencia técnica.

Al hacer este análisis de repetibilidad se obtuvieron los datos que se aprecian la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Resultados de precisión obtenidos de la prueba con valores estándar.

Valor Estándar	Desviación estándar	Límite técnico	Cociente P/T
21,30395	0	1,07	0
99,61027	0,06	4,98	3,6 %
180,8776	0	9,04	0
222,4247	0,16	11,12	4,3 %

En esta tabla se observa que los valores del Cociente P/T están por debajo del valor límite que establece la corporación, el cual es de 10% para instrumentos de medición manuales; por lo tanto se concluye que el instrumento posee una precisión aceptable.

Una vez que se determinó que las mediciones de resistencia tienen una exactitud y precisión aceptable, se hizo lo que según los procedimientos de la empresa se llama un Chequeo de Realidad, el cual es un chequeo de que un sistema funciona como se supone debe funcionar. En este caso el sistema es la comparación de la resistencia medida con los rangos límites de resistencia, y su determinación de si está dentro o fuera del rango.

Para esto se hicieron 120 mediciones de resistencia, donde 90 estaban dentro del rango y por lo tanto la luz verde debía prenderse y 30 estaban fuera de él, por lo que la luz roja debía prenderse. Los resultados obtenidos coincidieron en su totalidad con lo esperado, y se resumen en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Chequeo de realidad de la comparación de resistencias y toma de resultados

Rango	Luz verde	Luz roja
<i>Dentro</i>	90	0
<i>Fuera</i>	0	30

Para verificar el funcionamiento del dispositivo diseñado al realizar la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra, se hizo un cotejo de las herramientas, en este caso el multímetro digital y el dispositivo desarrollado. Para esto se tomaron las mediciones de resistencia en 50 tarjetas BIB, primero con el multímetro y luego con el dispositivo. Las tarjetas bajo medición contenían chipsets Springdale.

Para este análisis, la corporación establece que se busca que ambas herramientas estén correlacionadas, es decir que posean un valor de R^2 mayor que 75%, también en la gráfica de los valores con una herramienta versus los valores con la otra herramienta, la pendiente debe ser equivalente a 1, y el corte en el eje debe ser equivalente a cero. En la figura 7.2 se observa el gráfico de los valores de resistencia con el multímetro contra los valores con el dispositivo desarrollado.

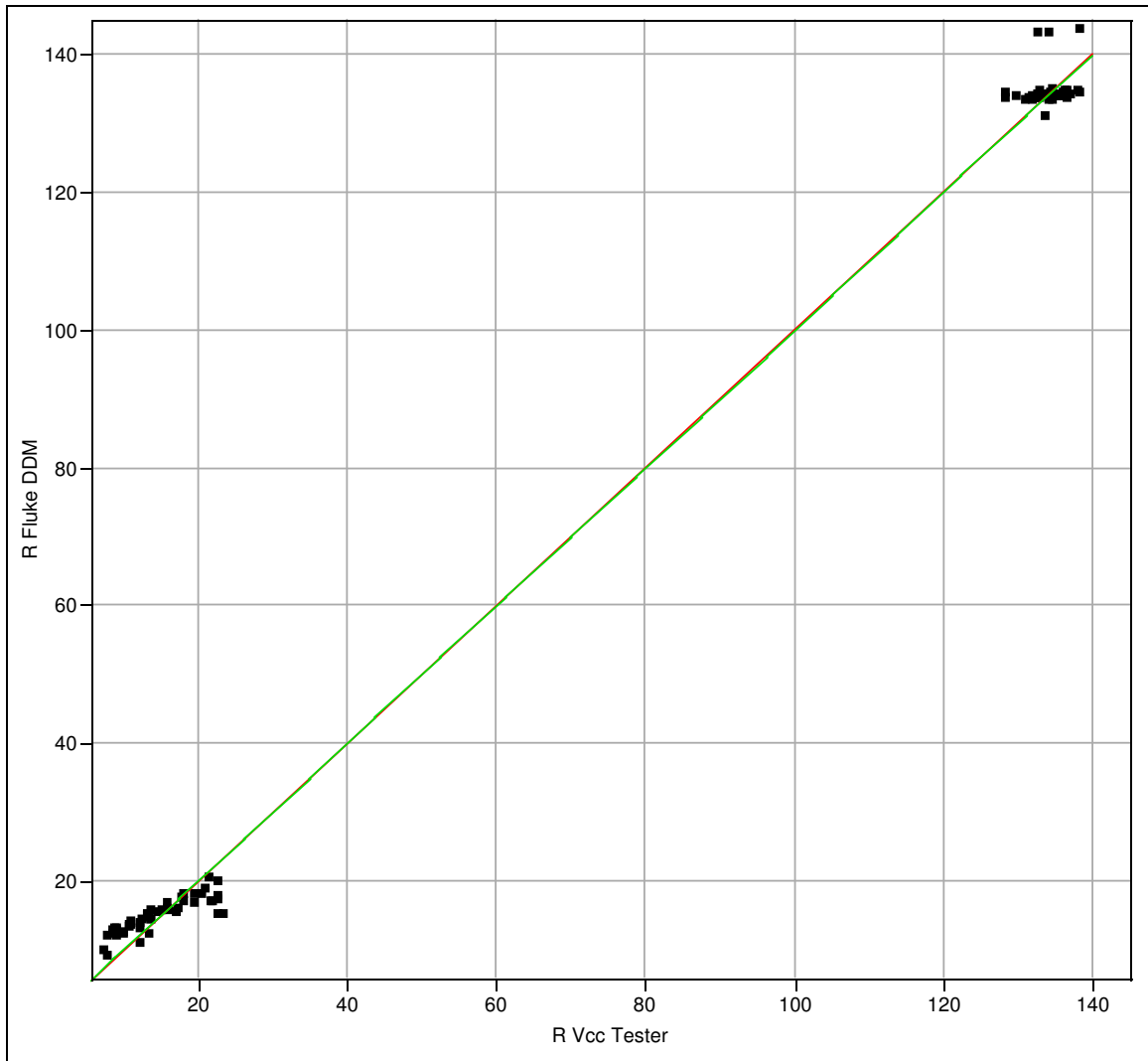


Figura 7.2. Valores de resistencia con el multímetro versus los valores con el dispositivo desarrollado.

En la tabla 7.4 se presenta el resumen de los valores obtenidos para la curva de la figura 7.2 y para este análisis, en el cual se observa que se obtuvo un valor de $R^2 = 99.76\%$, el cual es muy superior al límite solicitado.

También se obtuvo una pendiente con un límite superior igual a 1.011187 e inferior igual a 0.991438, dentro de los cuales está contenido el valor de 1 que solicitan los estándares de la empresa, por lo tanto se considera la pendiente

estadísticamente equivalente a 1. Estos límites corresponden a los límites del intervalo del 95% de confianza, es decir el intervalo donde existe un 95% de confianza de que ahí se van a encontrar los datos. Luego se obtuvo un corte en el eje en con un límite superior de 0.52807 e inferior de -0.6474; este intervalo contiene el valor requerido de cero, por lo tanto se considera el corte en el eje como estadísticamente equivalente a cero.

Tabla 7.4. Resultados obtenidos de la curva de la figura 7.2.

Valor	Pendiente	Corte en el eje	R ²
<i>Límite superior</i>	1.011187	0.52807	99.76%
<i>Media</i>	1.001264	-0.0597	
<i>Límite inferior</i>	0.991438	-0.6474	

Resulta importante analizar la grafica de la figura 7.3, la cual corresponde a la gráfica de las diferencias entre las dos herramientas. La media de las diferencias se mantiene cercana a cero, y los límites de confianza contienen a cero, por lo que se deduce que no hay un sesgo significativo entre las herramientas. Pero resulta de atención la gran variabilidad que se presenta en estas diferencias, ya que esta variabilidad en los datos puede inducir a efectos como dar un sobre rechazo de tarjetas BIB.

Se había analizado la variabilidad del dispositivo desarrollado mediante las mediciones de los estándares y se concluyó que tenía una precisión adecuada, es decir que tenía una variabilidad baja. Entonces esta variabilidad que se tiene en las diferencias entre el multímetro y el dispositivo al medir las tarjetas BIB se puede concluir que no se debe al dispositivo, sino a otros factores, como lo pueden ser: la variabilidad del multímetro, la variabilidad de las tarjetas BIB y la variabilidad en el proceso de medición de BIBs. Como se verá en la sección de recomendaciones, esta es una situación a la cual se le pueden hacer estudios e implementar mejoras.

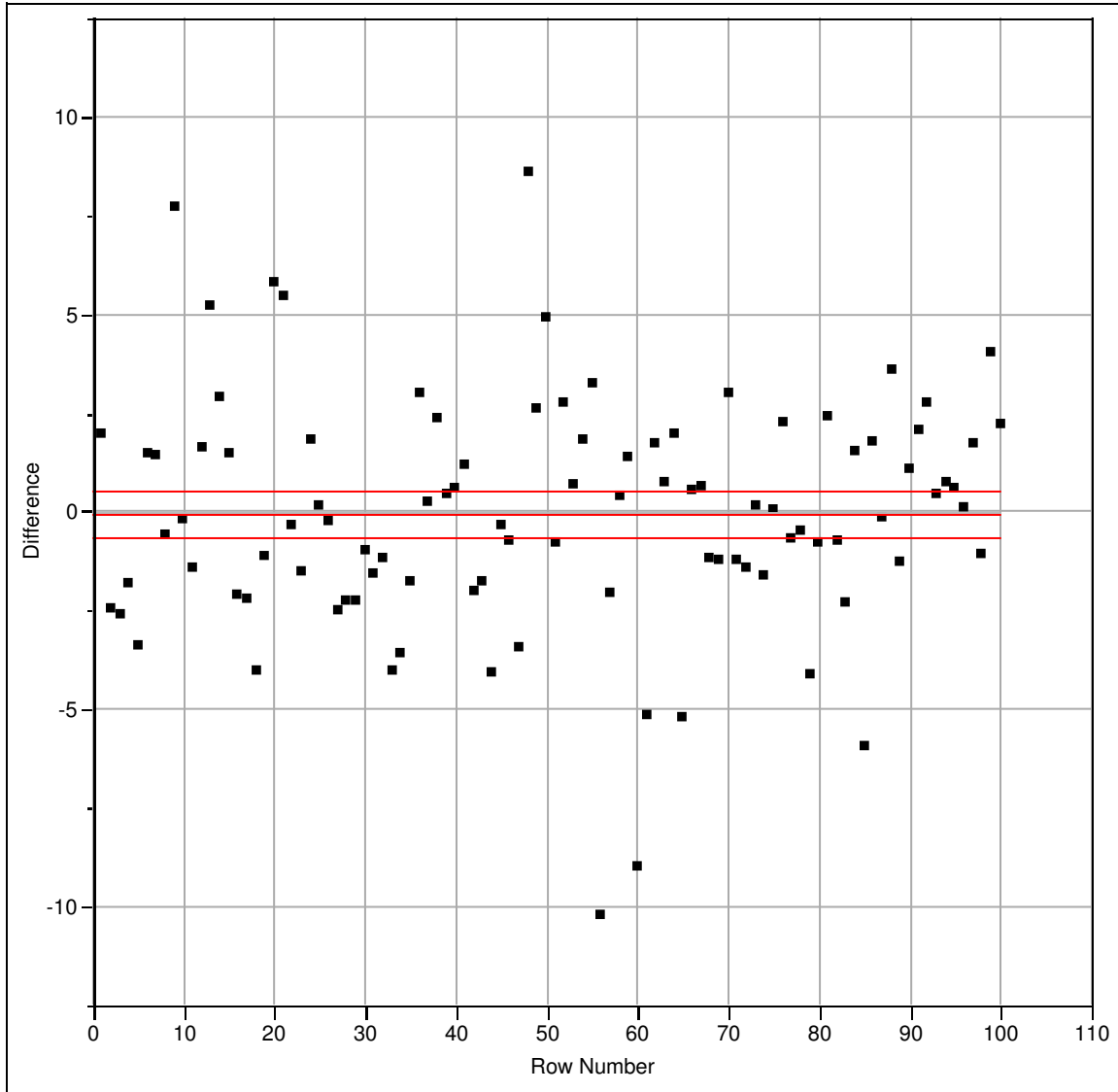


Figura 7.3. Diferencias entre los valores medidos con el multímetro y con el dispositivo desarrollado.

Al realizar la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra con el dispositivo desarrollado se obtuvo un tiempo promedio de 4,32 minutos para mediciones con Chipsets Springdale, esto representa una diferencia de 2,08 minutos con respecto al valor que tiene la empresa en el modelo de proceso, el cual es de 6,398 minutos. Por lo tanto con el dispositivo desarrollado se logró una disminución del 32% del tiempo de la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra para Chipsets Springdale (ver tabla 7.5)

Tabla 7.5. Tiempos promedio de la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra para Chipset Springdale.

Tiempo de la prueba (minutos)			Disminución
Modelo	Dispositivo	Diferencia	
6,398325	4,32	2,08	32%

Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones.

1. Los sesgos obtenidos al medir resistencias no tuvieron una diferencia técnica significativa.
2. La variabilidad del dispositivo al medir resistencias se encuentra dentro de los valores aceptados por la empresa.
3. Según los parámetros de la empresa, se considera al dispositivo como exacto y preciso.
4. La correcta comparación de la de la resistencia medida con los límites almacenados se comprobó mediante un chequeo a una muestra.
5. Las mediciones del dispositivo desarrollado están correlacionadas con las de un multímetro en un factor $R^2=99.76\%$.
6. Los valores medidos por el dispositivo desarrollado están relacionados en un factor equivalente a 1 con los medidos por un multímetro.
7. El sesgo entre las mediciones de un multímetro y las del dispositivo desarrollado es equivalente a cero.
8. Según los parámetros de la empresa, el dispositivo desarrollado se considera equivalente a un multímetro.
9. Se redujo el tiempo de la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra en un 32% para Chipsets Springdale.

8.1 Recomendaciones.

Como se discutió en el análisis de resultados, se determinó que el dispositivo desarrollado tiene una baja variabilidad, la cual es menor a los límites establecidos por la empresa. Pero cuando se miden las resistencias de las tarjetas BIB, la variabilidad presente en las diferencias de valores entre el dispositivo y el multímetro es mucho mayor, presentándose diferencias incluso de más de 3 ohmios. Este es un efecto no deseado que puede inducir a errores como por ejemplo un sobre rechazo de tarjetas BIB.

Debido a que con los estándares se determinó que el dispositivo es preciso, entonces esta variabilidad que se presenta se concluye que no se debe al dispositivo, sino a otros factores como lo pueden ser: la variabilidad del multímetro, la variabilidad en el proceso de medición, o la variabilidad de las tarjetas BIB.

Por esto se recomienda realizar un estudio para tratar de encontrar las principales fuentes de variabilidad al hacer las mediciones de resistencia en una tarjeta BIB; y también tratar de cuantificar la magnitud de la variabilidad que se da en dichas mediciones. Una vez que se hayan determinado las principales fuentes de variabilidad y la magnitud de la variabilidad presente, se pueden buscar posibles soluciones para disminuirla. Si no se pudiera disminuir, se podría entonces contrastar los valores de los límites de resistencia con la magnitud de la variabilidad, para decidir así si es pertinente realizarles alguna modificación.

También se recomienda efectuar pruebas para determinar si una disminución en el tiempo en el que se hace el muestreo de resistencias en una tarjeta BIB con el dispositivo desarrollado, no afecta los valores con los que se validó su funcionamiento (por ejemplo exactitud, precisión, y correlación). Esta posible mejora implicaría una disminución aún mayor del tiempo en el que se realiza la prueba de resistencia entre Vcc y Tierra.

Bibliografía

1. Chin Seng Ong. **Procedimiento de Operación Burn-In Oven para FCBGA 1/3/5.** Intel Technology (Malaysia). Bayan Lepas, Penang – Malaysia.
2. Chin Seng Ong. **Procedimiento de Operacionales del SHBI: Ambient Burn In Docking (aBID) para FCBGA 1/3.** Intel Technology (Malaysia). Bayan Lepas, Penang – Malaysia.
3. Chin Seng Ong. **Procedimientos Operativos del Handler de BLU del FCBGA 1/3/5.** Intel Technology (Malaysia). Bayan Lepas, Penang – Malaysia.
4. Christiansen, Donald. **Electronics Engineers' Handbook.** Cuarta edición. Editorial Mcgraw-Hill. Estados Unidos, 1997.
5. Diefenderfer, James. **Instrumentación electrónica.** Segunda Edición. Nueva Editorial Interamericana. México, 1994.
6. García Fernández Pedro. **Electrometría. Colección apuntes.** Universidad de Jaén, España. 2000.
<http://www4.ujaen.es/~bogayar/electrometria/temas%20teoria/tema%20%205%20Instrumentos%20analogicos.pdf>
7. Hayt, William et al. **Análisis de Circuitos en Ingeniería.** Quinta Edición. Editorial Mcgraw-Hill. México, 2001.
8. Mandano, Enrique et al. **Instrumentación Electrónica.** Alfaomega Grupo Editor. Colombia, 1996.
9. Serway, Raymond. **Física. Tomo II.** Cuarta Edición. Editorial Mcgraw-Hill. México, 1999.
10. Universidad de Guadalajara. **Instrumentos de medición básicos.**
<http://148.202.148.5/cursos/17721/modulo2/2p3/2p3.htm>

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.

- **Chipset:** Dispositivo periférico al procesador, ubicado en la tarjeta madre y que se encarga de aspectos como las conexiones con los buses y puertos.
- **Zócalo:** Dispositivo mecánico que sirve para conectar de manera temporal un chipset o un procesador a una tarjeta.
- **BIB:** Burn-In Board. Tarjeta a la que se conectan los chipsets para realizar la prueba de envejecimiento acelerado.
- **Prueba de envejecimiento acelerado:** Es una prueba acelerada de estrés con el fin de provocar fallas, en la cual las unidades se someten a altos niveles de tensión y a un proceso de autocalentamiento, en el que debido a su mismo funcionamiento la temperatura de los chipsets aumenta.
- **Mortalidad infantil:** término que se refiere a las unidades que al parecer funcionan correctamente, pero que después de unos días de funcionamiento van a fallar.
- **Resistencia:** Oposición que encuentra la corriente eléctrica para recorrer una sustancia.
- **Vcc:** Tensión de alimentación de un circuito.
- **Tierra:** Terminal de referencia de un circuito, se supone que su valor es cero Voltios.
- **Multímetro:** Instrumento de medición eléctrica que en su modo básico posee la capacidad de medir tensión, corriente y resistencia.

A.2 Tabla comparativa de las características de los distintos PLCs en el mercado.

Fabricante	Modelo	LCD y botones	LCD programable	Puerto Serie	Memoria programa	Entradas analógicas	Voltaje de alimentación	Consumo	Tamaño (mm)	Software
<i>Unitronics</i>	M90-M91	Si	Si	Si	36 K	2	12 / 24	260mA @ 24V 330mA @ 12V	96 x 89 x 57	Gratis
<i>Entertron</i>	Smart-PAK Plus + Tri Comb Plus	Aparte	Si	Si	4 K	1 a 4	12 / 24	PLC: 250mA @24V 500mA @ 12V LCD: 125mA @ 24V 250mA @ 12V	PLC: 127 x 179 x 76 LCD: 168 x 102 x 32	-
<i>Automation Direct</i>	DirectLOGIC 06 + F0-2AD2DA-2	Si	Si	Si	14.8 K	2 a 4 (Aparte)	12 / 24	300mA @ 24V	231 x 117 x 68	-
<i>Siemens</i>	Simatic S7-222	Aparte	No	Si	4 K	4 (Aparte)	24	PLC: 500mA @ 24V Analog: 60 mA LCD: 120mA	PLC: 90 x 80 x 62 Analog: 71.2 x 80 x 62 LCD: 148 x 76 x 27	Hay que comprarlo
<i>Allen Bradley</i>	Pico GFX-70	Si	No	No	8 K	4	24	200mA @ 24V	PLC: 107.5 x 90 x 30 LCD: 86.5 x 86.5 x 21.5 I/O: 88.1 x 90 x 25	Hay que comprarlo
<i>Omron</i>	Zen	Si	No	No	-	1	24	< 800 mA @ 24V	90 x 70 x 56	Hay que comprarlo

A.3 Protocolos de medición

Para poder analizar los resultados del proyecto, se diseñaron los siguientes experimentos estadísticos:

Experimento #1.

- Objetivo: Determinar la Precisión, Exactitud, y Repetibilidad de la herramienta desarrollada, al medir resistencias.
- Procedimiento: Tomar 4 resistencias de diferentes valores (valores nominales de 20, 100, 180 y 220 Ohms), realizar 30 mediciones a cada una. En cada medición se posiciona y luego se quita la herramienta.
 - *Valor Estándar*: El valor de la resistencia medido con un multímetro digital de alta resolución que posee el laboratorio de calibración.
 - *Límite técnico*: La tolerancia establecida por el fabricante para el valor de la resistencia. Es un $\pm 5\%$ o $\pm 10\%$ del valor.
- Criterios de aceptación:
 - Exactitud técnica: intervalo de confianza para el promedio dentro del límite técnico. Este criterio debe cumplirse para las cuatro resistencias estándar.
 - Cociente P/T menor a 10% (Precisión adecuada).

Experimento #2.

- Objetivo: Determinar que la detección de que la resistencia está dentro del rango o no, se hace adecuadamente.
- Procedimiento: Tomar 120 mediciones de resistencia, 90 dentro del rango y 30 fuera de él. Verificar que la luz de Paso / Fallo coincida.
- Criterios de aceptación:
 - Coincidencia en un 100%. Esto es un Chequeo de Realidad, no corresponde a un experimento estadístico.

Experimento #3.

- Objetivo: Comparar las dos metrologías (multímetro y dispositivo desarrollado), y determinar la coincidencia entre ambas.
- Procedimiento: Tomar 50 tarjetas BIB y realizar las mediciones de resistencia en cada tarjeta con el Multímetro y luego con el dispositivo desarrollado.
Anotar las mediciones de tal manera que se guarde la correspondencia de los datos para cada tarjeta BIB con las dos herramientas. Las mediciones las realizará una misma persona, y se tomarán en un periodo corto de tiempo (para eliminar posibles fuentes de variabilidad).
- Criterios de aceptación:
 - Porcentaje R^2 superior a 75%.
 - Pendiente estadísticamente equivalente a 1.
 - Sesgo estadísticamente equivalente a 0.